DTU Bibliotek

Denne fil er downloadet fra

Danmarks Tekniske Kulturarv

www.tekniskkulturarv.dk

Danmarks Tekniske Kulturarv drives af DTU Bibliotek og indeholder scannede bøger og fotografier fra bibliotekets historiske samling.

Rettigheder

Du kan læse mere om, hvordan du må bruge filen, på *www.tekniskkulturarv.dk/about*

Er du i tvivl om brug af værker, bøger, fotografier og tekster fra siden, er du velkommen til at sende en mail til *tekniskkulturarv@dtu.dk*

Morin.
Foredrag
af
Praktisk
Mekanik.

INDUSTRI-
FORENINGEN.

1430
78
5319:539
5319:539

DANMARKS TEKNISKE BIBLIOTEK
M00 7143964
300004774772

15-3.

Foredrag

af

PRAKTISK MEKANIK.

(Byggematerialiers Modstandsevne).

Af

INDUSTRI FORENINGEN

A. Morin,
General i Artilleriet.

Som Haandbog for Ingenieurer, Architekter og Brugseiere

oversat,

og Formlerne overførte til norsk Maal og Vægt

af

B. N. Garben,
Generalmajor og Chef for den kongelige norske Ingenieurbrigade.

(Med 6 Plancher).

CHRISTIANIA.

Trykt paa Feilberg & Landmarks Forlag
hos Carl C. Werner & Comp.
1857.

Forord.

Nærværende Afhandling over Byggematerialiers Modstandsevne — en Oversættelse af den franske Artilleriegeneral Morin's „Leçons de Mécanique pratique, Résistance des Matériaux" — er et Sammendrag af de over denne Gjenstand anstillede Forsøg og af andre saavel theoretiske som praktiske Undersøgelser.

Ved at overføre dette Værk i vort Sprog og ved at udarbeide Koefficienter til Reduktion af de i det franske metriske Maal- og Vægtsystem angivne Resultater til vort Lands Maal og Vægt har jeg nærmest havt til Hensigt at lette os Brugen af Andres ved utrættelige og kostbare Undersøgelser erhvervede Erfaringer om disse for den praktiske Bygmester vigtige Gjenstande.

Forøvrigt har jeg overalt, saavel i Forsøgsresultaterne som i de praktiske Formler tillige bibeholdt fransk Maal og Vægt. I Forsøgene af den Grund, at jeg ikke vovede at reducere Tallene vedkommende de derhen hørende Iagttagelser, for ikke ved Afrundinger at gjøre disse mindre nøiagtige; og i Formlerne, for at Enhver derved dels kan sættes istand til at kontrollere mine Reduktioner, dels kan have frit Valg af det Maal- og Vægtsystem, hvori Beregningerne maatte ønskes foretagne.

Naar Formlerne for norsk Maal og Vægt benyttes, bedes bemærket, at Længde- og Flademaalet i Almindelighed er angivet i duodecimal Tomme og Quadrattomme

og Vægten i Skaalpund; Undtagelserne herfra ville paa ethvert Sted blive anførte.

Om denne Afhandling i det Hele taget end ikke indeholder meget Nyt, saa antages dog, at den besidder den Fortjeneste at omfatte alt det, som for den praktiske Ingenieur, Architekt og Brugseier er nødvendigt at vide angaaende den omhandlede Gjenstand, og som ellers kun læres ved at hentye til en Mængde Værker og adspredte Opsatser i Tidsskrifter, hvortil der udfordres saavel megen Tid som Bekjendtskab til, hvor det er at finde.

Jeg beklager, at der i Manuskriptet til Oversættelsen er indløbet nogle Regne- og Skrivfeil, som uagtet al anvendt Umage med en omhyggelig Korrektur ogsaa har forplantet sig til den trykte Text. Førend Bogen benyttes, bedes disse Feil berigtigede ved Hjælp af de angivne Rettelser.

Christiania i September 1857.

B. N. Garben.

Indholdsfortegnelse.

FØRSTE AFDELING. — Strækning. (Extension).

Pagina.

§ 1. Almindelige Betragtninger 1
„ 2. Do. Do. 2
„ 3. Indflydelse af Kræfternes Varighed 2
„ 4. Nödvendigheden af at indskrænke Kræfterne til Værdier, som ere mindre end de, der svare til Forandring af Elasticiteten 3
„ 5. Definition af Elasticitets-Koefficienten eller Modulen, og Maaden, hvorpaa den bestemmes 3

Smedejerns absolute Styrke.

„ 6. Erfaringsresultater 5
„ 7. Bornet's Forsög 5
„ 8. Undersögelse af disse Resultater 6
„ 9. Eaton Hodgkinson's Forsög 7
„ 10. Slutningsfölger af disse Forsög, samt Reduktionskoefficienter til norsk Maal og Vægt 10
„ 11. Bemærkninger om Hodgkinson's Slutninger 14
„ 12. Tilfælde, i hvilke det er nödvendigt at tage Hensyn til de for Trækkekraften udsatte Stængers egen Vægt 14

Stöbejerns absolute Styrke.

„ 13. Forsög med Stöbejern 16
„ 14. Diskussion af disse Forsögs Resultater 17
„ 15. Særegne Resultater angaaende Modstandsevnen hos Stöbejern mod Brud ved Strækning 18
„ 16. Indflydelse af Trækkekraftens Virkningsmaade 19

Sylindres og Kuglers Modstandsevne.

„ 17. Sylindres Modstandsevne mod Sprængning ved Virkningen af en indre Pression 20
„ 18. Grændser for Prövetrykkene i dette Tilfælde 21
„ 19. Ledningsrör 22
„ 20. Dampkjedler 23
„ 21. Modstandsevnen hos Bunden i Sylindre 23
„ 22. Tilfælde, i hvilke Bunden er forbunden til Sylinderlegemet ved Bolte 24

Pagina.

§ 23. Mangler, som stöbte Sylindre ofte vise 25
„ 24. Forsigtighedsregler, som ere at iagttage ved Sylindre til hydrauliske Presser 26
„ 25. Anvendelse af Formlerne paa en for Algier bestemt Fouragepresse 27
„ 26. Anvendelse paa de store Presser, som bleve brugte til at hæve Britanniabroens Rör 28
„ 27. En Kugles Modstandsevne mod Sprængning 29
„ 28. Anvendelse paa Huulkugler 30
„ 29. Bemærkning vedkommende Udvidelseskraftens Styrke . . . 31

Modstandsevne hos Jernblik og hos dets Sammenföining.

„ 30. Jernbliks Modstandsevne mod Strækning 31
„ 31. Sammenligning af Bliks Modstandsevne efter Valtsningens Retning med dets Modstandsevne tværs paa den 33
„ 32. Fairbairn's Forsög 33
„ 33. Bemærkninger betræffende de i Frankrig erholdte Resultater 34
„ 34. Modstandsevnen af Klinknagler og Bolte mod en tværs paa dem virkende Kraft 34
„ 35. Fairbairn's Forsög 36
„ 36. Bemærkninger over Virkningen af Blikkenes Gjennemboring 37
„ 37. Rivningens Indflydelse 38
„ 38. Forsög af DHrr. Gouin & Comp. 39

Modstandsevnen hos Træ mod Strækning.

„ 39. Rondelets Forsög over Modstandsevnen hos Træ mod Brud ved Strækning 40
„ 40. Forsög af Chevandier og Wertheim 41

Touges Modstandsevne.

„ 41. Sammenligning mellem de tjærede Hampetouge og de Kjædetouge, som ere indförte i den engelske Marine 45
„ 42. Kjædetougenes Styrke 47
„ 43. I Frankrig antagne Forhold for Touge af Hamp og af Jern 48

Belastningsgrændser eller permanent Belastning.

„ 44. Maade at bestemme Belastningsgrændsen eller den Trækkekraft, for hvilken man permanent kan udsætte Legemerne 50
„ 45. Udglödningens Indflydelse 52
„ 46. En elektrisk Ströms Indflydelse paa Elasticiteten 53
„ 47. Anvendelse og Brug af den foranstaaende Tabel 53
„ 48. Anvendelse paa de Kjæder, som tjente til at hæve Rörbroen over Menaistrædet 54
„ 49. Bemærkninger med Hensyn til Anvendelserne 56
„ 50. Bemærkninger over den Trækkekraft, for hvilken man hen-

§ Pagina.
sigtsmæssigen kan udsætte de ved Bygninger anvendte Legemer 57
„ 51. Resultater af Iagttagelser over Legemernes Modstandsevne mod Brud ved Strækning 57
„ 52. Elasticitetens levende Modstand 64
„ 53. Bruddets levende Modstand 65
„ 54. Anvendelse af foranstaaende Betragtninger 65
„ 55. Do. „ „ Do. 67

ANDEN AFDELING. — Tilbagevirkende Styrke. (Compression).

„ 56. Indledning 68

Træets tilbagevirkende Styrke.

„ 57. Forsög over Træets tilbagevirkende Styrke i Retningen af Fibrernes Længde 69
„ 58. Hodgkinson's Forsög over Træs Modstandsevne mod Söndertrykning 71
„ 59. Rennie's Forsög 73
„ 60. Hodgkinson's Forsög med Stændere af Træ 74
„ 61. Praktiske Formler for Stændere af Træ 75
„ 62. Anvendelse paa Kornmagasinet ved la Villette 76
„ 63. Anvendelse af Formlen i § 60 paa Stænderne i Magasinet ved la Villette 78
„ 64. Forsög med Stændere af Fyrretræ 80
„ 65. Praktiske Formler for Stændere af Træ 81
„ 66. Sammenligning af de Resultater, der fremgaae af de af Rondelet's Sætninger og af Hodgkinson's Forsög udledede Regler 82
„ 67. Brugen af Formlerne i § 65 84
„ 68. Pæle 85
„ 69. Træets Modstand mod det lodret paa Fibrernes Længde virkende Tryk 86

Steens tilbagevirkende Styrke.

„ 70. Rondelet's Forsög over Indflydelsen af Steenpillers Höide paa deres Modstandsevne mod Söndertrykning 86
„ 71. Vicat's Forsög over Legemernes Modstand mod det ved Tryk frembragte Brud 87
„ 72. Modstandsevnen hos ligedannede Pyramider 89
„ 73. Modstandsevnen hos Sylindre, anvendte som Valtser . . . 89
„ 74. Kuglers Modstand 89
„ 75. Indflydelsen af Pillernes Höide eller af Skikternes Antal . 90
„ 76. Praktiske Slutninger 91

Pagina.

§ 77. Forsög, udförte ved Britanniabroen over Modstandsevnen mod Söndertrykning hos Muurværk af Teglsteen og anden Steen 91
„ 78. Slutninger af Forsögene over Steen og Muurværk 93
„ 79. Angivelse af det Tryk, hvorfor Materialierne med Sikkerhed permanent kunne udsættes 94
„ 80. Forskjellige Steenarters Modstandsevne mod Slidning . . . 96

Mörtelens Cohæsion og Adhærents.

„ 81. Forsög ov. Modstandsevnen og Adhærentsen hos Mörtel og Gips 97
„ 82. Styrke, hvormed Mörtlen forbinder Stenene 98
„ 83. Styrke, hvormed Gips forbinder Stenene 98
„ 84. Sammenligning mellem Bindekraften og Styrken mod Söndertrykning 99

Stöbejerns tilbagevirkende Styrke.

„ 85. Hodgkinson's Forsög 99
„ 86. Fremstilling og Følger af disse Forsög. 100
„ 87. Hodgkinson's Forsög over Styrken af korte Stöbejernsstykker mod Söndertrykning 102
„ 88. Følger af disse Forsög 103
„ 89. Stöbejerns Modstandsevne mod Söndertrykning pr. Fladeenhed 105
„ 90. Andre Forsögs Resultater 106
„ 91. Sammenligning af Stöbejernets Modstandsevne mod Brud ved Strækning og mod Brud ved Kompression 107
„ 92. Bemærkninger over de foranförte Resultater 108
„ 93. Sammenlignende Forsög over Stöbejerns Brud ved Strækning og ved Kompression 108
„ 94. Bemærkninger over de foranstaaende Resultater 110

Sammenligning mellem Smedejernets og Stöbejernets Modstandsevne.

„ 95. Sammenligning af Smedejerns og Stöbejerns Anvendelighed med Hensyn til deres forskjellige Modstandsevne mod Kompression 110
„ 96. Figurlig Fremstilling af disse Resultater 112
„ 97. Permanent Belastning af det Kompression underkastede Smedejern 114
„ 98. Maaden, hvorpaa Plader af Jernblik maae anbringes, naar de skulle yde Modstand mod Kompression 114

Söiler af Stöbejern.

„ 99. Söiler og Stötter af Stöbejern 115
„ 100. Söiler af Stöbejern 116
„ 101. Praktiske Formler og Tabeller 118

Pagina.
§ 102. Brugen af Tabellerne 123
„ 103. Bestemmelse af Diametren for en given Belastning og Höide 123
„ 104. Graphisk Maade at finde Diametren til en Söile af given Höide 124
„ 105. Anvendelse af den samme Methode paa hule Söiler . . . 125
„ 106. Sammenligning mellem de massive og de hule Söiler . . 126
„ 107. Bemærkninger over forskjellige Omstændigheder 127
„ 108. Indflydelse af flere Gange sig gjentagende Kompressions- og Strækningskræfter 127

Buer af Stöbejern.

„ 109. Om de Kompressionskræfter, hvilke Buer af Stöbejern i Praxis underkastes 129
„ 110. Virkninger af Temperaturforandringer ved Broer af Stöbejern 134
„ 111. Böininger af Stöbejernsbuer under Indvirkningen af tilfældige Belastninger 135
„ 112. Forplantning af horizontale Tryk fra en Bue til de hosliggende under tilfældige Belastninger 137

TREDIE AFDELING. — Bøining. (Flexion).

„ 113. Begreber om den Maade, hvorpaa Legemerne forholde sig, naar de underkastes en Böining paatværs 138
„ 114. Direkte Forsög for at paavise Kompressionen og Strækningen af de böiede Legemers Fibrer 141
„ 115. Dupin's Forsög 143
„ 116. Duleau's Forsög 143
„ 117. Forskjellige Ingenieurers Iagttagelser 144
„ 118. Charles Dupin's Forsög 145
„ 119. Sammenligning mellem Træs Tæthed og Stivhed . . . 147
„ 120. „ „ Virkningen af jevnt fordelte Belastninger med Belastninger, som anbringes midt imellem Underlagene 148
„ 121. Forholdet af Böiningerne til Trærnes Bredde og Tykkelse eller Höide 149
„ 122. Træs Böielighed som Funktion af Afstanden mellem Underlagene 150
„ 123. Følgeslutninger af disse Forsög 151

Theoretiske Begreber.

„ 124. Almindelige Betragtninger over Böining, Kompression og Brud af fiberdannede Legemer 153
„ 125. Om Virkningerne, som frembringes i fiberdannede Legemer, der böies, komprimeres eller vrides ved ydre Kræfter . . 153
„ 126. Begreber om Liniers Böining og Krumning 154

Pagina.

§ 127. Hypothese af Galilei om Maaden, hvorpaa Materialier gjöre Modstand mod Böining 155
„ 128. Mariotte's og Leibnitz's Hypotheser 157
„ 129. Theorie for Modstanden af fiberdannede Legemer mod Böining paatværs 159
„ 130. Den neutrale Axe gaaer gjennem Tværsnittets Tyngdepunkt 161
„ 131. Bemærkninger over Fibrernes Strækning og Kompression . 161
„ 132. Den almindelige Betingelse for Ligevægt mellem de ydre og de molekulære Kræfter 162
„ 133. Grændser for de permanente Modstande 163
„ 134. Værdie af den ved Böining frembragte proportionale Forlængring eller Forkortning 165
„ 135. Bemærkning ved foranstaaende Formel 165
„ 136. Tilfælde, hvori det er nödvendigt at holde Regning med de Kræfter, som virke normalt paa Gjennemsnittet etc. . . . 166
„ 137. Bemærkninger ved Störrelserne A og I 169
„ 138. Tilfælde, hvori Legemet har et konstant Profil i dets hele Længde 169

Værdier af forskjellige Profilers Inertiemomenter.

„ 139. Værdier af Störrelserne I og $\frac{I}{v'}$ med Hensyn til forskjellige i Bygværker i Brug værende Profiler 170
„ 140. Tilfælde, hvori Tværsnittets Omkreds har hvilkensomh. Form 171
„ 141. Særegne Former 172
„ 142. Rektangulært Tværsnit 173
„ 143. Inertiemomentet af et Rektangel med Hensyn til en af dets Sider 173
„ 144. Profil som dobbelt T 174
„ 145. Valtset Jern som dobbelt T 174
„ 146. Dobbelte T-Jern af Jernplader sammenföiede med Vinkeljern 175
„ 147. Modifikation af foregaaende Profil 175
„ 148. Hule, rektangulære Rör 177
„ 149. Rör med quadratisk Gjennemsnit 178
„ 150. Profil som et retvinklet Kors 178
„ 151. Sirkulært Profil 179
„ 152. Ringformet Profil, dannet af to koncentriske Sirkler . . 180
„ 153. Sammenligning mellem en fuld og en huul Sylinder med Hensyn til Modstand mod Böining 181
„ 154. Sylindriske Rör med tynde Vægge 181
„ 155. Elliptiske Profiler 181
„ 156. Profil som T 182
„ 157. Almindelige Proportioner for Dele af Stöbejern 183
„ 158. Tynde Dele af Smedejern 183

Praktiske Anvendelser og Formler.

Pagina.

§ 159. Praktiske Formler 183
„ 160. Legeme, befæstet ved en af dets Ender og underkastet en Vægt P, som virker i dets anden Ende perpendikulær paa dets Længde, og en ensformig fordelt Vægt 184
„ 161. Praktisk Værdie af Tallet R 185
„ 162. Prismatisk Legeme, befæstet ved en af dets Ender etc. . 186
„ 163. Sylindriske Legemer med sirkulært Tværsnit, under samme Omstændigheder som de foregaaende 187
„ 164. Tapper for Vandhjul 187
„ 165. Tilfælde, hvori Legemets Tværsnit er dannet som et dobbelt T 188
„ 166. Hule Rör med rektangulært Tværsnit 188
„ 167. Legemer, hvis Tværsnit har Formen af et Kors 189
„ 168. Modifikationer af de foregaaende Formler 190
„ 169. Tilfælde, hvori Belastningen P og den ensformig fordelte Belastning virke i modsatte Retninger 191
„ 170. Tilfælde, hvori Prismet er underkastet Pressioner, perpendikulære paa dets Længde etc. 191
„ 171. Tilfælde, hvor Prismet desforuden er belastet med ensformig fordelte Vægter 192
„ 172. Tilfælde, hvor Kræfterne virke i modsatte Retninger . . 192
„ 173. Prismatiske eller sylindriske Legemer, oplagte horizontalt paa to Underlag og belastede perpendikulær paa deres Længde 195
„ 174. Prismatisk eller sylindrisk Legeme, oplagt horizontalt paa to Underlag og udsat for en Belastning 2P, anbragt paa Midten perpendikulær paa Længden, og for en ensformig fordelt Last 196
„ 175. Bemærkninger over den Lethed, som det nærværende Tilfælde frembyder for Undersögelsen af Lovene for Böinings- og Brudsphænomenerne 197
„ 176. Prismatisk eller sylindrisk Legeme, oplagt frit paa to Underlag og belastet med en Vægt 2P, anbragt i Afstanden l' fra det ene og i Afstanden l'' fra det andet Understöttelsespunkt 197
„ 177. Tilfælde, hvor Prismet desforuden er belastet med en ensformig fordelt Vægt 199
„ 178. Prisma, oplagt paa to Underlag og belastet med Vægter, fordelte paa hvilkensomhelst Maade 200
„ 179. Tilfælde, hvori Kræfterne indskrænke sig til to lige Kræfter, virkende i lige Afstande fra Oplagspunkterne 202
„ 180. Tilfælde, hvori man medregner Legemets egen Vægt eller en ensformig fordelt Belastning 203
„ 181. Andre Anvendelser med Hensyn til Axler for Vandhjul . . 203
„ 182. Legeme, oplagt paa et Underlag og indmuret eller fastholdt ved dets anden Ende samt underkastet en Last P, virkende i hvilketsomhelst Punkt af dets Længde . . . 206

Legemer af lige Modstand.

Pagina.

§ 183. Legemer, som i alle deres Tværsnit frembyde lige Modstand 209
„ 184. Legemer af lige Modstand med sirkulært Tværsnit . . . 211
„ 185. Tilfælde, hvori Legemet kun er underkastet en ensformig fordelt Belastning, virkende perpendikulær paa dets Længde 212
„ 186. Tilfælde, hvori det er nödvendigt at beregne forskjellige Tværsnit 213

Om den elastiske Kurve og Böiningernes Udstrækning.

„ 187. Den elastiske Kurves Tegning 213
„ 188. Tilfælde, hvori den elastiske Kurve er en Sirkelbue . . 216
„ 189. Tilfælde, hvori Legemets Krumning er bestemt ved en Model, over hvilken man vil böie det 216
„ 190. Bestemmelse af Krumningspilene 217
„ 191. Særegent Tilf., hvori Legemets Tværsnit er et Rektangel etc. 219
„ 192. Sammenligning mellem Böiningerne af to Legemer med forskjellige rektangulære Tværsnit 220
„ 193. Praktiske Formler 220
„ 194. Sylindriske Legemer med sirkulært Tværsnit 221
„ 195. Udvidelse af foregaaende Betragtninger til almind. Tilfælde 221
„ 196. Observationer med Hensyn til Legemer af lige Modstand 222
„ 197. Stadfæstelse af foregaaende Formel ved Erfaring. . . . 224
„ 198. Anvendt Arbeide for at frembringe en angiven Böining . 225
„ 199. Tilfælde, hvori Legemernes Tværprofil ikke er konstant . 227
„ 200. Böining af et horizontalt Prisma, befæstet i den ene Ende og underkastet en ensformig fordelt Belastning og en Belastning, som virker i dets anden Ende 227
„ 201. Tilfælde, hvori Lasten P og den ensformig fordelte Belastning virke i modsat Retning. 229
„ 202. Böining af et Prisma, oplagt horizontalt paa to Underlag og belastet med en Vægt 2P i Midten af Afstanden 2C mellem Underlagene og med en ensformig fordelt Belastning af *p* Kilogrammer pr. löbende Meter af dets Længde . . . 229
„ 203. Midler, hvorved disse Formler kunne stadfæstes ved Erfaring 230
„ 204. Stadfæstelse af foranstaaende Formler ved Resultaterne af Charles Dupin's Forsög. 231
„ 205. Praktiske Formler 232
„ 206. Legemer med rektangulært Tværsnit 232
„ 207. Sylindriske Legemer. 233
„ 208. Sylindriske hule Legemer 233
„ 209. Legemer, oplagte paa forskjellige i lige Afstande fra hverandre staaende Underlag etc. 233
„ 210. Anvendelse af det Foranstaaende paa Tilfælde, hvori Legemerne ere befæstede i begge Ender 235

Pagina.

§ 211. Bemærkninger over Maaden, hvorpaa Befæstelsen opnaaes 236
„ 212. Bestemmelse af Tangenternes Helding til Legemernes Krumning 236
„ 213. Tilfælde, hvori Legemet tillige bærer en ensformig fordelt Belastning 238
„ 214. Tilfælde, hvori den ensformig fordelte Last og den ydre Kraft virke i modsatte Retninger 239
„ 215. Tilfælde, hvori Legemet kun er underkastet en ensformig fordelt Belastning 241
„ 216. Et Legeme, oplagt horizontalt paa to Underlag og underkastet en Belastning 2P i Midten af dets Længde . . . 242
„ 217. Et Legeme, oplagt horizontalt paa to Underlag og bærende en ensformig fordelt Belastning 242
„ 218. Et Legeme, oplagt horizontalt paa to Underlag, bærende en Last 2P i Midten af dets Længde og en ensformig fordelt Last $2pC$ 244

Praktiske Følger af Theorien.

„ 219. Fibrernes proportionale Forlængring eller Forkortning, frembragt ved Böiningen 245
„ 220. Anvendelse paa de praktiske Formler 246
„ 221. Sammenligning mellem Formlen, som udtrykker Betingelsen for den permanente Ligevægt og den, som giver Böiningen af Legemer, oplagte paa to Underlag 249
„ 222. Gammel Tömmermandsregel 250
„ 223. Følgeslutninger med Hensyn til Smede- og Stöbejernet . 251

Resultater af Forsög over Böining og deraf følgende Brud.

„ 224. Anvendelse af Formlerne paa de nyeste Forsög 252

Træarters Modstand mod Böining.

„ 225. Barlow's Forsög over Træets Böining 253
„ 226. Forsög af DHrr. Chevandier og Wertheim 255
„ 227. Virkning af Træets Törring med Damp eller med varmt Vand 257

Stöbejerns Modstand mod Böining.

„ 228. Forsög til Sammenligning mellem Böiningerne af Stöbejerns-Stænger og deres Bærevidder 258
„ 229. Andre Forsög over Modstanden af Stöbejern mod Böining og Brud paatværs 261
„ 230. Andre Forsög af Hr. Morris Stirling over blandet Stöbejern 266
„ 231. Blanding af Stöbejern med Affald af Smedejern 268
„ 232. Forsög over Modstanden af Stöbejerns-Stænger mod Brud ved Böining, anstillede af Hr. R. Stephenson 269

Pagina.

§ 233. Sammenligning mellem Stöbejern frembragt med kold, og med varm Luft 276
„ 234. Indflydelse af Stöbningsmaaden 276
„ 235. Forsög over Modstanden af Stöbejerns-Rör mod Böining paatværs 276
„ 236. Tidens Indflydelse paa Böiningerne 280
„ 237. Bemærkninger over Elasticitetens Forandring ved Stænger af Stöbejern 281
„ 238. Forsög over Stöbejernsstænger med Ribber 282
„ 239. Bemærkninger over Modstanden af Stænger med Ribber mod Brud 285
„ 240. Om Formen for Stöbejernsbjælker og om Maaden at belaste dem 287
„ 241. Bemærkninger over de af de engelske Ingenieurer antagne Proportioner for Bjælker af Stöbejern 288
„ 242. Følgeslutninger af Forsögene over Stöbejernets Modstand mod Böining og Brud 290

Smedejerns Modstand mod Böining.

„ 243. Forsög af Duleau over Smedejerns Modstand 291
„ 244. Forsög over Modstanden af Smedejerns-Rör, sveitsede og uden Nagler 292
„ 245. Om de sædvanlige Proportioner af valtset Smedejern, hvis Profil har Formen af et dobbelt T 294
„ 246. Fairbairn's Forsög med Smedejernsbjælker med Ribber af Form som et dobbelt T 299
„ 247. Fairbairn's 30te Forsög 299
„ 248. Et tredie Forsög 303
„ 249. Følgeslutninger af disse Forsög 304
„ 250. Forsög med en Bjælke, dannet af T-Jern forenede med Jernplader 304
„ 251. Forsögsmaaden 306
„ 252. Resultater af Iagttagelsen 309
„ 253. Bjælker af Træ med Armatur af Jern 311

Store Rör af Plader.

„ 254. Fairbairn's Iagttagelser over den bedste Form for Rörbroer 313
„ 255. Forsög over de Proportioner, som bör antages for Rörbroerne paa Jernbaner 314
„ 256. 33te Forsög 315
„ 257. 34te, 35te, 36te og 37te Forsög 319
„ 258. Brudforsög 320
„ 259. Forsög med det förste Rör til Conway-Broen 322
„ 260. Bestemmelse af den störste Forlængring, som Fibrerne lide i dette Forsög 326

Pagina.

§ 261. Anvendelse af den Regel, som forbinder Böiningerne med Bærevidderne etc. 328
„ 262. Beregningsmethode, antaget af nogle Ingenieurer . . . 328
„ 263. Værdie af Konstanterne R og R' 330
„ 264. Bemærkninger over Anvendelsen af Stöbejern 331
„ 265. Anvendelse af Angivelserne i § 263 paa Röret i Conway-Broen 332
„ 266. Belastninger, som de engelske Ingenieurer antage ved Beregningen af Jernbanebroer 333
„ 267. Den Gang, som bör fölges ved Beregningen af saadanne Legemer som Rörbroerne 335
„ 268. Samme Beregning under Forudsætning af, at Modstandene R og R' ere ulige 338
„ 269. Bemærkninger og Fölgeslutninger 340
„ 270. Rörenes Konstruktionsdetailler 340
„ 271. Rörets Bund 342
„ 272. Fugedækning 343
„ 273. Cellernes Skillevægge 344
„ 274. Tværsviller (Carlingues) 344
„ 275. Skinneveien 344
„ 276. Udvidelse 344
„ 277. Vertikale Sider 344
„ 278. Sidernes Forbindelse med Bunden og Taget 345
„ 279. Rörenes Tag 345
„ 280. Forsög over den transversale Modstandsevne hos en Bjælke af Jernplader 346
„ 281. Angivelser for Beregningen af Elasticitetskoefficienten . . 348
„ 282. Særegen Maade for Legemernes Belastning, og Regel, hvorefter man bringer den i Regning 349
„ 283. Ligevægtsforhold 352
„ 284. Nytten af de vertikale og horizontale Vinkeljern for de vertikale Sidevægge 353
„ 285. Bemærkning 353

Gulve af Jern.

„ 286. Gulve af Jern 354
„ 287. Forsög med Gulve af Jern 356
„ 288. Bemærkninger over Bjælkernes Oplægnings- og Forbindelsesmaade 358
„ 289. Modifikationer i Bjælkernes Form 358
„ 290. Anvendelse af dobbelte T-Jern for Gulve 359

Indflydelse af Lastens Bevægelse.

„ 291. Indflydelse af Lastens Bevægelse paa Legemernes Böining . 359

Pagina.

§ 292. Forsög, udförte i Portsmouth 361
„ 293. Undersögelse af disse Forsögs Resultater 363
„ „ Forsög af DHrr. James og Galton 368
„ 294. Fölgeslutninger af disse Forsög 373

Foranderlighed hos Vognaxler.

„ 295. Vognaxlers Forandring ved længere Brug 373
„ 296. Om Vognaxler paa almindelige Veie, af Marcoux . . . 374
„ 297. Meddelelse af Arnoux 376

Tömmerværk.

„ 298. Almindelige Betragtninger 379

Kræfternes Fordeling og praktiske Angivelser.

„ 299. Ligevægtsforhold af heldende Legemer etc. 380
„ 300. Heldende Legeme, befæstet i B og underkastet to Kræfter P og Q, den ene virkende vertikalt, den anden horizontalt i dets Ende, samt en paa dets Længde ensformig fordelt Belastning 382
„ 301. Anvendelse 383
„ 302. Bemærkning om den Betingelse, som gjör Böiningen lig Nul 385
„ 303. Anvendelser 386
„ 304. Belastning af Tage pr. Quadratmeters Overflade 388
„ 305. Do. „ „ „ „ „ 389
„ 306. Anvendelse af foranstaaende Formler 393
„ 307. Formler for Tagstolstræbere eller Spærrer af Smedejern . 394
„ 308. Tagstolstræbere med Ribber 396
„ 309. Anvendelse paa Tage i Jernbanestationerne i Saint-Germain og Versailles 397
„ 310. Bemærkninger over Anvendelsen af T-Jern med en given Form 398
„ 311. Trækbaandenes Dimensioner 399
„ 312. Tilfælde, hvor Trækbaandet ikke er horizontalt 401
„ 313. Tabel over Spændbjælkernes og Trækbaandenes Dimensioner 401
„ 314. Tagstolstræber eller Spærre, som stöder imod en Spændrigel 407
„ 315. Anvendelse paa Tagstolstræberne i Palladio's Binder med Spændrigel 409
„ 316. Praktiske Formler 409
„ 317. Anvendelse paa Spændbjælkerne i Palladio's Tagstole . . 414
„ 318. Trækbaand eller Spændbjælker af Jern 415
„ 319. Indflydelse af Temperaturforandringerne paa Trækbaandenes Spænding 417
„ 320. Et Legeme oplagt paa to Underlag og nedenunder forstærket med en Stötte og to Trækbaand af Jern 419

Pagina.

§ 321. Tagstole af store Bærevidder med Trækbaand og Stræbebaand af Jern 424
„ 322. Tilfælde, hvor Trækbaandet i Midten ligger höiere end Tagstolens Understöttelsespunkter 428
„ 323. Forsög til direkte Bestemmelse af Trækbaandenes Spænding 428
„ 324. Do. med en sammensat Tagbinder 431
„ 325. Fölgeslutninger af disse Forsög 432
„ 326. Tagstole efter Model af Stationsbygningerne paa Jernbanen i Versailles og Saint-Germain samt af Exerceerhuset i Vincennes 432
„ 327. Om Stræbebaandene 434
„ 328. Bemærkninger over de foranstaaende Regler 434
„ 329. Sammenföininger 435
„ 330. Anvendelse paa Exerceerhuset i Vincennes 436
„ 331. Do. paa Jerntagstolen over Stationsbygningen paa Jernbanen fra Saint-Germain og Versailles 439
„ 332. Proportionalitet mellem Trækbaandenes Tværsnit og Bærevidderne 441
„ 333. Bemærkning over Sammensætningen af Tagstole med stor Bærevidde 442

Tagstole af Jern for Zinktage.

„ 334. Anvendelse paa Tækning med Zink 443
„ 335 Dimensioner af de Dele, som ere underkastede en Trækkekraft 445
„ 336. Tagstolstræbernes Dimensioner 447
„ 337. Stræbebaandenes Dimensioner 455
„ 338. Resultater og Fölger 457
„ 339. Dimensioner af de langslöbende Dele 460
„ 340. Denne Bemærknings Indflydelse paa de foregaaende Resultater 463
„ 341. Stræbebaand af Stöbejern 464

FJERDE AFDELING. — Vridning. (Torsion).

Theoretiske Begreber.

„ 342. Legemernes Modstand mod Vridning 466
„ 343. Ensartede Legemers Modstand mod Vridning. etc. . . . 468
„ 344. Bemærkninger betræffende Sylindre og Prismer 469
„ 345. „ over Brugen af foranstaaende Formel . . 470
„ 346. Anvendelse af foranstaaende Formel paa Sylindre og Prismer 471
„ 347. Værdie af Tværsnittenes polare Inertiemoment 471

Erfaringsresultater og praktiske Formler.

„ 348. Duleau's Forsög over Vridning 472

Pagina.

§ 349. Forsög over Vridning af Stöbejern 474
„ 350. Værdie af Koefficienten G 477
„ 351. Praktiske Grændser for Vridningsvinklen 478
„ 352. Anvendelser og praktiske Formler 479
„ 353. Stöbejerns Modstandsevne mod Brud ved Vridning . . . 484
„ 354. Carillion's Forsög over Stöbejerns Modstandsevne mod Brud ved Vridning 485
„ 355. Bemærkninger med Hensyn til de praktiske Formler i § 352 486
„ 356. Et Tilfælde, hvori man er nödt til at udsætte Legemerne for en betydelig Vridning 487

Første Afdeling.

Strækning. (Extension).

§ 1. *Almindelige Betragtninger.* — Legemerne maae betragtes som sammensatte af Molekuler, hvilke paa den Maade tiltrække og frastøde hverandre, at den Tiltrækningss- og Tilbagestødningskraft, som bevæger disse Molekuler, sætter sig i Ligevægt under den sædvanlige eller normale Tilstand. Heraf følger, at enhver Kraft, som stræber at drive disse Molekuler fra hverandre, at sprede dem, fremkalder og sætter i Virksomhed den attraktive Reaktion, og at enhver Kraft, som stræber at nærme dem til hverandre, at sammentrykke dem, udvikler en Repulsions-Reaktion.

Erfaring lærer, at Forlængringerne lige saavel som Forkortningerne eller Sammentrækningerne inden visse Grændser ere proportionale med de Kræfter, som frembringe dem; det samme maa følgelig ogsaa være Tilfældet med de tiltrækkende eller frastødende Reaktionskræfter, som ere hine Kræfter lige og modsatte. Dette Princip blev halv om halv erkjendt af den berømte engelske Geometer Hooke, som levede omkring Aaret 1670, og udtryktes af ham med de Ord: *ut tensio sic vis.* Men Erfaringen lærer ogsaa, at denne Proportionalitet ophører udenfor visse Grændser, og at Forlængringerne og Forkortningerne da tiltage langt hurtigere end de Kræfter, som frembringe dem.

Saalænge Forlængringerne og Forkortningerne staae i Forhold til de Kræfter, som frembringe dem, bemærker man, at, naar Kraften eller Aarsagen ophører at være virksom, giver ogsaa Virkningen synbart efter, og at Legemet ved den tiltrækkende eller frastødende Reaktion af dets Molekuler nøie, eller næsten aldeles nøie vender tilbage til sin oprindelige Form. Man siger da, at Legemets Elasticitet ikke er bleven forandret eller overskredet, og den iagttagne Forlængring eller Forkortning, som er forsvundet, kaldes *„elastisk Forlængring eller Forkortning“*. Naar derimod Forlængringerne eller Forkortningerne have ophørt at være proportionale med de Kræfter, som frembringe dem, vende Legemerne ikke længere tilbage til sin forrige Form. Naar hine Kræfter ophøre at virke, forblive disse tildeels enten forlængrede, forkortede eller sammentrykkede; man siger da, at deres Elasticitet er forandret, og den Forskjel, som findes i Formen, kaldes, alt efter Omstændighederne, *„permanent Forlængring, Forkortning eller Böining“*.

§ 2. Det maa bringes i Erindring, at, naar det under visse Omstændigheder synes, som om nogle Legemer ere begavede med en fuldkommen Elasticitet og i alle sine Dele igjen antage den oprindelige Form, medens andre tilsyneladende slet ikke besidde nogen Elasticitet og ere fuldkommen bløde, er dette ikke ganske rigtigt. Det er sjeldent, at der ikke paa enhver Indvirkning paa Legemet følger en meer eller mindre bemærkelig Forandring af Formen og en meer eller mindre fuldstændig Tilbagevenden til den oprindelige Form.

§ 3. *Indflydelse af Kræfternes Varighed.* — Tiden og Varigheden af Kræfternes Virksomhed synes forøvrigt i disse Virkninger at spille en vigtig Rolle, som man mangengang maa tage i Betragtning; heraf kommer det, at de Kræfter, som man for et Øieblik kan lade virke paa et Legeme uden Frygt for, at dets Elasticitet skal angribes,

ere større end de, som man kan anvende i et vist ubestemt Tidsrum eller paa en permanent Maade.

§. 4. *Nødvendigheden af at indskrænke Kræfterne til Værdier, som ere mindre end de, der svare til Forandring af Elasticiteten.* — Da Elasticitetens Overskriden er Forløber for Brud, og da den — engang begyndt — tiltager mere og mere under Virkningen af de samme Aarsager, saa følger deraf, at man ved Bygværker stedse maa undgaae at underkaste Legemerne Kræfter, som kunde frembringe disse Forandringer. Det maa desuden bemærkes, at de Legemer, som anvendes ved Bygværker, og især Maskindele, næsten altid ere udsatte for tilfældige Kræfter, større end de Middelkræfter, man beregner for Rystelser, — mangengang for chemiske Forandringer, og at Klogskab fordrer, at man indskrænker Kræfterne til Værdier, der ere betydelig mindre end de, som svare til en Forandring af Elasticiteten.

§. 5. *Definition af Elasticitets-Koefficienten eller Modulen, og Maaden, hvorpaa den bestemmes.* — Naar et prismatisk eller sylindrisk Legeme af Længde L og med Tværsnit af Fladeindhold A er udsat for en efter dets Længde og i Retningen af dets Axe virkende Trækkekraft, som vi ville betegne med P, forlængres det under Virkningen af denne Kraft; naar denne Forlængring, som vi ville kalde l, er proportional med dets hele Længde, saaledes at Forholdet $\frac{l}{L}$ er en konstant Størrelse, ville vi betegne dette med i, som følgelig forestiller Forlængringen pr. løbende Meter.

Saalænge Kraften P ikke overskrider visse Grændser, voxer den elastiske Forlængring i, som anført, proportionalt med Forholdet $\frac{P}{A}$ eller med Belastningen pr. Eenhed af Gjennemsnitsfladen, saaledes at Forholdet $\frac{P}{A}$ til i eller $\frac{P}{Ai}$ er en konstant Størrelse, som man kalder „*Elasticitets-*

Koefficienten eller *Modulen*", og sædvanlig betegner med Bogstavet E; denne Størrelse er da konstant for samme Legeme i en og samme Tilstand. Naar man antog, at Tværsnittet var ligt Fladeenheden, og at Forlængringen i pr. løbende Meter uden Forandring af Elasticiteten kunde være lig Længdeenheden, vilde man have $Ai = 1$, og $P = E$ vilde da være den pr. Fladeenhed baarne Belastning, og den Kraft, som vilde være istand til pr. Længdeenhed at frembringe en elastisk Forlængring lig denne Enhed.

Det, som nu er bleven sagt med Hensyn til Forlængringerne, lader sig ogsaa anvende paa Forkortningerne ved Sammentrykning, og man antager almindeligt, at Elasticitetskoefficienten i begge Tilfælde har den samme Værdie; men der gives Legemer, f. Ex. Støbejern, og meget sandsynlig de kornige Legemer ialmindelighed, for hvilke denne Lighed ikke finder Sted, eller kun finder Sted inden visse Grændser.

Naar Lasten P er den, som bæres af enhver Quadratmillimeter i Tværsnittet, har man ifølge de foregaaende Definitioner $A = 1$ □ Millimeter, og er i den til Elasticitetsgrændsen svarende Forlængring pr. Meter, bliver Forholdet $P = AEi$ forandret til Forholdet $P = Ei$, hvoraf $E = \frac{P}{i}$, hvilket gjør det muligt, — som længere hen skal paavises —, ved Forsøg at bestemme Værdien af Tallet E pr. Quadratmillimeter, og derpaa for et Legeme med givet Gjennemsnit A at beregne saavel den Belastning, som udfordres til at frembringe en bestemt Forlængring, som den Forlængring, der frembringes af en given Belastning.

Sædvanligvis ville vi henføre Værdien af E til Quadratmetren, idet vi udtrykke Indholdet A af Legemets Tværsnit i Quadratmeter.

Forøvrigt behøver man kun at kjende Eenheden af Fladeindholdet, for at der ikke skal opstaae nogen Forvirring.

SMEDEJERNS ABSOLUTE STYRKE.

§ 6. *Erfaringsresultater.* — De Forhold, som vi satte ud fra hverandre, da vi talte om Legemernes Forlængring eller Forkortning under Virkningen af Trækkekraften eller af et efter Længden virkende Tryk, ere blevne aldeles utvetydige ved den graphiske Fremstilling af Forsøgsresultaterne. Vi ville anføre flere Exempler paa disse.

§ 7. *Bornet's Forsög.* — Vi berøre først Bornet's Forsøg; han underkastede en Jernstang af 49,50 Millimetres Diameter og 6m,42 Længde en efter Længden virkende Trækkekraft; dernæst Ingenieurofficieren Ardant's Forsøg med udglødet Traad af blødt Jern og med ikke udglødet Traad af haardt Jern. Resultaterne af disse Forsøg ere henførte til Forlængringerne paa den løbende Meter og til Belastningerne paa Quadratmillimetren af Tværsnittet.

Stænger af blödt Jern.		Jerntraad.		
Belastning pr. □ Millimeter.	Forlængring pr. löbende Meter.	Belastning pr. □ Millimeter.	Forlængring pr. löbende Meter.	
			Blödt udglödet Jern.	Haardt ikke udglödet Jern.
Kilogrammer	Millimeter	Kilogrammer	Millimeter.	Millimeter
2	0,08	5	0,294	0,260
4	0,16	10	0,588	0,520
6	0,31	10	0,882	0,780
8	0,36	15	1,176	1,040
10	0,47	20	1,470	1,300
12	0,55	25	2,500	4,569
14	0,69	30	13,000	„
16	0,86	32,5	14,100	2,220
18	2,20	35,0	18,000	2,400
20	15,76	40,0	20,500	„
22	24,34	42,5	Brud.	2,820
24	34,97	45,0	„	3,100
26	46,96	49,0	„	Brud.
28	67,70	50,0	„	„
30	89,39	„	„	„
32	132,48	„	„	„
	Brud.			

§ 8. *Undersögelse af disse Resultater.* — Naar vi nu antage Forlængringerne pr. løbende Meter som Abscisser og Belastningerne pr. □ Millimeter som Ordinater, saa kunne vi fremstille Resultaterne af Forsøgene ved Kurven *Aaaa* for Stangjern, ved Kurven *Abbb* for udglødet, og endelig ved Kurven *Accc* for ikke udglødet Jerntraad (Pl. I, Fig. 1). Man seer, at ved de ringere Belastninger er Forholdet af Forlængringerne til Belastningerne fremstillet ved en igjennem Begyndelsespunktet gaaende, ret Linie, hvilket leverer et Bevis for, at Forlængringerne i Begyndelsen staae i et konstant Forhold til Belastningerne. Videre sees af Kurven *Aaaa*, at hinsides Belastningen 14 til 16 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter tiltage Forlængringerne eller Abscisserne hurtigere end Belastningerne, og desto hurtigere, jo større Belastningerne ere. Det synes imidlertid, som om der efter en vis Forlængring af omtrent 2,50 til 3 Millimetre pr. Meter indstiller sig et andet bestandigt Forhold mellem Belastningerne og Forlængringerne, og som om dette nye Forhold bestaaer indtil den Belastning, som er nær Brudbelastningen.

Kurven *Abbb* for den udglødede Traad viser, at Elasticiteten forandrer sig ved disse Traade noget senere end ved tykkere Stænger. Samtidig seer man, at Bruddet paafølger ved stærkere Belastninger, men med ringere Forlængringer. Kurven *Accc* for den ikke udglødede Traad lader endelig bemærke, at Proportionaliteten af Belastningerne til Forlængringerne holder sig længer end for det bløde eller udglødede Jern, og at Bruddet finder Sted ved stærkere Belastninger, men ved svagere Forlængringer.

Af denne Sammenligning følger, at naar Elasticiteten af det bløde Jern, eller ialmindelighed af de seige Metaller begynder at forandre sig ved mindre Belastninger end ved det haarde Jern eller ved de haarde Metaller, finder Bruddet først kun Sted efter meget betydeligere Forlængringer, og at denne Formforandring er et Tegn paa, en

Forkyndelse af Elasticitetsforandring, medens Bruddet ved de haarde Metaller finder Sted pludseligt, og uden at en betydelig Elasticitetsforandring har antydet den nære Forestaaen af dette Brud.

Man bemærker forøvrigt, at, naar Elasticitetsforandringen engang er indtraadt, tiltage Forlængringerne langt hurtigere i Forhold til Belastningerne end førend denne Forandring, og at det følgelig for de Materialier, som anvendes til Bygninger, er vigtigt at kjende den Grændse for Strækkings-Belastningerne, ved hvilken denne Forandring begynder at indfinde sig. Fremdeles, for at Rystelser og tilfældige Kræfter ikke skulle udsætte Legemerne for Trækkekraft og Spændinger, som kunne forandre deres Elasticitet, er det hensigtsmæssigt at beregne disse Legemers Dimensioner saaledes, at den midlere permanente Kraft, som de have at bære, ikke frembringer nogen Forlængring, som er større end Halvparten af den, ved hvilken deres Elasticitetsforandring begynder.

Endelig kan uddrages af de foregaaende Bemærkninger, at Værdien $E = \frac{P}{Ai}$ af Forholdet, som vi i § 5 kaldte Elasticitets-Koefficienten, kun er konstant inden hine Grændser, hvor Forlængringerne ere proportionale med Belastningerne; en Sag, som forøvrigt vil sees af talrige Exempler.

§ 9. *Eaton Hodgkinson's Forsög.* — Den lærde Physiker Hodgkinson har man at takke for en Mængde Forsøg over Byggematerialiernes Modstandsevne, og især over Metallernes Strækning. Blandt disse med megen Omhyggelighed udførte Forsøg anføre vi først og fremst dem, som angaae Forlængringen af Smedejerns-Stænger ved det efter Længden virkende Træk.

Det Jern, hvormed disse Forsøg bleve foretagne, var af den bedste Beskaffenhed. Stængerne dannedes af flere Dele og forbandtes ved Muffer, saa at de havde en Total-

længde af omtrent $15^{m},00$, med en midlere Diameter af 13,13 Millimetre; Tværsnittet beløb sig til 135,39 Quadratmillimetre.

Ved enhver Kraftyttring af Belastningen maaltes den totale Forlængring, og efter Belastningens Fjernelse den permanente Forlængring, hvorefter man af Forskjellen udledede den elastiske Forlængring. Man vil bemærke, at Stængernes store Længde tilstedede at maale de totale Forlængringer med megen Nøiagtighed, og følgelig med samme Nøiagtighed at udlede de forholdsmæssige Forlængringer, eller Forlængringen for Længdeenheden. I efterfølgende Sammenstilling ville vi kun meddele Resultaterne af en eneste Række af Hodgkinson's Forsøg, idet vi anføre Belastningerne pr. Quadratcentimeter, Forlængringerne pr. løbende Meter, og Forholdet af Belastningerne pr. Quadratmeter til Forlængringerne pr. løbende Meter, for at erholde Elasticitets-Koefficienten.

Forsög til Bestemmelse af den totale og permanente Forlængring, som blev frembragt ved forskjellige Belastninger, der virkede ved Træk paa en Smedejerns-Stang af bedste Qualitet, af Hodgkinson.

Belastning pr. □ Centimeter i Kilogrammer P.	Forlængring pr. löbende Meter.		Elasticitets-koefficient E pr. □ Meter.
	Total.	Permanent.	
Kilogrammer	Millimeter	Millimeter	Kilogrammer
187,429	0,000082117	„	22824500000
374,930	0,000185261	„	22216200000
562,406	0,000283704	0,00254	19824100000
749,456	0,000379476	0,0033894	19704000000
937,430	0,000475113	0,0042398	19729900000
1124,813	0,000570792	0,00508	19706000000
1312,283	0,000665647	0,0067705	19714600000
1499,720	0,000760311	0,0100879	19320300000
1687,219	0,000873265	0,0330283	19320700000
1874,645	0,001012911	0,0829955	18398100000
2063,580	0,001283361	0,2616950	16079200000
2249,627	0,002227205	„	„
„	0,002359800	1,1297600	10101580000
2403,653	0,004287185	3,0709900	5606590000
2624,564	0,009156490	8,4690700	2866380000
„	0,009950970	8,5748700	„
2812,033	0,010492805	9,1023600	2681520000
gjentaget efter 1 Time	0,011750313	„	„
„ „ 2 „	0,011858889	„	„
„ „ 3 „	0,011933837	„	„
„ „ 4 „	0,011942168	„	„
„ „ 5 „	0,011958835	„	„
„ „ 6 „	0,011967149	„	„
„ „ 7 „	0,012027114	„	„
„ „ 8 „	0,012027114	„	„
„ „ 9 „	0,012027114	„	„
„ „ 10 „	0,012027114	„	„
2999,500	0,017888263	16,5145	1676820000
„	0,019478898	„	„
„	0,01984831	18,4212	„
„	0,02022006	18,8886	„
3186,973	0,02148590	19,7954	1483290000
„	0,02169401	„	„
„	0,02170242	„	„
„	0,02170242	22,0119	„
3374,440	0,02477441	22,7087	1362020000
„	0,02514184	„	„
„	0,02522512	„	„
3561,900	0,03493542	32,8201	1019580000
„	0,03519357	„	„
„	0,03520190	„	„
„	0,03520190	„	„
3745,361	„	„	„

§ 10. *Slutningsfölger af disse Forsög.* — Resultaterne af disse Forsøg kunne fremstilles graphisk, naar man, som forhen, betragter Totalforlængringerne og de permanente Forlængringer som Abscisser og Belastningerne som Ordinater til en Kurve, som angiver den Lov, der forbinder disse Størrelser. Denne Konstruktion blev udført i en stor Maalestok, for at gjøre Resultaterne desto anskueligere, men kan i vor Figur 2 (Pl. I) kun gjengives meget lille.

Den paa denne Maade erholdte Kurve viser:

1. At de totale Forlængringer indtil Belastningen $1499^{Kil},72$ pr. Quadratcentimeter, eller $14^{Kil},9972$ pr. Quadratmillimeter, (20546 $\mathfrak{T}$ *) pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt) tiltage forholdsmæssig med Belastningerne.

---

*) For i nærværende Afhandling ikke overalt at foretage Reduktioner fra fransk Maal og Vægt til norsk Maal og Vægt, angives her, efter de mig bekjendte bedste Sammenligningstabeller, Forholdet mellem de franske og norske Maal- og Vægt-Eenheder. Ligeledes angives de Koefficienter, som kunne bruges ved Reduktionerne af Belastninger med det ene Lands Vægteenheder paa Sammes Eenheder af Flademaal til Belastninger med det andet Lands Vægteenheder paa dettes Fladeenheder.

2. At det samme er Tilfældet med de permanente Forlængringer, og at disse sidste Forlængringer inden de netop

Norsk Maal.		Fransk Maal.			
1. Længdemaal.	Meter	Decimeter	Centimeter	Millimeter
1 Fod . . . . . =	0,3138535	= 3,138535	= 31,38535	313,8535
1/12 Fod = 1 Tomme . . . . . =	0,0261545	= 0,261545	= 2,61545	26,1545
3,186199 Fod = 38,234388 Tommer . . =	1,00	= 10,00	= 100,00	1000,00
3,8234388 Tommer . . . . . =		1,00	=	„
0,38234388 Tomme . . . . . =		„	= 1,00	
0,038234388 Tomme . . . . . =		„	=	1,00
2. Flademaal.	□ Meter	□ Decimeter	□ Centimeter	□ Millimeter
1 □ Fod . . . . . =	0,09850405	= 9,850405	= 985,0405	= 98504,05
1/144 □ Fod = 1 □ Tomme . . . =	0,00068405787	= 0,068405787	= 6,8405787	= 684,05787
10,15187 □ Fod = 1461,86928 □ Tom. =	1,00	= 100,00	= 10000,00	= 1000000,00
14,6186928 □ Tommer . . . . . =		1,00	=	„
0,14618928 □ Tomme . . . . . =		„	= 1,00	„
0,00146186928 □ Tomme . . . . . =		„	=	„ 1,00
3. Vægt.		Kilogrammer		
1 Pund . . . . . =		0,499309.		
2,002768 Pund . . . . . =		1,000.		

anførte Grændser ere overordentlig smaae og i det høieste hæve sig til 0,01 Millimeter pr. Meter under en Belastning af 14^{Kil},997 pr. □ Millimeter.

3. At over en Belastning af 14^{Kil},997, og især at regne fra 18^{Kil},74 pr. Quadratmillimeter, tiltage de totale og permanente Forlængringer meget hastigt og i stærkere Forhold end Belastningerne.
4. At ved et vist Punkt, førend Belastningen af 22^{Kil},49 pr. Quadratmillimeter, blive de totale Forlængringer igjen mærkelig proportionale med Belastningerne, dog i et langt større Forhold end det, som svarer til de smaae Belastninger. Henimod de Brudbelastningen nær kommende Belastninger vare Forlængringerne noget ringere end de, som den nye Proportionalitet vilde antyde.

Reduktionskoefficienter fra fransk Maal og Vægt til norsk Maal og Vægt.

Fra Kilogrammer paa □ Meter til norske ℔ paa □ Tomme.	Fra Kilogrammer paa □ Decimeter til norske ℔ paa □ Tomme.	Fra Kilogrammer paa □ Centimeter til norske ℔ paa □ Tomme.	Fra Kilogrammer paa □ Millimeter til norske ℔ paa □ Tomme.
0,00137	0,137	13,70	1370,00

Reduktionskoefficienter fra norsk Maal og Vægt til fransk Maal og Vægt.

Fra norsk ℔ paa □ Tomme til Kilogrammer paa □ Meter.	Fra norsk ℔ paa □ Tomme til Kilogrammer paa □ Decimeter.	Fra norsk ℔ paa □ Tomme til Kilogrammer paa □ Centimeter.	Fra norsk ℔ paa □ Tomme til Kilogrammer paa □ Millimeter.
730,00	7,30	0,073	0,00073

Exempler: Belastning af 14,9972 Kilogr. pr. □ Millimeter = 14,9972 × 1370,00 = 20546,164 norske ℔ pr. □ Tomme norsk. Belastning af 20546,164 norske ℔ pr. □ Tomme norsk = 20546,164 × 0,00073 = 14,9972 Kilogr. pr. □ Millimeter.

Garben.

5. Betræffende de permanente Forlængringer, hvis Variationslov ligeledes blev fremstillet graphisk, dog i en endnu større Maalestok, nemlig med 400 Millimetre for 1 Millimeters Forlængring, og med 20 Millimetre for 1 Kilogrammes Belastning pr. □ Millimeter, da viser Tegningen, som i Fig. 3 er gjengivet i en kun meget liden Maalestok, ligeledes, at de, naar man har forøget Belastningen forholdsmæssig til henimod $14^{Kil},99$ pr. Quadratmillimeter, tiltage meget hurtigt og meget hurtigere end de totale Forlængringer. Videre bemærker man, at disse permanente Forlængringer tiltage med Belastningens Varighed, omendskjønt meget langsomt.

6. Værdierne af Forholdet $\frac{P}{i}$ af Belastningerne pr. Quadratmeter til Forlængringerne pr. Meter, som man kalder Elasticitets-Koefficienten eller Modulen, ere mærkelig konstante, saalænge Forlængringerne ere proportionale med Belastningerne, — og den midlere Værdie, som disse Forsøg levere, er:

$$E = 19816440000\ *)$$ Kilogrammer

naar Belastningerne henføres til Quadratmetren og Forlængringerne til den løbende Meter.

En anden Række Forsøg, som blev udført med en Stang af $15^{m},25$ Længde og 19,09 Millimetres Diameter, følgelig med et Tværsnit af 286,9 Quadratmillimetre, eller noget mere end det Dobbelte af den første Stangs, har leveret Resultater, som paa meget lidet nær ere identiske med de forrige, især inden de Grændser, hvor Elasticiteten ikke bliver betydelig forandret. Man har deraf udledet som midlere Værdie for Elasticitetsmodulen,

$$E = 19359458500\ **)$$ Kilogrammer

---

*) $E = 27148500$ ℔ norsk Maal og Vægt, naar Belastningerne henføres til □ Tommer og Forlængringerne til hver 3,186199 Fod.

**) $E = 26522460$ ℔ norsk Maal og Vægt, naar Belastnin-

naar man henfører Belastningerne til Quadratmetren og Forlængringerne til den løbende Meter.

§ 11. *Bemærkninger om Hodgkinson's Slutninger.* — Hr. Hodgkinson slutter af sine Forsøg, at der lige fra de svageste Belastninger paafølger en permanent Forlængring, og deri stemmer han overeens med andre Experimentatører. Men for det Første synes det ikke, som om noget af hans Forsøg har sigtet til at udfinde, om Tiden, som forøger de stadige Forlængringer, naar Belastningen bliver hængende, ikke ogsaa bidrager til, at de forsvinde, naar Belastningen fjernes; og videre er at bemærke, at mellem de Grændser, hvor Jernets elastiske Forlængringer ere proportionale med Belastningerne, blive de permanente Forlængringer saa svage, at man i Praxis kan sætte dem aldeles udaf Betragtning, saasom de ved en Belastning af $14^{Kil},997$ pr. Quadratmillimeter (20546 ℔ pr. □″ Norsk), som man desuden aldrig bør naae, kun beløbe sig til 0,01 Millimeter pr. Meter (0,00001 Fod pr. løbende Fod Norsk).

Endelig er det ikke overflødigt her strax at bemærke, at det ved alle Forsøg af dette Slags er meget vanskeligt at undgaae, at Apparatet selv lider nogen Sænkning eller Bøining, som ikke forsvinder, og som føies til de ved Iagttagelserne udfundne permanente Forlængringer.

§ 12. *Tilfælde, i hvilke det er nödvendigt at tage Hensyn til de for Trækkekraften udsatte Stængers egen Vægt.* — Ved Vandopfordringsmaskiner, ved Boringer i store Dybder er det uundgaaelig nødvendigt at bringe Stængernes Vægt med i Beregning, fordi denne ofte er meget betydelig. I saadanne Tilfælde er Stangens Længde L bekjendt, og naar man kalder *d* dens Diameter i Metre, P Vægten, som skal bæres, eller Spændingen, som skal udøves, og *p* Vægten af en Kubikmeter — eller af den lø-

---

gerne henføres til □ Tommer og Forlængringerne til hver 3,186199 Fod.

bende Meter med 1 Quadratmeters Tværsnit — af Stangens Material, saa vil den hele Vægt, som skal bæres, være

$$P + \frac{d^2}{1{,}273} Lp$$

hvilken maa være lig den Maximumsbelastning, som Klogskab byder at give en Stang af den anvendte Materie at bære. Naar der f. Ex. handles om en Jernstang, og man tilsteder en permanent Belastning af 8 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter eller 8000000 Kilogrammer pr. Quadratmeter, saa bør Totalbelastningen, forudsat at man anvender udsøgt Material, ikke beløbe sig til mere end

$$\frac{d^2}{1{,}273} \times 8000000 \text{ Kilogr.}$$

Man vil altsaa have Forholdet

$$P + \frac{d^2 L}{1{,}273} p = \frac{d^2}{1{,}273} 8000000$$

hvoraf

$$P = \frac{d^2}{1{,}273} (pL - 8000000),$$

et Udtryk, som giver Belastningen P, naar Diametren d er bekjendt, eller Diametren

$$d = \sqrt{\frac{1{,}273\,P}{pL - 8000000}}$$

naar Belastningen P er given.

Forøvrigt er det indlysende, at den Belastning, som Legemet med Sikkerhed kunde bære, maatte være Nul, naar man havde

$$pL = 8000000 \text{ Kilogr. eller } L = \frac{8000000}{p}.$$

Er Spørgsmaalet om Jern, saa er $p = 7700$ *) Kilogr. omtrent, og man finder $L = 1039$ Metre, som den største

*) Benyttes Formelen for Norsk Maal og Vægt, sættes $p = 1$ Kubikfod $= 477$ ℔; for norsk □ Fod bliver $30000000 = 41100 \times 144 = 5918400$ ℔, og $L = \frac{5918400}{477} = 12407$ Fod Norsk; omtrent. som Ovenstaaende.

Længde, hvormed en Jernstang af ensformigt Gjennemsnit kan anvendes med Forsigtighed.

Kom det an paa at beregne den Længde, med hvilken en Stang vilde brækkes under sin egen Vægt, da er det bekjendt, at for Jern beløber Trækkekraften, som er istand til at frembringe Brud, sig til omtrent 3000000 Kilogrammer pr. Quadratmeter af Tværsnittet (41100 ℔ pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt), og Vægten

$$\frac{d^2 L}{1{,}273} \times 7700 \text{ Kilogrammer}$$

maatte da være lig $\frac{d^2}{1{,}273} \times 30000000$, hvilket giver Ligningen

$$7700\,L = 30000000,$$

hvoraf

$$L = \frac{30000000}{7700} = 3896 \text{ Metre},$$

naar Tværsnittets Fladeindhold er konstant.

Dette Resultat viser, at man til Borestænger, som skulle anvendes i store Dybder, som f. Ex. ved Grenellebrønden, fremfor Alt maa vælge Jern af den bedste Qualitet, og at man, eftersom Dybden tiltager, forholdsmæssig maa forstørre Dimensionerne af disse Stængers øvre Dele.

STØBEJERNS ABSOLUTE STYRKE.

§ 13. *Forsög med Stöbejern.* — Hodgkinson har med Støbejern udført lignende Forsøg som de forrige, for at bestemme saavel dets absolute som dets tilbagevirkende Styrke. Vi ville først beskjæftige os med den absolute.

Forsøgene bleve anstillede med fire Slags Støbejern, nemlig fra Lowmoor No. 2, fra Blaenavon No. 2, fra Gastsherrie og med en Blanding af lige Dele Støbejern fra Leeswood No. 3 og Glengarnock No. 3.

Stængerne havde et Gjennemsnit af 6,45 Quadratmillimetre og en Totallængde af $15^m,25$, frembragt ved en Sammenføining af Stænger, hver af $3^m,05$ Længde.

Følgende Tabel angiver de Resultater, som ere udledede af det almindelige Middeltal af Iagttagelserne med ovennævnte 4 Støbejernssorter.

Belastning pr. □ Centimeter i Kilogrammer P.	Forlængring pr. löbende Meter.		Elasticitetsmodul pr. □ Meter E.
	Total.	Permanent.	
Kilogrammer	Millimeter	Millimeter	Kilogrammer
73,955	0,000075	„	9 855 670 000
111,005	0,000114	0.00183	9 774 670 000
148,142	0,000155	0,00454	9 563 690 000
220,630	0,000239	0,00891	9 231 000 000
296,206	0,000426	0,01460	9 096 500 000
370,282	0,000416	0,02200	8 892 550 000
444,336	0,000551	0,03100	8 703 850 000
517,436	0,000611	0,04300	8 464 900 000
592,450	0,000715	0,05590	8 281 800 000
666,508	0,000828	0,07030	8 044 070 000
740,555	0,000946	0,08840	7 827 850 000
814,619	0,001068	0,10880	7 624 200 000
886,676	0,001206	0,13390	7 541 170 000
962,787	0,001392	0,17460	6 931 110 000
1039,621	0,001548	0,20070	6 723 130 000

§ 14. *Diskussion af disse Forsögs Resultater.* — For graphisk at fremstille Resultaterne af disse Forsøg har man, ligesom i det Foregaaende, antaget Forlængringerne som Abscisser i Maalestokken 40 Millimetre for 1 Millimeter (Pl. I, Fig. 4 og 5), og Belastningerne som Ordinater i Maalestokken 20 Millimetre for 1 Kilogramme.

Det er bleven iagttaget, at inden temmelig vide Grændser og indtil en Belastning af omtrent 6 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter ere de totale ligesom de elastiske Forlængringer mærkbar proportionale med Belastningerne. Ved større Belastninger tiltage Forlængringerne hastigere end Belastningerne, men desuagtet meget langsomt.

Naar man beregner Forholdet af Belastningerne pr. Quadratmeter til Forlængringerne pr. Meter, saa finder man, at Værdien af dette Forhold, som vilde udtrykke Elasticitetsmodulen, uafbrudt formindskes fra den svageste Forsøgsbelastning 0,74 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter indtil

den stærkeste 10,39 Kilogrammer. Mellem Grændserne 0,74 Kilogrammer og 5,92 Kilogrammer, svarende til en Forlængring af $0^m,000715$ pr. Meter eller $\frac{1}{1400}$, beløber den midlere Værdie sig til

$$E = 9096070000 *)$$ Kilogrammer,

naar man henfører den til Quadratmetren og Forlængringen til Længdemetren; men denne midlere Værdie afviger om $\frac{1}{12}$ omtrent fra den stærkeste eller den svageste. Det fremgaaer altsaa af disse Forsøg, at Loven for Proportionaliteten af Belastningerne til Forlængringerne, som de frembringe, er endnu mindre nøiagtig for Støbejernet end for Smedejernet.

§ 15. *Særegne Resultater angaaende Modstandsevnen hos Støbejern mod Brud ved Strækning.* — Hodgkinson anstillede særegne Forsøg for at bestemme den Forskjel i Modstandsevne, som Støbejern viser med Hensyn til Brud frembragt ved Strækning, alt eftersom det i Masovnene er tilvirket med varm eller kold Blæseluft. Resultaterne af disse Forsøg indeholdes i den paa næste Side følgende Tabel.

Disse Resultater stemme overens med Resultaterne af de Forsøg, som Desormes og Minard foretoge i Aaret 1815 over Støbejerns Modstandsevne mod Brud ved Strækning, og som gave en gjennemsnitlig Belastningsværdie af 11,325 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter.

Videre seer man, at Modstanden, saaledes som de almindelige Betragtninger i § 1 forudsætte, er proportional med Tværsnittets Størrelse, og at Indflydelsen af den varme eller kolde Blæseluft i Masovnene ikke altid virker i samme Retning, selv ved Jernsorter, som ere blevne frembragte af en og samme Erts.

---

*) E = 12461616 norsk Maal og Vægt, naar Belastningerne henføres til Quadrattommen og Forlængringerne til hver 3,186199 Fod.

Støbejernsorter.		Tværsnittets Fladeindhold.	Brudbelastning. pr. Quadratmillimeter.	Brudbelastning. gjennemsnitlig.
		Quadratcentimeter	Kilogrammer	Kilogrammer
Støbejern fra Carron i Skotland.	No. 2 med varm Luft	26,07	9,763	9,49
		11,12	9,133	
		10,99	9,578	
	No. 2 med kold Luft	11,01	11,727	11,724
		10,51	11,662	
	No. 3 med varm Luft	10,98	11,835	12,478
		10,72	13,121	
	No. 3 med kold Luft	10,47	9,828	10,145
		10,76	10,317	
Støbejern fra Buffery.	No. 1 med varm Luft	24,80	9,441	9,441
	No. 1 med kold Luft	26,48	12,274	12,274
Støbejern fra Coel-Talon (Wales).	No. 2 med varm Luft	10,23	11,441	11,720
		10,61	12,000	
	No. 2 med kold Luft	9,90	13,780	13,250
		10,12	12,720	
Lowmoor (Yorkshire)		9,94	10,215	10,220
Blandet Støbejern		„	11,599	11,600
		Almindeligt Middeltal		11,243

Saaledes synes ved Støbejernet No. 2 fra Carron i Skotland Modstandsevnen at have været betydelig større, naar det blev blæst med kold Luft, medens det Modsatte finder Sted ved Jernet No. 3 fra samme Værk.

§ 16. *Indflydelse af Trækkekraftens Virkningsmaade.* — De forskjellige Omstændigheder ved Trækkekraftens Virkningsmaade ere ikke uden Indflydelse paa Legemernes Modstandsevne mod Brud. Naar man vil undersøge Stænger af Støbejern paa den Maade, at Trækkekraften i eet Tilfælde falder i Retningen af Legemets Axe, i et andet langs en af Siderne i Retningen af en af Kanterne, da har Hodgkinson fundet, at ved det forsøgte Støbejern beløb Brudbelastningen sig i første Tilfælde til 12,043 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter, og i andet kun til 4,124 Kilogrammer. Det er altsaa nødvendigt at anordne Armaturerne, ved hvilke Trækkekræfterne anbringes, paa den Maade, at disse Kræfter virke i Retningen af Legemernes Figurs Axe, naar de ere af symmetrisk Form.

SYLINDRES OG KUGLERS MODSTANDSEVNE.

§ 17. *Sylindres Modstandsevne mod Sprængning ved Virkningen af en indre Pression.* — Naar en Sylinder er udsat for et Tryk fra inden, som stræber at forstørre Diametren eller at sprænge Sylindren, og naar den forøvrigt har samme Styrke efter den hele Udstrækning af et og samme gjennem dens Axe gaaende Tværsnit, da er det let at fastsætte Ligevægtsforholdet mellem de ydre Kræfter og de molekulære Modstande. Man betegne ved:

p Trykket paa Quadratmetren, som i det Indre af Sylindren udøves indvendigfra udad;

D' den ydre Diameter;

D'' den indre Diameter;

R Metallets Modstandsevne mod Bruddet, som her stræber at paafølge ved Strækning, henført til Quadratmetren.

Naar man beregner den Modstand, som vil udøves af det modstaaende Tværsnit, der dannes ved en vilkaarlig, gjennem Sylinderaxen gaaende, Flade LM (Pl. I, Fig. 6), finder man let, at det normale Tryk paa et Element ab af Sylinderfladen, hvilket er $1^m,00$ bredt og følgelig har en Overflade af $ab \times 1^{\text{Quadratmeter}}$, vil være:

$$p \times ab \times 1^{\text{Quadratmeter}}.$$

Men nu findes for ethvert Element ab i samme Halvdel af Omfanget et andet ligestort og symmetrisk beliggende Element $a'b'$, paa hvilket det normale Tryk vil være:

$$p \times a'b' \times 1^{\text{Quadratmeter}}.$$

Opløser man de to Normaltryk i to andre, det ene parallelt med Fladen LM, og det andet perpendikulært paa denne Flade, saa er det øiensynligt, at begge de parallele Komponenter ville være hinanden lige og direkte modsatte, og følgelig ville hæve hinanden.

Betræffende de Komponenter, som falde perpendikulært paa Fladen LM, saa ville de klarligen være lig:

$$p \times ab_1 \times 1^m \text{ og } = p \times a'b_1' \times 1^m,$$

hvor Længderne ab_1 og $a'b_1'$ ere indbyrdes lige og Projectioner af de lige store Buer ab og $a'b'$ paa Fladen LM.

Det samme vilde være Tilfældet med alle Elementer af den halve Sylinders indre Flade, som ligge paa høire Side af Planet LM, og Summen af alle, paa dette Plan normale, Komponenter af de paa den indre Overflade paa 1 Meter i Længde udøvede Tryk vil øiensynlig være lig Produktet af Trykket pr. Eenhed af Overflade og Fladeindholdet af det Rektangel, hvis Høide er Diametren D″, og hvis Længde eller Basis er $1^m,00$. Denne Sum af alle elementære Tryk vil altsaa blive lig:

$$p \times D'' \times 1 \square^{\text{Meter.}}$$

Overfladen, som modstaaer Sprængningen, er aabenbar lig:

$$(D' - D'') \times 1 \square^{m.} = 2e \times 1 \square^{m.}$$

hvor e er Metallets Tykkelse; den mod Sprængningen virkende Modstand er da

$$R(D' - D'') \times 1 \square^{m.} = 2Re \times 1 \square^{m.}$$

Man har altsaa for Ligevægten mellem den Kraft, som stræber at frembringe Brud, og Modstanden, Forholdet:

$$p D'' = R(D' - D'') = 2Re.$$

Paa det at Røret kan staae imod paa en permanent Maade, maa man give R en Værdie, som er meget mindre end den, som frembringer Brud ved Strækning.

§ 18. *Grændser for Prövetrykkene i dette Tilfælde.* — I Tabellen i § 51 vil man finde de Værdier for R, som man i sædvanlige Tilfælde kan anvende med Sikkerhed; naar derimod Tykkelsen er betydelig, saa er at bemærke, at den indre Kraft udøves til Siden, og den i § 16 omtalte Erfaring af Hodgkinson viser, at i dette Tilfælde er Modstanden imod Brud meget ringere, end naar Trækket finder Sted i Retningen af Tværsnitsfigurens Axe. Saaledes vil Modstanden imod Brud reduceres til 4,124 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter for Støbejern, som først

vilde brydes ved en Kraft af 12,043 Kilogrammer, der virkede efter Tværsnitsfigurens Axe. Med Hensyn til Sylindren finder vel en betydelig Forskjel Sted mellem Yttringsmaaden af dens Modstand og af det Legemes, der paavirkes af en efter Siden virkende Kraft, som de, med hvilke Hodgkinson anstillede Forsøg; alligevel fordrer Klogskab, at der tages Hensyn til foranstaaende Bemærkninger.

Forøvrigt stemmer den sædvanlige Praxis heri overens med disse Betragtninger; thi de engelske Konstruktører pleie ikke at drive det indre Tryk paa Sylindre til hydrauliske Presser over 3 Tons pr. Sirkeltomme eller 6,01 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter.

I Frankrig gaaer man langtfra ikke saa vidt, og jeg er af den Mening, at det vil være hensigtsmæssigt ved Beregningen af de Dimensioner, som man bør give Sylindre, ikke at overskride Værdien R = 4000000 Kilogrammer pr. Quadratmeter (5480 ℔ pr. Quadrattomme norsk Maal og Vægt). I det Følgende vil man imidlertid see, at deraf vil fremstaae store Vanskeligheder med Hensyn til Sylindre for Presser af stor Kraft.

§ 19. *Ledningsrör.* — Ved Gas- og Vandledningsrør giver man den til at modstaae det indre — bekjendte — Tryk bestemte Væggetykkelse et konstant Tillæg, som har til Hensigt at beskytte dem mod Beskadigelser og Stød ved Transport og Nedlægning.

Kalder man dette Tillæg e', bliver efter den foregaaende Formel

$$e = \frac{pD''}{2R} + e' = \frac{n \times 10330^{*}) D''}{2R} + e',$$

naar man med n betegner det Antal Atmosphærer, som

*) I Overensstemmelse hermed bliver 1 Atmosphæres Tryk paa 1 norsk Quadrattomme lig 14,152 norske ℔, istedetfor at man hos os almindelig regner 14,116 ℔.

G.

er lig Trykket p pr. Quadratmeter, hvilket Røret bør kunne udholde saavel ved Prøven, som ved Brugen.

Erfaring har ført til ved Vandledninger at antage følgende Forhold, alt eftersom man anvender:

			m.
Smedejern	$R = 6\,000\,000$ Kilogr.,	$e = 0{,}00086\,nD'' + 0{,}0030$	
Stöbejern	$R = 2\,170\,000$ „	$e = 0{,}00238\,nD'' + 0{,}0085$	
Valtset Kobber . . .	$R = 3\,500\,000$ „	$e = 0{,}00147\,nD'' + 0{,}0040$	
Bly	$R = 2\,130\,000$ „	$e = 0{,}00242\,nD'' + 0{,}0050$	
Zink	$R = 833\,000$ „	$e = 0{,}00620\,nD'' + 0{,}0040$	
Træ	$R = 160\,000$ „	$e = 0{,}03230\,nD'' + 0{,}0270$	
Naturlig Steen . . .	$R = 1\,400\,000$ „	$e = 0{,}00369\,nD'' + 0{,}0300$	
Kunstig Steen	$R = 960\,000$ „	$e = 0{,}00538\,nD'' + 0{,}0400$	

Omsættes disse Værdier i norsk Maal og Vægt, erholdes, naar D'' og de konstante Tillæg udtrykkes i Tommer, for:

Smedejern	$R = 8\,220$ Pund,	$e = 0{,}00086\,nD'' + 0{,}1147$	Tomme
Stöbejern	$R = 2\,973$ „	$e = 0{,}00238\,nD'' + 0{,}3250$	„
Valtset Kobber . .	$R = 4\,795$ „	$e = 0{,}00147\,nD'' + 0{,}1530$	„
Bly	$R = 2\,918$ „	$e = 0{,}00242\,nD'' + 0{,}1911$	„
Zink	$R = 1\,141$ „	$e = 0{,}00620\,nD'' + 0{,}1530$	„
Træ	$R = 219$ „	$e = 0{,}03230\,nD'' + 1{,}0323$	„
Naturlig Steen . .	$R = 1\,918$ „	$e = 0{,}00369\,nD'' + 1{,}1470$	„
Kunstig Steen . .	$R = 1\,315$ „	$e = 0{,}00538\,nD'' + 1{,}5293$	„

§ 20. *Dampkjedler.* — Ifølge en Regjeringsforordning bliver Tykkelsen af Jernblik-Dampkjedlerne bestemt efter følgende Formel:

$$e = 0{,}0018\,nD'' + 0{,}003,$$

hvilket er det Samme som at sætte

$$R = 3000000 \text{ Kilogrammer.}$$

§ 21. *Modstandsevnen hos Bunden i Sylindre.* — Idet vi bibeholde de foregaaende Betegnelser, see vi let, at Totaltrykket, som stræber at løsrive en Sylinders Bund, er ligt

$$p\,\frac{D''^2}{1{,}273}.$$

Modstanden af den ringformige Flade, som modsætter sig Løsrivningen, er

$$R\,\frac{D'^2 - D''^2}{1{,}273}.$$

Man har altsaa for Ligevægten mellem disse Kræfter:

$$pD''^2 = R(D'^2 - D''^2).$$

Sammenligner man den Modstand, som en Sylinders Basis viser imod Løsrivning, med den Modstand, som udøves af dens Sideflade, seer man, at Trykket, som er istand til at frembringe Brud, i første Tilfælde er ligt

$$p = R\frac{D'^2 - D''^2}{D''^2} = R\frac{D' + D''}{D''} \cdot \frac{D' - D''}{D''}$$

og i andet Tilfælde, § 17:

$$p = R\frac{D' - D''}{D''}.$$

Den første Værdie er øiensynlig større end den anden, fordi Faktoren $\frac{D' + D''}{D''}$ er større end 2, saasom D' er større end D''.

En af et eneste Stykke og med ensformig Tykkelse forfærdiget, feilfri Sylinder frembyder altsaa stedse imod Sprængning en større Modstand ved Bunden end i sin sylindriske Vægflade. Af denne Grund angive Formlerne kun Styrken af sidstnævnte Væg.

§ 22. *Tilfælde, i hvilke Bunden er forbunden til Sylinderlegemet ved Bolte.* — Ved Dampkjedler eller Vandbeholdere af Støbejern eller af Smedejern er Bunden ofte befæstet med Bolte, hvis Dimensioner og Antal maae være saaledes beregnede, at de kunne modstaae det indre Tryk, som stræber at afslide dem.

Kalder man Diametren af Boltene d, vil Tværsnitsfladen for enhver af dem være $\frac{d^2}{1{,}273}$, og, naar man antager, at Smedejern kan udsættes permanent for en Belastning af 6000000 Kilogrammer pr. Quadratmeter, saa maa enhver Bolt kunne udholde en Trækkekraft, som udtrykkes ved:

$$6000000\frac{d^2}{1{,}273}.$$

Betegnes Antallet af Boltene med x, erholder man, da Formlen $p \frac{D''^2}{1,273}$ angiver Totaltrykket, Forholdet:

$$x \times 6000000 \frac{d^2}{1,273} = p \frac{D''^2}{1,273}$$

hvoraf $$x = \frac{p}{6000000} \left(\frac{D''}{d}\right)^2.$$

Saaledes har man f. Ex. ved et Tryk af 6 Atmosphærer

$$p = 61980 \text{ Kilogrammer,}$$

og naar $D'' = 1^m,00$, $d = 0,02$, $\frac{D''}{d} = \frac{1,00}{0,02} = 50$,

$$x = \frac{61980}{6000000} \times 50^2 = 25,8, \text{ eller med runde Tal } 26;$$

Boltene ville blive anbragte i en Afstand af omtrent $0^m,12$ fra Axe til Axe.

Naar Bunden skulde befæstes med Klinknagler, saa maatte man ligeledes beregne disses Antal, og derhos erindre sig, at efter Fairbairn's Forsøg, om hvilke der i det Følgende vil blive Tale, er Modstandsevnen hos Klinknagler næsten den samme i transversal Retning, som efter Længden.

§ 23. *Mangler, som stöbte Sylindre ofte vise.* — Naar man støber Sylindre til hydrauliske Presser, Morterer o. s. v., saa indrette mange Støbere Formen saaledes, at Bunden af Sylindren er opadvendt, og lade et betydeligt Støbehoved befinde sig paa denne for at levere det formedelst Indsvindingen nødvendige Metal. Mangengang hender det da, at Sylindrens Vægge have opnaaet deres Fasthed, medens dette endnu ikke er Tilfældet med Bunden, og, idet denne senere sammentrækker sig, skiller den sig i de indgaaende Vinkler fra Sylinderlegemet. Denne Svinden frembringer mellem Sylindrens Bund og dens Legeme en lille Afbrydelse i Kontinuiteten, som, omendskjønt ikke bemærkelig for Øiet, dog er tilstede og for-

anlediger Brud. Tilfælde af dette Slags forekomme hyppigere ved Støbejern end ved Bronze, og Sprængningen af en af Sylindrene til Pressen for Løftning af Britanniabroens Rør, som var støbt med Bunden op, ligesom af en Støbejerns-Krudtprøvemorteer ved Explosion med Skydebomuld, har bevist deres Tilstedeværelse. I ethvert Tilfælde er det ved Sylindre, som ere udsatte for stort Tryk, hensigtsmæssigt, omhyggeligt at afrunde de indvendige, indgaaende Vinkler, og desuden synes det tilraadeligt ved Sylindres Støbning at stille Bunden ned og at give Støbehovedet en stor Høide, for at dets Afkjøling kan skee meget langsomt, og for at det længe kan udfylde de ved Indsvindingen opstaaende tomme Rum. Fremkomme Mangler ved Sylindrens øvre Del, saa have de sædvanlig ingen saa alvorlige Følger, som naar de befinde sig ved Bunden.

§ 24. *Forsigtighedsregler, som ere at iagttage ved Sylindre til hydrauliske Presser.* — Da vi have talt om de hydrauliske Presser, saa turde det ikke være overflødigt at angive et andet Uheld, som Sylindre af Støbejern ere underkastede formedelst Indsvindingen af Metallet. Naar Delene afkjøles i de Flader, som danne Sylindrens indre og ydre Vægge, fortætte de sig og kunne derefter ikke trække sig mere sammen for at følge Virkningerne af den Svinding, som det indre Metal lider. Naar videre, som ofte skeer, Udfyldingen ved Hjælp af Støbehovedet ikke er tilstrækkelig, saa danner der sig i Midten af Tykkelsen en ringformig Huling, som mangengang fortsættes rundt hele Sylindren. Men i ethvert Tilfælde bliver Metallet i Midten mindre tæt end ved de ydre Flader og meget ofte porøst, — en Virkning, som allerede viser sig, naar Tykkelsen beløber sig til mere end $0^m,10$ til $0^m,12$, og som, tiltagende med denne, bereder Støberne store Vanskeligheder ved Udførelsen af Sylindre til store Presser.

Naar man gjennembryder den Kanal, gjennem hvilken det ved Pumpen fremdrevne Vand skal træde ind i Sylindren, gjennemskjærer Værktøiet denne porøse Masse, og naar det stærkt pressede Vand drives ind i Sylindren, trænger det ind i Metallet og udfylder Porerne eller Hulingerne, hvorved Sylindrens Sprængning kan blive bevirket. Ulemperne af denne Mangel ved Støbejernet kan formindskes ved, at man i Kanalen indpasser et Rør af Kobber, klinker dette indvendig og udvendig til Sylindren og paa dette indskruer Vandets Trykrør.

§ 25. *Anvendelse af Formlerne paa en for Algier bestemt Fouragepresse.* — Hiin Vanskelighed, at erholde tykke Støbejernsstykker helt fulde og i det Indre aldeles sunde, har ført Støberne til at give Sylindrene til store Presser for svage Dimensioner, og at søge at erstatte Manglen i Dimension ved Qualiteten af Materialet; dog forekommer det os, som om selv de Dueligste blandt dem have gaaet for vidt og antaget alt for smaae Dimensioner. Som første Exempel herpaa ville vi anføre de store Fouragepresser, som anvendes i Algier, og som bleve udførte af Fairbairn og Preston i Liverpool.

Disse Pressers største Kraft, beregnet efter Sikkerhedsventilens Belastning, beløber sig til 650 engelske Tons, eller $650 \times 1015{,}6$ Kilogrammer $= 660140$ Kilogrammer. Kolben har en Diameter af $0^m{,}2795$ eller 0,0612 Quadratmeters Overflade, følgelig kan Trykket pr. Quadratmeter i Sylindrens Indre hæve sig til

$$\frac{660140^{Kil}}{0{,}0612\,\square^m} = 10786601 \text{ Kilogr.}$$

Sylindrens indre Diameter er $D'' = 0^m{,}309$, og Tykkelsen $e = \frac{D' - D''}{2} = 0^m{,}1515$, hvoraf $D' - D'' = 0^m{,}3030$.

Den midlere Trækkekraft, som frembringer Brud af Støbejern, er almindeligviis anslaaet til

$$R = 12\,500\,000 \text{ Kilogr.}$$

følgelig maatte Sprængningstrykket for denne Sylinder beløbe sig (§ 17) til:

$$p = \frac{12\,500\,000 \times 0^{m},303}{0^{m},309} = 12\,260\,518 \text{ Kilogr.}$$

Man seer altsaa, at man nærmer sig for meget det Tryk, som foranlediger Brud, naar man sædvanlig vil arbeide med en Kraft af 650 Tons.

Det hendte ogsaa, at Sylindren til den ene af de sex Presser i Algier, efter at være brugt i nogen Tid, pludselig revnede fraoven nedad, og delte sig i to Dele efter en gjennem Axen gaaende Flade. Naar de andre Sylindre og den, som man opstillede i den Sprængtes Sted, have staaet imod, saa ligger vel Grunden deri, at Støberne anvendte den største Omhyggelighed ved Valget og Blandingen af Jernet; men ikke desto mindre er det vist, at Tykkelsen ikke er tilstrækkelig, og vil man forøge den, løber man Fare for, at de oven betegnede Mangler opstaae eller blive større. Der kan altsaa heraf uddrages, at Sylindrene for saa stærke Presser maae gjøres af Smedejern, hvilket de ogsaa kunne ved Hjælp af Damphammeren.

§ 26. *Anvendelse paa de store Presser, som bleve brugte til at hæve Britanniabroens Rör.* — Gjøre vi den samme Anvendelse paa den store Presse, som brugtes til at hæve Britanniabrorørene, saa seer man af Ingenieuren Clark's Angivelser, at den har hævet en Vægt af 1144 Tons eller $1144 \times 1015^{Kil},6 = 1\,161\,800$ Kilogrammer.

Den indvendige Diameter var $D'' = 0^{m},56$; Kolben havde en Diameter af $0^{m},510$ og, følgelig 0,2043 Quadratmeter i Fladeindhold. Trykket paa Quadratmetren var altsaa ligt

$$\frac{1\,161\,800^{Kil}}{0,2043\,\square^{m}} = 5\,687\,000 \text{ Kilogr.}$$

Metallets Tykkelse var

$$e = \frac{D' - D''}{2} = 0^{m},153,$$

hvoraf $D' - D'' = 0^m,306$; man har altsaa, naar man antager $R = 12\,500\,000$ Kilogrammer, til Beregning af Brudkraften

$$p = \frac{12\,500\,000 \times 0^m,306}{0,56} = 6\,830\,400 \text{ Kilogr.}$$

Man seer altsaa, at denne Sylinder har været udsat for et Tryk, meget nær det, som vilde have foraarsaget dens Brud, naar den ikke havde været gjort af en Blanding af Jern, som blev valgt med den største Omhyggelighed, og havde været sammensat af Raajern

af Blaenavon No. 3 tilberedt med kold Luft	10	Tons
„ Pentypool No. 3 „ „ „ „	3	„
„ Gamle Kanoner fra Woolwich, sandsynligvis støbte af Trækul-Raajern	4	„
„ Glengarnock, elastisk Jern	4	„
	21	Tons.

Ved Sammensætningen af denne Blanding lod man det være sig magtpaaliggende at vælge saadant Raajern, som var meget lidet kulholdigt, og Sylindren maa sandsynligvis have været af et bladrigt (fleckigen) Jern, som det man i Frankrig fortrinsvis bruger til Kanonfabrikationen. Senere vil man forøvrigt see, at Modstanden af saadant Støbejern kan hæve sig til 15 til 18 Millioner Kilogrammer pr. Quadratmeter.

Uagtet al denne anvendte Omhyggelighed, maa det dog bemærkes, at en skjult Feil vilde have kunnet fremkalde et saadant Uheld, at man ikke burde efterligne det anførte Exempel.

§ 27. *En Kugles Modstandsevne mod Sprængning.* — Naar vi gaae frem paa lignende Maade som i § 17 ved Bestemmelsen af Sylindres Modstandsevne, indsees det let, at, naar vi betragte som mulig Brudflade en hvilkensomhelst Storsirkel, er Summen af Komponenterne af de paa denne Flade perpendikulære Trykkræfter lig Trykket

p pr. Fladeenhed multipliceret med Fladeindholdet af den indre Storsirkel med Diameter D″. Denne Totalkraft, som er den Kraft, der stræber at frembringe Sprængningen, bliver da udtrykt ved:

$$p \cdot \frac{D''^2}{1{,}273}.$$

Modstandsevnen er den, som det ringformige Tværsnit frembyder, hvis Overflade er

$$\frac{D'^2 - D''^2}{1{,}273}$$

og bliver altsaa lig

$$R \cdot \frac{D'^2 - D''^2}{1{,}273}.$$

For Ligevægt mellem begge Kræfter maa man altsaa have Forholdet:

$$p \cdot D''^2 = R\,(D'^2 - D''^2),$$

hvoraf erholdes $p = \frac{R\,(D'^2 - D''^2)}{D''^2}$.

Dette Udtryk, som er identisk med det, som man har fundet for Modstandsevnen hos Bunden af en Sylinder af samme Diameter som Kuglen, beviser, at den hule Kugle besidder den samme Modstandsevne, som den hule Sylinder af samme Diameter.

§ 28. *Anvendelse paa Huulkugler.* — De i Artilleriet anvendte hule Kugler indeholde en Krudtladning, som meddeles Ilden ved et Brandrør, der antændes ved Affyringen, og som bevirker Kuglens Sprængning. Antager man som Exempel en af meget godt, haardt Jern støbt Bombe af $0^m{,}32$ ydre Diameter, for hvilken man har $D' = 0^m{,}32$, $D'' = 0^m{,}23$, og som Brudkoefficient

$$R = 13\,500\,000 \text{ Kilogr.}$$

saa finder man, at det i Explosionsøieblikket af Gasen udviklede Tryk er

$$p = 13\,500\,000 . \frac{0{,}32^2 - 23^2}{0{,}23^2} = 12\,681\,900 \text{ Kilogr.}$$

pr. Quadratmeter, eller

$$\frac{12\,681\,900}{10\,330} = 1228 \text{ Atmosphærer.}$$

§ 29. *Bemærkning vedkommende Udvidelseskraftens Styrke.* — Det er iagttaget, at naar man fylder en saadan Kugle med Vand, tilslutter dens Fyldningshul med en Skrue, og derpaa udsætter den for Frost, vil Vandet, hvis Volumen forstørres ved at fryse, sprænge Bomben, hvilket leverer et Bevis for, at dets Udvidelseskraft udøver et Tryk, som hæver sig til mindst 1228 Atmosphærer.

MODSTANDSEVNE HOS JERNBLIK OG HOS DETS SAMMENFØINING.

§ 30. *Jernbliks Modstandsevne mod Strækning.* — Clark beretter om Forsøg, som han har anstillet over Bliks Modstandsevne mod Strækning, saavel efter Retningen af Valtsningen, som perpendikulær paa samme. De dertil anvendte Blik havde den i Figur 7 (Pl. I) fremstillede Form, og sammes smalere Del havde stedse et Tværsnit af 1 Quadrattomme eller 6,45 Quadratcentimetre, medens Tykkelsen og Bredden varierede mellem udstrakte Grændser, Tykkelsen fra 12,7 til 17,5 Millimetre, og Bredden fra 35 til 177 Millimetre.

Forsög over Modstandsevnen hos Blik til Kjedler mod Brud ved Strækning.

Jernets Beskaffenhed.	Brudbelastning pr. □ Millimeter i Kilogr.
1. Blik af 17,5 Millimeter Tykkelse og 35,2 Millimeter Bredde i Halsen, udvalgt som slet Jern med glindsende krystallinsk Brud, der springer pludselig ved et Hammerslag	34,64 „
2. Det Samme	33,07 „

Jernets Beskaffenhed.	Brudbelastning pr. □ Millimeter i Kilogr.
3. Blik af 12,7 Millimeter Tykkelse og 35,2 Millimeter Bredde i Halsen, udvalgt som slet Jern, indeholdende to Blade krystallinsk Jern, som dannede $\frac{1}{3}$ af Tykkelsen	28,34 „
4. Blik af 12,7 Millimeter Tykkelse med 127 Millimeter Bredde i Halsen, udsögt som godt Jern med krystallinsk Udseende i $\frac{1}{10}$ af Tykkelsen	29,92 „
5. Blik af 12,7 Millimeter med 108 Millimeter i Halsen, fuldkommen ligeartet, fibrigt Jern, bar Belastningen i 15 Minutter	33,07 „
6. Blik af 17,5 Millimeter Tykkelse med 127 Millimeter Bredde; godt Jern; $\frac{1}{40}$ af Gjennemsnittet krystallinsk	29,92 „
7. Blik af 12,7 Millimeter Tykkelse med 127 Millimeter Bredde; fibrigt Jern med Undtagelse af $\frac{1}{30}$ af Gjennemsnittet.	28,34 „
Blik af 12,7 Milm. Tykkelse med 127 Milm. Bredde	30,86 „
„ „ 15,9 „ „ „ 127 „ „	30,39 „
„ „ 12,7 „ „ „ 177 „ „	30,86 „
„ „ 12,7 „ „ „ 177 „ „	31,81 „
„ „ 12,7 „ „ „ 127 „ „	29,45 „
Almindeligt Middeltal	30,86 „

Det er mærkeligt, at Modstanden imod Brud er mærkbar konstant, omendskjønt disse Blik kom fra forskjellige Værksteder i Staffordshire, Derbyshire og Shropshire.

Den største, Bruddet tilsvarende, Forlængring var derimod meget uregelmæssig, og nogle af de glindsende, krystallinske Jernsorter af slet Qualitet, hvilke bleve brudte uden at være meget forlængede, have i Virkeligheden baaret større Belastninger end de mest seige og strækbare Jernsorter. Det samme er, som allerede før anført, af andre Iagttagere blevet lagt Mærke til ved Jernstænger.

Det bedste af DHrr. Marc i deres Fabrik i London forarbeidede Ramaszjern, som er af fortrinlig Beskaffenhed, og som har et skjønt, fibrigt Brud, afslides ved en midlere Belastning

af 24 Tons pr. □ Tomme, eller 37,78 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter, hvorved Stangens Længde bliver en Ottendedel større end den oprindelige. Denne Iagttagelse er ogsaa allerede for længere Tid siden bleven gjort i Guérigny ved Fabrikationen af det til Skibskjættinger bestemte bløde Jern, hvilket mangengang strækker sig meer end Femtedelen af sin Længde, førend det gaaer af.

§ 31. *Sammenligning af Bliks Modstandsevne efter Valtsningens Retning med dets Modstandsevne tværs paa den.* — I alle foregaaende Exempler blev Spændingen udøvet efter Retningen af Fibrerne. For at erfare, om denne Omstændighed har nogen Indflydelse, har man af to Plader taget to Prøver af samme Form som de forrige; det ene Stykke af hvert Par blev trukket efter Fibrernes Længde; det andet i perpendikulær Retning derpaa. Forøvrigt vare de hinanden aldeles lige.

Blikkenes Modstandsevne mod Brud ved Strækning pr. □ Millimeter.	1. Forsög.	—	2. Forsög.
I Retning af Fibrerne	30,96 Kilogr.		31,81 Kilogr.
I perpendikulær Retning paa Fibrerne .	26,66 „		30,30 „

Modstanden af Jernblikkene var altsaa i Fibrernes Retning i Middeltal 31,38 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter, medens den i den paa Valtsningen lodrette Retning kun beløb sig til 28,48 Kilogrammer — en Forskjel af 10 Procent til Fordel for Modstandsevnen i Fibrernes Retning.

§ 32. *Fairbairn's Forsög.* — Denne berømte Ingenieur anstillede lignende Forsøg over Bliks Modstandsevne, hvilke førte ham til den Slutning, at der ikke var nogen væsentlig Forskjel i Modstandsevnen hos Blik, hvad enten Trækkekraften virkede i Retningen af Fibrerne eller perpendikulær paa dem. Disse Forsøg gjordes med 4 Bliksorter fra forskjellige Valtseværker, der vare berømte for sine Frembringelsers Godhed. Tykkelsen af Blikkene, 6 til 8 Millimetre, beviser forøvrigt, at de vare garvede. Resultaterne af disse Forsøg indeholdes i følgende Tabel.

Blikkenes Fabrikationssted.	Brudbelastning.	
	i Retningen af Fibrerne pr. □ Millimeter.	perpendikulær paa Fibrerne pr. □ Millimeter.
	Kilogrammer.	Kilogrammer.
Yorkshire, Lowmoor	40,58	43,29
" "	35,84	41,01
Derbyshire	34,14	27,37
Shropshire	30,95	31,49
Staffordshire	30,80	33,08
Middeltal	35,46	35,25

Forskjellen mellem de partielle Resultater gaaer snart i den ene, snart i den anden Retning, og de almindelige Middeltal afvige saa lidet fra hverandre, at man med Hr. Fairbairn vel kan antage, at der ikke er nogen væsentlig Forskjel mellem Blikkenes Modstandsevne efter Retningen af Fibrerne og perpendikulær paa dem.

§ 33. *Bemærkninger betræffende de i Frankrig erholdte Resultater.* — Ved de allerede for 30 Aar siden af Artillerieoberst Fabert i Frankrig gjorte Forsøg lededes man til den Slutning, at Blik besidder mindre Modstandsevne i perpendikulær Retning paa Valtsningen end parallel med samme. Men det er at bemærke, at i hin Epoke vare de franske Jernsorter, og især de, hvormed man anstillede Forsøgene, tilberedte med Trækul og under Hammeren, medens man nu tilbereder alt stærkt Blik af Jern, som bliver garvet og flere Gange valtset, selv i forskjellige Retninger.

§ 34. *Modstandsevnen af Klinknagler og Bolte mod en tværs paa dem virkende Kraft.* — Klinknaglerne, hvormed Blikplader forenes, Forbindelsesboltene i de flade Kjæder, i Tallier o. s. v., ere udsatte for Brud ved Afrivning eller ved Indskjæring paatværs af Fibrerne.

Ved Forbindelsesbolte til flerledede Kjæder er Antallet af Brudsteder afhængigt af Antallet af de med hverandre forbundne Plader. Saaledes ville 2 Plader have eet,

3 Plader to, 4 Plader tre og overhoved n Plader $n - 1$ Indskjæringspunkter (Pl. I, Fig. 8, 9, 10, 11). Antager man nu, at Bolten eller Klinknaglen passer nøie i det for den anbragte Hul, saa fører Erfaring til følgende Slutninger:

1. Modstandsevnen imod Sønderslidning ved Afrivning eller ved Indskjæring er proportional med Fladeindholdet af Boltens Tværgjennemsnit;
2. Denne Modstandsevne er temmelig nær lig den hos en Jernstang, der har samme Tværsnit som Bolten og er udsat for en efter Længden virkende Kraft.

Dette viser ogsaa følgende Tabel, hvilken angiver næsten den samme Belastning for Brud ved Indskjæring, som for Brud ved Strækning.

Forsög over Afskjæringen af runde Jernstænger, bestemte til Klinknagler.

		Modstandsevne pr. □ Millimeter af Tværsnittet. Kilogrammer.
Jernets Diameter = 22,3 Millimetre.		
Naar Afskjæringen foregaaer i eet Plan (Fig. 8).	1ste Stang	41,09
	Den Samme	37,62
	Middeltal af 4 Stænger	41,09
	Do. „ 6 Do.	40,77
	Gjennemsnit	40,15
Naar Afskjæringen foregaaer i 2 eller flere Planer (Fig. 9, 10 og 11).	1ste Stang	36,05
	2den „	34,03
	3die „	34,03
	4de „	34,03
	5te „	34,03
Jernets Diameter = 21,4 Millimetre.		
Naar Afskjæringen foregaaer i 2 eller flere Planer (Fig. 9, 10 og 11).	1ste Stang	35,42
	2den „	35,42
	Gjennemsnit	34,72

Middeltallet af samtlige partielle Resultater giver 36,69 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter som Værdie for den

Belastning, der kan brække en Klinknagle, en Bolt, en Jernnagle. Da Jernets Modstand mod Brud ved Strækning er bleven fundet = 36 til 40 Kilogrammer pr. □ Millimeter, saa seer man, at der er liden Forskjel mellem begge disse Modstande. Deraf har man sluttet, at, for at Styrken af Klinknaglerne eller Boltene kan staae i Forhold til Styrken af de Blik, som de skulle forbinde, maa Summen af Boltetværsnittene i en Sammenføining være lig Fladeindholdet af det mellem Hullerne igjenstaaende Blik. Men ved denne Regel har man ladet ud af Betragtning Rivningen, som Klinkningen frembringer, og som er af den Art, at den overordentlig forøger Forbindelsens Modstandsevne.

§ 35. *Fairbairn's Forsög.* — Denne berømte Ingenieur, hvem den engelske Marine har at takke for Bygningen af de første store for Tjenesten tilsøes skikkede Skibe af Jernblik, har siden Aaret 1838 beskjæftiget sig med sammenlignende Undersøgelser om Styrken af Blik og af de, de enkelte Plader forbindende Bolte. Han forsøgte efterhaanden enkelte Klinkninger, dannede ved at de Plader, som skulde forbindes, gik om hinanden og forenedes ved en eneste Rad Klinknagler; dobbelte Klinkninger med to Rader rudeformigt stillede Klinknagler, og endelig Klinkninger, ved hvilke de Plader, som skulde forbindes, ikke gik om hinanden, men bleve anbragte Kant mod Kant og forbundne ved Hjælp af enkelte eller dobbelte Dækplader, som befæstedes ved een eller to Rader Klinknagler (Pl. I, Fig. 12 til 15).

Overdækningsplader, som danne Fremspring udvendig, maae undgaaes i alle Tilfælde, hvor saadanne Fremspring ere til Hinder, og især ved Dampskibe, fordi de forøge Modstanden, som disse have at lide af Vandet; naar derimod ingen Uleilighed er forbunden med Anvendelsen af saadanne Plader, da yde de, især naar de ere

dobbelte, den Fordel at forhindre den Krumning af Pladerne, som frembringes ved de enkelte Klinkninger.

Den Mangel, som de enkelte Klinkninger i Regelen føre med sig, bestaaer hovedsagelig deri, at de forbundne Plader, — da den ene ikke ligger i Forlængringen af den anden, — stræbe ifølge Trækkekraftens Virkning at kaste sig og derpaa at krumme enten sig selv eller Bedækningspladen; Trækket paa Klinkningen bliver skjævt, og Klinknaglernes Hoveder springe af. De dobbelte Klinkninger, eller de med to Rader, modsætte sig denne Bøining, og Forbindelserne ere følgelig meget stærkere; Erfaring har viist, at de pr. Eenhed af Gjennemsnit besidde den samme Styrke som selve Pladerne. Resultaterne af disse Forsøg af Fairbairn ere samlede i følgende Tabel:

Blikkenes Modstand pr. Quadratmillimeter af Tværsnittet.	Modstand af de enkelte Sammenföininger med een Rad Klinknagler, pr. Quadratmillimeter af Tværsnittet.	Modstand af de dobbelte Sammenföininger med to Rader Klinknagler, pr. Quadratmillimeter af Tværsnittet.
Kilogrammer	Kilogrammer	Kilogrammer
40,65	32,90	37,65
41,33	26,33	33,53
49,99	29,73	41,92
35,83	31,29	39,36
35,93	28,94	38,75
35,63	31,16	38,75
30,78	27,34	
34,63		
38,09	29,67	38,33

Heraf fremgaaer, at de ved 2 Rader Klinknagler tilveiebragte Forbindelser frembyde ligesaa stor Modstand, som en Blikplade af samme Tværsnit som det gjennem Hullernes Centrer gaaende.

§ 36. *Bemærkninger over Virkningen af Blikkenes Gjennemboring.* — Det maa imidlertid ikke forglemmes at Gjennemboringen svækker Blikkene med den hele Quantitet af det borttagne Metal; da nu Erfaringen viser, at Klinknaglerne ere ligesaa stærke som Blikket, gjennem

hvilket de gaae, saa følger deraf, at man ved Fuger med enkelt Klinkning, — naar Rivningens Indflydelse sættes ud af Betragtning, — maa gjennembore Blikkene saaledes, at der bliver tilbage ligesaa meget massivt Blik, som Fladeindholdet af Klinkhullerne beløber sig til, saaledes at, naar Klinkningernes Antal er n, Antallet af de mellem Hullerne forblivende Stykker Blik bliver $= n + 1$; og betegner man Boltens Diameter med d, saa vil den samlede Bredde af de forblivende Steder være $(n + 1)\,d$, medens Pladens Bredde er $(2n + 1)\,d$.

Ved Klinkningen bliver altsaa Metallet svækket i Forholdet: $\frac{(n+1)\,d}{(2n+1)\,d} = \frac{n+1}{2n+1} = 0{,}50 + \frac{1}{2(2n+1)}$, hvilket i Almindelighed er lidet forskjelligt fra 0,50, især ved lange Fuger. De enkelte Klinkninger formindske altsaa Modstandsevnen hos de med hinanden forbundne Blik omtrent med det Halve af selve Blikpladens Modstandsevne.

Naar man ved Fuger med dobbelte Klinkninger antager, at kun det samme Antal Klinknagler bliver anvendt, idet man stiller dem saaledes, at en Nagle af den ene Rad staaer imellem to Nagler af den anden, seer man let, at Antallet af Klinknagler, fremdeles lig n, er ulige: den nederste Rad, som har de fleste, vil have $\frac{(n-1)}{2} + 1$, og Totalbredden af det igjenstaaende Metal vil blive:

$$d\left[2n + 1 - \left(\frac{n-1}{2} + 1\right)\right] = \frac{3n+1}{2}d.$$

Metallet vil altsaa ved Gjennemboringen kun blive svækket i Forholdet:

$$\frac{3n+1}{2(2n+1)} = 0{,}75 - \frac{0{,}50}{4n+2}$$ eller omtrent 0,75 for de lange Fuger.

§ 37. *Rivningens Indflydelse.* — Naar Klinkningerne ere godt gjorte. saa frembringes ved Sammenklinkningen et gjensidigt Tryk mellem Pladerne og Bolthovederne og

følgelig en betydelig Rivning mellem dem, hvilken i Almindelighed forøger Klinknaglernes Modstandsevne, saasom Hullerne da ere aldeles udfyldte. Nogle af Clark anførte Forsøg vilde endog lede til at anslaae den ved en eneste, 21 til 22 Millimetres Klinknagle frembragte Rivning til 5000 à 6000 Kilogrammer; dette førte ham til den Slutning, at de Legemer, som ere dannede af saaledes forbundne Blik, maae være ligesaa stærke, som om de bestode af et eneste Stykke.

Denne Følgeslutning synes overdreven; men da man i Virkeligheden kun underkaster Legemerne en permanent Belastning, som er lig $\frac{1}{4}$ og meget ofte $\frac{1}{6}$ af den, som vilde fremvirke Blikkets Brud, og følgelig $\frac{1}{2}$ eller $\frac{1}{3}$ af den, som vilde bevirke Sønderrivning af Forbindelserne med enkelt Klinkning, saa seer man, at ved de Grændser for Belastningerne, som vi antage, de saaledes dannede Legemer med Hensyn til Bøiningerne kunne betragtes som bestaaende af et eneste Stykke.

I Overensstemmelse med disse Bemærkninger bør Konstruktørerne, som man længere hen vil see, formindske Værdien af den praktiske Koefficient R, der bliver at anvende ved Beregningen af hine Bliklegemer.

Endelig maa bemærkes, at man, naar Klinknaglen er lang, maa drage Omsorg for, at den er afkjølet, førend den anbringes, paadetat Sammentrækningen og den deraf følgende Spænding ikke skal blive altfor betydelig, hvilket kunde foranledige, at Hovederne sprang af, eller at Klinkningerne brast.

§ 38. *Forsög af DHrr. Gouin & Comp.* — Da disse Herrer for ikke lang Tid siden havde overtaget Gjenopførelsen af Broen ved Clichy, gjorde de flere Forsøg for at undersøge Rigtigheden af de engelske Skribenters Angivelse af Modstandsevnen hos Klinknagler. Resultaterne heraf indeholdes i: „Comptes rendus des travaux de la so-

ciété des ingénieurs civils, séance du 18 juin 1852". Der var gaaet frem paa følgende Maade:

Man lod afdreie Stænger af garvet Jern, kaldet „extra-martelé de Grenelle", af 8, 10, 12 og 16 Millimetres Diametre, hvilke ligesom Stifter bleve stukne ind i to Stykker af hærdet Staal, hvoraf det ene var fladt og blev omfattet af begge Sinker af den Gaffel, med hvilken det andet Stykke endte; det til Optagelse af Stangen bestemte Hul var fuldkommen poleret, og formedelst hensigtsmæssigt anbragte Vægter trak man begge Staalstykkerne i modsat Retning, indtil den fuldstændige Gjennemskjæring af Stangen var bevirket. De i Brudøieblikket paahængte Vægter bleve deelte med det Antal Centimetre, som indeholdtes i de to Snitflader, og man fik følgende Resultater:

Spindlens Diameter.	Brudvægt pr. Quadratcentimeter.	
8 Millimetre.	3270 Kilogrammer.	Middeltal af 10 Forsøg.
10 „	3155 „	„ „ 10 „
12 „	3148 „	„ „ 10 „
16 „	3183 „	„ „ 10 „

Det samme Jern trukket efter Længden brast først under en Belastning af 4000 Kilogrammer pr. Quadratcentimeter.

Forsøg, som anstilledes med det samme Apparat, idet man indstak Spindlerne ophededе, og klinkede dem paa Gaflens begge yderste Sider, gave i Stedet for den i Tabellen anførte Værdie 3183 Kilogrammer — 3255 Kilogrammer, hvilken Forskjel paa en vis Maade giver Maalet for den Tilvæxt i Modstandsevne, som erholdes ved Fladernes Tilnærmelse.

MODSTANDSEVNEN HOS TRÆ MOD STRÆKNING.

§ 39. *Rondelet's Forsög over Modstandsevnen hos Træ mod Brud ved Strækning.* — Rondelet gjorde Forsøg med

smaae Stokke af Egetræ af forskjellige Længder og øvrige Dimensioner, hvis specifike Vægt var 861 Kilogrammer pr. Kubikmeter, for at bestemme Modstanden imod Brud ved Strækning. Resultaterne heraf lade sig sammenstille paa følgende Maade:

Prövestykkernes Længde.	Siden af det quadratiske Tværsnit.	Modstand imod Brud pr. □ Centimeter.
Meter.	Centimeter.	Kilogrammer.
0,027	0,226	984,2
0,054		971,3
0,217	0,451	961,8
0,325		973,8
0,217		979,7
0,305	0,677	981,0
0,487		982,0
	Almindeligt Middeltal	976,3

Af disse Forsøg, ved hvilke Tværsnittenes Fladeindhold varierede i Forholdet af 1 : 9 og Længderne af 1 : 18, fremgaaer:

1. At Egetræs Modstand imod Brud ved Strækning er proportional med Træstykkets Tværgjennemsnit.
2. At denne Modstand er uafhængig af Træstykkernes Længde, naar denne er ringe nok til, at Legemets egen Vægt ikke behøver at medtages i Beregningen.
3. At Modstanden gjennemsnitlig beløber sig til 976,3 Kilogrammer pr. Quadratcentimeter af Tværsnittet eller 9,763 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter.

Det bemærkes, at disse Forsøg kun ere gjorte med Hensyn til Modstandsevnen imod Brud ved Strækning, og at man ikke har maalt de ved de forskjellige Belastninger frembragte Forlængringer; vi anføre dem ogsaa kun i Mangel af specielle Forsøg over Træets Modstandsevne mod Forlængring ved en efter Længden virkende Kraft.

§ 40. *Forsög af Chevandier og Wertheim.* — Af disse meget vigtige Forsøg er uddraget følgende Slutninger:

1. Træets Tæthed synes at variere meget lidet med Alderen.

2. Elasticitetsmodulen bliver derimod mindre efter en vis Alder; den afhænger ogsaa af Tørheden og af Beliggenheden af det Terrain, paa hvilket Træet er voxet; saaledes have de paa et mod Nord, Nordost og Nordvest vendende Terrain og de paa tør Bund voxede Træer stedse en høiere Koefficient, der er saa meget større, naar begge disse Betingelser ere forenede, — medens de paa sumpig Bund voxede Træer have de laveste Koefficienter.
3. Alderen og Beliggenheden have Indflydelse paa Kohæsionen.
4. Elasticitetskoefficienterne for de paa rød Sandsteen i Vogeserne voxede Bøgetræer ere alle større end for det Bøgetræ, som voxer paa forskjelligfarvet Sandsteen eller paa Muslingkalk — ved Træer, som kunne sammenlignes.
5. De i fuld Saft og de førend Saftens Opstigning fældede Træer have med Hensyn til Elasticiteten ikke viist nogen mærkelig Forskjel.
6. Tykkelsen af Aarsringene synes kun at have Indflydelse paa Værdien af Elasticitetsmodulen for Gran og Fyr, hvilken havde desto større Værdier, jo tyndere Ringene vare.
7. Ved Træ gives der egentlig ikke nogen Elasticitetsgrændse, og der danner sig stedse en permanent Forlængring samtidig med en elastisk.

Af denne Omstændighed skulde følge, at Elasticitetsgrændse ikke existerer ved de af Chevandier og Wertheim forsøgte Træarter; for imidlertid at rette sig efter de hidtil herskende Begreber, og for at anslutte Resultatet af deres Undersøgelser til deres Forgjængeres, have de som Værdie for Elasticitetsgrændsen angivet den Belastning, ved hvilken der allerede viser sig en meget svag permanent Forlængring; den Grændse, som i følgende Tabel er angivet for den Belastning, ved hvilken Træets

Elasticitet begynder at forandres, svarer til en permanent Forlængring af $0^m,00005$ pr. Meter.

Af denne Tabel seer man ogsaa, at hin Grændse stiger med Træets Udtørring, og at meget raae Træer lettere ere underkastede permanente Forlængringer end tørre.

Elasticitetsgrændse eller Belastning pr. Quadratmillimeter af Tværsnittet, ved hvilken Træets Elasticitet begynder mærkbart at forandres; efter Chevandier og Wertheim.

Træarter.	Grönt Træ.	Udtörret Træ	
		i et lukket Rum.	i Luften eller i Solen.
	Kilogrammer	Kilogrammer	Kilogrammer
Acacie	„	3,175	3,188
Gran	„	1,597	2,153
Hvidbög	1,282	„	„
Birk	0,761	„	1,617
Bög	„	2,018	2,317
Eg, med Agern uden Stilk	„	1,936	2,349
Fransk Fyr	„	1,391	1,633
Alm	0,987	„	1,842
Morbær	1,647	„	2,303
Ask	1,726	„	2,029
Or	1,449	„	1,809
Zittrepoppel	2,302	„	3,082
Ahorn (Valbirk)	„	„	2,715
Poppel	„	1,200	1,484

Ved de i Tørrestuer stærkt tørrede Træer falder den til Elasticitetsgrændsen svarende Belastning næsten sammen med den, som medfører Brud, d. e., disse Træer kunne næsten ikke forlængre sig permanent; man seer ogsaa, at denne Træernes kunstige og fremskyndte Tørring særdeles meget forøger deres Modstandsevne mod Bøining.

Den følgende Tabel indeholder de midlere Resultater af Chevandier's og Wertheim's Forsøg.

Træarter.	Tæthed.	Elasticitetskoefficient E, henført til □ Millimetren.	Elasticitetsgrænse, eller Belastning pr. □ Millimeter, som svarer til denne Grændse.	Kohæsion, eller Belastning pr. □ Millimeter, som er istand til at bevirke Brud.
		Kilogrammer	Kilogrammer	Kilogrammer
Acacie	0,717	1261,9	3,188	7,93
Gran	0,493	1113,2	2,153	4,18
Hvidbög	0,756	1085,7	1,282	2,99
Birk	0,812	997,2	1,617	4,30
Bög	0,823	980,4	2,317	3,57
Eg med Agern med Stilk	0,808	977,8	„	6,49
„ „ „ uden Stilk	0,872	921,8	2,349	5,66
Fransk Fyr	0,559	564,1	1,633	2,48
Alm	0,723	1165,3	1,842	6,99
Morbær	0,692	1163,8	1,139	6,16
Ask	0,697	1121,4	1,246	6,78
Or	0,601	1108,1	1,121	4,54
Zittrepoppel	0,602	1075,9	1,035	7,20
Ahorn	0,674	1021,4	1,068	3,58
Poppel	0,477	517,2	1,007	1,97

De samme Iagttagere have ogsaa bestemt Træsorternes Elasticitetskoefficient og Kohæsion i Retningen af Radien og af Tangenten til Aarsringene.

En Undersøgelse af følgende Tabel, i hvilken de af Forsøgene vundne Sammenligningsresultater ere optagne, vil vise, at Modstandsevnen altid er større i Retningen af Radien end i Retningen af Tangenten til Aarsringene.

Forholdet mellem Elasticitetskoefficienterne i begge Tilfælde varierer gjennemsnitlig fra 3 til 1,5; ved Eg og Fyr eller Gran, de brugeligste Træsorter, ere disse Forhold respektive 1,46 og 2,76; kun ved den franske Fyr er det betydeligere, og i Almindelighed er Forskjellen især mærkbar ved harpixagtige Træsorter med meget betegnede Aarsringe.

Træarter.	I Retning af Radien.		I Retning af Aarsringenes Tangent.	
	Elasticitets-koefficient E.	Kohæsion eller Belastning pr. □ Millimeter, som er istand til at frembringe Brud.	Elasticitets-koefficient E.	Kohæsion eller Belastning pr. □ Millimeter, som er istand til at frembringe Brud.
	Kilogrammer	Kilogrammer	Kilogrammer	Kilogrammer
Hvidbög	208,4	1,007	103,4	0,608
Zittrepoppel . .	107,6	0,171	43,7	0,414
Or	98,3	0,329	59,4	0,175
Morbær	134,9	0,522	80,5	0,610
Ahorn	157,1	0,716	72,7	0,371
Eg	188,7	0,582	129,8	0,406
Birk	81,1	0,823	155,2	1,063
Bög	269,7	0,885	159,3	0,752
Ask	111,3	0,218	102,0	0,408
Alm	122,6	0,345	63,4	0,366
Poppel	73,3	0,146	38,9	0,214
Fyr	94,5	0,220	34,1	0,297
Fransk Fyr . .	97,7	0,256	28,6	0,196
Acacie	170,3	„	152,2	1,231

TOUGES MODSTANDSEVNE.

§ 41. *Sammenligning mellem de tjærede Hampetouge og de Kjædetouge, som ere indförte i den engelske Marine.* — Efterfølgende Tabel indeholder forskjellige Angivelser angaaende Touge af Hamp og af smedet Jern, saaledes som de ere indførte i den engelske Marine, blandt hvilke Angivelser man vil finde de til hinanden svarende Dimensioner af begge disse Slags Touge for Skibe af samme Rang.

Skibenes Rang.	Hampetouge af 183m,0 Længde, 1ste Qualitet.			Antal Kabel-Garn.	Brudspænding.		Diameter og Vægt a Kjædetougene af Jern, som ere traadte istedet for Hampetougene.	Prøvespænding.
	Omkreds.	Diameter.	Vægt.		Total.	pr. □ Millimeter.		
	Meter	Meter	Kilogrammer		Kilogrammer	Kilogrammer		Kilogrammer
1 Rang stor	0,635	0,202	3240	607				
1 Rang middels	0,610	0,194	2988	566				
1 Rang liden	0,594	0,189	2736	525			D = 0m,053 1110 Kilogr.	82000
2 Rang	0,594	0,189	2736	525	116000	4,43		
3 Rang stor	0,594	0,189	2736	525				
3 Rang liden	0,560	0,178	2520	457				
4 Rang paa 60 Kanoner	0,532	0,169	2208	416	90500	3,84 4,04	D = 0m,0508 967 Kilogr.	73000
4 Rang „ 58 „	0,483	0,154	1872	344			D = 0m,0465 887 Kilogr.	64000
4 Rang „ 50 „	0,470	0,149	1764	334				
5 Rang „ 48 „	0,458	0,146	1656	327	64000	3,64	D = 0m,0444 774 Kilogr.	56000
5 Rang „ 46 „	0,445	0,142	1584	284				
5 Rang „ 42 „							D = 0m,0348 467 Kilogr.	34500
6 Rang paa 28 „	0,368	0,117	1080	202	40000	3,72		
Corvet	0,343	0,109	936	172			D = 0m,0318 413 Kilogr.	28400
Brig stor	0,343	0,109	936	172				
Brig liden	0,280	0,069	612	166			D = 0m,0285 317 Kilogr.	23300
				Middeltal =		3,93		

Ifølge Tabellen synes det, som om den midlere Modstand af de i England anvendte tjærede Hampetouge beløber sig til 3,93 Kilogrammer pr. □ Millimeter, en Værdie, som er langt mindre end den i den franske Marine antagne.

I Frankrig er den almindelige Regel at beregne Tykkelsen af det tjærede Tougværk efter Formlen

$$35\,C^2,$$

i hvilken C er Omkredsen udtrykt i Centimetre. Denne Formel er lig $345\,D^2$, naar D er Diametren i Centimetre, eller $3{,}45\,D^2$, naar D er udtrykt i Millimetre.

Da Indholdet af Tværsnittet er $= \frac{D^2}{1{,}273}$, saa leder

denne Regel til $3{,}45 \times 1{,}273 = 4{,}39$ Kilogrammer pr. Quadratmillimeter af Gjennemsnittet.

Resultaterne af de i Frankrig gjorte Forsøg med tjæret Tougværk, saaledes som det anvendes i Marinen, ere nøiere fremstillede ved Formlen:

$$(45 - 0{,}25\ C)\ C^2$$

hvor C er udtrykt i Centimetre.

§ 42. *Kjædetougenes Styrke.* — De af Kapitain Brown gjorte direkte Forsøg have angivet Styrken af Kjæders Ringe, der have en Diameter af $0^m{,}0381$, til 77000 Kilogrammer. Da Gjennemsnitsfladen er $= 2 \times \frac{38{,}1^2}{1{,}273} = 2240$ 2280 □ Millimetre, saa er Modstandsevnen pr. Quadratmillimeter af Tværsnittet

$$\frac{77000}{2240} = 34{,}40 \text{ Kilogrammer.}$$

33,77
2280

De sammenlignende Forsøg over Modstandsevnen hos det anvendte Jern gav for dette 40 Kilogrammer pr. □ Millimeter; følgelig formindskes Styrken af det til en Kjæde forarbeidede Jern i Forholdet 40 : 34.

Men de forsøgte Kjædetouge have imidlertid ikke Støbejernsstolper i Løkkernes Midte, saaledes som almindeligvis er Tilfældet; ved Tilføining af disse, hvilke modstræbe Løkkernes Forlængring paa samme Tid, som de forhindre Kjæden fra at knytte sig, har man erholdt næsten den samme Modstandsevne for Kjæderne, som for en Jernstang med samme Tværsnit som Løkkens eller Ringens begge Sider tilsammentagne.

Det turde her endnu bemærkes, at de Forsøg, hvis Resultater nys ere blevne anførte, anstilledes med den hydrauliske Presse, og at de angivne Spændinger, hvilke bleve udledede ved Iagttagelse af Ventilerne eller ved et manometrisk Rør, maaskee ere noget høit anslaaede.

§ 43. *I Frankrig antagne Forhold for Touge af Hamp og af Jern.* — Prøvekraften for de i Marinen anvendte Kjædetouge af Jern beløber sig til 17 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter (23290 ℔ pr. □″ norsk Maal og Vægt) af det dobbelte Tværsnit af Jernet i de med Stolper forsynede Kjæder, der have 16 Millimetres Diameter og derover, og 14 Kilogrammer pr. □ Millimeter (19180 ℔ pr. □″ norsk) for Jernkjæder af mindre Diameter end 16 Millimetre, hvilke man ikke giver Stolper.

Udtrykker man Prøvekraften i Brøkdele af Diametren, saa er den lig

26,7 Kilogrammer $\times D^2$ for Kjæder med Stolper, og *)

22,0 Kilogrammer $\times D^2$ for Kjæder uden Stolper,

naar D er Diametren i Millimetre.

Da man i den franske Marine indførte Kjædetougene for at sætte dem istedet for Hampetougene, anslog man Modstandsevnen hos Jernet kun til 27 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter, eller rettere sagt, man antog den Modstand ydende Flade formindsket med en Fjerdedeel af dens virkelige Værdie, eller lig $1\frac{1}{2}$ Gange Værdien af det enkelte Tværsnit af det Jern, hvis Qualitet var af den Beskaffenhed, at dets Modstandsevne mod Brud var lig 36 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter.

Efter denne Antagelse vilde, naar man udtrykte Dimensionerne og Modstandsevnen hos Hampetougene ved Formlen

$$(45 - 0{,}25\,C)\,C^2,$$

hvor C betegner Omkredsen i Centimetre, Modstandsevnen for Kjædetougene blive udtrykt ved:

$$2 \times 27 \times \frac{D^2}{1{,}273} = 42{,}4\,D^2,$$

*) For norsk Maal og Vægt gjør dette: 36580 ℔. D^2 for Kjæder med Stolper, og 30140 ℔. D^2 for Kjæder uden Stolper, naar D er Diametren i norske Tommer.

hvor D betegner Diametren af det anvendte Jern i Millimetre.

Siden Indførelsen af Kjædetougene ere nogle anvendte Dimensioner afvegne noget fra denne Regel, dog have disse Afvigelser liden Betydning. Forøvrigt er det Forhold mellem Touge af Hamp og af Jern, som er antaget ved det nærværende Reglement, angivet i følgende Tabel.

Sammenligning mellem de tjærede Hampetouge og de Kjædetouge af Jern, som ere indförte i den franske Marine.

Skibenes Rang.	Hampetouge.			Kjædetouge.		
	Omkreds i Centimetre.	Diameter i Centimetre.	Vægt af 100 Metres Længde.	Diameter i Millimetre.	Vægt af 100 Metres Længde.	Prövekraft.
			Kilogrammer		Kilogrammer	Kilogrammer
Linieskibe af 1. og 2. Rang	66	21,0	3500	54	6576	77000
Linieskibe af 3. Rang (ny)	65	20,7	3392	52	5863	71500
Linieskibe af 4. „ . . .	60	19,1	2895	42	5043	61000
Fregatter af 1. Rang . .						
Fregatter af 2. „ . . .	48	15,3	1852	46	4700	56000
Fregatter af 3. „ . . .	46	14,6	1700	42	3851	46500
Korvetter af 1. Klasse . .	40	12,7	1288	38	3187	38500
Korvetter af 2. „ . .	38	12,1	1161	34	2502	31000
Brigger af 1. Klasse . .	35	11,1	985	32	2379	27000
Brigger af 2. „ . .	29	9,2	676	28	1797	21000
Kanonbaade, Brigger, Goëletter paa 6 Kanoner	23	7,6	426	24	1392	15500
„ „ 4 „	20	6,4	322	20	953	10500

Vægten af Hampetougene kan variere med 7 pCt. meer eller mindre, alt eftersom Tougets Garn er stærkere eller svagere sammenslaaet. Deres sædvanlige Længde er 200 Metre, og man forbinder ofte to af dem ved en Splidsning. Kjædetougene have for nærværende en Længde af 360 Metre for Linieskibe og Fregatter, og af omtrent 300 Metre for andre Fartøier.

Sammenligner man denne Tabel med den i § 41, der omhandler de i den engelske Marine indførte Touge, opdager man en næsten fuldstændig Overensstemmelse i de af begge Nationer antagne Dimensioner.

Vi ville tilføie, at for de Kjættinger, hvis Dimensioner ere ringere end de i Tabellen opførte, og som mangle Forstærkningsstolper, er Diametren af det anvendte Jern sædvanligvis en Tiendedel af Omkredsen af det tilsvarende Hampetoug.

BELASTNINGSGRÆNDSER ELLER PERMANENT BELASTNING.

§ 44. *Maade at bestemme Belastningsgrændsen eller den Trækkekraft, for hvilken man permanent kan udsætte Legemerne.* — Da de af Erfaringen leverede Resultater lære os med Hensyn til de forskjellige ved Bygninger anvendte Materialier at bestemme Grændsen for den Belastning, som et givet Stykke er istand til at bære for hver Quadratcentimeter, kunde man ledes til at troe, at man efter at have beregnet Trækkekraften, som dette Stykke er underkastet, ikke havde videre at gjøre, end at give samme de Dimensioner, som findes nødvendige for simpelthen at modstaae denne Trækkekraft uden Elasticitetsforandring. Men i de sædvanlig forekommende Tilfælde bør man, for at beskytte sig mod Virkningerne af Overbelastning samt mod tilfældige Kræfter, stille sig den Betingelse, at den permanente Belastning er saadan, at Forlængringen ikke overskrider Halvparten af den, som svarer til Elasticitetsgrændsen. Kalder man derfor i' Værdien af den tilladelige Forlængring, og P' den Belastning, som er istand til at frembringe denne, saa har man $P' = Ei'$ for at bestemme den Belastning, som man permanent kan udsætte Legemet for, og hvilken man simpelthen kalder den permanente Belastning.

Resultaterne af de direkte Forsøg ere desværre endnu for faae; vi anføre i følgende Tabel de deraf bekjendte samt Værdierne for E, og for P og *i*, hvilke sidste tilsvare den Elasticitetsgrændse, som man deraf udleder.

Legemernes Betegnelse.	Forlængring, svarende til den naturlige Elasticitetsgrændse.	Belastning pr. □ Millimeter, som svarer til denne Grændse.	Værdie af Elasticitetskoefficienten E pr. □ Millimeter.	Belastning pr. □ Tomme Norsk, som svarer til denne Grændse.	Værdie af Elasticitetskoefficienten E pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt.
		Kilogrammer	Kilogrammer	Pund	Pund
Eg	$\frac{1}{600}$ = 0,00167	2,00	1200	2740	1 644 000
Gul eller hvid Gran (Fyr)	$\frac{1}{850}$ = 0,00117	2,17	1854	2973	2 540 000
Rödgran eller Fyr	$\frac{1}{470}$ = 0,00210	3,15	1500	4316	2 055 000
Lærketræ	$\frac{1}{620}$ = 0,00192	1,73	900	2370	1 234 000
Rödbög	$\frac{1}{570}$ = 0,00175	1,63	930	2233	1 276 000
Ask	$\frac{1}{885}$ = 0,00113	1,27	1120	1740	1 540 000
Alm	$\frac{1}{414}$ = 0,00242	2,35	970	3220	1 330 000
Blödt, gjennem Trækbænken gaaet Jern af mindre Dimensioner	$\frac{1}{1250}$ = 0,00080	14,75	18000	20200	24 660 000
Jernstænger	$\frac{1}{1520}$ = 0,00066	12,205	20000	16720	27 400 000
Strækket Jern fra Berry	„	„	20869	„	28 590 000
Udglödet Jern fra Berry	„	„	20784	„	28 474 000
Stöbestaal af meget god Qualitet, glödet i Olie (tydsk)	$\frac{1}{835}$ = 0,00120	25,00	21000	34250	28 770 000
Meget fint Stöbestaal, glödet i Olie, hærdet	$\frac{1}{4500}$ = 0,00222	66,00	30000	90420	41 100 000
Stöbestaal { strækket	„	„	19549	„	26 782 000
Stöbestaal { glödet	„	„	19561	„	26 799 000
Engelsk Staal som Traad { strækket	„	„	18809	„	25 768 000
Engelsk Staal som Traad { glödet	„	„	17278	„	23 671 000
Sædvanligt Staal glödet i Hvidglödhede	„	„	18045	„	24 722 000
Finkornet Stöbejern	$\frac{1}{1200}$ = 0,00083	10,00	12000	13700	16 500 000 16 440 000
Engelsk, almindeligt Stöbejern, af god					

Legemernes Betegnelse.	Forlængring, svarende til den naturlige Elasticitetsgrændse.	Belastning pr. □ Millimeter, som svarer til denne Grændse.	Værdie af Elasticitetskoefficienten E pr. □ Millimeter.	Belastning pr. □ Tomme □ Norsk, som svarer til denne Grændse.	Værdie af Elasticitetskoefficienten E pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt.
		Kilogrammer	Kilogrammer	Pund	Pund
Qualitet					~~11 577 000~~ 12 462 000
Traad af strækket Kobber	$\frac{1}{1400} = 0{,}00078$	6,00	9096	8220	
„ „ glødet Kobber	„	„	12000	„	16 440 000
„ „ glødet Messing	„	„	10500	„	14 385 000
Støbt Messing	$\frac{1}{741} = 0{,}00135$	15,00	10000	20550	13 700 000
Bronce af smeltede Kanoner	$\frac{1}{1320} = 0{,}00076$	4,80	6450	6576	8 836 500
Traad af renset Bly, strækket koldt, 4 Millimetre i Diameter	$\frac{1}{1590} = 0{,}00063$	2,00	3200	2740	4 384 000
Traad af urent Bly, strækket koldt, 6 Millimetre i Diameter (Handelsbly)	$\frac{1}{1490} = 0{,}00067$	0,40	600	548	820 000
Støbt sædvanligt Bly	$\frac{1}{2000} = 0{,}00050$	0,40	800	548	1 096 000
„ Tin	$\frac{1}{477} = 0{,}00210$	1,00	500	1370	652 000
„ Zink	„	„	3200	„	4 384 000
Strækket Guld	„	„	9600	„	13 152 000
„ Sölv	„	„	8131	„	11 139 470
Middels Platinatraad	„	„	7358	„	10 080 460
„ glødet Platinatraad	„	„	17044	„	23 350 280
Glødet Guld	„	„	15518	„	21 259 660
Glødet Sölv	„	„	5585	„	7 651 450
	„	„	7140	„	978 180

§ 45. *Udglödningens Indflydelse.* — Ifølge denne Tabel, som senere vil blive fuldstændiggjort ved andre, af Forsøgene over Bøining udledede Resultater, synes det, som om Udglødningen ikke forandrer Jernets eller Staa-

lets Elasticitet, men derimod vel Kobberets, Guldets, Platinaens og selv Sølvets.

Forøvrigt maa bemærkes, at Udglødningen, saaledes som man anvender den ved lignende Forsøg eller for Gjenstande af smaae Dimensioner, kun vedvarer et Øieblik; ved store Jernstykker, saasom ved Axler, ved hvilke Operationen medtager langt længere Tid, synes dog den længere og rolige Virkning af Varmen, selv om Varmegraden er temmelig lav, at udøve en Indflydelse paa Anordningen af Jernets Molekuler, som bringer disse til at nærme sig den krystallinske Tilstand, og gjør et meget godt, trævlet Jern til et Facetjern af den sletteste Sort. Heraf maa man slutte, at Udglødningen af Axler og større Jerndele er en for Modstandsevnen mere skadelig end gavnlig Operation*). Man synes ogsaa i Almindelighed at have opgivet den.

§ 46. *En elektrisk Ströms Indflydelse paa Elasticiteten.* — Af Wertheim's Forsøg fremgaaer, at en elektrisk Strøm noget formindsker Værdien for Elasticitetskoefficienten, følgelig ogsaa Metallernes Modstandsevne, men at denne Formindskelse ophører med den elektriske Strøm.

§ 47. *Anvendelse og Brug af den foranstaaende Tabel.* — Naar man ved Hjælp af denne Tabel vil beregne f. Ex. Forlængringen af en rund Jernstang af 25 Millimetres Diameter og $8^{m},00$ Længde, ved en Trækkekraft af 4000 Kilogrammer, saa finder man først, at den af hver

*) Under Nedskrivningen heraf har jeg foran mig et Stykke Jern fra Pyrenæerne, som, da det kom fra Smedien, var blødt og fibrigt. Efterat det i 5 Maaneder og 12 Dage var bleven underkastet en vedvarende, modereret Udglødning, overgik det i en krystallinsk Tilstand med Facetter af 4 til 5 Millimetres Størrelse.

Forfatteren.

□ Millimeter af Gjennemsnittet baarne Belastning er lig

$$\frac{4000 \times 1{,}273}{25^2} = 8{,}15 \text{ Kilogrammer.}$$

Da den til Elasticitetsgrændsen svarende Belastning af Jern i Stænger efter Tabellen beløber sig til 12,205 Kilogrammer, og den tilsvarende Forlængring til $0^m{,}00066$, saa finder man den søgte Forlængring ved Proportionen:

$$12{,}205^{Kil} : 0^m{,}00066 = 8{,}15^{Kil} : x,$$

hvoraf

$$x = \frac{0{,}00066 \times 8{,}15}{12{,}205} = 0^m{,}00044.$$

Den totale Forlængring af en Jernstang af $8^m{,}00$ Længde vilde altsaa være $0^m{,}00044 \times 8 = 0^m{,}00352$; og den vilde følgelig overskride Halvparten af den, ved hvilken Elasticiteten begynder at forandre sig; Trækkekraften 4000 Kilogrammer vilde altsaa være for stor, naar den skulde være permanent.

§ 48. *Anvendelse paa de Kjæder, som tjente til at hæve Rörbroen over Menaistrædet.* — En af de dristigste Operationer, som de engelske Ingenieurer have udført, er Placeringen af Rørbroerne over Menaistrædet; og uden her at ville indgaae i nogen detailleret Beskrivelse, hvilken man finder i Fairbairn's og Clark's Værker, vil det dog være af Interesse at undersøge, om de for de forskjellige Dele af de dertil benyttede Redskaber anvendte Forhold vare saadanne, at de kunde yde al fornøden Sikkerhed.

To hydrauliske Presser vare opstillede paa Kronen af enhver af de Piller, som skulde bære Broerne; den indvendige Diameter af deres Sylinder var $20'' = 0^m{,}508$; den udvendige Diameter af den hule Kolb $18'' = 0^m{,}457$; Tykkelsen af Sylindrens Vægge $8''{,}75 = 0^m{,}222$; Røret, hvorigjennem Vandet tvinges ind i Sylindren, var af smedet Jern af $0''{,}50 = 0^m{,}0127$ Diameter og $0^m{,}00635$ Tykkelse. Pressens Dækkel blev ledet i vertikal Retning ved to

Stænger af Smedejern af $0^m,127$ Diameter, som vare forbundne ved en paa Muurværket hvilende Tvær-Stang.

Ved enhver fuld Hævning af Pressens Kolb blev Røret hævet $1^m,830$ i 30 til 45 Minutter.

Kjæderne vare blevne forfærdigede med megen Omhu af DHrr. Howard og Ravenhill. De bestode afvexlende af 8 og 9 Plader af $1^m,83$ Længde fra Midte til Midte af Bolthullerne. Tværsnitsfladen var den samme gjennem hele Kjædens Længde. Tykkelsen af enhver Plade i et Kjædeled paa 8 Plader var $0^m,0317$, og af Pladerne i et Kjædeled paa 9 St℔ $= 0^m,0279$; enhver Plades Bredde var $= 0^m,178$.

Tværsnittet af ethvert Kjædeled paa 8 Plader androg altsaa 452 □ Centimetre, og dets Vægt 842,44 Kilogrammer. Tværsnittet af hvert Kjædeled med 9 Plader var 445 □ Centimetre, og dets Vægt 839,74 Kilogrammer. Tværsnittet af de 4 Kjæder til Hævningen af ethvert Rør var 1780 □ Centimetre, og den største Belastning, hvorfor de bleve udsatte, androg 8,3 Tons pr. Quadrattomme eller 1366,6 Kilogrammer pr. □ Centimeter, eller 13,66 Kilogrammer pr. □ Millimeter. Kjædernes Skuldre bare indtil 10 Tons pr. □ Tomme, eller 1574,2 Kilogrammer pr. □ Centimeter = 15,74 Kilogrammer pr. □ Millimeter.

Disse Belastninger synes at være overdrevne for saa vigtige og farlige Operationer og overskride altformeget de Grændser af 6 til 7 Kilogrammer, som man sædvanlig antager i Frankrig. Ogsaa forlængrede Kjæderne sig under Belastningen 0,225 Tommer pr. 3 Fod, eller $\frac{1}{160}$, og beholdt en permanent Forlængring af $0'',175$ eller $\frac{1}{205}$ af deres Længde, medens de permanente Forlængringer, som svare til Elasticitetsgrændsen, for Smedejern ikke bør beløbe sig til meer end $\frac{1}{1250}$ til $\frac{1}{1520}$.

Der er Grund til at antage, at man har erkjendt den Fare, som var forbunden med saaledes at overskride Ela-

sticitetsgrændsen; thi ved Hævningen af Rørene til Britanniabroen, som tilligemed Apparaterne veiede 1914 Tons, medens Conwaybroens Rør kun havde en Vægt af 1260 Tons, anvendte man paa den ene Side begge de Presser, som vare brugte ved sidstnævnte Bro, og paa den anden Side en langt stærkere Presse, saa at Spændingen i Kjæderne til de to Presser i dette andet Tilfælde var mindre, og formindsket i Forholdet som $1260 : \frac{1914}{2} = 957$ eller som 4 : 3, og følgelig beløb sig til omtrent 11,95 Kilogrammer pr. □ Millimeter, hvilket altid, selv ved temporære Manøvre, er meget betydeligt.

§ 49. *Bemærkninger med Hensyn til Anvendelserne.* — Er det end i Almindelighed hensigtsmæssigt ved permanente Bygværker at indskrænke Belastningerne pr. □ Millimeter til Halvparten af dem, der tilsvare Elasticitetsgrændsen, saa kan man ikkedestomindre i visse Tilfælde, — naar der handles om Dele, ved hvilke Lethed er en ueftergivelig Betingelse, og naar man ikke har at befrygte tilfældige Paavirkninger af meget større Styrke, end de sædvanlige, — hæve Middelbelastningen til tre Fjerdedele af den, der tilsvarer Elasticitetsgrændsen. Dette er Tilfældet med Søilerne af Smedejern ved de hydrauliske Presser, hvilke kun momentant have at bære den høieste Grændse af Belastning, for hvilken de ere udsatte, og hvilke man følgelig kan paabyrde tre Fjerdedele af den Belastning, som er istand til at forandre Elasticiteten, eller 9 Kilogrammer pr. □ Millimeter af Gjennemsnittet.

Stykker derimod, som kunne blive udsatte for tilfældige Kræfter, der ere meget større end den Middelkraft, som man lægger til Grund for Beregningen, er det hensigtsmæssigt, at give et Overskud af Styrke. Det er Konstruktørens Sag nøie at overveie alle sig frembydende Omstændigheder.

§ 50. *Bemærkninger over den Trækkekraft, for hvilken man hensigtsmæssigen kan udsætte de ved Bygninger anvendte Legemer.* — Det er allerede anført, at, da næsten alle Bygninger ere udsatte for Vibrationer og Stød, der tilfældigen kunne i høi Grad forøge Styrken af den Indvirkning, hvorfor Legemerne i Almindelighed ere udsatte, vil det være tilraadeligt at beregne deres Dimensioner saaledes, at de kun have at modstaae Kræfter, der ere Halvparten saa store, som de, hvorved Forlængringer frembringes, udover hvilke Elasticiteten begynder at forandre sig. Saaledes er det antydet, at man for blødt Jern i Stænger, hvis Forlængringsgrændse ved et Træk efter Længden af 12,205 Kilogrammer pr. □ Millimeter af Tværsnittet beløber sig til $0^m,00066$ pr. Meter (§ 44) bør indskrænke den midlere Trækkekraft til 6,103 Kilogrammer.

Denne paa Hensyn til Forlængringsgrændsen grundede Regel for Belastningsforholdet er fuldkommen rationel og knytter sig, saameget som kan ønskes, til Kjendsgjerninger; men uheldigvis ere Forsøgene over Legemernes Elasticitet endnu langt mindre talrige end de, man har anstillet over Brud, og det af den Grund, at man gjennem lang Tid uretteligen betragtede Phænomenerne ved Bruddet som det Vigtigste for Bygningskunsten.

§ 51. *Resultater af Iagttagelser over Legemernes Modstandsevne mod Brud ved Strækning.* — I Mangel af fuldstændige Oplysninger over Legemernes Elasticitet ere vi følgelig nødte til at tye til de over Brud anstillede Forsøg, omendskjønt disse frembyde langt mindre Nøiagtighed og Regelmæssighed end de første.

Fra Indbegrebet af de iagttagne Kjendsgjerninger har man sluttet, at, naar et sylindrisk eller prismatisk Legeme udsættes for en efter Længden virkende Trækkekraft, er dets Modstandsevne mod Brud næsten proportional med Tværsnittets Fladeindhold. I den 9de og de derpaa følgende §§ have vi seet, at de der anførte Forsøg af

Hodgkinson og Rondelet paa det Nærmeste bekræfte denne Slutning. Iagttagelsen af godt udførte Bygværker har ogsaa ledet til den Antagelse, at de permanente Kræfter, for hvilke man kan udsætte Prismer og Sylindre, ikke bør overskride:

For Træ, Steen og Mørtel $\frac{1}{10}$
„ Metaller . . . . . $\frac{1}{6}$
} af Brudbelastningen.

Paa denne Basis er følgende Tabel bleven udkastet, der angiver saavel de Belastninger, som ere istand til at frembringe Brud ved Trækkekraft, som dem, for hvilke man permanent med Sikkerhed kan udsætte de Legemer, som mest bruges i Bygningskunsten.

Tabel over de efter Længden virkende Trækkekræfter, som ere istand til at frembringe Brud, og over de Kræfter, hvormed man med Sikkerhed kan belaste de forskjellige Legemer.

Legemernes Betegnelse.	Belastning pr. □ Millimeter		Belastning pr. norsk □ Tomme.	
	hvilken er istand til at frembringe Brud.	med hvilken man med Sikkerhed kan belaste Legemerne.	hvilken er istand til at frembringe Brud.	med hvilken man med Sikkerhed kan belaste Legemerne.
	Kilogrammer	Kilogrammer	Norske Pund	Norske Pund
Træ.				
Eg i Fibrernes Retning, stærk	8,00	0,800	10960	1096,0
„ „ „ „ svag	6,00	0,600	8220	822,0
Zittrepoppel i Fibrernes Retning	6 til 7	0,60 til 0,70	8220 til 9590	822 til 960,0
Fyr „ „ „	8 - 9	0,80 - 0,90	10960 - 12330	1096 - 1233,0
Vogeserfyr „ „ „	4,00	0,400	5480	548,0
Svag Fyr fra Vogeserne i Fibrernes Retning	2,48	0,248	3397	339,7
Ask i Fibrernes Retning	12,00	1,200	16440	1644,0
Ask fra Vogeserne i Fibrernes Retning	6,78	0,678	9288	928,8
Alm i Fibrernes Retning	10,40	1,04	14248	1424,8
Alm fra Vogeserne i Fibrernes Retning	6,99	0,699	9576	957,6
Bög i Fibrernes Retning	8,00	0,800	10960	1096,0
Teak, til Vandbygning i Fibrernes Retning	11,00	1,100	15070	1507,0
Buxbom i Fibrernes Retning	14,00	1,400	19180	1918,0
Pæretræ i „ „	6,90	0,690	9483	948,3
Mahagoni i „ „	5,60	0,560	7672	767,2
Zittrepoppel fra Vogeserne i Fibrernes Retning	7,20	0,720	9864	986,4
„ „ „ frasiden paa Fibrerne, ved Glidning	0,57	0,057	781	78,1

Legemernes Betegnelse.	Belastning pr. □ Millimeter		Belastning pr. norsk □ Tomme	
	hvilken er istand til at frembringe Brud.	med hvilken man med Sikkerhed kan belaste Legemerne.	hvilken er istand til at frembringe Brud.	med hvilken man med Sikkerhed kan belaste Legemerne.
	Kilogrammer	Kilogrammer	Norske Pund	Norske Pund
Fyr fra Vogeserne, frasiden paa Fibrerne, ved Glidning	0,42	0,042	575	57,5
Eg, lodret paa Fibrerne	1,60	0,160	2192	219,2
Poppel „ „ „	1,25	0,125	1712	171,2
Lærketræ, lodret paa Fibrerne	0,94	0,094	1288	128,8
Eg eller Fyr { Rette Piecer, dannede af Stykker, som ere forbundne med hverandre ved Overskjæring eller Fortandning . .	4,00	0,400	5480	548,0
Eg eller Fyr { Buer af paa Kant satte Bord eller af böiet Træ . .	3,00	0,300	4110	411,0
Metaller.				
Strækket eller Smedejern { stærkest, tynde Stænger	60,00	10,00	82200	13700,0
Strækket eller Smedejern { svagest, meget tykke Stænger . .	25,00	4,16	34250	5708,4
Smedejern i Stænger, middels	40,00	6,66	54800	9133,4
Valtset Blik { strækket i Valtsningens Retning	41,00	7,00	56170	9361,7
Valtset Blik { „ lodret paa „ „	36,00	6,00	49320	8220,0
Stærk Blik, efter begge Retninger	35,00	6,00	47950	7991,7
Baandjern, meget blödt	45,00	7,50	61650	10275,0
Jerntraad, ikke glödet { middels, fra 1 til 3 Millimetre i Diameter . .	60,00	10,00	82200	13700,0
Jerntraad, ikke glödet { fra Aigle, 0,23 Millimeter i Diameter	90,00	15,00	123300	20550,0
Jerntraad, ikke glödet { stærkest, 0,5 til 1,0 Millimeter i Diameter . .	80,00	13,33	109600	18266,7
Jerntraad, ikke glödet { svagest, af stor Diameter	50,00	8,33	68500	11416,7
Jerntraad, sammenslaaet, eller Touge	30,00	5,00	41100	6850,0

Legemernes Betegnelse.	Belastning pr. □ Millimeter		Belastning pr. norsk □ Tomme	
	hvilken er istand til at frembringe Brud.	med hvilken man med Sikkerhed kan belaste Legemerne.	hvilken er istand til at frembringe Brud.	med hvilken man med Sikkerhed kan belaste Legemerne.
	Kilogrammer	Kilogrammer	Norske Pund	Norske Pund
Kjæder af blödt Jern { almindelige med aflange Led	24,00	4,00	32880	5480,0
Kjæder af blödt Jern { forstærkede ved Stolper	32,00	5,33	43840	7306,7
Graat Raajern { stærkest, stöbt vertikalt	13,50	2,25	18495	3082,5
Graat Raajern { svagest, „ horizontalt	12,50	2,08	17125	2854,2
Staal { stöbt eller cementeret, strækket under Hammeren, i smaae Stænger	100,00	16,70	137000	22833,4
Staal { det sletteste, i tykke Stænger, slet hærdet	36,00	6,00	49320	8220,0
Staal { middels Qualitet	75,00	12,50	102750	17125,0
Kanonbronze, gjennemsnitlig	23,00	3,83	31510	5251,7
Kobber { valtset, i Retningen efter Længden	21,00	3,50	28770	4795.0
Kobber { „ af bedre Qualitet	26,00	4,33	35620	5936,7
Kobber { hamret	25,00	4,17	34250	5708,4
Kobber { stöbt	13,40	2,23	18358	3059,7
Gult Kobber eller fin Messing	12,60	2,10	17262	2877,0
Buer eller Forbindelsesstykker af Smedejern eller Raajern	25,20	4,20	34524	5754,0
Kobber, som ikke glödet Traad { stærkest, under 1 Millimeters Diameter	70,00	11,70	95900	15983,4
Kobber, som ikke glödet Traad { middels af 1 til 2 „ „	50,00	8,33	68500	11416,7
Kobber, som ikke glödet Traad { slettest „ „ „ „ „	40,00	6,67	54800	9133,4
Ikke udglödet Messingtraad { stærkest under 1 Millimeters Diameter	85,00	14,16	116450	19408,4
Ikke udglödet Messingtraad { middels „ „ „ „	50,00	8,33	68500	11416,7
Platinatraad { kold hamret, ikke udglödet 0,127 Millim. Diamtr.	116,00	19,33	158920	26486,7
Platinatraad { „ „ udglödet	34,00	5,67	46580	7763,4

Legemernes Betegnelse.	Belastning pr. □ Millimeter		Belastning pr. norsk □ Tomme	
	hvilken er istand til at frembringe Brud.	med hvilken man med Sikkerhed kan belaste Legemerne.	hvilken er istand til at frembringe Brud.	med hvilken man med Sikkerhed kan belaste Legemerne.
	Kilogrammer	Kilogrammer	Norske Pund	Norske Pund
Stöbt Tin	3,00	0,50	4110	685,0
Stöbt Zink	6,00	1,00	8220	1370,0
Valtset Zink	5,00	0,833	6850	1141,7
Stöbt Bly	1,28	0,213	1754	292,4
Traad af renset Bly, stöbt, passeret Trækbænken, 4 Millimetres Diameter	1,36	0,227	1863	310,5
Valtset Bly	1,35	0,225	1849	308,2
Touge.				
Trosser, (tredobbelt dreiet Toug) og smaae Touge af strasburger Hamp, 13—14 Millimetres Diameter	8,80	4,40	12056	6028,0
Trosser og smaae Touge af lothringer Hamp	6,50	3,25	8905	4452,5
„ „ „ „ „ „ „ eller strasburger Hamp, 23 Millimetre i Diameter	6,00	3,00	8220	4110,0
Trosser og smaae Touge fra Strasburg 40—54 Millimetre i Diameter	5,50	2,75	7535	3667,5
Tjæret Tougværk	4,40	2,20	6028	3014,0
Gammelt Toug af 23 Millimetres Diameter	4,20	2,10	5754	2877,0
Löberem af sort Læder	„	0,20	„	274,0
Steen.				
Basalt fra Auvergne	77,00	7,70	105490	10549,0

Legemernes Betegnelse.	Belastning pr. □ Millimeter		Belastning pr. norsk □ Tomme	
	hvilken er istand til at frembringe Brud.	med hvilken man med Sikkerhed kan belaste Legemerne.	hvilken er istand til at frembringe Brud.	med hvilken man med Sikkerhed kan belaste Legemerne.
	Kilogrammer	Kilogrammer	Norske Pund	Norske Pund
Kalksteen fra Portland	60,00	6,00	82200	8220,0
„ hvid med fint og ensformigt Korn	14,40	1,44	19728	1972,8
„ med kompakt Masse, lithographisk	30,80	3,08	42196	4219,6
„ med kornet Masse, sandig	22,90	2,29	31373	3137,3
„ med oolithisk Masse	13,70	1,37	18769	1876,9
Teglsteen { fra Provence, meget godt brændt	19,50	1,95	13015	1301,5
Teglsteen { almindelig svagt „	8,00	0,80	10960	1096,0
Gips { sammenrört, haard	11,70	1,17	16029	1602,9
Gips { „ mindre haard	5,80	0,58	7946	794,6
Gips { tilberedt paa sædvanlig Maade	4,00	0,40	5480	548,0
Mörtel { af fed Kalk og Sand af 14 Aars Alder	4,20	0,42	5754	575,4
Mörtel { „ „ „ „ „ slet	0,75	0,075	1027	102,7
Mörtel { af almindelig hydraulisk Kalk og Sand	9,00	0,90	12330	1233,0
Mörtel { af fortrinlig hydraulisk Kalk	15,00	1,50	20550	2055,0
Mörtel { Cement fra Pouilly, 1 Aar gammel	9,60	0,96	13152	1315,2

Brugen af denne Tabel medfører ingen Vanskelighed, og kjender man den Trækkekraft, som et Legeme skal udholde, saa udledes deraf let Fladeindholdet af Tværsnittet i □ Millimetre. Handles der f. Ex. om et Toug, som skal bære en Vægt eller udholde en Spænding af 600 Kilogrammer, saa bør det, da den Belastning, som man med Sikkerhed kan give det at bære, for Touge af middels Diameter er 3,25 Kilogrammer pr. □ Millimeter, have et Tværsnit, hvis Fladeindhold udgjør $\frac{600}{3,25} = 185$ □ Millimetre, og altsaa en Diameter $d = \sqrt{185 \times 1,273} = 15,3$ Millimetre. Er imidlertid Touget langt, bør man tage de fornødne Forholdsregler for at forebygge, at det snoer sig op, hvorved det efterhaanden svækkes og omsider kan sønderrives.

§ 52. *Elasticitetens levende Modstand.* — Da Legemerne strække sig under Indvirkningen af de Kræfter, som trække dem efter Længden, saa udøver deres Modstand imod saadan Strækning for ethvert Element af den hele Forlængring et Arbeide, som udmaales ved Produktet af den anvendte Kraft og den frembragte Forlængring.

Quadraturen af Kurver, analoge med dem, der ere fremstillede i Fig. 1, Pl. I, hvis Ordinater ere de udøvede Kræfter, og hvis Abscisser ere Forlængringerne eller den i Retningen af disse Kræfter gjennemløbne Vei, vil bestemme Værdien af dette Arbeide for en given Forlængring.

Denne Quadratur, udført fra Begyndelsen af Forlængringerne indtil det Punkt, som svarer til Elasticitetsgrændsen, giver det ved Legemets Modstand udviklede Arbeide; Poncelet kalder dette Arbeide Elasticitetens levende Modstand og betegner den med Bogstavet T_e.

Vedbliver man med Quadraturen, indtil man naaer den Kraft, ved hvilken Brud foraarsages, og den dertil svarende Forlængring, saa har man hele det Arbeide, som

udfordres for at sønderslide Legemet, hvilket Arbeide Poncelet kalder Bruddets levende Modstand og betegner med Bogstavet T_r, naar Længden er en Meter og Fladegjennemsnittet er Eenheden.

Man vil fremdeles see, at Arbeidet T_e, eller den levende Modstand af Elasticiteten angives ved Overfladen af den Triangel, hvis Grundlinie er den til Elasticitetsgrændsen svarende Forlængring pr. Meter, multipliceret med Legemets Længde L, og hvis Høide er den til hin Grændse svarende Kraft, hvilket for enhver Quadratmillimeter giver Arbeidet $\frac{1}{2} PiL = \frac{1}{2} ELi^2$, fordi $P = Ei$, og for Gjennemsnittet A, udtrykt i Quadratmetre, giver $T_e = \frac{1}{2} EALi^2$.

Man seer heraf, at jo større dette Produkt er, desto mere er Legemet skikket til at bibeholde sin Elasticitet under Indvirkningen af de efter dets Længderetning virkende Kræfter.

Et Blik paa Kurverne i Fig. 1, Pl. I, viser, at det haarde Jern frembyder en langt betydeligere levende Elasticitetsmodstand, end det bløde.

§ 53. *Bruddets levende Modstand.* — Udstrækker man Quadraturen til den hele Flade af de Kurver, som ere begrændsede af den til Bruddet svarende Ordinat, saa seer man, at denne Flade, som repræsenterer det til Frembringelse af Brud fornødne Arbeide, er meget større for det bløde Jern, end for det haarde; derfor betjener man sig med Fordel og Sikkerhed af blødt Jern i alle Tilfælde, hvori Delene ere udsatte for Stød eller tilfældige Kraftyttringer.

§ 54. *Anvendelse af foranstaaende Betragtninger.* — Anvende vi, for at vise Nytten af foranstaaende Betragtninger, disse paa de tre Rækker af Forsøg, som ere fremstillede ved Kurverne *Aaaa*, *Abbb*, *Accc* (Fig. 1, Pl. I), og som have Hensyn respektive til blødt, meget strækkeligt, — haardt udglødet, — og haardt ikke udglødet Jern, saa finde vi, at, da Forlængringen af det første er proportio-

nal med Trækkekraften indtil en Belastning af höist 16 Kilogrammer pr. □ Millimeter af Gjennemsnittet, og Forlængringen pr. løbende Meter er $i = 0{,}00086$, har Arbeidet af den elastiske Modstand, eller den levende Modstand af Elasticiteten for hver □ Millimeters Gjennemsnit til Værdie:

$$T_e = \tfrac{1}{2} Pi = \tfrac{1}{2} \times 16^{\text{Kil}},00 \times 0^{\text{m}},00086 = 0^{\text{K.m.}},00688.$$

Var Spørgsmaalet om en rund Jernstang af 6,00 Metres Længde og 0,030 Meters Diameter, eller 707 □ Millimetres Gjennemsnit, saa vilde dens levende Modstand være:

$$T_e = AL = 0^{\text{K.m.}},00688 \times 6{,}00 \times 707 = 29^{\text{K.m.}},18496.$$

Skulde f. Ex. et fra en Høide = H faldende Legeme af en Vægt = Q pludselig standses i sit Fald af en saadan Stang, saa maatte, da det ved Faldet af Tyngden udövede Arbeide, eller Halvdelen af Legemets levende Kraft $\frac{1}{2} \frac{Q}{g} v^2 = QH$ maa ophæves af Stangens Modstand, for at dens Elasticitet ikke skulde forandres, Produktet QH ikke overskride $29^{\text{K.m.}},18$; en Vægt altsaa af 1000 Kilogrammer, som faldt fra en Høide af $0^{\text{m}},02918$, vilde udøve en Virkning, hvorved Grændsen for denne Stangs Elasticitet vilde være naaet.

Quadraturen af den hele, af Kurven *Aaaa* begrændsede Flade, eller Bruddets levende Modstand, vilde give $T_r = 4^{\text{K.m.}},497$ for en Meter i Længde og 1 Quadratmillimeter i Gjennemsnit, hvilket beviser, at for det i Bornet's Forsøg brugte smidige Jern har Bruddets levende Modstand været meer end 650 Gange saa stor som dets Elasticitets levende Modstand.

Anvendelsen paa Stangen af $6^{\text{m}},00$ Længde og $0^{\text{m}},030$ Diameter vilde for sammes levende Modstand imod Brud give Værdien:

$T_r AL = 4^{K.m.},497 \times 707$ Millimetre $\times 6,00 = 19076^{K.m.},27$, hvoraf følger, at en Vægt af 1000 Kilogrammer maatte falde fra $19^{m},076$ Høide for at sønderslide denne Stang. Man seer af dette Exempel, at det bløde Jern først brydes, efterat det har tilintetgjort en levende Kraft eller udøvet et modstaaende Arbeide, som langt overgaaer det, der vilde være tilstrækkeligt for at forandre Elasticiteten.

§ 55. Gjør man en analog Quadratur for Traad af haardt udglødet og haardt ikke udglødet Jern, saa har man efter Poncelet:

for det haarde udglødede Jern $T_e = 0^{K.m.},00662$,
$T_r = 0^{K.m.},500$;
for det haarde, ikke udglødede Jern $T_e = 0^{K.m.},00585$,
$T_r = 0^{K.m.},6810$.

Dette beviser, at ved Jern af sidstnævnte Art ligger det til Bruddet svarende Arbeide meget nærmere det til Elasticitetens Forandring svarende Arbeide, end ved Jern af den førstnævnte Art, og især nærmere, end ved det bløde Jern, og at følgelig, naar det haarde Jern frembyder den Fordel at bevare sin Elasticitet længere Tid eller under større Belastninger end det bløde Jern, vil det derimod meget lettere springe ved Virkningen af Stød.

Man maa nemlig betænke, at enhver levende Kraft er lig det Dobbelte af det til dens Frembringelse eller Tilintetgjørelse fornødne Arbeide, og at den til Udviklingen af dette Arbeide nødvendige Kraft kan være saa meget mindre, jo længere den Vei er, som den gjennemløber i sin virkende Retning. Heraf følger paa det Tydeligste, at de strækkelige Legemer, saasom det bløde Jern, yde større Sikkerhed mod Stød, end haarde og sprøde Legemer. Saaledes er til Trækkjæder, til Kjættinger o. s. v. det bløde Jern at foretrække for det haarde.

Anden Afdeling.

Tilbagevirkende Styrke. (Compression).

§ 56. De Virkninger, som ved Tryk frembringes paa faste Legemer, afhænge væsentlig af de sidstes Beskaffenhed og Forholde. Ere de kornede, som den tætte Kalksteen eller Støbejernet, saa knuses de gjennem Spaltning, og de af Coulomb med Steen og af Vicat med Gips anstillede Forsøg vise, at i disse Tilfælde Kuber dele sig i Pyramider, hvis Grundflader ere Kubernes Side-Flader, og hvis Spidser befinde sig i deres Centrum. Selv Støbejernet viser efter Hodgkinson's Forsøg lignende Brudformer. Er Spørgsmaalet derimod om trævlede Legemer, f. Ex. Træ, som lide et Tryk efter Længden, saa maa man skjelne mellem, om disse Legemer ere korte, eller om deres Længde overskrider 8 til 10 Gange Grundfladens Bredde; i første Tilfælde splittes de sammentrykkede Fibrer, og Legemet udbuger sig i alle Retninger mod Midten, uden at bøies; i sidste Tilfælde derimod opstaaer først Sammentrykning, undertiden ogsaa Udbugning, men gaaer Trykket udover en vis Grændse, bøier Legemet sig, giver efter og brækkes.

De fleste Forsøg, som ere foretagne af Ingenieurer, der have beskjæftiget sig med denne Gjenstand, ere i Regelen anstillede kun med Hensyn paa Modstandsevnen imod Brud, og ikke med Hensyn paa Udmaalingen af den af Legemerne lidte Sammentrykning. I sidstnævnte

Henseende ere de altsaa ufuldstændige, og vi anføre dem her alene, fordi der mangler os andre mere bevisende Forsøg. Der er imidlertid i den nyere Tid af Hodgkinson anstillet meget interessante Undersøgelser over Støbe- og Smedejerns Sammentrykning, om hvilke vi i Løbet af denne Afhandling ville udtale os.

TRÆETS TILBAGEVIRKENDE STYRKE.

§ 57. *Forsög over Træets tilbagevirkende Styrke i Retningen af Fibrernes Længde.* — Rondelet bemærker, at efter et stort Antal Forsøg, — hvis Elementer han ikke angiver —, splintres en fraoven belastet Tærning af Egetræ, ved hvilken Trykket virker efter Fibrernes Længderetning, først under en Belastning af 384,7 til 461,6 Kilogrammer pr. □ Centimeter af Overfladen, og en Tærning af Fyrretræ under en Last af 438,6 til 461,6 Kilogrammer pr. □ Centimeter. Han tilføier, at Tærninger af hver af disse Træsorter under Forsøgene aftoge i Høide, idet de sammentrykkedes uden at splintres: Tærninger af Eg nemlig meer end en Trediedel, og af Fyr Halvdelen.

Modstandsevnen hos Stændere af Træ aftager, saasnart de begynde at bøie sig, fordi den paa dem virkende Kraft isaafald, foruden at udøve et Tryk efter Længden, ogsaa søger om den faststaaende Ende at tilveiebringe en omdreiende Bevægelse, hvis Vægtstangsarm tiltager med Krumningens Størrelse.

Rondelet bestemmer paa følgende Maade Formindskelsen af Modstandsevnen hos Stændere, eftersom deres Høide forøges, hvorved Modstandsevnen hos Kubussen er antagen som Eenhed:

Forhold af Höiden til Grundfladens Bredde	1	12	24	36	48	60	72
Forhold af Modstandene	1	$\frac{5}{6}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{24}$

Ved saaledes at gaae ud fra Søndertrykningsbelastningen, der sættes til 420 Kilogrammer pr. □ Centime-

ter for Eg og Fyr af bedste Beskaffenhed, og beregne Forholdet for Legemer af forskjellig Høide efter den af Rondelet opstillede Regel, erholder man følgende Tabel:

Forhold af Höiden til Tværsnittet . .	1	12	24	36	48	60	72
Forhold af Modstanden	1	$\frac{5}{6}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{24}$
Modstandsevne mod Söndertrykning hos Eg og Fyr, i Kilogrammer pr. □ Centimeter	420	350	210	140	70	35	17,5

I Figur 17, Pl. I, ere disse Elementer beskrevne graphisk, idet Længdernes eller Høidernes Forhold til de mindste Tværdimensioner ere antagne som Abscisser og Brudbelastningerne som Ordinater, hvorefter man gjennem samtlige paa denne Maade bestemte Punkter har draget en Kurve, som fremstiller den dem forbindende fortløbende Lov.

Ved Hjælp af denne, i dens øvre Deel regulerede Kurve har man modificeret de af Rondelet's Regel udledede Tal og erholdt følgende Resultater:

Forhold af Høiden til den mindste Dimension	1	12	14	16	18	20	22	24	28	32	36	40	48	60	72
Brudbelastninger i Kilogrammer pr. □ Centimeter efter Rondelet	420	310	292	276	258	243	227	212	183	156	132	108	72	38	17,5
Do. pr. norsk □ Tomme og i norske Pund	5754	4247	4000,4	3781,2	3534,6	3329,1	3109,9	3004,4	2507,1	2137,2	1808,4	1479,6	986,4	520,6	239,75

Ved fra de saaledes fastsatte Regler for Træstænderes Brud ved Tryk at gaae over til Bestemmelsen af de Belastninger, som de ere istand til permanent at kunne bære med Sikkerhed, har Rondelet — idet han forudsætter, at Vægten af de Laster, som skulle bæres, under visse Omstændigheder kan stige til det Dobbelte eller Tredobbelte af den normale Belastnings Vægt, — opstillet som Regel, at det ikke vil være forsigtigt at belaste en Egestænder med en Høide lig det Tolvdobbelte af Grundfladens Bredde, med meer end 48,00 Kilogrammer pr. Qua-

dratcentimeter af dens Grundflade, og en Stænder med Høide femten Gange større end Grundfladens Bredde, med meer end 38,00 Kilogrammer pr. Quadratcentimeter.

Sammenholder man disse Belastninger med de Belastninger, der frembringe Brud ved Tryk, og som af Figuren udledes at ville for de ovenanførte Høider blive lig respektive 330,00 Kilogrammer og 284,00 Kilogrammer pr. Quadratcentimeter, saa seer man, at hin berømte Architekt medgav en permanent Belastning for Træstændere af omtrent $\frac{1}{7}$ af Brudbelastningerne.

Antog man dette Forhold for Træ af god Beskaffenhed, Eg eller Fyr, saa kunde man ifølge det Ovenanførte ved at tage en Syvendedel af Brudbelastningen bestemme de permanente Belastninger, som Træstændere kunne bære, og derefter danne følgende Tabel:

Forhold af Höiden til den mindste Dimension $\frac{l}{b}$	12	14	16	18	20	22	24	28	32	36	40	48	60	72
Belastning i Kilogrammer pr. □ Centimeter	44,3	42,0	39,4	37,0	35,0	32,4 32,7	30,3 36,0	26,0	22,3 22,0	19,0 19,1	15,4	10,3 10,2	5,4	2,5
Do. pr. norsk □ Tomme i norske Pund	606,9	571,5	540,2	505,0	475,6	448,0	493,2	358,2	305,3 301,4	258,3 261,6	211,4	140,9 139,7	74,4	34,25

I det Følgende vil man imidlertid see, at denne Gradation af Belastningerne maa underkastes nogen Modification.

§ 58. *Hodgkinson's Forsög over Træs Modstandsevne mod Söndertrykning.* — Denne lærde Experimentator har anstillet dette Slags Forsøg med tolv Teak-Sylindre af $\frac{1}{2}$, 1 og 2 engelske Tommers Diameter og af dobbelt saa stor Høide, nemlig 4 af hvert Slags; de 8 sidste vare af et og samme Stykke Træ. Trykket blev anbragt nøie i Fibrernes Retning. Resultaterne af disse Forsøg indeholdes i følgende Tabel.

Sylindrenes Diameter 0m,0127.			Sylindrenes Diameter 0m,0254.			Sylindrenes Diameter 0m,0508.		
Belastninger			Belastninger			Belastninger		
iagttagne	gjennemsnitlige	i Kilogr. pr. □ Centimeter	iagttagne	gjennemsnitlige	i Kilogr. pr. □ Centimeter	iagttagne	gjennemsnitlige	i Kilogr. pr. □ Centimeter
Engelske Pund	Engelske Pund	Kilogrammer	Engelske Pund	Engelske Pund	Kilogrammer	Engelske Pund	Engelske Pund	Kilogrammer
2335			10507			38909		
2543	2439	872,83	9499	10171	900,78	39721	40304	910,65
2543			10507			41294		
2335			10171			41294		

Af disse Resultater seer man, at Søndertrykningsbelastningerne variere indbyrdes paa det Nærmeste som Fladeindholdet af Sylindrenes Grundflader, siden den fælles Gjennemsnitsværdie for Modstandsevnen, = 894,75 Kilogrammer pr. □ Centimeter, kun er $\frac{1}{40}$ til $\frac{1}{60}$ forskjellig fra de særskilte Gjennemsnitsværdier. Disse ere iøvrigt langt større, end de af Rondelet angivne.

Den samme Iagttager angiver i 40de Bind af „Philosophical Transactions“ følgende Resultater af et stort Antal Forsøg over Modstandsevnen hos forskjellige Træsorter i Form af Sylindre med en Diameter af 25,4 Millimetre og en Høide af 50,8 Millimetre med jevne Grundflader:

Træarter.	Belastning pr. □ Centimeter, som frembragte Søndertrykning.	
	Træ i almindelig tör Tilstand.	Meget tört Træ.
	Kilogrammer	Kilogrammer
Or	480,065	489,130
Ask	610,218	658,000
Laurbær	528,346	528,346
Bög	543,455	658,000
Amerikansk Birk	„	819,645
Engelsk Birk	231,705	449,916
Ceder	398,754	412,035
Vildæble	456,733	502,343
Svag Fyr	403,955	462,847
Stærk Fyr	476,550	512,545

Træarter.	Belastning pr. □ Centimeter, som frembragte Söndertrykning.	
	Træ i almindelig tör Tilstand.	Meget tört Træ.
	Kilogrammer	Kilogrammer
Hyld	523,637	700,877
Alm	„	726,036
Preussisk Fyr	456,733	479,222
Hornbeam	318,568	512,252
Acacie	576,134	576,134
Eg fra Quebek	297,344	421,102
Engelsk Eg	455,679	706,850
Meget tör Danziger Eg	„	543,315
Harpixig Gran	477,184	477,184
Gul Gran med Terpentin	377,740	382,600
Röd Gran	379,147	528,346
Poppel	218,372	360,101
Tört Blommetræ	256,794	„
„ „	579,152	737,420
Figentræ	497,705	„
Teak	„	850,357
Lærketræ	224,958	391,304
Nöddetræ	426,092	507,895
Piletræ	202,961	430,660

Tallene i første Rubrik have Hensyn til den almindelige Tilstand af Tørhed, og de i anden Rubrik til den Tørhedstilstand, som Træet havde opnaaet efter en tomaanedlig Henliggen i Tørrestuer.

Resultaterne af disse Forsøg ere talrige og vigtige; de bevise, hvad ogsaa Rondelet havde iagttaget, at Fyr og Eg i sædvanlig Tørhedstilstand udøve paa meget Lidet nær lige Modstand mod Søndertrykning. Derimod vil man bemærke, at Fyrrens Modstandsevne ikke synes at forøges ved en høiere Grad af Tørhed, medens Egens Modstandsevne derimod under saadanne Omstændigheder stiger meget betydeligt, hvilket altsaa dog til Slutning leder til, at Eg bør foretrækkes til Poster eller Stændere, der skulle anvendes ved permanente Bygværker.

§ 59. *Rennie's Forsög.* — Ifølge denne engelske Ingenieur er Modstanden af en lodret staaende Tærning mod Søndertrykning:

hos engelsk Eg	271,3	Kilogr.	pr. □	Centimeter.
„ Fyr	134,8	„	„	„
„ Gran fra Auvergne	112,8	„	„	„
„ Alm	90,24	„	„	„

Disse Resultater ere vistnok langt ringere end de, som Rondelet fandt; men da man af Hodgkinson's Forsøg seer, hvilken overordentlig Indflydelse den forskjellige Tørhedstilstand udøver paa Træets Modstandsevne, bør man ikke forundre sig over saadanne Uoverensstemmelser, og den ubetydelige Forskjel mellem den af Rennie fundne Værdie 271,3 Kilogrammer, og Hodgkinson's Værdie 297 Kilogrammer for Modstandsevnen hos Eg fra Quebek i ufuldstændig Tørhedstilstand, leder til at antage, at det Træ, hvormed Rennie har anstillet sine Forsøg, befandt sig i sidstnævnte Tilstand.

§ 60. *Hodgkinson's Forsög med Stændere af Træ.* — Denne lærde Iagttagers Forsøg over Modstandsevnen hos Træstændere ere desværre meget mindre talrige end de, han har anstillet med Stændere af Støbejern, omendskjønt hint Materials store Bøielighed vilde have gjort det lettere at iagttage dets Bøininger i Forhold til Belastningen, og deraf at uddrage nyttige Følgeslutninger.

Ved at sammenholde Resultaterne af hans Forsøg med Tværsnittene og Længden af Stændere med quadratisk Tværsnit og med jevn Grundflade, faaer Forfatteren ud, at disse Resultater, henførte til Danziger-Eg, repræsenteres ved Formlen:

$$P\mathfrak{B} = 25313 \frac{b^4}{l^2} \text{ *)},$$

hvori b er Siden af det quadratiske Tværsnit udtrykt i

*) Overføres denne Formel til Norsk Maal og Vægt, bliver den: $P\mathfrak{B} = 24403 \frac{b^4}{l^2}$, hvori b er Tommer og l er Fod.

Tommer, og l Høiden i engelske Fod. Overfører man denne Formel til metrisk Maal, erholder man:

$$P^{Kil} = 2565 \frac{b^4}{l^2},$$

i hvilken b er udtrykt i Centimetre og l i Decimetre. Have Stænderne ikke quadratisk Tværsnit, bliver Formlen, naar man ved a betegner den største og ved b den mindste Tværlinie:

$$P^{Kil} = 2565 \frac{ab^3}{l^2}.$$

Beregne vi efter denne Formel Modstandsevnen hos dem af de til Hodgkinson's Forsøg anvendte Træsorter, der vare uden Feil, og hvis Grundflader vare nøiagtig anbragte paa sine Underlag, saa finde vi mellem Formlen og de ved Erfaringen vundne Resultater en meget tilfredsstillende Overensstemmelse, hvilket sees af følgende Tabel, der indeholder Forsøg med Stændere af Danziger-Eg med jevne Grundflader, anstillede med udsøgt, omtrent 9 Maaneder forud skaaret Træ.

Stænderens Höide.	Quadratets Bredde.	Brudbelastning	
		iagttaget.	beregnet.
Decimetre	Centimetre	Kilogrammer	Kilogrammer
15,37	4,45	4360	4257
11,70	2,59	793	843
11,70	3,81	3560	3948

Uagtet den Overensstemmelse mellem Formel og Erfaring, der synes at fremgaae af disse Resultater, tør man dog ikke dølge, at Forsøgene endnu ere altfor faae. Forøvrigt vil man bemærke, at Resultaterne have Hensyn til Træstykker af meget ringe Tværsnit, og med en 30 til 45 Gange større Høide.

§ 61. *Praktiske Formler for Stændere af Træ.* — Naar man antager, at Træstændere ikke bør belastes med

meer end Tiendedelen af den Last, som er istand til ved Bøining at brække dem, saa vilde Formlen blive

for Stændere med quadratisk Tværsnit: $P = 256{,}5 \frac{b^4}{l^2}$,

i norsk Maal og Vægt: $P = 2440{,}3 \frac{b^4}{l^2}$;

for Stændere med aflangt, retvinklet Tværsnit: $P = 256{,}5 \frac{ab^3}{l^2}$,

i norsk Maal og Vægt: $P = 2440{,}3 \frac{ab^3}{l^2}$.

§ 62. *Anvendelse paa Kornmagasinet ved la Villette.* — I tolv til femten Aar har der i Paris ved Bassinet la Villette været et stort, af Civilingenieur Vuignier bygget Kornmagasin, som frembyder Anledning til en interessant Sammenligning med denne Formels Resultater.

Magasinet er 56^m,5 langt, 34^m,00 dybt i Lyset og 21^m,00 høit under Spændriglen; det er deelt i 7 Etager, deri indbefattet Kjelderetagen; enhver Etage har et Fladerum af 1921 Quadratmetre, med Undtagelse af Kjelderetagen, gjennem hvilken gaaer en Kanal, som tilsteder Fartøier, ladede med Korn, at løbe ind i Midten af Bygningen. Fra enhver Etages Fladerum maa imidlertid drages omtrent 400 Quadratmetre, der optages af Gange, hvorved altsaa den til Oplag af Korn disponible Flade reduceres til omtrent 1500 Quadratmetre. Faggenes indbyrdes Afstand er 3^m,80 fra Axe til Axe, og Stænderne ere ordnede i Rader, ligeledes med en Afstand af 3^m,80 fra hverandre, saaledes at enhver Etages Overflade understøttes af 144 Stændere, hvilke bære Belastningen uafhængige af Murene. Kornet ligger i Hobe af høist 1^m,20 Høide, efter et Forhold af høist 12996 Kilogrammer eller 173,28 Hectolitre for hver af Stænderne, eller omtrent 12 Hectolitre pr. Quadratmeter, saaledes, at dette Magasin

kan optage, og virkelig til visse Tider har optaget 18000 Hectolitre Korn pr. Etage og i dets 6 Etager omtrent 90000 til 100000 Hectolitre. Enhver Stænder fastholdes ved dens Fod af to Tangafbindinger, med hvilke den er fast forboltet, og dens Grundflade hviler paa en jernstøbt Hat, som omgiver Toppen af den nedre Stænder, hvis Hoved altsaa falder ind i den; Hatten er fast forbundet med Bjælken i den øvre Etage (Pl. I, Fig. 18).

Ved denne simple og meget solide Anordning bevirkes, at samtlige Stændere og Bjælker i Bygningen fra øverst til nederst ere fuldkommen forbundne med hverandre og ikke kunne forskyde sig, de første i lodret, de sidste i horizontal Retning.

Belastningen af Stænderne i 5te Etage, som bære den øverste Etage, er følgende:

Korn	12996	Kilogrammer.
Vægten af Gulvet af Eg	421	„
„ „ Bjælkerne	582	„
To med hinanden forboltede Tænger .	260	„
Summa	14259	Kilogrammer.

Stænderne have quadratisk Tværsnit med en Side af $0^m,22$, men deres Kanter ere affacede til en Bredde af $0^m,03$, hvorved Fladeindholdet af deres Tværsnit reduceres til 475 □ Centimetre. Belastningen pr. □ Centimeter er altsaa $= \frac{14259}{475} = 30$ Kilogrammer.

Da nu Stændernes Høide er $2^m,50$ eller omtrent 11,4 Gange Tværsnittets Side, saa seer man, at de efter Tabellen i § 57 kun ere lidet belastede og kunde have været svagere.

Stænderne i 4de Etage, der have at bære 2 Gange den samme Last og desuden Vægten af den nærmest ovenover værende Stænder, der med tilhørende Jernarmatur anslaaes til en Vægt af omtrent 100 Kilogrammer, ere belastede med

$$2 \times 14259 + 100 = 28618 \text{ Kilogrammer.}$$

Deres Tværsnit er quadratisk med en Side af $0^m,24$, men deres Kanter ere affacede til en Bredde af $0^m,05$, hvorved Tværsnittets Fladeindhold reduceres til 551 □ Centimetre. Belastningen pr. □ Centimeter er altsaa $= \frac{28618^{Kil}}{551} =$ omtrent 52 Kilogrammer.

Da deres Høide ligeledes er omtrent $2^m,50$ eller 10,4 Gange Tværsnittets Side, seer man, at de ere stærkere belastede, end Tabellen i § 57 angiver.

Stænderne i Kjelderetagen have at bære Vægten af de 6 overliggende Etager, eller

$$6 \times 14259^{Kil} + 600^{Kil} = 86200 \text{ Kilogrammer.}$$

Deres quadratiske Tværsnit har en Side af $0^m,35$, men Kanterne ere affacede til en Bredde af $0^m,06$, hvorved Tværsnittets Fladeindhold reduceres til 1189 □ Centimetre. Belastningen pr. □ Centimeter er altsaa $\frac{86200}{1189} = 72,5$ Kilogrammer.

Deres Høide er $3^m,2$ eller 9,1 Gange Tværsnittets Side. Da den Belastning, som Rondelet tilsteder for Stænderne, allerede naar Høiden kun er 2 Gange saa stor som Grundfladens Side, ikke overstiger 48 Kilogrammer, seer man, at de sidstomhandlede Stændere have kunnet uden Uheld udholde en Belastning, der er langt større, end den, som bemeldte Bygmester angiver.

§ 63. *Anvendelse af Formlen i § 60 paa Stænderne i Magasinet ved la Villette.* — For at sammenligne Resultaterne af disse Formler med det nævnte Magasins mærkværdige og prøvede Konstruktion, ville vi først beregne hvilken Last Stænderne i Samme efter deres havende Dimensioner vilde kunne bære, og dernæst, hvilke Dimensioner det vilde have været tilstrækkeligt at give dem i Forhold til den Maximums-Belastning, hvorfor de virkelig kunne blive udsatte.

5te Etage. Stænderne have følgende Dimensioner: $a = b = 22$ Centimetre, $l = 25$ Decimetre; deraf følger:

$$P = 256{,}5 \times \frac{22^4}{25^2} = 96139 \text{ Kilogrammer.}$$

Maximums-Belastningen er imidlertid kun 14259 Kilogrammer; Stænderne i denne Etage ere altsaa stærkere end nødvendigt.

I 4de Etage har man $a = b = 24$ Centimetre, $l = 25$ Decimetre, og følgelig

$$P = 256{,}5 \times \frac{24^4}{25^2} = 136160 \text{ Kilogrammer.}$$

Maximums-Belastningen er i Virkeligheden kun 28618 Kilogrammer.

I Kjelderetagen er $a = b = 35$ Centimetre, $l = 32$ Decimetre, altsaa

$$P = 256{,}5 \times \frac{35^4}{32^2} = 375889 \text{ Kilogrammer.}$$

Maximums-Belastningen overstiger ikke 86200 Kilogrammer.

Beregne vi nu, hvilke Dimensioner der vilde have været tilstrækkelige for Stænderne i disse 3 Etager, saa finde vi

for 5te Etage: $b^4 = \frac{14259 \times 25^2}{256{,}5}$, altsaa $b = 13{,}6$ Centimetre;

„ 4de „ : $b^4 = \frac{28618 \times 25^2}{256{,}5}$, altsaa $b = 16{,}25$ Centimetre;

„ Kjelderetagen: $b^4 = \frac{86200 \times 32^2}{256{,}5}$, altsaa $b = 24{,}22$ Centimetre.

De af Hodgkinson's Forsøg udledede praktiske Formler lede altsaa til en større Belastning, end der i Virkeligheden har været baaret i det omhandlede Magasin; men det maa herved bemærkes, at Handelsforhol-

dene kunne gjøre det nødvendigt sammesteds at oplægge andre Levnetsmidler, t. Ex. Meel, og saaledes foraarsage en større Belastning end den, hvorpaa de foranstaaende Beregninger ere grundede.

§ 64. *Forsög med Stændere af Fyrretræ.* — Den samme Forfatter har ogsaa anstillet nogle Forsøg med Stykker af Fyrretræ, hvilke alle havde en Længde af 14,74 Decimetre, og hvis Tværsnit var følgende:

1ste Stykke $a = b = 5{,}08$ Centim., Brudbelastn. $P = 5440$ Kil
2det „ $a = 7{,}2$ Centim. $b = 3{,}6$ Centim. „ $P = 3490$ „
3die „ $a = 8{,}82$ „ $b = 2{,}94$ „ „ $P = 1975$ „

De to sidstanførte Stykker bleve brudte ved Bøining lodret paa den bredeste Side.

Sammenligner man Brudbelastningerne med Dimensionerne a, b og l ved Hjælp af Formlen

$$P = K\frac{ab^3}{l^2},$$

i hvilken K skulde være en konstant Koefficient, saa finder man som Værdier for K:

For det 1ste Stykke . . . . . $K = 2234{,}3$ Kilogrammer
„ „ 2det „ . . . . . $K = 2276{,}2$ „
„ „ 3die „ . . . . . $K = 1914{,}6$ „

Gjennemsnitlig $K = 2141{,}7$ Kilogrammer,

saaat altsaa Resultaterne af disse Forsøg kunne repræsenteres ved Formlerne:

$$P = 2142\frac{ab^3}{l^2} \text{ eller } P = 2142\frac{b^4}{l^2},$$

alt eftersom Stænderne have aflangt retvinklet, eller quadratisk Tværsnit.

Ogsaa disse Forsøg bekræfte altsaa den ved Formlen i § 60 udtrykte Lov og bevise, at Fyr anvendt til Stændere, eller for at modstaae Tryk, er svagere end Eg

i Forhold som 2142 til 2565, eller som 0,84 til 1,00, medens man hidtil havde antaget, at Fyr besad en større Modstandsevne end Eg. Forøvrigt er det at bemærke, at ved disse Forsøg varierede Forholdet af Træernes Længde til deres mindste Tværdimension mellem 29 og 50.

Holde vi os fremdeles til, at de permanente Belastninger ikke bør overstige Tiendedelen af Brudbelastningen, saa ville de praktiske Formler til Beregning af Fyrretræ-Stænderes Dimensioner være:

for Stændere med quadratisk Tværsnit $P = 214^{\text{Kil}},2\,\frac{b^4}{l^2}$,

for norsk Maal og Vægt $P = 2037,89\,\overline{\text{n}}\,\frac{b^4}{l^2}$;

„ Stændere med aflangt retvinklet Tværsnit $P = 214^{\text{Kil}},2\,\frac{ab^3}{l^2}$,

for norsk Maal og Vægt $P = 2037,89\,\frac{ab^3}{l^2}$,

i hvilke a og b altid ere udtrykte i Centimetre eller i norske Tommer, og l i Decimetre eller i norske Fod.

Naar man forøvrigt vender tilbage til Tabellen i § 58, saa vil man see, at der mellem Søndertrykningsmodstanden af „svag“ og „stærk“ Fyr ikke er nogen betydelig Forskjel; den sidste synes dog at være noget stærkere; det samme er Tilfældet med den harpixagtige Gran, saa at ovenstaaende Formler kunne anvendes for samtlige disse forskjellige Træsorter.

Der finder imidlertid en betydelig Forskjel Sted mellem Fyr fra Vogeserne og visse Slags Egetræ, hvilke have en ringere Modstandsevne end andre Sorter Eg.

§ 65. *Praktiske Formler for Stændere af Træ.* — Efter disse Betragtninger kan man opstille følgende praktiske Formler:

Træets Benævnelse.	Tværsnit		I norsk Maal og Vægt	
	quadratisk.	aflangt retvinklet.	quadratisk.	aflangt retvinklet.
Stærk Eg	$P = 256,5 \frac{b^4}{l^2}$	$P = 256,5 \frac{ab^3}{l^2}$	$P = 2440,33 \frac{b^4}{l^2}$	$P = 2440,33 \frac{ab^3}{l^2}$
Svag Eg	$P = 180,0 \frac{b^4}{l^2}$	$P = 180,0 \frac{ab^3}{l^2}$	$P = 1712,5 \frac{b^4}{l^2}$	$P = 1712,5 \frac{ab^3}{l^2}$
Stærk Fyr og harpixig Gran	$P = 214,2 \frac{b^4}{l^2}$	$P = 214,2 \frac{ab^3}{l^2}$	$P = 2037,89 \frac{b^4}{l^2}$	$P = 2037,89 \frac{ab^3}{l^2}$
Svag Fyr og Gran .	$P = 160,0 \frac{b^4}{l^2}$	$P = 160,0 \frac{ab^3}{l^2}$	$P = 1522,23 \frac{b^4}{l^2}$	$P = 1522,23 \frac{ab^3}{l^2}$

§ 66. *Sammenligning af de Resultater, der fremgaae af de af Rondelet's Sætninger og af Hodgkinson's Forsög udledede Regler.* — Ville vi af det Foregaaende søge at udlede praktiske Regler, der med Sikkerhed kunne an-

vendes, saa kunne vi, ved f. Ex. at anvende Formlen for stærk Eg paa en Stænder med et Tværsnit af 15 Centimetre i □, for forskjellige Høider danne følgende Tabel:

Den quadratiske Stænders Forhold af Høide til Tværsnit	12	14	16	18	20	24	28	32	36	40	48	60	72
Belastning pr. Quadratcentimeter i Kilogrammer	178	131	100	79	64	44,5	32,8	25	19,8	16,0	11,1	7,1	4,9
Belastning pr. norsk □ Tomme i norske Pund	2438,6	1794,7	1370	1082,3	876,8	609,6	449,4	342,5	271,3	219,2	152,1	97,3	67,1

Antage vi fremdeles, ligesom i § 57, Forholdene af Høiderne til Tværsnittene som Abscisser og Belastningerne pr. Quadratcentimeter som Ordinater, saa beskrive vi i Fig. 19, Pl. I, en Kurve, som fremstiller den Lov, der udtrykkes ved den af Hodgkinson's Forsøg udledede Formel.

En Undersøgelse af denne Kurve sammenholdt med den, som blev tegnet efter Rondelet's Angivelser, vil først vise, at begge Kurver paa meget Lidet nær stemme overens mellem Grændserne 30 til 45 af Stænderens Forhold af Høide til Tværsnit, og at Formlen efter Hodgkinson selv for større Værdier eller Høider giver Belastninger, der endnu næsten ere de samme som Rondelet's. Kun for Høider, som ere betydelig ringere end 30 Gange Tværsnittet, giver Formlen i § 61 meget større Belastninger end de, der ere bestemte i den af Rondelets Angivelser udledede Regel.

Seer man nemlig tilbage til den Anvendelse af den nævnte Formel, som vi i §§ 62 og 63 have gjort paa Stænderne i Kjelderetagen i Magasinet ved la Villette, hvilke i Virkeligheden have, med et quadratisk Tværsnit, hvis Side er 35 Centimetre, og med en Høide af 32 Decimetre, i meer end 12 Aar til forskjellige Tider gjennem temmelig lange Tidsrum udholdt en Belastning af 72,5 Kilogrammer pr. □ Centimeter, vil man see, at vi af Formlen have for de samme Stændere faaet ud en Belastning af 375889

Kilogrammer eller omtrent 316 Kilogrammer pr. □ Centimeter.

Det maa imidlertid bemærkes, at Stændere af en saa ubetydelig Høide i Forhold til Tværsnittet sjelden forefindes i Bygværker, og man vil derfor udentvivl kunne antage, at Formlerne i § 65 med Sikkerhed kunne anvendes, naar Forholdet af Høiden til den mindste Tværsnitslinie ligger mellem 12 og 60.

Man maa dog ikke tabe afsigte, at de ovenfor anførte, af Hodgkinson's Forsøg udledede Formler alene kunne betragtes som Erfaringssætninger, der blot gjengive Resultaterne af Iagttagelser indenfor visse Grændser, og at de derfor ikke kunne udvides til at gjelde, hvor Dimensionerne afvige meget fra dem, med hvilke Forsøgene ere anstillede. Den Belastning, som bemeldte Formler angive, stiger altfor hurtigt, naar Høiden bliver meget liden.

§ 67. *Brugen af Formlerne i § 65.* — De praktiske Formler i § 65 ere saa simple i Anvendelsen, at det ikke er nødvendigt i denne Henseende at gaae ind i nogen Detail; det maa være nok at give et Exempel.

Lad os saaledes antage, at Spørgsmaalet var om at bestemme Dimensionerne for det quadratiske Tværsnit af en Stænder af stærk Eg, der skulde have en Høide af $5^m,00$, og som var bestemt til at bære en Belastning af 12000 Kilogrammer.

Den Formel, man har at anvende, er da:

$$P = 256,5 \frac{b^4}{l^2},$$

i hvilken $P = 12000$ Kilogrammer, $l = 50$ Decimetre: den giver $b^4 = \frac{12000 \times 50^2}{256,5} = 116960$, hvoraf $b = 18,5$ Centimetre*).

*) For at vise Overensstemmelsen med de i samme § angivne

Iøvrigt kunne vi ikke nok anbefale den Fordel, som med Hensyn til Konstruktionens Soliditet og Stabilitet opnaaes ved gode og uforanderlige Forbindelser af dens enkelte Dele.

§ 68. *Pæle.* — Pæle, som paa alle Sider omfattes af Grunden, i hvilken de neddrives, og som med Hovederne staae ved Tværbjælker i en fast og samvirkende indbyrdes Forbindelse, kunne ikke betragtes som enkeltstaaende Stændere. For at beregne deres fornødne Antal og Dimensioner anvender man følgende af Rondelet givne Regel.

Da Tværsnittet af de Træer, som anvendes, fordetmeste forud angives ved den større eller mindre Lethed, med hvilken man kan forskaffe sig dem, saa beregner man Antallet af Pælene efter den Regel, *at man kan belaste enhver Quadratcentimeter af deres Tværsnit med 30 til 35 Kilogrammer.* Eller efter norsk Maal og Vægt, *at man kan belaste enhver Quadrattomme af deres Tværsnit med 410 til 480 Pund.*

Antag f. Ex., at en Bygning, som skal funderes ved Pilotering, vil faae en Vægt af 15 Millioner Kilogrammer, og at man dertil vil anvende Pæle af 30 Centimetres Diameter, saa er den Belastning, man kan regne paa enhver Pæl, lig $\frac{30^2}{1{,}273} \times 35$ Kilogrammer $= 24745$ Kilogrammer, og følgelig maatte deres Antal være $\frac{15000000}{24745} = 606$. Derhos maa man drage Omsorg for at fordele dem saaledes,

---

Formler for norsk Maal og Vægt, beregnes her det samme Exempel efter denne, nemlig: $P = 12000$ Kilogrammer $=$ 24033,2 norske ℔; $l = 5^m$, $= 50$ Decimetre $= 15{,}93$ norske Fod: altsaa $b^4 = \frac{24033{,}2 \times 15{,}93^2}{2440{,}33} = 2499{,}1631$, hvoraf $b = 7{,}07$ norske Tommer, som er aldeles lig med 18,5 Centimetre.

G.

at de komme til at bære temmelig lige Dele af den totale Last.

§ 69. *Træets Modstand mod det lodret paa Fibrernes Længde virkende Tryk.* — For at frembringe Fasthed i Forbindingerne og bevare dem, samt til Fjernelse af Tryk paa Fugernes Fibrer anbefaler Gauthey ikke at belaste Forbindingerne med meer end 160 Kilogrammer pr. Quadratcentimeter lodret paa Fibrernes Længde, og med 200 Kilogrammer parallel med samme.

Da de forhen antydede Belastninger staae langt under disse Grændser, behøver man ikke at beskjæftige sig meget med dette Tryk. Det er forøvrigt nutildags bekjendt nok, at Anvendelsen af Armaturer af Støbe- eller Smedejern betydeligt forstærker Forbindelserne af Trædele, idet derved undgaaes dybe Taphuller, og Trykket fordeles paa en større Flade.

STEENS TILBAGEVIRKENDE STYRKE.

§ 70. *Rondelet's Forsög over Indflydelsen af Steenpillers Höide paa deres Modstandsevne mod Söndertrykning.* — Rondelet meddeler i den tredie Udgave af sin „Traité de l'art de bâtir" nogle af ham gjorte Forsøg for at udfinde Høidens Indflydelse ved Piller bestaaende af flere Steenskikter; og omendskjønt de ere ufuldstændige, fordi han i hvert Tilfælde kun anvendte tre kubiske Skikter, saa skulle de dog her tildels blive gjengivne:

Steenens Beskaffenhed.	Kubernes Antal.	Vægt, som frembragte Söndertrykning.
		Kilogrammer
Meget haard Liassteen	1	8851
	2	5411
	3	4780
Haard Steen fra Bagneux	1	6650
	2	4223
	3	3890
Haard Fjeldsteen fra Châtillon	1	5138
	2	4010
	3	3850

Naar man (Fig. 20, Pl. I) fremstiller disse Resultater graphisk, idet man antager Antallet af Skikterne eller Tærningerne som Abscisser og den Søndertrykningen bevirkende Belastning som Ordinater, saa seer man, at Styrken mod Søndertrykning først aftager meget hurtigt, eftersom Skikternes Antal bliver større, men at det, naar deres Antal bliver 3, synes som om Krumningen, der forestiller Loven for denne Modstand, stræber at blive næsten parallel med Abscisselinien, hvilket vilde antyde, at Modstanden bliver konstant og uafhængig af Høiderne. Den vilde da være lig noget meer end det Halve af Søndertrykningsmodstandsevnen hos et enkelt Skikt eller een Tærning. Denne Slutning kunde øiensynlig kun anvendes paa meget indskrænkede Høider, i Betragtning af, at ved Bygninger finder næsten altid horizontale Tryk Sted, hvilke udøve en særegen Indflydelse, som altid er farligere end det, som opstaaer af lodrette Belastninger.

§ 71. *Vicat's Forsög over Legemernes Modstand mod det ved Tryk frembragte Brud.* — Denne lærde Ingenieurs Forsøg have især Hensyn til de physiske Tilsyneladelser, som gaae forud for og ledsage Bruddet eller Sammentrykningen af kornede eller tætte Legemer, saasom Steen, Gips, Mørtel, Teglsteen o. s. v.

Vicat, der ligesom Rondelet og Coulomb anerkjendte Dannelsen af 6 Pyramider ved Bruddet af sprøde eller kornede Masser, gjør den Bemærkning, at denne Deling forudgaaes af en tidligere Desorganisation, der aldeles forstyrrer Legemets Konstitution, og hvoraf Delingen i Pyramider kun er Følgen. Han gjør opmærksom paa, at denne Desorganisation foregaaer efterhaanden, og at den tildels allerede er bevirket, førend den antydes ved Ridser eller Sprækker. Blandt andre Exempler paa denne Virkning anfører han Pillerne i Pantheon i Paris, hvilke i Aaret 1780 kun havde 96 Ridser eller Sprækker, medens man i Aaret 1797 talte 650. Denne Bemærkning, som

ogsaa er gjort af andre Iagttagere, viser, at, naar Trykket bliver tilstrækkeligt til at knuse de faste Legemer, saa forplanter det sig, om ikke i enhver Retning som ved flydende Legemer, saa dog idetmindste gjennem den hele Udstrækning, fordi alle Molekuler ere komne ud af Sammenhæng.

Vicat's Forsøg ere anstillede med Omhyggelighed, men dog kun med Legemer af meget ringe Dimensioner. Han uddrager deraf den Slutning, at ved ligedannede Prismer og Sylindre, d. e. saadanne, hvis Høider staae indbyrdes i samme Forhold som Basernes Sider eller Diametre, *staaer Styrken mod Söndertrykning i Forhold til Fladeindholdet af de horizontale Tværsnit eller Baser,* hvilket ogsaa bekræftes af følgende Resultater, der ere et Uddrag af den Tabel, som han har givet over sine Forsøg.

Materialierne.			Styrke mod Söndertrykning.	Forhold mellem	
				Modstandsevne	Basernes Fladeindhold.
	Centimetre		Kilogrammer		
Almindelig Gips, Tærninger med Sider af	1,00		42,21	1,00	1,00
	1,20		58,47	1,39	1,44
	2,00		169,82	4,02	4,00
	Sider. Centimt.	Höider. Centimt.			
Firkantede Prismer med Sider og Höider af respektive	1,00	2,00	41,95	1,00	1,00
	1,00	5,00	39,09	„	„
	2,00	4,00	165,20	3,94	4,00
	1,00	0,50	46,30	1,00	1,00
	2,00	1,00	172,46	3,73	4,00
Gips.					
Tærning af 2 Centimetres Side			169,82	1,26	1,273
Omskreven Sylinder, lodret belastet			134,00	1,000	1,000
Tærning af 2 Centimetres Side			457,51	1,250	1,273
Omskreven Sylinder, lodret belastet			366,00	1,000	1,000
Raa Teglsteen.					
Tærning af 2 Centimetres Side			139,79	1,250	1,273
Omskreven Sylinder, lodret belastet			107,50	1,000	1,000
Kalksteen.					
Tærning af 2 Centimetres Side			979,84	1,275	1,273
Omskreven Sylinder, lodret belastet			782,89	1,000	1,000

§ 72. *Modstandsevnen hos ligedannede Pyramider.* — Den samme Ingenieurs Forsøg bevise, at afstumpede ligedannede Pyramider ere underkastede den samme Lov som Prismerne, d. v. s., at deres Modstandsevne mod Brud staaer i Forhold til Quadraterne af de ensbeliggende Sider eller til Fladeindholdet af deres Baser.

§ 73. *Modstandsevnen hos Sylindre, anvendte som Valtser.* — Om Bruddet af Sylindre og Kugler udtaler Vicat sig paa følgende Maade:

„Naar Sylindre belastes paa Sidefladen eller anvendes som Valtser, pressede mellem to horizontale Flader, begynde de med at fladtrykkes ved Berøringslinierne; mod Trykfladerne danne sig snart to Kiler *abc*, *a'b'c'* (Pl. I, Fig. 21), hvoraf enhver har to Flader til Sider, som skjære hinanden i en ret Vinkel langs en Horizontal, som hel og holden ligger i den gjennem Sylindrens Axe gaaende lodrette Flade. Afstanden mellem Eggen *c* af den øvre og Eggen *c'* af den nedre Kile er $\frac{2}{3}$ af Sylinderdiametren."

„I det Øieblik den nævnte Kiledannelse foregaaer, finder Bruddet Sted, idet begge Kiler nærme sig til hinanden og spalte Sylindrens øvrige Del, hvis begge Halvdele kastes til høire og venstre Side. Paa saadan Maade foregaaer Bruddet bestandig ved sylindriske Legemer af sandagtig, jordagtig og kornet Textur, saaledes som ved Steen, Teglsteen og Mørtel. De ved Kilerne adskilte Fragmenter synes ikke at være angrebne i deres indre Kohæsion; Kilerne ere derimod næsten knuste til Støv."

„Erfaring viser, at den tilbagevirkende Styrke hos de som Valtser anvendte Sylindre staaer i Forhold til Produktet af Axerne og Diametrene, hvoraf følger, at disse Kræfter ved ligedannede Sylindre forholde sig som Quadraterne af Diametrene, og ved Sylindre af lige Længde blot som Diametrene."

§ 74. *Kuglers Modstand.* — „Presses en Kugle (Pl. I, Fig. 21) mellem to horizontale Flader, saa indtrykkes den

ved Berøringspunkterne, og snart danne sig Kegler *abc* og *a'b'c'*, hvis Basis er den indtrykkede Kugleflade. Den ved Anstrængelsen af begge disse Kegler — hvis Spidser *c* og *c'* vende mod Midtpunktet, — angrebne Kugle spaltes i to, tre, eller fire Dele, og af de smaae Kegler blive kun Brudstykker tilbage. Gjør man Kuglen fri et Øieblik før Bruddet, for at undersøge dens Tilstand, finder man, at de af Keglerne indtagne Rum ere opfyldte af en stærk sammentrykket støvagtig Masse. Keglernes kraftige Virkning begynder altsaa først da, naar denne Masse, hvoraf de ere sammensatte, har gjennemgaaet Pulveriseringen for derpaa at overgaae til en ny Tilstand af Tæthed, hvilken er mere skikket for den Virkning, som de skulle frembringe."

„Erfaringen beviser fremdeles, at Kuglers Modstandsevne mod Brud ved Søndertrykning forholder sig indbyrdes som Quadraterne af deres Diametre."

De talrige Iagttagelser, som DHrr. Morin og Piobert gjorde i Metz over Bruddet af de ved Stød brudte Projektiler, have godtgjort, at Bruddet i dette Tilfælde foregaaer paa en lignende Maade, dog med den Forskjel, at det stødte Punkt, naar Stødets Hastighed ikke er meget betydelig, for det meste bliver den fladtrykte Spids af en femkantet Pyramide, og at, ved store Hastigheder, denne Pyramide forvandler sig i en Kegle med krumme Generatricer, hvilken næsten altid er dannet af flere andre saadanne Kegler, hvis Axer blive kortere, alt eftersom Stødets Hastighed forøges.

§ 75. *Indflydelsen af Pillernes Höide eller af Skikternes Antal.* — Den af Rondelet iagttagne store Modstandsformindskelse hos de af flere Skikter sammensatte Piller bliver af Vicat for største Delen tilskrevet Indflydelsen af Skikternes ufuldkomne Tildannelse og Manglen af Mørtel eller Cement, hvilke vilde have formindsket eller aldeles hævet denne Forskjel. Til Begrundelse af denne

Mening anfører han flere Forsøg, udførte med Prismer af Gips, ved hvilke han fandt, at man, naar Modstanden af et monolithisk Prisma repræsenteres ved Høiden *h*, som Eenhed erholdt for Prismer

med 2 *Skikter og af Höiden* h 0,930,
„ 4 „ „ „ „ 2h 0,861,
„ 8 „ „ „ „ 4h 0,834,

selv uden Anvendelse af Mørtel. Han troer altsaa, at Pillernes Deling i Skikter, hvoraf ethvert er en Monolith, og hvis godt bearbeidede Fuger tilbørlig ere forsynede med Mørtel, ikke væsentlig formindsker Modstandsevnen mod Søndertrykning; men han antyder derhos, at det samme ikke vil være Tilfældet, naar Skikterne ere delte ved lodrette Fuger. Af disse Forsøg i sin Helhed slutter han, at „de ligedannede Legemer, bestaaende af et eneste Stykke eller sammensatte paa lige Maade af det samme Antal Stykker, og som belastes paa samme Maade, modstaae i Forhold som Quadraterne af deres ensbeliggende Sider."

§ 76. *Praktiske Slutninger.* — Af disse sidste Forsøg troer Forfatteren at kunne slutte, at Belastningen af de Legemer, som ere udsatte for et permanent Tryk, kan fortsættes til 0,30 af den, som vilde foraarsage Søndertrykning; dog tilføier han, at man ogsaa maa tage Hensyn til den Indflydelse, som en slet Udførelse af Bearbeidelse og Forsætning, ubemærkelige Feil o. s. v. kunne udøve; han taler ikke om det Forhold, hvortil man bør holde sig for at opnaae tilbørlig Sikkerhed.

§ 77. *Forsög, udförte ved Britanniabroen, over Modstandsevnen mod Söndertrykning hos Muurværk af Teglsteen og anden Steen.* — Det Apparat, hvoraf man betjente sig til disse Forsøg, bestod af et Plateau, paa hvilket man anbragte den Vægt, der dannede Belastningen; det laae umiddelbart paa en Plade af Støbejern, hvilken hvilede paa det Muurværk, der skulde prøves, med et Mellemlag af en

Fyrreplanke, der havde til Hensigt at fordele Trykket ensformigt. En lignende, ogsaa med en Planke overdækket Plade blev anbragt under Muurværket. Fire sylindriske Ledestænger sikkrede Støbejernspladernes Parallelitet, og Belastningens Tryk blev ved en stærk, med Plateauet forbunden Stang af Smedejern overført til Midten af den øvre Plade. Det til Forsøg bestemte Muurværk af Teglsteen var, ligesom det af anden Steen, delt i Tærninger; Teglsteensmuurværket var udført i Krydsforband med Cement; Teglstenen til samme var ikke meget haard, og efter engelsk Brug fabrikeret paa Byggepladsen og der brændt i Stabler, i fri Luft med Steenkul. Den røde Sandsteen, som blev taget til Forsøgene, var dels tør, dels fugtig, hvilken Forskjel synes at udøve en stor Indflydelse paa Modstandsevnen.

Forsög over Modstandsevnen hos Teglsteens- og andet Steenmuurværk mod Söndertrykning.

	Modstand pr. □ Centimeter. Kilogrammer.
Teglsteensmuurværk.	
Tærninger af 0m,23 Side, med Cement, lagte mellem Plankerne	38,791 43,059 31,927 39.993 29,373
Gjennemsnit	36,625.
Den gjennemsnitlige Modstandsevne svarer til Vægten af en 190 Metre höi Teglsteensmuur.	
Sandsteen.	
Tærning af röd Sandsteen 0m,076 Side, 0,95 Kilogrammer tung, fuldkommen tör, mellem Plankerne	143,580
Tærning af Sandsteen, 0m,076 Side, 1,14 Kilogrammer tung, noget fugtig, lagt i Cement	90,306
Tærning af Sandsteen, 0m,076 Side, 0,94 Kilogrammer tung, meget fugtig, lagt i Cement	76,252
Tærning af Sandsteen, 0m,152 Side, 9,00 Kilogrammer tung, lagt i Cement	275,581
Gjennemsnit	153,550.

	Modstand pr. □ Centimeter. Kilogrammer.
Denne Modstandsevne svarer til en 760 Metre höi Muur af samme Material.	
Kalksteen.	
Tærning af 0m,076 Side fra Öen Anglesea, 1,20 Kilogrammer tung, liggende mellem Plankerne*)	465,09
Tærning af 0m,076 Side, 1,06 Kilogrammer tung, mellem Plankerne	564,96
Tærning af 0m,076 Side 1,06 Kilogrammer tung	541,34
Tre adskilte Tærninger af 0m,0254 Side, hver 0,9 Kilogrammer tung, lagt i Trekant mellem Plankerne	452,72
Gjennemsnit	532,63,
en Modstandsevne, som svarer til et 2100 Metre höit Muurværk af samme Slags Material.	

*) Denne Steen viste rundt om Yderkanterne talrige Ridser og Sprækker; men de to Trediedele af dens Overflade vare ubeskadigede.

§ 78. *Slutninger af Forsögene over Steen og Muurværk.* — Foruden de Forsøg, som vi have anfert over Modstandsevnen hos Steen og Muurværk, ere mange andre blevne anstillede, hvis almindelige Slutningsfølger ere:

1. Stenenes physiske Egenskaber f. Ex. Haardhed, Egenvægt, Farve, ere ingen Kjendetegn for nøie at kunne bedømme deres Modstandsevne. Det er nødvendigt at anstille specielle Forsøg med ethvert Slags Material.
2. I et og samme Steenbrud have de hængende og ligeledes de liggende Stene, der ialmindelighed ere af en mindre Tæthed, ogsaa mindre Modstandsevne end Stene af Midten.
3. Ved ligedannede Figurer staaer Modstandsevnen i Forhold til Tværsnitsfladerne.
4. Ved en og samme Steenart er Modstandsevnen den størst mulige, naar Prøvestenen har en kubisk Form.
5. Da Modstandsevnen hos en Tærning repræsenteres ved Eenheden, saa er Modstandsevnen hos en omskreven, paa sin Basis staaende Sylinder 0,80, hos samme Sy-

linder, liggende, 0,32, og hos en omskreven Kugle 0,26.

6. De haarde Stene give meget lidet efter for Trykket og dele sig pludselig i Blade og Naale uden Styrke, som let blive til Støv.
7. De bløde Stene dele sig i det første Øieblik af Bruddet i Pyramider eller Kegler, hvis Baser ere de øvre og nedre Flader.
8. Pillers Modstandsevne aftager med det tiltagende Antal af Stykker, hvoraf de ere sammensatte.
9. Ved sædvanlige Bygværker bør man ikke belaste Muurværk af huggen og Brudsteen med meer end Tyvendedelen af den Vægt, som Materialierne kunne bære uden at sønderstrykkes.

§ 79. *Angivelse af det Tryk, hvorfor Materialierne med Sikkerhed permanent kunne udsættes.* — Efter disse almindelige Resultater af direkte Forsøg og Iagttagelser af godt udførte bestaaende Bygværker er følgende Tabel udarbeidet, som angiver Vægten, hvormed man med Sikkerhed kan belaste murede Piller af forskjelligt Slags.

Legemerne.	Vægt af 1 Kubik-Decimeter.*)	Vægt, hvormed man med Sikkerhed kan belaste Legemerne, Forholdet af Höiden til den mindste Dimension antaget til mindre end 12.	
		Pr. □Centimeter.	Pr. norsk □Tomme.
	Kilogrammer	Kilogrammer	Norske Pund
Vulkansk, granitisk, kieselartet, leerholdig Steen.			
Basalt fra Sverrig og fra Auvergne . .	2,95	200,00	2740
Haard Lava fra Vesuv	2,60	59,00	708
Blöd Lava fra Neapel	1,97	23,00	315
Porphyr	2,87	247,00	3384
Grön Granit fra Vogeserne	2,85	62,00	849

*) Vægten af 1 Kubik-Decimeter forvandles til Vægt af 1 Kubik-Fod norsk i norske Pund ved at multiplicere vedkommende Materials Vægt i Kilogrammer med Reduktionskoefficienten 61,91357. G.

Legemerne.	Vægt af 1 Kubik-Decimeter.	Vægt, hvormed man med Sikkerhed kan belaste Legemerne, Forholdet af Höiden til den mindste Dimension antaget til mindre end 12.	
		Pr. □Centimeter.	Pr. norsk □Tomme.
	Kilogrammer	Kilogrammer	Norske Pund
Graa Granit fra Bretagne	2,74	65,00	891
Granit fra Normandiet, Gatonas kaldet	2,66	70,00	959
Graa Granit fra Vogeserne	2,64	42,00	575
Meget haard, hvid eller brunröd Sandsteen	2,50	87,00	1192
Blöd Sandsteen	2,49	00,40	„
Stinksteen (leeragtig)	2,66	68,00	932
Graa Steen fra Florents (leerholdig og finkornet)	2,56	42,00	875
Kalkstene.			
Sort Marmor fra Flandern	2,72	79,00	1082
Hvidaaret Marmor, Statue- og tyrkisk-blaa Marmor	2,69	31,00	425
Sort Steen fra St. Fortunat, meget haard	2,65	63.00	863
Fjeldsteen fra Châtillon ved Paris	2,29	17,00	233
Lias fra Bagneux ved Paris, meget haard og finkornet	2,44	44,00	603
Blöd Fjeldsteen	2,08	13,00	178
Fjeldsteen fra Arcueil ved Paris	2,30	25,00	343
Steen fra Saillancourt ved Pontoise 1 Qualitet	2,41	14,00	192
Steen fra Saillancourt ved Pontoise 2 „	2,29	12,00	164
Steen fra Saillancourt ved Pontoise 3 „	2,10	9,00	123
Stærk Steen fra Conflans	2,07	9,00	123
Blöd Steen, (lambourde vergelée), modstaaende Vand	1,80	6,00	82
Haard Kalksteen fra Givry ved Paris	2,36	31,00	425
Blöd Kalksteen fra samme Sted	2,07	12,00	164
Gul oolithisk Kalksteen fra Jaumont ved Metz	2,20	18,00	247
	2,00	12,00	164
Gul oolithisk Kalksteen fra Armanvilliers ved Metz	2,00	12,00	164
	2,00	10,00	137
Stærk Fjeldsteen fra Saulny ved Metz	2,55	30,00	411
Gul Fjeldsteen fra Rozérieulles ved Metz	2,40	18,00	247
Blaa Kalksteen med forstenede Muslinger, som giver den hydrauliske Kalk fra Metz	2,60	30,00	411
Lambourde af ringere Qualitet, modstaaer Vandet slet	1,56	2,00	27
Teglsteen.			
Haard, stærk brændt Teglsteen	1,56	15,00	206
Röd Teglsteen	2,17	6,00	82
Blegröd „	2,09	4,00	55

Legemerne.	Vægt af 1 Kubik-Decimeter.	Vægt, hvormed man med Sikkerhed kan belaste Legemerne, Forholdet af Höiden til den mindste Dimension antaget til mindre end 12.	
		Pr. □Centimeter.	Pr. norsk □Tomme.
	Kilogrammer	Kilogrammer	Norske Pund
Teglsteen fra Hammersmith	„	7,00	96
„ „ „ forbrændt eller glasseret	„	10,00	137
Engelsk eller flamsk blöd Teglsteen .	„	1,8	25
Gips og Mörtel.			
Med Vand sammenrört Gips	„	5,0	69
Med Kalkmelk sammenrört Gips . . .	„	7,30	100
Sædvanlig Mörtel af Kalk og Sand . .	„	3,50	48
Mörtel af Cement og stödt Teglsteen	„	4,80	66
Mörtel af stödt Sandsteen	„	2,90	40
Mörtel af Pouzzolana fra Neapel eller Rom	„	3,70	51
Béton og god Mörtel, 18 Maaneder gammel	„	4,00	55

Førend vi slutte denne Oversigt over de vigtigste Resultater af Forsøgene, vil det ikke være unyttigt endnu at meddele nogle Data vedkommende Stenenes Slidning og Mørtelens Adhæsion eller Forbindelsesevne.

§ 80. *Forskjellige Steenarters Modstandsevne mod Slidning.* — Til Belæg af Gulve i Bygninger med Plader er det nødvendigt at anvende saadan Steen, som kun lidet slides af den sig stedse gjentagende Rivning ved de derover Passerende. Rondelet beretter i det første Bind af sin „Traité de l'art de bâtir“ om Forsøg, af hvilke han har udledet nedenstaaende Klassifikation for de forskjellige af ham forsøgte Steenarter; til Sammenligning antog han den antike Granit, hvis Modstandsevne fremstilles ved 1000.

Antik Granit	1000
Grön Granit fra Vogeserne	952
Brungul Granit	923
Graa „	889

Granit fra Bretagne	857
Graa Granit fra Normandiet	800
Tyrkiskblaa Marmor	125
Aaret hvid „	100
Liassteen	87.

Forøvrigt bemærker Rondelet, at der mellem Modstandsevnen mod Slidning og mod Søndertrykning ikke bestaaer noget direkte Forhold.

Det var at ønske, at lignende Forsøg gjordes med de Materialier, som siden nogle Aar anvendes til Belægning af Gadetrottoirerne og andre Passager.

MØRTELENS COHÆSION OG ADHÆRENTS.

§ 81. *Forsög over Modstandsevnen og Adhærentsen hos Mörtel og Gips.* — Rondelet udførte fra Aaret 1783 til 1802 forskjellige Forsøg over Modstandsevnen hos Mørtel og Gips. Af disse Forsøg, ved hvilke Mørtelstene med $0^m,15$ Længde, $0^m,10$ Bredde og $0^m,04$ Tykkelse 18 Maaneder efter deres Forfærdigelse bleve knuste ved Hjælp af en belastet Trykvægtstang, slutter han:

1. at Mørtelens Slagning forøger dens Styrke, hvilken derved voxer i Forhold som 1 : 1,3;
2. at de magreste Sandarter, eller de, som ere mest frie for jordartede Bestanddele, ikke altid ere de bedste;
3. at den godt brændte og til rette Tid sammenrørte Gips besidder den midlere Styrke af Mørtel af fed Kalk, og at den med Kalkmelk sammenrørte Gips erholder en større Styrke end sædvanlig Mørtel.

Idet han i Aaret 1802, altsaa 15 Aar senere, gjorde de samme Forsøg med Mørtelstene af samme Slags, erfarede han, at, naar den oprindelige Modstandsevne sattes = 1000, havde Modstandsevnen hos de forskjellige Mørtler efter Forløbet af den nævnte Tid erholdt følgende Værdier:

Mörtelsteen af Kalk og Flodsand	1125
„ „ blot Cement	1250
„ „ Cement og Sand	1111
„ „ Sandsteensstöv	1011
„ „ Steenstöv fra Conflans	1400
„ „ Pouzzolana fra Rom	1143
„ „ graa Pouzzolana fra Neapel	1333
„ „ hvid Pouzzolana	1286
„ „ skotsk Pouzzolana	1055.

§ 82. *Styrke, hvormed Mörtlen forbinder Stenene.* — Den samme Skribent meddeler de Forsøg, som han har anstillet for at bestemme det Tryk, som man maa udøve lodret paa en Fugeflade for, efter 6 Maaneders Udtørring, at adskille to Stene, som ere forbundne med omhyggelig tilberedt Mørtel af Kalk og fin Sand. De forbundne Flader havde kun en Udstrækning af 0,00293 Quadratmeter (4,28 norske □ Tommer), og idet man antager, — hvad andre Forsøg, hvorom der senere vil blive Tale, gjøre sandsynligt, — at Modstanden mod Adskillelse staaer i Forhold til Overfladens Udstrækning, har man deraf for Modstanden pr. Quadratmeter af Fladeindhold udledet følgende Værdier:

	Kilogrammer.	Pr. norsk □ Tomme og norske ℔.
Liassteen, Fugerne bearbeidede glat og slebne med Sandsteen	10692	14,648
Liassteen, Fugerne mindre slebne	11699	16,027
Steen fra Arcueil	12030	16,481
„ „ St. Leu	15180	20,796
„ „ Vergelée	15870	21,742
„ „ Conflans	18040	24,715
Quartsmöllesteen	20380	27,920
Teglsteen fra Burgogne	23050	31,578
Steen af Teglsteensstykker	23560	32,277.

§ 83. *Styrke, hvormed Gips forbinder Stenene.* — Lignende Forsøg har Rondelet ogsaa anstillet med Gips, idet han forbandt to, de forrige lignende, Tærninger med hin-

anden, og sex Maaneder senere bestemte det for at adskille dem nødvendige Tryk.

Efter hans Angivelse erholdtes følgende Værdier for Modstanden pr. Quadratmeter:

	Kilogrammer.	Pr. norsk □ Tomme og norske ℔.
Liassteen	20716	28,381
Haard Steen fra Forstaden St. Marceau	15035	20,598
„ „ „ Arcueil	21216	29,066
Steen fra St. Leu	24726	33,874
„ „ Vergelée	24057	32,958
„ „ Conflans	27872	38,184
Quartsmöllesteen	31575	43,257
Teglsteen	33580	46,004.

Rondelet bemærker, at Kohæsionen og Bindekraften hos Mørtlen tiltager med Tiden, hvorimod Gipsens formindskes, især naar den er udsat for Luft og Fugtighed. Indtil 7 eller 8 Aar er Gipsens Bindekraft stærkere end sædvanlig Mørtels, efter 10 eller 12 Aar er Mørtlens større.

§ 84. *Sammenligning mellem Bindekraften og Styrken mod Söndertrykning.* — Ved Sammenligning af begge disse Modstandsevner fandt Rondelet, at den første staaer i følgende Forhold til den anden:

Substantserne.	Forhold mellem Modstandsevnen mod Brud og mod Söndertrykning.
Mörtel af Sand og Kalk, 16 Aar gammel	1 : 12
Gips	1 : 9,5
Teglsteen i Cement	1 : 7,5
„ i Pouzzolana	1 : 8
Antik Mörtel	1 : 8

STØBEJERNS TILBAGEVIRKENDE STYRKE.

§ 85. *Hodgkinson's Forsög.* — Denne Physiker har man endvidere at takke for talrige og nøiagtige Forsøg

over Støbejernets Modstandsevne, ved hvilke han har udfundet de elastiske og permanente Tryk.

De til Forsøgene anvendte Stænger havde en Længde af 3m,05 med et Tværsnit af 6,45 Quadratcentimetre (1 Quadrattomme engelsk), og befandt sig i et Gestel af Jern, som forhindrede deres Bøining. De bleve smurte for at forhindre Siderivninger gjennem Ledningsaabningerne, og fra Tid til anden slog man paa dem med en Hammer for at forhindre Vedhængning.

Støbejernet kom fra den samme Støbning, som leverede de Stænger, man havde anvendt ved Forsøgene over det samme Metals Strækning, hvorom der er berettet i § 13.

De gjennemsnitlige Resultater af et Forsøg ere, reducerede til metrisk Maal, angivne i følgende Tabel:

Belastning pr. Quadratcentimeter.	Kompression pr. löbende Meter.		Elasticitetskoefficient henfört til Quadratmetren.
	Total.	Permanent.	
Kilogrammer	Meter	Millimeter	Kilogrammer
145,105	0,00015605	0,003914	9 292 781 000
290,209	0,00032396	0,01882	8 986 080 000
439,315	0,00049784	0,03331	8 744 071 000
580,419	0,00065625	0,05371	8 845 800 000
725,525	0,00082808	0,07053	8 761 470 000
870,644	0,00100253	0,09053	8 684 430 000
1015,535	0,0011795	0,1170	8 611 720 000
1160,840	0,0013606	0,14258	8 531 780 000
1305,945	0,0015411	0,17085	8 474 260 000
1451,050	0,0017175	0,20685	8 448 391 000
1741,256	0,0020786	0,36810	8 376 781 000
2032,171	0,0024733	0,45810	8 216 480 000
2326,661	0,0029432	0,50768	7 887 180 000

§ 86. *Fremstilling og Følger af disse Forsög.* — Idet Resultaterne af disse Forsøg fremstilles ved en graphisk Konstruktion, hvori Abscisserne ere Forkortningerne eller Sammentrykningerne i Maalestokken 40 Millimetre for 1 Millimeter, og Ordinaterne ere Belastningerne i Maalestokken 5 Millimetre for 1 Kilogramme pr. Quadratmillimeter, har man for at fremstille Forholdet af Belastnin-

gerne for samtlige Sammentrykninger erholdt en Linie, som indtil Belastningerne af $14^{Kil},50$, ja endog til $17^{Kil},41$ pr. Quadratmillimeter, næsten er ret (Fig. 1, Pl. II, reduceret til halv Størrelse).

Naar man fra de totale Sammentrykninger drager de permanente, saa ere de øvrige, som ere de elastiske Sammentrykninger, nøiagtig forholdsmæssige til Belastningerne, indtil disse naae $23^{Kil},27$ pr. Quadratmillimeter af Tværsnittet. Det fremgaaer heraf, at Sammentrykningerne — de være totale eller elastiske, — staae inden meget udstrakte Grændser i Forhold til Belastningerne. Hvad angaaer de absolute Værdier af de permanente Sammentrykninger, saa ere disse indtil Belastningen af 10 til 12 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter saa svage, at man i Praxis aldeles kan sætte dem udaf Betragtning.

Forholdet af Belastningerne pr. Quadratmillimeter til de i Meter udtrykte Sammentrykninger pr. løbende Meter har som gjennemsnitlig Værdie fra den mindste Belastning, indtil den naaer 17,41 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter:

$$E = 8804764000 \text{ Kilogrammer},$$

og denne gjennemsnitlige Værdie er i det Høieste $\frac{1}{22}$ forskjellig fra den, som fjerner sig mest derfra.

Man seer forøvrigt, at denne Værdie er temmelig nær den samme som den, der erholdtes for Strækningen, saa at det ved ringe Variationer i Længde, idetmindste i Praxis, kan ansees for paa det Nærmeste nøiagtigt at betragte Støbejerns absolute og tilbagevirkende Styrke som indbyrdes lige, hvilket udgjør Grundlaget for Theorien for den relative Styrke, som vi længere hen ville fremstille. Men vel at forstaae lader dette sig kun antage inden snævrere Grændser. Tager man i dette Tilfælde Middeltallet af den i § 14 og den i nærværende § fundne Værdie, saa har man:

for Strækning E = 9096070000^{Kil}, eller 12461616 ℔ pr. □Tomme norsk;

„ Sammentrykning E = 8804764000^{Kil}, eller 12062071 ℔ pr. □Tomme norsk;

gjennemsnitlig Værdie . . . . E = 8950417000^{Kil} . . . 12262071 ℔ pr. □Tomme norsk,

som Elasticitetskoefficient for Støbejern.

Ifølge Sammenstillingen af samtlige tidligere end Hodgkinson's anstillede Forsøg antog man for det graa finkornede Støbejern:

E = 12000000000^{Kil} eller 16440000 ℔ pr. norsk Quadrattomme.

Dog maa man ikke lade udaf Betragtning, at der hersker en betydelig Forskjel i Modstandsevnen hos forskjellige Jernsorter, alt efter Finheden og Beskaffenheden af Kornet, Metallets Qualitet o. s. v.

§ 87. *Hodgkinson's Forsög over Styrken af korte Stöbejernsstykker mod Söndertrykning.* — Allerede forinden hans nysomhandlede Forsøg havde denne Iagttager med kortere Stykker anstillet andre Forsøg over Jernets Modstandsevne mod Knusning ved Sammentrykning, ved hvilke Forsøg han indskrænkede sig til alene at bestemme Knusningsbelastningerne. Forfatteren bemærker, at alle Forsigtighedsforanstaltninger vare trufne for at sikkre sig, at Baserne til de for Trykket udsatte Sylindre eller Prismer vare indbyrdes parallele og perpendikulære paa Axen, ligesom ogsaa, at de bleve pressede mellem parallele Flader, saa at Trykket blev udøvet jevnt paa alle Elementer af hine Baser.

Den følgende Tabel indeholder Resultaterne af de Forsøg, som bleve anstillede med Sylindre og Prismer af Støbejern No. 2 fra Jernstøberierne i Carron i Skotland.

Prøvestykkernes Höide.	Belastninger.						
	Sylindre.				Rette Prismer med ligesidet trekantet Basis. Fladeindh. = 0,0002095 □ Meter.	Rette Prismer med quadratisk Basis af 0m,0127 Side. Fladeindh. = 0,00016129 □ Meter.	Rette Prismer med rektangulær Basis af 0m,0254 og 0m,000637 Side. Fladeindh. = 0,00016193 □ Meter.
	Diameter = 0m,00635 Fladeindhold = 0,00003168 □ Meter.	Diamtr. = 0m,009525 Fladeindhold = 0,00007127 □ Meter.	Diameter = 0m,0127 Fladeindhold = 0,0001267 □ Meter.	Diameter = 0m,0163 Fladeindhold = 0,0002087 □ Meter.			
Meter	Kilogrammer	Kilogrammer	Kilogrammer	Kilogrammer	Kilogrammer	Kilogrammer	Kilogrammer
0,00318	12505,30 11658,03	12002,94	10960,00	„	„	„	„
0,00635	9758,58	10467,06	9709,00	„	„	„	„
0,00953	9393,70	8736,24	9504,50	„	„	„	„
0,01270	9018,70	8673,91	8709,20	„	7702,00	7230,40	8540,70
0,01588	9030,14	9003,37	„	8456,30	„	„	„
0,01905	8559,24	9577,70	8443,10	7847,80	7247,00	6800,30	„
0,02223	„	„	„	7847,80	„	„	„
0,02540	8298,75	9461,94	8228,00	„	6792,00	6732,60	7041,90
0,03175	„	9088,59	8699,20	„	„	„	„
0,03810	„	9001,46	8439,01	„	„	„	„
0,05080	„	8777,35	7854,10	„	„	„	„

§ 88. *Følger af disse Forsög.* — Sammenligningen af disse Resultater viser, at de kortere Prøvestykker med eens Diameter, eller med eens Dimensioner af Basis i Almindelighed bære større Belastninger end de længere Prøvestykker. Ved de kortere finder Bruddet Sted derved, at Stykkets Midte splintres og udvides, saa at de den omgivende Dele brækkes og løsrives. Dette er almindeligvis Tilfældet, naar Sidedimensionerne af Prismet, eller Sylindrens Diameter er stor nok i Forhold til Høiden.

Ere disse Dimensioner lige med, eller kun lidet mindre end Høiden, saa finder Bruddet Sted ved en skjæv Deling af Legemet efter flere Retninger.

Ere Prismerne af Støbejern, saa seer man førend Bruddet slet ingen, eller kun en meget ringe Bøining, og Bruddet finder Sted ved Dannelsen af to Kegler eller Pyramider, hvis Baser ere Legemets Yderflader, og som brække Siderne og drive dem ud fra hverandre; eller ogsaa

opstaaer Bruddet — hvilket i Regelen er Tilfældet med Sylindre, — ved et Slags Kile, som udgaaer fra en af Baserne, hvilken ogsaa tjener Kilen til Basis, og hvis Vinkel er den samme for samme Slags Material, og anderledes for ethvert andet Slags.

Ved Støbejern er denne Vinkel saadan, at Kilens Høide er noget mindre end halvanden Gang Diametren. Ved et saadant Brud udbuges mod Midten den Del af Sylindren, hvor Kilen afløser sig, og befindes, især ved blødt Jern, forkortet.

Maaden, hvorpaa Bruddet foregaaer, bliver den samme, og Kraften af det prøvede Stykke er eens ved lige Sidedimensioner, naar Høiden tiltager, forudsat at denne Dimension ligger mellem 1 Gang og 4 til 5 Gange Sylindrens Diameter, eller, for de øvrige Former af faste Legemer, indenfor den mindste Sidedimension.

Udover dette Forhold formindskes Modstandsevnen, alt eftersom Høiden tiltager.

Forsøgene have viist en kun temmelig svag Forskjel i Modstandsevne mellem Støbejern, som er anblæst med kold og med varm Luft.

Sammenligningen af Resultaterne i foranstaaende Tabel viser, at Støbejerns Modstandsevne mod Søndertrykning staaer i øiensynligt Forhold til Tværsnittets Fladeindhold. Saaledes udholde Sylindre af 0,0127 Meters Diameter næsten den firedobbelte Belastning af den med 0,00635 Meters Diameter; de temmelig smaae Forskjeller, som Prøvestykker af større Dimensioner frembyde, lade sig tilskrive den Omstændighed, at de vare tagne af større Masse og følgelig af blødere Metal.

Man maa nemlig tage væsentligt Hensyn til den mærkelige Indflydelse, som frembringes ved Molekulernes forskjellige Anordning paa Overfladen og i det Indre.

Ved Virkningen af Metallets Afkjøling efter Støbningen har den ydre Flade et finere, mere sammentrængt Korn end det Indre, og besidder en større Modstandsevne. Ved

store Prøvestykker hænder det endog, at den Forskjel, som Bruddet viser, er meget stor, og at Forskjellen af Modstandsevnen er ligesaa betydelig. Dette er godtgjort ved Sammenligning af Modstandsevnen hos Prøvestykker af samme Dimensioner, af hvilke nogle vare støbte direkte, andre tagne af større Masser.

§ 89. *Støbejerns Modstandsevne mod Söndertrykning pr. Fladeenhed.* — For at angive Modstandsevnen hos de ifølge det Foregaaende prøvede Arter af Støbejern i Forhold til Enheden af Flade, er det hensigtsmæssigt at indskrænke sig til at sammenligne med hinanden de Forsøg, som ere anstillede med Prøvestykker, hvis Høide ligger omtrent mellem 1 Gang og 2 Gange den forskudte Kiles Høide, hvilket svarer til en Høide mellem det 1,5 dobbelte og 3dobbelte af Diametren. Man forbigaaer saaledes de altfor korte Prismer, hvis Modstandsevne er større, fordi der ikke kan danne sig nogen Brudkile, og de for lange Prismer, som kunne bøie sig.

De følgende Tabeller indeholde særskilt de erholdte Resultater, forsaavidt angaaer det med varm, og det med kold Luft frembragte Støbejern.

Støbejern fra Carron, No. 2, anblæst med varm Luft.

Dimensioner af Prövestykkernes Basis.	Forsögenes Antal.	Middeltagtaget Værdie af Söndertrykningsbelastningen.	Middels Söndertrykningsbelastning. For Quadrat-Tommen.	For Quadrat-Centimetren.	Almindeligt Middeltal. For Quadrat-Tommen.	For Quadrat-Centimetren.
Rette Sylindre.		Pund	Pund	Kilogr.		Kilogrammer
Diameter i engelske Tommer 0,25	3	6426	130909	9199,95	af Sylindrene 121685 Pund = 54 Tons 6½ Centner.	8551,65
0,33	4	14542	131665	9253,08		
0,50	5	22110	112605	7913,40		
0,64	1	35888	111560	7840,15		
Rette Prismer.						
0,50 Tomme × 0,50 Tomme	3	25104	100416	7057,14	af Prismerne 100739 Pund = 44 Tons 19½ Centner.	7079,75
1,00 „ × 0,26 Tomme	2	26276	101062	7102,37		
Almindeligt Middeltal	„	„	„	„	114703 Pund	8061,01

Støbejern fra Carron, No. 2, anblæst med kold Luft.

Dimensioner af Prövestykkernes Basis.	Forsögenes Antal.	Tagttaget Værdie af Söndertrykningsbelastningen.	Middels Söndertrykningsbelastning. For Quadrat-Tommen.	Middels Söndertrykningsbelastning. For Quadrat-Centimetren.	Almindeligt Middeltal. For Quadrat-Tommen.	Almindeligt Middeltal. For Quadrat-Centimetren.
		Pund	Pund	Kilogr.		Kilogrammer
Rette Sylindre.					af Sylindrene	
Diameter i engelske Tommer 0,25	2	6088	124063	8718,83	118211 Pund	
0,33	4	14190	128478	9029,10	= 52 Tons	8308,25
0,50	7	24290	123708	8693,88	15½ Centner.	
0,45	2	15369	96634	6791,19	af Prismerne	
Rette Prismer.						
Ligesidet Triangel af 0,866 Tommes Side	2	32398	99769	7011,51		
Quadrat af 0,5 Tom. × 0,5 Tomme . .	2	24538	98152	6897,87	101964 Pund = 45 Tons 10½ Centner.	7165,77
Rektangel af 1 Tom. × 0,243 Tomme	3	26237	107971	7587,92		
Almindeligt Middeltal	„	„	„	„	111248 Pund	7818,61

Man seer, at Modstandsevnen mod Søndertrykning kun frembyder liden Forskjel, eftersom Jernet er tilvirket med kold eller med varm Luft.

Den ringere Modstandsevne hos de sidste Prøvestykker i enhver af disse Tabeller lader sig forklare af den Omstændighed, at de vare tagne af større Masser, hvis Indre havde et blødere og smidigere Metal end det, hvoraf de smaae Sylindre bestod.

§ 90. *Andre Forsögs Resultater.* — Den følgende Tabel giver Modstandsevnen mod Søndertrykning hos forskjellige andre Slags engelsk og skotsk Støbejern, og for Legemer af forskjellig Dannelse. Behandlingsmaaden med kold eller med varm Luft har heller ikke her nogen saadan Indflydelse, at herved vilde bevirkes nogen væsentlig Forskjel i den midlere Modstandsevne pr. Quadratcentimeter.

Stöbejerns Modstand mod Splintring. (Knusning).

Stöbejern fra:	Prövestykkernes Form.	Middelmodstandsevne mod Söndertrykning pr. Quadratcentimeter.
		Kilogrammer
Devon (Skotland) No 3, med varm Luft	Sylindre	10220,80
Buffery (ved Birmingham) No. 1, med varm Luft	„	6071,76
„ „ „ No. 1, med kold Luft	„	6562,84
Coel-Talon (Wales) No. 2, med varm Luft	„	5814,33
„ „ No. 2, „ kold Luft	„	5746,58
Carron (Skotland) No. 2, med varm Luft	Sylindre og Prismer	8061,03
„ „ No. 2, „ kold Luft	„	7818,22
Carron „ No. 3, „ varm Luft	Prismer	9377,82
„ „ No 3, „ kold Luft	„	8112,96
Lowmoor (Yorkshire) No. 3, med kold Luft	Sylindre og Prismer med retvinklede Baser	8145,92
Blandet Stöbejern, det samme som til Forsögene over Modstandsevnen mod Strækning (§ 15)	Sylindre af 0,508, med Diameter af 0,6 Tomme.	7287,30
		7031,18
	Prismer tagne af Bjælker	8555,50

§ 91. *Sammenligning af Stöbejernets Modstandsevne mod Brud ved Strækning og mod Brud ved Kompression.* — Ved Hjælp af de foregaaende Forsøg kan man nu anstille en Sammenligning mellem de Kraftyttringer, som ere nødvendige for at knuse eller sønderrive eens Flader af Støbejern, og saaledes opstille følgende Tabel:

Stöbejern fra:	Modstandsevne mod Söndertrykning.		Modstandsevne mod Strækning.		Forhold af begge Slags Modstandsevne.
	pr. □ Tomme.	pr. □ Centim.	pr. □ Tom.	pr. □ Centm	
	Pund	Kilogr.	Pund	Kilogr.	
Devonshire No. 3, med kold Luft	145435	10220	21907	1539	6,686 : 1
Buffery { No. 1 med varm Luft	86397	6072	13434	944	6,431 : 1
Buffery { No. 1 „ kold „	93385	6563	17466	1227	5,346 : 1
Coel-Talon { No. 2 med varm Luft	82734	5814	16676	1175	4,961 : 1
Coel-Talon { No. 2 „ kold „	81770	5747	18855	1325	4,337 : 1

Stöbejern fra:	Modstandsevne mod Söndertrykning.		Modstandsevne mod Strækning.		Forhold af begge Slags Modstandsevne.
	pr. □ Tomme.	pr. □ Centim.	pr. □ Tom.	pr. □ Centm.	
	Pund	Kilogr.	Pund	Kilogr.	
Carron { No. 2 med varm Luft	114703	8054	13505	949	8,493 : 1
Carron { No. 2 „ kold „	111248	7818	16683	1172	6,668 : 1
Carron { No. 3 „ varm „	133440	9378	17755	1248	7,715 : 1
Carron { No. 3 „ kold „	115442	8113	14200	998	8,129 : 1
Lowmoor No. 3 „ kold „	109801	7717	14500	1021	7,554 : 1
Blandet Stöbejern anvendt i Forsögene med Bjælkerne	110908	7794	17136	1204	6,472 : 1
Almindeligt Middeltal . .		7577		1164	

Man seer af denne Tabel, at Støbejernets Modstandsevne mod Brud ved Knusning er 4,337 til 8,493 Gange saa stor som Modstandsevnen mod Strækning. Middeltallet af begge disse Slags Modstandsevne er 6,595. Hodgkinson anseer dette Middeltal for noget svagt, og troer, at det virkelige Forhold af begge disse Modstandsevner ligger imellem 7 og 8, naar alle Prøvestykker bleve tagne to og to af samme Stykker Støbejern.

§ 92. *Bemærkninger over de foranförte Resultater.* — De af denne Tabel udviklede almindelige Middel-Resultater ere saavel for Modstandsevnen mod Knusning, som for Modstandsevnen mod Brud ved Strækning, — og især for hin —, svagere end de af andre Forsøg afledede, hvilke indeholdes i § 86. Dette kommer uden Tvivl af, at det af Hodgkinson forsøgte Støbejern kun var engelsk og skotsk, behandlet med Cokes, meget kulstofholdigt og maaskee af første Støbning, hvilket, som man veed, giver et langt blødere og smidigere Metal end Støbejern af lysgraa Farve og af anden Støbning.

§ 93. *Sammenlignende Forsög over Stöbejerns Brud ved Strækning og ved Kompression.* — En, den forrige lignende, Sammenligning mellem Støbejerns Modstandsevne mod Brud ved Forlængring og ved Sammentrykning blev

af den samme Lærde anstillet med Støbejern fra forskjellige Hytter. Resultaterne heraf findes i følgende Tabel:

Støbejernets Slags	Modstandsevne mod Brud ved Strækning. pr. □ Tomme.	pr. □ Centim.	Prøvestykkernes Höide.	Modstandsevne mod Brud ved Kompression. pr. □ Tomme.	pr. □ Centim.	Forhold mellem begge Arter af Modstandsevne.
	Tons *)	Kilogr.	Centim.	Tons	Kilogr.	
Lowmoor No. 1	5,667	892,4	1,90	28,809	4536,5	1 : 4,765
			3,82	25,198	3964,8	
Lowmoor No. 2	6,901	1086,7	1,90	44,430	6996,4	1 : 6,205
			3,82	41,219	6490,8	
Clyde No. 1 . .	7,198	1133,4	1,90	41,459	6528,5	1 : 5,631
			3,82	39,616	7728,0	
Clyde No. 2 . .	7,949	1250,7	1,90	49,103	7732,3	1 : 5,953
			3,82	45,549	7172,6	
Blaenavon No. 1	6,222	979,8	1,90	40,562	6387,3	1 : 6,149
			3,82	35,964	5663,3	
Blaenavon No. 2	7,466	1175,7	1,90	52,502	8267,5	1 : 6,577
			3,82	45,717	7199,1	
Blaenavon No. 3	6,380	1005,7	1,90	30,606	4820,5	1 : 4,796
			3,81	30,594	4817,7	
Calder No. 1 . .	6,131	965,5	1,90	32,229	5075,1	1 : 5,394
			3,81	33,921	5341,5	
Coltness No. 3 . .	6,820	1073,9	1,90	44,723	7042,5	1 : 6,611
			3,81	45,460	7158,6	
Brayenbo No. 1	6,440	1014,1	1,90	33,399	5299,3	1 : 5,216
			3,81	33,784	5319,9	
Brayenbo No. 3	6,923	1041,1	1,90	33,988	5352,1	1 : 4,936
			3,81	34,356	5410,1	
Clyde No. 3 . .	10,477	1649,8	1,90	47,855	7537,3	1 : 4,518
			3,81	46,821	7372,9	
Bowling No. 2 .	6,032	949,9	1,90	33,967	5351,9	1 : 5,555
			3,81	33,028	5202,5	
Yatalyfera No. 2 (Anthracit)	6,478	1020,1	1,90	44,610	7024,8	1 : 6,735
			3,81	42,660	6717,7	
Yniscedwin No. 1 (Anthracit)	6,228	980,7	1,90	37,281	5870,6	1 : 5,811
			3,81	35,115	5529,6	
Yniscedwin No. 2 (Anthracit)	5,959	938,4	1,90	34,430	5421,7	1 : 5,712
			3,81	33,646	5298,2	
Stirling anden Qualitet	11,502	1811,2	1,90	55,952	8810,3	1 : 4,751
			3,81	53,329	8397,7	
Stirling tredie Qualitet	10,474	1649,3	1,90	70,827	11153,0	1 : 6,149
			3,81	57,980	9130,1	
Middeltal . .		1163,65	Kilogr.		6320,86	Kilogr.
				Middel-	Forhold	1 : 5,64

*) 1 Ton = 20 Centner = 80 Quarter = 2240 Pund = 2031,93 Pund norsk.

§ 94. *Bemærkninger over de foranstaaende Resultater.* — Denne Tabel viser hvilken Forskjellighed Støbejernet er underkastet med Hensyn til dets Modstandsevne saavel mod Strækning som mod Kompression, og hvor vigtigt det kan være ved større Bygværker at forsikkre sig om Støbejernets Beskaffenhed, Blanding og Qualitet, førend man anvender det. Saaledes seer man f. Ex., at Modstandsevnen mod Strækning og mod Knusning hos det af DHr. Morries i Skotland tilvirkede Støbejern fra Stirling er dobbelt saa stor som hos det fra Lowmoor i Yorkshire. Diametren af de fleste ved disse Forsøg søndertrykkede Sylindre beløb sig til 0,019 Meter, og man seer, at, naar Høiden ligger mellem det Enkelte og Dobbelte af Diametren, synes disse Forsøg at antyde, at Modstandsevnen mod Søndertrykning er paa det Nærmeste den samme.

Endelig maa der endnu gjøres opmærksom paa, at samtlige Prøvestykker havde smaae Dimensioner, og at saaledes deres Modstandsevne har været forholdsvis større, end den vilde have været hos større Stykker Støbejern.

Af disse Forsøg i det Hele taget udleder man som midlere Værdier for Modstandsevnen

mod Brud ved Strækning:

$R_e = 11636500$ Kilogrammer paa □ Metren, eller 15942 Pund paa □ Tommen norsk Maal og Vægt;

mod Brud ved Kompression:

$R_c = 63208600$ Kilogrammer paa □ Metren, eller 86595,782 Pund paa □ Tommen norsk Maal og Vægt,

og Middelforholdet af disse to Slags Modstandsevne er ligt: 1 : 5,632.

SAMMENLIGNING MELLEM SMEDEJERNETS OG STØBEJERNETS MODSTANDSEVNE.

95. *Sammenligning af Smedejerns og Støbejerns Anvendelighed med Hensyn til deres forskjellige Modstands-*

evne mod Kompression. — De over denne Modstandsevne anstillede Forsøg vise, at Støbejernet indtil det Punkt, hvor Bruddet paafølger, bærer større Belastninger end Smedejernet. Dette er udenfor al Tvivl; men vi troe derfor ikke, at Støbejernet i Bygværker, og naar Talen er om at udsætte Stykker for en Kompression, hvor den permanente Belastning bliver under det Punkt, ved hvilket Elasticiteten mærkelig forandres, er at foretrække ene og alene af den Grund, at dette længer modsætter sig Bruddet ved Kompression. Indenfor de Grændser, hvori Kompressionen staaer i Forhold til Belastningen, komprimerer i Virkeligheden Smedejernet sig meget mindre end Støbejernet; Værdien af dets Elasticitetskoefficient er saaledes langt større, og næsten dobbelt saa stor som Støbejernets. Dette bevises ved de nedenstaaende Forsøg, som ere anstillede i Lighed med de i § 85 anførte, men under indbyrdes Sammenligning af Støbe- og Smedejern.

Disse med firkantede Stænger af 3,05 Metres Længde og næsten samtlige af 25 Millimetres Tykkelse anstillede Forsøg ere meget interessante; for at forhindre Bøiningen af disse, i Forhold til deres Tværdimensioner allerede lange Stænger, blev Apparatet opstillet med al nødvendig Omhyggelighed; Stængerne, som skulde prøves, vare anbragte vertikalt i stærke Stykker af Støbejern, som støttede dem i deres hele Længde og bestode af to Dele, hvilke indbyrdes vare forenede med Bolte og i visse Afstande forsynede med Ribber for at holde Væggene umiddelbart i Berørelse med Stængerne, paa hvilke Trykket umiddelbart blev udøvet.

Paa denne Maade har Hodgkinson paaviist, at Støbejernet under den samme Belastning komprimerer sig omtrent to Gange mere end Smedejernet; men han tilføier, at Stængerne af Smedejern allerede til en vis Grad gave efter under en Belastning af ikke fuldt 12 Tons paa Quadrattommen, eller 18,9 Kilogrammer paa Quadratmil-

limetren (25893 ℔ pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt), medens Støbejernet først blev søndertrykket under en dobbelt, ja undertiden endog en tredobbelt Belastning. Resultaterne af disse Forsøg findes i følgende Tabel:

Hodgkinson's sammenlignende Forsög over Modstandsevnen hos Smedejern og Stöbejern mod Kompression.

Stænger af Stöbejern af 6,82 □ Centimetres Gjennemsnit.		Stænger af Smedejern af 6,77 □ Centimetres Gjennemsnit.		Stænger af Stöbejern af 6,92 □ Centimetres Gjennemsnit.		Stænger af Smedejern af 6,68 □ Centimetres Gjennemsnit.	
Belastning paa □ Centimetren.	Totalkompression i Millimetre.	Belastning paa □ Centimetren.	Totalkompression i Millimetre.	Belastning paa □ Centimetren.	Totalkompression i Millimetre.	Belastning paa □ Centimetren.	Totalkompression i Millimetre.
Kilogrammer	Millimetre	Kilogrammer	Millimetre	Kilogrammer	Millimetre	Kilogrammer	Millimetre
336	1,37	341	0,71	333	1,18	346	0,68
487	1,93	644	1,32	627	2,08	652	1,19
637	2,59	940	1,85	773	2,59	955	1,70
792	3,19	1093	2,16	918	3,12	1262	2,26
944	3,83	1245	2,44	1210	4,22	1410	2,54
1230	4,39	1392	2,72	1360	4,80	1562	2,87
1370	5,33	1545	3,02	1505	5,38	1712	3,25
1528	6,32	1695	3,30	1800	6,45	1870	3,63
1825	7,61	1840	3,61	2095	7,66	2020	4,14
2120	9,05	1995	3,91	2360	9,01	2170	4,83
2420	10,75	2145	4,42	2680	10,5		
2720	12,75	2290	5,44	2980	12,2		
3020	14,60			3270	14,2		
3320	17.61			3560	16,9		
3620	21,95						
4200							

§ 96. *Figurlig Fremstilling af disse Resultater.* — I den figurlige Fremstilling (Fig. 2, Pl. II) af disse Forsøg, hvori Belastningerne ere antagne som Abscisser og Totalkompressionerne som Ordinater, seer man, at Støbejernets Kompressioner ere proportionale med Belastningerne i en vis Udstrækning, der er meget forskjellig ved de to Stænger af Støbejern; ved den ene holder nemlig Proportionaliteten sig til henimod en Belastning af 1800 Kilogrammer pr. Quadratcentimeter, medens den for den

anden ikke gaaer over 1000 Kilogrammer paa Quadratcentimetren.

For Smedejernet iagttages Proportionaliteten (Fig. 3, Pl. II) ved den ene Stang ligeledes til Belastningen 1800 Kilogrammer, men ved den anden indtil en Belastning af 1400 Kilogrammer paa Quadratcentimetren.

Men Forholdet af Belastningerne til Kompressionerne er for Smedejernet meget større end for Støbejernet, og beregner man Værdierne af Elasticitetskoefficienten efter Forholdet af Abscisserne for de erholdte lige Linier til deres Ordinater, idet man reducerer de sidste — som forestille Kompressionerne, — til Længdemeter og henfører Belastningerne til Quadratmetren, saa finder man for Støbejernet:

for første Stang $E = 7500000000^{Kil}$ eller 10275000 Pund pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt;
„ anden „ $E = 9160000000^{Kil}$ eller 12549209 Pund pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt;
Middeltal . . $E = 8330000000^{Kil}$ eller 11412100 Pund pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt,

og for Smedejernet:

for første Stang $E = 15640000000^{Kil}$ eller 21426800 Pund pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt;
„ anden „ $E = 16950000000^{Kil}$ eller 23221500 Pund pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt;
Middeltal . . $E = 16295000000^{Kil}$ eller 22324150 Pund pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt.

Heraf sees, at Elasticitetskoefficienten af det Kompressionen underkastede Smedejern næsten er dobbelt saa stor som Støbejernets, og at den kun differerer lidet fra Koefficienten for Smedejernets Strækning, idet denne varierer mellem 18000000000 og 20000000000 Kilogrammer (24660000 til 27400000 Pund pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt, see § 10).

Man seer altsaa, at, naar de permanente Belastninger ere mindre end de, der forandre Elasticiteten, d. e. ikke fuldt 14 Kilogrammer paa Quadratmillimetren (19180 Pund pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt), komprimeres Smedejernet mindre end Støbejernet.

Da saaledes Støbejernet ved eens Belastning lider en betydeligere Forandring af Skikkelse, er der, omendskjønt Bruddet ved Kompression ved dette indtræder senere eller under større Belastninger end ved Smedejernet, ialmindelighed Grund til alligevel at foretrække dette Sidste, naar der forresten ikke skal tages særdeles Hensyn til Besparelse.

Det er derfor med god Grund, at Hr. Fairbairn ved Bygningen af Rørbroen over Menai-Strædet har paastaaet den udelukkende Anvendelse af Smedejern.

§ 97. *Permanent Belastning af det Kompression underkastede Smedejern.* — Man vil erindre, at, da Smedejernet søndertrykkes under en Belastning af 25 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter (34250 ℔ pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt), maa man indskrænke Kompressionskraften til høist en Fjerdedel, ja selv til en Sjettedel af denne Værdie, d. e. til 6 eller 4 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter (8220 eller 5480 ℔ pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt), for de Legemer, der ere saaledes anbragte, at de ikke give efter ved Bøining. Man seer altsaa, at den praktiske Belastning af 6 Kilogrammer, saaledes som den er antaget for Strækning, ogsaa i de fleste Tilfælde af Kompression passer for korte Støtter, eller for Stykker, der ere saa fast forbundne med hverandre, at ingen delvis Bøining af deres Elementer kan indtræde.

§ 98. *Maaden, hvorpaa Plader af Jernblik maae anbringes, naar de skulle yde Modstand mod Kompression.* — I saadanne Tilfælde er det af største Vigtighed at fordele Materialet paa saadan Maade, at Bøiningen, som spiller en saa vigtig Rolle i Deformationerne ved Kompression, bliver saavidt muligt formindsket.

Er man saaledes nødt til at anvende tynde Jernblikplader, er det nödvendigt, at de kanneleres — udbugtes — i Bølgelinier, og at to lige Plader lægges mod hinanden og forbindes ved Klinkning.

Er Fordringen den, at Gjenstandene skulle modstaae en stor Kraft, og anvender man stærke Blikplader dertil, saa er den af Fairbairn foreslaaede og af Stephenson adopterede Anordning for Rørbroer hensigtsmæssig formedelst den store Lethed i Forbindelsen. Den bestaaer deri, at man danner den Kompressionen underkastede, bærende Del af firkantede Celler, hvis Hjørner forstærkes ved Vinkeljern, som forbindes med Pladerne ved Klinknagler.

I dette Tilfælde synes Modstandsevnen hos Stykker af middels Længde og af Stykker, som ere saaledes anordnede, at de kun lidet ere udsatte for den almindelige Bøining, at være uafhængig af deres Længde og ligefrem proportional med Transversalgjennemsnittet, saaledes som Tilfældet er med store Blikbjælker.

Hertil ville vi have Anledning til at komme tilbage, naar Talen bliver om Rørbroer, og skulle vi da angive de i dette Tilfælde befulgte praktiske Regler.

SØILER AF STØBEJERN.

§. 99. *Söiler og Stötter af Stöbejern.* — For de enestaaende Støtter, saasom Søiler af Smede- og Støbejern, ere trods de af de berømteste Lærde anstillede theoretiske Undersøgelser og de af de dueligste Iagttagere gjorte Forsøg dog de Love, der bestemme Modstandsevnens Forhold til Dimensionerne, endnu meget lidet bekjendte. Theorien leder til at antage, at Modstandsevnen er ligefrem proportional med den fjerde Potents af Diametren, og omvendt proportional med Quadratet af Høiden; men vi besidde ingen Forsøg, som stadfæste denne Slutning forsaavidt angaaer Støtter af Støbejern. Vi ville derfor indskrænke os til at afhandle Resultaterne af de vigtigste Forsøg og

til Anvendelsen af en empirisk Formel, som kan være tilfredsstillende for de sædvanlige Tilfælde.

§ 100. *Söiler af Støbejern.* — Hodgkinson har offentliggjort talrige Forsøg, som han har anstillet med Støbejerns-Støtter af forskjellige Former og Anordninger*), og hvis vigtigste Følgeslutninger vi her ville anføre, forsaavidt de have Hensyn til Søiler. De forsøgte Søiler vare: a) sylindriske Piller, massive eller hule, af eens Diameter, dels med afrundede, dels med flade, paa Længderetningen nøie perpendikulære Ender, dels med flade Baser, større end Sylindrens Skaft, og b) massive sylindriske Piller, udbugede i Midten af deres Længde.

Formedelst et hensigtsmæssig indrettet Apparat blev Kompressionen udøvet paa de faste Legemer med afrundede Ender i samme Retning som deres Axe, og paa de øvrige lodret paa deres Baser.

Samtlige jernstøbte Piller vare fra Jernhytterne i Lowmoor i Yorkshire, af Støbejernet No. 3, af god Qualitet, af graat, temmelig smaat Korn og af middels Haardhed.

Af disse Forsög har Hodgkinson uddraget følgende Slutninger:

1. Ved alle lange Piller af eens Dimensioner er Modstandsevnen mod Brud næsten tre Gange større, naar Enderne ere flade og staae lodret mod Retningen af Længden og af den udøvede Kraft, end naar de ere afrundede.
2. En lang Pille af ensformig Diameter, hvis Ender ere godt befæstede ved Skiver, Baser eller paa enhver anden Maade, viser den samme Modstandsevne mod Brud ved Kompression, som en Pille af samme Gjennemsnit men af en Halvparten mindre Længde med afrundede Ender, og det selv om Kraften udøves i Retningen af Axen.

*) Philosophical Transactions, 1840.

Dette sidste Resultat stemmer overens med hvad vi i § 62 have sagt i Anledning af Træ-Stænderne i Kornmagasinet ved la Villette.

3. Udbugningen eller Søilediametrens Forøgelse i Midten af Længden forøger Søilens Modstandsevne kun med $\frac{1}{7}$ til $\frac{1}{8}$.

Betræffende Forholdet af Modstandsevnen til Diametren og til Længden eller Høiden af Søilerne har Hodgkinson fundet, at den Theorie, efter hvilken Modstandsevnen skulde være proportional med fjerde Potents af Diametren, og omvendt proportional med Quadratet af Høiden, ikke bekræftes ved Resultaterne af hans Forsøg. Men det maa bemærkes, at denne Gransker fortrinsvis beskjæftigede sig med Bruddet, og ikke med Bøiningen, hvilken ligger indenfor de Grændser, hvor Elasticiteten ikke forandres. Da Theorien er grundet paa Hypotheser, som næsten kun inden disse Grændser ere nøiagtige, er det slet ikke paafaldende, naar den ikke staaer i Harmonie med de indtil Brud udstrakte Forsøg.

Ved at anstille en Drøftelse af de erholdte Resultater, hvilken vi her ikke skulle gjengive, kom Hodgkinson til følgende empiriske Formel, der med tilstrækkelig Nøiagtighed angiver det samlede Indhold af disse Resultater for Piller, hvis Høide ligger mellem det 25- og 120dobbelte af deres Diameter.

Modstandsevnen mod Brud ved Kompression er, udtrykt i engelske Tons, for massive Søiler med flade Baser:

$$P = 44^{\text{Tons}},16 \frac{d^{3,6}}{l^{1,7}},$$

og for hule Søiler med flade Baser:

$$P = 43^{\text{Tons}},30 \frac{d^{3,6} - d'^{3,6}}{l^{1,7}}.$$

I disse Formler udtrykker P engelske Tons, d og d' de ydre og indre Diametre i Tommer, l Høiden eller Længden i Fod.

Denne Formel giver, overført i fransk metrisk Maal:

for massive Søiler med flade Baser: $P^{Kil} = 10676 \frac{d^{3,6}*)}{l^{1,7}}$;

„ hule Søiler med flade Baser: $P^{Kil} = 10676 \frac{d^{3,6} - d'^{3,6}}{l^{1,7}}$,

hvori d og d' udtrykkes i Centimetre og l i Decimetre.

Reduceres disse sidste Formler til norsk Maal og Vægt, bliver:

for massive Søiler med flade Baser: $P^{\text{℔}} = 97455 \frac{d^{3,6}}{l^{1,7}}$;

„ hule Søiler med flade Baser: $P^{\text{℔}} = 97455 \frac{d^{3,6} - d'^{3,6}}{l^{1,7}}$,

hvori d og d' udtrykkes i norske Tommer og l i norske Fod.

§ 101. *Praktiske Formler og Tabeller.* — Klogskab byder, at saadanne Søiler ikkun belastes med høist en Sjettedel af den Belastning, der vilde foraarsage Brud; som praktiske Formler ville altsaa fremkomme:

for massive Søiler med flade Baser: $P^{Kil} = 1780 \frac{d^{3,6}}{l^{1,7}}$;

for hule Søiler med flade Baser: $P^{Kil} = 1780 \frac{d^{3,6} - d'^{3,6}}{l^{1,7}}$,

hvori d og d' udtrykkes i Centimetre og l i Decimetre.

For norsk Maal og Vægt blive disse Formler:

for massive Søiler med flade Baser: $P^{\text{℔}} = 16243 \frac{d^{3,6}}{l^{1,7}}$;

for hule Søiler med flade Baser: $P^{\text{℔}} = 16243 \frac{d^{3,6} - d'^{3,6}}{l^{1,7}}$,

hvori d og d' ere Tommer og l Fod, norsk Maal.

Men da disse Formler ere mindre bekvemme for den praktiske Regning, have vi af dem udviklet let brugelige Tabeller; i saadan Hensigt have vi opstillet en Række af

*) Ved Reduktionen af Formlen fra engelsk til fransk Maal maa Gen. Morin have ansat den engelske Koefficient til 45,3 Tons. Reduktionen af Formlen til norsk Maal og Vægt er foretaget efter den franske Formel. *G.*

Diametre og Høider, der omfatter de i Praxis hyppigst forekommende Tilfælde; og have vi for de hule Søiler regnet den indre Diameter til $\frac{4}{5}$ af den ydre.

Tabel over Dimensionerne for massive Söiler af Stöbejern og over den Belastning, som man med Sikkerhed kan underkaste dem.

Diameter i Centimetre.	Höide i Metre.	Belastning.	Diameter i Centimetre.	Höide i Metre.	Belastning.	Diameter i Centimetre.	Höide i Metre.	Belastning.
Centimetre	Metre	Kilogrammer	Centimetre	Metre	Kilogrammer	Centimetre	Metre	Kilogrammer
5	1,00	11660	10	2,00	43519	15	9,50	13200*
	1,20	8600*		2,25	35700*		10,00	12143
	1,25	8000		2,50	29780		10,50	11200*
	1,40	6600*		2,75	25250*		11,00	10350*
	1,50	5853		3,00	21843		11,50	9600*
	1,60	5250*		3,25	19100*		12,00	8907
	1,75	4504		3,50	16808	20	4,00	162410
	1,80	4300*		3,75	15000*		4,50	135000*
	2,00	3589		4,00	13394		5,00	111400
	2,20	3050*		4,25	12150*		5,50	95000*
	2,24	2960*		4,50	11000		6,00	81522
	2,25	2938		4,75	10050*		6,50	71500*
6	1,20	16487	12	5,00	9165		7,00	62728
	1,35	13500*		3,00	42108		7,50	56500*
	1,50	11282		3,50	32450*		8,00	49989
	1,65	9650*		3,75	28815		8,50	45000*
	1,80	8276		4,00	25800*		9,00	40918*
	1,95	7200*		4,50	21135		9,50	37000*
	2,10	6368		5,00	17650*		10,00	34208
	2,25	5650*		5,25	16284		10,50	31300*
	2,40	5075		5,50	15050*		11,00	29000*
	2,55	4600*		6,00	12960		11,50	27500*
	2,70	4150*		6,50	11609*		12,00	25091
	2,85	3800*		7,00	9930*	25	4,00	362670
	3,00	3473		7,50	8869		4,50	300000*
8	1,60	28480		8,00	8000*		5,00	248180
	1,80	23300*		8,50	7170*		5,50	210500*
	2,00	19489		9,00	6505		6,00	182030
	2,20	16550*	15	4,00	57656		6,50	159500*
	2,40	14295		4,50	47250*		7,00	141000*
	2,60	12450*		5,00	39455		7,50	125300*
	2,80	10999		5,50	33550*		8,00	111620
	3,00	9800*		6,00	28940		8,50	100700*
	3,20	8766		6,50	25350*		9,50	83300*
	3,40	7900*		7,00	22300*		10,00	76400
	3,60	7200*		7,50	19750		10,50	70300*
	3,80	6550*		8,00	17749		11,00	64900*
	4,00	5998		8,50	15900*		11,50	60200*
				9,00	14500*		12,00	56027

Tabel over Dimensionerne af hule Söiler af Stöbejern og over den Belastning, som man med Sikkerhed kan underkaste dem.

Diameter ydre	Diameter indre	Höide.	Belastning.	Diameter ydre	Diameter indre	Höide.	Belastning.	Diameter ydre	Diameter indre	Höide.	Belastning.
Centimetre	Centimetre	Metre	Kilogrammer	Centimetre	Centimetre	Metre	Kilogrammer	Centimetre	Centimetre	Metre	Kilogrammer
		1,20	9105			4,00	7402	15,0	12,0	11,50	5370*
		1,30	8000*			4,25	7000*			12,00	4918
		1,40	7100*	10,0	8,0	4,50	6370*				
		1,50	6230			4,75	5740*			4,00	89677
		1,60	5600*			5,00	5065			4,50	72800*
		1,70	5000*			4,00	14257			5,00	61367
		1,80	4570			4,50	11650*			5,50	52000*
		1,90	4180*			5,00	9756			6,00	45002
6,0	4,8	2,00	3830*			5,50	8250*			6,50	39200*
		2,10	3516			6,00	7156			7,00	34637
		2,20	3300*			6,50	6240*			7,50	30800*
		2,30	3050*			7,00	5570	20,0	16,0	8,00	27601
		2,40	2802			7,50	4900*			8,50	24700*
		2,60	2500*			8,00	4388			9,00	22593
		2,80	2150*	12,0	9,6	8,50	4000*			9,50	20600*
		3,00	1918			9,00	3650			10,00	18888
		1,60	15727			9,50	3350*			10,50	17400*
		1,80	13000*			10,00	3003*			11,00	16000
		2,00	10762			10,50	2750*			11,50	14750*
		2,20	9250*			11,00	2550			12,00	13854
		2,40	7894			11,50	2400*			4,00	200240
		2,60	6900*			12,00	2203			4,50	162000*
8,0	6,4	2,80	6074			4,00	31836			5,00	137030
		3,00	5400*			4,50	25720*			5,50	116500*
		3,20	4841			5,00	21786			6,00	100509
		3,40	4250*			5,50	18500*			6,50	87600*
		3,60	3880*			6,00	15979			7,00	77340
		3,80	3500*			6,50	13880*			7,50	69000*
		4,00	3313			7,00	12296	25,0	20,0	8,00	61632
		2,00	24050	15,0	12,0	7,50	10800*			8,50	55500*
		2,25	20500*			8,00	9799			9,00	50449
		2,50	16456			8,50	8800*			9,50	46250*
		2,75	14500*			9,00	8003			10,00	42176
10,0	8,0	3,00	12098			9,50	7380*			10,50	38200*
		3,25	11000*			10,00	6705			11,00	35867
		3,50	9288			10,50	6250*			11,50	32500*
		3,75	8750*			11,00	5702			12,00	30936

Tabel over Dimensionerne for massive Söiler af Stöbejern og over deres Bæreevne. I norsk Maal og Vægt.

Diam. i Tom.	Höide i Fod.	Belastning.	Diam. i Tom.	Höide i Fod.	Belastning.	Diam. i Tom.	Höide i Fod.	Belastning.
Duod. Tom.	Fod	Pund	Duod. Tom.	Fod	Pund	Duod. Tom.	Fod	Pund
	3,0	30427		10,0	72817		14,0	258500
	3,5	23800*		11,0	61100*		15,0	229900
	4,0	18658		12,0	53410		16,0	206010
	4,5	15110*		13,0	47050*		17,0	185833
2,0	5,0	12768		14,0	41097		18,0	168630
	5,5	10920*		15,0	36700*		19,0	153818
	6,0	9365		16,0	32751		20,0	141000
	6,5	8100*		17,0	29500*		21,0	129750
	7,0	7206		18,0	26808		22,0	119880
	4,0	41663		19,0	24300*		23,0	111160
	4,5	34000*	4,5	20,0	22412		24,0	103402
	5,0	28510		21,0	20700*	7,5	25,0	96469
	5,5	24500*		22,0	19060		26,0	90247
	6,0	20912		23,0	17900*		27,0	84639
	6,5	18750*		24,0	16439		28,0	79564
2,5	7,0	16091		25,0	15400*		29,0	74957
	7,5	14500*		26,0	14347		30,0	70759
	8,0	12823		27,0	13500*		31,0	66923
	8,5	11700*		28,0	12650		32,0	63406
	9,0	10500		29,0	12050*		33,0	60175
	9,5	9750*		30,0	11250		34,0	57197
	10,0	8775		12,0	129080		35,0	54447
	5,5	46740		13,0	113500*		36,0	51900
	6,0	40313		14,0	99324			
	6,5	35100*		15,0	87900*		12,0	786800
	7,0	31020		16,0	79153		13,0	686700
	7,5	27700*		17,0	71100*		14,0	605420
	8,0	24720		18,0	64790		15,0	538410
	8,5	22200*		19,0	59000*		16,0	482470
3,0	9,0	20234		20,0	54165		17,0	435220
	9,5	18300*		21,0	50000*		18,0	394920
	10,0	16916		22,0	46063		19,0	360240
	10,5	15500*		23,0	42500*		20,0	330260
	11,0	14386	5,75	24,0	39730		21,0	303877
	11,5	13300*		25,0	36800*		22,0	280770
	12,0	12408		26,0	34680		23,0	260336
	12,75	11192		27,0	32500*	9,5	24,0	242160
	6,0	90017		28,0	30570		25,0	225930
	7,0	69265		29,0	28900*		26,0	211360
	8,0	55198		30,0	27187		27,0	198223
	9,0	45182		31,0	25700*		28,0	186340
	10,0	37773		32,0	24362		29,0	175550
3,75	11,0	32123		33,0	23050*		30,0	165710
	12,0	27706		34,0	21976		31,0	156730
	13,0	24181		35,0	20920*		32,0	148500
	14,0	21319		36,0	19941		33,0	141028
	15,0	18959					34,0	133950
	16,0	16990	7,5	12,0	335953		35,0	127513
				13,0	293214		36,0	121550

Tabel over Dimensionerne for hule Söiler af Stöbejern og over deres Bæreevne. I norsk Maal og Vægt.

Diameter ydre	Diameter indre	Höide.	Belastning.	Diameter ydre	Diameter indre	Höide.	Belastning.	Diameter ydre	Diameter indre	Höide.	Belastning.
Tom.	Tom.	Fod	Pund	Tom.	Tom.	Fod	Pund	Tom	Tom.	Fod	Pund
Duodecimal		4,0	23004	Duodecimal		16,0	18050	Duodecimal		17,0	102610
		4,5	19700*			17,0	16200*			18,0	93108
		5,0	15742			18,0	14775			19,0	84933
		5,5	13230*			19,0	13450*			20,0	77840
		6,0	11546			20,0	12352			21,0	71644
		6,5	10150*			21,0	11500*			22,0	66196
2,5	2,0	7,0	8884			22 0	10504			23,0	61378
		7,5	7900*	4,5	3,6	23.0	9850*			24.0	57094
		8,0	7080			24.0	9060			25.0	53266
		8.5	6400*			25.0	8450*			26,0	49830
		9.0	5795			26,0	7907	7,5	6,0	27,0	46734
		9.5	5300*			27,0	7400*			28,0	43932
		10,0	4845			28,0	6971			29,0	41388
		5,5	25807			29,0	6600*			30,0	39070
		6,0	22259			30,0	6200			31,0	36952
		6.5	19450*			12,0	71274			32,0	35010
		7,0	17167			13,0	61900*			33.0	33226
		7,5	15175*			14,0	54843			34,0	31582
		8,0	13650			15,0	48970*			35.0	30063
		8,5	12360*			16,0	43706			36,0	28657
3,0	2,4	9.0	11172			17,0	39450*				
		9.5	10180*			18,0	35775			12,0	434440
		10.0	9340			19,0	32675*			13,0	379166
		10.5	8620*			20,0	29908			14,0	334284
		11.0	7943			21,0	27600*			15.0	297288
		11.5	7390*			22,0	25435			16,0	266400
		12.0	6851			23,0	23750*			17,0	240310
		12,75	6180	5,75	4,6	24,0	21937			18,0	218060
		6,0	49700			25,0	20630*			19,0	198910
		7,0	38243			26,0	19146			20,0	182300
		8,0	30477			27,0	18000*			21,0	167790
		9,0	24946			28,0	16880			22,0	155030
		10,0	20855			29,0	15900*			23,0	143750
3,75	3,0	11,0	17735			30,0	15012	9,5	7,6	24,0	133710
		12,0	15297			31,0	14330*			25,0	124750
		13,0	13350			32,0	13452			26,0	116700
		14,0	11771			33,0	12950*			27,0	109450
		15,0	10468			34,0	12135			28,0	102900
		16,0	9380			35,0	11550*			29,0	96930
		10,0	40123			36,0	11011			30,0	91501
		11,0	34000*							31,0	86540
		12,0	29436			12,0	185500			32,0	81993
4,5	3,6	13,0	25900*	7,5	6,0	13,0	161900			33,0	77814
		14,0	22650			14,0	142736			34,0	73963
		15,0	20100*			15,0	126940			35,0	70407
						16,0	113224			36,0	67115

§ 102. *Brugen af Tabellerne.* — Ved Opstillingen af disse Tabeller syntes det for Praxis bekvemmest at sætte Diametrene i runde Tal af Centimetre og Høiderne i runde Tal af Decimetre. Men der kan hyppigt indtræffe det Tilfælde, at der mellem en eller anden ønsket Belastning og den i Tabellerne angivne befindes at være en saa betydelig Forskjel, at man forlanger nøiagtigere Dimensioner end de, som Tabellerne angive.

For nu ogsaa at kunne udstrække Anvendeligheden af Tabellerne til de Tilfælde, for hvilke man ikke har beregnet Belastningerne, kan man strax graphisk fremstille deres Resultater for enhver Diameter, idet man tager Høiderne til Abscisser og de beregnede Belastninger til Ordinater. Herved erholder man Interpolationskurver, som udtrykke Forholdet mellem Belastningerne og Høiderne, og hvoraf man efter Maalestokken kan udlede andre Diametre og tilsvarende Belastninger. Paa denne Maade ere de i Tabellerne ved en Stjerne betegnede Belastninger bestemte, og deres Værdier ere nøiagtige nok for Praxis*).

I Forbigaaende bemærkes, at de nysomtalte Kurver, der ere fremstillede paa Pl. II, Fig. 4 og 5, vise megen Overensstemmelse med den Kurve, som fremstilles ved den i § 66 omhandlede Figur, der har Hensyn til Træstændere, og som gjengiver de af Rondelet bestemte Forhold; de stemme iøvrigt tilstrækkelig overens med de direkte Resultater af Hodgkinson's Forsøg.

§ 103. *Bestemmelse af Diametren for en given Belastning og Höide.* — De foranstaaende Tabeller indeholde et saa tilstrækkeligt Antal forskjellige Værdier for

*) Har man en Logarithmetabel vedhaanden, falder Beregningen for hvert enkelt Tilfælde nok saa let som Konstruktionen af Kurven og de derpaa søgende Dimensioner. Som man seer, ere de fleste Belastninger i Tabellerne for norsk Maal og Vægt beregnede. *G.*

Diametre og Belastninger, at de fleste praktiske Tilfælde indeholdes deri, eller at man idetmindste der finder saa nærliggende Værdier for disse Størrelser, at Løsningen af alle Spørgsmaal deraf lader sig udlede.

Vilde man f. Ex., at en Søile af 5,5 Metres Høide skulde bære en Last af 42000 Kilogrammer, saa vilde man finde, at blandt Søiler af 5,5 Metres Høide, hvis Diametre ere givne, er Søilen med 15 Centimetres Diameter, hvis Belastning beløber sig til 33550 Kilogrammer, den, der bærer den til de fordrede 42000 Kilogrammer nærmest svarende Belastning; og da vi have beregnet de permanente Belastninger kun til en Sjettedel af Brudbelastningen, saa kan man uden Frygt antage denne Diameter.

Dersom derimod Forskjellen mellem de i Tabellen indeholdte Belastninger og den for en bestemt Høide angivne Belastning maatte være meget betydelig, saa maa man tage sin Tilflugt til Formlen i § 99, hvis Anvendelse ikke er bekvem. Beregningen efter denne Formel lader sig undgaae ved følgende graphiske Fremstilling.

§ 104. *Graphisk Maade at finde Diametren til en Söile af given Höide.* — Antage vi f. Ex., at Lasten beløber sig til 80000 Kilogrammer, og Høiden til 7,00 Metre, saa gaaer man frem paa følgende Maade: Man søger i Tabellen de Diametre og Belastninger, som svare til Høiden 7,00 Metre, og som ligge umiddelbart over og under Belastningen 80000 Kilogrammer, tager deraf fire eller idetmindste tre og forbinder dem, hvorved findes følgende Elementer:

Fælles Höide.	Diametre.	Belastninger.
Metre	Centimetre	Kilogrammer
7,00	15	22300
»	20	62728
»	25	141000

Man tager (Pl. III, Fig. 2) Diametrene til Abscisser og Belastningerne til Ordinater for en Kurve, som fremstiller den Lov, der forbinder Diametrene med Belastningerne af Søiler med 7,00 Metres Høide. Man drager derpaa parallel med Abscisselinien en ret Linie til en til den givne Belastning 80000 Kilogrammer svarende Høide. Denne rette Linie vil skjære Kurven i et Punkt, hvis Abscisse er den for Søilen søgte passende Diameter, som i dette Tilfælde vil være 21,54 Centimetre. Man seer, at denne letvindte Fremgangsmaade befrier for enhver Beregning.

§ 105. *Anvendelse af den samme Methode paa hule Söiler.* — Antage vi, at en huul Søile af 6,00 Metres Høide skulde bære en Belastning af 55000 Kilogrammer, saa finde vi i Tabellen for Søiler af denne Høide og af forskjellige deri angivne Diametre følgende Elementer:

Fælles Höide.	Diametre.	Belastninger.
Metre	Centimetre	Kilogrammer
6,00	15	15979
»	20	45002
»	25	100509

Konstruerer man (Pl. III, Fig. 1) den Kurve, hvis Abscisser ere Diametrene, og hvis Ordinater ere Belastningerne, og trækker man videre parallel med Abscisselinien en Linie, hvis Afstand fra hin efter Maalestokken svarer til Belastningen 55000 Kilogrammer, saa vil denne Linie skjære Kurven i det Punkt, hvis Abscisse giver Værdien 21,145 Centimetre for Søilens ydre Diameter. Da den indre Diameter maa beløbe sig til $\frac{4}{5}$ af den ydre, vil denne have en Dimension af 16,916 Centimetre, og Søilen vil saaledes være bestemt*).

*) Beregnes Dimensionerne, saa er efter Formlen:

§ 106. *Sammenligning mellem de massive og de hule Söiler.* — Sammenligne vi paa den ene Side de Belastninger, som de massive og de hule Søiler af ligestore ydre Diametre med Sikkerhed kunne bære, og tage vi paa den anden Side Hensyn til Forholdet mellem deres Grundfladers Areal, saa ville vi finde, at Forskjellen mellem Belastningerne er langt mindre end Forskjellen mellem Grundfladernes Areal, hvilket beviser den store Fordel, som de hule Søiler frembyde med Hensyn til Materialbesparelse. Ved en Høide af 6,00 Metre beløber saaledes Belastningen sig for den hule Søile med 20 Centimetres Diameter til ~~45012~~ Kilogrammer og for den massive Søile med samme Diameter til ~~82200~~ Kilogrammer. Den førstnævnte Belastning er 0,55 af den anden; men Grundfladerne staae derimod i et indbyrdes Forhold af $\frac{0{,}20^2 - 0{,}16^2}{0{,}20^2} = 0{,}36$; altsaa er Forholdet af Belastningerne ligt 0,55, medens det for Tværsnittene eller for Metalquantiteterne kun beløber sig til 0,36. Dette beviser den store Fordel ved Anvendelsen af hule Søiler.

Ogsaa ere de almindeligen anvendte, og det med saameget større Grund, som man i mange Tilfælde benytter deres indre Rum til Afledningsrør for Vand. Paa den anden Side er det at befrygte, at ved Støbningen Kjernen skal forrykkes, og at Metallets Tykkelse vil blive

---

$$55000^{\text{Kil}} = \frac{1780(x^{3,6} - 0{,}8x^{3,6})}{60^{1,7}} = \frac{1780x^{3,6}(1 - 0{,}8^{3,6})}{60^{1,7}}$$ og

$$\frac{55000.60^{1,7}}{1780} = 32568{,}7 = 0{,}55216x^{3,6}$$ hvoraf

$$58984{,}1 = x^{3,6}$$

$$\text{Log } 58984{,}1 = 3{,}6 \text{ Log } x, \text{ eller } \frac{4{,}7707350}{3{,}6} = \text{Log } x,$$ og

altsaa, som ovenanført, den ydre Diameter $x = 21{,}145$, hvoraf den indre Diameter $= 16{,}916$.

forskjellig paa forskjellige Steder, hvilket vilde være en betydelig Feil. Man maa altsaa ved Modtagelsen omhyggeligt overbevise sig om, at dette ikke er Tilfældet, og forkaste enhver Søile, hvorved man finder en Excentricitet af nogen Betydenhed.

§ 107. *Bemærkninger over forskjellige Omstændigheder.* — Hodgkinson slutter af sine Forsøg, at den Form af Tværsnit, hvoraf man sædvanlig betjener sig for Bevægelsesstænger i Dampmaskiner, nemlig Korsformen, besidder — med eens Quantitet af Material — mindre Modstandsevne end en huul Sylinder af samme Diameter. Ifølge ham forholder Modstandsevnen hos disse Stænger med korsdannet Tværsnit sig til dem med Sirkeltværsnit omtrent som 18 : 40.

Staaer en Pille paa sin Plads og er belastet paa en saadan Maade, at den trykkende Kraft virker i Retningen af Diagonalen, saa vil dens Modstand mod Brud mindst blive formindsket med en Trediedel, hvilket bestyrker hvad vi ovenfor i § 67 have bemærket angaaende Fordelen ved urokkelige Forbindinger.

§ 108. *Indflydelse af flere Gange sig gjentagende Kompressions- og Strækningskræfter.* — Hr. Ed. Clark bemærker med Ret, at, naar et fast Legeme ved Indvirkningen af en vis Belastning har lidt en permanent Kompression eller Forlængring, og man paany underkaster det den samme Belastning, saa bliver Totalkompressionen eller Totalforlængringen i andet Tilfælde ikke den samme som i første. Det vil nemlig indsees, at det faste Legeme som Følge af den permanente Kompression eller Forlængring har i dets Sammensætning, i Dispositionen af dets Molekuler lidt Modificationer, der have Indflydelse paa de nye Deformationer, som det andet Forsøg udsætter dem for. Dette seer man ved nye Touge, hvilke toie sig langt mere ved de første Spændinger end sidenefter under den samme Kraft, uden at derved deres absolute Modstandsevne bliver forandret.

Bygværker.	Buernes Antal.	Antal af Ribber i hver Bue.	Ribbernes Afstand.	Bygningsmaade.
			Metre	
Austerlitzbroen, Paris .	5	7	1,95	Bestaaende af Buer med gjennembrudte Hvælvinger.
Carrouselbroen, Paris	3	4	2,80	Polonceau's System, Buer i elliptiske Rör.
Viadukt over St. Denis-Kanalen (Nordbanen)	1	4	2,10 under Skinnerne 1,30 mellem Do.	Do.
Viadukt over Villeneuve-Saint-Georges . . (Lyonjernbanen)	3	7	1,34	Buer af dobbelte T Plader.
Viadukt ved Mée . . . (sammesteds)	3	7	1,34	Do.
Viadukt ved Stationen Charenton (sammesteds)	2	7	1,34	Do.
Viadukt ved Bernières (Jernbanen fra Troyes)	3	6	1,13 under Skinnerne 1,50 mellem Do.	Do.
Viadukt ved Montereau (sammesteds)	4	6	1,13 under Skinnerne 1,50 mellem Do.	Do.
Viadukt ved Nevers . . (Jernbanen du Centre)	7	7	1,31	Do.
Viadukt over Rhonen (Jernbanen fra Avignon til Marseille)	7	8	1,25 mellem Axerne af de mellemste Buer 1,25 mellem Axerne af de mellemste og øvre Buer	Do.
Viadukt Mulatière . . . (Jernbanen fra St. Étienne og Vei fra Perrache til la Mulatière i Lyon)	4	9	1,20 under Skinnerne 1,70 under Veien	Polonceau's System, Buer i elliptiske Rör.

Prøver man de i denne Tabel opførte Tal, saa seer man, hvorledes den ved Broens egen Vægt frembragte Kompressionskraft stedse langt overstiger den, som opstaaer ved en tilfældig Belastning, selv naar man ansætter denne til 200 Kilogrammer pr. Quadratmeter (omtrent 39,5 ℔ pr. □ Fod norsk Maal og Vægt), eller lig Vægten af omtrent tre Personer paa Quadratmetren.

Vægten af et Brofelt tilnærmelsesvis i Tons.	Enhver Bues Aabning.	Pil.	Buernes Höide.	Ribbernes samlede Gjennemsnit for enhver Bue.	Tryk paa □ Millimetren under Bygningens egen Vægt.	Tryk med Tillæg af en tilfældig Belastning til Bygningens egen Vægt.
Tons	Metre	Metre	Metre	□ Metre	Kilogr.	Kilogrammer
623	32,30	3,23	1,25	0,212	3,95	4,40, med en tilfældig Belastning af 200Kil paa □ Metren.
546	47,00	4,90	0,84	0,38	1,9	2,31 Do.
246	31,22	3,45	0,84	0,294	1,03	1,81, med en tilfældig Belastning af 6000Kil pr. löbende Meter af Broen.
363	15,00	1,50	0,55 i Slutstenen	0,241	1,73	2,59 Do.
			0,70 ved Pillerne	0,281	1,88	2,81 Do.
824	40,00	5,00	1,75	0,508	1,81	2,34 Do.
700	35,00	4,00	1,00	0,345	1,81	2,34 Do.
213	22,00	2,45	0,50	0,22	1,19	1,95 Do.
240	24,60	3,13	0,50	0,22	1,19	1,95 Do.
800	42,00	4,55	1,15	0,50	2,00	2,70 Do.
1800	60,00	5,00	1,70	1,016	2,8	3,36 Do.
600	40,14	4,50	0,90	0,720	1,00	1,44 for de Skinnerne tilsvarende Buer.

Disse Belastninger ere overhoved, alt efter Omstændighederne, meget forskjellige og variere betydeligt efter Bygmestrenes Dristighed. Den største, 4,40 Kilogrammer pr. Millimeter (6028 ℔ pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt), er Austerlitzbroens, som nu har staaet i omtrent 40 Aar, men som temmelig ofte har tiltrængt mindre Reparationer. Derefter kommer Belastningen 3,30 Kilogram-

Bygværker.	Buernes Antal.	Antal af Ribber i hver Bue.	Ribbernes Afstand.	Bygningsmaade.
			Norske Fod	
Austerlitzbroen, Paris .	5	7	6,21	Bestaaende af Buer med gjennembrudte Ilvælvinger.
Carrouselbroen, Paris	3	4	8,92	Polonceau's System, Buer i elliptiske Rör.
Viadukt over St. Denis-Kanalen (Nordbanen)	1	4	6,7 under Skinnerne 4,14 mellem Do.	Do.
Viadukt over Villeneuve-Saint-Georges . . (Lyonjernbanen)	3	7	4,27	Buer af dobbelte T Plader.
Viadukt ved Mée . . . (sammesteds)	3	7	4,27	Do.
Viadukt ved Stationen Charenton (sammesteds)	2	7	4,27	Do.
Viadukt ved Bernières (Jernbanen fra Troyes)	3	6	3,60 under Skinnerne 4,78 mellem Do.	Do.
Viadukt ved Montereau (sammesteds)	4	6	3,60 under Skinnerne 4,78 mellem Do.	Do.
Viadukt ved Nevers . . (Jernbanen du Centre)	7	7	4,17	Do.
Viadukt over Rhonen (Jernbanen fra Avignon til Marseille)	7	8	3,98 mellem Axerne af de mellemste Buer 3,98 mellem Axerne af de mellemste og øvre Buer	Do.
Viadukt Mulatière . . . (Jernbanen fra St. Étienne og Vei fra Perrache til la Mulatière i Lyon)	4	9	3,82 under Skinnerne 5,41 under Veien	Polonceau's System, Buer i elliptiske Rör.

mer (4521 ℔ pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt) for den endnu ufuldendte Jernbanebro paa Banen fra Avignon til Marseille.

Til de mest belastede Broer henhører endvidere Broen i Villeneuve-Saint-Georges paa Veien til Lyon, hvilken hidtil synes meget godt at have modstaaet alle Paavirkninger, og som høist er belastet med 2,81 Kilogrammer pr.

Vægten af et Brofelt tilnærmelsesvis i Tons.	Enhver Bues Aabning.	Pil.	Buernes Höide.	Ribbernes samlede Gjennemsnit for enhver Bue.	Tryk paa □ Millimetren under Bygningens egen Vægt.	Tryk med Tillæg af en tilfældig Belastning til Bygningens egen Vægt.
Norske ℔	N. Fod	N. Fod	Norske Fod	N. □Tom.	pr. □Tom.	Norske ℔ pr. □ Tomme
1267761	102,91	10,29	3,98	309,92	5411	6028, med en tilfældig Belastning af 39,45 ℔ paa □ Foden.
1111072	149,75	15,61	2,67	555,51	2603	3164 Do.
500592	99,47	11,00	2,67	429,79	1411	2480, med en tilfældig Belastning af 3771 ℔ pr. löbende Fod af Broen.
738680	47,79	4,78	1,75 i Slutstenen	352,31	2370	3548 Do.
			2,23 ved Pillerne	410,78	2575	3850 Do.
1676782	127,45	15,93	5,57	742,63	2480	3206 Do.
1424451	111,52	12,74	3,18	504,34	2480	3206 Do.
433440	70,09	7,80	1,59	321,61	1630	2671 Do.
488383	77,38	9,97	1,59	321,61	1630	2671 Do.
1627944	133,82	14,50	4,78	730,93	2740	3699 Do.
3662874	191,17	15,93	5,41	1485,26	3836	4603 Do.
1220958	127,89	14,33	2,86	1052,54	1370	1973 for de Skinnerne tilsvarende Buer.

Quadratmillimeter eller 2810000 Kilogrammer pr. Quadratmeter (3850 ℔ pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt).

Henholder man sig til Hodgkinson's Forsøg og til andre Iagttagelser over Støbejerns Modstandsevne mod Kompression, af hvilke fremgaaer, at Elasticiteten af det engelske Støbejern først forandrer sig under et Tryk, som overstiger 16 til 17 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter

(21920 til 23290 ℔ pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt), saa seer man, at ved Bygningen af Broer handle Ingenieurerne vel i at holde sig langt under disse Grændser og at beregne de permanente og tilfældige Belastninger kun til $\frac{1}{4}$ eller $\frac{1}{6}$ af dem, som vilde forandre Elasticiteten.

§ 110. *Virkninger af Temperaturforandringer ved Broer af Stöbejern.* — Ogsaa Virkninger af Kontraktioner og Udvidelser som Følge af de daglige Temperaturforandringer have i Almindelighed paa Broerne en skadelig Indflydelse. Man indseer let, at, naar en Bue, som bæres af Piller, hvilke ere byggede stærke nok til næsten at være ubevægelige og ikke underkastede nogen Bøining, erholder en Forøgelse i Længde ved Udvidelsen, saa maa der opstaae Adskillelser og Aabninger i Fugerne. De nedre Fuger ved Støttepunkterne aabne sig som Følge af en Rotation, der finder Sted omkring den øvre Del af denne Fuge; og omvendt, de øvre Fuger ved Slutstenen eller i dennes Nærhed aabne sig foroven og slutte sig sammen forneden. De modsatte Virkninger opstaae ved Afkjøling eller ved Bøininger under de af Belastningerne bevirkede Kontraktioner.

Af disse Bevægelser fremgaaer det tydeligt, at Trykket ikke meer er fordelt normalt paa Fugernes Flade, heller ikke i Forhold til disse Fladers Udvidelse, og derfor maae Ingenieurerne holde sig under Elasticitetsgrændserne i de Beregninger, der ere grundede paa Forudsætningen af en midlere Sammenhængskraft af Fugerne. Til Støtte for disse Betragtninger er det nyttigt at anføre nogle Exempler paa Hævninger, som Forandringer, der ere en Følge af Temperaturen, kunne foranledige ved Buernes Slutstene, for at man kan sammenligne disse Forandringer med dem, der frembringes ved tilfældige Belastninger, som passere Broerne. Saaledes har ved Broen ved Charenton-Stationen en Temperaturforandring i Luften af 14° bevirket en Hævning paa 14 Millimetre af Slutstenen i den

første mod Vest liggende Bue. Ved Broen Villeneuve-Saint-Georges har man bemærket en Hævning paa 9 Millimetre af Slutstenen af den ligeledes mod Vest beliggende Bue.

Det er sædvanlig mod Aftenen før Solens Nedgang, at den største Hævning finder Sted, og om Morgenen før Solens Opgang, at man iagttager den største Sænkning.

For at beskytte sig mod disse Misligheder maa man iøvrigt ikke forglemme, at ved de fleste omhyggeligt udførte Arbeider have Ingenieurerne været betænkte paa at træffe saadanne Dispositioner, at Dilatationen frit har kunnet finde Sted, idet de enten tilstedede en almindelig Bevægelse af hele Bygningen, eller i passende Afstande anvendte Kompensationsmidler i visse Sammenføininger.

§ 111. *Böininger af Støbejernsbuer under Indvirkningen af tilfældige Belastninger.* — Den følgende Tabel giver Resultaterne af nogle ved forskjellige Viadukter af Støbejern anstillede Iagttagelser.

Af Tallene i denne Tabel seer man, at de saakaldte statiske Bøininger, som frembringes, naar Belastningen er i Hvile, næsten altid ere lidt svagere end de dynamiske Bøininger, som finde Sted under Bevægelsen. Denne Virkning hidrører fra Aarsager, der ere analoge med dem, som vi senere skulle omhandle, naar vi omtale den Indflydelse paa Bøiningerne, som foraarsages ved Hastigheden af de overfarende Belastninger. Man vil forøvrigt see, at som Følge af Bygværkernes Stivhed og Totalmasse er Forskjellen mellem begge Bøininger meget liden og aldrig saadan, at der bliver Spørgsmaal om, at Stabiliteten kommer i Fare.

Tabel over Böiningen af Buer i forskjellige Viadukter.

Maskiner, hvormed Forsögene gjordes.	Vægt i Tons af den Böiningen bevirkende Maskine.				Trenderens Vægt.	Böining ved det Överste af Buen			Hævning i det Överste af Buerne under Maskinens Bevægelse.		Bemærkninger.
						statisk	dynamisk				
	Foran	Midten	Bag	Summa			Middeltal	yderste Grændser.	Den paa virkede Bue.	Den följende Bue.	
	Viadukt ved Charenton-Stationen (Lyonerjernbanen).										
	Tons	Tons	Tons	Tons	Tons	Ctm.	Ctm.	Centimetre		Centimetre	
Maskine for Reisende, alene	8,5	12	5	25,5	20	3,4	3,8	3,6—4,1	0	0,5	Hastighed af 20 til 60 Kilometre *) i Timen.
Do., med Persontog	„	„	„	„	„	„	3,9	3,5—4,1	0	„	Do. af 45 Kilom. i Timen.
Do., med en Last af 200 Tons Sand paa hver Bue	„	„	„	„	„	„	4,3	4,1—4,4	0	„	Do. Do.
Blandet Tog, 1 Række alene	12	13,5	3,2	28,7	20	3,9	4,2	4,1—4,3	0	0,7	Do. af 25 Kilom i Timen.
Do. „ , 2 Rækker med Persontog	10,5	9	5,5	25,0	20	„	3,9	3,6—4,2	0	0,6	Do. af 25 til 55 Kilom. i Timen.
Do. med en Last af 200 Tons Sand paa hver Bue	„	„	„	„	„	„	4,1	3,9—4,3	0	0,6	Do. Do.
Den samme Maskine med Hjul af 1m,80 istedetfor 1m,60	„	„	„	„	„	„	4,3	4,0—4,8	0	0,6	Do. af 40 til 65 Kilom. i Timen.
Do. med Broens Belastning	„	„	„	„	„	„	4,6	4,5—4,6	0	0,6	Do. af 60 Kilom. i Timen.
Maskine med 6 kupplede Hjul	7,2	10,2	8,8	26,2	20	„	3,7	5,6—4,0	0	0,6	Do. af 20 til 40 Kilom. i Timen.
Do. med Broens Belastning	„	„	„	„	„	„	4,2	4,1—4,3	0	0,6	Do. af 30 til 40 Kilom. i Timen.
	Viadukt ved Montereau (Jernbanen fra Montereau til Troyes).										
Maskine for Reisende paa Jernbanen til Troyes	3	9	6	18	9	4	4,0	3,9—4,0	0	0,7	Do. fra 10 til 30 Kilom. i Timen.
Do. paa Linien fra Lyon	8.5	12	5	25,5	20	5,3	5.8	5,6—6,0	0	1,0	Do. fra 15 til 45 Kilom. i Timen.
Blandet Tog, 2 Rækker, Lyonerlinien	10,5	9	5,5	25	20	5,3	5,6	5,3—5,7	0	1,1	Do. Do.
Do. 1 Række	12	13,5	3,2	28,7	20	5,6	6,4	6,1—6,6	0	1,2	Do. Do.
En Maskine for Reisende og en for blandet Tog, 2 Rækker, Lyonerlinien	„	„	„	50	40	6	„	„	0	1,7	Do. Do.
De samme Maskiner paa samme Bane, mere fjernede fra hinanden	„	„	„	50	40	4,5	„	„	0	ikke maalt	Do. Do.
	Viadukt over St. Denis-Kanalen (Nordbanen).										
Maskine for Reisende med Train	„	„	„	22	„	5,1	5,4	„	0.5	kun 1 Bue	Do. af omtr. 20 Kilom i Timen.
Crampton-Maskine	„	„	„	28	„	„	5.8	5,7—6,1	0.6	„	Do. af omtr. 60 Kilom. i Timen.
	Viadukt ved Villeneuve-Saint-Georges (Lyonerjernbanen).										
Blandet Tog, 1 Række	12	13,5	3,2	28,7	20	1,8	„	„	„	0,2	Do. af omtr. 30 Kilom. i Timen.
Maskine for Reisende	8,5	12	5	25,5	20	1,7	„	„	„	0,2	Do. Do.

*) 1 Kilometer = 1000 Metre = 3186 norske Fod, omtrent $^1/_{11,3}$ norsk Miil.

G.

§ 112. *Forplantning af horizontale Tryk fra en Bue til de hosliggende under tilfældige Belastninger.* — Den samme Ingenieur har ogsaa gjort den Iagttagelse, at, naar et Lokomotiv eller et Train farer ind paa en Viadukt, forplanter det paa den første Bue udøvede Tryk sig paa de følgende gjennem Pillerne, som adskille dem, og da denne Virkning afvexlende finder Sted saavel i den ene som i den anden Retning, saa følger deraf, at, naar de mellem Buerne staaende Piller ikke have en tilbørlig Tykkelse og en tilstrækkelig Fugeflade, vil Mørtelens Kohæsion blive ophævet. Dette er blandt andet iagttaget ved en stor Viadukt af Træ over Seinen. I Betragtning af denne Virkning er det derfor nødvendigt at give Pillerne ved Jernbaneviadukter en større Tykkelse end den, Viaduktens egen Vægt maatte forlange. Ligesaa nødvendigt er det at give Buerne og Pillerne, som adskille dem, en stor Stivhed i horizontal Retning.

Tredie Afdeling.

Bøining. (Flexion).

ALMINDELIGE BETRAGTNINGER OVER LEGEMERS MODSTAND MOD KRÆFTER, SOM STRÆBE AT BØIE DEM PERPENDIKULÆR PAA DERES LÆNGDE.

§ 113. *Begreber om den Maade, hvorpaa Legemerne forholde sig, naar de underkastes en Böining paatværs.* — Naar et Legeme, som er oplagt horizontalt paa to Underlag, bøier sig under Indflydelsen af en Vægt, der er anbragt i Midten og virker vertikalt, bliver dets underste Flade konvex og dets øverste konkav. Det er af Vigtighed ved Forsøg at lære at kjende, hvorledes Molekulerne eller de af dem dannede Længdefibrer forholde sig i disse to Flader: at udfinde, om de forneden strække sig, og om de foroven komprimere sig, saaledes at der mellem disse modsatte Virkninger, idet de aftage fra det Ydre til det Indre, skulde befinde sig et Lag, hvis Fibrer hverken blive forlængrede eller forkortede, men forblive af uforanderlig Længde.

Galilei har i et Forsøg til en Theorie om Legemers Modstand mod Bøining antaget, at alle Fibrer forlængrede sig, at regne fra dem, som befinde sig i den konkave Flade. Denne Hypothese blev ogsaa indrømmet af Mariotte og Leibnitz.

Alene Erfaring kan være afgjørende i deslige Materier. Duhamel du Monceaux gjorde Forsøg, som ere indtagne

i „Mémoires de l'Académie des sciences" for Aaret 1767. Til deres Udførelse valgte han Piletræ, fordi denne Træsort er af jevnere Tæthed end Eg og Alm, og fordi Aarsringene deri ere mindre udprægede end i andre Slags Træ, ligesom det endelig er mere bøieligt uden at være meget haardt. Han lod skjære Stokke af unge Træer paa den Maade, at Marven befandt sig i Stokkens Centrum, og gav dem en Længde af $0^{m},975$ med $0^{m},040$ i Firkant.

Disse Stokke bleve lagte paa Underlag, der vare 0,935 Meter fjernede fra hinanden, og belastede i deres Midte med en Vægt, som man efterhaanden forøgede, indtil Brud indtraf.

En første Række af fem Stokke, uden nogen Forskjel, bleve prøvede for at bestemme deres absolute Styrke. Ved en anden Række af to Stokke blev der med en Saug anbragt et Snit i Midten af hver Stoks øvre Flade, hvilket Snit erholdt en Dybde af en Trediedel af Stokkens Tykkelse eller Høide; de to Stokke af den tredie Række bleve ligeledes indskaarne indtil $\frac{1}{2}$ af deres Høide, og de af den fjerde Række, bestaaende af sex Stokke, til $\frac{3}{4}$ af Høiden. I Snittene indbragte man en tynd Plade af tørt Egetræ for at udfylde den Aabning, som var frembragt af Saugen. Ifølge Forsøgene brækkedes Stokkene under følgende Belastninger:

de hele Stokke med	$256^{Kil},91$
Stokke gjennemskaarne i $\frac{1}{3}$ af Tykkelsen	$269^{Kil},71$
„ „ $\frac{1}{2}$ „ „	$265^{Kil},31$
„ „ $\frac{3}{4}$ „ „	$259^{Kil},76.$

Af disse Forsøg følger det indlysende, at det i Stokkene anbragte Saugsnit ikke har svækket dem, fordi det ikke har forhindret de øvre Fibrer, beliggende paa den konkave Side, fra at komprimere sig mod Egetræpladen, som udfyldte Fugen, og at modstaae, som om de ikke havde været afbrudte. Der er endog Grund til at troe, at

Pladen af Eg, haardere end Piletræet, som den traadte istedet for, ved at modsætte Fibrernes Kompression et fastere Støttepunkt, har bidraget til den lille Forøgelse i Modstandsevnen hos de med Snit forsynede Stokke.

Duhamel har ogsaa udført lignende Forsøg med Stokke af nordisk Fyr, af 0,975 Meters Længde, 0,034 Meters Høide og 0,016 Meters Bredde, oplagte paa de samme Underlag og belastede i deres Midte; de første vare hele og de øvrige overskaarne paa fire Steder, nogle i $\frac{1}{3}$ af Høiden, andre i $\frac{1}{2}$ og de sidste i $\frac{2}{3}$ af Høiden. Han har iagttaget følgende Bøininger og Belastninger:

Fortegnelse.	Bøininger, der svare til Belastninger af: 24,475 Kilogr.	36,712 Kilogr.	73,75 Kilogr.	Belastning, som frembragte Brud og de sidste Bøininger.	Bruddets Middelbelastning.
	Millim.	Millim	Millim.	Kilogrammer	Kilogrammer
Hele Stokke	13,54	21,46	58,65	73,75	70,65
	15.79	22,56	54,15	67,55	
Stokke, indskaarne paa 4 Steder om $\frac{1}{3}$ af deres Tykkelse	19,18	33.84	71,05	69,51	64,65
	19,18	30.61	68,79	65,59	
	23,10	37,35	66,55	58,86	
Stokke, indskaarne paa 4 Steder om $\frac{1}{2}$ af deres Tykkelse	19,74	31.02	66.55	77,66	71,62
	20,87	32,86	68,79	65,59	
Stokke, indskaarne paa 4 Steder om $\frac{2}{3}$ af deres Tykkelse	21,46	34,40	77,83	72,20	66,94
	18,05	33,84	82,34	61,68	

Disse Forsøg vise, at Saugsnittene have befordret Stokkenes Bøining, men at de ikke have betydelig formindsket deres Modstand mod Brud.

Det følger altsaa af disse Forsøg, at de Fibrer, som ere beliggende paa de bøiede Stokkes konvexe Side, forlængre sig, ligesom de paa den konkave Side komprimeres eller forkortes. Forlængringen og Forkortningen ere forresten øiensynligen saa meget større, som Fibrerne ere nærmere den ydre Overflade; de formindske sig, eftersom de nærme sig det Indre, og der maa for hvert Gjennemsnit befindes et Lag Fibrer, som hverken er udsat for

Forlængring eller for Forkortning, og hvilket man af denne Grund kalder *de uforanderlige Fibrers Lag.*

§ 114. *Direkte Forsög for at paavise Kompressionen og Strækningen af de böiede Legemers Fibrer.* — Et aldeles nyt Forsog har været gjort i „Conservatoire des Arts et Métiers", for paa en uforkastelig Maade at paavise Kompressionen af de Fibrer, som ere beliggende i Legemets konkave Del og Strækningen af Fibrerne i den konvexe.

Et Stykke Fyrretræ af 2 Metres Længde med $0^{m},0974$ og $0^{m},0973$ i Firkant blev oplagt horizontalt paa to Underlag, fjernede om $1^{m},803$ fra hinanden. Det veiede 8,900 Kilogrammer.

Paa Midten af dette Stykke og lodret paa dets Længde anbragte man en Rulle, i hvis Axe man hængte en Vægtskaal, som, iberegnet en Tillægsvægt af $6^{Kil},910$, dannede med den Vægt, der repræsenterede Virkningen af Legemets egen Vægt, en konstant Belastning af 50 Kilogrammer.

Paa Skaalen lagde man efterhaanden og med Forsigtighed de forskjellige Vægter.

Efter Længden af Stokkene havde man i deres øvre og nedre Flader anbragt en lille Rende, i hvilken var indskudt, med svag Friktion, en tynd List eller Tunge af Træ, lidt længer end selve Stokken, hvilke Lister man havde smurt for at gjøre dem end mere bevægelige.

Efterat Stokken var oplagt frit og uden Belastning paa Underlagene, afmærkede man med fine Streger Anstødningen af dens Ender paa Listerne; derefter begyndte man forsigtig at belaste Skaalen.

Eftersom Stokken böiede sig, bemærkede man, at Stregerne paa den øvre List trak sig meer og meer udenfor Enderne af Stokken, hvilket øiensynligen viste, at Stokkens øverste Overflade forkortedes efter Længden og følgelig komprimeredes. Til samme Tid bemærkedes, at Stregerne paa den nedre List bleve dækkede af Stokkens

Ender, hvilket ligeledes beviste, at den nederste Flade forlængredes.

Følgende Tabel indeholder Resultaterne af disse Forsøg:

Totalbelastninger.	Bøininger maalte efter 30 Minutter.	Totalkompression af den øvre Flade.	Totalstrækning af den nedre Flade.
Kilogrammer	Metre		
200	0,00525	„	„
300	0,00820	„	„
400	0,01090	„	„
500	0,01310	„	„
600	0,01530	0,0017	0,00195

Man seer af denne Tabel og ved graphisk at fremstille Resultaterne (Pl. III, Fig. 4), at Bøiningerne ere mærkelig proportionale med Belastningerne indtil henimod Vægten 400 til 500 Kilogrammer; efter de almindelige praktiske Formler, som vi længere hen skulle lære at kjende, burde en lignende Stok, for ikke at udsættes for Forandring i sin Elasticitet, ikke bære permanent mere end omtrent 205 Kilogrammer *).

Man seer følgelig, at indenfor Grændserne for de permanente Belastninger, som disse Regler tilstede at anvende, kan Proportionaliteten af Bøiningerne til Belastningerne betragtes som tilstrækkelig nøiagtig.

Maalingen af de sammentrykkede Fibrers Forkortelse har givet for Belastningen 600 Kilogrammer . . . 0,0017
og af de udvidede Fibrers Forlængring 0,00195

Middeltal 0,001825,

Størrelser, som man kan betragte som mærkelig lige, saasom de kun differere 0,25 Millimeter, en Længde, som man ikke kunde indestaae for af Hensyn til de Midler, hvormed den blev maalt.

Af dette Forsøg følger altsaa en ny Bekræftelse paa Fibrernes Forlængring i den Del af Legemet, som bliver

*) Formlen er: $2P = 2\,\frac{100000 \times 0{,}0974^3}{0{,}9015} = 204{,}28$ Kilogr.

konvex, og paa deres Forkortelse eller Kompression i den konkave Side, samt endelig paa Tilværelsen af et Lag af Fibrer med uforandret Længde.

§ 115. *Dupin's Forsög.* — Tidligere af denne berømte Geometer i Rochefort udførte Forsøg havde ledet til de samme Slutninger.

Et Træstykke ABCD (Pl. III, Fig. 5) blev oplagt paa to Punkter, der vare fjernede 2 Metre fra hinanden. Et vist Antal rette Linier 1—1, 2—2, 3—3, 4—4 . . . . ., perpendikulære til de parallele Flader AB og CD, vare blevne optrukne paa de vertikale Flader; man belastede Stykket med Vægter, ophængte i Midten af dets Længde.

Det bøiede sig under Vægten, og ved at undersøge Linierne 1—1, 2—2, 3—3 . . . . . etc. fandt Dupin, at de ikke havde ophørt at være rette og normale til Legemets Flader AB og CD.

Det fremgik nødvendigen heraf, at alle Fibrer, oprindeligen indbefattede mellem to Profiler, f. Ex. 11 og 22, ogsaa under Bøiningen forbleve derimellem, og at de nødvendigvis bleve forkortede eller forlængrede om Størrelser, proportionale med deres Afstand fra Rotationsaxen for hver af Planerne 11 og 22. Men, saasom den øvre og den nedre Flades Længder ikke have været opgivne, viser dette Forsøg ikke ved sig selv, at der har været forkortede Fibrer, fordi Linierne 1—1 og 2—2 ogsaa vilde være forblevne perpendikulære paa Siderne AB og CD, om Rotationen havde fundet Sted omkring de øvre Punkter 1 og 2.

Dog bragte dette Forsøg, der kom nær det af Duhamel, som paaviste Kompressionen, dets Ophavsmand til at indrømme Tilværelsen af et Lag uforanderlige Fibrer.

§ 116. *Duleau's Forsög.* — Duleau angiver i sin Afhandling over Smedejerns Modstandsevne følgende Forsøg:

„Ved anvendt Kraft har man bøiet - kold - en quadratisk Jernstang af $0_m,02$ Side efter en Sirkelbue, saaledes

at de to Sideflader forbleve plane. Paa disse to Flader havde man ridset Linier perpendikulære til Stangens Axe, og i $0^m,025$ Afstand fra hverandre. Man har efterhaanden givet Stangen tre Krumninger, saaledes at Pilen med en Buelængde af $0^m,30$ blev $0^m,022$, $0^m,037$ og $0^m,058$. Linierne, som vare ridsede paa de plane Sider, ere forblevne rette og perpendikulære til Stangen, *og Forlængringen af den konvexe Del er befunden aldeles lig Forkortningen af den konkave.*"

	Meter	Meter	Meter
For Pile af	0,022	0,037	0,058
Denne Forlængring har været for $0^m,30$ Længde	0,005	0,010	0,0175
Eller pr. Meter	0,0167	0,0333	0,0583

„Dette Forsøg viser, at Jernets Fibrer have undergaaet en Forlængring eller en Forkortning proportional med deres Afstand fra Stangens Midte, og at saaledes den samme Vægt, som virker paa en Fiber parallel med dens Længde, enten for at strække eller for at sammentrykke den, forlængrer eller forkorter den om den samme Størrelse".

„Her havde Fibrerne tabt sin elastiske Kraft; den Egenskab, som de have fremstillet, finder altsaa med saa meget større Grund Sted, naar den Paavirkning, som de have været udsatte for, ikke har tilintetgjort denne Elasticitet."

Uden af dette Forsøg at ville udlede saa absolute Slutninger som Forfatteren, kan man idetmindste deraf uddrage den Følgesætning, at der ved Bøiningen af et Legeme opstaaer Strækning af de Fibrer, som ere beliggende i den konvexe, og Sammentrykning af dem, der ere beliggende i den konkave Del, og at der nødvendigen i det Indre af Legemet findes et Lag Fibrer med uforanderlig Længde.

§ 117. *Forskjellige Ingenieurers Iagttagelser.* — Endelig have de talrige Iagttagelser, der ere gjorte af Fair-

bairn, Hodgkinson, Clark og andre engelske Forfattere, bevist, at analoge Virkninger frembragtes ved Bøining af Metaller.

Hodgkinson har udhævet den mærkelige Brudsmaade, som Stænger af Støbejern vise. I det Øieblik de give efter for Belastningen, adskiller der sig henimod Midten af den konkave Del et Slags krumliniet Kile (Pl. III, Fig. 6), som undertiden springer frem over Legemet. Dens Dannelse og dens Fremtræden ere øiensynligen en Virkning af Kompressionen.

I de talrige Forsøg, der ere gjorte med Bjælker af Jernplader af fulde eller hule Gjennemsnit, har man stedse bemærket, at disse Legemer bleve brudte ved Strækning af Fibrerne i den konvexe Del eller ved Sammentrykning i den konkave Del, alt eftersom Formen og de antagne Proportioner gjorde, at Modstanden mod den ene Indvirkning havde Overvægten over Modstanden mod den anden.

Tilværelsen af et Lag Fibrer, hvis Længde ikke har forandret sig, naar Legemet har antaget en vis Bøining, er altsaa tilstrækkelig paavist ved alle de Forsøg, som vi have anført. — Men hvilken Beliggenhed har dette Fiberlag i Legemets Gjennemsnit? — og er denne Beliggenhed konstant eller den samme for alle Bøininger? Det er dette, som vi senere skulle undersøge ved at sammenligne Erfaringens Resultater med Theoriens.

§ 118. *Charles Dupin's Forsög.* — I en Afhandling fra Aaret 1813 har Dupin fremstillet Resultaterne af de Forsøg og Undersøgelser, hvilke han havde anstillet paa Corcyra i Aaret 1811. Vi give her en kortfattet Analyse af dette vigtige Arbeide.

De anvendte Træstykker vare af Eg, Cypres, Bøg og Fyr, tildannede som Parallepipeder af 2 Metres Længde, oplagte paa Underlag, hvis korteste indbyrdes Afstand de udmaalte, idet de kun ragede meget lidt frem til begge Sider af dem, og belastede med Vægter, anbragte i Midten af deres Længde.

Forfatteren erkjendte for det Første, at Bøiningerne ere proportionale med Belastningerne, naar Alt forresten er ligt; dette stadfæstes af følgende Forsøg, udførte med Stokke $0^m,03$ i Firkant og af 2 Metres Længde, belastede i deres Midte med efterhaanden paalagte Vægter.

Træsorter.	Bøininger, frembragte ved Belastning af: 4 Kilogr.	8 Kilogr.	12 Kilogr.	16 Kilogr.	20 Kilogr.	24 Kilogr.	28 Kilogr.	Forhold mellem Bøiningerne i Millimetre og Belastningerne i Kilogrammer.	Tætheden af de anvendte Træstykker.
	Millim.	Millim.	Millim.	Millim.	Millim	Millim	Millim.		
Eg	5,8	11,2	17,1	22,6	28,2	34,9	40,6	1,450	0,7324
Cypres . .	7,0	14,2	21,5	28,7	35,9	44,2	51,0	1,724	0,6640
Bøg	8,4	16,9	25,9	34,5	43,4	54,0	63,5	2,170	0,6595
Nordisk Fyr	13,0	26,2	„	„	„	„	„	3,275	0,4428

Dersom man graphisk fremstiller disse Resultater (Pl. III, Fig. 7) ved at antage Belastningerne som Abscisser i Maalestokken 2,50 Millimetre pr. Kilogramme og Bøiningerne i halv Størrelse, saa seer man, at alle saaledes bestemte Punkter ere beliggende i en ret Linie, som gaaer gjennem Koordinaternes Begyndelsespunkt. Man bemærker forresten, at udover Belastninger, som frembringe en Bøining af 40 Millimetre, ligge de tilsvarende Punkter lidt over de rette Linier, og at saaledes Bøiningerne da vare større end de, som skulde været frembragte i Overensstemmelse med Bøiningernes Proportionalitet med Belastningerne.

Men man maa ogsaa bemærke, at en Bøining af 40 Millimetre paa 2 Metres Længde, eller $\frac{1}{50}$ af Afstanden mellem Underlagene, allerede er overdreven og overskrider, hvad der kan taales ved Bygværker. Saaledes tilsvarer dette for en Bærevidde af kun 5 Metre en Pil af $0^m,10$, hvilket ikke i noget Tilfælde kan tilstedes. Af disse Forsøg er man altsaa med Forfatteren berettiget til at udlede Stadfæstelsen af den Lov, at mellem de Grændser, hvor Elasticiteten ikke forandres, og for Bøininger, som kunne

taales i Bygværker, *ere Böiningerne af Parallelepipeder, oplagte paa to Underlag, proportionale med Belastningerne, som virke i deres Midte.*

§ 119. *Sammenligning mellem Træs Tæthed og Stivhed.* — Træs Bøielighed er desto større, jo betydeligere Pilens Tilvæxt er, der er frembragt ved en og samme Vægt, eller jo større Forholdet af Totalbøiningen er til Belastningen, der frembringer den. Dersom man saaledes — for at sammenligne dette Forhold, som er givet ved den geometriske Tangent til Inklinationen af foranførte Figurs rette Linier, og hvis Værdie er antegnet i foranstaaende Tabels niende Kolonne, med de af Forfatteren bestemte Tætheder, — tog disse som Abscisser og Inklinationerne af Bøiningernes rette Linier som Ordinater, vilde man see, at de saaledes bestemte Punkter, og især de to yderste, ere omtrent beliggende paa en ret Linie, som gaaer i en Afstand lig Enheden fra Begyndelsespunktet, og saaledes, at man, naar man kalder

i Inklinationerne eller Forholdet af Bøiningerne til Belastningerne,

d Tætheden af Træet eller Vægten af en Kubikmeter i Kilogrammer, mellem disse Størrelser vil have Forholdet

$$i = 5{,}877\ (1 - d)\ \text{Millimetre},$$

et Forhold, som forresten ikke med Sikkerhed kan anvendes uden for de af Dupin forsøgte Træer, og hvis Rigtighed det vilde være nødvendigt at undersøge efter en mere udvidet Maalestok.

Hvorledes det nu end er, kan man dog ikke destomindre deraf slutte med denne berømte Ingenieur, at Træs Modstand mod Bøining tiltager med dets Tæthed. Deraf udleder han denne anden vigtige Slutning:

„Af to Skibe af samme Rang, og hvis Tømmerværk er af eens Volumen, eller i Almindelighed af to Tøm-

merværker af samme Volumen antager det, som er sammensat af det vægtigste Træ, mindre Bøining end det, der er sammensat af det lettere Træ". Saaledes skulle Skibe fra Østersøen og Holland, byggede af nordisk Fyr, antage større Krumning, end de fra Middelhavet, og disse igjen større end spanske Skibe, byggede af meget vægtigt Træ fra den nye Verden, eller engelske Skibe, hvoraf en Del er bygget af det haarde Træ, som man kalder „African wood".

Men, tilføier han, dersom man derimod byggede to Skibe efter samme Tegning, dog saaledes at deres Træværk havde samme Vægt, „vilde man see, at det Skib, som var bygget af det letteste Træ, vilde være det, hvis Krumning var mindst betydelig, og som vilde frembyde den største Soliditet".

§ 120. *Sammenligning mellem Virkningen af jevnt fordelte Belastninger med Belastninger, som anbringes midt imellem Underlagene.* — Ch. Dupin har ogsaa søgt at sammenligne de under disse to forskjellige Omstændigheder frembragte Bøininger. Resultaterne af disse Forsøg ere angivne i følgende Tabel, til hvilken vi have føiet de Vægter, som, anbragte i Midten af Stokkene, have frembragt den samme Bøining som de ensformig fordelte Vægter, for ligetil at kunne fastsætte Forholdet af de Belastninger, som i de to Tilfælde frembringe en og samme Bøining.

Træsort.	Dimensioner		Belastning virkende i Midten.		Belastning ensformig fordelt		Last, som anbragt i Midten vilde frembringe denne Bøining.	Forhold mellem disse Belastninger.
	vertikal	horizontal	Last	Bøining	Last	Bøining		
	Meter	Meter	Kilogr.	Millim	Kilogr	Millim.	Kilogr.	
Eg, prismatisk	0,02	0,03	6,00	33,0	9,00	32,0	5,818	0,649
	0,02	0,02	6,00	15,0	9,00	14,5	„	„
Eg, sylindrisk	Diamet 0,02		1,90	48,0	3,00	48,0	1,900	0,633
	0,02		4,75	123,0	7,50	123,0	4,750	0,633

Længere hen vil man see, at Theorien bestemmer, at for den samme Bøining maa Forholdet af Belastningerne,

anbragte i Midten og ensformig eller jevnt fordelte, være som 5 til 8 eller lig 0,625; dersom man bemærker, at de Belastninger, som Dupin anbragte, ikke i Virkeligheden vare ensformig fordelte, men vel oplagte i lige Dele og i eens Afstande, seer man, at disse Forsøg levere en for Praxis tilstrækkelig Stadfæstelse af Theorien.

§ 121. *Forholdet af Böiningerne til Trævernes Bredde og Tykkelse eller Höide.* — Theorien, som senere skal behandles, leder til den Slutning, at for prismatiske Træer maae Bøiningerne ved lige Bærevidder være omvendt proportionale med Bredderne og Kubusserne af Høiderne, saaledes at, naar man kalder a Bredden og b Høiden, skulle Bøiningerne staae i omvendt Forhold til Produktet ab^3.

Dersom man ifølge heraf lader den samme Bjælke bøie sig under den samme Belastning ved først at oplægge den paa den flade Side (Pl. III, Fig. 8) saaledes, at dens Dimension a bliver horizontal og b vertikal, derefter paa Kant saaledes, at b bliver horizontal og a vertikal, saa ville de iagttagne Bøininger efter Theorien være i omvendt Forhold af ab^3 til ba^3, eller forholde sig til hinanden som a^2 til b^2, det vil sige som Quadraterne af Dimensionerne, hvilket stadfæstes ved følgende Forsøg af Dupin:

Forsög med en Fyrrebjælke af $0^m,03$ *og* $0^m,02$ *Side.*

Belastninger.	2 Kilogr.	4 Kilogr.	6 Kilogr.	8 Kilogr.	10 Kilogr.
	Millimetre	Millimetre	Millimetre	Millimetre	Millimetre
Böininger { flad	16	32	48	64	80
Böininger { höi Kant	6,80	14	21,30	28,50	37,60
Forhold af Böiningerne . . .	2,36	2,28	2,25	2,24	2,13
Middeltal af dette Forhold	2,25				

Da Forholdet af Dimensionernes Quadrater er som 9 : 4 eller lig 2,25, saa seer man, at der næsten er fuldkommen Overensstemmelse mellem Forsøgets Resultater og Theoriens Angivelser. En lignende Stadfæstelse er-

holdtes ved en anden Fyrrebjælke med $0^m,05$ og $0^m,02$ i Firkant.

Af disse Forsøg følger da ogsaa Stadfæstelsen af Theoriens Slutning, at Bøiningen er i omvendt Forhold med Produktet af Bredden a, multipliceret med Kubussen b^3 af Bjælkens Høide.

§ 122. *Træs Böielighed som Funktion af Afstanden mellem Underlagene.* — Forfatteren har forandret Afstanden mellem Underlagene, paa hvilke Bjælkerne vare oplagte, men uden at indskrænke disses Længde, som var lidt større end 2 Metre, saaledes at en Del af Bjælkerne for alle Bærevidder under 2 Metre ragede udenfor Underlagene og bidrog til at forringe Virkningen af Belastningen og som Følge heraf Bøiningen. Det er let at udregne Virkningen af disse overskydende Dele; men deres Indflydelse paa Resultaterne er saa ringe, at denne Berigtigelse synes unyttig til Fastsættelse af den Slutning, som man udleder deraf.

De ved de direkte Maalinger erholdte Resultater ere angivne i følgende Tabel:

Nordisk Fyr. Prismatisk Træ af $0^m,02$ og $0^m,05$ Side, belastet paa Midten med 10^{Kil}. Dets Vægt = $1,104^{Kil}$.

Afstand mellem Underlagene i Metre	1,00	1,125	1,250	1,375	1,500	1,625	1,750	1,875	2,000
Bøininger i Millimetre . . .	10,00	15,5	21,9	28,7	36,7	47,0	58,0	70,0	84,0
Kubusser af Bærevidderne .	1,000	1,424	1,953	2,600	3,375	4,291	5,359	6,591	8,000

Eg. Prismatisk Træ 0,02 og 0,03 i Firkant, oplagt paa den flade Side; dets Vægt $0,94^{Kil}$.

Afstand mellem Underlagene i Metre . .	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00
Bøininger i Millimetre	6,0	8,10	10,8	13,3	16,7	21,0	25,0	30,5	36,0	42,0	49,0
Kubusser af Bærevidderne	1,000	1,331	1,728	2,197	2,744	3,375	4,096	4,913	5,832	6,859	8,000

Dersom man, saaledes som man har gjort det i Pl. III, Fig. 9 med Egestykket, tager Kubusserne af Afstan-

dene som Abscisser og Bøiningerne som Ordinater i en vilkaarlig men tilstrækkelig stor Maalestok, saa finder man, at alle saaledes bestemte Punkter ligge i en ret Linie, hvoraf man med Forfatteren og overensstemmende med Theorien slutter, *at Böiningen af Træer, belastede paa deres Midte, er ligefrem proportional med Kubusserne af Afstandene mellem Underlagene.*

§ 123. *Følgeslutninger af disse Forsög.* — Under den kortfattede Analyse, som vi have givet af disse Dupin's smukke Forsøg, har man efterhaanden sluttet, at, naar Alt forresten er ligt, ere Bøiningerne af Bjælker, oplagte paa to Underlag og belastede i Midten af deres Længde:

1. proportionale med Belastningerne 2P, som de bære;
2. i omvendt Forhold til Produktet af Bredden a og Kubussen af Bjælkens Høide b;
3. proportionale med Bærevidden 2C; C betegner i alt Følgende den halve Bærevidde.
4. At den ved en ensformigt fordelt Belastning frembragte Bøining er $\frac{5}{8}$ af den, som frembringes ved den samme Belastning, anbragt i Bjælkens Midte, eller, hvilket er det samme, at den førstnævnte Belastning, hvad Bøining angaaer, svarer til $\frac{5}{8}$ af den anden.

Dersom man som Følge heraf betragter to prismatiske Bjælker af samme Slags Træ, oplagte paa to Underlag og belastede i deres Midte, og man kalder

1. f, a, b, 2P og 2C, den førstes Bøining, Bredde, Høide, Belastning og Bærevidde;
2. f', a', b', 2P′ og 2C′, de tilsvarende Egenskaber hos den anden;
3. f_1 Bøiningen af en Bjælke, hvis Dimensioner og Bærevidde ere de samme, som for den første, men Belastningen lig 2P′;
4. f_2 Bøiningen af en Bjælke, hvis Belastning 2P′ og Bærevidde 2C ere de samme som for den foregaaende, Bredden $= a'$ og Høiden $= b'$,

saa vil man ifølge Forsøgenes Resultater have:

$$f : f_1 = P : P'$$

$$f_1 : f_2 = \frac{1}{ab^3} : \frac{1}{a'b'^3}$$

$$f_2 : f' = C^3 : C'^3.$$

Heraf erholdes ved at multiplicere Forhold med Forhold:

$$f : f' = \frac{PC^3}{ab^3} : \frac{P'C'^3}{a'b'^3},$$

hvoraf

$$f = f' \cdot \frac{a'b'^3}{P'C'^3} \cdot \frac{PC^3}{ab^3}.$$

Naar man altsaa ved specielle Forsøg med et rektangulært Prisma af bekjendt Tværsnit a' og b' og given Bærevidde $2C'$, som er underkastet en Belastning $2P'$, har lært at kjende Bøiningen f', saa seer man, at, naar Faktoren $f' \frac{a'b'^3}{P'C'^3}$ er bekjendt, kan man deraf udlede Bøiningen for ethvert andet prismatisk Legeme af samme Materialt, hvis Tværsnit, Bærevidde og Belastning ere forskjellige.

Saaledes har man f. Ex. for den Bjælke af nordisk Fyr, som Dupin anvendte ved det i § 122 omtalte Forsøg: $a' = 0^m,02$, $b' = 0^m,05$, $2P' = 10^{Kil}$, $2C' = 2^m,00$, $f' = 0^m,084$.

Deraf udleder man

$$f = \frac{PC^3}{23809523\,ab^3}$$

for at beregne Bøiningen af Træer af samme Slags og i samme Tilstand, naar Bærevidden er $2C$, og Belastningen i Midten $= 2P$.

For norsk Maal og Vægt bliver denne Formel, naar Længdedimensionerne udtrykkes i Tommer, og Belastningerne i Pund:*)

$$f = \frac{PC^3}{32619\,ab^3}.$$

*) Naar det ikke anderledes udtrykkelig bemærkes, indsættes i

THEORETISKE BEGREBER.

§ 124. *Almindelige Betragtninger over Böining, Kompression og Brud af fiberdannede Legemer.* — I det Studium, vi have til Hensigt at gjøre over den Modstand, som de i Bygværker anvendte Materialier yde mod Bøining og Brud, ville vi især støtte os paa Forsøgs- og Erfaringsresultaterne for deraf at udlede de Regler, hvoraf Praktikere kunne betjene sig med Tillid og Sikkerhed. Men det er ikke mindre nyttigt at betragte de Phænomener direkte for sig selv, som de Legemer fremstille, hvilke ere udsatte for større eller mindre Bøininger, for deraf om muligt at udlede theoretiske Regler, hvis Sammenligning med Resultaterne af Forsøg tilsteder at almindeliggjøre og udvide de Slutninger, som af dem kunne uddrages.

§ 125. *Om Virkningerne, som frembringes i fiberdannede Legemer, der böies, komprimeres eller vrides ved ydre Kræfter.* — Lader os søge at gjøre os Rede for de almindelige Phænomener, som de Legemer frembyde, der ere underkastede Paavirkning af ydre Kræfter, som stræbe at bøie, komprimere eller vride dem, og lader os i den Anledning følge de simple Begreber, som ere fremsatte af Poncelet i hans Afhandling til Videnskabsfakultetet.

ABC (Pl. III, Fig. 10) være et fiberdannet Legeme, paavirket af et vist Antal ydre Kræfter P, Q, R, S, T, etc., der virke efter vilkaarlige Retninger. Legemet giver først efter for Virkningen af disse Kræfter, og strax udvikle sig de molekulære Reaktioner eller Modstanden af de Fibrer, Molekuler, hvoraf Legemet bestaaer, idet deres

---

Formlerne med norsk Maal og Vægt Længdedimensionerne altid udtrykte i Tommer og Belastningerne i Pund; Pressionerne regnes overalt pr. norsk Quadrattomme.

G.

Leie forandres ved Strækning, Kompression eller Vridning. Men saafremt disse Forandringer og de Kræfter, som frembringe dem, ikke overskride de Grændser, ved hvilke Elasticiteten vilde forandres, ophører snart Bevægelsen, og der opstaaer Ligevægt mellem de ydre og de molekulære Kræfter. Naar hele Legemet er kommet i denne Tilstand, hersker der Ligevægt særskilt for alle Gjennemsnit, som man kan gjøre i Legemet, og man kan søge Betingelserne for denne Ligevægt for ethvert Gjennemsnit, idet man betragter den øvrige Del af Legemet som stivnet. Saaledes maatte man f. Ex. for Tværsnittet IK søge Ligevægtsbetingelserne mellem de ydre Kræfter Q og R, som virke paa høire Side af dette Snit, og de af selve Snittet udviklede molekulære Kræfter. Naar denne Ligevægt er sikkret for det blandt Tværsnittene, hvor Virkningen af de ydre Kræfter er størst, vil den saameget mere være det for det Øvrige af Legemet. Dette Gjennemsnit er af Poncelet bleven kaldet „la section dangereuse", *„det farlige Gjennemsnit"* fordi det i Virkeligheden er det, hvori Formforandringerne maae være de største, og ved hvilket det da er af størst Vigtighed at holde dem inden passende Grændser. Disse Betragtninger ere almindelige og lade sig aabenbar anvende saavel paa Virkningerne af Vridning, som paa Virkningerne af Bøining og Kompression.

§ 126. *Begreber om Liniers Böining og Krumning.* — Til bedre Forstaaelse af det Følgende ville vi her tilbagekalde i Erindringen nogle Begreber om Liniers Krumning. Naar man (Pl. III, Fig. 11) betragter to hosliggende Elementer *ac* og *cb* af en Kurve, og man paa deres Midte *m* og *n* opreiser to Linier *mo* og *no* normale til disse Elementer, saa skjære disse Linier hverandre i et Punkt *o*, som bliver Middelpunkt for den Sirkel, som gaaer gjennem Punkterne *a*, *b* og *c*, og som med Hensyn til Grændsen for de smaae Elementer falder sammen med Kurven. Denne Sirkel

kaldes Kurvens Osculations- eller Krumningssirkel, og de lige Linier *mo* og *no* ere Krumningsradierne, som vi ville betegne med *r*. Betegnes Vinklen mellem de sammenstødende Normaler eller Længden af Buen, beskrevet med den antagne Længde, Enheden, som Radius, ved *e*, saa erholder Elementærbuen *s* af Kurven Udtrykket $s = re$, hvoraf $r = \frac{s}{e}$ og $e = \frac{s}{r}$. Da Kurvens Krumning forresten bliver saameget større eller stærkere som *r* bliver mindre, saa udtrykkes den ved Forholdet $\frac{1}{r} = \frac{e}{s}$, og man vil bemærke, at Vinklen *e* af Normalerne *mo* og *no* er lig den, som dannes af Tangenterne til Kurven i *m* og *n*, eller af Forlængringen af Elementerne *ac* og *cb*. Denne Vinkel kalder man Berøringsvinkelen. Efter at have udviklet dette, og uden i denne Gjenstand at ville fordybe os i Detailler, som her ikke vilde være paa sit Sted, ville vi gaae til Undersøgelsen af det, som foregaaer ved Legemernes Bøining.

§ 127. *Hypothese af Galilei om Maaden, hvorpaa Materialier gjöre Modstand mod Böining.* — Det er den berømte Galilei, man skylder de første videnskabelige Undersøgelser om Maaden, hvorpaa Legemer modsætte sig de Kræfter, for hvilke de ere udsatte i Bygværker; de ere udviklede i hans Dialoger, publicerede i Aaret 1638. Galilei betragtede Legemerne som sammensatte af smaae Fibrer, anbragte parallele ovenpaa hverandre, og antog den totale Modstand proportional med Udstrækningen af Tværsnittet og uafhængig af den Grad af Strækning, som Fibrerne led, førend de brast, en Hypothese, der, som vi senere skulle see, ikke er overensstemmende med hvad der virkelig finder Sted. Han antog videre, at i ethvert hvilketsomhelst Tværsnit Axen, om hvilken Omdreiningen foregik, i det Øieblik Bøining eller Brud fandt Sted, var beliggende i den nedre Del af Tværsnittet, saa-

ledes at alle Legemets Fibrer forlængrede sig næsten proportionalt med deres Afstand fra dets nedre Flade.

Dersom man, antagende denne Hypothese, betragter (Pl. III, Fig. 12) et prismatisk Legeme med rektangulært Tværsnit, seer man, naar Modstanden pr. Fladeenhed betegnes med E, at Modstanden af Elementærfladen *s*, beliggende i Afstanden *v* fra Omdreiningsaxen *mn*, vilde være E*s*, og at Momentet af denne Modstand med Hensyn til *mn* vilde være lig E*sv*, eller lig det konstante Tal E multipliceret med Momentet af Elementærfladen med Hensyn til Snittet *mn* af det nedre Lag, saaledes at det hele Moment eller Summen af alle de lige elementære Momenter vilde være lig den hele Overflade A af Tværsnittet multipliceret med Modstanden E pr. Fladeenhed og med Afstanden af Tværsnittets Tyngdepunkt fra Axen *mn*, idet Tyngdepunktet er Angrebspunktet for Resultanten af alle de lige Kræfter, der ere anbragte i de forskjellige elementære Flader, hvilke sammenlagte udgjøre den hele Overflade. Havde man et prismatisk Legeme med rektangulært Tværsnit, hvis Bredde var *a* og Høide *b*, vilde man have $A = ab$; Afstanden af Tyngdepunktet fra Axen *mn* vilde være $\frac{b}{2}$, og Summen af Momenterne af Fibrernes Modstand vilde efter Galileis Hypothese være:

$$E\,ab \times \frac{b}{2} = E\,\frac{ab^2}{2}.$$

Og for at Ligevægt kunde finde Sted mellem de ydre Kræfter og det Tværsnit, som man behandler, maatte altsaa Summen af disse Kræfters Momenter og Summen af de molekulære Modstands-Momenter med Hensyn til Axen *mn* være lige, saaledes at man, naar man kalder Summen af disse Momenter M, maatte have:

$$M = E\,\frac{ab^2}{2}.$$

§ 128. *Mariotte's og Leibnitz's Hypotheser.* — Mariotte, som beskjæftigede sig med den Galileiske Theorie, hvis Resultater han søgte at stadfæste, fandt disse ikke overensstemmende med Erfaringen og lededes til den Anskuelse, at Legemerne ere sammensatte af strækkelige Fibrer, hvis Modstand mod Udstrækning er proportional med deres Forlængring. Denne Antagelse, hvortil allerede tidligere den berømte engelske Geometer Hooke, som levede i 1670, var kommen, laa allerede Sandheden nærmere; men den blev af Mariotte udvidet indtil Øieblikket for Brud, hvilket, som man veed, ikke indtræffer, førend Elasticiteten er bleven forandret, og saaledes efter at Forlængringerne have ophørt at være proportionale med Kræfterne.

Leibnitz, grundende sig paa Hooke's Hypothese, antog endnu, at den ved Bøiningen frembragte Omdreining foregik omkring en i Legemets nedre Del beliggende Axe, og kom til en Formel, som stemmer bedre overens med Erfaringens Resultater.

Dersom man efter denne Hypothese undersøger (Pl. III, Fig. 13) hvad der tildrager sig i et Elementærlag, beliggende mellem to til dets Længde normale og hinanden uendelig nære Planer, og man særskilt betragter en Elementærfiber mn, beliggende i Afstanden v fra den nedre Kant c af Tværsnittet, seer man virkelig, naar man drager cp parallel med mm', at denne Fiber mn, som oprindelig havde en Længde lig $m'c$, har lidt en Forlængring pn, og at man ifølge det, der er sagt i § 126, har

$$pn : m'c = cn \text{ eller } v : m'o \text{ eller } r; \text{ hvoraf } \frac{pn}{m'c} = \frac{v}{r}.$$

Nu er Forholdet $\frac{pn}{m'c}$ det, som man i det Foregaaende (§ 5) har kaldet Proportionalforlængringen i, og saalænge det ikke overskrider Grændsen i', som svarer til den Grændse, ved hvilken Elasticiteten bliver forandret, er Fibrens Modstand proportional med Elasticitetskoefficienten E, med

Overfladen af Fibrens Tværsnit a og med dens proportionale Forlængring i, saaledes at man som Værdie for denne Modstand har:

$$Eai = Ea\frac{v}{r}.$$

Og dens Moment med Hensyn til Omdreiningsaxen for Tværsnittet, hvilken forudsættes at være i c, vil være:

$$Ea\frac{v}{r}\,v = E\frac{a}{r}v^2 = \frac{E}{r}av^2,$$

det vil sige, lig Quotienten $\frac{E}{r}$ — Elasticitetskoefficienten divideret med Krumningsradien — multipliceret med Inertiemomentet af Elementærfibrens Tværgjennemsnit med Hensyn til den nedre Kant c af Legemets Tværsnit.

Summen af alle de lignende Momenter eller Totalmomentet af Modstanden af Tværsnittets Fibrer vilde da være:

$$\frac{E}{r}(av^2 + a'v'^2 + \text{etc.}\ldots) = \frac{EI}{r},$$

da Summen af Produkterne $av^2 + a'v'^2 + \text{etc.}\ldots$ er Inertiemomentet af Snittet med Hensyn til den nedre Omdreiningsaxe, et Moment, som vi betegne med Bogstavet I.

Efter denne Theorie skulde man da mellem denne Sum af Momenterne af de molekulære Kræfter og Summen M af Momenterne af de ydre Kræfter have Forholdet

$$M = \frac{EI}{r}.$$

Men Hypothesen om Rotationen omkring den nedre Linie af Tværsnittet er ikke overensstemmende med hvad der er iagttaget, saaledes som man har seet af de Forsøg, der ere meddelte i §§ 113 til 120, hvorimod Tilværelsen af et Lag Fibrer, som for enhver Ligevægtsstilling hverken er underkastet Forlængring eller Forkortning, findes bevist ved Erfaring.

§ 129. *Theorie for Modstanden af fiberdannede Legemer mod Böining paatværs.* — Den nærværende Theorie for Legemers Modstand mod Bøining beroer paa Antagelsen af et neutralt Fiberlag i det Indre af Legemet, hvilket betragtes som sammensat af parallele Fibrer.

Da Omdreiningen, som frembringes i ethvert Snit, for enhver af Fibrerne skeer omkring den Linie, som ligger i Laget for de uforanderlige Fibrer, maae Forlængringen og Forkortningen af de Fibrer, som befinde sig udenfor det uforanderlige Fiberlag, være proportionale med deres Afstand fra dette Lag.

Ved Hjælp af denne Betragtning ville vi nu undersøge (Pl. III, Fig. 14), hvad der foregaaer mellem to uendelig nær hinanden værende Gjennemsnit, der staae perpendikulær paa Længden af det bøiede fiberdannede Legeme. Dette ville vi f. Ex. antage urokkelig fastholdt i en af dets Ender og i den anden paavirket af en ydre Kraft P, som virker normalt paa Legemets Længde i dets midterste Vertikalplan, d. e. det som deler Legemet efter Længden i to lige Dele.

IK og *ik* være de Tværsnit, som vi betragte, hvis Planer skjære hinanden, naar de blive forlængede efter en Linie perpendikulær paa Legemets midterste Plan, hvilken Linie bliver trukken til *o*. Da Snittene IK og *ik* forblive normale paa de uforanderlige Fibrers Lag — hvilket man har givet Navnet *den neutrale Axe,* — vil Punktet *o* være Krumningsmiddelpunktet for denne Axe, og man vil ifølge § 126 have $co = r$ og $Cc = s$.

Drager man gjennem Punktet *c* en Parallel *cI'* til Linien CI, saa er det indlysende, at enhver hvilkensomhelst Fiber *mn*, som førend Bøiningen havde en Længde lig $Cc = mp$, vil være forlængret om Størrelsen *pn*, som er proportional med Fibrens Afstand *pc* fra den neutrale Axe Cc. Ved at betragte de ligedannede Triangler *Coc* og *pcn* seer man, at $pn : cn = s : r$, hvoraf $pn =$

$\frac{s}{r} \times cn = \frac{s}{r} v$, naar man kalder v Ordinaten til Punktet n, eller dets Afstand fra den neutrale Axe, og den relative Forlængring af denne Fiber eller dens Forlængring pr. Længdeenhed vil være given ved Forholdet:

$$\frac{pn}{mp} = \frac{pn}{Cc} = \frac{cn}{co} = \frac{v}{r} = i.$$

Dersom man kalder a den elementære Overflade af denne Fibers Tværsnit, saa veed man af det Foregaaende, at dens Modstand mod Forlængring, hvilken vi ville betegne med p, vil udtrykkes ved

$$p = Eai = Ea\frac{v}{r} = \frac{E}{r} \times av.$$

Forbliver Kraften, som stræber at bøie Legemet, normal paa dettes Længde, og ere Bøiningerne meget smaae, saaledes som Tilfældet altid maa være i Bygværker, saa vil Komponenten af denne Kraft perpendikulær paa et hvilketsomhelst af de normale Tværsnit være ingen eller saa liden, at den kan sættes ud af Betragtning; følgelig er den ydre Kraft, som skulde stræbe at frembringe en Virkning efter Længden, ingen eller uendelig liden, og da der altsaa ingen Paavirkning efter Længden finder Sted, maae de molekulære Kræfter være i Ligevægt hvad en saadan Paavirkning angaaer. Dersom saaledes de molekulære Modstande af Fibrerne alle ere normale til dette Tværsnit, maae altsaa Modstandene mod Strækning af de Fibrer, der ere beliggende paa den ene Side af den neutrale Axeflade, sætte sig i Ligevægt med Hensyn til Omsætningen af Modstandene mod Kompression af de Fibrer, der ere beliggende paa den anden Side af den; og da alle disse Kræfter ere parallele, maa deres Sum være lig Nul. Dette er den første Betingelse for Ligevægt i dette Tværsnit.

Naar man erindrer sig, at enhver af disse Kræfter udtrykkes ved

$$p = \frac{E}{r} av,$$

og at Faktoren $\frac{E}{r}$ er den samme for alle Fibrer, saa vil Summen af de analoge Kræfter for alle Fibrer a, a', a'', etc., beliggende i Afstanden v, v', v'', etc., der bør være lig Nul, blive

$$\frac{E}{r}(av + a'v' + a''v'' + \ldots \text{etc.}) = 0.$$

§ 130. *Den neutrale Axe gaaer gjennem Tværsnittets Tyngdepunkt.* — Man seer, at det af Betingelsen, at denne Sum maa være Nul, følger, at Summen af Momenterne af enhver Fibers Gjennemsnit med Hensyn til den neutrale Axe maa være Nul. Efter det bekjendte Theorem for Momenterne lader dette sig ogsaa udtrykke med de Ord: den neutrale Axe gaaer gjennem Tværsnittets Tyngdepunkt. Men nu kan man saavel paa direkte geometriske Maader som ogsaa ved Simpson's Methode bestemme Tyngdepunktet af en plan Overflade; følgelig kunne vi altid — hvilken Form Tværsnittet af det Legeme, man behandler, end maatte have, — bestemme den paa Retningen af Resultanten af de ydre Kræfter perpendikulære Linie, som indeholder de uforanderlige Fibrers Lag.

§ 131. *Bemærkninger over Fibrernes Strækning og Kompression.* — Vi have antaget, at Faktoren $\frac{E}{r}$ er konstant for alle Fibrer, de være komprimerede eller forlængrede, det vil sige, at Værdierne af Tallet $\frac{P}{i} = E$ (§ 5) ere konstante, eller at Forholdet af de efter Længden trækkende Kræfter til de af dem bevirkede Forlængringer i pr. løbende Meter er det samme som Forholdet af den samme Kraft til de proportionale Forkortninger, som den vilde frembringe, hvis den komprimerede Legemet. Kort,

dette er det samme som at antage, at inden de Grænser af Forkortning og Forlængring, inden hvilke Elasticiteten ikke forandres, er Modstanden mod Strækning — for samme Længdeforandring — lig Modstanden mod Kompression. Denne Hypothese, som maaske er tilstrækkelig nøiagtig for Træ og fiberdannede Legemer, er det dog sandsynligvis ikke i samme Grad for de kornede Legemer, saasom Metallerne.

Af §§ 91 og 92 har man imidlertid lært, at især for Støbejern er, saa længe der kun handles om svage Strækninger og Kompressioner, Forholdet af Belastningerne til de proportionale Forlængringer eller Forkortelser konstant og næsten det samme for begge Tilfælde, hvilket tilsteder inden disse Grændser at anvende foranstaaende Ræsonnement.

Et yderligere Bevis a posteriori for, at man ved de Bøininger, som i Praxis kunne taales, kan antage Modstandene mod Strækning og Kompression for lige store, ligger i den Omstændighed, at Værdierne af Elasticitetskoefficienterne for de hyppigst anvendte Materialier, udregnede efter foranstaaende Betragtninger af de Data, Forsøgene over Legemernes Bøining have ydet, ere mærkeligen de samme som de, man udleder af Forsøgene over direkte Forlængring. Vi skulle senere komme tilbage til disse Betragtninger.

§ 132. *Den almindelige Betingelse for Ligevægt mellem de ydre og de molekulære Kræfter.* — Betragte vi fremdeles et Legeme af hvilkensomhelst Form (Pl. III, Fig. 14), befæstet ved en af dets Ender og udsat for de ydre Kræfter P, Q og R o. s. v., og et hvilketsomhelst af dets Tværsnit IK, efterat Legemet er kommet i Ligevægtsstilling, naar den almindelige Bøining og som Følge heraf Rotationen af de elementære Fibrer af Snittet IK omkring den neutrale Axe er ophørt, — saa maa Summen af Momenterne af de molekulære Modstande af Fibrerne

$-p = \frac{E}{r} av$ — med Hensyn til denne Axe nødvendigvis være lig Summen af Momenterne af de ydre Kræfter, som virke paa høire Side af Tværsnittet IK. Dette er den anden Betingelse for Ligevægt i dette Gjennemsnit.

Dersom man gaaer tilbage til Fig. 13, vil man strax see, ligesom i § 128, at Momentet af Modstanden p af Fibren mn med Hensyn til den neutrale Axe er $pv = \frac{E}{r} av^2$, og at Summen af alle de lignende Momenter vil for det hele Tværsnit være:

$$\frac{E}{r}(av^2 + a'v'^2 + a''v''^2 + \ldots \text{etc.}).$$

Summen af Produkterne av^2, $a'v'^2$, etc. af Overfladen af enhver Fibers Tværsnit, multipliceret med Quadratet af dens Afstand fra den neutrale Axe, er det, som i første Afdeling af denne Afhandling er kaldet *Inertiemomentet*, hvilket vi have betegnet med Bogstavet I.

Altsaa er Summen af Momenterne af alle molekulære Modstande mod Strækning og Kompression $\frac{E}{r}$I, og denne Sum maa være lig Summen af Momenterne $Pp + Qq + \ldots$ etc. $= M$ af de ydre Kræfter, som stræbe at frembringe Dreining omkring det Tværsnit, man betragter.

Man har da i Almindelighed som Ligevægtsbetingelse og for hvilketsomhelst Tværsnit Forbindelsen

$$\frac{EI}{r} = Pp + Qq + \text{etc.} \ldots = M.$$

§ 133. *Grændser for de permanente Modstande.* — Men for at denne Ligevægt kan finde Sted paa en permanent Maade, for at Legemets Modstand kan være varig og frembyde den nødvendige Sikkerhed, udfordres der, at ikke nogen Fiber i det Tværsnit, hvorom Talen er, underkastes en Forlængring eller en Kompression, som overskrider Elasticitetens Grændser.

Ved den Dreining, som foregaaer omkring den neutrale Axe, er den fra denne Axe mest fjernede Fiber øiensynligen den, som mest forlængres eller forkortes. Dersom f. Ex. ci er større end ck, saa er II′ den Fiber, som har undergaaet den største Forlængring, og I′i er dens Forlængring. Men ved de ligedannede Triangler har man, naar man ved v' betegner denne Fibers Afstand cI′ fra Axen for de neutrale Fibrer:

$$\frac{\text{I}'i}{\text{C}c} = \frac{c\text{I}'}{\text{C}o} = \frac{v'}{r},$$

og kalder man i' den proportionale Forlængring eller Forkortning, som Fibrerne kunne taale uden Forandring af deres Elasticitet, saa maa Forlængringen $\frac{v'}{r}$ af den længst fjernede Fiber være lig med i', og man erholder:

$$\frac{v'}{r} = i', \text{ hvoraf } \frac{1}{r} = \frac{i'}{v'}.$$

Følgelig $$\frac{\text{EI}}{r} = \frac{\text{EI}i'}{v'}.$$

Men dersom man, ifølge det Foregaaende, vedbliver at kalde R den permanente Kraft af Strækning og Kompression, som enhver Enhed af Legemets Tværsnitsflade med Sikkerhed kan udholde, saa vil man have:

$$\text{R} = \text{E}i', \text{ hvoraf } i' = \frac{\text{R}}{\text{E}}, \text{ og følgelig ogsaa}$$

$$\frac{\text{EI}}{r} = \frac{\text{EI}i'}{v'} = \frac{\text{RI}}{v'},$$

som Summen af Momenterne af Tværsnittets molekulære Modstande mod Strækning og mod Kompression, naar disse Fibrer kun skulle være underkastede en Kraftpaavirkning, som de med Sikkerhed kunne udholde, uden at deres Elasticitet skal undergaae nogensomhelst Forandring.

Det Forhold, som man altsaa fastsætter for en Bygnings Stabilitet, mellem de molekulære Modstande og de ydre Kræfter, er saaledes:

$$\frac{RI}{v'} = Pp + Qq + \text{etc.} \ldots = M.$$

§ 134. *Værdie af den ved Böining frembragte proportionale Forlængring eller Forkortning.* — Af det Foregaaende følger endvidere, at Forlængringen eller Forkortningen, der frembringes i den Fiber, som er underkastet den største Forandring i Længde, er udtrykt ved $i' = \frac{R}{E}$, og, naar der for R indsættes den ved foregaaende Ligning udledede Værdie, $i' = \frac{Mv'}{EI}$. Herved lader i' sig altid beregne, naar man kjender de Størrelser, som indeholdes i det andet Led af denne Formel. Senere Exempler ville vise dette.

§ 135. *Bemærkning ved foranstaaende Formel.* — Det er vigtigt at bemærke, at denne Formel ganske i Almindelighed udtrykker Ligevægtsforholdet mellem de ydre Kræfter, som stræbe at bøie eller bryde Legemet, og de indre Modstandskræfter mod Strækning og Kompression, hvilke vi kalde molekulære Kræfter, og som udvikle sig i ethvert af dets Tværsnit. Med Ord udtrykkes Formlen saaledes:

Naar et Legeme, fastholdt med dets ene Ende og udsat for at böies eller brydes under Virkningen af ydre Kræfter, er kommet i Ligevægtstilstand, saa udtrykkes Summen af Momenterne af alle molekulære Modstandskræfter mod Strækning og mod Kompression i hvilketsomhelst Tværsnit ved Produktet $\frac{RI}{v'}$, *og er lig Summen af de ydre Kræfters Momenter med Hensyn til dette Tværsnit.*

Man vil saaledes have sikkret Stabiliteten eller Modstandskraften hos Legemet, naar man har givet dets for-

skjellige Tværsnit, forsaavidt de variere, eller dets konstante Tværsnit, forsaavidt Legemet overalt har samme Profil, saadanne Dimensioner, at denne Ligevægt finder Sted for det svageste Tværsnit, eller for dem, hvor der er mest Anledning til at befrygte Brud.

Forøvrigt er det indlysende, at ved Legemer med konstante Tværsnit er det farlige Snit det, for hvilket Summen af de ydre Kræfter er størst, og at dette sædvanligen er det Tværsnit, hvor Legemet er befæstet.

Ved Iagttagelsen af Bygninger, hvis Standhaftighed Tiden har bekræftet, saavelsom ved Iagttagelse af Resultaterne af direkte Forsøg lader sig ved Hjælp af Formlen $\frac{RI}{v'} = M$, hvoraf man faaer $R = \frac{Mv'}{I}$, bestemme de Værdier, som Tallet R maa have for ethvert Material, dels for at give Bygningerne den nødvendige Fasthed og Varighed, dels for at bestemme Bruddet. Talrige Exempler herpaa ville i det Følgende frembyde sig.

§ 136. *Tilfælde, hvori det er nödvendigt at holde Regning med de Kræfter, som virke normalt paa Gjennemsnittet af det Legeme, man behandler.* — Idet vi hidtil kun have taget Hensyn til Virkningen af de Kræfter, som søge at bevirke Rotation i det Gjennemsnit af Legemet, som man behandler, have vi stiltiende antaget, at man kunde forbigaae Kraftyttringerne af Komponenterne af disse paa Gjennemsnittet normale Kræfter, som søge at bevirke en almindelig Forlængring eller Forkortning af Fibrerne. I en stor Mængde Tilfælde kan man virkelig sætte disse almindelige Strækninger og Kompressioner udaf Betragtning og kun tage Hensyn til dem, der have Indflydelse paa Legemets Bøining; men der gives andre Tilfælde, hvori de til Tværsnittene normale eller i Retningen af Legemets Længde virkende Kræfter erholde en tilstrækkelig Intensitet til, at det maa ansees rigtigt og selv nødvendigt at bestemme Størrelsen af deres Indflydelse. I dette

Øiemed opløser man alle ydre Kræfter i to, nemlig en, som er parallel med det under Behandling havende Tværsnit, og som bidrager til Bøiningen, og en anden, som er normal til dette Tværsnit, og som frembringer Strækningen eller Kompressionen.

Betegne vi ved T den algebraiske Sum af alle disse normale Komponenter, vil man af den Retning, i hvilken de virke, see, om de stræbe at forlængre eller at komprimere Legemet. I det første Tilfælde ville de frembringe pr. Enhed af Overflade en Strækning $\frac{T}{A}$ og en proportional Forlængring (§ 5), som vi betegne med i'', og hvorved erholdes $i'' = \frac{T}{AE}$.

Heraf følger, at den Fiber, der er længst fjernet fra den neutrale Axe, vil lide:

1. ved Virkningen af de paa Tværsnittet normale Komponenter en proportional Forlængring i'', udtrykt ved

$$i'' = \frac{T}{AE};$$

2. ved Virkningen af de med dette Tværsnit parallele Komponenter en proportional Forlængring i', udtrykt (§ 133) ved

$$i' = \frac{R}{E} = \frac{(Pp + Qq + \text{etc.}\ldots)\, v'}{EI} = \frac{Mv'}{EI},$$

idet man fremdeles ved M betegner Summen af de Kræfters Momenter, som stræbe at frembringe Bøiningen med Hensyn til det Tværsnit, man behandler.

Den totale Forlængring af denne Fiber vil altsaa blive

$$i = i' + i'' = \frac{T}{AE} + \frac{Mv'}{EI},$$

og, paa det at den ikke skal overskride Grændsen for Elasticiteten, maa man endvidere have $i = \frac{R}{E}$ (§ 133). Alt-

saa maae vi, for at Legemet kan modstaae paa en permanent Maade, have Forholdet:

$$\frac{R}{E} = \frac{T}{AE} + \frac{Mv'}{EI}, \text{ eller } R = \frac{T}{A} + \frac{Mv'}{I}.$$

I det Tilfælde, at Resultanten T søgte at bevirke en almindelig Kompression i det Tværsnit, som behandles, vilde den fra den neutrale Axe længst fjernede Fiber, naar den er beliggende i den øvre Del af Tværsnittet, lide:

1. ved Virkningen af de paa Snittet normale Kræfter en proportional Kompression, udtrykt ved

$$i'' = \frac{T}{AE}, \text{ og}$$

2. ved Virkningen af de med dette Snit parallele Komponenter en proportional Forlængring, udtrykt ved

$$i' = \frac{Mv'}{EI}.$$

Følgelig vilde den totale Kompression eller Forlængring være

$$i = i'' - i' = \frac{T}{AE} - \frac{Mv'}{EI}, \text{ eller } i = i' - i'' = \frac{Mv'}{EI} - \frac{T}{AE},$$

idet man iagttager, at den (der) i ethvert Tilfælde tager (s) den positive Værdie for i, der erholdes af den ene eller den anden af disse Forbindelser.

Ifølge heraf har man altsaa for Konstruktionens Stabilitet at fastsætte Forbindelsen:

$$R = \frac{T}{A} - \frac{Mv'}{I}, \text{ eller } R = \frac{Mv'}{I} - \frac{T}{A}.$$

Dersom endelig den mest komprimerede Fiber var længere fjernet fra den neutrale Axe end den Fiber, som er mest forlængret, saa maatte man i dette sidste Tilfælde, som vi just nu have undersøgt, sammenføie de to Kompressioner i' og i'' ligesom i det første Tilfælde, hvori man

behandlede Forlængringerne, og man vilde igjen for Grændsen af de Kompressioner, som ikke forandre Elasticiteten, have

$$R = \frac{T}{A} + \frac{Mv'}{I}.$$

§ 137. *Bemærkninger ved Störrelserne* A *og* I. — Man vil bemærke, at Størrelserne A og I, hvoraf den ene betegner Overfladen af Tværsnittet og den anden Inertiemomentet af dette Tværsnit med Hensyn til den neutrale Axe, kun ere afhængige af Dimensionerne og af Formen af dette Tværsnits Profil, og at man følgelig, da, som vi længere hen skulle paavise, R er bekjendt ved Iagttagelsen af gode Bygværker, og T og M ere afhængige af Virksomheden og Anordningen af de ydre Kræfter, som virke paa Legemet, altid vil kunne bestemme Dimensionerne og Forholdene af Tværsnittet, eller Størrelserne A og I paa saadan Maade, at de foregaaende Forbindelser, som udtrykke den permanente Ligevægt, blive tilfredsstillede, hvilket indbefatter den vigtige Undersøgelse om Legemets Proportioner, som tjene til at forsikkre Bygningernes Bestandighed.

§ 138. *Tilfælde, hvori Legemet har et konstant Profil i dets hele Længde.* — I et stort Antal Tilfælde har Legemet det samme Profil i dets hele Længde, og Størrelserne A og I ere da konstante; i dette Tilfælde er det indlysende, at det farlige Tværsnit er det, for hvilket det andet Led af de foranførte Forbindelser

$$\frac{Mv'}{I} \pm \frac{T}{A}$$

erholder dets største Værdie.

I det Tilfælde, hvor Legemet er fastholdt ved en af dets Ender, er Tværsnittet ved Befæstelsen almindeligvis det farlige Gjennemsnit, og dersom den Forlængring eller Kompression, som Resultanten T af de paa dette Tvær-

snit normale Komponenter frembringer, er ingen eller meget svag i Forhold til den, som udspringer af Bøiningen, er dette Tværsnit altid det farligste. I det sidste Tilfælde, som hyppigt forekommer i Praxis, reducere Stabilitetsforholdene sig til:

$$R = \frac{Mv'}{I}; \text{ hvoraf erholdes } I = \frac{Mv'}{R}, \text{ eller } \frac{I}{v'} = \frac{M}{R}.$$

I visse Tilfælde kan man anordne og fordele de ydre Kræfter paa den Maade, at Summen af deres Momenter med Hensyn til det farlige Gjennemsnit er Nul, og ved at Legemet da kun er underkastet Strækning- og Kompressionskræfter, reducerer Stabilitetsforholdet sig til:

$$R = \frac{T}{A}; \text{ hvoraf } A = \frac{T}{R},$$

hvilket umiddelbart fører til Bestemmelsen af Tværsnittet, naar man kjender Kraften T, som søger at komprimere eller at strække Legemet.

Det er dette, som finder Sted ved Piller eller Kolonner, som understøtte Kjæderne i Kjædebroer. Direktionen og Stramningen af disse Kjæder maae være forbundne paa saadan Maade, at Summen af de Kræfters Momenter, som stræbe at frembringe Dreining af Underlaget omkring dets Basis, maa være Nul eller næsten Nul, saaledes at det kun er udsat for Kompression.

VÆRDIER AF FORSKJELLIGE PROFILERS INERTIEMOMENTER.

§ 139. *Værdier af Störrelserne* I *og* $\frac{I}{v'}$ *med Hensyn til forskjellige i Bygværker i Brug værende Profiler.* — Man har seet, at den neutrale Axe eller Linien for de uforanderlige Fibrer maa gaae igjennem Tyngdepunktet, hvilket gjør det muligt at søge Værdien af Inertiemomen-

tet I og af Forholdet $\frac{I}{v'}$ for de forskjellige brugelige Profiler.

For at give en Idee om Maaden, hvorpaa disse Størrelser beregnes, og vise, hvorledes man gaaer over fra de foranførte almindelige Formler til de praktiske Formler, ville vi undersøge nogle enkelte Tilfælde.

Vi ville først begynde med en meget simpel almindelig Betragtning, som skyldes Poncelet. IK være (Pl. III, Fig. 15) et hvilketsomhelst Tværsnit af Legemet, og a være Overfladen af en Fiber, beliggende i Afstanden mc eller $m'c' = v$ fra den neutrale Axe AB. Drages Linien $mp = m'c' = mc$ perpendikulær paa Planet IK, saa har man aabenbar $av = a \times mp$ eller Volumet af det Prisma, hvis Basis er a, og hvis Høide er $mp = v$, og Produktet $av^2 = a \times mp \times mc$ vil da være Momentet af dette Volumen med Hensyn til Planet for de neutrale Fibrer, hvilket gaaer gjennem Tyngdepunktet og er perpendikulært paa de molekulære Kræfters Plan.

For at erholde det totale Inertiemoment maa man altsaa tage Summen af Momenterne af alle de elementære Lag af de med ILc og L'Kc ligedannede Profiler, saavel over som under cM, og føie den ene Sum til den anden for de respektive øvre og nedre Dele af Tværsnittet.

Nu er denne Sum for Trianglen ILc lig Momentet af Trianglen med Hensyn til cM, eller lig Produktet af dens Overflade $\frac{1}{2}$ cI $\times$ II$_4$ multipliceret med Afstanden $\frac{2}{3}$cI af dens Tyngdepunkt fra Linien cM; den er altsaa lig $\frac{1}{3}$cI^3, forudsat at cI er = IL.

§ 140. *Tilfælde, hvori Tværsnittets Omkreds har hvilkensomhelst Form.* — Naar Tværsnittet har hvilketsomhelst Profil, og man fremdeles ved v betegner den ydre Ordinat $c'c_1$ af dets ydre Omkreds med Hensyn til Linien AB og ved e Tykkelsen af et Elementærlag $c'c_1$ af Profilet, vil Inertiemomentet af dette Lag med Hensyn til AB være

$\frac{1}{3}v^3e$, og Værdien af Størrelsen $\frac{I}{v'}$ med Hensyn til dette Lag vil være $\frac{1}{3}v^2e$.

For at erholde de totale Værdier af I og $\frac{I}{v'}$ for det hele Tværsnit maa man altsaa tage Summen af alle de ligedannede Størrelser, hvilket let lader sig gjøre enten ved de bekjendte Beregningsmaader, naar der nemlig handles om regulære og geometriske Former, eller ved Simpson's Formel.

Naar man i det sidste Tilfælde ved a betegner Profilets Bredde AB, deler man denne i et lige Antal, $2n$, lige Dele; og ved Tegningen vil man for hvert Delingspunkt have Ordinaterne

$$v_1,\ v_2,\ v_3 \ldots\ldots\ v_{2n+1},$$

hvoraf man udleder

$$I=\tfrac{1}{3}\cdot\tfrac{1}{3}\frac{a}{2n}[v_1{}^3+v_2{}^3{}_{n+1}+4(v_2{}^3+v_4{}^3+\text{etc...})+2(v_3{}^3+v_5{}^3+\text{etc...})]$$

og

$$\frac{I}{v'}=\tfrac{1}{3}\cdot\tfrac{1}{3}\frac{a}{2nv'}[v_1{}^3+v_2{}^3{}_{n+1}+4(v_2{}^3+v_4{}^3+\text{etc...})+2(v_3{}^3+v_5{}^3+\text{etc...})]$$

idet v' er den største af alle Ordinater i det under Behandling havende Profil. Af disse Størrelser tager man særskilt Værdierne for Profilets begge over og under Linien AB beliggende Dele og lægger dem sammen for at erholde Totalværdien af I og $\frac{I}{v'}$.

Man erindre forresten, at man ved Hjælp af den samme Simpsonske Methode kan bestemme Linien AB, hvori Tværsnittets Tyngdepunkt er beliggende, og det er derfor vi have forudsat den som bekjendt.

§ 141. *Særegne Former.* — I de fleste Anvendelser er Formen af Profilet saa simpel, at det vil være let ligetil at bestemme Værdierne af I og af $\frac{I}{v'}$: vi ville behandle de mest brugelige Former.

§ 142. *Rektangulært Tværsnit.* — I dette Tilfælde ere alle med ILcMK ligedannede Lag eller Skiver (Pl. III, Fig. 16) lige, og de neutrale Fibrers Plan deler Rektanglets hele Høide b i to ligestore Dele. Summen af Produkterne af de elementære Volumer af Prismerne mp, multipliceret med deres Afstand mc fra Linien AB, er lig Produktet af det totale Volumen $\frac{1}{2}$ cI × IL × a af Prismet, som vilde have ILc til Basis og Legemets Bredde a til Høide, multipliceret med Afstanden $\frac{2}{3}$cI af dets Tyngdepunkt fra Linien AB. Naar man sætter IK = b, udtrykkes Prismets Volumen ved $\frac{1}{2} \cdot \frac{b}{2} \times \frac{b}{2} \times a = \frac{1}{8} ab^2$; Afstanden af dets Tyngdepunkt fra cC er $\frac{2}{3}$cI = $\frac{1}{3} b$; man har da for Inertiemomentet af det øvre Prisma indtil Linien cAB Værdien $\frac{1}{24} ab^3$; den samme Værdie har man for det nedre Prisma, forudsat at Alt er symmetrisk over og under AB eller cC, følgelig

$$I = \frac{1}{12} ab^3 = \frac{1}{12} Ab^2, \text{ hvoraf } \frac{I}{v'} = \frac{1}{6} ab^2 = \frac{1}{6} Ab,$$

naar A er Overfladen $a \times b$ af Legemets Tværsnit. Dersom Legemet er af quadratisk Gjennemsnit, har man

$$a = b \text{ og } I = \frac{1}{12} Ab^2 = \frac{1}{12} b^4, \text{ og } \frac{I}{v'} = \frac{1}{6} b^3.$$

§ 143. *Inertiemomentet af et Rektangel med Hensyn til en af dets Sider.* — I dette Tilfælde (Pl. III, Fig. 17) vil Inertiemomentet være ligt

$$\frac{1}{2} cI \times IL \times a \times \frac{2}{3} cI,$$

et Udtryk, som i nærværende Tilfælde, paa Grund af at cI = IL = b, bliver

$$I = \frac{1}{3} ab^3 = \frac{1}{3} Ab^2.$$

Dersom et andet lignende Rektangel var beliggende symmetrisk under Linien AB, saa vilde dets Moment med Hensyn til denne Linie ogsaa være $\frac{1}{3} ab^3$, og Summen af

disse to Momenter, eller $\frac{2}{3}ab^3$, blive den samme som den i § 142, naar man istedetfor $2b$, som nu er den totale Høide, sætter b, som betegner denne Høide i de foregaaende Formler.

§ 144. *Profil som dobbelt T.* — I dette Tilfælde (Pl. III, Fig. 18), som i Bygværker forekommer meget hyppigt, er det indlysende, at, naar de to øvre og nedre Kanter ere lige, ligger Linien AB for de neutrale Fibrer i Midten af Tværsnittet, og Inertiemomentet er da ligt Summen af de Rektanglers Inertiemomenter, som dannes af Kanterne, og det, som dannes af Bjælkens eget Legeme, eller — hvilket kommer ud paa et og leder til bekvemmere Formler for Beregningerne — ligt Momentet af det ydre Rektangel EFGH formindsket med to Gange Momentet af det ene af de lige Rektangler MI og KL. Man har da

$$I = \tfrac{1}{12}(ab^3 - 2a'b'^3),$$

og naar den største Ordinat er $v' = \frac{1}{2}b$,

$$\frac{I}{v'} = \tfrac{1}{6}\frac{(ab^3 - 2a'b'^3)}{b}.$$

§ 145. *Valtset Jern som dobbelt T.* — I visse Tilfælde, og især ved dobbelte T-Jern forfærdigede ved Valtsning, forbliver Kanternes eller Ribbernes Fremspring a' ligesom deres Tykkelse e og Høiden b konstante for en Række af Stænger, hvis Tykkelse i selve Legemet, som vi betegne med e_1, alene varierer med den Belastning, som Bjælken skal udholde.

Det ansees da hensigtsmæssigt at bestemme som ubekjendt Størrelse denne Tykkelse e_1, og det er let at see, at Inertiemomentet kan udtrykkes paa følgende Maade:

$$I = \tfrac{1}{12}e_1 b^3 + \tfrac{1}{6}a'(b^3 - b'^3).$$

Denne Formel kan udtrykkes simplere, naar man kjender Forholdet af b' til b; dersom for Exempel

$b' = 0{,}90b$, hvoraf $b'^3 = 0{,}729b^3$, $b^3 - b'^3 = 0{,}271b^3$, naar a' forbliver konstant for samme Værdie af Høiden b, da bliver Formlen:

$$I = \tfrac{1}{12} e_1 b^3 + \frac{0{,}271 a' b^3}{6}$$

og følgelig $$\frac{I}{v'} = \tfrac{1}{6} e_1 b^2 + 0{,}0903 b^2 a'.$$

Længer hen skulle vi see Anvendelsen.

§ 146. *Dobbelte T-Jern af Jernplader sammenföiede med Vinkeljern.* — I dette Tilfælde (Pl. III, Fig, 19), som ofte forekommer ved Bygning af Jernbanebroer, er det hensigtsmæssigt at udtrykke Inertiemomentet under nok en Form, som ved Anvendelsen er bekvemmere for Beregningen.

Det er let at see, at Profilets Inertiemoment har som Udtryk:

$$I = \tfrac{1}{12}[ab^3 - 2(a'b'^3 + a''b''^3 + a'''b'''^3)]$$

og naar den mest forlængrede eller mest forkortede Fiber er i Afstanden $v' = \frac{1}{2} b$ fra den neutrale Axe, beliggende i Midten, saa har man:

$$\frac{I}{v'} = \tfrac{1}{6} \frac{[ab^3 - 2(a'b'^3 + a''b''^3 + a'''b'''^3)]}{b}.$$

Anvendelsen af denne Formel skulle vi see af nogle Tilfælde i Praxis.

§ 147. *Modifikation af foregaaende Profil.* — Det hender undertiden, at den Form, som vi nu just have undersogt, ikke har den af os antagne Symmetrie, og at den ene Kant eller Ribbe er forskjellig fra den anden. I dette Tilfælde er Tyngdepunktet og som Følge heraf den neutrale Axe ikke længer beliggende i Midten af Høiden, men nærmere den stærkeste Ribbe, og Formlen maa modificeres derefter. I mange Tilfælde er Forskjellen mellem

Dimensionerne ubetydelig, saa at man kan være tilfredsstillet ved den ovenstaaende Formel; idet man nemlig antager begge Ribber lige med den mindste, vil det Overskud af Modstand, som heraf bliver en Følge for Bjælken som den virkelig er, kun end yderligere forsikkre dens Styrke.

Da der imidlertid fremstiller sig Tilfælde, hvor der mellem Dimensionerne af den øvre og nedre Ribbe er en meget stor Forskjel, maa man vide at holde Regning dermed. Man opnaaer dette letteligen, hvilket vil sees af følgende Exempel, hvortil vi vælge et dobbelt T-Jern, saaledes som man for nærværende anvender det til Støbejernsbjælker i Broer og til Overdækning af store Bærevidder, eller i Gulve af Jern.

Naar man tager Momenterne af de to Dele (Pl. III, Fig. 20) af Profilet, der ere beliggende over og under den neutrale Axe LM, og betegner ved x den ubekjendte Afstand fra den neutrale Axe til den øverste Flade, ved a og a_1' de horizontale Bredder af de øvre og nedre Ribber, ved a_1 Tykkelsen af Bjælkelegemet, ved b_1 og b_1' Tykkelsen af de øvre og nedre Ribber, ved b den hele Høide af Legemet, saa har man for Momentet af den øvre Del

$$a_1 x \times \tfrac{1}{2} x + (a - a_1) b_1 \times \left(x - \frac{b_1}{2}\right);$$

og for Momentet af den nedre Del

$$a_1 (b - x) \times \frac{(b-x)}{2} + (a_1' - a_1) b_1' \times \left(b - x - \frac{b_1'}{2}\right).$$

Disse to Momenter skulle være lige, fordi Afstanden x har Hensyn til Gjennemsnittets Tyngdecentrum; naar Regningen udføres, og naar disse to Momenter gjøres lige, har man

$$x = \frac{(a - a_1) b_1^2 + a_1 b^2 + 2(a_1' - a_1) b_1' \left(b - \frac{b_1'}{2}\right)}{2[(a - a_1) b_1 + a_1 b + (a_1' - a_1) b_1']}.$$

Naar man saaledes har bestemt Beliggenheden af den neutrale Axe, er det let efter de foregaaende Formler (§ 143 ff.) at finde Værdierne af Inertiemomenterne for de to Dele over og under denne Axe; og ved at sammenlægge disse har man det totale Inertiemoment. Saaledes erholder man for den øvre Dels Inertiemoment

$$\tfrac{1}{3}ax^3 - \tfrac{1}{3}(a-a_1)(x-b_1)^3,$$

og for den nedre Dels Inertiemoment

$$\tfrac{1}{3}a_1'(b-x)^3 - \tfrac{1}{3}(a_1'-a_1)(b-x-b_1')^3,$$

hvoraf, naar disse to Udtryk sammenlægges, erholdes

$$I=\tfrac{1}{3}[ax^3-(a-a_1)(x-b_1)^3+a_1'(b-x)^3-(a_1'-a_1)(b-x-b_1')^3].$$

Dersom den stærkeste Ribbe er nedenunder, vil Tyngdepunktet være beliggende i en større Afstand fra den øvre Flade end fra den nedre; den fra den neutrale Axe mest fjernede Fiber vil da være i en Afstand $v' = x$ fra den øverste Flade, og man erholder

$$\frac{I}{v'}=\frac{\tfrac{1}{3}[ax^3-(a-a_1)(x-b_1)^3+a_1'(b-x)^3-(a_1'-a_1)(b-x-b_1')^3]}{x}.$$

Dersom derimod den stærkeste Ribbe var beliggende i den øvre Del, vilde $b-x$ være større end x, og det blev da denne større Værdie $b-x$, som maatte indføres i Formlen istedetfor v'.

Disse Formler, tilsyneladende meget lange, blive meget simple og lette at regne efter, naar man strax deri indsætter de numeriske Værdier for Dimensionerne, enten disse ere konstante, eller man forud fastsætter bestemte Forhold mellem dem.

§ 148. *Hule, rektangulære Rör.* — I dette Tilfælde (Pl. III, Fig. 21) har man $I=\tfrac{1}{12}(ab^3-a'b'^3)=\tfrac{1}{12}(A'b^2-A''b'^2)$, naar man ved $A'=ab$, og ved $A''=a'b'$ betegner Overfladerne af Tværsnittene af de ydre og indre Parallelepipeder.

Men dersom b' er lidet forskjellig fra b, saaledes som Tilfældet er med Rør af temmelig tynde Plader, saa skulde man kunne tage $b' = b$, og vilde da have $I = \frac{1}{12}(A' - A'')b^2 = \frac{1}{12}Ab^2$, naar man kalder $A = A' - A''$ Overfladen af Rørets Tværsnit. Deraf udledes:

$$\frac{I}{v'} = \frac{1}{6}Ab, \text{ forudsat at } v' = \frac{b}{2}.$$

Saaledes vilde Formlen for Ligevægt for disse Rør være

$$\frac{RI}{v'} = \frac{1}{6}RAb = PC.$$

Længer hen skal man see Anvendelsen af denne Formel paa de gigantiske Rør i Broerne over Menaistrædet og over Conwayfloden.

§ 149. *Rör med quadratisk Gjennemsnit.* — I dette Tilfælde har man $a = b$, $a' = b'$, og ovenstaaende Formel bliver:

$$I = \frac{1}{12}(b^4 - b'^4) \text{ og } \frac{I}{v'} = \frac{1}{6}\left(\frac{b^4 - b'^4}{b}\right),$$

forudsat at $v' = \frac{1}{2}b$.

I alle Tilfælde, hvor b er lidet forskjellig fra b', kan man reducere dette Udtryk til:

$$\frac{I}{v'} = \frac{1}{6}(b^3 - b'^3),$$

hvilket alene sigter til at erholde en lidt for svag Værdie for $\frac{I}{v'}$ og letter Beregningerne.

§ 150. *Profil som et retvinklet Kors.* — Legemet (Pl. III, Fig. 22), som endnu er symmetrisk og anordnet saaledes, som Figuren angiver, har saaledes sit Tyngdepunkt i Linien RS, som deler Rektanglet i to lige store Dele parallelt med dets Sider, og er det klart, at Inertiemomentet af hele Legemet er ligt Inertiemomentet af Rekt-

anglet EFGH forøget med to Gange Inertiemomentet af Rektanglet IMNO. Man har da ifølge Betegnelserne i Figuren:

$$I = \tfrac{1}{12}(ab^3 + 2a'b'^3);$$

og da Profilets største Ordinat v' her er $v' = \frac{1}{2}b$,

$$\frac{I}{v'} = \tfrac{1}{6}\,\frac{ab^3 + 2a'b'^3}{b}.$$

§ 151. *Sirkulært Profil.* — Man kan bevise, at for et sirkulært Gjennemsnit, naar Radien kaldes R, er Værdien af Inertiemomentet

$$I = \tfrac{1}{4}.3,14R^4 = \tfrac{1}{4}AR^2 = \frac{AD^2}{16},$$

og, forudsat at $v' = R$,

$$\frac{I}{v'} = \tfrac{1}{4}.3,14R^3 = \frac{AR}{4} = \frac{AD}{8}.$$

abc (Pl. III, Fig. 23) være nemlig en elementær Sektor af Sirklen, saa er det let at see, at, dersom man først betragter en smal sirkulær elementær Strimmel med Tykkelse *e* af denne Sektor, som har Buen *ab* til Basis, vil Inertiemomentet af denne Strimmel med Hensyn til Diametren være

$$ab \times e \times ii'^2.$$

Konstruerer man nu ved Nedlægning Trapetziet $abb''a''$, hvis Basis vilde være *ab*, de parallele Sider $aa'' = aa'$ og $bb'' = bb'$ samt Middellinien mellem disse Sider $ii'' = ii'$, saa vil Momentet $ab \times e \times ii'$ være ligt Volumet af et afskaaret lille elementært Prisma, hvis Basis var $ab \times e$ og Middelhøide ii'. Saaledes vilde Inertiemomentet af denne lille Strimmel være ligt Momentet af det tilsvarende elementære Prisma med Hensyn til et Plan perpendikulært paa Sirklens Plan, hvis Trace vilde være AB.

Summen af alle de lignende Momenter vilde da være lig Momentet af den Pyramide, hvis Spids var i *c*, og som

havde til Basis Trapetziet $abb''a''$. Altsaa er endelig Inertiemomentet af Sektoren abc ligt Volumet af denne Pyramide multipliceret med Afstanden af dens Tyngdepunkt fra Linien AB. Eller dette Volumen er

$$\tfrac{1}{3}ic \times abb''a'' = \tfrac{1}{3}R \times ab \times ii';$$

og, da Trianglerne abd og cii' ere ligedannede, har man

$$ab : ad = ci : ii', \text{ hvoraf } ab \times ii' = ad \times ci = a'b' \times ci.$$

Volumet er altsaa udtrykt ved $\tfrac{1}{3}R^2\, a'b'$.

Afstanden af Pyramidens Tyngdepunkt fra dens Spids er $\tfrac{3}{4}R$, og det samme Punkt er saaledes beliggende i en Afstand lig $\tfrac{3}{4}ii'$ fra Linien AB.

Inertiemomentet af denne elementære Pyramide er altsaa:

$$\tfrac{1}{3}R^2 \times a'b' \times \tfrac{3}{4}ii' = \tfrac{1}{4}R^2 \times a'b' \times ii'.$$

Nu er $a'b' \times ii'$ Overfladen af Sirkelelementet, som svarer til den elementære Bue ab; følgelig vil man for den hele Sirkel, hvis Overflade er $\pi R^2 = 3,14R^2$, have:

$$I = \tfrac{1}{4} \cdot 3,14R^4 = \tfrac{1}{4}AR^2;$$

og da her $v' = R$, saa følger deraf:

$$\frac{I}{v'} = \tfrac{1}{4} \cdot 3,14R^3 = \tfrac{1}{4}AR.$$

§ 152. *Ringformet Profil, dannet af to koncentriske Sirkler.* — Kaldes i dette Tilfælde den ydre og indre Radius R' og R'', er det indlysende, at Inertiemomentet er lig den ydre Sirkels Inertiemoment minus den indres, og at det saaledes har til Udtryk:

$$I = \tfrac{1}{4} \cdot 3,14(R'^4 - R''^4) = \tfrac{1}{4}A(R'^2 + R''^2) = 0,0491(D'^4 - D''^4).$$

Den fra Overfladen af de uforanderlige Fibrer mest fjernede Ordinat er her $v' = R'$, og man har saaledes

$$\frac{I}{v'} = \frac{3,14(R'^4 - R''^4)}{4R'} = \frac{A(R'^2 + R''^2)}{4R'} = \frac{0,0982(D'^4 - D''^4)}{D'}.$$

§ 153. *Sammenligning mellem en fuld og en huul Sylinder med Hensyn til Modstand mod Böining.* — Da Værdien af Størrelsen $\frac{I}{v'}$ i første Tilfælde er $\frac{1}{4}AR$ og i det andet $\frac{1}{4}A\frac{(R'^2+R''^2)}{R'}$, naar man stiller den Betingelse, at Overfladen af Tværsnittet skal være den samme i begge Tilfælde, bliver $R^2 = R'^2 - R''^2$, og Forholdet mellem de to Værdier $\frac{I}{v'}$ er $\frac{RR'}{R'^2+R''^2}$. Dersom man f. Ex. antager $R'' = \frac{4}{5}R'$, hvilket er en temmelig almindelig brugt Proportion, saa erholder man deraf $R = \frac{3}{5}R'$, og ovenstaaende Forhold $\frac{RR'}{R'^2+R''^2}$ bliver $= \frac{15}{41}$.

Dette viser, at ved lige Gjennemsnit og, som Følge heraf, lige Volumen er Inertiemomentet, og saaledes ogsaa Modstanden af en fuld Sylinder neppe meer end Tredieparten af den hule Sylinders, hvis Dimensioner ere overensstemmende med de ovenfor angivne Proportioner; dette forklarer ogsaa, hvorfor de hule Vækster af Planteriget kunne uden at brækkes udholde langt betydeligere Böininger end de fulde Vækster.

§ 154. *Sylindriske Rör med tynde Vægge.* — Naar der handles om sylindriske Rør med tynde Vægge, saa bliver Inertiemomentet simpelthen

$$I = \frac{AR_1^2}{2} \text{ og } \frac{I}{v'} = \frac{AR_1}{2},$$

naar Rørenes Radius kaldes R_1. Formlen for Ligevægt bliver da:

$$\frac{RI}{v'} = \frac{R.AR_1}{2} = PC.$$

§ 155. *Elliptiske Profiler.* — Naar $2a$ er den lille Axe og $2b$ den store Axe, saa ere Inertiemomentet og Værdien af $\frac{I}{v'}$ for et fuldt elliptisk Profil med Hensyn

til den lille Axe: $I = \frac{\pi ab^3}{4} = \frac{Ab^2}{4}$, $\frac{I}{v'} = \frac{\pi ab^2}{4}$;

til den store Axe: $I = \frac{\pi ba^3}{4} = \frac{Aa^2}{4}$, $\frac{I}{v'} = \frac{\pi ba^2}{2}$.

For det ringformede elliptiske Profil (Pl. III, Fig. 24) har man, naar $2a'$ og $2b'$ ere den lille og den store indvendige Axe, med Hensyn

til den lille Axe: $I = \frac{\pi}{4}(ab^3 - a'b'^3)$, $\frac{I}{v'} = \frac{\pi(ab^3 - a'b'^3)}{2b}$;

til den store Axe: $I = \frac{\pi}{4}(ba^3 - b'a'^3)$, $\frac{I}{v'} = \frac{\pi(ba^3 - b'a'^3)}{2a}$.

§ 156. *Profil som T.* — I dette Tilfælde (Pl. III, Fig. 25) maa man først bestemme Beliggenheden af den neutrale Axe, som ikke a priori er bekjendt. Saasom nu denne skal indeholde Gjennemsnittets Tyngdepunkt, har man, naar dets Afstand fra den øvre Flade kaldes z, ifølge Theorien for Momenterne, idet disse tages med Hensyn til den øverste Linie AB:

$$ab \times \tfrac{1}{2}b + a'b' \times (\tfrac{1}{2}b' + b) = (ab + a'b')z;$$

hvoraf $$z = \tfrac{1}{2}\frac{ab^2 + a'b'^2 + 2a'bb'}{ab + a'b'}.$$

Derefter er det let at see, at Inertiemomentet af Overfladen ABECDFA er ligt Summen af Inertiemomenterne af Rektanglet ABGH og af Rektanglet CDIK, formindsket med Inertiemomenterne af de to Rektangler EG og HF. Men, ifølge hvad man har seet i § 143, er denne Størrelse lig

$$I = \tfrac{1}{3}[az^3 - (a-a')(z-b)^3 + a'(b+b'-z)^3].$$

Den fra Planet for de neutrale Fibrer længst fjernede Fiber er øiensynligen beliggende i Fladen CD eller i Afstanden $v' = b + b' - z$ fra dette Plan; man har altsaa

$$\frac{I}{v'} = \tfrac{1}{3}\frac{[az^3 - (a-a')(z-b)^3 + a'(b+b'-z)^3]}{b+b'-z},$$

et Udtryk, hvori der for ethvert Tilfælde maa indsættes Værdierne af z med Hensyn til de antagne Proportioner.

§ 157. *Almindelige Proportioner for Dele af Støbejern.* — For Dele af Støbejern med foregaaende Profil eller Tværsnit kan man antage følgende Proportion:

$$a' = b = \tfrac{1}{2}a \text{ og } b' = a,$$

hvilket leder til $\tfrac{1}{5}a$

$$z = \tfrac{2}{5}a \text{ og } \frac{I}{v'} = \tfrac{1}{15}a^3;$$

følgelig udledes deraf den praktiske Formel:

$$\frac{Ra^3}{15} = PC, \text{ hvoraf } a^3 = \frac{15PC}{R}.$$

Dersom man gjør $a' = b = \frac{1}{5}a$ og $b' = \frac{1}{2}a$, udledes deraf

$$z = \tfrac{13}{60}a, \text{ eller } z = \tfrac{1}{5}a \text{ omtrent;}$$

fremdeles $\frac{I}{v'} = \frac{11}{500}a^3$; hvoraf $\frac{RI}{v'} = \frac{11}{500}Ra^3 = PC;$

hvoraf $$a^3 = \frac{500PC}{11R}.$$

§ 158. *Tynde Dele af Smedejern.* — For Bedækninger med Jern kan man antage Forholdene:

$$b = 0{,}10\,a = a' \text{ og } b' = a;$$

dette fører til:

$$z = \tfrac{13}{40}a \text{ eller omtrent } \tfrac{1}{3}a;$$

følgelig:

$$\frac{I}{v'} = 0{,}03072\,a^3.$$

PRAKTISKE ANVENDELSER OG FORMLER.

§ 159. *Praktiske Formler.* — Saasom vi nu kjende Værdierne af Inertiemomentet og af Forholdet $\frac{I}{v'}$ mellem dette Moment og Afstanden af den mest forlængrede eller

den mest forkortede Fiber fra den neutrale Axe, som gaaer gjennem Tyngdepunktet af de mest anvendte Formers Tværsnit, bliver det nu let at gaae over fra den almindelige Formel til de Formler, som have Hensyn til de Tilfælde, der i Anvendelsen ere de almindeligste, og til de praktiske Regler, som bør følges.

§ 160. *Legeme, befæstet ved en af dets Ender og underkastet en Vægt* P, *som virker i dets anden Ende perpendikulær paa dets Længde, og en ensformig fordelt Vægt.* — Vi ville som Exempel først antage det simple og almindelige Tilfælde, at Legemet er befæstet ved dets ene Ende og underkastet en Kraft, der i den anden Ende virker perpendikulær paa dets Længde eller parallelt med det befæstede Tværsnit, og derhos en efter dets Længde ensformig fordelt Vægt.

Den theoretiske Formel indskrænker sig da til en meget simpel Form, naar man kalder

P den Kraft, som virker i Enden af Legemet perpendikulær paa dets Længde og parallelt med det befæstede Tværsnit;

C Legemets Længde, som her er Vægtstangsarm for Kraften P med Hensyn til det befæstede Tværsnit;

p Belastningen pr. løbende Meter (i Formlerne for norsk Maal og Vægt pr. løbende Tomme), som er ensformig fordelt efter Længden.

Momentet af Belastningen P med Hensyn til Befæstelsestværsnittet vil være PC, og Summen af Momenterne af den ensformig fordelte Belastning vil være $\frac{1}{2}pC^2$.

Betragter man nu et Element *c* af Legemets Længde, beliggende i Afstanden C fra Befæstelsen, saa er den Del af den jevnt fordelte Belastning, som dette Element bærer, *pc* og dets Moment med Hensyn til Befæstelsestværsnittet *p*C*c*. For at erholde Summen af alle lignende Momenter med Hensyn til den jevnt fordelte Belastning maa man altsaa tage Summen af Produkterne

pCc. Men nu er, som bekjendt, denne Sum lig $\frac{1}{2}pC^2$; følgelig er Totalsummen af Momenterne

$$M = PC + \tfrac{1}{2}pC^2.$$

§ 161. *Praktisk Værdie af Tallet* R. — Værdien af Størrelsen R, som ifølge Definitionen i § 133 forestiller den permanente Anstrængelse mod Strækning eller mod Kompression, som enhver Enhed af Legemets Tværsnit med Sikkerhed kan udholde, er med Hensyn til forskjellige Legemer given i Tabellen i § 44 for det Tilfælde, at Anstrængelsen er udøvet efter Legemets Længderetning.

Men naar der handles om Bøininger tværs paa Legemet, ved hvilke visse Fibrer blive forlængrede og andre komprimerede, og fornemmelig om Legemer af kornet Substants, saadanne som Støbejern, er Hypothesen for Lighed i Modstand mod Strækning eller mod Kompression, som vi have seet, ikkun antagelig inden temmelig snævre Grændser, og er det klogt ikke at drive Belastningerne indtil Grændsen, hvor Elasticiteten vilde forandres. Man maa altsaa simpelthen tage sin Tilflugt til Iagttagelsen af godt udførte Bygværker, der paa engang ere solide og lette; og det er ifølge saadan Sammenligning, man i de Formler, der have Hensyn til Legemernes Bøining, antager for denne Størrelse de Værdier, der ere angivne i følgende Tabel, hvori vi have gjort Forskjel mellem almindelige Materialier og almindelige Bygværker paa den ene, og udvalgte Materialier og lettere Bygninger paa den anden Side.

Materialiernes Art.	Værdie af den Anstrængelse, hvorfor man med Sikkerhed kan udsætte:			
	Quadratmetren af Tværsnittet		Quadrattommen for norsk Maal og Vægt	
	i almindelige Tilfælde.	ved udvalgte Materialier og lettere Bygninger	i almindelige Tilfælde.	ved udvalgte Materialier og lettere Bygninger.
	Kilogrammer	Kilogrammer	Pund	Pund
Støbejern	7 500 000	10 000 000	10 275	13 700
Smedejern	6 000 000	8 000 000	8 220	10 960
Staal { af 1ste Qualitet	16 660 000	22 000 000	21 920	30 140
Staal { „ Middel- „	12 500 000	16 633 000	17 125	22 787
Træ, Eg eller Fyr	600 000	800 000	822	1 096

I de praktiske Formler, som vi nu ville give, indføres kun de første Værdier af R, der have Hensyn til almindelige Tilfælde; men for at overgaae fra disse Formler til dem, som ere passende, naar man kan gjøre Valg af Materialier, eller naar Bygningerne ere af et lettere Slags, er det nok at forøge Formlens Koefficient med $\frac{1}{3}$ af dens Værdie, hvilket vil give Værdierne af de søgte Dimensioner. Naar dette engang for alle er sagt, vil man vide, naar det er nødvendigt, at anvende det i alle de Tilfælde, vi ville undersøge.

Vi ville iøvrigt i det Følgende finde meer end en Anledning til at sammenligne existerende Bygværker med Formlerne og at stadfæste, at de af os antagne Værdier af R næsten altid meget nærme sig dem, som man udleder af dette Slags Undersøgelser. I visse Tilfælde vil man endog see, at det er rigtigt at give Tallet R mindre Værdier end de foranstaaende.

Dette foreløbig bemærket, frembyder Bestemmelsen af de praktiske Formler for forskjellige brugelige Tilfælde ikke længer nogen Vanskelighed.

§ 162. *Prismatisk Legeme, befæstet ved en af dets Ender, underkastet en Kraft* P, *som virker i den anden Ende perpendikulær paa dets Længde* C, *og en efter Længden ensformig fordelt Belastning, virkende i samme Retning som* P. — Ved i dette Tilfælde at bibeholde de foregaaende Betegnelser har man:

$$\frac{I}{v'} = \tfrac{1}{6}ab^2;\ M = PC + \tfrac{1}{2}pC^2 = (P + \frac{pC}{2})\,C,$$

og eftersom Legemet er

af Støbejern: R = 7500000 Kil eller 10275 ℔ pr. □″ norsk;
eller
af Smedejern: R = 6000000 „ „ 8220 ℔ pr. □″ norsk;
eller af Eg- eller Fyrre-Træ:
R = 600000 „ „ 822 ℔ pr. □″ norsk.

Formlen $\frac{I}{v'} = \frac{M}{R}$ bliver da for

Norsk Maal og Vægt.

Støbejern:

$$\frac{1}{6}ab^2 = \frac{(P+\frac{pC}{2})C}{7500000}, \text{ eller } ab^2 = \frac{(P+\frac{pC}{2})C}{1250000}; \quad ab^2 = \frac{(P+\frac{pC}{2})C}{1712};$$

Smedejern:

$$\frac{1}{6}ab^2 = \frac{(P+\frac{pC}{2})C}{6000000}, \text{ eller } ab^2 = \frac{(P+\frac{pC}{2})C}{1000000}; \quad ab^2 = \frac{(P+\frac{pC}{2})C}{1370};$$

Træ:

$$\frac{1}{6}ab^2 = \frac{(P+\frac{pC}{2})C}{600000}, \text{ eller } ab^2 = \frac{(P+\frac{pC}{2})C}{100000}; \quad ab^2 = \frac{(P+\frac{pC}{2})C}{137}.$$

§ 163. *Sylindriske Legemer med sirkulært Tværsnit, under samme Omstændigheder som de foregaaende.* — I dette Tilfælde har man (§ 151) $\frac{I}{v'} = \frac{1}{4}.3,1416R^3 = 0,0982D^3$, naar man kalder Sylindrens Diameter D, og Formlen $\frac{I}{v'} = \frac{M}{R}$ bliver da for

Norsk Maal og Vægt.

Støbejern:

$$0,0982D^3 = \frac{(P+\frac{pC}{2})C}{7500000}, \text{ eller } D^3 = \frac{(P+\frac{pC}{2})C}{736312}; \quad D^3 = \frac{(P+\frac{pC}{2})C}{1009};$$

Smedejern:

$$0,0982D^3 = \frac{(P+\frac{pC}{2})C}{6000000}, \text{ eller } D^3 = \frac{(P+\frac{pC}{2})C}{589050}; \quad D^3 = \frac{(P+\frac{pC}{2})C}{807};$$

Træ:

$$0,0982D^3 = \frac{(P+\frac{pC}{2})C}{600000}, \text{ eller } D^3 = \frac{(P+\frac{pC}{2})C}{58905}; \quad D^3 = \frac{(P+\frac{pC}{2})C}{80,72}.$$

§ 164. *Tapper for Vandhjul.* — For Tapper til Vandhjul og for Axler til Kraftforplantelser, som ere udsatte for at slides ved Friktionen, maa man give Tallet R en mindre Værdie, og Erfaringen har ledet til at tage det

eller for norsk Maal og Vægt:

$$\frac{ab^3+2a'b'^3}{b}=\frac{(P+\frac{pC}{2})C}{1712};$$

for Smedejern:

$$\frac{1}{6}\frac{ab^3+2a'b'^3}{b}=\frac{(P+\frac{pC}{2})C}{6000000}, \text{ eller } \frac{ab^3+2a'b'^3}{b}=\frac{(P+\frac{pC}{2})C}{1000000};$$

eller for norsk Maal og Vægt:

$$\frac{ab^3+2a'b'^3}{b}=\frac{(P+\frac{pC}{2})C}{1370};$$

for Træ:

$$\frac{1}{6}\frac{ab^3+2a'b'^3}{b}=\frac{(P+\frac{pC}{2})C}{600000}, \text{ eller } \frac{ab^3+2a'b'^3}{b}=\frac{(P+\frac{pC}{2})C}{100000};$$

eller for norsk Maal og Vægt:

$$\frac{ab^3+2a'b'^3}{b}=\frac{(P+\frac{pC}{2})C}{137}.$$

§ 168. *Modifikationer af de foregaaende Formler.* — Dersom Legemet kun er udsat for Lasten P, som virker i Enden, eller naar man kan sætte ud af Betragtning Legemets egen Vægt, der er en ensformig fordelt Belastning, saa sætter man $p = 0$ i alle foregaaende Formler, og man vil saaledes erholde de Formler, som benyttes i Tilfælde af, at man kun indtager den ydre Kraft P i Regningen.

Er der derimod ikke nogen Kraft, som virker i Enden, og er Legemet alene underkastet Virkningen af en ensformig fordelt Belastning, saa gjør man $P = 0$, og man vil da have de praktiske Formler for dette Tilfælde.

Vi ansee det ikke nødvendigt her at omskrive de saaledes ved Udeladelsen af et af deres Led simplificerede Formler. Forresten finder man dem i „l'*Aide-mémoire*“.

§ 169. *Tilfælde, hvori Belastningen* P *og den ensformig fordelte Belastning virke i modsatte Retninger.* — Momenterne PC og $\frac{1}{2}pC^2$ have da modsatte Fortegn, og man har:

$$\frac{RI}{v'} = PC - \tfrac{1}{2}pC^2, \text{ eller } \frac{RI}{v'} = \tfrac{1}{2}pC^2 - PC,$$

alt eftersom man af Spørgsmaalets Betingelser har

$$P > \tfrac{1}{2}pC \text{ eller } \tfrac{1}{2}pC > P.$$

Krumningen ved Befæstelsestværsnittet skulde da kunne være lig Nul, dersom man (see § 201) havde

$$P = \tfrac{1}{2}pC.$$

§ 170. *Tilfælde, hvori Prismet er underkastet Pressioner, perpendikulære paa dets Længde og indbefattede i dets Middelplan efter Længden, men fordelte paa hvilkensomhelst Maade.* — Lad os først antage, at der handles om to Kræfter P og Q (Pl. III, Fig. 26), virkende i samme Retning i Afstandene C og C′ fra Tværsnittet ved Befæstelsen og i en indbyrdes Afstand $D = C - C'$. Betragter man endnu et hvilketsomhelst Tværsnit, gjort i K, og som befinder sig i Afstanden X fra Retningen af Kraften P, saa vil man, ligesom i det Foregaaende, for Ligevægtsforholdet mellem de i dette Tværsnit udviklede molekulære Modstande og de ydre Kræfter P og Q have

$$\frac{RI}{v'} = PX + Q(X-D) = (P+Q)X - QD.$$

Det er fremdeles indlysende, at Summen af de ydre Kræfters Momenter vil have den største Værdie i Tværsnittet ved Befæstelsen, hvor $X = C$; man vil da for dette Tværsnit og for Beregningen af den permanente Belastning have

$$\frac{RI}{v'} = (P+Q)C - QD.$$

Man seer forresten, at ovenstaaende Forbindelse vil lede til at antage Belastningen P, som virker i Enden,

som forøget med en Last lig $Q.\frac{C-D}{C}$, hvis Moment med Hensyn til det fastgjorte Tværsnit klarligen vil være

$$Q(C-D) = QC'.$$

Den samme Bemærkning lader sig anvende paa andre Kræfter, virkende i den samme Retning og fordelte paa hvilkensomhelst Maade, og man seer altsaa, at det er nok at tage Summen af alle disse Kræfters Momenter med Hensyn til Tværsnittet ved Befæstelsen, eller at reducere dem i Forhold til deres respektive Afstand C′ fra dette Tværsnit til den hele Længde C af Legemet, og at antage dem føiede til Kraften P. Man gjør derpaa den totale Sum af Momenterne, eller Momentet af den totale Kraft lig $\frac{RI}{v'}$, hvilket Udtryk angiver Summen af Momenterne af Befæstelses-Tværsnittets molekulære Modstande.

§ 171. *Tilfælde, hvor Prismet desforuden er belastet med ensformig fordelte Vægter.* — Dersom Prismet desforuden havde at udholde en Last pC, jevnt fordelt efter dets Længde, maatte man ligesom forhen føie $\frac{1}{2}pC^2$ til Momentet af de ydre Kræfter, og man vilde da for den permanente Ligevægt i det foregaaende Tilfælde af to Kræfter have

$$\frac{RI}{v'} = (P+Q.\frac{C-D}{C})C+\tfrac{1}{2}pC^2 = (P+Q.\frac{C-D}{C}+\tfrac{1}{2}pC)C$$
$$= PC+QC'+\tfrac{1}{2}pC^2.$$

§ 172. *Tilfælde, hvor Kræfterne virke i modsatte Retninger.* — I Tilfælde af, at Kraften P virkede franeden opad og Kraften Q fraoven nedad (Pl. III, Fig. 27), vilde Ligevægtsforholdet med Hensyn til hvilketsomhelst Tværsnit IK, beliggende mellem Retningen af Q og Tværsnittet ved Befæstelsen, være

$$\frac{RI}{v'} = PX-Q(X-D), \text{ eller } \frac{RI}{v'} = Q(X-D)-PX,$$

alt eftersom det ene eller det andet af Momenterne PX eller Q(X — D) var størst.

Dersom man erindrer sig, at man (§ 133) har $\frac{RI}{v'} = \frac{EI}{r}$, saa seer man, at Forholdet $\frac{RI}{v'}$, og følgelig Krumningen $\frac{1}{r}$ vil være lig Nul, eller Krumningsradien uendelig for det Tværsnit, hvor man vilde have

$$PX = Q(X - D),$$

og følgelig $$X = \frac{QD}{Q - P}.$$

Eller, dette Punkt er nøiagtigen Angrebspunktet for Resultanten af Kræfterne P og Q. Paa dette Sted vil Krumningen være lig Nul; men da paa hver Side af dette Punkt Prismet antager Krumninger i modsatte Retninger, saa følger deraf, at dette er det Punkt, som kaldes Krumningens Inflexionssted.

Bøiningen vil da forøge sig fra dette Punkt henimod Tværsnittet ved Befæstelsen, for hvilket man har X = C, og følgelig:

$$\frac{EI}{r} = \frac{RI}{v'} = PC - Q(C - D) = (P - Q \cdot \frac{C - D}{C})\, C,$$

eller $$\frac{RI}{v'} = (Q \cdot \frac{C - D}{C} - P)\, C,$$

og fra det samme Punkt indtil det, for hvilket den subtraherende Størrelse Q(X — D) = 0, eller ogsaa X = D, hvilket giver

$$\frac{EI}{r} = \frac{RI}{v'} = PD.$$

Det vil altsaa kunne hende, at, naar Momentet PD er større end Momentet $(P - Q \cdot \frac{C - D}{C})\, C$ eller $(Q \cdot \frac{C - D}{C} - P)C$, vil Krumningen være størst i det Punkt, for hvilket X = D, hvilket man letteligen vil kjende, og som vil hende, naar man har

$$PD > Q(C-D) - PC \text{ eller } D > \frac{Q-P}{Q+P} C,$$

et Udtryk, som sætter $Q > P$.

Man har altsaa at beregne Belastningen eller Størrelsen $\frac{I}{v'}$ efter den største Værdie for Momentet af de Kræfter, hvormed Legemet er belastet.

Det er forresten indlysende, at man havde at gaae frem paa samme Maade, naar man til Virkningen af de ydre Kræfter vilde føie Virkningen af en ensformig fordelt Last pC, hvis Moment $\frac{1}{2}pC^2$ med sit Fortegn maa lægges til Summen af de andre Momenter.

For Ligevægtsforholdet vilde man da have:

$$\frac{RI}{v'} = PX - Q(X-D) - \tfrac{1}{2}pX^2,$$

eller

$$\frac{RI}{v'} = Q(X-D) + \tfrac{1}{2}pX^2 - PX.$$

Inflexionspunktet, for hvilket Krumningen er lig Nul, vil da være givet ved Forbindelsen

$$PX - Q(X-D) - \tfrac{1}{2}pX^2 = 0 \text{ eller } X^2 - \frac{2(P-Q)}{p}X - \frac{2QD}{p} = 0,$$

hvoraf

$$X = P - Q \pm \sqrt{\frac{(P-Q)^2}{p} + \frac{2QD}{p}}.$$

Den negative Værdie af X, angivende et Inflexionspunkt, der ligger paa høire Side af Enden eller udenfor Legemet, er ikke anvendelig til Spørgsmaalets Løsning.

Paa den ene Side vil Bøiningen tiltage fra Inflexionspunktet indtil det befæstede Tværsnit, hvor $X = C$, hvilket giver

$$\frac{RI}{v'} = PC - Q(C-D) - \tfrac{1}{2}pC^2 = PC - QC' - \tfrac{1}{2}pC^2,$$

eller

$$\frac{RI}{v'} = QC' + \tfrac{1}{2}pC^2 - PC,$$

alt eftersom man har $PC >$ eller $< QC' + \frac{1}{2}pC^2$. Man

maa forresten beregne $\frac{RI}{v'}$ efter den største af de to Differentser.

Paa den anden Side af Inflexionspunktet vil Krumningen forøges og naae sit Maximum i det Punkt, for hvilket den subtraherende Størrelse bliver lig Nul, hvilket giver

$$Q(X-D)+\tfrac{1}{2}pX^2=0, \text{ eller } X^2+\frac{2QX}{p}-\frac{2QD}{p}=0,$$

hvoraf $$X=-\frac{Q}{p}+\sqrt{\frac{Q^2}{p^2}+\frac{2QD}{p}}.$$

Da forresten en eneste af de to Værdier, den nemlig, som er positiv, løser Spørgsmaalet, saa beregner man Værdien

$$X=\frac{-Q+\sqrt{Q^2+2QDp}}{p}$$

og forsikkrer sig om, hvorvidt den Værdie af $\frac{RI}{v'}$, til hvilken den fører, er større eller mindre end den, som svarer til Befæstelsespunktet, for i Følge deraf at bestemme $\frac{I}{v'}$.

§ 173. *Prismatiske eller sylindriske Legemer, oplagte horizontalt paa to Underlag og belastede perpendikulær paa deres Længde.* — I dette simple Tilfælde, naar Alt er symmetrisk paa hver Side af Legemets Midte, ville dets to Halvdele bøie sig lige under Belastningens Virkning. De i den nedre Del beliggende Fibrer forlængres, de i den øvre Del komprimeres, og omkring de neutrale Fibrers Axe vil der snart indtræde en Ligevægt mellem Modstanden af de strækkede og af de komprimerede Fibrer og Belastningens Virkning; Legemet kommer i en Tilstand af stadig Bøining, og alle de molekulære Modstande yde Ligevægt mod Lastens Virkning.

I denne Tilstand er det i Midten af Legemet gjorte Tværsnit forblevet uforandret og kan betragtes som Be-

fæstelsestværsnit for enhver af de to Halvdele, som da nøiagtig ville være i samme Tilstand, som om de vare befæstede paa dette Sted og underkastede i den Ende, som hviler paa Underlagene, en Kraft lig Halvparten af den totale Belastning, og virkende i modsat Retning.

Man erkjender letteligen, at, dersom man kalder 2P den totale Belastning, der er anbragt i Midten, og 2C den totale Bærevidde eller Afstanden mellem Underlagene, vil Trykket paa ethvert af disse Underlag være ligt Halvparten P af Belastningen, og at Legemet, naar det er kommet i Ligevægt og i en Skikkelse, som ophører at forandres, kan betragtes som befæstet i Midten og underkastet i hver af dets Ender Virkningen af Kraften P, der udvikles af ethvert af Underlagene og virker med Vægtstangsarmen C.

Saaledes kan enhver af de to lige Dele af Legemet behandles som det i § 129 omhandlede Legeme, der er befæstet ved en af dets Ender, og man har for at udtrykke Ligevægten mellem de molekulære og de ydre Kræfter de samme Forbindelser:

$$\frac{EI}{r} = \frac{RI}{v'} = PC,$$

hvilke man kan anvende paa forskjellige Former af Gjennemsnit — dette antaget konstant — ved deri at indsætte for R og for $\frac{I}{v'}$ de til Materien og det valgte Tværsnit svarende Værdier.

Ved enhver numerisk Anvendelse af denne Formel og de følgende er det nødvendigt ikke at forglemme, at, dersom Vægten og Bærevidden ere givne, maa man respektive for P og C kun indsætte Halvparten af disse Tal, da P er Halvparten af Belastningen i Midten, og C alene den halve Bærevidde.

§ 174. *Prismatisk eller sylindrisk Legeme, oplagt horizontalt paa to Underlag og udsat for en Belastning* 2P,

anbragt paa Midten perpendikulær paa Længden, og for en ensformig fordelt Last. — I dette Tilfælde vise de samme Betragtninger som i foregaaende Tilfælde, at Legemet, naar det er kommet i Ligevægtsstilling, kan betragtes som befæstet i dets Midte og uforanderligt, samt havende enhver af sine Halvdele underkastet en Kraft $P+\frac{pC}{2}$, som virker perpendikulær paa dets Længde i en Afstand C fra Befæstelsespunktet.

Man har da med Hensyn til Ligevægtsforholdet mellem de molekulære Modstande og de ydre Kræfter

$$\frac{EI}{r}=\frac{RI}{v'}=(P+\frac{pC}{2})\,C,$$

en Formel, hvori man indfører for R Værdien med Hensyn til den Materie, hvoraf Legemet bestaaer, og for $\frac{I}{v'}$ den Værdie, som er afhængig af Tværsnittet, antaget konstant.

§ 175. *Bemærkninger over den Lethed, som det nærværende Tilfælde frembyder for Undersögelsen af Lovene for Böinings- og Brudsphænomenerne.* — De to Tilfælde, som vi senest have undersøgt, ere de, som bedst egne sig til experimentale Undersøgelser, og med Hensyn til hvilke saadanne have været anstillede i størst Antal. Vi have allerede (§ 113 ff.) angivet adskillige af de fornemste, af forskjellige Experimentatører erholdte Resultater; senere ville vi have Anledning til at anføre andre.

Vi indskrænke os her til at bemærke, at det fornemmelig er ved Iagttagelser, gjorte med Legemer, oplagte paa to Underlag og belastede i deres Midte, at man erholder og har erholdt Kundskab om de physiske Love for Phænomenerne af de faste Legemers Bøining og Brud under Paavirkning af ydre Kræfter.

§ 176. *Prismatisk eller sylindrisk Legeme, oplagt frit paa to Underlag og belastet med en Vægt* 2P, *anbragt i*

Afstanden l' *fra det ene og i Afstanden* l'' *fra det andet Understöttelsespunkt.* — Benævner man fremdeles 2C Afstanden mellem Underlagene, har man $l' + l'' = 2C$, og kalder man P' og P'' de paa Oplægningspunkterne A og B (Pl. III, Fig. 28) udøvede Tryk, har man for at bestemme disse Tryk, som ere Komponenterne af Belastningen 2P i disse Punkter:

$$P' \times 2C = 2Pl'' \text{ og } P'' \times 2C = 2Pl',$$

hvoraf $$P' = \frac{Pl''}{C} \text{ og } P'' = \frac{Pl'}{C}.$$

Dersom man nu betragter et hvilketsomhelst Tværsnit IK af Legemet, beliggende mellem Støttepunktet A og Angrebspunktet M af Belastningen i Afstanden X fra det andet Støttepunkt B, og dersom man søger det Ligevægtsforhold, som skal indtræde mellem de ydre Kræfter, der virke paa høire Side af Tværsnittet IK, og de molekulære Modstande, saa har man, naar den almindelige Regel (§ 125 ff.) anvendes, og naar man istedet for l' sætter dens Værdie $l' = 2C - l''$:

$$\frac{EI}{r} = \frac{RI}{v'} = P''X - 2P(X - l'') = \frac{Pl''}{C}(2C - X).$$

Krumningen $\frac{1}{r}$ vil være Nul eller Krumningspilen uendelig for $X = 2C$, eller i Punktet A; Krumningen vil have den største Værdie for den mindste Værdie af X, det er for $X = l''$, altsaa vil det farlige Gjennemsnit være i selve Angrebspunktet for Kraften 2P.

For et hvilketsomhelst Tværsnit I'K', beliggende mellem Angrebspunktet M af Lasten 2P og Støttepunktet B i en Afstand X' fra dette Punkt, vil det permanente Ligevægtsforhold være

$$\frac{EI}{r} = \frac{RI}{v'} = P''X' = \frac{Pl'}{C} = \frac{P(2C - l'')}{C}X'.$$

Dets største Værdie vil være med Hensyn til $X' = l''$, hvilket fører til Forbindelsen

$$\frac{EI}{r} = \frac{RI}{v'} = \frac{P(2C-l'')}{C} l'' = \frac{Pl'l''}{C}.$$

§ 177. *Tilfælde, hvor Prismet desforuden er belastet med en ensformig fordelt Vægt.* — Kaldes p fremdeles Belastningen pr. løbende Meter, vil man først have

$$P' \times 2C = 2Pl'' + 2pC^2 \text{ og } P'' \times 2C = 2Pl' + 2pC^2,$$

hvoraf uddrages $P' = \frac{2Pl'' + 2pC^2}{2C}$, og $P'' = \frac{2Pl' + 2pC^2}{2C}$.

Fremdeles udleder man deraf for Tværsnittet IK, beliggende mellem A og M,

$$\frac{EI}{r} = \frac{RI}{v'} = P''X - 2P(X - l'') - \tfrac{1}{2}pX^2$$

$$= 2\frac{Pl''}{2C}(2C - X) + \tfrac{1}{2}pX(2C - X);$$

og for hvilketsomhelst Tværsnit I'K', beliggende mellem Angrebspunktet M for Belastningen 2P og Støttepunktet B i en Afstand X' fra Punktet A, vil det permanente Ligevægtsforhold være:

$$\frac{EI}{r} = \frac{RI}{v'} = P''X' - \tfrac{1}{2}pX'^2 = X'\left[\frac{2Pl'}{2C} + \tfrac{1}{2}p(2C - X')\right].$$

Dersom man i det første Udtryk gjør $X = 2C$, saa har man $\frac{EI}{r} = 0$, hvilket antyder, at Krumningen i A er lig Nul, eller at Krumningsradien er uendelig, og Maximumet tilsvarer aabenbart $X = l''$, hvilket giver $2C - X = 2C - l'' = l'$ og reducerer Udtrykket til

$$\frac{EI}{r} = \frac{RI}{v'} = \frac{l'l''}{2C}[2P + \tfrac{1}{2}p(2C)].$$

Det første Led af ovenstaaende Udtryk:

$$\frac{2Pl''}{2C}(2C - X)$$

naaer klarligen sit Maximum for den mindste Værdie $X = l''$ af Afstanden af Snittet IK fra Punktet B, og hvad angaaer det andet Led, saa seer man, — naar man tegner Sirklen, hvis Diameter er $AB = 2C$, — at Faktoren $X(2C - X)$, der er lig Quadratet af Ordinaten til denne Sirkel, voxer, eftersom X aftager fra $X = 2C$, og opnaaer sin Maximumsværdie for $X = C$, det er, udenfor Punktet M.

Altsaa er i denne Arm AM af det bøiede Legeme Krumningens Maximum i M.

Med Hensyn til den anden Arm MB er Krumningen endnu lig Nul i B, hvor $X' = 0$, og hvad Maximumet angaaer, da seer man, at det første Udtryk i det andet Led $\frac{2Pl'}{2C} X'$ opnaaer sit for $X' = l''$; men at det andet Led $\frac{1}{2}p(2C - X')X$, som man har seet ovenfor, opnaaer sit, naar $X' = C$, saaledes at Maximumet af deres Sum maa være mellem Punktet M og Midten af Legemet eller af Bærevidden, og der er det farlige Punkt.

Dersom man attraaede at bestemme Beliggenheden af Punktet for Maximumskrumningen, saa vilde man erholde den ved at beregne forskjellige Værdier af det andet Led, svarende til Værdier af X, aftagende fra $X = l''$; man skulde da tage Værdierne af X til Abscisser for en Kurve, hvis Ordinater vilde blive Værdierne af det andet Led $X'\left[\frac{2Pl'}{2C} + \frac{1}{2}p(2C - X')\right]$, og man maatte forøge disse Værdiers Antal, indtil man opnaaede og overskred det Maximum, som svarer til det mest ophøiede Punkt i Kurven, hvilket saavelsom dets Abscisse derpaa lettelig vil kunne bestemmes ved den Methode, som vi i første Del have angivet for Bestemmelsen af Berøringspunktet af en med en given ret Linie parallel Tangent.

§ 178. *Prisma, oplagt paa to Underlag og belastet med Vægter, fordelte paa hvilkensomhelst Maade.* — Lader os antage et prismatisk eller sylindrisk Legeme (Pl. III,

Fig. 29), oplagt paa to Underlag og underkastet Virkningen af

Vægterne $P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 P_6$,

beliggende i Afstandene $l'_1 l'_2 l'_3 l'_4 l'_5 l'_6$ fra Støttepunktet A,

og i Afstandene $l''_1 l''_2 l''_3 l''_4 l''_5 l''_6$ fra Støttepunktet B;

og lader os, ligesom i det Foregaaende, følge den af Poncelet antagne Overveielsesmaade: saa ville vi see, at de paa Støttepunkterne A og B udøvede Pressioner P' og P'' ifølge Theorien for de parallele Kræfter ville være respektive:

$$P' = \frac{P_1 l''_1 + P_2 l''_2 + P_3 l''_3 + \text{etc.}\ldots}{2C}$$

og

$$P'' = \frac{P_1 l'_1 + P_2 l'_2 + P_3 l'_3 + \text{etc.}\ldots}{2C},$$

og vi ville videre for Ligevægtsbetingelsen med Hensyn til et Tværsnit IK, beliggende f. Ex. mellem to Punkter A_2 og A_3 i en Afstand X fra Støttepunktet B, have

$$\frac{EI}{r} = \frac{RI}{v'} = P''X - P_3(X - l''_3) - P_4(X - l''_4) - P_5(X - l''_5) - \text{etc.}\ldots$$

eller

$$\frac{EI}{r} = \frac{RI}{v'} = (P'' - P_3 - P_4 - P_5 - \text{etc.}\ldots)X + P_3 l''_3 + P_4 l''_4 + P_5 l''_5 + \text{etc.}\ldots$$

Nu vil det andet Led, og følgelig ogsaa Krumningen voxe med X, dersom man har $P'' > P_3 + P_4 + P_5 + \text{etc.}\ldots$, og den største Krumning vil finde Sted i et af Punkterne A_1 eller A_2, alt efter de forskjellige Tilfælde.

Den største Krumning vil da tilhøre et af Angrebspunkterne, og det farlige Tværsnit vil være det, for hvilket det andet Led af dette Forhold er et Maximum, hvilket altid vil være let at kjende.

Dersom man f. Ex. finder, at det er for Punktet A_3, at det andet Led har sin største Værdie, gjør man $X = l''_3$, og man vil for Ligevægtsforholdet have:

$$\frac{EI}{r}=\frac{RI}{v'}=(P''-P_4-P_5-P_6-\text{etc.}..)l''_3+P_4l''_4+P_5l''_5+P_6l''_6+\text{etc.}..,$$

og følgelig vil man kjende den Værdie af $\frac{I}{v'}$, som udfordres for Konstruktionens Stabilitet.

§ 179. *Tilfælde, hvori Kræfterne indskrænke sig til to lige Kræfter, virkende i lige Afstande fra Oplagspunkterne.* — I dette Tilfælde (Pl. III, Fig. 30) er, dersom man kalder P Lasten i ethvert af de i Afstanden l fra Underlagene beliggende Punkter, den hele Belastning 2P, og Prismerne P′ og P″ paa disse Underlag Pressionerne

$$P'=P''=\frac{Pl+P(2C-l)}{2C}=P.$$

Man udleder videre heraf for Ligevægten i hvilketsomhelst Tværsnit IK, beliggende i Afstanden X fra Punktet B:

$$\frac{EI}{r}=\frac{RI}{v'}=PX-P(X-l)=Pl.$$

Naar det andet Led af dette Forhold forbliver det samme mellem Kræfternes Angrebspunkter A_1 og A_2, følger deraf, at Krumningen i dette Mellemrum er konstant, og at Kurven er en Sirkel, hvis Radius er

$$r=\frac{EI}{Pl},$$

og Pilen for denne Bues Krumning vil blive lig Pilen til den Bue, hvis Chorde er A_1 A_2, og hvis Radius er r, følgelig lig

$$\frac{1}{4}\frac{(A_1A_2)^2}{2r}=\frac{Pl(2C-2l)^2}{8EI}.$$

Til denne Pil af Buen maa endnu føies Pilen for de to Ender, hvilke man kan betragte som Legemer be-

fæstede i A_1 eller i A_2, og hvilken, som man skal see i § 202, er $= \frac{1}{3}\frac{Pl^3}{EI}$. Totalbøiningen er altsaa

$$\frac{1}{3}\frac{Pl^3}{EI} + \frac{Pl(2C-2l)^2}{8EI}.$$

Forresten seer man letteligen ved Undersøgelsen af Ligevægtsæquationen, at denne Fordeling af Belastningen er langt gunstigere for Soliditeten, end om denne Belastning 2P virkede i Legemets Midte; ogsaa er denne Anordning meget i Brug ved Vandhjulene.

§ 180. *Tilfælde, hvori man medregner Legemets egen Vægt eller en ensformig fordelt Belastning.* — I dette Tilfælde er det let at see, at man har $P' = P'' = P + pC$, og for Ligevægtsforholdet i hvilketsomhelst Tværsnit IK, beliggende mellem Punkterne A_1 og A_2:

$$\frac{EI}{r} = \frac{RI}{v'} = P'X - P(X-l) - \frac{pX^2}{2} = Pl + \frac{pX}{2}(2C - X).$$

Da Værdien af det andet Leds Maximum aabenbart tilsvarer Midten af Legemets Længde, er det klart, at det farlige Tværsnit befinder sig paa dette Sted; man har da for dette Tværsnit $X = C$ og

$$\frac{EI}{r} = \frac{RI}{v'} = Pl + \frac{pC^2}{2}.$$

Saadan er den Formel, som kan anvendes for Axler til Vandhjul, naar man vil medregne deres egen Vægt.

§ 181. *Andre Anvendelser med Hensyn til Axler for Vandhjul.* — Vandhjulene ere almindeligvis sammensatte af Bindere eller et System af Arme, som bære de plane eller de hule Skovler, paa hvilke Vandet virker. Binderne eller Hjulringene, sædvanligen to, tre eller høist fire i Antal, ere ikke altid fordelte symmetrisk paa Axlens Længde med Hensyn til Støttepunkterne. De almindelige Betragtninger i § 178 lade sig lettelig anvende paa disse

forskjellige Tilfælde; men det vil ikke være unyttigt ligetil at vise, hvilken Følge der opstaaer ved paa denne Maade at fordele Binderne.

1ste Tilfælde, hvori Belastningen er fordelt i lige Dele i to Punkter A_1 og A^2 (Pl. III, Fig. 31), beliggende i Afstandene l og l' fra Underlagene A og B.

Man har først for Trykkene P′ og P″ paa Underlagene A og B:

$$P' = \frac{P(2C-l)+Pl'}{2C} = \frac{P.2C+P(l'-l)}{2C}$$

og

$$P'' = \frac{P(2C-l')+Pl}{2C} = \frac{P.2C-P(l'-l)}{2C}.$$

Fremdeles har man for Ligevægtsforholdet i hvilketsomhelst Tværsnit IK, beliggende mellem A_1 og A_2 i Afstanden X fra Underlagspunktet B:

$$\frac{EI}{r} = \frac{RI}{v'} = P''X - P(X-l') = (P''-P)X + Pl',$$

naar det bemærkes, at man ifølge ovenstaaende Værdie af P″ har

$$P''-P = \frac{P(l-l')}{2C} = -\frac{P(l'-l)}{2C}.$$

Har man nu $P''>P$, hvilket forudsætter $l>l'$, vil det farlige Gjennemsnit være i A_1.

Dersom man har $P''<P$, hvilket forudsætter $l<l'$, er det farlige Gjennemsnit i A_2.

I det første Tilfælde er $X = 2C - l$, og Ligevægtsæquationen bliver:

$$\frac{EI}{r} = \frac{RI}{v'} = \frac{P(l-l')}{2C}(2C-l)+Pl' = Pl - \frac{Pl(l-l')}{2C}.$$

I det andet Tilfælde er $X = l'$, og man har:

$$\frac{EI}{r} = \frac{RI}{v'} = Pl' - \frac{Pl'(l'-l)}{2C}.$$

For at sikkre Bygningens Stabilitet er det altsaa nok at beregne Værdien af det andet Led i disse Forhold, og at sætte det første Led $\frac{RI}{v'}$ lig den største af de to Værdier.

2det Tilfælde, hvor Belastningen 2P er fordelt med lige Dele paa tre Støttepunkter i lige Afstande.

Naar Betegnelserne i § 178 bibeholdes, og man gjør $P_1 = P_2 = P_3 = \frac{2P}{3}$, har man først:

$$P' = \frac{2P}{3}\frac{(l''_1 + l''_2 + l''_3)}{2C} \text{ og } P'' = \frac{2P}{3}\frac{(l'_1 + l'_2 + l'_3)}{2C},$$

og videre for Ligevægtsforholdet for et Tværsnit IK, beliggende mellem A_1 og A_2 i Afstanden X fra Støttepunktet B:

$$\frac{EI}{r} = \frac{RI}{v'} = (P'' - \tfrac{4}{3}P)X + \tfrac{2}{3}P(l''_2 + l''_3).$$

Dersom man har $P'' > \frac{4}{3}P$, hvilket gjør $l'_1 + l'_2 + l'_3 > 4C$, vil det farlige Punkt være i A_1 og svare til $X = l''_1$.

Man har da for Ligevægtsforholdet:

$$\frac{EI}{r} = \frac{RI}{v'} = \tfrac{2}{3}P\left(\frac{l'_1 + l'_2 + l'_3}{2C}\right)l''_1 - \tfrac{4}{3}Pl''_1 + \tfrac{2}{3}P(l''_2 + l''_3),$$

og paa Grund af, at $\frac{l'_1 + l'_2 + l'_3}{3} = l'_2$, og at $l''_1 - l''_2 = l''_2 - l''_3 = d$, naar man kalder d Afstanden mellem Hjulringene, bliver:

$$\frac{EI}{r} = \frac{RI}{v'} = \frac{P}{C}l''_1 l'_2 - 2Pd.$$

Dersom man derimod har $P'' < \frac{4}{3}P$, hvilket gjør $l'_1 + l'_2 + l'_3 < 4C$, vil det farlige Punkt være i A_2 og tilsvare $X = l''_2$, følgelig:

$$\frac{EI}{r} = \frac{RI}{v'} = \frac{P}{C}l''_2 l'_2 - \tfrac{2}{3}Pd.$$

Og dersom man endelig betragter det tredie Støttepunkt A_3, vil man for Ligevægten paa dette Sted have:

$$\frac{EI}{r} = \frac{RI}{v'} = \frac{P}{C} l''_3 l'_2.$$

Man maa beregne Værdien af ethvert af de andre Led i ovenstaaende Forholde og antage den største som Værdien af $\frac{RI}{v'}$.

Paa samme Maade gaaer man frem for det Tilfælde, at Belastningen skulde være fordelt i lige Dele paa fire Understøttelsespunkter.

§ 182. *Legeme, oplagt paa et Underlag og indmuret eller fastholdt ved dets anden Ende samt underkastet en Last* P, *virkende i hvilketsomhelst Punkt af dets Længde.* — Dersom man (Pl. III, Fig. 32) fremdeles kalder C Afstanden fra Underlaget til Befæstelsespunktet, C′ Vægtstangsarmen til Lasten P, saa vil den af Underlaget udøvede Reaktion Q′ ifølge de af Navier udviklede Betragtninger, men som ikke ere af den Natur, at de her kunne gjengives*), være

$$Q' = -P \frac{C'^2(3C - C')}{2C^3},$$

hvilket for det Tilfælde, at C′ er $= \frac{1}{2}C$, reduceres til $Q' = -\frac{5}{16}P$, og er blevet bekræftet ved Forsøg af Guillebon, Vei- og Bro-Ingenieur, hvilket tillader os at antage det uden Bevis.

Man vil bemærke, at man i dette Udtryk stedse har

$$C' < C, \quad \text{og følgelig} \quad Q' < P.$$

Modstanden af Underlaget vil da kunne betragtes som en Kraft, der virker franeden opad saaledes, at Un-

*) Leçons sur l'application de la Mécanique, par Navier, 1ère partie, page 235.

dersøgelsen af dette Tilfælde vil komme tilbage til det Tilfælde, at et fastholdt Legeme er underkastet Virkningen af to Kræfter i modsat Retning, hvilket er afhandlet i § 172. Ifølge de oven antagne Betegnelser, og idet man betragter hvilketsomhelst Tværsnit IK, beliggende i Afstanden X fra Underlaget, vil man altsaa have som Æquation, der angiver Ligevægten mellem de molekulære Modstande og de ydre Kræfter, Udtrykket:

$$\frac{RI}{v'} = Q'X - P(X - D) = (Q' - P)X + PD,$$

hvis Maximumsværdie aabenbart tilsvarer $X = C$.

Her, ligesom i § 172, vil man finde Inflexionspunktets Beliggenhed, naar man sætter $\frac{RI}{v'} = \frac{EI}{r} = 0$, hvilket svarer til $\frac{1}{r} = 0$, eller til ingen Krumning, og hvilket for Bestemmelsen af dette Punkt strax giver:

$$X = \frac{PD}{P - Q'} = \frac{2C^3D}{2C^3 - 3C'^2C - C'^3},$$

et Udtryk, hvori det er tilstrækkeligt at indsætte for Q' dens absolute Værdie

$$P\frac{C'^2(3C - C')}{2C^3}.$$

Krumningen vil tiltage fra dette Punkt indtil Befæstelsespunktet paa den ene Side, og paa den anden henimod det Punkt, som hviler paa Underlaget; man vil altsaa ved at sætte $X = C$ for den første Del have

$$\frac{RI}{v'} = Q'C - P(C - D);$$

og for den anden Del vil Maximumsbøiningen aabenbart tilsvare $X = D$, hvilket giver:

$$\frac{RI}{v'} = Q'D.$$

Man maa da beregne disse to Værdier og tage den største som den, der bør anvendes for at bestemme $\frac{RI}{v'}$. Forresten indsætter man for Q' dens ovenfor angivne absolute Værdie.

Dersom Legemet foruden Belastningen P skal underkastes en ensformig fordelt Last pC, vil man som Betingelse for Ligevægt mellem de ydre Kræfter og de molekulære Modstande have Forholdet:

$$\frac{RI}{v'} = Q'X - P(X-D) + \frac{pX^2}{2}, \text{ eller } \frac{RI}{v'} = P(X-D) + \frac{pX^2}{2} - Q'X,$$

i hvilket $$Q' = -\frac{PC'^2(3C-C')}{2C^3} - \frac{3}{8}PC,$$

et Udtryk, i hvilket man, da C' stedse er meget mindre end C, har Q'<P.

For Beliggenheden af Inflexionspunktet vilde man endvidere finde Betingelsen

$$Q'X - P(X-D) + \frac{pX^2}{2} = 0, \text{ hvoraf } X^2 + \frac{2(Q'-P)}{p}X + PD = 0,$$

hvoraf $$X = -\frac{Q'-P}{p} + \sqrt{\frac{(Q'-P)^2}{p^2} + PD}.$$

Men saasom man har Q'<P, og X for Spørgsmaalets Løsning ikke maa være negativ, indskrænker man sig til den positive Værdie af Rodtegnet.

Det er aabenbart, at man, idet man gaaer ud fra Inflexionspunktet, vil finde, at henimod Befæstelsen svarer den største Værdie af $\frac{RI}{v'}$ til X = C, hvilket giver

$$\frac{RI}{v'} = Q'C - P(C-D) + \frac{pC^2}{2}.$$

Og gaaer man ud fra samme Punkt henimod Underlagspunktet, svarer Maximummet af $\frac{RI}{v'}$ til X = D, hvilket giver

$$\frac{RI}{v'} = Q'D - \frac{pD^2}{2}.$$

Man vælger den største af disse to Værdier til Bestemmelsen af Legemets Dimensioner.

Men dersom man bemærker, at man i det ene eller i det andet af de Tilfælde, vi nu have undersögt, har $Q' < P$, seer man, at, naar C' er lidet forskjellig fra C, f. Ex. lig $\frac{3}{4}C$, vil man have $Q' = 0{,}633P$; man vil da med Sikkerhed kunne beregne Dimensionerne i Hypothesen $Q' = P$, hvilket meget forsimpler Formlerne, og giver ligefrem

$$\frac{RI}{v'} = PD$$

for det Tilfælde, hvor man ikke tager den ensformig fordelte Belastning i Betragtning, og

$$\frac{RI}{v'} = PD + \frac{pD^2}{2},$$

naar man tager denne med i Regningen.

Dette Tilfælde fremstiller sig undertiden i Krudtmagasiner og i Artillerielokaler, hvor Bjælker af et eneste Stykke, indlagte i Murene eller hvilende paa Konsoler og understøttede i deres Midte af Stændere, ikke kunne betragtes som befæstede i deres Ender, men alene i deres Midte ved Virkningen af de der tilstedeværende Stændere.

LEGEMER AF LIGE MODSTAND.

§ 183. *Legemer, som i alle deres Tværsnit frembyde lige Modstand.* — Forholdet $\frac{M}{R} = \frac{I}{v'}$ i § 133, som udtrykker, at Resultatet af Divisionen af de ydre Kræfters Moment i Henseende til det Tværsnit, man behandler, med den største Kraft, som man med Sikkerhed kan underkaste den mest forlængrede eller den mest forkortede Fiber, maa

være lig Tværsnittets Inertiemoment med Hensyn til Axen for de uforanderlige Fibrer, divideret med den største Ordinat af Profilet, regnet fra denne Axe, bliver, ligesom man har seet i det Tilfælde, hvor der kun er en eneste Kraft P, virkende i en Afstand X fra Tværsnittet og parallelt med dettes Plan:

$$\frac{PX}{R} = \frac{I}{v'}, \text{ hvoraf } \frac{P}{R} = \frac{I}{v'X}.$$

Under denne Form seer man strax, at for en given Materie, for hvilken R er bekjendt, vil Kraften P, som hvilketsomhelst Tværsnit kan udholde, være konstant, dersom det andet Led $\frac{I}{v'X}$ for alle Tværsnit har den samme Værdie.

Saaledes har man f. Ex. for et rektangulært Tværsnit (§ 142) med Bredde a og Høide b, $\frac{I}{v'} = \frac{1}{6}ab^2$ eller $\frac{1}{6}ay^2$ for hvilketsomhelst Snit, hvis Høide er y. Dersom nu Legemets Længdeprofil overalt har den samme Bredde a, og dersom Høiden y varierer paa den Maade, at man altid har $y^2 = 2kx$, hvilket indtræffer for det paraboliske Profil, saa vil man have

$$\frac{P}{R} = \frac{I}{v'X} = \frac{ay^2}{6X} = \frac{1}{3}ka,$$

en konstant Værdie, som angiver, at Legemet overalt frembyder den samme Modstand mod den ydre Kraft P.

Forresten vil man lettelig kunne bestemme Tallet k, naar man er opmærksom paa, at for Tværsnittet ved Befæstelsen er Høiden $y = b$ bestemt ved Forholdet $PC = \frac{1}{6}Rab^2$, i hvilket P, C, R og a ere bekjendte, naar Legemets Bredde er givet; dette fører endvidere til Værdien for $k = \frac{b^2}{2C}$, naar b og C her have de relative Værdier med Hensyn til Tværsnittet i Befæstelsen. Fremdeles udleder man heraf for Æquationen til Kurven af Profilet efter Længden

$$y^2 = 2kx = \frac{b^2}{C}x,$$

en Formel, i hvilken x betegner Kurvens Abscisse til Profilet, regnet fra Angrebspunktet for Kraften P, og y Kurvens Ordinat; saadan er Formlen, som tilsvarer et Profil, begrændset for den ene Del af en parabolisk Gren og for den anden af Axen til denne Kurve; Legemets Modstand vilde blive fordoblet og altid konstant, dersom Profilet var begrændset af Parabolens begge Grene, fordi ethvert Tværsnit da vilde være dobbelt saa stort, som det oprindeligt var.

Dersom man derimod antog b konstant og gjorde $a = C$ for Tværsnittet i Befæstelsen, og $a = x$ i alle de øvrige, hvilket vilde give Legemets horizontale Projektion Formen af en Triangel, hvis Basis vilde være lig med Høiden, skulde man have:

$$\frac{P}{R} = \frac{I}{v'C'} = \frac{\frac{1}{6}ab^2}{C} = \frac{1}{6}b^2,$$

hvilket tilsteder at gjøre Konsoler med lige Modstand af flade Stene, eller af Legemer med eens Tykkelse.

Man seer forresten, at der endnu kunde fastsættes andre Forhold mellem Størrelserne a, b og C til Opfyldelse af den Betingelse, at alle Tværsnit bleve af lige Modstand.

§ 184. *Legemer af lige Modstand med sirkulært Tværsnit.* — I dette Tilfælde har man (§ 151):

$$I = \tfrac{1}{4}\pi R'^4, \qquad v' = R',$$

følgelig

$$\frac{P}{R} = \frac{I}{v'X} = \tfrac{1}{4}\frac{\pi R'^3}{X}.$$

Man gjør altsaa det andet Led konstant, naar man mellem Radien til Legemets Tværsnit og Afstanden fra det betragtede Tværsnit til Retningen af Kraften P fastsætter Forholdet:

$$R'^3 = 2kX,$$

hvilket giver $$\frac{P}{R} = \tfrac{1}{2}\pi k,$$

$2k$ værende et konstant Tal, som man her endnu lettelig bestemmer, naar det iagttages, at for Tværsnittet i Befæstelsen er C bekjendt og R′ bestemt ved Forholdet $\frac{P}{R} = \frac{1}{4}\frac{R'^3}{C}\pi$, hvilket giver $2k = \frac{R'^3}{C} = \frac{4P}{\pi R}$, og følgelig $y^3 = \frac{R'^3}{C}x$, naar man her ogsaa betegner Kurvens Abscisser med x, maalte i Retningen af Legemets Axe, at regne fra Angrebspunktet for Kraften P, og med y Radierne af de tilsvarende Tværsnit.

§ 185. ***Tilfælde, hvori Legemet kun er underkastet en ensformig fordelt Belastning, virkende perpendikulær paa dets Længde.*** — Det almindelige Udtryk indskrænker sig da til:

$$\frac{RI}{v'} = \tfrac{1}{2}pC^2,$$

og man seer, at Legemet vil være af lige Modstand i alle dets Tværsnit, naar man opfylder den Betingelse, at $\frac{1}{2}\frac{p}{R} = \frac{I}{v'C^2}$ er en konstant Størrelse.

Dersom Spørgsmaalet f. Ex. er om et Legeme med rektangulært Tværsnit, for hvilket $\frac{I}{v'} = \frac{1}{6}ab^2$, og dersom man antager a konstant, saa opfyldes ovenanførte Betingelse ved at gjøre $b^2 = 2kC^2$, og saasom C er givet for Tværsnittet i Befæstelsen, og b vil blive bestemt ved Betingelsen:

$$\tfrac{1}{6}\frac{ab^2}{C^2} = \tfrac{1}{2}\frac{p}{R} \text{ eller } b^2 = \frac{3pC^3}{R},$$

vil man mellem Ordinaterne y og Abscisserne til Legemets Længdeprofil have Forbindelsen

$$y^2 = 2kx^2 = \frac{b^2}{C^2}x^2, \text{ eller } y = \frac{b}{C}x,$$

hvilket er Ligningen for en ret Linie (Pl. IV, Fig. 1), som gjør med Legemets øvre Flade, der er antaget horizontal, en Vinkel, hvis trigonometriske Tangent er $\frac{b}{C}$.

Dette er den Form, som anvendes for Konsoler under Balkoner, hvis Belastning kan betragtes ensformig fordelt, naar de ere aldeles opfyldte med et stort Antal Personer.

Vi komme senere tilbage til denne Betragtning over Legemerne af lige Modstand, naar der skal handles om Formerne og de brugelige Proportioner, og vi indskrænke os for Øieblikket til det, der her er anført derom, idet vi gjentage, at Betingelsen for Bestandigheden af Forholdet $\frac{I}{v'C}$ kan tilfredsstilles paa forskjellige Maader, imellem hvilke det er hensigtsmæssigst at vælge dem, som ifølge de anvendende Materialiers Natur paa engang ere de simpleste og hensigtsmæssigste.

§ 186. *Tilfælde, hvori det er nödvendigt at beregne forskjellige Tværsnit.* — Naar Legemet derimod fremstiller saadanne Former, at Forholdet $\frac{I}{v'}$ vilde være foranderligt, maa man ved at anvende Beregningen paa forskjellige Tværsnit forsikkre sig om, at de alle tilfredsstille Ligevægtsbetingelsen

$$\frac{P}{R} = \frac{I}{v'C},$$

og forstærke dem, som ikke ere tilfredsstillende, ved at forøge Inertiemomentet I.

OM DEN ELASTISKE KURVE OG BØININGERNES UDSTRÆKNING.

§ 187. *Den elastiske Kurves Tegning.* — Man kalder elastisk Kurve den Krumning, som antages af et Legeme, der er underkastet Virkningen af en eller forskjellige Kræfter, som bringe det til at bøie sig, uden at det for-

andrer sin Elasticitet. Dersom man nu henholder sig til Forbindelsen i § 132 mellem de ydre Kraftmomenter og de molekulære Modstande:

$$\frac{EI}{r} = Pp + Qq + \text{etc.} \ldots = M,$$

uddrages deraf for Værdien af Krumningsradien i hvilketsomhelst Punkt af Legemets Længde

$$r = \frac{EI}{Pp + Qq + \text{etc.} \ldots} = \frac{EI}{M}.$$

Dersom Spørgsmaalet er om en vertikal Belastning P, virkende nedenfra opad i Enden af et horizontalt Legeme af Længde C, og en ensformig fordelt Belastning, virkende over hele Længden i modsat Retning med p Kilogrammer pr. løbende Meter, saa vilde man for Befæstelsespunktet have $M = pC - \frac{1}{2}pC^2$, saaledes som vi have nøiet os med at fastsætte i § 169. Tangenten til Befæstelsespunktet vil da forblive horizontal.

For ethvert Punkt kan man beregne Værdien af Inertiemomentet I for Legemets tilsvarende Tværsnit og Summen $Pp + Qq + \text{etc.} \ldots$ af de ydre Kræfters Momenter med Hensyn til dette Tværsnits Plan; deraf udleder man da Værdien for Krumningsradien, og man kan ved Hjælp af disse Værdier for denne Radius efterhaanden opridse Kurven.

For at gjøre Anvendelsen af denne Methode, der skyldes Poncelet, mere forstaaelig ville vi (Pl. IV, Fig. 2) antage, at der handles om et prismatisk eller sylindrisk Legeme med konstant Tværsnit. Inertiemomentet I af dette Tværsnit vil være konstant, og dersom Legemet kun er underkastet Virkningen af en eneste Kraft P, der yttrer sig i Afstanden C fra Befæstelsespunktet A, vil man strax have Krumningsradien for den elastiske Krumning i dette Punkt ved Forbindelsen:

$$r = \frac{EI}{PC}.$$

Centret for Krumningen befinder sig i o i Forlængringen af Befæstelsens Tværsnit i en Afstand $Ao = r = \frac{EI}{PC}$; man beskriver fra o som Centrum en Sirkelbue AA', hvilken man f. Ex. giver en Aabning af 1 til 2°.

Kaldende videre C' Afstanden fra Punktet A' til Retningen af Kraften P, udleder man deraf $r = \frac{EI}{PC} = A'C'$, og man vil i o' finde Centret for Krumningen, svarende til Tværsnittet i A' i Forlængringen af $A'o$.

Man giver denne nye Bue en Aabning af 1 til 2° og vedbliver saaledes at optegne en Serie af Sirkelbuer, som tilsammentagne ville give Udviklingen af den søgte Kurve, der ender sig ved Sammenstødet af en af Sirkelbuerne med Retningen af Kraften P.

Det kan hende, at Krumningsradierne blive saa store, at det bliver meget vanskeligt at anvende dem til Kurvens Tegning. Man erstatter dette, naar det (§ 126) bemærkes, at Krumningsradien er lig $r = \frac{s}{e}$, idet s er en Elementærbue, og e Buen til en Radius lig med Enheden, som maaler Vinklen mellem de to paa hinanden følgende Elementer af Kurven, eller Vinklen mellem deres Tangenter, som man kalder Berøringsvinklen; denne Forbindelse giver: $s = re = \frac{EI}{PC'} \cdot e$ for Tværsnittet i Afstanden C' fra Retningen af Kraften P; gjør man $e = \frac{2^\circ}{360} \times 6{,}2832$ $= 0^m{,}025$, hvilket svarer til en Vinkel af 2°, og indsætter man denne Værdie i Udtrykket for s, udleder man deraf Buens Længde, som svarer til enhver Værdie af C'.

Efter altsaa at have beregnet de første Krumningsradier og, dersom de ere korte nok, tegnet de første Buer forlænger man den sidst erholdte Bue ved dens Tangent $A'A''p'$ f. Ex. Man gjør paa Krumningssiden en Vinkel $p''A''p' = 2^\circ$ med denne Tangent, og paa Linien $p''A''$

afsætter man en Længde A″A‴ lig med Værdien af $\frac{EI}{PC'''} \cdot e$, udledet af foranstaaende Formel.

Denne Methode vil i ethvert Tilfælde, hvori Bøiningerne ikke overskride Grændserne for Elasticiteten, give Formen af den elastiske Kurve med en for Praxis tilstrækkelig Tilnærmelse.

§ 188. *Tilfælde, hvori den elastiske Kurve er en Sirkelbue.* — Dersom det prismatiske eller sylindriske Legeme er paavirket af to lige og parallele, men i modsat Retning anbragte Kræfter (Pl. IV, Fig. 3), hvilket man kalder et Kobbel (couple), havende med Hensyn til Tværsnittet i Befæstelsen Vægtstangsarmene C og C′, reducerer Momenternes Sum sig til $PC - PC' = P(C - C') = PD$, naar man kalder D Afstanden mellem Retningerne af de to parallele Kræfter. Da er for hvilketsomhelst Punkt af Legemet, som man behandler, mellem A og D, Værdien af Krumningsradien

$$r = \frac{EI}{PD}$$

konstant, og den elastiske Kurve er for dette Mellemrum en Sirkel, let at beskrive.

§ 189. *Tilfælde, hvori Legemets Krumning er bestemt ved en Model (Gabarit), over hvilken man vil böie det.* — I Skibskonstruktioner, i Vognmageriet, i Tømmerværksbuer af krummet Træ etc. maa man undertiden lade Trædelene antage tvungne Former, og det er godt at vide, hvorledes man beregner den Kraft, som udfordres saavel for at bøie dem, som for at bibeholde dem i Bøiningen. Denne Kraft er for ethvert Tilfælde givet ved Formlen:

$$P = \frac{EI}{r.C} = \frac{EI.e}{s.C},$$

i hvilken de forskjellige Bogstaver have den samme Betegnelse som i det Foregaaende.

I lignende Tilfælde har Legemet en meget større Længde end Malerne, og eftersom det krummes, befæster man det med Strikker, Nagler, Bolte eller Skruer, Alt ifølge Konstruktionens Natur. Ethvert fastgjort Punkt bliver et Befæstelsespunkt, og man seer, at den Kraft, som maa anvendes i Enden af Legemet, bliver større, alt eftersom man nærmer sig Enden af Malen. Det er herfor, at Legemer af dette Slags overhoved maae være meget solid befæstede i deres Ender paa Malerne, paa Stændere, paa Indfatninger etc., mod hvilke de skulle anslutte sig.

§ 190. *Bestemmelse af Krumningspilene.* — Det er i mange Tilfælde ikke nok alene at anordne Belastningerne eller Legemernes Dimensioner paa den Maade, at de ikke lide permanent Forandring i deres Elasticitet; men det er desuden nødvendigt at kjende og at holde de Bøininger, som de kunne antage, inden passende Grændser for den Tjeneste, de skulle yde.

Dersom man erindrer, at i Bygværkerne ere, og maae altid de Bøininger, som Legemerne antage, være meget svage, saa vil man kunne beregne dem ved Hjælp af følgende Betragtninger, laante af Poncelet.

I Pl. IV, Fig. 4 være C*b* Tangenten til hvilketsomhelst Punkt C af den elastiske Kurve og C′*b*′ den Tangent, som svarer til et uendelig nær beliggende Punkt C′. AB′ være Længden af Legemet, antaget ret førend Bøiningen, og lader os tegne Evoluten B′*bb*′B af den elastiske Kurve. Tangenterne C*b* og C′*b*′, begrændsede til denne Kurve, ville respektive være lige af Længde med Buerne CB og C′B af Elastiken. Naar Legemet er kommet i Stillingen ACB, vil dets Totalbøining blive maalt ved BD′, og naar dens Ende gaaer forbi Stillingen *b* til den uendelig nær derved værende *b*′, vil Elementærbøiningen eller den gjennemløbne Vei i Retningen af den vertikale Kraft P blive maalt ved Projektionen *b*′*a* af Buen *bb*′ paa Vertikalen. Nu kan denne Elementærbue *bb*′ af

Evoluten betragtes som en Sirkelbue, beskrevet fra Centret C med Radius Cb og lig med $S \times o$, naar man kalder S Buen CB af Elastiken og o Vinklen mellem de to paa hverandre følgende Tangenter Cb og $C'b'$, eller Buen af en Radius lig Enheden, som maaler den; og saasom Elementærbuen af Elastiken CC′ eller $s = ro$, har man $bb' = \frac{Ss}{r}$.

Paa den anden Side er Projektionen CD af Buen CB, trukket paa Horizontalen gjennem Punktet C, Vægtstangsarmen for den ydre Kraft P, og Projektionen CE af Buen CC′ paa den samme Horizontal er den elementære Variation x af denne Vægtstangsarm.

Dette forudsat, viser Figuren, at den retvinklede Triangel CC′E og Trianglen abb' ere ligedannede, hvilket leder til Proportionen

$$CC' \text{ eller } s : CE \text{ eller } x = bb' \text{ eller } \frac{Ss}{r} : ab',$$

hvoraf
$$ab' = \frac{Sx}{r} = \frac{P}{EI} \cdot SXx,$$

fordi
$$r = \frac{EI}{PX}.$$

I Tilfælde, hvor Bøiningerne ere meget svage, saaledes som det er nødvendigt i næsten alle Bygværker, differerer Totalbuen S af Elastiken meget lidet fra dens horizontale Projektion X, og ovenstaaende Udtryk kommer tilbage til

$$ab' = \frac{P}{EI} X^2 x.$$

Saadan er Udtrykket for den elementære Krumningspil til en uendelig liden angulær Bøining. Summen af alle lignende Størrelser vil give den totale Pil BD′, som vi ville kalde f.

Betragter man nu X som Ordinat til en Linie, der har en Helding af 45° (Pl. IV, Fig. 5) til Ab-

scissernes Axe, er det let at see, at Xx vil være Overfladen af et elementært Lag, beliggende mellem to Ordinater i Afstanden x, og Produktet $Xx \times X = X^2x$ vil selv ikke være Andet end Momentet af denne Overflade med Hensyn til Trianglens Spids, eller med Hensyn til en Linie parallel med Laget, trukket gjennem Spidsen. Altsaa vil Summen af alle lignende Produkter være lig med Overfladen af Trianglen $\frac{1}{2}X^2$, multipliceret med Afstanden $\frac{2}{3}X$ af dens Tyngdepunkt fra Spidsen, og saaledes lig $\frac{1}{3}X^3$. Endelig vil altsaa den totale Krumningspil, taget for Delen BC af Legemet, være $f = \frac{P}{EI}\frac{1}{3}X^3$, og dersom man tager Pilen for den hele Længde — at regne fra Befæstelsespunktet, for hvilket man gjør $X = C$, — eller Legemets Længde førend Bøiningen istedetfor at tage dets Projektion efter den, hvilket næsten vil ophæve Feilen, som opstod ved foranstaaende Substitution af X for S, saa erholdes den ved Formlen

$$f = \frac{1}{3}\frac{PC^3}{EI}.$$

Denne Formel viser ifølge de foranstaaende theoretiske Betragtninger, at Krumningspilen til et prismatisk eller sylindrisk Legeme, fastholdt ved dets ene Ende og paavirket i den anden af en Kraft P perpendikulær paa dets Længde, er:

1. proportional med P;
2. proportional med Kubussen af Vægtstangsarmen til denne Kraft;
3. i omvendt Forhold med Værdien af Elasticitetskoefficienten;
4. i omvendt Forhold med Inertiemomentet af Legemets Tværsnit.

§ 191. *Særegent Tilfælde, hvori Legemets Tværsnit er et Rektangel, hvis Bredde er* a, *og hvis Tykkelse i Retningen af Kraften* P *er* b. — Man har seet (§ 142), at i

dette Tilfælde havde man $I = \frac{1}{12} ab^3$. Man udleder deraf

$$f = \frac{4P}{Eab^3} C^3,$$

hvilket viser, at Bøiningerne af Legemer med denne Form voxe i omvendt Forhold med Kubussen af Tykkelsen b, og angiver den hele Fordel af at forøge denne Dimension, idet man forresten beholder den samme Værdie for Overfladen ab af Tværsnittet, og som Følge heraf for Volumet af den anvendte Materie.

§ 192. *Sammenligning mellem Böiningerne af to Legemer med forskjellige rektangulære Tværsnit.* — Dersom vi anvende Formlen $f = \frac{4P}{E} \cdot \frac{C^3}{ab^3}$ paa et andet Legeme med lignende Tværsnit, men forskjellige Dimensioner $a'b'$, saa vil man have

$$f' = \frac{4P}{E} \cdot \frac{C^3}{a'b'^3}$$

saaledes, at Bøiningerne af disse to Legemer have følgende indbyrdes Forhold:

$$\frac{f}{f'} = \frac{a'b'^3}{ab^3};$$

og for at de kunne blive lige maa man have

$$a'b'^3 = ab^3 \quad \text{eller} \quad \frac{b'^3}{b^3} = \frac{a}{a'},$$

hvilket antyder, at, for at to fastholdte Legemer af eens Længde kunne antage den samme Bøining under den samme Kraft, maae deres horizontale Bredder staae i omvendt Forhold med Kubusserne af deres Tykkelser eller Høider.

§ 193. *Praktiske Formler.* — Indsætter man i ovenstaaende Formel de i Tabellen i § 44 for forskjellige Materialier

angivne Værdier af Elasticitetskoefficienten E, finder man for de praktiske Formler, som give Bøiningen af et Legeme, der er fastgjort i dets ene Ende og i den anden paavirket af en Kraft P, som virker perpendikulær paa dets Længde:

	i fransk metrisk Maal og Vægt:	i norsk Maal og Vægt:
for Støbejern	$f = \frac{PC^3}{3000000000\,ab^3}$,	$f = \frac{PC^3}{4110000\,ab^3}$,
„ Smedejern	$f = \frac{PC^3}{5000000000\,ab^3}$,	$f = \frac{PC^3}{6850000\,ab^3}$,
„ Egetræ	$f = \frac{PC^3}{300000000\,ab^3}$,	$f = \frac{PC^3}{411000\,ab^3}$,
„ Støbestaal	$f = \frac{PC^3}{7500000000\,ab^3}$,	$f = \frac{PC^3}{10275000\,ab^3}$,
„ tydsk Staal	$f = \frac{PC^3}{5250000000\,ab^3}$,	$f = \frac{PC^3}{7192500\,ab^3}$.

§ 194. *Sylindriske Legemer med sirkulært Tværsnit.* — I dette Tilfælde har man $I = 0{,}0491\,D^4$, og Formlen $f = \frac{1}{3}\frac{PC^3}{EI}$ bliver:

$$f = \frac{1}{3}\frac{PC^3}{0{,}0491\,D^4E} = \frac{PC^3}{E.0{,}147D^4}.$$

Naar der i denne Formel indsættes for Elasticitetskoefficienten E de i Tabellen i § 44 givne Værdier, blive de praktiske Formler:

for Støbejern	$f = \frac{PC^3}{1764000000\,D^4}$,	$f = \frac{PC^3}{2416680\,D^4}$,
„ Smedejern	$f = \frac{PC^3}{2940000000\,D^4}$,	$f = \frac{PC^3}{4027800\,D^4}$,
„ Træ	$f = \frac{PC^3}{176400000\,D^4}$,	$f = \frac{PC^3}{241668\,D^4}$.

§ 195. *Udvidelse af foregaaende Betragtninger til almindelige Tilfælde.* — Man maa bemærke, at Forbindelsen $ab' = \frac{Sx}{r}$ kun er en geometrisk Følge af Bøiningen,

af Forandringen i Legemernes Form, og at Sx i dette Udtryk er aldeles uafhængig af den Krafts eller de Kræfters Stilling, som frembringe denne Bøining. Størrelsen r eller Krumningsradien i hvert Punkt afhænger alene af disse Kræfter, og man veed, at man for alle Ligevægtsstillinger mellem de molekulære Modstande og de ydre Kræfter har den almindelige Forbindelse:

$$\frac{EI}{r} = Pp + Qq + \text{etc.}\ldots, \text{ hvoraf man har } \frac{1}{r} = \frac{Pp + Qq + \text{etc.}\ldots}{EI}$$

Dersom Legemet altsaa er paavirket af hvilkesomhelst Kræfter P, Q etc..., der virke med Vægtstangsarmene p, q etc..., med Hensyn til det Tværsnit, som betragtes, vil man ifølge det, som er sagt i § 132, have for Værdien af r:

$$r = \frac{EI}{Pp + Qq + \text{etc.}\ldots},$$

hvilket giver $$ab' = \frac{Pp + Qq + \text{etc.}\ldots}{EI} Sx,$$

og for en meget liden Bøining, underforstaaet, at meget nær $S = X$:

$$ab' = \frac{Pp + Qq + \text{etc.}\ldots}{EI} Xx.$$

Ifølge Retningen og Beliggenheden af Kræfterne P, Q, etc... vil man kunne udtrykke deres Vægtstangsarme som Funktion af X, og da vil Geometrien give, ligesom for det simple Tilfælde, som vi just have behandlet, Værdien af Elementærbøiningernes Sum analoge med ab', eller den hele Pil.

§ 196. *Observationer med Hensyn til Legemer af lige Modstand.* — Man har seet (§ 183), at Legemer af lige Modstand vare de, for hvilke Quotienten $\frac{I}{v'C}$ var konstant, og at, naar f. Ex. deres Tværsnit var rektangulært, førte

denne Betingelse tilbage paa at give Profilet efter Længden en saadan Form, at man i hvert Tværsnit altid havde $\frac{b^2}{C} = \frac{y^2}{X}$.

I dette Tilfælde er Inertiemomentet af hvilketsomhelst Tværsnit med Bredde a og Høide y, $\frac{1}{12} a y^3$, og Udtrykket for den elementære Bøining bliver:

$$ab' = \frac{P}{EI} X^2 x = \frac{12P}{Ea} \cdot \frac{X^2 x}{y^3}.$$

Nu har man

$$y^2 = \frac{b^2}{C} X, \text{ hvoraf } y = \frac{b}{\sqrt{C}} \sqrt{X} \text{ og } y^3 = \frac{b^3}{(\sqrt{C})^3} (\sqrt{X})^3,$$

hvilket giver:

$$ab' = \frac{12P\sqrt{C^3}}{Eab^3} \cdot \frac{X^2 x}{X^{\frac{3}{2}}} = \frac{12P\sqrt{C^3}}{Eab^3} \cdot X^{\frac{1}{2}} x.$$

Men dersom man sætter $X = Z^2$, udleder man deraf lettelig, for den elementære Forandring x af X, Værdien $x = 2Zz$, saasom det, naar Z^2 er Overfladen af et Quadrat, hvis Side er Z, er let at see, at, naar denne Side forøges om den uendelig lille Størrelse z, vil Quadratets Overflade forøges med to lige Rektangler, hvis Sider ogsaa respektive ere lige med Z og z, og hvis Overflader ere lige med Zz plus et lille Quadrat z^2, hvilket kan sættes ud af Betragtning, naar man forudsætter, at dets Basis og Høide ere to uendelig smaae Størrelser. Variationen af Quadratet Z^2 eller af X er altsaa $x = 2Zz$.

Ved Hjælp af denne Forvandling bliver da Værdien af Legemets elementære Bøining:

$$ab' = \frac{12P\sqrt{C^3}}{Eab^3} 2Z^2 z.$$

Og for den totale Bøining, som er Summen af alle ensdannede elementære Bøininger, vil man, efter hvad man

af det Foregaaende har seet, og antagende, at man tager Bøiningen fra det befæstede Tværsnit, have:

$$f = \frac{12P\sqrt{C^3}}{Eab^3}\cdot\frac{2}{3}Z^3 = \frac{12P\sqrt{C^3}}{Eab^3}\cdot\frac{2}{3}(\sqrt{C})^3 = \frac{8PC^3}{Eab^3},$$

det vil sige det Dobbelte af den Bøining, regnet fra Befæstelsen af, som et Prisma vilde antage under den samme Kraft og med den samme Længde samt af samme Bredde, men af ensformig Tykkelse eller Høide.

Denne Egenskab hos Legemer af lige Modstand, at antage dobbelt saa store Bøininger som de prismatiske Legemer af samme Dimensioner i Befæstelsesdelen, kan være til Hinder, naar man vil, at den Ende, som paavirkes af den ydre Kraft P, meget lidet skal forandre Sted eller bøie sig. Men dersom der handles om Fjedre, og især om Fjederpladerne i Dynamometre, frembyder den Fordelen af at kunne give Instrumentet en dobbelt saa stor Følsomhed, idet man derhos bibeholder den samme Styrke, som om Legemet overalt havde havt det samme Tværsnit som ved Befæstelsen.

§ 197. *Stadfæstelse af foregaaende Formel ved Erfaring.* — Anvendelsen af Formlen:

$$f = \frac{8PC^3}{Eab^3},$$

som jeg ofte har havt Anledning til at benytte ved Konstruktionen af Fjederplader til Dynamometre, yder en Stadfæstelse paa denne Formels Nøiagtighed mellem meget udvidede Grændser (see: La description des appareils dynamométriques n° 2 et suiv.).

Disse Fjederpladers Thara, eller Iagttagelsen af Bøiningerne, der svare til forskjellige Belastninger P, viser strax, at Bøiningerne ere proportionale med Belastningerne, saalænge de ikke overskride $\frac{1}{9}$ eller $\frac{1}{10}$ af Længden C. Ved frem-

deles ved forskjellige Plader at iagttage de samtidige Værdier af Belastningerne og Bøiningerne og ved at indføre disse saavelsom Dimensionerne *a* og *b* i Formlen har man deraf hver Gang kunnet udlede Værdien af Elasticitetskoefficienten E for enhver af dem.

Naar de sammenlignede Plader vare gjorte af Staal af samme Qualitet, som sædvanlig var det, der kaldes „tydsk Staal med tre Mærker", har Bestandigheden af Værdierne for E ydet Stadfæstelse paa Formlens Nøiagtighed.

Den følgende Tabel indeholder Resultaterne af den Anvendelse, som vi just have angivet, af foranstaaende Formel paa Plader af tydsk Staal, ligesom Dimensionerne og Forholdet af Bøiningerne til Belastningerne. Man seer der, at dette Forhold, og at Elasticitetskoefficienten ere mærkelig konstante, naar man tager Hensyn til de temmelig betydelige Forskjelligheder, som Hærdningsgraden, gjentagne Glødninger og selve Staalets Qualitet kunde have frembragt hos dem.

Pladernes Maximums-Kraft.	Pladernes Bredde *a*.	Længden af enhver Gren C.	Pladernes Tykkelse i den befæstede Del.	Tilvext i Bøining for 10 Kilogrammers Belastning.	Værdie af Elasticitetskoefficienten E.
	Meter	Meter	Meter	Meter	Kilogrammer
200	0,040	0,250	0,0079	0,00284	22 317 700 000
200	0,040	0,250	0,0079	0,00311	20 380 200 000
250	0,040	0,350	0,0115	0,00285	19 527 300 000
300	0,040	0,411	0,0147	0,00265	16 495 200 000
520	0,040	0,350	0,0145	0,00134	20 990 600 000
570	0,040	0,350	0,0160	0,00105	19 938 100 000
1000	0,050	0,500	0,0211	0,00097	21 948 800 000
1000	0,050	0,500	0,0211	0,00100	21 290 300 000
1000	0,050	0,500	0,0211	0,00103	20 668 500 000
				Middeltal . .	20 858 900 000

§ 198. *Anvendt Arbeide for at frembringe en angiven Bøining.* — Ifølge hvad man har seet, varierer under Bøiningen den Kraft P, som er nødvendig for at frembringe den, med selve Bøiningen, og man har for at be-

stemme den i ethvert Øieblik, — idet man betegner samme med P′, Forbindelsen:

$$P' = \frac{3EI}{C^3} \cdot F,$$

og, naar man kalder f den elementære Variation af Bøiningen eller den gjennemløbne Vei af Kraften P′s Angrebspunkt i Retningen af denne Kraft, vil Arbeidet, som den udvikler, være:

$$P'f = \frac{3EI}{C^3} \cdot Ff.$$

Det hele Arbeide, svarende til en Bøining F_1, at regne fra Bøiningen Nul, vil da, idet man betegner det med T_f, være:

$$T_f = \tfrac{3}{2} \frac{EI}{C^3} \cdot F_1^{\,2};$$

og saasom man for den totale Bøining, frembragt ved en Kraft P, forresten har:

$$F_1 = \tfrac{1}{3} \frac{P}{EI} \cdot C^3,$$

udleder man deraf:

$$T_f = \tfrac{3}{2} \frac{EI}{C^3} \times \tfrac{1}{9} \frac{P^2}{(EI)^2} C^6 = \tfrac{1}{6} \frac{P^2 C^3}{EI}.$$

Dersom nu Kraften P var udøvet af en Vægt, som overladt til sig selv vilde være sunket gjennem Høiden F_1, vilde Tyngden have udviklet paa dette Legeme en Arbeidsmængde, udtrykt ved:

$$PF_1 = \tfrac{1}{3} \frac{P^2 C^3}{EI},$$

det Dobbelte af den, som skyldes Legemets molekulære Modstande mod Bøining.

Af denne Legemernes Bøining, — fordi de molekulære Modstande kun forbruge Halvparten af det Arbeide, som

udvikles af Tyngden, og som svarer til deres Ligevægtsbøining, — følger, at den anden Halvdel af dette Arbeide frembringer en Paaskyndelse af Bøiningsbevægelsen, at Legemet opnaaer denne Ligevægtsstilling med en levende Kraft, og at det som Følge heraf overskrider den. Denne Bevægelse tilintetgjøres efterhaanden ved en Række af Svingninger; men saasom der heraf følger en betydelig Tilvæxt i den øieblikkelige Bøining, viser denne Iagttagelse, hvor magtpaaliggende det i lignende Tilfælde er at begrændse Belastningerne saaledes, at Bøiningerne ikke under disse Svingninger opnaae Grændser, som vilde forandre Elasticiteten.

§ 199. *Tilfælde, hvori Legemernes Tværprofil ikke er konstant.* — Lignende Betragtninger vilde ogsaa tillade at beregne Totalbøiningen af et Legeme, hvis Tværsnit, og følgelig Inertiemomentet I, forandrer sig samtidigt med dette Tværsnits Afstand X fra Befæstelsespunktet. De bekjendte Methoder for Quadratur, og især deleshed den af Hr. Simpson, tillade nøiagtig eller tilnærmelsesvis at bestemme denne Størrelse.

§ 200. *Bøining af et horizontalt Prisma, befæstet i den ene Ende og underkastet en ensformig fordelt Belastning og en Belastning, som virker i dets anden Ende.* — I dette Tilfælde, dersom man vedbliver at ræsonnere som i § 190, og naar man kalder p Belastningen pr. løbende Meter (for norsk Maal og Vægt pr. løbende Tomme), er det klart, at Summen af Momenterne af de forskjellige Dele af den ensformig fordelte Belastning vil være Summen af Produkterne $px \times X$ eller pXx, idet der stedse antages, at der kun handles om smaae Bøininger, hvilket tilsteder at substituere for de elementære Buer deres Projektioner paa Legemets oprindelige Retning; denne Sum, som vi have lært at beregne, er lig $\frac{1}{2}pX^2$.

Ligevægtsforholdet mellem de molekulære Modstande og de ydre Kræfter for et Tværsnit, gjort i C, vil da være:

$$\frac{EI}{r} = PX + \tfrac{1}{2}pX^2, \text{ hvoraf } \frac{1}{r} = \frac{1}{EI}(PX + \tfrac{1}{2}pX^2).$$

Følgelig har den elementære Bøining $ab' = \frac{Sx}{r}$ til Værdie — idet man fremdeles sætter for S dens approximative Værdie X —:

$$ab' = \frac{Sx}{r} = \frac{1}{EI}(PX^2x + \tfrac{1}{2}pX^3x),$$

og den totale Bøining f vil være Summen af alle disse elementære Bøininger. Man veed, at Summen af Produkterne analoge med X^2x fra $X = 0$ indtil $X = C$ er $\frac{1}{3}X^3$, og det er let at see, at Summen af Produkterne X^3x mellem de samme Grændser er $\frac{1}{4}X^4$.

Virkelig, dersom man (Pl. IV, Fig. 6) betragter en Pyramide med quadratisk Basis, hvis Høide CD være lig med Siden AB af Basen, saa vil et Elementærlag af denne Pyramide, hvis Side er X, have til Volumen X^2x, og Produktet $X^3x = X^2xX$ vil udtrykke Momentet af dette Lag med Hensyn til et Plan parallelt med Basen og gaaende gjennem Spidsen. Summen af alle disse Produkter eller Momenter vil da være lig med Pyramidens Volumen $\frac{1}{3}X^3$, multipliceret med Afstanden $\frac{3}{4}X$ af dens Tyngdepunkt fra Spidsen, eller med $\frac{1}{3}X^3 . \frac{3}{4}X = \frac{1}{4}X^4$.

Følgelig, naar der istedetfor Legemets Projektion $CD = X$ sættes dets Totallængde C (Fig. 5), ophæver dette den ovenfor ved den omvendte Substitution begaaede Feil, og man finder for Legemets totale Bøining:

$$f = \frac{C^3}{EI}(\tfrac{1}{3}P + \tfrac{1}{8}pC) = \tfrac{1}{3}\frac{C^3}{EI}(P + \tfrac{3}{8}pC).$$

Man seer, at den paa Legemets Længde ensformig fordelte Belastning pC frembringer den samme Forøgelse i Bøining, som om man havde forøget Belastningen P med $\frac{3}{8}pC$, eller med andre Ord: med Hensyn til Bøining frembringer i nærværende Tilfælde en ensformig fordelt Belast-

ning den samme Bøining som tre Ottendedele af denne Last, anbragt i Legemets Ende i Afstanden C fra Befæstelsespunktet, medens man i § 160 har seet, at med Hensyn til Ligevægt mellem de ydre Kræfter og de molekulære Modstande er en ensformig fordelt Belastning af lige Værdie med en halv saa stor Last, virkende i Legemets Ende.

§ 201. *Tilfælde, hvori Lasten* P *og den ensformig fordelte Belastning virke i modsat Retning.* — I dette Tilfælde er det indlysende, at man vilde have:

$$f = \tfrac{1}{3}\frac{C^3}{EI}(P - \tfrac{3}{8}pC).$$

Og dersom Belastningen havde været anordnet saaledes som anført i § 187, paa den Maade, at Krumningen blev Nul ved Tværsnittet i Befæstelsen, hvilket hender for $P = \frac{1}{2}pC$, vilde man endnu i Enden have en Bøining lig:

$$f = \tfrac{1}{3}\frac{C^3}{EI}\cdot\tfrac{1}{8}P,$$

det er, lig med $\frac{1}{8}$ af den, som Lasten P alene vilde have frembragt.

§ 202. *Böining af et Prisma, oplagt horizontalt paa to Underlag og belastet med en Vægt* 2P *i Midten af Afstanden* 2C *mellem Underlagene og med en ensformig fordelt Belastning af* p *Kilogrammer pr. löbende Meter af dets Længde.* — Naar Legemet er kommet i Ligevægtsstilling, idet Tangenten til Krumningens laveste Punkt er horizontal ligesom ved Begyndelsen af Bøiningen, kan Tværsnittet i dette Punkt betragtes som befæstet. Trykket paa ethvert af Underlagene er $P + pC$, og man kan betragte Legemet som saavel underkastet dette Tryk, der virker franeden opad, som ogsaa Trykket pC, ensformig fordelt efter Længden, virkende modsat — fraoven nedad. For i dette Tilfælde at anvende den foranstaaende Formel maa man istedetfor P sætte $P + pC$ og iagttage, at Lasten pC — ensformig fordelt — er anbragt i modsat Retning af $P + pC$,

som virker i Enden. Ifølge denne Bemærkning vil Totalbøiningen af dette Prisma lade sig beregne ved Formlen:

$$f = \tfrac{1}{3}\frac{C^3}{EI}(P + pC - \tfrac{3}{8}pC) = \tfrac{1}{3}\frac{C^3}{EI}(P + \tfrac{5}{8}pC).$$

Dersom den ensformig fordelte Last var Nul, eller den med Hensyn til P kunde sættes udaf Betragtning, vilde man for Bøiningen have:

$$f = \tfrac{1}{3}\frac{C^3}{EI}\cdot P,$$

hvoraf man seer, at den ensformig fordelte Belastning med Hensyn til Bøining er af lige Værdie med en Belastning lig $\frac{5}{8}$ af dens Totalværdie, virkende i Midten af Afstanden mellem Underlagene.

Eller, dersom man simpelthen antager Legemet efterhaanden underkastet Virkningen af Lasten $2pC$, ensformig fordelt efter Længden, i hvilket Tilfælde $P = 0$, og

$$f = \tfrac{1}{3}\frac{C^3}{EI}\cdot\tfrac{5}{8}pC;$$

derefter underkastet Virkningen af Lasten $2pC$, virkende i Midten af dets Længde, et Tilfælde, hvori Bøiningen vilde være

$$f = \tfrac{1}{3}\frac{C^3}{EI}\cdot pC:$$

saa seer man, at den samme Totalbelastning $2pC$, baaren af et Legeme, oplagt frit paa to Underlag, frembringer Bøininger, der staae i Forholdet som 5 til 8, alt eftersom den er ensformig fordelt eller samlet i Midten af Afstanden $2C$ mellem Underlagene.

§ 203. *Midler, hvorved disse Formler kunne stadfæstes ved Erfaring.* — De foranstaaende Formler tillade letteligen at stadfæste Nøiagtigheden af de theoretiske Betragtninger, paa hvilke de ere baserede, ved Iagttagelsen

af de Bøininger, som Legemer af bekjendte Dimensioner lide under givne Belastninger.

Saaledes kan man i det til Forsøg simpleste Tilfælde af et prismatisk eller sylindrisk Legeme, som er frit oplagt paa to Underlag og belastet i dets Midte, ved at tage dets egen Vægt med i Betragtning uddrage af Formlen, som giver Krumningspilen:

$$E = \frac{C^3}{3fI}(P + \tfrac{5}{8}pC),$$

en Forbindelse, i hvilken Indsættelsen af de samtidige Værdier P, p, C, I og f vil give den tilsvarende Værdie af Elasticitetskoefficienten E. Viser nu Sammenligningen af de for E erholdte Værdier mellem passende Grændser af Krumninger eller Bøininger for forskjellige Belastninger og forskjellige Bærevidder, at mellem disse Grændser ere disse Værdier mærkelig konstante, vil man være berettiget til at slutte, at Formlen er nøiagtig og overensstemmende med Erfaringen i hele denne Udstrækning.

Man kan saaledes for et og samme Legeme efterhaanden lade de Elementer variere, som findes i Formlen, der forbinder Bøiningerne med disse Elementer, og forsikkre sig om, hvorvidt disse Bøininger inden visse Grændser virkelig følge de af foranstaaende theoretiske Betragtninger udledede Love.

§ 204. *Stadfæstelse af foranstaaende Formler ved Resultaterne af Charles Dupin's Forsög.* — Dersom vi tye hen til Charles Dupin's Forsøg, hvoraf vi i § 123 have meddelt de fornemste Resultater, ville vi see, at disse Forsøg, gjorte med Prismer af rektangulært Tværsnit, for hvilke man i Tilfælde af en Belastning 2P, anbragt i Midten af Legemets Længde 2C, vilde have:

$$I = \tfrac{1}{12}ab^3 \text{ og } f = \frac{4PC^3}{Eab^3},$$

fuldkommen stadfæste, at mellem Grændserne, hvor Elasticiteten ikke er forandret, ere Træers Bøininger

1. proportionale med Belastningerne og med Kubusserne af Bærevidderne;
2. i omvendt Forhold med Bredden og med Kubussen af Prismets Tykkelse.

Angaaende de Legemer, som ere underkastede en ensformig fordelt Belastning, saa har den samme Ingenieur ogsaa stadfæstet, at Bøiningen da er $\frac{5}{8}$ af den, som vilde være foraarsaget af en tilsvarende Last, anbragt i Legemets Midte, saaledes som Formlen angiver.

205. *Praktiske Formler.* — Naar man indsætter i Formlen

$$f = \tfrac{1}{3}\frac{C^3}{EI}(P + \tfrac{5}{8}pC)$$

Værdierne for Inertiemomentet I, der svare til de forskjellige i Bygværker brugelige Former, og for Elasticitetskoefficienterne med Hensyn til de anvendte Materier, erholder man de brugelige praktiske Formler, som tilstede tilnærmelsesvis at beregne Bøiningerne af Legemer, frit oplagte paa to Underlag, naar disse Bøininger ikke overskride visse Grændser.

§ 206. *Legemer med rektangulært Tværsnit.* — Saaledes bliver for Legemer med rektangulært Tværsnit med Bredde a og Tykkelse eller Høide b Formlen:

$$f = \frac{4C^3}{Eab^3}(P + \tfrac{5}{8}pC).$$

Indsættes derpaa heri for E dens Værdie med Hensyn til de anvendte Materier, har man

	i fransk metrisk Maal og Vægt:	i norsk Maal og Vægt:
for Støbejern	$f = \frac{(P + \frac{5}{8}pC)C^3}{3000000000\,ab^3}$;	$f = \frac{(P+\frac{5}{8}pC)C^3}{4110000\,ab^3}$;
„ Smedejern	$f = \frac{(P + \frac{5}{8}pC)C^3}{5000000000\,ab^3}$;	$f = \frac{(P+\frac{5}{8}pC)C^3}{6850000\,ab^3}$;
„ Egetræ	$f = \frac{(P + \frac{5}{8}pC)C^3}{300000000\,ab^3}$.	$f = \frac{(P+\frac{5}{8}pC)C^3}{411000\,ab^3}$.

§ 207. *Sylindriske Legemer.* — Ligeledes for de sylindriske Legemer med sirkulært Tværsnit, for hvilke man har $I = 0{,}0491\,D^4$, finder man

	i fransk metrisk Maal og Vægt:	i norsk Maal og Vægt:
for Støbejern	$f = \frac{(P + \frac{5}{8}pC)C^3}{1764000000\,D^4}$;	$f = \frac{(P + \frac{5}{8}pC)C^3}{2416680\,D^4}$;
„ Smedejern	$f = \frac{(P + \frac{5}{8}pC)C^3}{2940000000\,D^4}$;	$f = \frac{(P + \frac{5}{8}pC)C^3}{4027800\,D^4}$;
„ Egetræ	$f = \frac{(P + \frac{5}{8}pC)C^3}{176400000\,D^4}$.	$f = \frac{(P + \frac{5}{8}pC)C^3}{241668\,D^4}$.

§ 208. *Sylindriske hule Legemer.* — I dette Tilfælde har man (§ 152) $I = 0{,}0491(D'^4 - D''^4)$, naar D' og D'' betegne den ydre og den indre Diameter, og man finder som praktisk Formel:

for Støbejern	$f = \frac{(P + \frac{5}{8}pC)C^3}{1764000000(D'^4 - D''^4)}$;	$f = \frac{(P + \frac{5}{8}pC)C^3}{2416680(D'^4 - D''^4)}$;
„ Smedejern	$f = \frac{(P + \frac{5}{8}pC)C^3}{2940000000(D'^4 - D''^4)}$;	$f = \frac{(P + \frac{5}{8}pC)C^3}{4027800(D'^4 - D''^4)}$;
„ Egetræ	$f = \frac{(P + \frac{5}{8}pC)C^3}{176400000(D'^4 - D''^4)}$.	$f = \frac{(P + \frac{5}{8}pC)C^3}{241668(D'^4 - D''^4)}$.

Anvendelsen paa andre Former frembyder ikke nogen Vanskelighed.

§ 209. *Legemer, oplagte paa forskjellige i lige Afstande fra hverandre staaende Underlag og belastede med lige Vægter i Midten af ethvert Interval.* — Det er let at forstaae, at, naar man (Pl. IV, Fig. 7) betragter hvad der finder Sted med den Del af Legemet, der er beliggende mellem to paa hinanden følgende Underlag B og C, idet man tager Hensyn til Belastningerne 2P, som virke til Høire og til Venstre, vil Pressionen paa ethvert af Underlagene B og C være lig 2P, og ved herfor at substituere Underlagets lige og modsatte Reaktion kan Legemet betragtes som frit og underkastet to Rækker af indbyrdes lige, parallele Kræfter.

Det er klart, at det vil bøie sig afvexlende i modsat Retning under Virkningen af disse Kræfter, og at mellem to paa hinanden følgende Angrebspunkter vil der i dets Krumning være et Inflexionspunkt, hvori Krumningen og Strækningen eller Kompressionen af Fibrerne bliver Nul, aldeles som ved Enderne af et Legeme, der frit er oplagt paa to Underlag.

Heraf følger, at, naar Beliggenheden af disse Inflexionspunkter a, b, a', b' er bekjendt, vil man kunne ansee Delene ab, ba', $a'b'$, $b'a''$. . . . . af Legemet som uafhængige af hverandre og betragte dem adskilte som frit oplagte paa Underlag med enhver af deres Ender og underkastede Virkningen af Kræfterne 2P, som virke i Midten af deres respektive Længder.

I det antagne Tilfælde, hvor Belastningerne ere lige og virke midt imellem Støttepunkterne, er det aabenbart, at, da Underlagenes Reaktioner ogsaa ere lige med 2P, er Alt symmetrisk over og under mellem de to Underlag B og C, saaledes at Inflexionspunkterne nødvendigen befinde sig i Midten af Længden af enhver af de to lige Dele Bm' og $m'C$ af Legemet, da dette som ovenfor sagt kan betragtes som frit understøttet i dets Inflexionspunkter a' og b' samt belastet i Midten med en Vægt 2P.

Den horizontale Afstand mellem Inflexionspunkterne a' og b' er Halvparten af Bærevidden 2C mellem Underlagene B og C, og Ligevægtsbetingelsen vil da være:

$$\frac{RI}{v'} = \frac{PC}{2},$$

hvilket viser, at i dette Tilfælde kan Legemet bære en Belastning dobbelt saa stor som den, det vilde kunne taale med samme Bærevidde BC, dersom det simpelthen havde været oplagt paa to Underlag B og C.

Bøiningen, som antages af Delen $a'b'$ af Legemet, vil gives ved Formlen (§ 190)

$$f = \frac{1}{3}\frac{P\left(\frac{C}{2}\right)^3}{EI} = \frac{1}{24}\frac{PC^3}{EI};$$

men ethvert af Punkterne $a'b'$ vil være bøiet ned om en Størrelse lig den foranstaaende, efterdi Alt er symmetrisk og Punkterne B og C, betragtede som Midten af Delene ba' og $b'a''$, vilde have lidt en vertikal Stedforandring lig den for Punktet m'.

Følgelig vil Sænkningen af Punktet m' som Midte af den totale Længde af Legemet BC, eller den totale Bøining, være lig med:

$$f = \frac{1}{12}\frac{PC^3}{EI},$$

det er Fjerdeparten af Bøiningen $\frac{1}{3}\frac{PC^3}{EI}$, som den samme Længde af Legemet vilde have antaget under Virkningen af Belastningen 2P, dersom Delen BC havde været frit oplagt paa to Underlag.

§ 210. *Anvendelse af det Foranstaaende paa Tilfælde, hvori Legemerne ere befæstede i begge Ender.* — Disse saaledes direkte udledede Følgeslutninger ere aldeles de samme som de, Geometerne ved Hjælp af Kalkulen have fastsat for det Tilfælde, hvor Legemet er befæstet ved begge dets Ender. Man seer virkeligen, at det Legeme, vi have betragtet, befinder sig formedelst Tilstedeværelsen af de to Underlag, som understøtte det, og dets Forlængelse udenfor disse Underlag nøiagtigen under de samme Betingelser, som om det var befæstet paa en aldeles solid Maade saaledes, at Tangenten til dets Ender B og C var og forblev horizontal uagtet Virkningen af Belastningen anbragt i Midten af dets Længde.

Denne Betingelse for Befæstelsen er tilstrækkeligen opfyldt, naar, som i det ovenfor undersøgte Tilfælde, Legemet er forlænget udenfor Punktet B, og der paa den anden Side existerer en Kraft eller en Belastning, hvis

$mCD = O$, er da Sinus af Vinklen O, og denne Sinus vil være lig med Summen af alle elementære Produkter $\frac{1}{EI} Mx$, tagne fra Befæstelsespunktet A indtil Punktet C, som man behandler.

I det særskilte Tilfælde, hvor Legemet kun er underkastet Virkningen af en enkelt Kraft P, der virker i Afstanden X fra Tværsnittet C, vil man have:

$$M = PX, \quad ni = \frac{1}{EI} PXx \text{ og } sin\, O = \frac{1}{2EI} P(C^2 - X^2),$$

idet man tager Summen af Produkterne PXx fra Værdien $X = C$, som svarer til Tværsnittet i Befæstelsen. Dersom man udstrækker denne Sum indtil $X = 0$, som svarer til selve Angrebspunktet af Kraften P, saa reduceres ovenstaaende Udtryk til

$$sin\, O = \frac{1}{2EI} PC^2,$$

og saasom man i dette Tilfælde efter § 190 har

$$f = \tfrac{1}{3} \frac{PC^3}{EI}, \text{ hvoraf } \frac{PC^2}{EI} = \frac{3f}{C},$$

følger deraf, idet man sætter denne sidste Værdie istedet for $\frac{PC^2}{EI}$, at ovenstaaende Udtryk kan bringes under Formen

$$sin\, O = \tfrac{3}{2} \frac{f}{C}.$$

Hvilket paa en meget simpel Maade giver Værdien af Sinus til Heldingsvinklen ved Legemets Ende.

§ 213. *Tilfælde, hvori Legemet tillige bærer en ensformig fordelt Belastning.* — Dersom Legemet samtidigt er underkastet en ensformig fordelt Belastning og en paa dets Længde perpendikulær Kraft P, der virker i dets Ende, har man:

$$M = PX + \tfrac{1}{2} pX^2$$

og følgelig

$$ni = \frac{1}{EI}(PXx + \tfrac{1}{2}pX^2x).$$

Summen af alle de det andet Led lignende Produkter, tagne fra Værdien $X = C$, for hvilken $sin\ O = 0$, indtil X, er bekjendt, og man udleder deraf

$$sin\ O = \frac{1}{EI}[\tfrac{1}{2}P(C^2 - X^2) + \tfrac{1}{6}p(C^3 - X^3)],$$

og ved at udvide dette Udtryk indtil Legemets Ende, for hvilken $X = 0$, giver det

$$sin\ O = \frac{1}{EI}(\tfrac{1}{2}PC^2 + \tfrac{1}{6}pC^3) = \frac{1}{2EI}(PC^2 + \tfrac{1}{3}pC^3).$$

§ 214. *Tilfælde, hvori den ensformig fordelte Last og den ydre Kraft virke i modsatte Retninger.* — Virkede den ensformig fordelte og den ydre Belastning i modsatte Retninger, havde man

$$M = PX - \tfrac{1}{2}pX^2,$$

og følgelig

$$ni = \frac{1}{EI}(PXx - \tfrac{1}{2}pX^2x).$$

Der fremstiller sig her nogle særskilte Omstændigheder, til hvilke det er nødvendigt at tage Hensyn; saaledes seer man strax, at, saalænge man har $PX > \frac{1}{2}pX^2$, vil Værdien af $sin\ O$ være:

$$sin\ O = \frac{1}{EI}[\tfrac{1}{2}P(C^2 - X^2) - \tfrac{1}{6}p(C^3 - X^3)].$$

Denne Størrelse, som er Nul for $X = C$, det er, for Tværsnittet i Befæstelsen, vil voxe indtil Grændsen, hvor $PX = \frac{1}{2}pX^2$, hvilket svarer til $X = \frac{2P}{p}$, for hvilken Værdie $ni = 0$, som antyder, at Sinus mp til Inklinationsvinklen af Tangenten Cm til Kurven ophører at voxe og har naaet sit Maximum. Det vil være gavnligt at beregne

Værdien af *sin* O indtil denne Grændse, som vi ville betegne med O′, og som vil gives ved Udtrykket:

$$sin\ O' = \frac{1}{EI}[\tfrac{1}{2}P(C^2 - X'^2) - \tfrac{1}{6}p(C^3 - X'^3)],$$

naar X′ betegner Afstanden fra Maximums-Inklinationspunktet til Angrebspunktet af Kraften P.

Efterdi Tangentens Helding ophører at voxe fra dette Punkt og aftager udenfor det, saa følger deraf, at der i Kurven danner sig en *Inflexion.*

Saasom man udenfor det samme Punkt har $PX < \frac{1}{2}pX^2$, bliver Størrelsen $M = PX - \frac{1}{2}pX^2$ negativ, hvilket viser, at

$$ni = \frac{1}{EI}(PXx - \tfrac{1}{2}pX^2x)$$

er en subtraktiv eller negativ Størrelse, og at Summen af dens absolute Værdier, at regne fra Inflexionspunktet, maa fradrages Værdien for *sin* O′. Ved altsaa at forandre Tegnet for denne Størrelse, om hvilken Sinus varierer, vil den blive:

$$\frac{1}{EI}(\tfrac{1}{2}pX^2x - PXx),$$

og Summen af dens Værdier, taget fra $X = X'$ indtil $X = X''$:

$$\frac{1}{EI}[\tfrac{1}{6}p(X'^3 - X''^3) - \tfrac{1}{2}P(X'^2 - X''^2)]$$

maa drages fra *sin* O′ for at give Værdien af *sin* O, som tilsvarer Afstanden X″; man vil altsaa have

$$sin\ O = sin\ O' - \frac{1}{EI}[\tfrac{1}{6}p(X'^3 - X''^3) - \tfrac{1}{2}P(X'^2 - X''^2)].$$

Man seer, at man vil erholde *sin* O = 0, eller at Tangenten til Kurven vil blive horizontal for Værdien af X″, saaledes at Forbindelsen

$$sin\ O' = \frac{1}{EI}[\tfrac{1}{6}p(X'^3 - X''^3) - \tfrac{1}{2}P(X'^2 - X''^2)]$$

er fyldestgjort.

Ved graphisk Fremstilling vil man kunne finde Værdien af X″, som opfylder denne Betingelse, idet man ved at gaae ud fra X′ antager en Række af voxende Værdier for X″ og anseer disse som Abscisser til en Kurve, hvis Ordinater vilde være Værdierne af det andet Led af ovenstaaende Forbindelse. Ved derpaa at drage en Parallel med Abscisselinien i en Afstand lig med *sin* O′ vil denne skjære Kurven i et Punkt, hvis Abscisse bliver den Værdie af X″, som svarer til det Punkt af Kurven, for hvilket Tangenten er horizontal.

Da Størrelsen

$$\frac{1}{EI}\left[\tfrac{1}{6}p(X'^3-X''^3)-\tfrac{1}{2}P(X'^2-X''^2)\right]$$

fra dette Punkt voxer meer og meer og er større end *sin* O′, følger deraf, at *sin* O bliver negativ. Dette angiver, at Kurven hæver sig, og at dens Tangenter danne med Horizontalen Vinkler, hvis Sinusser gaae i modsat Retning af dem i den første Del.

Den største af disse negative Værdier vil forresten aabenbart tilsvare Værdien $X'' = 0$, eller selve Angrebspunktet for Kraften P.

Af det Foranstaaende fremgaaer, at man kan bestemme Forandringerne i Legemets Form, og man bemærker, at, da Fibrerne hverken ere forlængrede eller komprimerede i Inflexionspunktet, vil Legemet ikke der lide nogen Anstrængelse; hvorimod Befæstelsespunktet A er paa hele den af Inflexionspunktet begrændsede venstre Side det Sted, som bliver mest anstrænget, og for hvilket Tangenten er horizontal. Det Samme er Tilfældet med Støttepunktet til Høire med Hensyn til den paa denne Side beliggende Del.

§ 215. *Tilfælde, hvori Legemet kun er underkastet en ensformig fordelt Belastning.* — Man har da $P = 0$, og Værdien af Sinus til Heldingsvinklen indskrænker sig til

$$sin\ O = \tfrac{1}{6}\frac{pC^3}{EI}.$$

Dersom man erindrer sig (§ 200), at i dette Tilfælde er den af Legemet udholdte Bøining udtrykt ved

$$f = \tfrac{1}{8}\frac{pC^3}{EI}C,$$

hvoraf man erholder

$$\frac{pC^3}{EI} = \frac{8f}{C},$$

udledes deraf

$$sin\,O = \tfrac{1}{6}\frac{8f}{C} = \tfrac{4}{3}\frac{f}{C},$$

hvilket tilsteder at bestemme Vinklen O, naar man kjender Legemets Bøining og Bærevidde.

§ 216. *Et Legeme, oplagt horizontalt paa to Underlag og underkastet en Belastning* 2P *i Midten af dets Længde.* — Man kjender (§ 173), at dette Tilfælde kommer tilbage til det for et Legeme, som er halv saa langt, befæstet ved en af dets Ender og i den anden underkastet en Kraft lig P, saaledes som behandlet i § 212.

§ 217. *Et Legeme, oplagt horizontalt paa to Underlag og bærende en ensformig fordelt Belastning.* — I dette Tilfælde kan Legemet betragtes som befæstet i Midten af dets Længde, og enhver af dets Halvdele som underkastet en ensformig fordelt Belastning pC virkende fraoven nedad, og en Reaktion, kommende fra Underlaget, lig med pC, virkende franeden opad.

Man har da

$$M = pCX - \tfrac{1}{2}pX^2 = pX(C - \tfrac{1}{2}X);$$

og saasom man her altid har $C > X$ og saameget mere $C > \frac{1}{2}X$, saa følger heraf, at Krumningen stedse finder Sted i samme Retning.

Man har ogsaa $ni = \frac{1}{EI}(pCXx - \frac{1}{2}pX^2x)$.

Idet man tager Summen af Værdierne for ni, maa det

iagttages, at den almindelige Værdie af *sin* O aabenbart maa være saadan, at *sin* O = 0 for Værdien X = C, som svarer til Midten af Legemets Længde, hvilket udfordrer, at man indfører i denne almindelige Værdie et konstant Led, bestemt ved denne Betingelse.

Antager man altsaa

$$sin\ O = \frac{1}{EI}\left(\frac{pCX^2}{2} - \tfrac{1}{6}pX^3\right) + \text{Konstant},$$

har man ved ovenangivne Betingelse, at *sin* O = 0, naar X = C:

$$\text{Konstant} = -\frac{1}{3EI}pC^3.$$

Saaledes, at den almindelige Værdie for *sin* O er

$$sin\ O = \frac{1}{EI}\left(\frac{pCX^2}{2} - \tfrac{1}{6}pX^3 - \tfrac{1}{3}pC^3\right),$$

hvilken giver for Sinussen af Legemets Helding ved dets Støttepunkt, hvor X = 0,

$$sin\ O = -\tfrac{1}{3}\frac{pC^3}{EI},$$

en Værdie, som er negativ, fordi Tangenten til Kurven er heldende opad og i modsat Retning af det, som blev antaget i Figuren til § 212, hvilket forresten ikke forandrer Noget i dens Værdie.

Dersom man erindrer sig, at man i dette Tilfælde (§ 202) har

$$f = \tfrac{5}{24}\frac{pC^3}{EI}\cdot C,$$

hvoraf man udleder

$$\tfrac{1}{3}\frac{pC^3}{EI}C = \tfrac{8}{5}f,$$

følgelig

$$sin\ O = \tfrac{8}{5}\frac{f}{C},$$

saa følger, at denne proportionale Forlængring er given ved Udtrykket:

$$i' = \frac{PXv'}{EI},$$

og for Tværsnittet i Befæstelsen:

$$i' = \frac{PCv'}{EI}.$$

Det vil da altid være let at beregne den proportionale Forandring i Længde, som den mest forlængrede eller den mest forkortede Fiber vil være underkastet ved Bøiningen, og at forsikkre sig om, at denne Forandring ikke overskrider de Grændser, der ere bestemte ved Erfaring og angivne i Tabellen i § 44.

Dersom forskjellige Kræfter virkede paa Legemet, vilde man ligeledes have:

$$r = \frac{EI}{Pp + Qq + \text{etc.}\ldots}$$

og

$$i' = \frac{(Pp + Qq + \text{etc.}\ldots)v'}{EI}.$$

Tager man den største Værdie af denne Størrelse, saa har man den største Forandring i Længde, som Fibrerne ere underkastede.

§ 220. *Anvendelse paa de praktiske Formler.* — Man kan let overbevise sig om, at de praktiske Formler og Værdierne for den af os antagne Koefficient R tilfredsstille den Betingelse, at Maximumsforandringen i Længde af hvilkensomhelst af Fibrerne ikke maa naae den Grændse, udenfor hvilken Elasticiteten mærkelig er forandret, det vil sige, hvor Forlængringerne og Forkortningerne ophøre at være proportionale med Kræfterne, som frembringe dem.

Dersom vi saaledes betragte det simple Tilfælde af en eneste Kraft P, som virker i Enden af et Legeme af Længden C perpendikulær paa dets Længde, saa have vi

$$i' = \frac{PCv'}{EI},$$

hvoraf uddrages

$$\frac{I}{v'} = \frac{PC}{Ei'} = \frac{PC}{R}$$

som almindelig Formel, anvendelig paa alle Profiler. Tabellen i § 44 giver os de tilsvarende Værdier af E og af i' for Elasticitetsgrændsen for de forskjellige Legemer, og deraf udleder man den, som Produktet Ei' kan naae som Maximum, naar Elasticiteten ei skal krænkes.

		Antagne Værdier for den praktiske Koefficient R.	
		pr. Quadratmeter: Kilogrammer	pr. norsk □ Tomme: norske Pund
Blödt Jern . .	$Ei' = 1800000000 \times 0{,}0008 = 14400000$	6000000	8220
Jern i Stænger	$Ei' = 2000000000 \times 0{,}00066 = 13200000$		
Jern, valtset i Stænger, og Rör af Jernplader. . . .	$Ei' = 1200000000 \times 0{,}0008 = 9600000$		
Tydsk Staal .	$Ei' = 2100000000 \times 0{,}0012 = 25200000$	12500000	17125
Stöbestaal . .	$Ei' = 3000000000 \times 0{,}00222 = 66600000$	16660000	22824
Finkornet Stöbejern . .	$Ei' = 1200000000 \times 0{,}00083 = 9960000$	7500000	10275
Almindeligt engelsk Stöbejern	$Ei' = 900000000 \times 0{,}00715 = 6435000$		
Egetræ	$Ei' = 1200000000 \times 0{,}00167 = 2004000$	600000	822
Fyrretræ . . .	$Ei' = 1300000000 \times 0{,}00117 = 1521000$		

Af denne Sammenligning seer man, at de praktiske Værdier, vi have antaget for Tallet R, og som repræsentere den Belastning, som man med Sikkerhed og paa en konstant Maade kan lade Legemer udholde, der bør have en vedvarende Modstandsevne, -- næsten alle kun ere halv saa store som de, for hvilke Elasticiteten begynder at forandre sig, og Bøiningerne ophøre at være proportionale med Belastningerne.

Støbejernet alene gjør Undtagelse, og disse Betragtninger vise, at Værdien R = 7500000 Kilogrammer (10275 ℔ pr. norsk □ Tomme), som vi have antaget, er temmelig nær den yderste tilladte Grændse for Støbejern af anden Støbning af god Qualitet, og lidt for svag for det af første Støbning, som ialmindelighed indeholder mere Kulstof og er blødere, især i store Stykker.

Imidlertid viser Sammenligningen af de ialmindelighed tilladte Belastninger og af de Dimensioner, som man i Overensstemmelse med Formlerne maa give Legemerne, med de baarne Belastninger, at denne Værdie R = 7500000 Kilogrammer ialmindelighed er tilstrækkelig, især naar man iagttager den Forsigtighed i ethvert Tilfælde at anstille Beregningen efter den stærkeste af de permanente Belastninger.

Men dette viser tillige, at man ved betydelige Bygværker bør drage Omsorg for, at Støbejernet er af anden Støbning, med fint Korn, af jevn lysgraa Farve og støbt med al mulig Varsomhed for at undgaae Feil.

Uagtet alle disse Sikkerhedsforanstaltninger følger ikkedestomindre deraf, at Smedejernet frembyder mere Sikkerhed end Støbejernet, især for store Bygværker, fordi den for R antagne Værdie almindeligvis ikke er lig med Halvparten af den, som for dette Metal tilsvarer Elasticitetsgrændsen.

De af Hr. Fairbairn forsøgte Bjælker af dobbelt T-Form, hvilke, som senere hen vil sees, kun have givet for

Elasticitetskoefficienten E en Værdie lig med 11 til 12000000000 Kilogrammer, følgelig en langt ringere Værdie end den, der ydes af almindelige Stænger og Bjælker af Jernblik, og selv af Rørene i Conwaybroen, hvilke i de dermed anstillede Forsøg have givet en Værdie

$$E = 13185000000 \text{ Kilogrammer},$$

— vise, at for de svage Værdier af Smedejernets Elasticitetskoefficient leder Værdien

$$R = 6000000 \text{ Kilogrammer}$$

til Dimensioner, der ere tilstrækkelige til Forsikkring af Bygværkers Soliditet.

§ 221. *Sammenligning mellem Formlen, som udtrykker Betingelsen for den permanente Ligevægt og den, som giver Böiningen af Legemer, oplagte paa to Underlag.* — Erindrer man sig, at Betingelsen for den permanente Ligevægt for Legemer, underkastede en Belastning 2P, der virker i deres Midte og perpendikulær paa deres Længde, udtrykkes ved Formlen:

$$\frac{RI}{v'} = PC,$$

i hvilken R betegner Maximumskraften for Strækning eller Kompression, som man kan lade udøve paa Enheden af Overflade, og v' Afstanden af den mest forlængrede eller forkortede Fiber fra den neutrale Axe; og bringer man endvidere denne Formel i Forbindelse med den i § 190

$$f = \tfrac{1}{3}\frac{PC^3}{EI}:$$

saa seer man, at, naar man i denne sidste Formel indsætter for PC dens Værdie, udledet af den foregaaende, hvilket er det samme som at antage, at Bøiningen f saaledes er den, som er frembragt af den ved den første Formel bestemte Belastning, bliver den

$$f = \tfrac{1}{3} \frac{RIC^2}{EIv'} = \tfrac{1}{3} \frac{R}{E} \cdot \frac{C^2}{v'},$$

som man kan sætte under Formen:

$$\frac{f}{2C} = \tfrac{1}{6} \frac{R}{E} \cdot \frac{C}{v'}.$$

Dersom Spørgsmaalet f. Ex. er om Legemer med rektangulært Tværsnit eller med ethvert andet Profil, hvis Tyngdepunkt eller neutrale Axe er beliggende i Midten af Høiden b, altsaa $v' = \frac{b}{2}$, bliver denne Formel:

$$\frac{f}{2C} = \tfrac{1}{6} \frac{R}{E} \cdot \frac{2C}{b}.$$

Dette viser, at inden Grændserne for de Belastninger, som ikke forandre Legemernes Elasticitet, og hvor Størrelserne E og R ere konstante, varierer Forholdet af Legemernes Bøining til deres Bærevidde ligesom Forholdet af deres Bærevidde til deres Høide, deres Profil være forresten hvilketsomhelst, forudsat at det er symmetrisk med Hensyn til den Linie, som gaaer gjennem Tyngdepunktet.

Ved Gulve, Broer etc. indsees let, at der maa være et Forhold mellem Bøiningerne i Midten og Bærevidderne, som det er nødvendigt ikke at overskride, og man seer, at, for at Forholdet $\frac{f}{2C}$ skal blive konstant, maa ogsaa Forholdet af Bærevidden til Høiden af det bærende Legeme være konstant.

§ 222. *Gammel Tömmermandsregel.* — Praxis havde forudilet Theorien med Hensyn til at bestemme den konstante Proportion af Legemers Bærevidde til deres Høide. De gamle Tømmermænd, som anvendte Bjælker med quadratisk Tværsnit, havde virkelig som Regel at tage til Firkant for disse Stykker $\frac{1}{18}$ af Bærevidden, naar de laae 3 Metre fra hinanden, og $\frac{1}{14}$, naar Afstanden var 5 Metre.

I det sidste Tilfælde var virkeligen Belastningen paa hver Bjælke større end i det første, omendskjønt Bærevidden forblev den samme, hvorfor Firkanten maa blive betydeligere.

Dersom vi ville indføre i Formlen

$$\frac{f}{2C} = \frac{1}{6} \cdot \frac{R}{E} \cdot \frac{2C}{b}$$

de Værdier for R og E, som vi have antaget i §§ 44 og 161 for Træ, Støbejern og Smedejern, hvilke respektive ere:

for Træ . . . . R = 600000 Kilogr., E = 1200000000 Kilogr.
„ Støbejern . R = 7500000 „ E = 12000000000 „
„ Smedejern. R = 6000000 „ E = 20000000000 „

saa ville vi finde, at den bliver:

for Træ, $\frac{f}{2C} = \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{2000} \cdot \frac{2C}{b} = \frac{1}{12000} \cdot \frac{2C}{b}$,

som ifølge Tømmermandsreglen vilde give for Bjælker til Gulve, fjernede fra hinanden

3 Metre: $\frac{f}{2C} = \frac{1}{12000} \times 18 = \frac{1}{666}$, hvoraf $f = \frac{1}{666} 2C$;

5 Metre: $\frac{f}{2C} = \frac{1}{12000} \times 14 = \frac{1}{857}$, hvoraf $f = \frac{1}{857} 2C$.

For Støbejern og for Smedejern giver simpelthen Substitutionen af Værdierne for E og R:

for Støbejern, $\frac{f}{2C} = \frac{1}{6} \cdot \frac{75}{120000} \cdot \frac{2C}{b} = \frac{1}{9600} \cdot \frac{2C}{b}$,

„ Smedejern, $\frac{f}{2C} = \frac{1}{6} \cdot \frac{6}{20000} \cdot \frac{2C}{b} = \frac{1}{20000} \cdot \frac{2C}{b}$.

§ 223. *Følgeslutninger med Hensyn til Smede- og Støbejernet.* — Disse numeriske Formler vise, at ved lige Bærevidder og Høider for Bjælker af Støbejern eller af Plader vil Forholdet af Bøiningerne til Bærevidderne, eller

selve Bøiningerne ifølge de praktiske Koefficienter, som vi have antaget, være meget mindre for Smedejernet end for Støbejernet; og saasom der med disse Koefficienter og efter Prisen for Materialierne er Ekonomie ved for lige Modstand at anvende Smedejernet, seer man, at dette Metal, hvilket viser mindre absolute Bøininger, og som har den Egenskab ikke pludselig at give efter, men at bøie sig og saaledes underrette om den Fare, som Bygningen er udsat for, er meget at foretrække for Støbejernet.

RESULTATER AF FORSØG OVER BØINING OG DERAF FØLGENDE BRUD.

§ 224. *Anvendelse af Formlerne paa de nyeste Forsög.* — Efter at have fremstillet de praktiske Formler, ved Hjælp af hvilke man beregner de Belastninger, for hvilke man i forskjellige Tilfælde kan udsætte Legemer af forskjellige Former, og de Bøininger, som de antage under disse Belastninger, skal man nu sammenligne disse Formlers Resultater med de af Erfaringen givne for at lære at kjende, til hvilket Punkt og, om muligt, mellem hvilke Grændser de virkeligen angive de iagttagne Kjendsgjerninger. Det er dette, vi ville gjøre ved at undersøge Resultaterne af et stort Antal Forsøg, gjorte af flere Ingenieurer med Materialier af forskjellig Natur. Vi ville fortrinsvis vælge dem, som nylig have været udførte i England i Anledning af den gigantiske Bygning af Broen til Øen Anglesey og af de Jernbanearbeider, hvis Resultater ere angivne i Rapporten fra den Kommission, der skulde undersøge Jernets Anvendelse ved Jernbaneanlæg. Foruden deres Nyhed have disse Forsøg den Fortjeneste at have været gjorte med Legemer af store Dimensioner og følgelig at afgive Resultater, som saameget muligt nærme sig Virkeligheden. Forsøgene med Træ ere langt

mindre talrige; men for om dette Spørgsmaal at samle alle de vigtigste Angivelser ville vi efterhaanden tage under Behandling Træ, Støbejern og Smedejern og sluttelig undersøge Rørene af Jernplader og Indflydelsen af Belastningens Bevægelse paa de iagttagne Bøininger.

TRÆARTERS MODSTAND MOD BØINING.

§ 225. *Barlow's Forsög over Træets Böining.* — Denne lærde Professor har udført en Række af talrige Forsøg med forskjelligt Træ af Beholdningerne paa Værftet i Woolwich, efter hvilke han har bestemt Elasticitets- og Brudkoefficienterne for forskjellige Træsorter ligesom Grændsen for Bøining, udenfor hvilken man iagttager, at Elasticiteten er forandret, og at Bøiningerne ophøre at være proportionale med Belastningerne. Alle Prøvestykker havde $0^m,0508$ i Firkant og almindeligvis en Bærevidde af $2^m,135$. De ved Forsøgene og ved Anvendelsen af Formlerne

$$R_r = \frac{6PC}{ab^2} \quad \text{og} \quad E = \frac{4PC^3}{fab^3}$$

erholdte Resultater ere antegnede i følgende Tabel.

Træarter.	Vægt af Kubik-Metren*).	Maximumsbelastning, under hvilken Elasticiteten ikke er forandret. 2P.	Böining, tilsvarende den-ne Belastning, i Brökdele af Længden. $\frac{f}{2C}$.	Proportionalt Maximum af Forlængringen. i'.	Elasticitets-koefficient. E.	Brudkoefficient. R.	Forhold af Belastningen, udenfor hvilken Elasticiteten forandres, til Brudbelastningen.
	Kilogrammer	Kilogrammer			Kilogrammer	Kilogrammer	
Teak	745	136,0	$\frac{1}{713}$	0,000195	1701520000	10382000	0,320
Poon	579	68,0	$\frac{1}{1012}$	0,001395	1190720000	9360000	0,178
Engelsk Eg	969	68,0	$\frac{1}{583}$	0,002698	615660000	4980000	0,300
Do. Do.	934	90,5	$\frac{1}{646}$	0,002162	1023720000	7050700	0,314
Eg fra Canada	872	102,0	$\frac{1}{718}$	0,001648	1511530000	7447100	0,335
Eg fra Danzig	756	90,5	$\frac{1}{558}$	0,002633	839480000	6059800	0,357
Eg fra det adriatiske Hav	993	68,0	$\frac{1}{519}$	0,002419	686680000	5832100	0,283
Ask	760	102,0	$\frac{1}{646}$	0,002110	1159150000	8543500	0,291
Bög	693	68,0	$\frac{1}{812}$	0,001517	1094900000	6561600	0,253
Alm	553	56,7	$\frac{1}{516}$	0,002808	493200000	4271800	0,324
Harpix-Gran	660	68,0	$\frac{1}{714}$	0,001922	863730000	6882000	0,242
Röd-Gran	657	68,0	$\frac{1}{1112}$	0,001279	1299700000	5654900	0,294
Fyr fra Ny-England	553	68,0	$\frac{1}{1011}$	0,001073	1547800000	4647700	0,357
Fyr fra Riga	753	56,7	$\frac{1}{916}$	0,001483	934310000	4672300	0,296
Do. Do.	738	68,0	$\frac{1}{915}$	0,002040	697970000	4435200	0,321
Fyr fra Marskoven	696	56,7	$\frac{1}{518}$	0,003046	454810000	4824200	0,287
Do. Do.	693	68,0	$\frac{1}{818}$	0,002324	612840000	5321800	0,268
Lærketræ	531	56,7	$\frac{1}{315}$	0,003189	434350000	3597100	0,385
Do.	522	56,7	$\frac{1}{1018}$	0,001877	632570000	3508500	0,338
Do.	556	68,0	$\frac{1}{1011}$	0,001919	741950000	4752500	0,300
Do.	560	68,0	$\frac{1}{1011}$	0,001919	741950000	4845200	0,294

*) 1 Kubikmeter = 32,34587 norske Kubikfod. 1 Kilogramme = 2,002768 norske Pund. *G.*

Anm. Angivelsen af Belastningerne 2P er formentlig usikker. *G.*

Man har her ogsaa angivet Værdierne for de proportionale Forlængringer i', som de Fibrer lide, hvis Længde mest har varieret under de Belastninger, som have frembragt de største af Forfatteren angivne proportionale Bøininger. Imidlertid maa man dog bede bemærket, at disse begrændsede Forlængringer og tilsvarende Belastninger maaskee ere noget for svage, fordi Belastningerne ikke synes at have været bestemte med megen Omhyggelighed.

Man erindrer, at den proportionale Forlængring er given i nærværende Tilfælde ved Formlen (§ 219)

$$i' = \frac{PCv'}{EI} = \frac{6PC}{Eb^3},$$

hvori Betegnelserne ere bekjendte.

Dersom man anvender Ræsonnementet i § 220 paa nogle af disse Resultater og isærdeleshed paa Fyrren fra Riga eller fra Mar-Skoven (forêt de Mar), som er en af de svageste, og endelig paa Lærketræet, for at bestemme Værdien af Produktet Ei' af Elasticitetskoefficienten multipliceret med den største proportionale Forlængring, som Fibrerne kunne antage uden Forandring af Elasticiteten, — saa finder man for

Fyrren fra Riga $Ei' = 697970000^{Kil} \times 0{,}00204 = 1423859^{Kil}$
„ „ Mar $Ei' = 454810000^{Kil} \times 0{,}003046 = 1385351^{Kil}$
Lærketræet . . $Ei' = 434350000^{Kil} \times 0{,}003189 = 1385142^{Kil}$.

Man seer altsaa, at Værdien 600000 Kilogrammer (822 ℔ pr. norsk □ Tomme), som vi have antaget for de praktiske Formler med Hensyn til Træ, endnu lader sig anvende selv for disse tre Varieteter af Træ, de svageste i den hele af Barlow undersøgte Række.

§ 226. *Forsög af DHrr. Chevandier og Wertheim.* — Disse praktiske Iagttagere, af hvis Resultater vi have anført en Del i § 46, have for at komme til Kundskab om, hvorvidt de Resultater, der vare erholdte med mindre Prø-

vestykker, ogsaa lode sig anvende paa Trædele med de i Praxis brugelige Dimensioner, gjentaget deres Forsøg med Fyr og Eg fra Vogeserne, hvilke havde disse Dimensioner. Deres Resultater findes i følgende Tabel:

Træ.	Brugelige Betegnelser.	Afstand mellem Underlagene.	Stykkernes Længde.	Stykkernes Bredde.	Stykkernes Tykkelse.	Tæthed.	Elasticitetskoefficient.	Belastning i Midten, som frembringer Brud.
	Tommer Tommer	Metre	Metre	Centim.	Centim.		Kilogrammer	Kilogrammer
Voge-ser-Fyr	11 og 12	13,00	14,00	28,99	32,41	0,530	1136700000	6404
	9 „ 10	11,00	13,00	25,46	28,35	0,506	1156700000	5394
	8 „ 9	9,00	10,48	22,30	24,30	0,548	1026900000	3447
	6 „ 7	9,00	10,46	16,99	19,63	0,525	1245000000	2082
	Spærrer .	9,00	10,47	9,27	12,31	0,481	1257600000	517
	Planker .	3,02	4,24	24,63	5,40	0,493	1089800000	917
	Bord . . .	3,02	4,25	24,13	2,78	0,479	1202200000	264
				Middeltal .		0,509	1156400000	
Eg med Agern uden Stilk .	8,5 og 9,5	5,50	5,87	23,18	25,28	1,008	825100000	7889
	8 „ 9	5,50	6,11	21,67	23,67	0,958	822300000	7189
	7 „ 8	5,50	7,06	19,07	22,00	0,922	858900000	5225
	6 „ 7	5,50	6,82	15,99	18,90	0,928	1007000000	5525
	5 „ 6	5,50	6,54	13,67	16,10	0,985	638100000	2225
Eg med Agern med Stilk .	Spærrer .	3,00	4,01	8,28	8,14	0,636	601300000	540
	Spærrer .	2,50	4,00	7,82	8,04	0,759	774300000	735
	Halvtræ .	5,50	6,50	29,34	5,46	0,685	965800000	435
	Krydstræ	3,00	3,65	14,34	4,22	0,824	1210700000	375
	Planker .	3,00	3,37	24,22	2,82	0,712	1251200000	325
				Middeltal .		0,842	895500000	

Af de i denne Tabel indtagne Resultater seer man, at Værdierne af Tætheden eller Egenvægten og af Elasticitetskoefficienterne, udledede af disse Forsøg med Bygningstræ af almindelig brugelige Dimensioner, ikke ere saa meget forskjellige fra de Middelværdier, som erholdtes for de samme Størrelser ved Forsøgene med Prøvestykker, som de afvige mellem sig selv indbyrdes; for alle Spørgsmaal i Praxis kan man altsaa anvende de Middelværdier, som ere angivne i Tabellen i § 44, og som Følge deraf den Værdie for R, som vi have antaget for de brugelige Formler.

§ 227. *Virkning af Træets Törring med Damp eller med varmt Vand.* — Man anvender undertiden Træ, hvis Udtørring man fremskynder, eller hvis Bøining man gjør lettere ved at udsætte det i en vis Tid for Virkningen af et Dampbad eller ved at indbringe det i en Kjedel med kogende Vand og derefter lade det tørre i Oplagshuse.

Barlow har angivet nogle Forsøg over den sammenligningsvise Modstand af Træ, præpareret paa denne Maade. De have været gjorte med Træstykker af Eg med 1m,83 Længde og 0m,0508 i Firkant, skaarne af en og samme Stamme. Resultaterne heraf ere indførte i følgende Tabel.

Forsögenes Antal.	Stykkernes Præparationsmaade.	Præparationens Varighed.	Stykkernes Böining under Belastningen af 45,3 Kilogr.	Brudbelastning.	
		Timer	Meter	Kilogr.	Middeltal, Kilogr.
1	Sædvanlig Tilstand . . .	„	0,0108	328	304
2	Naturlig Udtörring	„	0,0127	280	
3	Udtörring ved Damp . . .	5	0,0114	280	304
4		5	0,0108	328	
5		10	0,0109	300	278
6		10	0,0120	257	
7	Udtörring ved varmt Vand.	2	0,0127	257	278
8		2	0,0108	300	
9		4	0,0117	300	278
10		4	0,0133	257	
11		6	0,0140	271	288
12		6	0,0108	265	
13		8	0,0120	293	290
14		8	0,0127	287	
15		10	0,0140	257	275
16		10	0,0127	293	

Disse Forsøg synes i det Hele at vise, at — uagtet nogle Afvigelser — har Træet, præpareret med Damp eller med kogende Vand, den samme Stivhed eller den samme Modstand mod Bøining som Træ i almindelig Tilstand; men at det ialmindelighed frembyder mindre Modstand mod Brud.

Man vil bemærke, at disse Forsøg ikke ere fuldstændige, og at de overhovedet have været gjorte med allerede

tørt Træ, medens Damp og kogende Vand ofte anvendes til Træets Tørring.

Det vilde være ønskeligt, at nyere og fuldstændigere Forsøg med Træ, tørret med varm Luft eller med Damp af høi Temperatur, bleve udførte med Omhu og paa en mere omfattende Maade.

STØBEJERNS MODSTAND MOD BØINING.

§ 228. *Forsög til Sammenligning mellem Böiningerne af Stöbejerns-Stænger og deres Bærevidder.**) — Stænger af Støbejern fra Blaenavon af Tykkelse $b = 0^m,0775$ og Bredde $a = 0^m,077$ bleve forsøgte med en Bærevidde $2C = 4^m,12$; mellem Støttepunkterne beløb Vægten sig da til $2pC = 192$ Kilogrammer. Efterat de derpaa vare sønderbrudte, forsøgtes de med en Bærevidde $2C = 2^m,07$, hvorved den Del, som laae mellem Underlagene, kun havde en Vægt $2pC = 85$ Kilogrammer. Den følgende Tabel angiver Resultaterne.

Belastninger 2P.	Stænger med $4^m,12$ Bærevidde. Böininger.	Stænger med $2^m,07$ Bærevidde. Böininger.
Kilogrammer	Meter	Meter
50,78		
101,56	0,00495	0,00129
203,13	0,0106	
304,69	0,0160	0,00264
406,26	0,0224	
507,22	0,0292	0,00403
609,38	0,0367	
711,01	0,0451	0,0055
812,51	0,0554	
914,08	0,0653	0,0070
1015,64	0,0760	0,0072
		Middeltal 0,0071
1117,20	0,0922	0,00885
1218,76	0,1040	

*) Rapport fra den Pagina 252 nævnte Undersögelseskommission.

Belastninger 2P.	Stænger med $4^m,12$ Bærevidde. Bøininger.	Stænger med $2^m,07$ Bærevidde. Bøininger.
Kilogrammer	Meter	Meter
1310,32		0,0105
1411,88		0,0123
1615,01		0,0142
1818,14		0,0166
2031,28		0,0196
2234,41		0,0227
2437,54		0,0264
2640,67		
2843,80		

Dersom man graphisk fremstiller disse Resultater ved at tage Belastningerne 2P som Abscisser i Maalestokken 1 Millimeter for 10 Kilogrammer og Bøiningerne i naturlig Størrelse som Ordinater, seer man af Kurven, hvoraf Figur 10 (Pl. IV) er en Reduktion i halv Størrelse:

1. at for Bærevidden $2C = 4^m,12$ ere Bøiningerne mærkelig proportionale med Belastningerne indtil mindst 304,69 Kilogrammer og selv endnu lidt længere, og at Bøiningen da er $0^m,016$, eller $\frac{0,016}{4,12} = \frac{1}{257,5}$ af Bærevidden;
2. at for Bærevidden $2C = 2^m,07$ finder det Samme Sted indtil Lasten 1117,20 Kilogrammer og selv længere, samt at Bøiningen da er 0,0071, eller $\frac{0,0071}{2,07} = \frac{1}{291}$ af Bærevidden;
3. at, dersom man derpaa sammenligner Bøiningernes Forhold til Belastningerne inden disse Grændser, finder man for Bærevidden $2C = 4^m,12$ Forholdet $\frac{0^m,016}{304,69} = 0,00005250$, og for $2C = 2^m,07$ Forholdet $\frac{0^m,0055}{812,51} = 0,00000677$; Forholdet mellem disse to Tal er

$$\frac{5250}{677} = 7,75,$$

medens Forholdet af Bæreviddernes Kubusser er

$$\left(\frac{4,12}{2,07}\right)^3 = 7,95.$$

Man seer altsaa, *at inden de Böiningsgrændser, hvor Krumningspilene ere mærkelig proportionale med Belastningerne, ere Totalböiningerne og deres Forhold til Belastningerne proportionale med Bæreviddernes Kubusser,* ligesom Theorien har lært os.

Man vil bemærke, at efter den praktiske Formel i § 162 vilde de Belastninger, som Stængerne skulde kunne udholde paa en permanent Maade, alene være for Bærevidden $2C = 4^m,12$:

$$P = \frac{ab^2 \times 1250000}{C} = 280,6 \text{ Kilogrammer},$$

og for Bærevidden $2C = 2^m,07$:

$$P = \frac{ab^2 \times 1250000}{C} = 560 \text{ Kilogrammer},$$

hvilket viser, at de Regler, som ere udledede af Theorien, ere tilstrækkelig nøiagtige inden Grændserne for de Belastninger, som Legemerne kunne blive underkastede, og at disse Belastninger næsten ikke ere større end Fjerdeparten eller Femteparten af Brudbelastningerne.

Dersom man ved Hjælp af Formlen $PC = \frac{1}{6} R_r \, ab^2$ beregner Værdien af Brudkoefficienten R_r efter disse Forsøg, finder man for den første Række, hvor $2C = 4^m,12$ og $2P = 1218,76$ Kilogrammer,

$$R_r = 16303000 \text{ Kilogrammer},$$

og for den anden Række, hvor $2C = 2^m,07$ og $2P = 2640,67$ Kilogrammer,

$$R_r = 19020000 \text{ Kilogrammer},$$

hvoraf Middeltallet — 17 661 500 Kilogrammer — forresten er svagere end det, som er erholdt for andet Støbejern

Dersom man beregner Elasticitetskoefficienten af disse Stænger ved Formlen i § 206

$$E = \frac{4C^3(P + \frac{5}{8}pC)}{fab^3},$$

idet man anvender den paa Belastninger, udenfor hvilke Elasticiteten begynder at forandre sig, og idet man lægger Mærke til, at de maalte Pile maae forøges med en Størrelse, som er proportional med $\frac{5}{8}$ af $2pC$ eller af Legemets egen Vægt, finder man for den første Række Forsøg, i hvilken man havde

$$2P = 304^{Kil},692,\ 2pC = 192^{Kil},\ 2C = 4^m,12,$$

og hvor Tegningen giver $0^m,003$ for den Pil, som skyldes Belastningen $\frac{5}{8}2pC$, antaget anbragt i Midten:

$$E = \frac{4 \times \overline{2,06}^3(152,346 + 60)}{0^m,019 \times 0^m,077 \times \overline{0,0775}^3} = 10\,903\,000\,000^{Kil},$$

og for den anden Række, hvor

$$2P = 406^{Kil},256,\ 2pC = 85^{Kil},\ 2C = 2^m,07,$$

og hvor Tegningen giver $0^m,0005$ for den Pil, som skyldes Belastningen $\frac{5}{8}2pC = 53$ Kilogrammer, antaget anbragt i Midten:

$$E = \frac{4 \times \overline{1,035}^3(203,128 + 26,5)}{0^m,00224 \times 0^m,077 \times \overline{0,0775}^3} = 12\,668\,180\,000^{Kil}.$$

Middeltallet 11 785 590 000 af disse to Værdier er kun lidet forskjelligt fra det, som man udleder af den Række Forsøg, hvorom vi længere hen skulle tale.

§ 229. *Andre Forsög over Modstanden af Støbejern mod Böining og Brud paatværs.* — Lader os tage et andet Exempel, som vi ville vælge mellem det mest bøielige Støbejern, hvorom vi have kunnet forskaffe os Angivelser.

Man finder i den engelske Kommissions Rapport andre Forsøg med fem Stænger af Støbejern fra Blaenavon No. 2, oplagte horizontalt paa Ruller, med en Bærevidde af 13 Fod 6″ = 4m,1175 = 2C, og underkastede en Belastning, der virkede vertikalt i Midten; Bredden var $a = 0^m,078$, Tykkelsen $b = 0^m,039$, og Legemets Vægt mellem Underlagene $2pC = 88,92$ Kilogrammer.

Den følgende Tabel indeholder Værdierne af de anvendte Belastninger og af de iagttagne totale og permanente Bøininger.

Belastninger. 2P.	Totalbelastning, Legemets egen Vægt medregnet. $2P + \frac{5}{8}2pC$.	Bøininger efter 5 Minutter			Elasticitetskoefficienter.	
		frembragte ved Belastningerne.	totale. /+0,0237.	permanente.		
Kilogrammer	Kilogrammer	Meter	Meter	Meter	Kilogrammer	
16,696	72,271	0,0046	0,0283		9631600000	9291600000
25,391	80,966	0,0095	0,0332		9197800000	
50,782	106,357	0,0195	0,0432	0,0012	9285500000	
76,173	131,748	0,0300	0,0537		9253200000	
107,564	157,139	0,0415	0,0652		9089800000	
126,955	182,530	0,0535	0,0772		8916100000	
152,346	207,921	0,0661	0,0898		8731200000	
177,737	233,312	0,0805	0,1042		8442700000	
203,128	258,703	0,0954	0,1191		8191100000	
228,519	284,094	0,1118	0,1355		7906300000	
253,910	309,485	0,1278	0,1515		8994400000	
279,301	335,886	0,1467	0,1704		7433300000	
304,892	360,467	0,1668	0,1905		7135600000	
330,283	385,858	0,1933	0,2170		6705400000	
355,074	411,049	0,2217	0,2454		6316500000	
380,865	436,440	0,2510	0,2747		5994600000	
406,256	461,831	»	»		»	

Man vil bemærke, at ifølge vore praktiske Formler skulde den Belastning, som lignende Stænger kunde underkastes paa en permanent Maade, kun være

$$2P = 2\,\frac{1250000 \times 0{,}078 \times \overline{0{,}039}^2}{2{,}0587} = 144^{Kil},070,$$

naar man ikke medregner Legemets egen Vægt.

Den ovenstaaende Tabel indeholder, som man seer, kun de Bøininger, der ere frembragte ved selve Belast-

ningen, anbragt i Midten af Legemet, og handler ikke om dem, som oprindeligen vare foranledigede ved Stængernes egen Vægt. Men da disse veie omtrent 88,92 Kilogrammer, hvilket ifølge Theorien vilde æquivalere, med Hensyn til Bøining, en Last lig med $\frac{5}{8}$ af Vægten eller 55,575 Kilogrammer, og med Hensyn til Brud, en Last lig med Halvparten af Stangens Vægt, eller 44,46 Kilogrammer, saa seer man: 1) at de i denne Tabel indeholdte Bøininger kun ere de af Belastningerne frembragte Tilvæxter af Bøining, og at man følgelig for at fremstille disse Resultater graphisk først maa arbeide med Angivelserne saaledes, som Tabellen giver dem, og derefter om muligt deraf udlede de Bøininger, som foranlediges af Totalbelastningerne, der bestaae af Lasten 2P, baaren af Legemet, og $\frac{5}{8}$ af Legemets egen Vægt; 2) at man for Bestemmelsen af Værdierne af Brudkoefficienten R_r og Elasticitetskoefficienten E maa indføre i de theoretiske Formler Halvparten $pC = 44{,}46$ Kilogrammer og $\frac{5}{8}$ af Legemets egen Vægt $2pC$, $\frac{5}{8}2pC = 55{,}575$ Kilogrammer samt den af den graphiske Fremstilling af Resultaterne udledede Totalbøining.

I dette Øiemed har man (Pl. IV, Fig. 11) først taget Belastningerne til Abscisser i Maalestokken 20 Millimetre for 100 Kilogrammer, og Bøiningerne til Ordinater i Maalestokken 1 Millimeter for 5 Millimetre.

Undersøgelsen af denne Figur viser, at Bøiningerne kun ere proportionale med Belastningerne inden temmelig indskrænkede Grændser, og indtil Lasten 2P er lig 76 Kilogrammer eller høist 101 Kilogrammer. Naar Lasten overskrider denne Værdie, voxe de hastig, og i Øieblikket før Bruddet, indtruffet under Lasten $2P = 406{,}07$ Kilogrammer, havde den i Tabellen angivne Pil naaet $0^m{,}251$. Indrømmer man derimod, som Tegningen synes at angive, at ved de svage Belastninger ere Bøiningerne proportionale med Lasterne, saa følger deraf, at den Krum-

ningspil, der er frembragt af Legemets egen Vægt, som efter Theorien er ligegjældende med 55,575 Kilogrammer, anbragt i Midten af Længden, vil være omtrent $0^m,0237$. Og da Bøiningen har tiltaget om 25,4 Millimetre ved en Belastningsforøgelse af 59,477 Kilogrammer — nemlig fra 16,696 Kilogrammer indtil 76,173 Kilogrammer —, saa viser dette Forhold, at Vægten 55,575 Kilogrammer, ligegjældende med Legemets egen Vægt, har skullet frembringe en Bøining af 23,7 Millimetre; deraf følger, at ved en Belastning $2P = 101,56$ Kilogrammer vilde Totalbøiningen være $0,0415 + 0,0237 = 0,0652$, eller omtrent $\frac{1}{6\frac{1}{3}}$ af Bærevidden, — en Størrelse allerede langt mere betydelig, end man skulde kunne tilstede i Praxis for Stykker af Støbejern i store Bærevidder.

Dersom man antager, at den ydre permanente Belastning af disse lange og saaledes bøielige Stykker ikke meget maa overskride $2P = 76$ Kilogrammer og ikke naae 101 Kilogrammer, udenfor hvilken Værdie man ikke længer kan antage Bøiningerne proportionale med Belastningerne, saa finder man, at Koefficienten R, som skal indføres i Formlerne for Modstanden, maa ligge mellem

$$R = \frac{6\left(P + \frac{pC}{2}\right)C}{ab^2} = \frac{6(38 + 22,23)2,058}{0,078 \times 0,039^2} = 6268800^{Kil},$$

og

$$R = \frac{6(50,5 + 22,23)2,058}{0,078 \times 0,039^2} = 7569800^{Kil},$$

og følgelig i det sidste Tilfælde vilde have en Værdie lidet over den: $R = 7500000$ Kilogrammer, som vi have antaget.

Disse Resultater vise, at dette rene Støbejern fra Blaenavon var paa engang mere bøieligt og af mindre Modstandsevne end det almindelige og især det blandede Støbejern.

Betræffende Brudkoefficienten, da er dens Værdie i nærværende Tilfælde, hvor Stængerne ere brudte under Belastningen $2P + pC = 406{,}256 + 44{,}460 = 450{,}716$ Kilogrammer,

$$R_r = \frac{6 \times 225{,}35 \times 2{,}058}{0{,}078 \times 0{,}039^2} = 23455000^{Kil},$$

en Størrelse, som er mindre end den, der følger af Hr. J. Hosking's Forsøgsrække, hvilken man vil finde angivet i § 232, og som er i Middeltal

$$R = 32441000 \text{ Kilogrammer.}$$

Denne Forskjel i Resultaterne, erholdte med forskjellige Slags Støbejern, viser med hvilken Varsomhed man maa anvende Støbegods, naar der handles om vigtige Bygværker, og hvilken Omhyggelighed der maa anvendes ved Valget og Blandingen af Støbejernet. Man kan deraf ogsaa slutte, at den antagne Værdie for $R = 7500000$ Kilogrammer frembyder som praktisk Koefficient en tilstrækkelig Betryggelse selv for Støbegods af mindre Modstandsevne, end den af midlere Qualitet besidder. Elasticitetskoefficienten af disse Stænger beregner man ved Formlen

$$E = \frac{4(P + \frac{5}{8}pC)C^3}{(f + 0{,}0237)ab^3},$$

naar f er den i Tabellen angivne Bøiningspil, og $0^m{,}0237$, som ovenfor sagt, den, der skyldes Legemets egen Vægt, udledet af den graphiske Fremstilling af Resultaterne. De fundne Værdier ere angivne i Tabellen.

Man seer, at disse Værdier aftage med et Slags Kontinuitet, og at Middelværdien af de fem første er

$$E = 9291600000 \text{ Kilogrammer,}$$

en Størrelse mærkelig mindre end den, som man har udledet af de Forsøg, der ville blive omhandlede i § 232,

og hvilken forresten forklares af Størrelsen af de iagttagne Bøininger.

§ 230. *Andre Forsög af Hr. Morris Stirling over blandet Stöbejern.* — I den samme Rapport finder man endnu andre Forsøg, gjorte med Støbejernsstykker af større Modstandsevne og af samme Dimensioner. Vi ville anføre dem for at give et Exempel paa de mærkelige Forskjelligheder, som Støbejernet kan fremstille. Stængerne have antaget meget mindre Bøininger end de foregaaende, og ere først brudte ved en lidt større Belastning.

Man havde følgende Angivelser for Diskussionen af disse Forsøgs Resultater:

$$a = 0^m,0762,\ b = 0^m,0381,\ 2pC = 87,92 \text{ Kilogrammer},$$

$$\tfrac{5}{8}\,2pC = 54,95 \text{ Kilogrammer},\ 2C = 4^m,1.$$

Resultaterne af disse Forsøg ere indtagne i følgende Tabel.

Belastninger		Frembragte Böininger		Elasticitets-koefficienter.
ophængte i Vægtskaalen. 2P.	totale, Legemets egen Vægt iregnet. $2P + \frac{5}{8}\,2pC$.	ved Belastningen 2P. f.	totale. $f + 0,0203$.	
Kilogrammer	Kilogrammer	Meter	Meter	Kilogrammer
25,391	80,341	0,0082	0,0204	11 603 000 000
50,782	105,732	0,0173	0,0285	11 307 000 000
76,173	131,123	0,0157	0,0376	11 574 000 000
101,564	156,514	0,0360	0,0460	11 734 000 000
126,999	181,905	0,0456	0,0563	11 442 000 000
162,346	207,296	0,0556	0,0659	11 362 000 000
177,737	232,687	0,0658	0,0759	11 347 000 000
			Middeltal .	11 460 000 000

Den graphiske Fremstilling af disse Resultater, (Pl. IV, Fig. 12) viser, at Tilvæxten af de iagttagne Bøininger er mærkelig proportional med Belastningerne indtil henimod Lasten 150 til 175 Kilogrammer. Antager man den Proportion, som ifølge denne Tegning vil for Lasten $2P = 177,737$ Kilogrammer foranledige en Bøining af

$0^m,0658$, finder man, at den Bøining, der svarer til Legemets egen Vægt, som i denne Henseende er ligegjældende med en Belastning af $\frac{5}{8} \times 87,92$ Kilogrammer $= 54,95$ Kilogrammer, vilde være $0^m,0203$, saaledes at den totale Bøining, under hvilken Elasticiteten ikke er bleven mærkelig forandret, har været

$$0^m,0658 + 0^m,0203 = 0^m,0861,$$

eller omtrent $\frac{1}{48}$ af Bærevidden; et Forhold, som meget overskrider de Bøininger, man tillader Stykkerne at antage.

Ved denne Bøiningsgrændse og for Belastningen $2P + pC = 177^{Kil},737 + 43^{Kil},960 = 221^{Kil},697$ vilde Konstanten R i den praktiske Formel have Værdien

$$R = \frac{6\left(P + \frac{pC}{2}\right)C}{ab^2} = \frac{6 \times 110^{Kil},848 \times 2,058}{0^m,0762 \times 0^m,0381^2} = 12374500^{Kil},$$

medens vi i vore praktiske Formler kun anvende Værdien

$$R = 7500000 \text{ Kilogrammer},$$

hvilket viser, at man med godt, vel blandet Støbejern med noget lysegraat og tæt Korn kan overskride de Grændser for Belastning, som vi have antaget for de almindelige Tilfælde. For Brudkoefficienten R_r var Belastningen, som frembragte Brud,

$$2P + pC = 410,226 + 43,96 = 454^{Kil},186;$$

og heraf erholder man

$$R_r = \frac{6 \times 227^{Kil},093 \times 2,058}{0,0762 \times 0,0381^2} = 25351600^{Kil},$$

en Værdie, mindre end den Værdie af 32441000 Kilogrammer, som længere hen vil blive udledet af J. Hosking's Forsøg, ved hvilke Bærevidden og Stængernes Dimensioner vare forskjellige.

Elasticitetskoefficienten for disse Stænger har man beregnet ved Formlen

$$E = \frac{2C^3(2P + \frac{5}{8}2pC)}{(f + 0{,}0203)ab^3},$$

hvor f betegner den i Tabellen angivne Bøining, og 0,0203 den, som tilkommer Legemets egen Vægt, udledet saaledes som ovenfor er sagt.

Ved at anvende denne Formel paa de ti første Forsøg, for hvilke Bøiningerne ere proportionale med Belastningerne, seer man af foranstaaende Tabel, at den Værdie, som man deraf udleder for Elasticitetskoefficienten E, er i Middeltal

$$E = 11\,460\,000\,000 \text{ Kilogrammer.}$$

Denne Værdie er lidt mindre end den, som man har udledet af de foregaaende Forsøg, og har intet Paafaldende ved sig, naar man tager det forsøgte Støbegods's store Bøielighed i Betragtning.

§ 231. *Blanding af Støbejern med Affald af Smedejern.* — Hr. Morris Stirling har i England taget Patent paa en Blanding ved Sammensmeltning af Støbejern og Smedejern, saavel i Reverber- som i Kuppelovne. Han troer, at der da finder en chemisk Operation Sted, hvoraf Følgen er, at Støbejernet afgiver en Del af sit Kulstof til Smedejernet. Dersom det forholder sig saaledes, indseer man, at Forholdet af Smedejern maa variere med Naturen af det anvendte Støbejern, og visse Proportioner skulde maaskee endog kunne frembringe et Metal, der havde Lighed med Staal. Dette være som det vil; Forsøg i det Store, udførte med Bjælker af dobbelt T-Form med bredere Ribber forneden end foroven, have afgivet de i følgende Tabel indtagne Resultater. Bærevidden var $4^m,88$, Bjælkerne veiede 760 Kilogrammer, og Brudbelastningen, beregnet ifølge de almindelige Forsøgsresultater,

var anslaaet til 40200 Kilogrammer, anbragt i Midten af Længden.

Forsøgene bleve gjorte sammenligningsvis med tretten Bjælker af almindeligt Støbejern af forskjellig Natur og med elleve Bjælker af Støbejern, blandet med Smedejern i Forholdet af sex Dele Støbejern og en Del Smedejernsaffald. De iagttagne Brudbelastninger ere angivne i følgende Tabel og udtrykte i engelske Tons.

Forsögenes Nummer.	Støbejernets Brudbelastninger	
	sædvanligt.	blandet med Smedejern.
	Tons	Tons
1	30	52,50
2	35	50,50
3	33	48,00
4	34	52,00
5	33,25	52,50
6	34,50	60,50
7	43,75	60,50
8	46,50	52,50
9	47,00	50,50
10	47,25	56,00
11	38,50	48,50
12	36,50	52,00
13	38,50	
Middeltal . .	38,30	53,00.

Af disse Forsøg i deres Helhed følger, at Fremgangsmaaden ved Blandingen af Smedejernsaffald med Støbejernet i Omsmeltningsovnen forøger Modstanden mod Brud i Forholdet af 53,00 til 38,30, eller af 1,38 til 1,00.

Denne Fremgangsmaade er desuden ekonomisk, saasom man derved kan benytte Fabrikationsaffald af liden Værdie. Det er altsaa at ønske, at den maatte blive almindelig. Betræffende Forholdene, da ere disse lette at bestemme efter Qualiteten af det Støbejern, man anvender.

§ 232. *Forsög over Modstanden af Stöbejerns-Stænger mod Brud ved Böining, anstillede af Hr. R. Stephenson.* — En talrig Række Forsøg er bleven udført af Hr. Hosking, under Ledning af Robert Stephenson, over

Modstanden af forskjelligt Støbejern, dels i den Tilstand, hvori det kom fra Ovnen, dels efter at være blandet, og med Stykker, frembragte saavel ved varm som ved kold Luft.

Disse Stænger, der vare quadratiske, havde alle saa nøie som muligt en Sidelinie af $0^m,0254$ og tre engelske Fod eller $0^m,915$ i Bærevidde. Ved Hjælp af en dertil gjort Indretning vare de belastede i Midten af deres Længde.

I disse Forsøg har man maalt Bøiningerne fra de første Belastninger indtil Bruddet, og man har kunnet bemærke, at indtil Belastninger, som overskride Halvparten af Brudbelastningerne, ere Bøiningerne proportionale med Belastningerne.

Da Resultaterne af disse med saa mange Støbejernssorter anstillede Forsøg kunne udbrede meget Lys over de enkelte Fabrikationsomstændigheder, ville vi angive dem i deres Helhed i følgende Tabel. Da forresten disse Forsøg og de iagttagne Bøininger kunne tjene til at bestemme Værdierne af Elasticitetskoefficienten, have vi indført Resultaterne af dem i Formlen

$$E = \frac{4PC^3}{fa^4}$$

ved deri at indsætte

$$2P = 406 \text{ ℔} = 184{,}08 \text{ Kilogrammer},$$

$$2C = 0^m,915,$$

$$a = 0^m,0254,$$

og ved at give f de Værdier, som ere iagttagne ved Bøiningen, og som ere udtrykte i Decimalbrøker af Linieenheden.

For at beregne Elasticitetskoefficienten have vi mellem de anvendte Belastninger valgt den svageste af alle, fordi den allerede overstiger den, som vilde have været passende at antage som permanent Belastning for lignende Stænger,

omendskjønt Bøiningerne endnu lidt udenfor denne Grændse synes at forblive proportionale med Belastningerne; forresten tilsvarer denne Belastning allerede en Bøining lig $\frac{1}{135}$ af Bærevidden.

Værdierne af de givne Størrelser indførte i Formlen give:

$$E = \frac{3727170000}{f}.$$

Det er denne Formel, som har tjent til for hver Række at beregne Elasticitetskoefficienten; man finder i Tabellen dens Middelværdie særskilt for Støbejern med varm Luft, for Støbejern med kold Luft og for det blandede Støbejern, der har givet de betydeligste Tal.

Forsøgene have været gjorte ved gradvis at forøge Belastningerne, indtil Brud indtraf; de have været gjentagne tre Gange for hvert Slags Støbejern, og de i Tabellens femte Spalte anførte Tal ere Middeltal af tre paa hinanden følgende Iagttagelser.

For at beregne Værdien af Brudkoefficienten R, som vi ville betegne med R_r, ville vi anvende Formlen

$$R_r = \frac{6PC}{a^3},$$

hvori vi sætte $2C = 0^m,915$, $a = 0^m,0254$, og hvoraf følgelig $R_r = 167510\,P$, naar P eller den halve Brudbelastning er udtrykt i Kilogrammer; heraf fremstaaer Formlen:

$$R_r = 37974,6 \times 2P,$$

naar man betegner med 2P Brudbelastningen udtrykt i engelske Pund, saaledes som den, som før nævnt, indeholdes i Tabellens femte Spalte.

Resultat af Forsögene over Stöbejerns Modstandsevne, udförte under Ledning af Hr. R. Stephenson.

Forsögs No.	Stöbejernssorterne.	Middelböining under Belastningen af 406 ℔. i Brökdele af Tommer.	Stængernes Elasticitetskoefficient. E.	Brudbelastninger.	Brudkoefficient. R_r.
	Stöbejern med varm Luft.		Kilogrammer	Pund.	Kilogrammer
1	Skotland	0,263	12592000000	775	29430000
2	Coltness, No. 3	0,325	11468000000	789	29962000
3	Langloan, No. 3	0,323	11539000000	727	27607000
4	Omoa, No. 3	0,290	12852000000	906	34405000
5	Omoa, No. 1	0,330	11294000000	805	30569000
6	Redsdale, No. 3	0,265	14065000000	1014	38506000
7	Redsdale, No. 1	0,316	11795000000	794	30152000
8	Redsdale, No. 1, Stænger sendte udtrykkelig til Forsöget	0,320	11647000000	919	34898000
9	Towlaw, No. 3	0,360	10353000000	708	26886000
	Middeltal		11956000000		31490000
	Stöbejern med kold Luft.				
1	Staffordshire, No. 3	0,308	12301000000	873	33150000
2	Crawshay, Wales, No. 1	0,296	12592000000	873	33150000
3	Blaenavon, No. 1	0,350	10649000000	754	28633000
4	Coalbrookdale, No. 1	0,296	12592000000	876	33265000
5	Coalbrookdale, No. 3	0,288	12941000000	897	34063000
	Middeltal		12215000000		32852000
	Ystalyfera, No. 3, } med varm Luft	0,250	14909000000	998	37899000
	Ystalyfera, No. 3, } Anthracit	0,262	14226000000	998	37899000
	Blandede Stöbejernssorter.				
1	Ystalyfera, No. 3 } med kold Luft, i lige Dele Blaenavon, No. 1 }	0,290	12852000000	876	33265000

Forsögs No.	Stöbejernssorterne.	Middelböining under Belastningen af 406 ℔, i Brökdele af Tommer.	Stængernes Elasticitetskoefficient. E.	Brudbelastninger.	Brudkoefficient. R_r.
			Kilogrammer	Pund	Kilogrammer
2	Garscube, No. 1 / Redsdale, No. 3 } med varm Luft, i lige Dele	0,272	13703000000	981	37253000
3	Garscube, No. 1 / Redsdale, No. 3 } med varm Luft, i lige Dele	0,288	12941000000	907	34443000
4	Dundyvan, No. 3 / Coltness, No. 3 } med varm Luft, i lige Dele	0,305	12220000000	824	31292000
5	Redsdale, No. 1 / Clyde, No. 3 / Coltness, No. 3 } med varm Luft, i lige Dele	0,305	12220000000	859	32620000
6	Langloan, No. 3 / Omoa, No. 1 / Forth, No. 3 } med varm Luft, i lige Dele	0,333	11193000000	829	31367000
7	Omoa, Blair, Clyde, Langloan, Forth, Coltness, alle af No. 3 } med varm Luft, i lige Dele	0,278	13504000000	901	34215000
8	Skotland, med varm Luft og Affald; almindelig Smeltningsblanding for sædvanlige Gjenstande	0,292	13062000000	879	33370000
9	Carnbroe, No. 1 / Redsdale, No. 3 } med varm Luft, i lige Dele	0,305	12220000000	717	27228000
10	Det Samme, med Tilsætning af $\frac{1}{3}$ gammelt Stöbejern	0,262	14226000000	893	33911000
11	Crawshay, (Wales), No. 1 / Coalbrookdale, No. 1 } med kold Luft, i lige Dele. . . .	0,320	11647000000	855	32458000

Forsögs No.	Støbejernssorterne.	Middelböining under Belastningen af 406 ℔, i Brökdele af Tommer.	Stængernes Elasticitetskoefficient. E.	Brudbelastninger.	Brudkoefficient. R_r.
			Kilogrammer	Pund	Kilogrammer
12	Ystalyfera, No. 3, Anthracit, ... 40 Dele Redsdale, No. 3, med varm Luft, . . . 40 „ Crawshay, No. 1, „ kold „ , . . . 40 „ Blaenavon, No. 1, „ „ „ , . . . 30 „ } første Støbning**) Coalbrookdale, No. 1, med kold Luft, . . 30 „ } anden Støbning . .	0,265 0,243	14065000000 15338000000	854 1058	32431000 40101000
13	Udsögt gammelt Støbejern, 2den Smeltning, 30 Dele*) Med et forfeilet Stykke af samme Blanding uden Tilsætning .	0,204	18270000000	527	20013000
14	Samme Blanding som No. 12, smeltet i Kuppelovn	0,290	12852000000	906	34405000
	smeltet i Reverberovn . . .	0,275	13553000000	1023	38848000
	Blandinger gjorte for Underlag til Jernbaneskinner.				
15	Crawshay, No. 1 } med kold Luft Redsdale, No. 3 } „ varm „ Skotland, No. 1 og 3 } „ „ „	0,313	11908000000	822	31215000
16	Crawshay, No. 1 } med kold Luft Redsdale, No. 3 } „ varm „ Skotland, No. 1 og 3 } „ „ „	0,280	13311000000	928	35241000
	Almindeligt Middeltal for de blandede Støbejernssorter***)		13282000000		32981000
	Middeltal for alle forsögte Støbejernssorter		12484000000		32441000

*) Denne Støbejernsblanding havde været valgt til Buerne i Broen High-Level; det gamle Støbejern bestod hovedsagelig i Hammere og Sylinderaxler, sammensmeltede med Støbejern fra Wales.

**) Der var en Blære i Metallet.

***) Ved Beregningen af disse Middeltal er det rene Støbejern fra Ystalyfera ikke medtaget.

Af disse Forsøg i deres Helhed slutter man, at ved Bøining af Støbejernsstænger er Elasticitetskoefficienten større end den, som blev udledet af Forsøgene over Strækningen, og i Middeltal for alle forsøgte Støbejernssorter:

$$E = 12484000000 \text{ Kilogrammer.}$$

Denne Værdie nærmer sig meget den i Frankrige efter de forud bekjendte Forsøg almindelig antagne Værdie af 12000000000 Kilogrammer (16440000 Pund pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt).

For Modstanden mod Brud ved Bøining er den konstante Koefficient, der skal indbringes i Formlerne, i Middeltal $R_r = 32441000^{Kil} = 44444 ℔$ pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt, medens man i § 94 har seet, at Støbejerns Modstand mod Brud ved Kompression er 63208600 Kilogrammer pr. Quadratmeter (86596 ℔ pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt), og mod Brud ved Strækning 11636500 Kilogrammer (15942 ℔ pr. Quadrattomme norsk Maal og Vægt).

Man seer ogsaa, at der, naar Bøiningen er drevet saa vidt som til Brud, idet Virkningerne af Kompression og Extension ere samtidige, indtræder en Fordeling af Modstandskræfterne, der er forskjellig fra den, som vilde følge af Antagelsen af Lighed i Fibrernes Modstand mod Sammentrykning og mod Strækning.

Men da man aldrig tør anvende en Belastning, under hvilken Strækningerne og Kompressionerne overskride de Grændser, udenfor hvilke Elasticitetskoefficienterne med Hensyn til disse to Momenter afvige mærkelig fra hinanden, saa følger deraf, at man endnu med Sikkerhed kan anvende de Formler, der grunde sig paa Lighed af disse Koefficienter.

Naar man antager, at Legemer af Støbejern aldrig maae belastes med mere end Fjerdeparten eller Femteparten af den Vægt, som frembringer deres Brud ved

Bøining, saa erholder man efter disse Forsøg som den Værdie af R, der bliver at indføre i de praktiske Formler:

$$R = 8110250^{Kil} \text{ til } 6488200^{Kil},$$

Værdier, mellem hvilke den i § 86 antagne, nemlig

$R = 7500000^{Kil}$ (10275 ℔ pr. □ Tom. norsk Maal og Vægt),

vil findes at ligge.

§ 233. *Sammenligning mellem Støbejern frembragt med kold, og med varm Luft.* — De foregaaende Forsøg skulde muligens synes at angive, at det med kold Luft frembragte Støbejern har en noget større Modstandsevne end det med varm Luft anblæste; men Forskjellen er saa liden, at den snarere er at tilskrive Malmenes Beskaffenhed.

Blandingen af Støbejern synes ialmindelighed at forøge Modstandsevnen, hvilket ogsaa er antaget af de fleste Støbemestere.

§ 234. *Indflydelse af Støbningsmaaden.* — Anvendelsen af Reverberovnen for at erholde Stykker af stor Modstandsevne er almindelig i England og foretrækkes for Anvendelsen af Kuppelovnen. De foranstaaende Forsøg synes at berettige til denne Mening.

§ 235. *Forsög over Modstanden af Støbejernsrör mod Böining paatværs.* — Hr. Stephenson har i sine Værksteder ladet udføre ved Hr. Hosking nogle Forsøg over Modstanden mod Bøining og mod Brud af Støbejernsrør af forskjellige Former. De anvendte Rør bleve alle støbte paa engang. For at bestemme Fordelene ved de forskjellige Former af Rørenes Tværsnit, var Overfladen af dette Tværsnit, Rørenes Vægt og Metallets Tykkelse saameget muligt eens.

Deres Længde var 6 Fod engelsk = $1^{m},830$ mellem Underlagene; deres Middelvægt 35,366 Kilogrammer.

Middelresultaterne af disse Forsøg ere samlede i efterstaaende Tabel.

Tværsnittets Form.	Dimensioner.		Belastninger.	Böininger.	Elasticitetskoefficient. E.	Brudbelastning.	Brudkoefficient. R_r.
	Meter	Meter	Kilog.	Meter	Kilogrammer	Kilogrammer	Kilogrammer
Quadrat	$b = 0{,}0795$	$b' = 0{,}0603$	355	0,0025	8159700000	2180	21262600
$I = \frac{1}{12}(b^4 - b'^4) = 0{,}000002227$			712	0,0053	7701700000		
$\frac{I}{v'} = \frac{1}{6}\frac{(b^4 - b'^4)}{b} = 0{,}000056026$			1065	0,0084	„		
			1420	0,0117	„		
			1780	0,0154	„		
Rektangel	$a = 0{,}0562$	$a' = 0{,}0370$	355	0,0018	9789700000	2330	25335000
$I = \frac{1}{12}(ab^3 - a'b'^3) = 0{,}000002578$	$b = 0{,}1026$	$b' = 0{,}0093$	712	0,0039	9044300000		
$\frac{I}{v'} = \frac{1}{6}\frac{(ab^3 - a'b'^3)}{b} = 0{,}000050255$			1065	0,0061	8646400000		
			1420	0,0085	„		
			1780	0,0110	„		
			2130	0,0139	„		
Sirkel	$D' = 0{,}0986$	$D'' = 0{,}0793$	355	0,0022	7650700000	2320	23156200
$I = 0{,}0491(D'^4 - D''^4) = 0{,}000002699$			712	0,0045			
$\frac{I}{v'} = 0{,}0982\frac{(D'^4 - D''^4)}{D'} = 0{,}00005475$			1065	0,0069			
			1420	0,0096			
			1780	0,0126			

Tværsnittets Form.	Dimensioner.		Belastninger.	Bøininger.	Elasticitetskoefficient. E.	Brudbelastning.	Brudkoefficient. R_r.
	Meter	Meter	Kilog.	Meter	Kilogrammer	Kilogrammer	Kilogrammer
Ellipse	$2a=0{,}0688$	$2a'=0{,}0496$	355	0,0018	8115600000	3250	36434000
$I = 0{,}7854\ (ab^3 - a'b'^3) = 0{,}000003110$ . . .	$2b=0{,}1276$	$2b'=0{,}1084$	712	0,0032	9134700000		
$\frac{I}{v'} = \frac{0{,}7854\ (ab^3 - a'b'^3)}{b} = 0{,}00004875$ . . .			1065	0,0049	8925200000		
			1420	0,0067	8701200000		
			1780	0,0087	"		
			2130	0,0108			
			2480	0,0130			
			2840	0,0154			
			Middel E = 8586920000				

Den graphiske Fremstilling af disse Resultater viser, at Bøiningerne kun ved de først anvendte Belastninger vare proportionale med disse, hvilket ligger deri, at disse Belastninger allerede vare nær ved dem, som Klogskab ikke vilde have tilladt at overskride for permanent Brug, og som ifølge de praktiske Formler respektive vilde have været for Bjælker af følgende Tværsnit:

quadratisk,	*rektangulært,*	*sirkulært,*	*elliptisk.*
$2P = 918^{Kil}$,	824^{Kil},	897^{Kil},	799^{Kil}.

Beregner man Elasticitetskoefficienten E af det Støbejern, som anvendtes til Rørene, inden de Grændser, hvor Bøiningerne forblive proportionale med Belastningerne, finder man til Middelværdie

$$E = 8586920000 \text{ Kilogrammer,}$$

en Størrelse, som lidet fjerner sig fra Middelværdien

$$E = 8950417000 \text{ Kilogrammer,}$$

fundet ved Hr. Hodgkinson's direkte Forsøg over Strækning og Kompression.

Man vil bemærke, at de praktiske Formler give for de permanente Belastninger, for hvilke man med Sikkerhed skulde have kunnet udsætte de forsøgte Stænger, temmelig afvigende Værdier, som skulde synes at antyde, at det quadratiske Tværsnit med samme Masse Metal vilde være det fordelagtigste, og som med Hensyn hertil vilde give følgende Ordning af Tværsnittene:

quadratisk, sirkulært, rektangulært, elliptisk,

medens Forsøgene, drevne indtil Brud, have ordnet dem paa følgende Maade:

elliptisk, sirkulært eller *rektangulært, quadratisk.*

Men det maa ikke tabes afsigte, at de Hypotheser, paa hvilke den Theorie hviler, hvorefter man har udledet Formlerne, kun ere gyldige for de smaae Bøininger og udenfor disse Grændser ikke længere svare til Virkemaaden af de molekulære Modstande. Desuden maa bemærkes, at paa den ene Side Inertiemomentet I voxer, og følgelig Udtrykket for Krumningspilen $f = \frac{1}{3}\frac{PC^3}{EI}$ aftager, naar, med lige Masser af Material, Legemets Høide forøges i Forhold til dets Bredde, — hvoraf følger, at det med Hensyn til Bøining er fordelagtigt at anvende Legemer af større Høide — Forholdene forøvrigt uforandrede; men at paa den anden Side ogsaa Faktoren $\frac{I}{v'}$ i Formlen $PC = \frac{RI}{v'}$ formindskes, naar, med lige Masser af Material i Profilet, Høiden forøges, hvilket man kan see i nærvæ-

rende Tilfælde, hvor den har de svageste Værdier for de elliptiske og rektangulære Rør, hvilket fører til en Værdie for R, der er større for disse Legemer end for de andre, naar man anvender denne Formel til Bestemmelse af Brudkoefficienten.

Saasom det iøvrigt især kommer an paa at begrændse Bøiningerne, og da Theorien i Overensstemmelse med Erfaringen viser, at de, under ellers lige Forhold, ere saameget mindre, som Profilets Inertiemoment er større, saa følger deraf, at de forsøgte Profiler med Hensyn hertil maae sættes i følgende Orden:

elliptisk, sirkulært, rektangulært, quadratisk.
I = 0,000003110, 0,000002699, 0,000002578, 0,000002222.

Det er udentvivl disse Fordele, mindre Bøining og større Modstand mod Brud, som bevægede Stephenson til ved sit første Studium af Rørbroerne først at forsøge Rør med elliptisk Tværsnit.

§ 236. *Tidens Indflydelse paa Böiningerne.* — Naar Legemer af Støbejern ere belastede med Vægter, saaledes at Grændserne for Elasticiteten ikke overskrides, og navnlig ikke de, der ere bestemte ved vore Formler, ville de Bøininger, som de antage, ikke forøges med Tiden. Følgende Forsøg af Fairbairn, som har varet over fire Aar, viser dette tydeligt. De prøvede Stænger havde følgende Dimensioner:

$$2C = 1^m,37, \quad a = 0^m,0259, \quad b = 0^m,0261.$$

Den i Midten anbragte Belastning var konstant og lig med $2P = 152,3$ Kilogrammer. Ifølge disse Dimensioner og Formlen

$$ab^2 = \frac{PC}{1250000}$$

skulde man kun have belastet saadanne Stænger med en Vægt $2P = 64,38$ Kilogrammer.

Den følgende Tabel viser, at uagtet dette Overmaal af Belastning har Bøiningen ikke forøget sig under de fire Aar, hvori Forsøgene varede, der bleve foretagne med to Stænger af Støbejern, den ene frembragt med kold, den anden med varm Luft.

Iagttagelsesdatoer.	Böining af den med kold Luft frembragte Stang.	Böining af den med varm Luft frembragte Stang.	Temperatur.	Bemærkninger.
	Meter	Meter		
23 Juni 1838 .	0,0033	0,0039	25°,5	Den med varm
5 Juli 1839 .	0,0033	0,0039	22 ,2	Luft frembragte
6 Juni 1840 .	0,0033	0,0039	16 ,1	Stang erholdt en
22 Novbr. 1841	0,0033	„	10 ,0	Beskadigelse ef-
19 April 1842.	0,0033	„	15 ,0	ter 6te Juni 1840.

Disse med andre Stænger gjentagne Forsøg have givet lignende Resultater, selv for end større Belastninger. Man seer altsaa, at vore praktiske Formler føre til Belastninger, som Legemerne med Sikkerhed permanent kunne bære.

§ 237. *Bemærkninger over Elasticitetens Forandring ved Stænger af Støbejern.* — Hodgkinson bemærker med Ret, at Tredgold og Andre feile ved at antage, at Elasticiteten ikke blev forandret, saa længe Bøiningen ikke overskred Tredieparten af den, som frembragtes ved Brudbelastningen. Den Undersøgelse, vi have foretaget med Resultaterne af Forsøg med meget forskjellige Sorter Støbejern, viser, at Elasticiteten er forandret, og at Bøiningerne ophøre at være proportionale med Belastningerne, længe førend disse have naaet Tredieparten af Brudbelastningerne. Man kan endog tilføie, at der ikke finder noget regelmæssigt Forhold Sted mellem Maximumsbøiningen, som umiddelbart forudgaaer Bruddet, og den Bøining, hvorved Elasticiteten begynder mærkelig at forandre sig, hvilket viser, hvad vi allerede have sagt, at Forsøgene, alene anstillede over Brud, ikke egne sig til at afgive sikkre Regler for Praxis.

§ 238. *Forsög over Stöbejernsstænger med Ribber.* — Hodgkinson troer endog, at Elasticiteten forandrer sig, og at det bøiede Legeme altid bibeholder permanente Bøininger, ihvor smaae Belastningerne og Bøiningerne end have været. Han har søgt at maale disse permanente Bøininger og at underkaste dem en empirisk Regel. Uden at bestride denne duelige Iagttagers Tal ville vi bemærke, at inden Grændsen for de permanente Belastninger og de Bøininger, som Klogskab tillader at tilstede, ere de permanente Krumningspile, han har erholdt, saa smaae, at de fuldkommen kunne sættes udaf Betragtning og for en Del kunne tilskrives en Eftergiven i Underlagene. Forresten lader dette sig undersøge ved Betragtningen af følgende Forsøg, som tillige have en særegen Interesse, fordi de ere gjorte med flade Støbejernsstænger med een Ribbe, som først bleve oplagte med Ribben nedadvendt og siden med den opadvendt, for med Sikkerhed at udfinde den Forskjel i Modstanden og i Bøiningerne, som deraf kunde følge.

Disse Støbejernsstænger fra Carron No. 2, (Pl. IV, Fig. 13) vare oplagte paa Underlag i Afstand fra hinanden af $2C = 1^m,982$ og belastede med Vægter, anbragte i Midten af deres Længde; man havde $a = 0^m,127$, $b = 0^m,0076$, $a' = 0^m,0091$, $b' = 0^m,032$.

Ifølge disse Dimensioner havde Stængerne omtrent en Vægt $2pC = 17,93$ Kilogrammer.

Følgende Tabel indeholder Resultaterne af disse Forsøg.

Ribben nedadvendt.			Ribben opadvendt.		
Belastninger.	Böininger		Belastninger.	Böininger	
	totale.	permanente.		totale.	permanente.
Kilogrammer	Millimetre	Millimetre	Kilogrammer	Millimetre	Millimetre
3,18	0,38	„	3,18		umærkelig.
6,36	0,81	0,025	6,36	0,63	ligeledes.
9,54	1,17	0,050	9,54	1,18	0,05

Ribben nedadvendt.			Ribben opadvendt.		
Belastninger.	Böininger		Belastninger.	Böininger	
	totale.	permanente.		totale.	permanente.
Kilogrammer	Millimetre	Millimetre	Kilogrammer	Millimetre	Millimetre
12,72	1,62	0,100	12,72	1,65	0,07
25,44	3,30	0,125	25,44	3,40	0,12
50,88	6,93	0,508	50,88	6,85	0,38
76,30	11,35	0,888	101,80	14,70	1,47
101,80	15,70	1,470	151,00	22,70	2,56
127,00	20,60	2,360	203,80	31,00	3,93
154,00	26,15	3,300	254,00	40,20	5,97
165,50	Brud.	„	305,00	50,40	8,38
			356,00	61,20	12,40
			407,00	„	22,70
			458,00	105,00	26,40
			483,00	„	
			508,00	Brud.	

Dersom man graphisk fremstillede Resultaterne af disse Forsøg ved at tage Belastningerne 2P i Midten af Legemet til Abscisser, og til Ordinater, i den tidobbelte Maalestok, de i Tabellen angivne Bøininger, som i Virkeligheden ikke ere andet end de af disse Belastninger bevirkede Tilvæxter af Bøining, og slet ikke Totalpilene, saa vilde man strax see, at Bøiningerne i begge Tilfælde ere de samme og have det samme konstante Forhold til Belastningerne, indtil den totale Belastning 2P er = 101,80 Kilogrammer og selv mere, da den frembringer en Bøining af omtrent $\frac{1}{126}$ af Bærevidden.

Erindrer man sig, at vi ved at behandle de direkte Forsøg over Modstanden af Støbejern mod Strækning og mod Kompression have fundet Elasticitetskoefficienten for Støbejern næsten at være den samme for begge Tilfælde, saa seer man, at man inden de Grændser, hvor Elasticiteten ikke er forandret, og hvor følgelig Bøiningerne ere proportionale med Belastningerne, kan medgive, ligesom ogsaa den almindelige Theorie antager, at Modstanden mod Strækning og mod Kompression er den samme, hvilket simpelgjør Beregningerne.

Men man kan vel at mærke ikke uden at begaae Feil udstrække denne Hypothese over disse Grændser.

For af disse Forsøg at udlede Brudkoefficienten, den permanente Belastning, som det maatte ansees passende at paabyrde disse Stænger, og Elasticitetskoefficienten maa man tye hen til de i det Foregaaende angivne Formler.

Den første, som bestemmer den neutrale Axes Afstand fra Profilets flade Side, er (§ 156):

$$z = \tfrac{1}{2}\frac{ab^2 + a'b'^2 + 2a'bb'}{ab + a'b'} =$$

$$= \tfrac{1}{2}\frac{0{,}127 \times \overline{0{,}0076}^2 + 0{,}0091 \times \overline{0{,}032}^2 + 2 \times 0{,}0091 \times 0{,}0076 \times 0{,}032}{0{,}127 \times 0{,}0076 + 0{,}0091 \times 0{,}032} = 0^m{,}0084.$$

Heraf udleder man: $v' = b - z + b' = 0^m{,}0312$;

videre $$\frac{I}{v'} = \tfrac{1}{3}\frac{az^3 - (a-a')(z-b)^3 + a'(b+b'-z)^3}{b - z + b'} =$$

$$= \frac{0{,}127 \times \overline{0{,}0084}^3 - 0{,}1179 \times \overline{0{,}0008}^3 + 0{,}0091 \times \overline{0{,}0312}^3}{3 \times 0{,}0312};$$

hvoraf $$I = 0{,}0000001172$$

og $$\frac{I}{v'} = 0{,}000003756.$$

Ved Hjælp af disse Værdier finder man derpaa Værdien af E ved Formlen (§ 203)

$$E = \tfrac{1}{3}\frac{PC^3}{fI}.$$

Beregner man Værdierne for Elasticitetskoefficienten, erholdte af denne Stang, idet man giver f til Værdie de Bøininger, som ere frembragte ved Belastningen $2P = 101{,}80$ Kilogrammer, og som have været med Ribben nedadvendt $f = 0^m{,}0157$, og med Ribben opadvendt $f = 0^m{,}0147$, finder man følgende Resultater:

med Ribben nedadvendt: $E = 8974000000^{Kil}$

„ „ opadvendt: $E = 9584500000^{Kil}$

Middeltal: $E = \overline{9279250000}^{Kil}$,

en Værdie, som differerer meget lidet fra den

$$E = 8950382000^{Kil},$$

som vi i § 86 have udledet af samme Forfatters Forsøg over Støbejernets direkte Strækning og Kompression.

Af denne Undersøgelse seer man altsaa, at inden de Grændser, hvor den i § 124 ff. udviklede Theorie gjælder, frembyder den en for Praxis tilstrækkelig Overensstemmelse med Erfaringens Resultater, og at man kan antage, ligesom vi hidtil have gjort, at den neutrale Axe gaaer gjennem Tværsnittets Tyngdepunkt.

§ 239. *Bemærkninger over Modstanden af Stænger med Ribber mod Brud.* — Det Foregaaende viser, at, naar Bøiningen er indskrænket inden visse Grændser, ere Modstandene mod Kompression og mod Strækning næsten hinanden lige, og at det da er ligegyldigt, enten Ribben befinder sig over eller under Stangen. Men dersom man betragter Modstanden mod Bruddet, hvilket indtræffer langt senere og først under meget betydeligere Belastninger, da er Forholdet ganske anderledes. Modstanden mod Kompression bliver større end Modstanden mod Strækning, efterhaanden som Bøiningerne mere og mere overskride de Grændser, inden hvilke de ere proportionale med Belastningerne. Deraf følger, at den neutrale Axe maa forandre Beliggenhed, og at den for enhver ny Ligevægtstilstand med enhver Belastning nærmer sig mere og mere den komprimerede Del. Den Del af Legemet altsaa, som er forlængret, bliver dette mere og mere, og i dette Tilfælde er det indlysende, at Legemet, dersom det ligesom i det foregaaende Forsøg er frit oplagt paa to Underlag, maa brækkes langt lettere, naar Ribben er nedadvendt og udsat for Strækning, end naar den er opadvendt og udsat for Kompression. Det Modsatte finder derimod Sted, naar der handles om et Legeme, som kun er befæstet ved en af dets Ender.

Erfaringen bekræfter, som foregaaende Tabel viser, tilfulde disse Betragtninger, eftersom Stangen, lagt med Ribben opadvendt, først er bleven brudt med en Belastning af lidt meer end det Tredobbelte af den, som havde brudt Legemet med Ribben nedadvendt. Naar det ved saadant Brud er Ribben, der giver efter som Følge af Kompressionen, afsondrer der sig almindeligvis fra Legemet et Slags Kile af saadan Form, som den, der er angivet paa Pl. III, Fig. 6, og som ved Kompressionens Indvirkning er fuldkommen afsondret fra Legemet.

Af denne Bemærkning følger, at for Legemer med analoge Former vilde Brudkoefficienten være meget forskjellig, alt eftersom Ribben blev sammentrykket eller strækket. Men da Klogskab fordrer, at de permanente Belastninger aldrig maae være saa store, at Elasticiteten overskrides i nogensomhelst Del af Legemet, sees der, at man ialmindelighed ikke behøver at tage denne Forskjel i Betragtning. Værdien R = 7500000 Kilogrammer pr. Quadratmeter (10275 ℔ pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt), som vi have antaget for de praktiske Formler, passer altid til de Dimensioner og til de Belastninger, ved hvilke Elasticiteten ikke forandres, hvilken Forskjel der end kunde finde Sted paa Grund af det anvendte Støbejerns Natur og Egenskaber, naar det kun ikke paa engang er af første Støbning og af meget store Dimensioner.

I nærværende Tilfælde, hvor

$$\frac{I}{v'} = 0{,}000004099,$$

finder man virkelig for Belastningen 2P, som man skulde kunne lade Legemet bære med Sikkerhed:

$$P = \frac{RI}{v'C} = \frac{7500000 \times 0{,}000004099}{0^m{,}991} = 31^{Kil}{,}02,$$

hvoraf 2P = 62,04 Kilogrammer, medens Boiningerne i

begge Tilfælde ere forblevne proportionale med Belastningerne indtil mindst 2P = 101,80 Kilogrammer.

§ 240. *Om Formen for Støbejernsbjælker og om Maaden at belaste dem.* — Hodgkinson har af den Uligheid i Modstand, som Støbejern fremstiller mod Kompression og mod Strækning, sluttet, at ved Anvendelsen af Støbejernsbjælker af Form som et dobbelt T, saaledes som man almindeligen bruger dem i Jernbane- og andre Broer, bør Tværsnittet af den nedre Ribbe, der er udsat for Strækning, gjøres langt større end den øvre, Kompression underkastede Ribbes Tværsnit. Denne Regel er almindelig fulgt af de engelske Ingenieurer, fordi disse have for Skik at antage som permanent Belastning en vis Brøkdel af Brudbelastningen.

Omendskjønt denne Methode er mangelfuld, og man bør begrændse Belastningerne efter de Bøininger, ved hvilke Elasticiteten begynder at forandres, og omendskjønt man ved Behandlingen af de i § 86 angivne Forsøg af Hodgkinson selv har seet, at Elasticitetskoefficienten inden disse Grændser er den samme for Kompression som for Strækning, saa er det dog bekvemt for Forbindelserne og for Bjælkernes Oplægning etc. at give den nedre Ribbe en større Bredde og mere Styrke end den øvre.

Et af de engelske Ingenieurer meget omtvistet Spørgsmaal er, om der ikke — især for de ydre Bjælker — er betænkelige Uleiligheder forbundet med at lade Belastningerne bæres eller, for at tale tydeligere, Broernes Tværbjælker hvile paa den nedre Ribbe, og hvilken Anordning der i saadanne Tilfælde bør vælges.

De dueligste Ingenieurer ere næsten samtlige enige om at tilraade i dette Slags Støbejernsbjælker ikke at anbringe nogensomhelst Aabning, som afbryder Legemets fortsatte Sammenhæng. Nogle, blandt hvilke jeg vil nævne Fairbairn, ville endog ikke, at smaae, paa Længden og paa Bjælkernes vertikale Flader perpendikulære Ribber maae

tilføies, fordi de ved Støbningen kunne foranledige Blærer og andre Feil.

Den simpleste, fuldkommen sammenhængende Form er den, som man almindeligst anvender. Den frembyder den af mange Ingenieurer benyttede Fordel at kunne oplægge Tværbjælkerne paa den nedre Ribbe, hvorved Brodækkets Konstruktion gjøres overmaade simpel. Men denne Maade at fordele Belastningen paa udsætter de ydre Bjælker for en Vridningskraft, som man holder for farlig. Imidlertid er denne Maade den forherskende, og mange duelige Ingenieurer have antaget den ikke alene for Bjælker af Støbejern, men ogsaa for Bjælker af Jernplader.

Fairbairn foreslaaer følgende Maade, som uden at forandre Nogetsomhelst ved Bjælkerne tilsteder at fordele Belastningen ligeligen paa begge Sider af den nedre Ribbe; men den er noget mere sammensat end den, man almindeligvis følger. Tværbjælkerne, antagne af Støbejern, løbe under den nedre Ribbe, og ophænges til enhver af dens Sidegrene ved to Bolte med Hæle, som befæste dem til Ribbens begge Dele.

Dersom Tværbjælkerne ere af Træ, vil man kunne anvende et lignende Middel. Denne Maade vilde ogsaa frembyde den Fordel med Lethed at kunne erstatte en Bjælke uden at løfte Brodækket.

§ 241. *Bemærkninger over de af de engelske Ingenieurer antagne Proportioner for Bjælker af Støbejern.* — Den største Del af de forsigtige engelske Ingenieurer antage som den største Belastning for Støbejernsbjælker til Jernbanebroer kun Femteparten og selv Sjetteparten af Brudbelastningen, hvilket i de praktiske Formler gjør

$R = 6\,488\,200^{Kil}$ eller $5\,407\,000^{Kil}$ (8888 ℔ eller 7407 ℔ pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt).

For almindelige Broer og især for saadanne Bygninger, som ikke ere udsatte for Svingninger og Vibra-

tioner, antager man almindeligvis de permanente Belastninger lig Fjerdeparten af Brudbelastningen, altsaa

$$R = 8110000^{Kil} \text{ (11110 } \text{℔} \text{ pr. } \square \text{ Tomme norsk Maal og Vægt),}$$

hvilket kun lidet fjerner sig fra Værdien

$$R = 7500000^{Kil} \text{ (10275 } \text{℔} \text{ pr. } \square \text{ Tomme norsk Maal og Vægt),}$$

som vi hidtil have antaget, og som vi ville bibeholde for almindelige Tilfælde.

For Jernbanebroer ere de engelske Ingenieurer enstemmige i at anslaae Belastningen af Broen til 1,5 à 2 Tons pr. løbende Fod, hvilket er det samme som 5000 à 6655 Kilogrammer pr. løbende Meter (3143 eller 4190 ℔ pr. løbende Fod norsk Maal og Vægt) af Veien eller Skinneparret.

Den Prøve, som Bjælkerne underkastes, overskrider sjelden Tredieparten af Brudbelastningen, og mange Ingenieurer foretrække ved Iagttagelse af Bøiningerne kun at anvende den virkelige Maximumsbelastning.

Grændsen for de Bøininger, som Bjælkerne kunne antage under Belastningen, er af de engelske Ingenieurer bestemt paa en meget foranderlig Maade, og de synes overhoved ikke at befatte sig med iforveien at beregne dem. Denne Størrelse er virkelig ogsaa, som man har kunnet see af Forsøgene, saa afhængig af Støbegodsets Natur, at man maa have nøie Bekjendtskab til den Sort, man anvender. Imidlertid ere de Sorter, som man erholder ved Blandinger, og som ere af et graat og temmelig fint Korn, hvilket man bør give Fortrinet, mindre afvigende end de øvrige. Af Formlerne i § 190 ff. kan man beregne Legemernes Krumningspil og bestemme de den antagne Grændse tilsvarende Belastninger. Ialmindelighed er man enig om at antage, at Bøiningen af Støbe-

jernsbjælker ikke bør overskride $\frac{1}{600}$ af Bærevidden, samt at det vilde være at foretrække at indskrænke den til $\frac{1}{2000}$.

§ 242. *Følgeslutninger af Forsögene over Stöbejernets Modstand mod Böining og Brud.* — Af samtlige i det Foregaaende angivne og omhandlede Forsøg kunne vi altsaa slutte:

1. at imellem temmelig udstrakte Grændser, som overskride Grændserne for de permanente Belastninger, hvorfor man med Sikkerhed kan udsætte Legemerne, ere Bøiningerne
   a. proportionale med de Kræfter, som frembringe dem;
   b. proportionale med Kubusserne af Bærevidderne;
   c. i omvendt Forhold til Produktet ab^3 — af Bredden multipliceret med Kubussen af Høiden — for Stykker af rektangulært Tværsnit;
2. at imellem de samme Grændser, mellem hvilke Støbejernets Modstand mod Kompression synlig er den samme som mod Strækning, gaaer den neutrale Axe gjennem Tværsnittets Tyngdepunkt;
3. at Middelværdien af Elasticitetskoefficienten for Støbejern er for Quadratmetren omtrent:

$$E = 12000000000^{Kil}, \quad (16440000 \text{ ℔ pr. } \square \text{ Tomme norsk Maal og Vægt}),$$

ligesom vi have antaget den i de praktiske Formler; men at den varierer meget efter Støbejernets Natur og Egenskaber og synker ned til:

9000000000 og til 10000000000^{Kil} (12330000 ℔ til 13700000 ℔ pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt);

4. at Koefficienten for Brud ved Bøining for Støbejernsbjælker har til Middelværdie:

$$R_r = 32441000^{Kil} \quad (47184 \text{ ℔ pr. } \square \text{ Tomme norsk Maal og Vægt});$$

5. at følgelig, naar man antager, at Støbejernsbjælker, udsatte for Bøining paatværs, ikke bør belastes paa en

permanent Maade med meer end Fjerdeparten af Brudbelastningen, maa Værdien af de praktiske Formlers Koefficient R ikke overskride

$$R = 8110250^{Kil}$$ (11111 ℔ pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt);

hvilket viser, at vi ved at antage Værdien

$$R = 7500000^{Kil}$$ (10275 ℔ pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt)

ere forblevne inden de af Klogskab paabudne Grændser.

SMEDEJERNS MODSTAND MOD BØINING.

§ 243. *Forsög af Duleau over Smedejerns Modstand.* — Blandt de Forsøg, som man skylder denne duelige og samvittighedsfulde Iagttager, ville vi anføre dem, som han har gjort med en Stang af Smedejern fra Périgord, som havde til Basis en ligesidet Triangel med $0^m,038$ Side og en Længde af $3^m,02$, samt en Vægt af 14,75 Kilogrammer.

Afstanden mellem Underlagene var $3^m,00$. Stangen blev efterhaanden lagt paa enhver af sine tre Sideflader og paa enhver af sine Egge eller Kanter, saaledes at Kilen, der dannedes af dens Sideflader, i første Tilfælde vendte opad, i andet nedad.

Dette Forsøg, der er aldeles overensstemmende med det, som Hodgkinson har anstillet med en Stang af Støbejern forsynet med Ribbe, og som vi have meddelt i § 238, fører for Smedejernet til Resultater, der ere overensstemmende med dem, vi have erholdt for Støbejernet.

Belastningerne anbragtes i Midten af Legemets Længde. Bøiningerne, som de have frembragt, ere indtagne i følgende Tabel.

Belastninger.	De iagttagne Böininger af Stangen, oplagt paa					
	Fladerne			Kanterne		
	A	B	C	*a*	*b*	*c*
Kilogrammer	Millimetre	Millimetre	Millimetre	Millimetre	Millimetre	Millimetre
5	3	4	4	4	4	4
10	7	8	8	8	8	8
15	11	11	12	12	12	11
20	15	15	16	15	16	15
25	18	19	19	19	20	19
30	22	23	23	23	23	23
35	26	27	27	27	27	27
40	30	31	31	31	31	31
45	33	35	34	34	34	34
50	37	38	38	38	38	37
55	41	42	„	42	42	41

Resultaterne af dette Forsøg vise tydeligt, at Modstanden mod Bøining er den samme i begge Tilfælde, saaledes som man udleder det af Theorien. Følgelig kan Hypothesen om Lighed i Modstand mod Kompression og mod Extension, som mærkelig overensstemmende med Iagttagelserne, antages gjældende ligesaavel for Smedejernet som for Støbejernet, forudsat at man indskrænker sig til at anvende den inden de Grændser, hvor Bøiningerne forblive proportionale med Belastningerne.

§ 244. *Forsög over Modstanden af Smedejerns-Rör, sveitsede og uden Nagler.* — Hosking har ogsaa gjort interessante Forsøg over Modstandsevnen hos Smedejerns-Rør uden Sveitsning for at sammenligne den med Modstandsevnen hos Støbejernsrør.

De sirkulære Rør bleve forfærdigede af Russell & Comp. ved Trækning gjennem Valtseværk. De havde en ydre Diameter $D' = 0^m,1016$; Metallets Tykkelse var $0^m,0076$, og følgelig den indre Diameter $D'' = 0^m,0940$.

Det rektangulære og det elliptiske Rør erholdt man ved at ophede de sirkulære Rør og hamre dem med Træhammere, idet man drog Omsorg for ikke at beskadige Jernet og afrundede Rektanglets Vinkler.

Dimensionerne af det rektangulære Rør vare, med Bibehold af de forhen brugte Betegnelser, følgende:

$a = 0^m,0587$, $b = 0^m,1095$, $a' = 0^m,0511$, $b' = 0^m,1019$;

for det elliptiske Rør var

$2a = 0^m,0587$, $2b = 0^m,1270$, $2a' = 0^m,0511$, $2b' = 0^m,1194$.

Bærevidden var $2C = 1^m,830$, og Lasten laa paa en Skaal, som hang i Midten af de horizontalt oplagte Rør.

Ifølge disse Dimensioner har man for

det rektangulære Rør $I = \frac{1}{12}(ab^3 - a'b'^3) = 0,000001909$;
„ sirkulære „ $I = 0,0491(D'^4 - D''^4) = 0,000001398$;
„ elliptiske „ $I = 0,7854(ab^3 - a'b'^3) = 0,000001632$.

Ved Hjælp af disse Formler og af Iagttagelsen af de af Clark anførte Bøininger kan man for hvert Rør beregne Værdien af Elasticitetskoefficienten. Til denne Beregning ville vi tage den Bøining, som iagttages ved Belastningen 1015 Kilogrammer, og indtage Resultaterne i følgende Tabel.

Tværsnittets Form.	Dimensioner.	Bøining under Belastningen 1015 Kilogrammer.	Værdie af Elasticitetskoefficienten. E.
		Meter	Kilogrammer
Rektangulært	$a = 0,0587$, $a' = 0,0511$. $b = 0,1095$, $b' = 0,1019$. $A = 0,00120$	0,00450	15369000000
Sirkulært . .	$D' = 0,1016$, $D'' = 0,0940$ $A = 0,00114$	0,00550	17245000000
Elliptisk . . .	$2a = 0,0587$, $2a' = 0,0511$ $2b = 0,1270$, $2b'_{\frac{3}{4}} = 0,1194$ $A = 0,00106$	0,00475	17101000000
		Middeltal af E =	16572000000

Denne Middelværdie ligger, som man seer, inden de sædvanlige Grændser, som man almindeligvis finder, og nærmer sig især meget til den: 16295000000 Kilogrammer, som i § 95 er udledet af Hodgkinson's Forsøg over Modstanden af Smedejern mod Kompression.

Man vil desuden bemærke, at Belastningen 1015 Kilogrammer overskred med mere end det Dobbelte de permanente Belastninger, som man efter de almindelige Formler skulde have kunnet lade disse Legemer bære, og som kun burde have været respektive 459 Kilogrammer, 455 Kilogrammer og 337 Kilogrammer.

Af denne Sammenligning af Resultaterne seer man, at de Formler, der have Hensyn til hele Legemer med rektangulært, sirkulært og elliptisk Tværsnit, lade sig anvende med en for Praxis tilstrækkelig Nøiagtighed.

Alle disse Rør have forresten givet efter ved Deformation af deres komprimerede Dele. De sirkulære og elliptiske Rør bleve fladtrykte mod Midten, hvor Lasten virkede, og Bruddet paafulgte her for pludseligt til, at man af disse Forsøg kunde udlede Brudkoefficienten.

Ved de rektangulære Rør gav en af Siderne efter, idet den bøiede sig indad, og Røret vred sig.

§ 245. *Om de sædvanlige Proportioner af valtset Smedejern, hvis Profil har Formen af et dobbelt* T. — Nutildags anvender man hyppigt ved Bygning af Bjælkedækker Jernstænger, som man strækker i Valtseværker og giver Formen af et dobbelt T. Dersom særegne Omstændigheder ved Bygningen fordre det, kan man a priori fastsætte visse Forhold mellem de forskjellige Dimensioner; men det er vigtigt at nærme sig saameget som muligt dem, som frembyde den største Lethed ved Fabrikationen. Disse Bjælker ere strækkede gjennem to cannelerede Valtser, af hvilke enhver i Udhuling fremstiller det Halve af Tværprofilet, og som inden visse Grændser vilkaarligt kunne fjernes fra hinanden, saaledes at Bjælken kan variere i Tykkelse, medens Høiden *b*, Fremspringet af Rænderne *a'* og Ribbernes Tykkelse bliver den samme.

Da Antallet af saadanne cannelerede Sylindre nødvendigvis maa være begrændset, er det af Vigtighed af

et og samme Apparat at drage den størst mulige Fordel, og man antager derfor i de Smedeværksteder, hvor dette Slags Jern fabrikeres, en Række af Høider b, svarende til forskjellige Tykkelser og følgelig ogsaa Modstandsevner. Saaledes har „Société des Forges de la Providence" i sine Værksteder i Hautemont nær Maubeuge antaget Rækker af Profiler, i ethvert af hvilke Høiden b og Fremspringet a' er konstant (Pl. IV, Fig. 13), og hvor Ribbens Tykkelse er en næsten konstant Brøk lig med $\frac{1}{20}$ af Høiden b. Hvad angaaer Legemets Tykkelse e_1, da kan den variere inden visse givne Grændser alt efter den Modstand, som Legemet skal yde.

Udtrykke vi som i § 145 angivet Inertiemomentet I af Tværsnittet som Funktion af Høiden b, hvilken for enhver Række forbliver konstant, og af Tykkelsen e_1, hvilken kan variere i den samme Række, saa har man ifølge den Hypothese, at Ribbens Tykkelse er lig med Tyvendedelen af Høiden:

$$\frac{I}{v'} = \tfrac{1}{6} e_1 b^2 + 0{,}0903\, a' b^2,$$

og Formlen $$\frac{RI}{v'} = PC$$

bliver da: $\tfrac{1}{6} e_1 b^2 + 0{,}0903 a' b^2 = \frac{PC}{R} = \frac{PC}{6000000}$,

hvoraf $e_1 = \frac{PC}{1000000 b^2} - 0{,}54a'$, eller for norsk Maal og Vægt:

$$e_1 = \frac{PC}{1370 b^2} - 0{,}54a'.$$

Kjender man altsaa Belastningen 2P, som Legemet skal bære i Midten af dets Længde, og Bærevidden 2C, saa vil det altid være let at beregne den Tykkelse, man maa give en Bjælke af denne Form, hvis Høide b er bestemt, og hvis Ribber have et bestemt Fremspring.

Dersom der handles om en ensformig fordelt Belast-

ning, saa sætter man $\frac{1}{2}pC^2$ i Stedet for PC, hvilket giver

$$e_1 = \frac{pC^2}{2000000b^2} - 0{,}54a', \text{ eller for norsk Maal og Vægt}$$

$$e_1 = \frac{pC^2}{2740b^2} - 0{,}54a'.$$

Omvendt give disse Formler:

$$PC = 1000000b^2(e_1 + 0{,}54a'), \text{ eller}$$

for norsk Maal og Vægt $PC = 1370b^2(e_1 + 0{,}54a')$, og

$$\frac{pC^2}{2} = 1000000b^2(e_1 + 0{,}54a'), \text{ eller}$$

for norsk Maal og Vægt $\frac{pC^2}{2} = 1370b^2(e_1 + 0{,}54a')$,

for at beregne Momentet PC eller $\frac{pC^2}{2}$ af Belastningen, som stræber at bøie eller brække enhver af Legemest to Halvdele.

Hvis Forholdet mellem Ribbens Tykkelse og Høiden var et andet, maatte de foregaaende Formler modificeres, idet man gik ud fra den almindelige Formel

$$\frac{I}{v'} = \frac{1}{6}\frac{ab^3 - a'b'^3}{b},$$

i hvilken det vilde være nok for b' at indsætte dens Værdie som Funktion af b, for paa samme Maade at komme til ligesaa simple Udtryk. Denne Bemærkning vil isærdeleshed være anvendelig for Jernstængerne af dobbelt T-Form fra Værket „Montataire", som ligeledes ere indtagne i følgende Tabel, i hvilken Jernet fra „la Providence" er betegnet med Bogstavet P, og det fra „Montataire" med M. De Tal, som ere tilføiede disse Bogstaver, tjene til at adskille de forskjellige Prøver fra ethvert af disse Værker, og vi ville senere komme til at benytte dem, naar vi fremstille Anvendelsen af disse Slags Jerndele paa Bygningen af Tagværker. Ethvert enkelt Valtseværk

indeholder et stort Antal Prøver, som kun adskille sig ved Tykkelsen af Legemet. Vi ville kun anføre de to yderste Værdier, mellem hvilke det altid er muligt at modificere Tykkelsen og følgelig Legemets Modstandsevne. Dimensionerne ere blevne optagne efter de af de to Værker udgivne Kataloger, og Beregningerne er gjorte i Overensstemmelse med de forudgaaende Angivelser.

Modellen P_8 har foruden de to Yderribber ogsaa en Ribbe i Midten; men Momentet er beregnet, som om denne ikke fandtes.

Vanskeligheden ved at valtse saa store Stykker i en Længde, som undertiden maa beløbe sig til 6 Metre, hvilket giver en Vægt af mere end 300 Kilogrammer, er en Hindring mod for Bjælker af Smedejern i et eneste Stykke at overskride det foranstaaende Profils Dimensioner.

Man vil med Fordel kunne raadspørge Tabellens sidste Spalte, hvilken angiver Vægten pr. løbende Meter af ethvert af de yderste Prøvestykker; de til mellemliggende Tykkelser svarende Vægter kunne med Lethed udledes deraf.

Modellens Betegnelse.	Profilets Höide. b.	Bjælkens Höide mellem Ribberne. b'.	Ribbernes Fremspring udenfor Bjælken. a'.	Ribbernes mindste og störste Bredde. a.	Bjælkens tilsvarende Tykkelse. e_1.	Værdie af $\frac{1}{v'}$.	Værdie af Momentet PC eller $\frac{pC^2}{2}$.	Vægt af Prövestykkerne pr. löbende Meter.
								Kilogr.
P_1	0,100	0,088	0,019	0,043	0,005	0,00002850	171,0	9,00
				0,045	0,007	0,00003184	191,0	12,00
M_1	0,100	0,085	0,016	0,042	0,010	0,00003725	223,5	8,06
				0,047	0,015	0,00004560	273,6	11,56
P_2	0,120	0,106	0,0205	0,045	0,004	0,00004018	241,1	11,00
				0,050	0,009	0,00005218	313,1	15,00
M_2	0,120	0,104	0,020	0,047	0,005	0,00004551	273,1	10,00
				0,050	0,010	0,00005751	345,1	14,28
P_3	0,140	0,126	0,0205	0,047	0,006	0,00005590	335,4	14,00
				0,053	0,012	0,00007546	452,5	20,00

Modellens Betegnelse.	Profilets Höide. b.	Bjælkens Höide mellem Ribberne. b'.	Ribbernes Fremspring udenfor Bjælken. a'.	Ribbernes mindste og störste Bredde. a.	Bjælkens tilsvarende Tykkelse. e_1.	Værdie af $\frac{1}{v'}$.	Værdie af Momentet PC eller $\frac{pC^2}{2}$.	Vægt af Prövestykkerne pr. löbende Meter.
								Kilogr.
M_3	0,140	0,123	0,015	0,050	0,007	0,00007803	408,2	13,00
				0,055	0,012	0,00008454	507,2	18,00
P_4	0,160	0,144	0,0205	0,048	0,007	0,00007727	463,6	15,00
				0,053	0,012	0,00009860	591,6	25,00
M_4	0,160	0,142	0,024	0,055	0,007	0,00011519	691,1	16,50
				0,062	0,014	0,00013031	781,9	25,00
P_5	0,180	0,162	0,0235	0,055	0,008	0,00011198	671,9	20,00
				0,062	0,015	0,00014978	898,7	30,00
M_5	0,180	0,162	0,026	0,060	0,008	0,00011925	715,5	20,00
				0,067	0,015	0,00015709	942,5	30,00
M_6	0,200	0,181	0,0285	0,065	0,008	0,00015167	910,0	22,00
				0,073	0,016	0,00020500	1230,0	34,40
P_7	0,220	0,200	0,0275	0,064	0,009	0,00018224	1093,4	26,00
				0,071	0,016	0,00023871	1532,3	40,00
M_7	0,220	0,201	0,0285	0,065	0,008	0,00017366	1042,0	24,30
				0,073	0,016	0,00023820	1429,2	37,40
P_8	0,260	0,236	0,027	0,067	0,013	0,00029974	1798,4	40,00
				0,074	0,020	0,00037860	2271,6	58,00

Denne Tabel kan tjene til saa at sige paa Stedet at finde det passende Prøvestykke og Tykkelsen, som Legemet maa have.

Dersom Spørgsmaalet f. Ex. var om en Brovidde af 5 Metre, bestemt for Fodgjængere, og som i visse, meget sjeldne Tilfælde skulde kunne have at udholde en Belastning af 4 Personer paa Quadratmetren eller 280 Kilogrammer, og dersom man vil lægge Bjælkerne i en indbyrdes Afstand af en Meter, saa vil Belastningen pr. løbende Meter for enhver af dem være $p = 280$ Kilogrammer. Man har $2C = 5$ Metre, $C = 2{,}5$ Metre. Man finder $\frac{1}{2}pC^2 = 140$ Kilogrammer $\times \overline{2{,}50^2} = 875$.

Man seer af Tabellen, at dette Tal ligger mellem dem, som svare til Bjælkerne af $0^m{,}180$ Höide, P_5 og M_5; og at saaledes Tykkelsen e_1 af Legemet maa være indeholdt mellem $0^m{,}008$ og $0^m{,}015$, med den ene eller den

anden af disse Jernsorter. Forskjellen mellem det fundne Moment 875 og Momentet 898,7, som i Tabellen svarer til Tykkelsen $0^m,015$, er saa liden, at man vil gjøre vel i at antage denne Dimension. Man vilde ellers have fundet den Tykkelse, som burde gives, enten nøiagtig ved Formlen eller med en tilstrækkelig Approximation ved en Proportion.

For en almindelig Veibro af 6 Metres Bredde med en Bærevidde $2C = 6$ Metre, som i visse Øieblikke maa kunne bære to Vogne, der standse i Midten og tilsammen veie 12000 Kilogrammer, vil man, dersom man anvender 8 Bjælker, for enhver af disse have en Belastning $2P = 1500$ Kilogrammer, antaget anbragt i Midten; deraf udledes $PC = 750^{Kil} \times 3 = 2250^{Kil}$.

Man seer af Tabellen, at Bjælken af $0^m,260$ Høide, Modellen P_8, vilde være passende; og ved at beregne Tykkelsen e_1, som Legemet burde have, vil man finde, at den skulde være omtrent $0^m,0185$.

§ 246. *Fairbairn's*) Forsög med Smedejernsbjælker med Ribber af Form som et dobbelt* T. — Ved disse Forsøg med Bjælker af Smedejern af en nutildags ved Skibsbygninger meget brugelig Form har Fairbairn bestemt de til forskjellige Belastninger svarende Krumningspile, ligesom Brudbelastningerne. Vi ville angive Dataerne og Resultaterne af nogle af disse Forsøg for at sammenligne dem med de theoretiske og praktiske Formler.

§ 247. *Fairbairn's 30te Forsög.* — Bjælker af Smedejern af Form som dobbelt T, veiende $2pC = 102,83$ Kilogrammer og med Bærevidde $2C = 3^m,355$:

$$a = 0^m,0635;\ b_1 = 0^m,0254;\ a_1 = 0^m,0083;\ a_1' = 0^m,1016;$$

$$b_1' = 0^m,0097;\ b = 0^m,2129.$$

---

*) Conway and Menay tubular bridges, by W. Fairbairn. London, 1849.

Belastninger. 2P.	Totalbelastninger. $2P+\frac{5}{8}2pC$.	Böininger		Forhold af Belastningerne til Böiningerne, $\frac{P+\frac{5}{8}pC}{f}$.	Elasticitetskoefficient pr. Quadratmeter. E.	Bemærkninger.
		totale. f.	permanente. f'.			
Kilogr.	Kilogr.	Meter	Meter		Kilogrammer	
400,91	465,10	0,00102		228024	12796000000	
1158,19	1222,46	0,00306		199747	11209000000	
1955,60	2019,93	0,00510		198025	11111833333	
2750,00	2814,27	0,00661		212728	11937666666	
3507,58	3571,85	0,00890		200665	11260666666	
4300,33	4364,60	0,01168		186840		
5097,61	5161,88	0,01524	0,00229	170009		
5868,62	5932,79*	„		„		* Under denne Belastning begyndte Bjælken at vride sig. Ribberne forlængrede sig udover Kanterne, idet de bøiede sig.
				Middeltal E =	11663033333	

Formlen (§ 147), ved hvilken man bestemmer Beliggenheden af Tyngdepunktet i Tværsnittet, giver

$$x=\frac{(0{,}0635-0{,}0083)0{,}0254^2+0{,}0083\times 0{,}2129^2+2(0{,}1016-0{,}0083)0{,}0097(0{,}2129-0{,}0048)}{2[(0{,}0635-0{,}0083)0{,}0254+0{,}0083\times 0{,}2129+(0{,}1016-0{,}0083)0{,}0097]}=0^m{,}0968.$$

Deraf udleder man

$$I=\tfrac{1}{3}[0{,}0635\times 0{,}0968^3-(0{,}0635-0{,}0083)(0{,}0968-0{,}0254)^3+$$
$$+0{,}1016(0{,}2129-0{,}0968)^3-(0{,}1016-0{,}0083)(0{,}2129-0{,}0968-0{,}0097)^3]=$$
$$=0{,}00002804.$$

Man vil strax bemærke, at Værdien af Forholdet $\frac{P+\frac{5}{8}pC}{f}$ af Belastningerne til Bøiningerne næsten er konstant — de fra lignende Forsøg uadskillelige Feil satte ud af Betragtning —, indtil Belastningen 3507,58 Kilogrammer inclusive, hvilken svarer til en Bøining af $0^m{,}0089$ eller omtrent $\frac{1}{377}$ af Bærevidden 2C. Udenfor Belastningen $2P = 3507{,}58$ Kilogrammer voxe Bøiningerne hastigere end Belastningerne, og snart iagttager man permanente Bøininger.

Ved at indføre Værdien af $\frac{P+\frac{5}{8}pC}{f}$ og af I i Formlen

$$E = \tfrac{1}{3}\frac{C^3}{fI}(P + \tfrac{5}{8}pC)$$

udleder man som Middeltal for denne første Stang:

$$E = \tfrac{1}{3}\frac{1{,}6775^3}{0{,}00002804} \times \left(\frac{P + \frac{5}{8}pC}{f}\right) = 11\,663\,033\,333^{Kil}.$$

Belastningen, som de praktiske Formler vilde have givet for dette Legeme, er

$$P = \frac{RI'}{v'C} = 863{,}84 \text{ Kilogrammer},$$

hvoraf $2P = 1727{,}68$ Kilogrammer;

en Belastning betydelig mindre end 3507 Kilogrammer, under hvilken Bøiningerne have ophørt at være proportionale med Belastningerne, og endnu længere under den, som har forandret Legemets Form, hvilket viser, at man med Sikkerhed kan anvende Formlerne.

For et andet Forsøg af Fairbairn har man:

$a = 0^m{,}0620$; $b_1 = 0^m{,}0254$; $a_1 = 0^m{,}0089$; $a_1' = 0^m{,}1092$;

$b_1' = 0^m{,}0112$; $b = 0^m{,}2398$; $2pC = 112^{Kil}$; $2C = 3^m{,}05$,

og vi kunne ved Hjælp af disse Angivelser og af de i følgende Tabel indtagne Resultater af Forsøget paa samme Maade bestemme Værdien af Elasticitetskoefficienten E for denne nye Stang; den nærmer sig meget den just ovenfor beregnede.

Belastninger. 2P.	Totalbelastninger. $2P+\frac{5}{8}2pC$.	Böininger		Forhold af Belastningerne til Böiningerne. $\frac{P+\frac{5}{8}pC}{f}$.	Elasticitetskoefficient pr. Quadratmeter. E.	Bemærkninger.
		totale. f.	permanente. f'.			
Kilogr.	Kilogr.	Meter	Meter		Kilogrammer	
401	471					
1394	1464	0,0010		732000	21303000000	Anomalie.
1974	2044	0,0031		365164	10677666666	
2762	2832	0,0038		372631	10896000000	
3546	3616	0,0048		376666	11013800000	
4342	4412	0,0053		416226	12170666666	
5109	5179	0,0066		392348	11472500000	
5880	5950	0,0076	0,0008	391447	11446000000	
6656	6726	0,0089	0,0008	377865	11052000000	
7417	7487	0,0114	0,0023	328377		
8206	8276	0,0173	0,0066	239248		
8590	8606 *					*Under denne Belastning har Legemet vredet sig.
				Middeltal E =	11247000000	

Formlen, ved hvilken man bestemmer Beliggenheden af Tværsnittets Tyngdepunkt, har givet

$$x=\frac{(0{,}0620-0{,}0089)\overline{0{,}0254}^2+0{,}0089\times\overline{0{,}2398}^2+2(0{,}1092-0{,}0089)0{,}0112(0{,}2398-0{,}0056)}{2[(0{,}0620-0{,}0089)0{,}0254+0{,}0089\times 0{,}2398+(0{,}1092-0{,}0089)0{,}0112]}=0^m,1164;$$

deraf udleder man

$$I=\tfrac{1}{3}[0{,}0620\times\overline{0{,}1164}^3-(0{,}0620-0{,}0089)(0{,}1164-0{,}0254)^3+$$
$$+0{,}1092(0{,}2398-0{,}1164)^3-(0{,}1092-0{,}0089)(0{,}2398-0{,}1164-0{,}0112)^3]=$$
$$=0{,}00004043.$$

Ved Hjælp af disse Værdier giver Formlen

$$E=\tfrac{1}{3}\frac{(P+\frac{5}{8}pC)C^3}{fI}$$

som Middelværdie for denne Stangs Elasticitetskoefficient:

$$E=11\,247\,000\,000 \text{ Kilogrammer},$$

en Værdie, som her er anvendelig indtil en Bøining af $\frac{1}{343}$ af Bærevidden.

Den permanente Belastning, som Legemet skulde have kunnet udholde efter de praktiske Formler, er $2P=2\frac{RI}{v'C}=2342^{Ki},8,$

medens Bøiningerne ere forblevne proportionale med Belastningerne indtil 6656 Kilogrammer.

§ 248. For et tredie Forsøg har man endelig:

$a = 0^m,070$; $b_1 = 0^m,0254$; $a_1 = 0^m,0096$; $a_1' = 0^m,109$;

$b_1' = 0^m,0107$; $b = 0^m,2647$; $2pC = 125^{Kil}$; $2C = 3^m,05$.

Belastninger. 2P.	Totalbelastninger. $2P+\frac{5}{8}2pC$.	Bøininger		Forhold af Belastningerne til Bøiningerne. $\frac{P+\frac{5}{8}pC}{f}$.	Elasticitetskoefficient pr. Quadratmeter. E.
		totale. f.	permanente. f'.		
Kilogr.	Kilogr.	Meter	Meter		Kilogrammer
401	479,125	0,0005		479125	10755000000
1181	1259,125	0,0013		484279	10871000000
1977	2055,125	0,0023		446766	10028666666
2766	2874,125	0,0028		513236	11519000000
3549	3627,125	0,0036		505156	11339600000
4330	4408,125	0,0042		548586	12314000000
5099	5177,125	0,0049	0,0008	528278	11858500000
5889	5967,125	0,0056	0,0008	532779	11959500000
6672	6750,125	0,0064	0,0010	527353	11837700000
7432	7510,125	0,0064		586713	13172400000
8203	8281,125	0,0074		559535	12560000000
8987	9065,125	0,0094		482187	10824000000
9764	9842,125	0,0121		406699	
10141	10219,125	0,0150		340637	
10440	10518,125				
				Middeltal E =	11595000000

Formlen, ved hvilken man bestemmer Beliggenheden af Tværsnittets Tyngdepunkt, giver:

$$x = \frac{(0,070-0,0096)\overline{0,0254}^2+0,0096\times\overline{0,2647}^2+2(0,109-0,0096)0,0107(0,2647-0,0053)}{2[(0,070-0,0096)0,0254+0,0096\times 0,2647+(0,109-0,0096)0,0107]} = 0^m,1191;$$

man udleder deraf

$$I=\tfrac{1}{3}[0,070\times\overline{0,1191}^3-(0,070-0,0096)(0,1191-0,0254)^3+$$
$$+0,109(0,2647-0,1191)^3-(0,109-0,0096)(0,2647-0,1191-0,0107)^3]=$$
$$=0,00005266.$$

Ved at indføre denne Værdie for I i Formlen

$$E=\tfrac{1}{3}\frac{(P+\frac{5}{8}pC)C^3}{fI},$$

udleder man deraf Middelværdien af E:

$$E = 11595000000 \text{ Kilogrammer},$$

som er anvendelig indtil en Bøining af $\frac{1}{3\frac{1}{2}\frac{1}{5}}$ af Bærevidden.

For dette Legeme vilde Belastningen, given ved vore Formler, have været

$$2P = 2587{,}2 \text{ Kilogrammer},$$

medens Bøiningerne ere forblevne proportionale med Belastningerne indtil 8987 Kilogrammer.

§ 249. *Følgeslutninger af disse Forsög.* — Disse Fairbairn's Forsøg forskaffe os altsaa en Bekræftelse paa Bøiningernes Proportionalitet med Belastningerne for Stænger af Smedejern af dobbelt T-Form og tillige den Værdie af Elasticitetskoefficienten, som det er passende at antage for Stænger af dette Slags, fabrikerede ved Valtsning og almindeligen af blødt og bøieligt Jern.

Denne Værdie, udledet af de fundne Middeltal for de tre Stænger, kan sættes lig

$E = 11502000000^{Kil}$, eller 15757740 ℔ pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt.

De vise os til samme Tid, at Legemerne vilde have kunnet udholde langt større Belastninger end dem, som vore praktiske Formler angive, og at som Følge heraf disse Regler yde al ønskelig Sikkerhed.

§ 250. *Forsög med en Bjælke, dannet af* T-*Jern forenede med Jernplader.* — Den duelige Pariserarchitekt Hr. Kaulek har i den senere Tid bygget flere Gulve, til hvilke han har anvendt paa engang saavel Smedejern som Jernplader. Istedet for direkte at betjene sig af det i Handelen forekommende dobbelte T-Jern danner han virkelige Jern af dette Slags, hvis Legeme er meget tyndt, idet han sammensætter Bjælken af to ligedannede enkelte T-Jern, som han forbinder med hinanden ved Sidevanger af tynde Jernplader, hvilke ere meget lange og klinkede til T-Jernenes Legemer. Derpaa forener han to lignende

Bjælker med Bolte, anbragte i visse Afstande, og som derved fastholde dem i deres indbyrdes Stilling til hinanden. Skulle disse Bjælker udsættes for Øiet, saa anbringer han i Pladevangerne Aabninger, som,medens de formindske Bjælkernes Vægt, ogsaa tjene til et Slags Forsiring.

De for nogen Tid siden i „Conservatoire des arts et métiers“ prøvede Bjælker ere i Pl. IV, Fig. 14 og 15 for at lette Oversigten af Figurerne fremstillede i forskjellige Maalestokke i Tværsnit og i Oprids efter Længden. Da Afstanden mellem to saaledes forbundne Bjælker var $0^{m},50$ fra Midte til Midte, vilde de overdække en Flade af $4^{m} \times 0,50 = 2$ Quadratmetre.

Deres Totallængde var $4^{m},66$; de fem Bolte, som holdt dem fra hinanden, veiede tilsammen . . . $4^{Kil},200$
og de to Sidebjælker, hver regnet til $44^{Kil},900$, . $89^{Kil},800$
Totalvægt = $94^{Kil},000$

Dette giver for Længdemetren $20^{Kil},17$, eller $40^{Kil},34$ pr. Quadratmeter af dækket Overflade. Denne Vægt af $20^{Kil},17$ pr. løbende Meter er næsten den samme som Vægten af dobbelte T-Jern, Model M_5, fra Værket „Montataire“; vi skulle see, hvilken Indflydelse denne nye Fordeling af Vægten vil have med Hensyn til Modstandsevnen.

Benævne vi, som vi hidtil have gjort, a Bredden af den øvre og nedre Ribbe, b Bjælkens hele Høide, a' Ribbernes Fremspring, b' Høiden mellem dem, endvidere a'' Tykkelsen af Rummet mellem begge Pladevangerne og b'' Afstanden mellem Yderenderne af T-Jernenes Legemer, maalt i Retningen af Høiden, saa have vi:

$$a = 0^{m},036, \quad b = 0^{m},200;$$
$$2a' = 0^{m},0255, \quad b' = 0^{m},187;$$
$$a'' = 0^{m},0065, \quad b'' = 0^{m},122.$$

Ifølge disse Elementer vilde den beregnede Vægt for de to Stænger være $2(ab - 2a'b' - a''b'') \times 4^{m},66 = 118^{Kil},55$
Føies hertil Vægten af Boltene . . . . . $4^{Kil},20$
saa har man . . . . . $122^{Kil},75$

og fradrager man Vægten af tolv Udskjæringer med Totaltykkelse $0^m,004$, anbragte i de dobbelte Pladevanger, $28^{Kil},41$

erholder man som den beregnede Vægt . . . . $94^{Kil},34$

et Tal, som nærmer sig meget den direkte iagttagne Vægt.

Men for at bringe Udskjæringerne i Regning ville vi give $2a'$ en større Værdie, nemlig $2a' = 0^m,027$, hvilket er det samme som at antage, at Blikpladerne ikke vare gjennembrudte, men at deres Tykkelse var 1,12 Millimeter istedetfor 2 Millimetre, idet denne ensformige Tykkelse svarer til den samme Vægt.

Denne Korrektion foretaget, kunne vi beregne Momentet I af den hele Bjælke, hvilket erholdes ved Formlen

$$I=2\times\tfrac{1}{12}(ab^3-2a'b'^3-a''b''^3)=2\times\tfrac{1}{12}(0{,}00011)=0{,}000018;$$

denne Værdie vil tjene os til at beregne Bøiningerne, som for ethvert Tilfælde ere givne ved Formlen i § 202

$$f=\tfrac{1}{3}\frac{C^3\times\frac{5}{8}pC}{EI},$$

hvor 2C er Afstanden mellem Støttepunkterne, og $2pC$ den over Bjælken ensformig fordelte Vægt.

§ 251. *Forsögsmaaden.* — Ved alle i „Conservatoire des arts et métiers" anstillede Iagttagelser har Afstanden mellem Oplagspunkterne stadigen været 4 Metre; Bjælkerne have ligget paa to tykke Jernplader, som selv have hvilet paa Underlag af Træ eller Muur.

Et i Midten af Bjælken med en fin Spids anbragt Mærke blev iagttaget ved Hjælp af et Kathetometer, hvis Nonius tilstedede at aflæse Hundredededelen af en Millimeter.

Belastningen var fordelt i 17 Kasser af Fyrretræ, hvoraf enhver veiede 4 Kilogrammer, og hvilke vare saaledes indrettede, at de kunde rumme et vist Antal Kugler af 400 Grammers Vægt; men Vægterne bleve altid direkte undersøgte paa en Vægtskaal, og den ensformig fordelte Belastning blev efterhaanden bragt til 500, 1000,

1500, 2000 og 2500 Kilogrammer. Kassernes Bredde var saaledes afpasset, at de yderste Kassers ydre Flader og de mod hinanden vendende Kanter af Oplagspladerne faldt nøiagtig i samme Vertikalplan, og at Kasserne indbyrdes vare adskilte fra hverandre ved et konstant Mellemrum af nogle Millimetre. Herved var man sikker paa, at enhver af dem virkede for sig paa Bjælken uden gjensidig at understøtte hverandre, og man kan følgelig være forvisset om, at Belastningen var meget nøie og ensformig fordelt.

Ved de Forsøg, som bleve udførte med en Belastning alene paa Bjælkens Midte, var denne Last ophængt i en rund Jernstang af 3 Centimetres Diameter, som hvilede paa Bjælken og nøiagtig bedækkede en iforveien med den største Omhyggelighed anbragt Midtlinie. Disse Forsøg med en eneste Belastning bleve forresten kun foretagne i ringe Antal og i den Hensigt ved de Midler, som man havde til sin Tjeneste, at bekræfte, at Virkningen af en efter Længden ensformig fordelt Belastning er lig Virkningen af en i Bjælkens Midte trykkende Belastning af kun $\frac{5}{8}$ af Totalbelastningen. Havde man ved de første Iagttagelser nøiet sig med at optegne de paa Kathetometret aflæste Høider, vilde man for enhver Belastning have maattet erkjende en permanent Bøining, idet den efter Borttagelsen af Lasten aflæste Værdie stedse var flere Hundrededele af en Millimeter mindre end den først aflæste; men en mere opmærksom Undersøgelse har vist, at denne Forskjel ene og alene havde sin Grund i Sammentrykning af Underlagspunkterne, en Sammentrykning saameget mere mærkbar, som det hele System hvilede paa forskjellige Stykker Træ, anbragte paa Fladen og over hinanden.

For at komme til Kundskab om, hvilken af disse to Aarsager man maatte tilskrive disse Differentser, har man hver Gang før og efter Iagttagelsen vendt Bjælken om

Middeltallet af Aflæsningerne før Forsøget gav det Tegn, som var anbragt nøiagtig i Bjælkens Midte over Nulpunktet paa Maalestokken; den samme Operation gjentaget efter Aflastningen maatte, hvilken permanent Bøining Legemet end havde antaget, give som Middeltal det samme Ziffer, dersom Støttepunkterne ikke havde forandret sig. Erfaringen viste, at dette ikke forholdt sig saaledes, og en meget simpel Beregning beviste, at den hele Forskjel skyldtes den ovenanførte Synken eller Sammentrykning.

For at afhjælpe dennes forstyrrende Indflydelse bleve Underlagene af Egetræ i hver Ende ombyttede med en haard Steen, som paa sin øvre og nedre Side var gjort fuldkommen glat, og som hvilede paa samme Flade som i Bruddet, hvorfra den var taget. De samme, tidligere anvendte Jernplader tjente til at regulere Bærevidden paa de to Stene, som ikke mere turde forrykkes. Ved denne nye Anordning viste der sig vel mindre, men endnu altid mærkelige Differentser, og Iagttagelsen af den omdreiede Bjælke gav fremdeles Anledning til at antage en Synkning. Men efter Forløbet af nogle Uger, under hvilke Belastningerne meget ofte bleve paalagte og aftagne, var sandsynligvis Kontakten mellem Jernet og Stenen bleven mere inderlig; Sammentrykningen havde ophørt, og Bjælken gik efter Aflastningen nøiagtig tilbage til sin oprindelige Høide.

Man kan altsaa forsikkre, at der indenfor Grændserne af de udøvede Anstrængelser under den hele Tid, disse Forsøg have vedvaret, ikke har vist sig nogen permanent Bøining, som kunde vurderes med det Instrument, hvoraf man betjente sig, og som med Nøiagtighed angav Hundrededelen af en Millimeter.

Vistnok er der Intet, som beviser, at det forholder sig saaledes under enhver anden Omstændighed; men man kan dog som en Følge af dette Resultat spørge, om

der ved alle lignende Forsøg altid er truffet Foranstaltninger til at forsikkre sig om Underlagenes Uforanderlighed; de Midler, hvoraf man i mange Tilfælde har betjent sig for ved Hjælp af Vægtstænger at faae angivet større Værdier af Bøiningerne, have ogsaa maattet angive med samme Forstørrelse de Sammentrykninger, som vi direkte have iagttaget, og de permanente Bøininger ere der, hvor de virkeligen have fundet Sted, udentvivl blevne forstørrede med alt det, hvormed Støttepunkterne ere blevne sammentrykkede.

§ 252. *Resultater af Iagttagelsen.* — Omendskjønt man iagttog efter enhver Belastning eller Aflastning at vente i 24 Timer med at nedskrive Aflæsningen, for at enhver Forandring af Bjælken kunde være ophørt, troede man dog at burde gaa frem successive saavel med Belastningen som med Aflastningen; saaledes paalagde man i et vist Antal Forsøg successive Belastningerne 500, 1000, 1500, 2000 og 2500 Kilogrammer og borttog derpaa disse Vægter. Ved andre Forsøg derimod belastede man strax med 2500 Kilogrammer, og hver 24 Timer borttog man 500 Kilogrammer ligeligen af de 17 Kasser, som indeholdt Totalbelastningen; man ophørte først dermed i det Øieblik, Iagttagelserne i disse to Tilfælde bleve sammenlignelige og kun differerede 1 til 2 Hundrededele af en Millimeter.

Man vil i følgende Tabel finde Middelresultaterne af disse Forsøg.

Ensformig fordelt Belastning. 2*p*C.	Iagttagen Böining i Millimetre. *f*.	Böining ved 500 Kilogrammer.
Kilogrammer	Millimetre	Millimetre
500	2,580	2,580
1000	4,885	2,442
1500	7,190	2,396
2000	9,450	3,362
2500	11,742	2,348

Man vil bemærke, at Bøiningerne ved 500 Kilogrammer aftage, efterhaanden som Belastningerne tiltage; men denne Forskjel forklares ved Umuligheden af for de første 500 Kilogrammer at erholde en ligesaa ringe Bøining som for de følgende Belastninger. Dette kan kun forklares ved at antage, at Kontakten med Underlagene ikke er inderlig nok, naar Bjælken er ubelastet, og alligevel har man ikke kunnet afhjælpe dette, selv ikke ved iforveien at belaste Bjælkens Ender udenfor Bærevidden med en Vægt lig den, som siden skulde fordeles ensformigt efter dens Længde. Maaske have Sammenføiningerne ogsaa givet lidt efter ved den første Anstrængelse; men hvordan dette end maa forholde sig, saa er dog det vist, at, naar vi fra Totalbøiningerne fradrage Bøiningen $f_1 = 2{,}580$ Millimetre, og efter dette Fradrag søge, hvilken Bøiningen er for 500 Kilogrammer, ville vi ved Hjælp af Tallene i foranstaaende Tabel finde: 2,305 Millimetre, 2,305 Millimetre, 2,290 Millimetre, 2,290 Millimetre, hvilke Tal visseligen stemme saa nøie overens, som det er tilladt at haabe af lignende Forsøg.

Overensstemmende med disse Betragtninger ville vi altsaa antage, at den af Hr. Kaulek forfærdigede Bjælke, der underkastedes de i „Conservatoire des arts et métiers" anstillede Forsøg, bøiede sig 2,30 Millimetre under en ensformig fordelt Belastning af 500 Kilogrammer, og at Proportionaliteten mellem Belastningerne og Bøiningerne finder Sted idetmindste indtil en Totalbøining af 11,642 Millimetre eller $\frac{1}{365}$ af Bærevidden, hvilken aldrig tør naaes i Praxis, og hvilken tilsvarer en Totalbelastning af 2500 Kilogrammer.

Denne Værdie af Bøiningen ved 500 Kilogrammer, indført samtidig med Værdien for I i Formlen

$$f = \frac{1}{3}\frac{C^3 \times \frac{5}{8} pC}{EI},$$

giver $$0{,}0023 = \frac{1}{3}\frac{8 \times \frac{5}{8} \times 250^{\text{Kil}}}{E \times 0{,}000018},$$

hvoraf man erholder

$$E = 10065000000 \text{ Kilogrammer}$$

som Værdie for Elasticitetskoefficienten. Dette Tal er lidet forskjelligt fra det, som blev udledet af Fairbairn's Forsøg, og man kan ikke forundres over at finde det noget mindre, da den hele Anordning bestod af Materialier, som indbyrdes vare mindre samvirkende end Bjælker af Form som et dobbelt T, med hvilke Fairbairn's Forsøg bleve udførte.

Ved at antage som Elasticitetskoefficient

$$E = 12000000000 \text{ Kilogrammer}$$

for det dobbelte T-Jern M_5, af samme Vægt som Kaulek's Bjælke, vilde man finde

$$f = 3{,}24 \text{ Millimetre},$$

hvilket viser Fordelen af den nye Anordning, som desuden tilsteder paa en stiv og stabil Maade at overdække et bredt Rum, idet den giver Sikkerhed for en Samvirken af Langbaandene (de enkelte T-Jern).

Verificationen af den theoretiske Følgeslutning med Hensyn til den enkelte, i Midten virkende Belastning er kun bleven udført for 315 og 630 Kilogrammer, som respektive have givet lige Bøininger med 500 og 1000 Kilogrammer, ensformig fordelte. Men nu har man $\frac{315}{500} = 0{,}630$ og $\frac{630}{1000} = 0{,}630$, medens Theorien angiver for Forholdet af Belastningerne Værdien $\frac{5}{8} = 0{,}625$. Denne allerede tidligere af Dupin for Træ bekræftede Lov er da ogsaa ved vore Forsøg bleven bestyrket for Bjælker af Smedejern.

§ 253. *Bjælker af Træ med Armatur af Jern.* — Man har undertiden forsøgt at forøge Styrken af Træbjælker ved at beslaae dem udvendig eller indvendig med tykke

Jernplader. Et Forsøg af Fairbairn viser, at Forskjellen i disse to Substantsers Bøielighed maa gjøre Bygmestrene forsigtige ved Brugen af dette Armatursystem.

En Bjælke af Træ, bestaaende af to Dele med $0^m,305$ Bredde og Tykkelse samt $6^m,70$ Bærevidde, og hvorpaa indvendig var anbragt en Jernplade af $0^m,305$ Høide og $0^m,0095$ Tykkelse, hvilken ved Bolte var meget nøie forbunden med Bjælken, blev efterhaanden belastet i Midten og Bøiningerne maalte.

Belastninger i Midten. 2P.	Böininger.	Bemærkninger.
Kilogrammer	Meter	
1137	0,0063	*Belastningen 21315 Kilogrammer blev først aftaget efter 16 Timers Forløb, og man bemærkede da, at Legemet havde antaget en permanent Krumningspil af $0^m,033$.
4060	0,0126	
5075	0,0189	
8120	0,0254	
10150	0,0330	
12180	0,0381	
14210	0,0508	
18270	0,0571	
19285	0,0635	
20300	0,0711	
21315*	0,0838	

Ifølge disse Dimensioner skulde denne Bjælke have kunnet bære paa en permanent Maade:

for Træet alene . . $1694^{Kil},0$
„ Jernet „ . . $527^{Kil},6$
$2221^{Kil},6.$

Man finder nemlig af de praktiske Formler i § 162:

for Træet: $P = \frac{100000 \times \overline{0,305^3}}{3,35} = 847^{Kil}$, og

„ Jernet: $P = \frac{1000000 \times 0,0095 \times \overline{0,305^2}}{3,35} = 263^{Kil},80.$

Antager man, at Træbjælken vilde være brudt under det Tidobbelte af den Belastning, som denne Formel an-

giver, saa seer man, at dette vilde være skeet med omtrent 16940 Kilogrammer, og at Anvendelsen af Jernpladen i Virkeligheden skulde synes at have givet en Tilvæxt i Modstandsevne; men efter Aflastningen har den sammensatte Bjælke beholdt en permanent Krumning af $0^m,033$ eller $\frac{1}{203}$ af Bærevidden. Man seer, at Forskjellen mellem de to Substantsers Elasticitet er en Aarsag til Formforandring ved dette Slags Legemer og fordrer, at man begrændser Bøiningerne til dem, som ere passende for det mindre elastiske Legeme, paa det at de to Dele forenede ikke skulle antage nogen permanent Krumning.

Desuagtet troer jeg, at Brugen af Jernarmaturen under visse Omstændigheder, hvor en Indskrænkning af Trædelenes Dimensioner er paabuden af en tvingende Nødvendighed, kan være nyttig, især naar Belastningerne ikke meget overskride dem, som Formlerne angive.

STORE RØR AF PLADER.

§ 254. *Fairbairn's Iagttagelser over den bedste Form for Rörbroer.* — Allerede fra de første Forsøg med sylindriske, elliptiske eller rektangulære Rør bemærkede Fairbairn, at, naar Klinkningerne vare stærke, gave alle Rør efter i deres øvre Del, idet denne bøiede sig under Kompressionskraften. Dette første Resultat viste:

1. at ved Rørene ligesom ved de fulde Legemer er, naar de bøies, den konkave Del underkastet Kompression og den konvexe Extension;
2. at Smedejernets Modstand mod Sammentrykning ved Kompression er meget mindre end dets Modstand mod Afslidning ved Strækning.

Denne Iagttagelse bragte ham først til at anvende stærkere Plader i Rørenes øvre Del end i den nedre Del, indtil han endelig foreslog Celleformen, som definitivt blev antagen af Stephenson.

§ 255. *Forsög over de Proportioner, som bör antages for Rörbroerne paa Jernbaner.* — Efter saaledes ved sine foreløbige Forsøg med Rør af forskjellig Dannelse og med Bærevidder, som ikke overskred 6 Metre, at være ledet til at antage for den øvre Del af saadanne Rør et Tværgjennemsnit af cellurær Dannelse, sammensat af Rektangler, søgte Fairbairn ved en Række Experimenter at bestemme det Forhold, som burde fastsættes mellem Overfladerne af Tværsnittene i Taget og i Bunden af saadanne Rør. I denne Hensigt lod han først forfærdige et Rør med celleformigt Tag, hvis Bund af plane Jernplader efterhaanden lod sig forstærke, indtil man havde opnaaet Proportioner, hvorved Modstanden mod Tagets Sammentrykning ved Kompression, og Bundens Sønderslidning ved Extension paa det Nærmeste vare lige. Det var i dette Øiemed, at denne berømte Ingenieur med megen Indsigt ledede de følgende Forsøg, hvilke vi i Betragtning af deres store Vigtighed ville afhandle i Detail.

Dimensionerne af Forsøgsrørene bleve fastsatte til Sjettedelen af den virkelige Størrelse, som skulde komme til Anvendelse ved de foreslaaede Broer. Britanniabroen skulde have en Bærevidde af 450 engelske Fod; Modellens Bærevidde blev derfor bestemt til $\frac{450}{6} = 75$ Fod $= 22^{m},875$, Høiden i Midten af Længden til 4′6″ $= 1^{m},37$ og Bredden til 2′8″ $= 0^{m},813$. Pladernes Tykkelse var ogsaa Sjettedelen af den, som man tænkte at anvende for Røret i Britanniabroen. Af disse Dimensioner fulgte, at mellem Modellen og det virkelige Rør stod Modstanden af Tværsnittet i Forhold som 1 til 36, og Rørenes Vægt som 1 til 216.

Figurerne (Pl. IV, Fig. 16 og 17) give en Idee om den ved denne Model anvendte Anordning.

Taget bestod af 6 Celler af 6,5″ $= 0^{m},165$ ved 6″ $= 0^{m},152$; hver Plade gik 1″ $= 0^{m},0254$ ind paa den anden. Naar et Brud var blevet frembragt under Forsøgene, blev over Fugerne lagt en Dækplade.

Cellerne vare dannede ved et simpelt Vinkeljern (Pl. IV, Fig. 18), hvis Tværsnit beløb sig til 0,175 □ Tommer = 0,000113 □ Meter; men Siderne og Taget vare forenede med stærkere Vinkeljern af 0,325 □ Tommes = 0,000210 □ Meters Tværsnit.

De Plader, som dannede Siderne, laae 2 Tommer = 0^m,0508 over hinanden og vare kun forbundne med en enkelt Række af Klinknagler. Ved alle Sammenstød af Vinkeljernene havde man klinket en Plade over Fugerne.

Bunden var dannet af to Plader, klinkede paa et Pladebaand af 3″ = 0^m,1062 Bredde, hvilket gik igjennem Rørets hele Længde. Tværfugerne bleve overdækkede med Plader af 3′ = 0^m,915 Længde og 1′6″ = 0^m,457 Bredde.

Pladernes Tykkelse blev maalt ved ovenpaa hinanden at opstable et vist Antal regelmæssigt tilskaarne og vel tildannede Stykker og ved derpaa at dividere disses Totaltykkelse med Pladernes Antal.

Forsøgsrøret hvilede med dets Ender paa to murede Pillarer, fremstillede i Pl. IV, Fig. 17; for at undgaae at give disse Piller nogen stor Høide blev en Grav anbragt under Rørets Midte, og den af Støbejerns-Lodder bestaaende Vægt hang frit over denne Grav, paa hvis Bund Vægten kunde hvile i Tilfælde af Brud.

De Forsøg, der udførtes med disse Modelrør, vare meget talrige; vi ville imidlertid indskrænke os til dem, som ere nødvendige til Fremstillingen af de Resultater, hvortil Fairbairn er kommen.

§ 256. *33te Forsög.* — Modelrøret havde følgende Dimensioner:

Længde . . . . . = 23^m,79;
Bærevidde . . . . . 2C = 22^m,88;
Rørlegemets Bredde . . . . = 0^m,813;
Den øvre Dels Bredde . . *a* = 0^m,907;
Den øvre Dels Høide . . *e* = 0^m,170;

Pladernes Tykkelse i den øvre Del . . $= 0^m,0037$;
Pladernes Tykkelse i Bunden . . $e_1' = 0^m,00476$;
Bundens Bredde . . . . . $a' = 0^m,890$;
Pladernes Tykkelse i Siderne . . . $e_1 = 0^m,00251$;
Sidernes Høide . . . . . $= 1^m,073$;
Rørets Vægt . . . . . $2pC = 4933^{Kil}$.

For at finde Afstanden af Tyngdepunktet eller af den neutrale Axe fra Rørets Tag har man først, naar man kalder A Overfladen af Tagets Tværsnit,

$$A\left(x-\frac{e}{2}\right)+e_1(x-e)^2=a'e_1'(b-x)+e_1(b-x)^2,$$

hvoraf

$$x=\frac{A\frac{e}{2}+e_1(b^2-e^2)+a'e_1'b}{A+a'e_1'+2e_1(b-e)}.$$

Ifølge disse Dimensioner var i det Hele taget Overfladen af den øvre Dels Tværsnit, iberegnet Vinkeljernene, hvis Dimensioner ikke ere angivne:

$A = 24{,}024$ Quadrattommer $= 0{,}015495$ Quadratmeter,

Overfladen af Bundens Tværsnit

$A' = a'e_1' = 8{,}8$ Quadrattommer $= 0{,}00576$ Quadratmeter

og af Sidernes:

$$A'' = 2e_1(b-e) = 0{,}005805 \text{ Quadratmeter},$$

saaledes at Formlen kan gives følgende Form

$$x=\frac{A\frac{e}{2}+A''\frac{(b+e)}{2}+A'b}{A+A'+A''}.$$

Efter denne Forudsætning beregner man først Momentet I' for den øvre Del med Hensyn til en Linie NO (Pl. IV, Fig. 16), som gaaer gjennem dens Midte; og

kalder man a_2 Summen af de sex Cellers indre Bredder og e_2 deres indvendige Høide, saa vil man have

$$I' = \tfrac{1}{12}(ae^3 - a_2e_2{}^3).$$

Ved derpaa at multiplicere Overfladen $A = ae - a_2e_2$ af Tagets Profil med Quadratet af Afstanden $x - e$ af dets Tyngdepunkt fra Rørets Tyngdepunkt og addere dette Produkt til I' vil man erholde Inertiemomentet I_1 af dette Tag med Hensyn til den neutrale Axe, hvilket giver

$$I_1 = I' + A(x-e)^2.$$

Inertiemomentet for den Del af Siderne, som ligger mellem Taget og den neutrale Axe, vil med Hensyn til denne Linie være:

$$\tfrac{2}{3}e_1(x-e)^3.$$

Inertiemomentet for Sidernes nedre Del med Hensyn til samme Linie vil være (§ 143):

$$\tfrac{2}{3}e_1(x-e)^3;$$

Inertiemomentet af den Del, der indsluttes af Siderne, med Hensyn til samme Linie:

$$\tfrac{2}{3}e_1(b-x)^3.$$

Endelig vil Inertiemomentet af Bunden være:

$$a'e_1' \times (b-x)^2.$$

Det totale Inertiemoment vil altsaa være:

$$I = \tfrac{1}{12}(ae^3 - a_2e_2{}^3) + A(x-e)^2 + \tfrac{2}{3}e_1(x-e)^3 + \tfrac{2}{3}e_1(x-e)^3 + \tfrac{2}{3}e_1(b-x)^3 + A'(b-x)^2,$$

hvoraf man udleder Værdien for $\frac{I}{v'}$, idet man for v' tager den største af Størrelserne x eller $b-x$.

Efterat Værdierne for I og v' vare beregnede, har man kunnet indbringe dem i følgende Tabel, som indeholder de af Fairbairn med dette Rør iagttagne Resultater.

Belastning i Midten. 2P.	Totalbelastning. $2P+\frac{6}{8}2pC$.	Totalböininger. f.	Forhold af den halve Belastning til Böiningen. $\frac{P+\frac{5}{8}pC}{f}$.	Elasticitetskoefficient. E.	Proportional Forlængring. $i'=\frac{PCv'}{EI}$.	Belastninger, hvorved Elasticiteten ikke forandres. $E_i'=R'$.
Kilogr.	Kilogrammer	Meter		Kilogrammer		Kilogr.
922	4005	0,0045	445110	20836000000	0,00007537	1570300
2070	5153	0,0045	572450	26797000000	0,00007587	1570300
3208	6291	0,0070	450320	21032000000	0,00011724	2465700
4350	7433	0,0095	391160	18311000000	0,00015911	2913300
5498	8581	0,0123	348780	16327000000	0,00020601	3363400
6646	9729	0,0136	357720	16745000000	0,00018093	3029700
7798	10881	0,0161	337890	15817000000	0,00026964	4265000
8935	12018	0,0203	296010	13889000000	0,00033999	4711000
10008	13091	0,0235	278510	13037000000	0,00039358	5131300
10992	14075	0,0265	265550	12442000000	0,00044342	5517000
11866	15949	0,0290	274970	12871000000	0,00048570	6251600
12919	16002	0,0314	275900	11928000000	0,00052589	6272700
13876	16959	0,0339		11708000000		
14844	17927	0,0368		11401000000		
15826	18909	0,0396		11176000000		
16797	19880	0,0422		11026000000		
17785	20868	0,0450		10854000000		
18789	21872	0,0483		10599000000		
19752	22835	0,0508		10521000000		
20752	23835	0,0533		10466000000		
21706	24789	0,0559		10379000000		
22682	25765	0,0584		10325000000		
23671	26754	0,0610		10265000000		
24659	27742	0,0641		10141000000		
25629	28712	0,0686				
26604	29687	0,0744				
27693	30776	0,0762				
28566	31649	0,0813				
29700	32783	0,0864				
30732	33815	0,0981				
30975	34058	0,0870				
31990	35073	0,0921				
33005	36088	0,0946				
34019	37102	0,1029				
35024	38117	0,1111				
36049	39132					

Efterat Røret havde baaret Belastningen 36049 Kilogrammer i $1\frac{1}{2}$ Minut, brast det ved Sønderslidning af Bunden $0^m,610$ fra det Punkt, hvor Belastningen var ophængt.

§ 257. *34te, 35te, 36te og 37te Forsög.* — I det 34te Forsøg blev Røret forstærket med to Plader, hvoraf hver maalte $0^m,165$ og $0^m,002$; Rørets Vægt blev da 5000 Kilogrammer, og det vred sig under en Belastning af 43987 Kilogrammer som Følge af en Feil i dets Sider, hvilket især var bemærkeligt ved Yderenderne, som hvilede paa Underlagene. Havde man betjent sig af en Afbinding af Støbejern, hvilket senere blev gjort, saa er det rimeligt, at Forsøget kunde have været fortsat langt videre.

Efter dette Forsøg blev Røret repareret og forstærket derved, at vertikale Vinkeljern tilklinkedes indvendig i $0^m,61$ Afstand fra hinanden, og en Ramme i Form af et Andreaskors blev anbragt ved Yderenderne.

De Forsøg, som gjordes med det saaledes modificerede Rør, medførte, at Bundpladerne ved Belastningen $2P = 57135$ Kilogrammer bleve afslidte nær ved Belastningens Ophængningspunkt, udenat Taget gav mærkelig efter. Undersøgelsen af dette Tag gav tilkjende, at Cellernes Dækplader vare forbundne og sammenklinkede ved gjensidig Overdækning, istedet for at støde an mod hinanden og være forsynede med særskilte Dækplader, og at følgelig nogle Klinknagler mellem de to Blik vare indklemte og afklippede ligesom med en Sax.

Røret blev paanyt repareret og forstærket i Bunden med to Plader af $6^m,10$ Længde, saaledes at Tværsnittet blev bragt til 17,8 Tommer $= 0^m,01148$ i det 36te Forsøg, ved hvilket Røret blev brudt ved Afrivning af Bundens plane Plader under en Belastning af 67102 Kilogrammer. Siderne vare ogsaa beskadigede og bøiede sig. Da man undersøgte Bruddet af de Pladebaand, hvormed Bunden var bleven forstærket, viste det sig, at disse vare meget feilfulde og af slet Jern.

Bunden blev paanyt forstærket og Overfladen af Tværsnittet bragt til 22,45 □ Tommer $= 0^m,014480$. Ved det 37te Forsøg bar dette Rør i 18 Timer en Belastning af

58440 Kilogrammer, og dets Krumningspil voxede under denne Tid fra 0^m,0815 til 0^m,0850 eller 3,5 Millimetre. Derefter bar det i 9 Døgn en Belastning af 61400 Kilogrammer, og dets Bøining steg kun fra 0^m,0802 til 0^m,0818 eller 1,6 Millimetre. Ved en tredie Iagttagelse brast det først under en Belastning af 70000 Kilogrammer, idet Enden af de Bunden tilføiede Plader oversledes, hvilket viser, at denne forstærkede Bund og Taget vare stærke nok til at bære endnu større Belastninger.

Ved alle disse paa hinanden fulgte Forsøg bleve Bøiningerne stedse iagttagne med Omhyggelighed. Ved en graphisk Fremstilling i stor Maalestok af disse Resultater, hvorved Belastningerne antages som Abscisser og de iagttagne Bøininger som Ordinater, har man kunnet vurdere den Belastning, ved hvilken Bøiningerne i ethvert Forsøg ophørte at være proportionale med Belastningerne.

Det er saaledes ved det 34te Forsøg, man er kommen til Kundskab om, at denne Grændse først indtraadte ved den betydelige Belastning af omtrent 37000 Kilogrammer. Tydeligere viste Afvigelserne sig i det 35te Forsøg, omendskjønt Proportionaliteten endnu bibeholdt sig for Belastninger, som laae meget nær den Belastning, ved hvilken Sønderslidningen frembragtes. I det 36te Forsøg har Proportionaliteten ikke ophørt førend henimod 45000 Kilogrammer, og de Tal, som vi give i den følgende Paragraph for det Forsøg, som har bestemt Rørets Brud, vise, at man kan betragte Bøiningerne som proportionale med Belastningerne indtil 60000 Kilogrammer, det vil sige langt udenfor de Grændser, inden hvilke vi indrømme, at man anvender de Følgeslutninger, hvortil Theorien har ledet os.

§ 258. *Brudforsög.* — Da Røret paanyt var blevet istandsat, idet man bibeholdt de samme Tværsnitsoverflader, har Iagttagelsen givet de Resultater, som indeholdes i følgende Tabel.

2P.	*f.*	2P.	*f.*
Kilogrammer	Meter	Kilogrammer	Meter
9063	0,0128	71451	0,0963
16207	0,0192	73334	0,0986
22142	0,0305	74628	0,1017
28210	0,0376	75929	0,1041
35123	0,0453	77528	0,1075
41811	0,0540	78782	0,1100
46818	0,0608	80221	0,1140
51941	0,0686	81548	0,1155
59891	0,0775	83252	0,1175
62541	0,0820	84477	0,1200
65115	0,0865	85694	0,1221
67245	0,0911	87690	
69221	0,0940		

Dette Rør blev brudt med Belastningen 87690 Kilogrammer ved Kompression af Taget.

Efter i dette Forsøg efterhaanden at have forøget Overfladen af Bundens Tværsnit havde man omtrentlig frembragt Lighed med Tagets Tværsnitsoverflade; det første havde nemlig 145 Quadratcentimetres Overflade og Taget 155 Quadratcentimetres Overflade.

Beregner man ligesom ovenfor ved Hjælp af de for de mindste Belastninger iagttagne Bøininger Værdien af Elasticitetskoefficienten, finder man:

Belastninger i Kilogrammer. $2P + \frac{5}{8}2pC.$	Elasticitetskoefficient. E.
Kilogrammer	Kilogrammer
19897	17 977 000 000
25832	15 154 000 000
31000	15 179 000 000
38813	18 389 000 000
45501	16 732 000 000
50508	16 077 000 000

Middeltallet 16600000000 Kilogrammer (22742000 Pund pr. Quadrattomme norsk Maal og Vægt), som omfatter alle Iagttagelsesresultater indtil en Bøining af $\frac{1}{378}$ af Bærevidden, vil kunne tjene til i alle lignende Tilfælde at bestemme de for Rør af Plader antagelige Dimensioner.

§ 259. *Forsög med det förste Rör til Conway-Broen.* — Efter de foreløbige Forsøg, som havde bestemt Ingenieurernes Mening om de Proportioner, der burde fastsættes mellem Rørenes forskjellige Dele, besluttede man, da det første Rør til Conway-Broen var forfærdiget, at underkaste dette selv et Forsøg, som saaledes antog en gigantisk Charakter. Man byggede Pillarer for at understøtte dette Rør med en Bærevidde af 122 Metre og belastede det efterhaanden med Vægter, idet man maalte Bøiningerne.

Dataerne for dette Forsøg ere følgende:

Rørets Længde $125^m,66$; Bærevidde $2C = 122^m,00$;

Høide i Midten $b = 7^m,78$; Bredde $a = 4^m,58$.

Tagets Tværsnits-

overflade $A = 0,43215$ □Meter; $e = 0^m,535 = e'$.

Bundens „ $A' = 0,33346$ „ „

Sidernes „ $A'' = 0,16529$ *), „ „

$A + A' + A'' = 0,93190$ □Meter.

Sidernes Middeltykkelse $e_1 = \frac{0^m,0247}{2}$, iberegnet de vertikale Vinkeljern.

Rørets Vægt, indbegrebet Baneskinnerne og Rammerne af Støbejern i Yderenderne, $2pC = 1320800$ Kilogrammer.

Følgende Tabel indeholder Resultaterne af Forsøgene.

---

*) Ed. Clark, Pag. 754, II Del. Angivelserne i Hr. Clark's Text for dette Rør ere ikke nøiagtig overensstemmende med dem paa Planerne; de, som vi have antaget, ere saavel overensstemmende med Hr. Fairbairn's Værk, som med Hr. Clark's Planer.

Belastning. $2p'C'$.	Længde, paa hvilken den var fordelt. $2C'$.	Forsögsbelastning pr. Længdemeter.	Böininger. f.	Forhold af Böiningerne til Bærevidderne. $\frac{f}{2C}$	E.
Kilogrammer	Meter	Kilogrammer	Meter		Kilogrammer
0 000			0,202	$\frac{1}{6\,6\,4}$	13663000000
96 467	21,40	4508	0,230	$\frac{1}{5\,8\,0}$	12978000000
156 410	32,15	4865	0,242	$\frac{1}{6\,6\,4}$	13307000000
204 140	45,80	4455	0,266	$\frac{1}{5\,3\,9}$	12791000000
305 710	58,00	5271	0,279	$\frac{1}{4\,1\,6}$	10371000000
				Middeltal . . .	13185000000

Rørets egen Vægt, 1320800 Kilogrammer, frembragte en Bøining af $0^m,202$, og Belastningen 96467 Kilogrammer forøgede efter at have ligget i Røret i 4 Timer Bøiningen, som strax var $0^m,230$, til $0^m,236$, eller omtrent $0^m,006$. Efterat samme Belastning yderligere havde virket i 17 Timer, forøgedes Bøiningen med $0^m,0025$.

Af dette Rørs Dimensioner udleder man for Afstanden af Tyngdepunktet:

$$x = \frac{A\frac{e}{2} + A'\left(b - \frac{e}{2}\right) + A''\frac{b}{2}}{A + A' + A''} = 3^m,506.$$

Tyngdepunktet vil saaledes være i en Afstand af $7^m,780 - 3^m,506 = 4^m,274$ fra Bunden, og heraf følger, at man her har $v' = 4^m,274$.

Naar man erindrer sig, at $A = 0,43215$ □ Meter, $A' = 0,33346$ □ Meter, ligesom Værdierne af de øvrige Angivelser for dette Tilfælde, er det let at see, at som Følge af Rørets store Høide vil dets Inertiemoment have som meget tilnærmet Værdie:

$$I = 0,43215 \times \overline{3,2385}^2 + 0,33346 \times \overline{4,0065}^2 + \frac{1}{3}0,0247(\overline{2,971}^3 + \overline{3,739}^3) = 10,6369.$$

Man vil bemærke, at det sidste Led, som vedkommer Siderne, kun har en Værdie af

$$\frac{1}{3}0,0247(\overline{2,971}^3 + \overline{3,739}^3) = 0,646,$$

eller omtrent $\frac{1}{60}$ af den hele Værdie, og følgelig uden Fare kan sættes ud af Betragtning, en Omstændighed, som meget letter Beregningerne.

Ved dette Forsøg var det ikke muligt at anbringe den hele Belastning omtrent i Midten, og man var nødt til at fordele den paa en saa temmelig betydelig Udstrækning, at man maa tage Hensyn til den ved Beregningerne.

Lad os altsaa kalde $2C'$ den Længde, hvorpaa Lasten i Forhold af p' Kilogrammer pr. løbende Meter var ensformig fordelt, og betragte et hvilketsomhelst Tværsnit, *ik*, (Pl. IV, Fig. 20) af den ensformig belastede Del. Idet man tilbagekalder sig Betegnelserne og Betragtningerne i §§ 178 og 202, vil man først see, at Momentet af det paa et af Underlagene udøvede Tryk Q med Hensyn til hint Tværsnit er QX, videre, at Belastningen paa ethvert Element af Længde $y = x$, beliggende i Afstanden Y fra Tværsnittet *ik*, har som Værdie $p'y$, at dets Moment er $p'Yy$, og at Summen af de lignende Momenter, lig $\frac{1}{2}p'Y^2$, maa tages fra Værdien $Y = C$ indtil Værdien $Y = X - (C - C')$, hvilket giver for Summen af alle Elementærmomenter af den ensformig fordelte Belastning

$$\frac{1}{2}p'[X-(C-C')]^2.$$

Ligevægtsforholdet mellem de ydre Kræfter og de molekulære Modstande mod Extension og Kompression er da (§ 178):

$$\frac{EI}{r} = QX - \frac{1}{2}p'[X-(C-C')]^2.$$

Naar det fremdeles bemærkes, at Trykket paa Underlaget B, hvilket udøves af Lasten $2p'C'$, er for den Del, som indeholdes mellem *ik* og dette Underlag, lig

$$Q = p'C',$$

saa erholder man

$$\frac{EI}{r} = p'C'X - \frac{1}{2}p'[X-(C-C')]^2,$$

hvilket for Ligevægtsforholdet først giver

$$\frac{EI}{r} = p'C'X - \tfrac{1}{2}p'X^2 + p'(C-C')X - \tfrac{1}{2}p'(C-C')^2 =$$
$$= p'CX - \tfrac{1}{2}p'X^2 - \tfrac{1}{2}p'(C-C')^2.$$

Krumningspilen for et Element har følgelig til Værdie (§ 200):

$$ab' = \frac{Sx}{r} = \frac{p'CX^2x - \frac{1}{2}p'X^3x - \frac{1}{2}p'(C-C')^2Xx}{EI}.$$

Sætter man $S = X$, idet S er Længden af den neutrale Axe, saa er Summen af alle saadanne Elementærbøininger, eller Totalbøiningen:

$$f = \frac{\frac{1}{3}p'CX^3 - \frac{1}{3}p'X^4 - \frac{1}{4}p'(C-C')^2X^2}{EI};$$

og for Bøiningen i Midten af Længden, som svarer til $X = C$, har man

$$f = \tfrac{1}{3}\frac{C^3}{EI}\tfrac{5}{8}p'C - \tfrac{1}{4}\frac{p'(C-C')^2C^2}{EI}.$$

Denne Formel reducerer sig forresten til

$$f = \tfrac{1}{3}\frac{C^3}{EI}\tfrac{5}{8}p'C$$

for det Tilfælde, hvor $C = C'$, saaledes som man maatte vente sig det; og naar man tager Legemets egen Vægt med i Regning, hvilken er $2pC = 1320800$ Kilogrammer, hvor man betegner med p Vægten pr. løbende Meter, saa frembringer denne Vægt en Bøining, der udtrykkes ved

$$f = \tfrac{1}{3}\frac{C^3}{EI}\tfrac{5}{8}pC,$$

saaledes at Totalbøiningen vil være

$$f = \frac{\frac{5}{24}C^3[pC + p'C] - \frac{1}{4}p'(C-C')^2C^2}{EI}.$$

Heraf erholder man for Elasticitetskoefficienten:

$$E = \frac{\frac{5}{24}C^3[pC+p'C]-\frac{1}{4}p'(C-C')^2C^2}{fI}.$$

Paa denne Maade har man beregnet de i foranstaaende Tabel indtagne Værdier for Elasticitetskoefficienten.

Man seer, at de fire første Værdier — hvoraf den sidste staaer over det sædvanlig antagne Forhold og tilsvarer en Bøining af $\frac{1}{459}$ af Bærevidden — ere mærkelig konstante og give for Elasticitetskoefficienten en mindre Størrelse end den, som er funden for andre Tilfælde, men som nærmer sig meget til den, man har erholdt af Fairbairn's Forsøg med Jernstænger som dobbelt T, omhandlede i § 249.

§ 260. *Bestemmelse af den største Forlængring, som Fibrerne lide i dette Forsög.* — Dersom man henholder sig til Betragtningerne i § 134, ved hvilke man erholder den største proportionale Længdeforandring af Fibrerne, saa erindrer man sig Formlen

$$i = \frac{(Pp + Qq + \text{etc.})v'}{EI}.$$

I nærværende Tilfælde handles der om to ensformig fordelte Belastninger: den ene, $2pC = 1320800$ Kilogrammer, er Legemets Vægt; og den anden, $2p'C'$, er Vægten af Belastningen.

Ifølge de tidligere angivne Betegnelser har man ved at tage Momenterne med Hensyn til Tværsnittet i Midten for Momenterne af de Belastninger, der tilsvare Legemets Vægt, $\frac{1}{2}pC^2$, og for Momenterne, der tilsvare den paa Længden $2C'$ ensformig fordelte Belastning, $\frac{1}{2}p'C'^2$.

Summen af Kraftmomenterne, som virke fraoven nedad, er altsaa

$$\frac{1}{2}pC^2 + \frac{1}{2}p'C'^2;$$

Trykket paa Underlagene, som virker franeden opad, er

$$pC + p'C',$$

og har til Moment $pC^2 + p'CC'$.

Den algebraiske Sum af Kræfternes Momenter er altsaa:

$$M = pC^2 + p'CC' - \tfrac{1}{2}pC^2 - \tfrac{1}{2}p'C'^2 = \tfrac{1}{2}pC^2 + p'CC' - \tfrac{1}{2}p'C'^2,$$

og følgelig har man

$$i = \frac{(\tfrac{1}{2}pC^2 + p'CC' - \tfrac{1}{2}p'C'^2)v'}{EI}.$$

For Røret i Conway-Broen har man (§ 259)

$$v' = 4^m,274, \quad I = 10,6369.$$

Ifølge Fairbairn's Forsøg har man som Middeltal fundet

$$E = 13\,185\,000\,000 \text{ Kilogrammer.}$$

Der handles altsaa kun om i de foregaaende Formler at indsætte de forskjellige Værdier, som Tælleren antager forholdsmæssig efter Belastningerne $2p'C'$, og deres Fordeling.

Vi ville anvende dette paa to Tilfælde: for det Første, naar Legemet kun var underkastet dets egen Vægt, og hvor saaledes $p' = 0$, og for det Andet, med Belastningen $2p'C' = 204\,140$ Kilogrammer, den største af alle de Belastninger, som har frembragt Bøininger, proportionale med Belastningerne.

I første Tilfælde erholde vi (naar $2pC = 1320800^{Kil}$, $pC = 660400^{Kil}$, $\frac{1}{2}C = 30^m,5$, $\frac{1}{2}pC^2 = 660400 \times 30^m,5$):

$$i = \frac{\frac{1}{2}pC^2 . v'}{EI} = \frac{660\,400 \times 30^m,5 \times 4^m,274}{13\,185\,000\,000 \times 10,6369} = 0^m,000614;$$

i det andet Tilfælde, hvor $p'C' = 102070^{Kil}$ og $C' = 22^m,90$ erholde vi:

$$i = \frac{[660400 \times 30,5 + 102070 \times 61 - 51035 \times 22,90]4^m,274}{13185000000 \times 10,6369}$$
$$= 0^m,000780.$$

Henholder man sig til § 134, saa seer man, at denne sidste proportionale Forlængring ikke har naaet Grændsen $i = 0^m,0008$; denne sidste Grændse gjælder for blødt Jern, til hvilket Slags man aabenbart maa henføre de anvendte Jernplader, saasom det for Elasticitetskoefficienten kun har givet en langt mindre Værdie, end den, som erholdes for Jern i Stænger og det sædvanlige strækkede bløde Jern.

§ 261. *Anvendelse af den Regel, som forbinder Böiningerne med Bærevidderne og disse med Legemernes Höidedimensioner.* — Naar man tilbagekalder sig Betragtningerne i § 221 og anvender Formlen

$$\frac{f}{2C} = \frac{1}{6}\frac{R}{E}\frac{C}{v'}$$

paa Røret i Conwaybroen, for hvilket man har

$$C = 61^m,00, \quad v' = 4^m,274,$$

samt antager

$$R = 6000000, \quad E = 13185000000,$$

saa finder man for Forholdet af Bøiningerne til Bærevidderne

$$\frac{f}{2C} = \frac{1000000}{13185000000} \cdot \frac{61}{4,274} = \frac{1}{922}.$$

Saaledes vilde Antagelsen af Værdien $R = 6000000$ Kilogrammer alene give for dette Legeme en Bøining af $\frac{1}{922}$ som Grændse for den, som det skulde kunne udholde uden Forandring af dets Elasticitet, medens det i Virkeligheden ved dets egen Vægt alene har udholdt en Bøining af $\frac{1}{600}$ uden Fare. Man seer altsaa, at denne Værdie for Modstandskoefficienten, indført i Formlerne, vil lede til Dimensioner, som frembyde al Sikkerhed for analoge Konstruktioner.

§ 262. *Beregningsmethode, antaget af nogle Ingenieurer.* — Rørenes store Høide og den ringe Tykkelse af

det celledannede Tag og af Bunden med Hensyn til denne Høide, saavelsom de vertikale Siders temmelig svage Indflydelse paa Totalmodstandsevnen kunne indtil et vist Punkt retfærdiggjøre den af nogle engelske Ingenieurer antagne Beregningsmethode.

Antager man, at som Følge af den relativ ringe Tykkelse af Rørets Tag og Bund alle Fibrer i Taget ere ligeligen komprimerede, og alle Fibrer i Bunden blive ligeligen extenderede, saa behøve vi kun at bemærke, at Summen af Modstandenes Momenter mod Kompression og mod Extension med Hensyn til den neutrale Axe er lig Momentet af den ydre Kraft, eller endnu simplere skulde man kunne udtrykke det ved, at Momentet af Tagets Modstand med Hensyn til Bundens Middellinie er lig med Momentet af Belastningen med Hensyn til den samme Linie.

Betegne vi med

A Overfladen af Tagets Tværsnit, udsat for Kompression;

R Modstanden mod Kompression for Enhed af Overflade;

b Rørets Middelhøide, maalt fra Midten af Taget til Midten af Bunden;

$\frac{b}{n}$ Afstanden af Tagets Midtlinie fra den neutrale Axe;

A′ Overfladen af Bundens Tværsnit, udsat for Extension eller Strækning;

R′ Modstanden mod Strækning for Enhed af Overflade: saa er

$b - \frac{b}{n} = b.\frac{n-1}{n}$ Afstanden af Bundens Midtlinie fra den neutrale Axe.

Man seer lettelig, at Momenterne af de to Modstande mod Kompression og mod Extension med Hensyn til den neutrale Axe ville være

for Kompressionen: $AR.\frac{b}{n}$;

for Extensionen: $A'R'.b.\frac{n-1}{n}$.

Da Summen af disse to Momenter maa være lig med Momentet af Belastningens Halvdel, hvis Vægtstangsarm er Halvdelen af den hele Bærevidde, saa har man, naar man betegner med 2P den paa Legemets halve Længde eller i dets Midte trykkende Belastning, og med 2C den hele Bærevidde:

$$PC = AR\frac{b}{n} + A'R'b\frac{n-1}{n}.$$

Skal Røret ikke anstrænges mere i Taget end i Bunden, saa maa man gjøre

$$AR = A'R',$$

hvilket reducerer den foregaaende Formel til

$$PC = ARb\left(\frac{1}{n} + \frac{n-1}{n}\right) = ARb = A'R'b.$$

Denne Formel er den samme, som den, man erholder, naar man antager, at Rotationen foregik vexelvis om Taget og Bunden; og dette er den af Hr. Clark angivne Beregningsmethode.

Dersom man istedetfor at antage Røret belastet i Midten med en Vægt 2P vilde tage en ensformig fordelt Belastning $2pC$ i Betragtning, saa maatte man som bekjendt sætte $\frac{pC}{2}$ istedet for P, og man vilde da have

$$\tfrac{1}{2}pC^2 = ARb = A'R'b.$$

§ 263. *Værdie af Konstanterne* R *og* R'. — I denne Formel ere R og R' Værdierne af de direkte Belastninger, som vilde frembringe Brud enten ved Kompression eller ved Extension, og Størrelsen af disse Værdier for ethvert Material bestemmer dets Valg, alt efter den Beliggenhed, som det skal indtage.

De engelske Ingenieurer have saaledes efter forskjellige Forsøg antaget, at Modstandsevnen af Rørplader mod

Brud ved Strækning var 18,6 Tons pr. Quadrattomme, eller 28,68 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter (39292 ℔ pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt), hvilket gjør

$R' = 28680000$ Kilogrammer pr. Quadratmeter,

og at deres Modstandsevne mod Kompression kun var 14,8 Tons pr. □ Tomme, eller 23,29 Kilogrammer pr. Quadratmeter (31907 ℔ pr. Quadrattomme norsk Maal og Vægt), hvilket giver

$R' = 23290000$ Kilogrammer pr. Quadratmeter,

altsaa $$\frac{R}{R'} = \frac{14,8}{18,6} = \frac{4}{5}$$*).

§ 264. *Bemærkninger over Anvendelsen af Støbejern.* — Da Støbejernets Modstand er 75 til 80 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter for Kompression og kun 10 til 11 Kilogrammer for Extension, saa have nogle Ingenieurer, som alene have havt Brud for Øie, deraf sluttet, at det var hensigtsmæssigt at anvende Støbejern i Taget og Blikplader i Bunden af Rørbroer. Men naar man henholder sig til de i § 96 angivne komparative Forsøg over Kompressionen af Støbe- og Smedejern, saa seer man let, at inden de Grændser, hvor Elasticiteten ikke er forandret, er Smedejernet mindre sammentrykkeligt end Støbejernet, og da Bøiningerne maae være saameget som muligt indskrænkede, er det tværtimod hensigtsmæssigt at foretrække Smedejernet for Støbejernet, ligesom Fairbairn har gjort i de af ham forfærdigede Rør.

*) Hodgkinson siger selv (Beretningen Pag. 178), at udover 15 Tons pr. Quadrattomme eller 23,61 Kilogrammer pr. □ Millimeter (32346 ℔ pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt) for Strækning, og over 12 Tons pr. Quadrattomme eller 18,68 Kilogrammer pr. □ Millimeter (25592 ℔ pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt) for Kompression bliver Jernets Seighed forandret; dette giver Forholdet $\frac{R}{R'} = \frac{12}{15} = \frac{4}{5}$.

§ 265. *Anvendelse af Angivelserne i § 263 paa Röret i Conway-Broen.* — Anvender man Formlen

$$\frac{pC}{2} = \frac{ARb}{C} = \frac{A'R'b}{C}$$

paa Røret i Conwaybroen, hvor $p = 13841$ Kilogrammer, $C = 61^{m},00$, $b = 7^{m},78$, følgelig $A = 0,43215$ Quadratmeter og $A' = 0,33346$ Quadratmeter, saa finder man som den praktiske Modstandskoefficient af Jernplader mod Kompression:

$$R = \frac{pC^2}{2Ab} = \frac{13841 \times 61^2}{2 \times 0,43215 \times 7,78} = 7423800^{Kil},$$

eller omtrent Tredieparten af Brudkoefficienten, som ifølge de engelske Ingenieurers Antagelse beløber sig til 23290000 Kilogrammer (§ 263).

Som praktisk Modstandskoefficient af Jernplader mod Extension finder man

$$R' = \frac{pC^2}{2A'b} = \frac{13841 \times 61^2}{2 \times 0,33346 \times 7,78} = 9617600^{Kil},$$

eller omtrent Tredieparten af Brudkoefficienten 28680000 Kilogrammer, som de samme Ingenieurer antage for Modstanden af Jernplader mod Extension.

Som man seer, overskride disse Værdier meget den for $R = 6000000$ Kilogrammer, som vi have antaget.

Af denne Sammenligning og af den fuldkomne Sikkerhed, som Broerne over Conway og over Menaistrædet synes at frembyde, troe vi at kunne drage en ny Bekræftelse paa den Tiltro, man vil have til Konstruktioner, hvorved man som praktisk Koefficient for Modstand mod Kompression og Extension antager, som vi hidtil have gjort,

$R = 6000000$ Kilogrammer, eller $R = 8220$ ℔ pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt.

Man maa virkeligen ikke forglemme, at Betragtningerne med Hensyn til Brud og de deraf udledede Følge-

slutninger langtfra fremstille den samme Nøiagtighed, den samme Overensstemmelse med Erfaringen og følgelig den samme Sikkerhed, som de, der ere grundede paa Kompressioner, Extensioner og Bøininger, der ere holdte inden de Grændser, hvor Elasticiteten ikke mærkelig er forandret. Men man har seet — uanseet de ubetydelige Differentser mellem disse Grændser —, at Smedejernets Modstand, eller, hvilket er det samme, at dets Elasticitetskoefficient E har næsten den samme Værdie for Kompression som for Strækning, og at det i Almindelighed er hensigtsmæssigt, for at blive inden disse samme Grændser ikke at give den konstante Størrelse R en større Værdie end 6 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter, eller 6000000 Kilogrammer pr. Quadratmeter, der som ovenfor anført gjør 8220 Pund pr. Quadrattomme norsk Maal og Vægt.

Af de engelske Ingenieurers Beregninger synes det at fremgaae, at Værdien af R for Strækning eller Extension kun maa være pr. Quadratmillimeter 7,87 Kilogrammer, og for Kompression . . . . . 3,90 „

Størrelser, hvis Middeltal . . . . . 5,88 Kilogrammer

kun fjerner sig lidet fra den, som vi have bestemt; men ved Konstruktionen af Rørbroer har man seet, at de betydelig have afveget fra disse Grændser.

§ 266. *Belastninger, som de engelske Ingenieurer antage ved Beregningen af Jernbanebroer.* — De engelske Ingenieurer synes ved deres Beregninger af Jernbanebroer at antage, at Vægten af et Train beløber sig til 1 Ton pr. løbende Fod, hvilket tilsvarer 3330 Kilogrammer pr. løbende Meter (2093 ℔ pr. løbende Fod norsk Maal og Vægt); dette Tal synes os overdrevent, især for Rørbroer med en enkelt Skinnevei, hvilken altsaa ikke kan optage meer end et eneste Tog. I Conwaybroen var Vægten af et Rør, 1320800 Kilogrammer, fordelt paa en Total-

længde af 125m,66; altsaa kom der 10511 Kilogrammer paa Metren. Saaledes vilde i Øieblikket af et overfarende Train Belastningen pr. løbende Meter, som er sammensat af to Elementer, nemlig 10511 Kilogrammer pr. Meter for Rørets egen Vægt og 3330 Kilogrammer for Trainets Vægt, kunne anslaaes til $p = 13841$ Kilogrammer. Men dette Tal er yderst overdrevent; thi et Lokomotiv af de største Dimensioner veier kun 24000 Kilogrammer og har omtrent 10 Metres Længde, hvilket ikke gjør meer end 2400 Kilogrammer pr. løbende Meter, selv naar man antager et Train alene sammensat af Lokomotiver. Paa de første franske Jernbaner veiede de tomme Waggons neppe meer end 3000 Kilogrammer; men da de efterhaanden have tiltaget i Størrelse og Soliditet, saa har deres Vægt i den senere Tid paa Banen mellem Paris og Lyon naaet følgende Værdier:

Voiturernes Betegnelse.	Vægt				
	af den tomme Waggon.	af Passagererne.		Totalvægt.	pr. Meter af Banen.
Personvogne af 8m,11 Længde mellem Stödpuderne.					
	Kilog.		Kilogr. Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.
Første Klasse . . .	7420	28 Passagerer til	70 = 1960	9380	1148
Anden Klasse . . .	7170	40 „ „	70 = 2800	9970	1229
Tredie Klasse . . .	7450	50 „ „	70 = 3500	10950	1350
Lastvogne af 5m,50 Længde mellem Stödpuderne.					
Lukkede Waggons	4000	Varer	5000	9000	1636
Lukkede Lastvogne	4200		5000	9200	1674
Aabne Kassewaggons	3700		5000	8700	1582
Flade Waggons . .	3000		5000	8000	1418
Blokvogne (saakaldte Maringottes eller Trucks) af 7m,00 Længde mellem Stödpuderne.					
Blokvogne	3300	Varer	5000	8300	1185

Heraf fremgaaer, at Maximumsbelastningen pr. løbende Meter er for Waggons med Varer kun 1674 Kilogrammer. Ialfald have de i §§ 256 og 258 meddelte Forsøg angivet,

at de af Røret baarne Belastninger meget have overskredet 3330 Kilogrammer, saasom de have steget til 5271 Kilogrammer pr. løbende Meter i det sidste Forsøg, eller til en Totalbelastning af 305710 Kilogrammer, hvilket svarer til et Train af nær 30 Waggons med Varer, enhver veiende 9200 Kilogrammer, og hvor Lokomotivet med dets Tender er regnet til 30000 Kilogrammer; et Train, som alene for Waggonerne vilde indtage en Længde af 165 Metre, som er større end Rørets Længde.

Denne overdrevne Vægt var forresten fordelt paa en meget mindre Længde end den, som Længden af et Train med samme Vægt vilde indtage, og ved Prøven maatte Røret bære langt Mere, end det nogensinde vilde have at udholde ved den løbende Tjeneste. Desuagtet har Bøiningen ikke steget høiere end til $\frac{1}{436}$ af Bærevidden.

§ 267. *Den Gang, som bör följes ved Beregningen af saadanne Legemer som Rörbroerne.* — Ved Rørbroerne og andre lignende Konstruktioner fremstiller der sig ved Bestemmelsen af de Dimensioner, som Smedejerns-Bjælkerne eller Underlagene bør have, en Vanskelighed, som hidrører fra den store Indflydelse, som Legemernes egen Vægt udøver, hvilken i Almindelighed er større end den, der udspringer fra Belastningen, som de til visse Tider skulle bære.

Denne Vanskelighed lader sig hæve, og tillige kan man opnaae en foreløbig Tilnærmelse af den Udstrækning, som de Flader af Tværprofilet bør have, der skulle yde tilstrækkelig Modstand, hvilket skeer paa følgende Maade. Da de vertikale Vægge ere langt vigtigere som Forbindelsesmiddel mellem Legemets øvre og nedre Del, end som Modstandsmomenter, saa sætter man dem ud af Betragtning og anvender derpaa den i § 262 angivne approximative Forbindelse, hvor den Hypothese blev opstillet, at Høiden er stor nok i Forhold til Tykkelsen af Taget og Bunden, til at alle Fibrer i Taget kunne betragtes som

ligeligen komprimerede og alle Fibrer i Bunden som ligeligen extenderede; Momentet af den halve Belastning i Forhold til Tværsnittet i Midten er altsaa ligt Momentet af Modstanden af enhver af disse Dele, taget med Hensyn til hinanden.

Antage vi videre, saaledes som dette synes at følge af de foregaaende Betragtninger, at med Hensyn til de første Længdeforandringer og til de øvrige svage Bøininger — de eneste, der kunne taales — Smedejernets tilbagevirkende Styrke er den samme som dets absolute Styrke, og sætte vi $R = 6000000$ Kilogrammer, som vi have vist, at man med Sikkerhed kan gjøre, saa er Regningen let.

Summen af Momenterne af Legemets egen Vægt er som bekjendt $\frac{1}{2}pC^2$.

Summen af Momenterne af Belastningen, foraarsaget af Trainet, er $\frac{1}{2}p'C^2$, naar vi antage, at Toget indtager Broens hele Længde.

Momentet af Tagets Modstand mod Kompression i Forhold til Bunden er

$$RAb,$$

idet b kaldes Afstanden mellem Tagets og Bundens Midtlinier.

Man har da

$$\frac{1}{2}pC^2 + \frac{1}{2}p'C^2 = RAb.$$

Men nu lader Vægten af Legemet, hvis Tag og Bund maae have det samme Tværsnit, fordi man antager, at $R = R'$ og følgelig $A = A'$, idet man sætter de vertikale Sidevægge udaf Betragtning, sig udtrykke ved

$$2pC = 2.d.A.2C,$$

naar man ved $d = 7783$ Kilogrammer betegner Vægten af en Kubikmeter Smedejern (som for norsk Maal og Vægt, naar Længdedimensionerne udtrykkes i Tommer,

gjør $d = 0{,}279$ ℔ = Vægten af 1 norsk Kubiktomme Smedejern). Man har da

$$\tfrac{1}{2}pC^2 = dAC^2;$$

følgelig bliver ovenstaaende Udtryk

$$dAC^2 + \tfrac{1}{2}p'C^2 = RAb,$$

eller

$$A\left(\frac{Rb}{C} - dC\right) = \tfrac{1}{2}p'C;$$

hvoraf

$$A = \frac{p'C}{2\left(\frac{Rb}{C} - dC\right)}.$$

Naar altsaa Bærevidden 2C er given, og Høiden af Legemet samt dets Tykkelse i Taget og Bunden a priori er bestemt, ligesom Vægten $2p'C$ af Trainet eller den ensformig efter dets hele Længde fordelte Belastning, saa har man en første Værdie for Overfladen af det Tværsnit, som det er nødvendigt at give Taget og Bunden.

Anvender man f. Ex. denne Formel paa Conwaybroen og forudsætter, at den ydre Belastning pr. løbende Meter er $p' = 3330$ Kilogrammer, og at $b = 7^m{,}78 - 0^m{,}535 = 7^m{,}245$, $C = 61^m{,}00$ og $d = 7783$ Kilogrammer, saa finder man for Taget:

$$A = \frac{3330 \times 61}{2\left(6000000\frac{7{,}245}{61} - 7783 \times 61\right)} = 0{,}427 \square \text{ Meter}^*).$$

*) Vil man anvende Formlen for norsk Maal og Vægt, saa bliver:

$b = 7^m{,}245 = 277$ norske Tommer,

$C = 61^m{,}00 = 2332$ „ „ ,

$p' = 3330$ Kilogrammer pr. løbende Meter $= 174{,}4$ ℔ pr. løbende Tomme,

$d = 0{,}279$ ℔ pr. Kubiktomme,

$$A = \frac{174{,}4 \times 2332}{2\left(8220\frac{277}{2332} - 0{,}279 \times 2332\right)} = 624{,}2 \square \text{ Tommer}$$

$= 0{,}427 \square$ Meter, som oven. *G.*

Antog man ogsaa for Bunden den samme Overflade, saa erholdes for Totaloverfladen

$$A + A' = 0{,}854 \text{ Quadratmeter},$$

medens man i Conwaybroen har gjort

$$A = 0{,}43215 \square \text{ Meter}, \quad A' = 0{,}33346 \square \text{ Meter}$$

og følgelig

$$A + A' = 0{,}76561 \text{ Quadratmeter}.$$

Heraf sees, at under Antagelsen af lige Modstand af Taget og af Bunden og med Værdien $R = R' = 6000000$ Kilogrammer (8220 ℔ pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt) erholdes noget stærkere Dimensioner end de af Stephenson antagne. Men man maa ikke forglemme, at Belastningen 3330 Kilogrammer pr. løbende Meter er altfor stor, selv om deri indbefattes Bæreskinnerne og deres Sviller.

Grunder man derimod Regningen paa et Tog af Lokomotiver, som veie 30000 Kilogrammer, og hvoraf hvert indtager en Længde af 10 Metre paa Banen, hvilket vil give $p' = 3000$ Kilogrammer pr. løbende Meter, saa nærmer man sig efter vor Anskuelse langt mere den stærkeste tilfældige Belastning. Man vil da finde $A = 0{,}384$ Quadratmeter og følgelig

$$A + A' = 0{,}768 \text{ Quadratmeter},$$

hvilket næsten nøiagtig er det Forhold, som er antaget for Conwaybroen.

§ 268. *Samme Beregning under Forudsætning af, at Modstandene* R *og* R′ *ere ulige.* — Samme approximative Beregningsmethode lader sig ogsaa anvende for den af de engelske Ingenieurer antagne Hypothese, at Modstandene R og R′ mod Kompression og mod Extension ere ulige. I dette Tilfælde vilde Rørets Vægt $2pC$ udtrykkes ved

$$2pC = d(A + A')2C = dA2C\left(\frac{R+R'}{R'}\right)$$

paa Grund af Betingelsen for lige Modstand af Taget og af Bunden $RA = R'A'$; heraf følger

$$\tfrac{1}{2}pC^2 = \frac{dAC^2}{2} \cdot \frac{R+R'}{R'}.$$

Som Lighed mellem Momenterne af de ydre Kræfter og Rørets Modstande vilde man da have:

$$\frac{dAC^2}{2} \cdot \frac{R+R'}{R'} + \tfrac{1}{2}p'C^2 = RAb;$$

hvoraf $$A\left(\frac{Rb}{C} - \frac{dC}{2} \cdot \frac{R+R'}{R'}\right) = \tfrac{1}{2}p'C$$

og $$A = \frac{p'C}{2\left(\frac{Rb}{C} - \frac{dC}{2} \cdot \frac{R+R'}{R'}\right)}.$$

Antager man med Hodgkinson, at R forholder sig til R' som $\frac{4}{5}$, hvilket er meget nær det, som er bleven antaget ved Konstruktionen af Rørene, saa vilde man, naar man fremdeles sætter $p' = 3330$ Kilogrammer

og $R' = 8000000$ Kilogrammer, $R = 6400000$ Kilogrammer

($R' = 10960$ ℔, $R = 8768$ ℔ pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt), have:

$$A = \frac{3330 \times 61}{2\left(6400000 \times \frac{7{,}245}{61} - \frac{7783 \times 61}{2} \cdot \frac{14{,}4}{6{,}4}\right)} = 0{,}449 \text{ □}^{\text{Meter}},$$

og $A' = \frac{4}{5}A = 0{,}3592$ Quadratmeter,

medens den for Broen antagne Værdie er for

$A = 0{,}43215$ □ Meter og for $A' = 0{,}33346$ □ Meter.

Man seer, at denne simple Beregningsmethode for Overfladerne i Taget og i Bunden fører til Værdier, ved hvilke man kan forblive.

§ 269. *Bemærkninger og Følgeslutninger.* — Uagtet den næsten fuldkomne Overensstemmelse af de sidst beregnede Resultater med de Dimensioner, der ere antagne af de engelske Ingenieurer, som ere de første, der have bygget Rørbroer, og som vise, at de i Virkeligheden have givet R og R′ større Værdier end 6000000 Kilogrammer (8220 norske ℔), som vi antage som fælles Værdie for disse Størrelser, troe vi dog, at det saavel vil være klogt, som mere overensstemmende med hvad der foregaaer ved de første Bøiningsphænomener, at antage for R og R′ den samme Værdie og at gjøre

R = 6000000 Kilogrammer pr. Quadratmeter
(8220 ℔ pr. Quadrattomme norsk Maal og Vægt),

og til Bestemmelse af Overfladen af Tagets og Bundens Tværsnit at betjene os af Formlen i § 267.

§ 270. *Rörenes Konstruktionsdetailler.* — Nyheden af dette Slags Konstruktioner og den høiere Vigtighed, som de gode Forbindelser aabenbart maae have med Hensyn til Forsikkring om Varigheden af disse Bygninger, foranlediger os til at indgaae i nogle Detailler med Hensyn til Udførelsen: vi laane disse af Hr. Clark's Værk.

Den almindelige Form af Rørene i Retningen efter Længden nærmer sig Formen for Legemer af lige Modstandsevne. De isolerede Rør ere høiere i Midten end ved deres Ender; men naar to Rør ere forbundne med hinanden paa en og samme Mellempillar, som ved Britanniabroen, saa følger deraf, at den Del af et Rør, som bæres af Pillaren, kan betragtes som befæstet paa dette Sted, og at det ved Virkningen af de paa høire og venstre Side beliggende Dele lider en stærk Spænding, som nødvendiggjør dets Forstærkning. Paa den anden Side er den paa Pillaren liggende Ende af Rørene underkastet en paa dets Længde perpendikulær virkende Kraft, som er lig Halvparten af Totalbelastningen, og maa derfor

have et Tværsnit, som er tilstrækkeligt for dersteds at sikkre dets Modstandsevne og at bevare dets Form. Endelig maae de Klinknagler, som forbinde Siderne, og som fra Bunden overføre til Taget Virkningen af den Belastning, som trykker paa Pillarerne, være stærke nok og af tilstrækkeligt Antal for at kunne yde tilstrækkelig Modstand. Da nu ved Conwaybroen Totalbelastningen saavel af Rør som Train er 13841 Kilogrammer pr. løbende Meter, eller i det Hele 1688602 Kilogrammer, saa maa Enden være istand til at modstaae en Kraft af 844301 Kilogrammer, der søger at overskjære eller afrive alle Klinknagler i en vertikal Sidefuge.

Da vi af § 34 vide, at en Bolt eller Klinknagle modstaaer med sit Tværsnit næsten som om den blev trukket efter Længden, og idet vi fremdeles antage en Belastning af 6000000 Kilogrammer pr. Quadratmeter (8220 ℔ pr. Quadrattomme norsk Maal og Vægt), saa maa Totaltværsnitsfladen af alle Klinknagler af to tilsvarende Fuger i de vertikale Sidebeklædninger være

$$\frac{844301^{\text{Kil}}}{6000000} = 0{,}140717 \text{ Quadratmeter.}$$

Dersom man anvender Klinknagler af $0^{\text{m}},025$ Diameter, hvis Tværsnitsflade er

$$\frac{\overline{0{,}025}^2}{1{,}273} = 0{,}0490 \text{ Quadratmeter,}$$

saa udfordres der

$$\frac{0{,}1407}{0{,}049} = 290 \text{ Klinknagler;}$$

men man kan i dette Tilfælde dristigen tage R = 8000000 Kilogrammer (10960 ℔ pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt) og saaledes indskrænke Antallet af Klinknaglerne.

Britanniabroen bestaaer af to store Spændvidder, enhver med 150 Metres Bærevidde, og af to mindre Spændvidder med 60 til 70 Metres Bærevidde. De fire Dele, som danne ethvert Rør, ere saaledes forbundne med hverandre, at de danne et sammenhængende Legeme. Høiden af Rørene, som tiltager fra Enderne, eller fra Landpillerne indtil Midten, hvor de hvile paa Britanniaklippen, varierer paa følgende Maade:

Afstande fra Enden

$0^m,00$, $15^m,25$, $30^m,50$, $45^m,75$, Midte.

Ydre Høide af Røret

$7^m,01$, $7^m,68$, $8^m,30$, $8^m,90$, $9^m,12$.

Den mindste indvendige Høide i Lyset mellem Overkanten af Baneskinnerne og den nederste Del af Taget er $4^m,98$ for Lokomotivernes Gjennemgang; Totalhøiden af Taget, Bunden, Skinnerne og deres Sviller er i Enderne $2^m,03$.

Da Vægten af selve Røret er større end enhver Belastning, det nogensinde vil komme til at bære, saa har man forudseet, at det efter dets Opstilling vil antage en vis Bøining, og da Skinneveien saameget som muligt altid maav ære horizontal, saa har man ved Konstruktionen af Røret givet det en Krumning af $0^m,23$, hvilken næsten er forsvunden efter dets Oplægning.

Ved saadanne Bygninger maa man beregne den Bøining, som Legemet antager ved dets egen Vægt, efter Formlen i § 202 og i Overensstemmelse hermed fastsætte den Form, over hvilken man vil danne det, saaledes, at det erholder en tilsvarende Krumning. Forresten vil det være klogt at forøge denne Værdie lidt for derved at udjevne de uundgaaelige Anslutninger af Sammenføiningerne.

§ 271. *Rörets Bund.* — Denne Del dannes i Regelen af to Rækker Plader af Jernblik. I Britanniabroen ligge

disse Plader, der ere 3m,66 lange, i sex parallele Rækker og ere i de fire indvendige Rækker 0m,712, i de to ydre 0m,810 brede.

Pladerne ere lidt tykkere i Rørets Midte end i dets Ender, hvor de anstrænges mindre. Saaledes varierer ved Britanniabroen Tykkelsen gradvis fra 14,3 Millimetre til 9,5 Millimetre; denne sidste Tykkelse er den for Enderne af de smaae Rør, som naae Landpillerne.

Efter forskjellige Forsøg fandt man, at den bedste Forbindelsesmaade af Bundpladerne bestaaer i at lægge begge Rækker paa den Maade over hinanden, at Pladerne springe over hinanden om 0m,305 saaledes, at Fugerne bleve fjernede om den samme Størrelse. To Dækplader af 0m,915 Længde tjente til at forene Pladerne ved Hjælp af Klinknagler, anbragte i Rækker med 9 Stykker i hver, og som fra den ene Række til den anden stode i Dambretform. Herved blev Fugeliniernes Antal indskrænket til Minimum.

Endvidere bleve Fugerne af enhver Pladerække afvexlende anbragte om 1m,22 foran eller bag hinanden, hvorved det blev muligt at bibeholde et lige Mellemrum for de vertikale og transversale Celleplader. Deraf har fulgt, at Fugerne og Klinkningerne ligeligen ere blevne fordelte i en Afstand af 1m,28, ere i et mindre Antal og solidere end ved andre, forhen anvendte Forbindelsesmaader. Forresten har man draget Omsorg for at stille Klinkningerne overkors eller i Dambretform.

§ 272. *Fugedækning.* — Fugedækningerne i det Indre af Cellerne have den samme Bredde som Cellerne og ere krummede for at kunne ligge an mod Vinkeljernene. De ere befæstede med de samme Klinknagler. De ydre Fugedækninger eller Dækplader have en større Bredde end Pladerne, som de forene efter Længden. For at kunne forene dem med de anstødende Plader have de en saadan Bredde, at de kunne forenes med begge Flader af de indre Vinkeljern.

§ 273. *Cellernes Skillevægge.* — De dannes af flade Plader (Pl. IV, Fig. 21) med 0^m,535 Høide, som forbindes til Bunden med Vinkeljern. Pladerne have 3^m,66 Længde og ere forenede Ende mod Ende med Fugedækplader, Halvparten saa tykke som Pladerne. Disse Fugedækplader bøie sig over Vinkeljernene og ere forenede med de samme Klinknagler. Vinkeljernene efter Længden bestaae af enkelte Dele, som ere forbundne med hinanden ved smaae, Dækplader dannende Vinkeljern, saaledes at de ere fortløbende gjennem Rørets hele Længde.

§ 274. *Tværsviller (Carlingues).* — For at sætte Bunden istand til kraftigere at kunne modstaae den ved Trainets Tryk paa Skinnerne frembragte Bøining paatværs af Røret har man anvendt Tværsviller af Jernblik, saakaldte Carlingues; disse have 0^m,254 Høide og 0^m,0127 Tykkelse, ere forbundne med Bunden og Siderne ved Vinkeljern og ligge 1^m,83 fjernet fra hinanden.

§ 275. *Skinneveien.* — Paa disse Tværsviller hvile Langsvillerne af 0^m,355 og 0^m,178, som optage Skinnerne, der have samme Dannelse som de paa Great-Western-Banen. To paa Tværsvillerne befæstede Vinkeljern holde Langsvillerne, som Ende mod Ende sammenstøde derpaa, og ere ved Bolte forbundne med dem. Under disse Boltes Hoveder ligge Plader, som danne Rosetter.

§ 276. *Udvidelse.* — For at Skinnerne med Lethed kunne følge med hele Rørets Udvidelsesbevægelse ligge ved begge Ender kun to svagere Stødskinner, som ere uafhængige af hinanden, og hvis tyndgjorte Ender kunne forskyde sig forbi hinanden. Tillige drog man Omsorg for ikke at anbringe de to lignende Sammenstødninger lige over for hinanden.

§ 277. *Vertikale Sider.* — De dannes af flade Plader, som have 0^m,61 Bredde og forskjellige Længder, for at kunne afvexle Fugernes Beliggenhed. Disse Plader støde nøie med Enderne til hinanden, ere tilpassede med

megen Omhu og forbundne i horizontal Retning ved Fugedækplader, halv saa tykke som selve Pladerne. De vertikale Fuger ere overdækkede med ind- og udvendig anbragte T-Jern, og opfylde saaledes Tjenesten som Pillarer; de staae i Afstande af 0m,61 fra hinanden, forstærke Systemet betydeligt og give det Stivhed paa samme Tid, som de fordele Kræfterne.

§ 278. *Sidernes Forbindelse med Bunden og Taget.* — De indvendige T-Jern ere ombøiede paa Bunden og paa Siderne for at danne et Knæ, hvis to Been ere forbundne ved et trekantet Vinkelbaand; dette sidste bestaaer af to Plader, som ligge paa begge Sider af T-Ribben og ere klinkede til samme. En anden Plade af samme Tykkelse som T-Ribben er indskudt mellem Vinkelbaandene og forbunden med disse ved Klinknagler.

Disse triangulære Vinkelbaand bidrage meget til at befæste Tværsnittet, idet de forhindre, at Vinklerne forskyde sig. De ere af forskjellig Størrelse. De største have 1m,52 Høide med 0m,61 Basis; de middels 1m,22 Høide med 0m,53 Basis; de tredie 0m,915 og 0m,38, og endelig de mindste 0m,61 og 0m,38. Alle have 7,9 Millimetres Tykkelse.

Forbindelsen af Siderne med Bunden og med Taget befinder sig saaledes forsikkret: 1. ved de indre T-Jerns Knæer, forstærkede ved Vinkelbaandene; 2. ved de indre og de ydre Vinkeljern, anbragte udenpaa Bunden og Taget; 3. ved de indre og ydre Vinkeljern, anbragte indenfor Bunden og Taget.

§ 279. *Rörenes Tag.* — Dette Tag fremstiller et cellulært Tværsnit med 8 Fag paa 0m,53. Tagets Over- og Underdel dannes ligesom Bunden af to Pladetykkelser, som ere forbundne ved ni vertikale Skillevægge og ved Dækplader og Vinkeljern. Det er vigtigt, at Pladernes Ender berøre hinanden saa nøie som muligt, saasom de gjensidig maae understøtte hinanden i denne for Kompression udsatte Del.

De efter Længden løbende Fuger ere forenede ved Fugedækningsplader af $0^m,23$ Bredde.

Da Rørets Tag over Mellempillarerne som Følge af Rørets Bøining lider en stor Spænding eller Strækning, saa har man draget Omsorg for at forøge Klinknaglernes Antal og ved Dækplader af $0^m,53$ Bredde at forstærke denne Del af Taget.

Denne Forsigtighedsforanstaltning er bleven anvendt i en Længde af $27^m,50$ paa hver Side af Pillarerne.

I lige Afstande af $3^m,66$ er Taget ogsaa forstærket ved lignende Tværbjælker eller Carlinguer som Bundens og forbundne paa samme Maade.

Vægten af et af Rørene i Britanniabroen er følgende:

	Vægt.	Tværsnittets Fladeindhold.	Klinknaglernes Antal.
	Kilogrammer	□ Meter	
Taget	1500000	0,4150	310390
Siderne . . .	1750000	0,1940	535650
Bunden . . .	1490000	0,3780	249010
	4740000	0,9870	1095050

Til de to Rørlinier, hvoraf Broen bestaaer, er der anvendt 425000 Kubikmetre Muurværk, 9480000 Kilogrammer Smedejern og 2000000 Kilogrammer Støbejern.

Disse ere de Detailler, som vi her kunne give om dette beundringsværdige og kjæmpemæssige Bygværk, hvilket yder den største Hæder til Hr. Stephenson's dristige Genie, som har undfanget det, og til den duelige Ingenieur Hr. Fairbairn's Talent, som ved sine foreløbige Forsøg har bestemt dets Form og dets hovedsageligste Dimensioner.

§ 280. *Forsög over den transversale Modstandsevne hos en Bjælke af Jernplader.* — Følgende Forsøg, udført i en stor Maalestok, skyldes Hr. Brunel junior, berømt engelsk Ingenieur.

Til dette Forsøg blev der forfærdiget en Bjælke af Jernplader, hvoraf Figurerne 1 og 2 (Pl. V) angive Anordningen; Bærevidden mellem Underlagene var 66 Fod = 20m,13; Høiden i Midten 10 Fod = 3m,05 og 6 Fod = 1m,830 i Enderne.

I den øvre Flade havde Pladen en svag Krumning for at kunne modsætte Kompressionen en større Modstand. Overfladen af ethvert af de triangulære Tværsnit, hvilke dannede ligesom Ribber for Bjælkens Tag og Bund, var 25 □ Tommer = 0,016125 Quadratmeter. Den midlere vertikale Del mellem Taget og Bunden var dannet af en enkelt Jernplade af $\frac{1}{4}$ Tommes = 0m,0063 Tykkelse. Alene hver tredie Plade af denne Væg gik gjennem Bjælkens hele Høide saaledes, at denne Del forøvrigt kun havde en Høide af 7 Fod = 2m,135.

Denne tynde Del af Tværsnittet var forstærket ved to Plader af $\frac{1}{4}$ Tommes Tykkelse, som dannede Ribber; disse laae i en Afstand af 15 Fod = 4m,575 mod Bjælkens Midte og havde samme Tykkelse som Pladerne i Taget og Bunden. To lignende Ribber befandt sig ogsaa ved Enderne. De vertikale Plader vare sammenføiede ved Overdækning, de horizontale Bundplader vare forbundne ved Overdækningsstrimler, forsynede med to Rækker i Zig-zag staaende Klinknagler af $\frac{3}{4}$ Tommes eller 0m,019 Diameter.

Resultaterne af Forsøgene ere angivne i efterfølgende Tabel.

Bjælkens Vægt, beregnet efter dens Dimensioner, var omtrent 7500 Kilogrammer, hvoraf de $\frac{5}{8}$, eller 4687 Kilogrammer maae føies til Værdien af Belastningen ved Iagttagelsen af Bøiningerne.

Det er sandsynligt, at, dersom Klinkningerne havde været bedre udførte, vilde denne Bjælke have baaret en langt større Belastning.

Den graphiske Fremstilling af disse Resultater, hvori

Belastningerne ere udtrykte ved Abscisserne og Bøiningerne ved Ordinaterne, viser, at indtil en Belastning af 101565 Kilogrammer, ikke indberegnet Legemets egen Vægt, forbleve Bøiningerne proportionale med Belastningerne, det er, saalænge de ikke have overskredet $0^m,0159$ eller $\frac{1}{1266}$ af Bærevidden.

Fig. 4 (Pl. V) er en Reduktion af den efter Dataerne i følgende Tabel i langt større Maalestok udførte Tegning.

Belastninger. $2p'C'$.	Bøininger.	Bemærkninger.
Kilogrammer	Meter	
10156	0,0008	
20313	0,0032	
30469	0,0040	
40626	0,0047	
50782	0,0079	Hertil var Bjælken kun belastet paa den ene Side.
60939	0,0087	
71095	0,0111	
81252	0,0119	
91408	0,0127	
101565	0,0159	Lige Belastning paa begge Sider.
111721	0,0191	
121878	0,0206	De vertikale Plader begyndte at böie sig fra Tredieparten af Bjælkens Længde efterhaanden henimod dens Midte.
132034	0,0222	
142191	0,0270	
152347	0,0286	
162503	0,0317	
172660	„	Ved denne Last sönderreves en Fuge i Bunden og Taget stuvede sig; ellers var ikke nogen Del af Bjælken beskadiget.
182817	„	
190942	„	

§ 281. *Angivelser for Beregningen af Elasticitetskoefficienten.* — Overfladen af enhver af de triangulære Dele af Bunden og Taget er A = 25 □ Tommer = 0,0161 Quadratmeter. Betragter man den som forenet i Trianglens Tyngdepunkt, hvilket er tilstrækkelig nøiagtigt paa Grund af Bjælkens store Høide, saa er Inertiemomentet af Taget og Bunden med Hensyn til den neutrale Axe, som her gaaer gjennem Midten af Totalhøiden, for enhver af dem

$$A \times \overline{1,372}^2 = 0,03031,$$

og for begge Dele er

$$I = 0{,}06062.$$

Tykkelsen af den vertikale Del er $a = 0^m{,}0063$;
dens Høide mellem Trianglerne $b = 2^m{,}135$;
dens Inertiemoment er altsaa

$$\tfrac{1}{12}ab^3 = \tfrac{1}{12} \times 0{,}0063 \times \overline{2{,}135}^3 = 0{,}005109,$$

hvilket viser, at Inertiemomentet af denne Del beløber sig kun til omtrent Tolvteparten af Tagets og Bundens Inertiemoment tilsammentagne, og at man følgelig ved Beregningen af Forslag kan sætte dette ud af Betragtning, saasom denne alligevel giver et større endeligt Resultat af Modstandsevne end den, hvorpaa man regner.

Ikkedestomindre ville vi imidlertid for Overveielsen af Resultaterne bibeholde Totalværdien af Inertiemomentet, hvilken er

$$I = 0{,}06062 + 0{,}005109 = 0{,}065729.$$

Afstanden v' af den længst fjernede Fiber fra den neutrale Axe er $v' = 1^m{,}525$. Man har altsaa

$$\frac{I}{v'} = \frac{0{,}065729}{1{,}525} = 0{,}0431.$$

§ 282. *Særegen Maade for Legemernes Belastning, og Regel, hvorefter man bringer den i Regning.* — Saaledes som Figuren angiver, var Belastningen anbragt paa Bjælken ved Hjælp af Træbjælker, oplagte med deres ene Ende paa Vinkeljern, der vare klinkede til Jernbjælken, og med deres anden Ende paa en fra den forsøgendes Bjælke uafhængig Platform.

Kalde vi ved saadan Anordning (Pl. V, Fig. 3)

C_1 Bærevidden af Hjælpebjælkerne;

C_1' Længden af disse Bjælker, paa hvilken Lasten er fordelt ensformigt, at regne fra det Legeme, som skal undersøges, og i Forhold af p_1 Kilogrammer pr. Meter,

saa er det let at see, at Momentet af Belastningen $p_1 x$ paa et Element, hvis Længde er x, beliggende i Afstanden X fra Bjælkernes Støttepunkt, er lig $p_1 X x$, og at Summen af alle disse Momenter er $\frac{1}{2} p_1 X^2$, som maa anbringes i hele Udstrækningen af Bærevidden C_1', hvilket aabenbart giver som Totalsum af alle disse Momenter:

$$\tfrac{1}{2} p_1 [C_1^2 - (C_1 - C_1')^2] = \tfrac{1}{2} p_1 (2 C_1 C_1' - C_1'^2).$$

Kalder man nu P_1 den Belastning, som er paalagt det forsøgendes Legeme ved den antagne Belastningsindretning, saa er

$$P_1 C_1 = \tfrac{1}{2} p_1 (2 C_1 C_1' - C_1'^2),$$

hvoraf

$$P_1 = \frac{\tfrac{1}{2} p_1 (2 C_1 C_1' - C_1'^2)}{C_1}.$$

Heraf sees tydeligt, at i de Tilfælde, hvor Længden C_1 af Hjælpebjælken er meget stor i Forhold til den af denne Bjælkes Belastning indtagne Længde C_1', vil $C_1'^2$ kunne sættes ud af Betragtning ligeoverfor $2 C_1 C_1'$, og Værdien af P_1 reducerer sig da til

$$P_1 = p_1 C_1',$$

ligesom om den var anbragt umiddelbart paa det Legeme, der skulde undersøges. Er f. Ex. $C_1' = 0{,}05 C_1$, saa giver den saaledes simplificerede Formel $P_1 = 0{,}05 p_1 C_1$, medens man, naar det andet Led medtages i Regningen, finder

$$P_1 = \frac{\tfrac{1}{2} p_1 [2 C_1 \times 0{,}05 C_1 - (0{,}05 C_1)^2]}{C_1} = \tfrac{1}{2} p_1 C_1 (0{,}10 - 0{,}0025)$$
$$= \tfrac{1}{2} p_1 C_1 (0{,}0975) = 0{,}04875 p_1 C_1.$$

Ved de af Clark meddelte Forsøg er Værdien af C_1, eller Hjælpebjælkens Bærevidde ikke angiven, ligesaalidt som Værdien af C_1'; men ved at tage dem efter Tegningens Maalestok, hvilket ikke kan medføre nogen mærkelig Feil, finder man:

$C_1 = 11$ Fod 6 Tommer $= 3^m,50$ og $C_1' = 0^m,915$.

Anvender man ovenstaaende Formel paa Totalbelastningen 101565 Kilogrammer, udenfor hvilken Bøiningerne have ophørt at være proportionale med Belastningerne, saa er

$$p_1 C_1' = 101565 \text{ Kilogrammer},$$

hvoraf $$p_1 = \frac{101565}{0,915} = 111000^{Kil},$$

og Formlen giver for Belastningen P_1, som, virkende i Enden af Bjælkerne, vilde udøve den samme Kraft paa det under Forsøg havende Legeme:

$$P_1 = \frac{\frac{1}{2} \cdot 111000(7,00 \times 0,915 - \overline{0,915^2})}{3,50} = 88290^{Kil},$$

eller omtrent 0,870 af Belastningen, fordelt paa Længden $C_1' = 0^m,915$ af Hjælpebjælkerne paa begge Sider af Legemet. Men denne Belastning P_1, istedetfor at trykke i Midten af Legemet, var derimod ensformig fordelt paa det i en Længde af $2C' = 3^m,830$, hvilket tilsvarer en Belastning pr. løbende Meter, lig med

$$p' = \frac{88290}{3,83} = 23052,22^{Kil}.$$

Legemets egen Vægt er omtrent $2pC = 7500$ Kilogrammer.

Man har $2C = 20^m,13$, $I = 0,065729$.

Forsøget har for denne Belastning givet Bøiningen $f = 0^m,0159$. Ved Formlen i § 259 udleder man da

$$E = \frac{\frac{5}{24} C^3 (pC + p'C) - \frac{1}{4} p'(C - C')^2 C^2}{fI} = 10815000000^{Kil},$$

en Værdie, som er temmelig overensstemmende med den, som man i § 249 har udledet af Fairbairn's Forsøg med valtset Smedejern af dobbelt T-Form.

Belastningen 101565 Kilogrammer, for hvilken vi have gjort Anvendelse af Formlen, er den, udenfor hvilken — ifølge den graphiske Fremstilling — Bøiningerne synes at ophøre at være proportionale med Belastningerne. Bøiningen beløb sig da til $f = 0{,}0159$ = eller $\frac{1}{126}$ af Bærevidden.

§ 283. *Ligevægtsforhold.* — Af den hidtil fulgte Bevisførelse er det forresten let at see, at Bjælkens Tryk paa ethvert af Underlagene er $pC + p'C'$, hvis Moment med Hensyn til Midten er $pC^2 + p'CC'$; videre, at Summen af Momenterne af Lasten $p'C'$, fordelt paa Længden $2C'$, og Momentet af Legemets egen Vægt $2pC$ med Hensyn til det samme Tværsnit, er $\frac{1}{2}p'C'^2 + \frac{1}{2}pC^2$; denne Værdie virker forresten i modsat Retning af de to første. Man har altsaa

$$\frac{RI}{v'} = pC^2 + p'CC' - \tfrac{1}{2}p'C'^2 - \tfrac{1}{2}pC^2,$$

eller

$$\frac{RI}{v'} = \tfrac{1}{2}pC^2 + p'C'(C - \tfrac{1}{2}C'),$$

hvoraf

$$R = \frac{[\frac{1}{2}pC^2 + p'C'(C - \frac{1}{2}C')]v'}{I}$$

og

$$v' = 1^m{,}525.$$

Anvender man denne Formel paa Totalbelastningen 101565 Kilogrammer, som ved sin Fordelingsmaade, saaledes som seet (§ 282), indskrænker sig til 88290 Kilogrammer paa Længden $2C' = 3^m{,}83$, og erindrer sig, at $2pC = 7500$ Kilogrammer, saa finder man

$$R = 9765800 \text{ Kilogrammer},$$

medens vi i vore Formler alene sætte

$$R = 6000000 \text{ Kilogrammer},$$

hvilket giver os en langt mindre Belastning end den, under hvilken Elasticiteten vilde begynde at forandre sig.

Vilde man anvende den samme Formel paa Belastningen, som frembragte Brud, og som var $2p'C' = 190942$ Kilogrammer, saa skulde man finde en Værdie for Brudkoefficienten R, der er mindre end 32000000 Kilogrammer, som man almindeligvis erholder for Jernplader; men dette forklares deraf, at Bruddet fandt Sted paa et Punkt, hvor Klinkningen var slet udført.

§ 284. *Nytten af de vertikale og horizontale Vinkeljern for de vertikale Sidevægge.* — Den Bjælke, som vi just have undersøgt, havde kun to vertikale Vinkeljern i Midten og to andre ved Enderne, og det viste sig, at Pladerne, som dannede Midtvæggen, bøiede sig med langt mindre Belastninger end de, som frembragte Brud.

Som Følge af lignende Virkninger, iagttagne ved Forsøgene med Rørbroerne, er man bleven ført til ved disse Broer at anbringe vertikale Vinkeljern i $0^m,65$ Afstande fra hinanden. Maaske det selv vilde være klogt at anvende nogle horizontale Vinkeljern for at give de vertikale Sider mere Stivhed. Vi ville forøvrigt tilføie, at Tykkelsen af $0^m,0063$ synes at være lidt for svag til Bjælkens Legeme, henseet til, at denne Del, af hvilken Forbindelsen og den samtidige Modstand af Taget og Bunden er afhængig, maa være stærk nok til ikke at forandre Form.

§ 285. *Bemærkning.* — Man vil bemærke, at, naar efter den i England antagne Vurdering (§ 267) et Train af Waggons veier 3330 Kilogrammer pr. løbende Meter, skulde denne Bjælke af Plader ved at belastes med Sjetteparten af Brudbelastningen med Sikkerhed kunne bære

$$\frac{190942}{6} = 31824^{Kil} \text{ eller } \frac{31824}{20,13} = 1581^{Kil} \text{ pr. løbende Meter.}$$

To saadanne Bjælker, anbragte paa den høire og venstre Side af Broen, forbundne i visse Afstande ved nedentil anbragte Tværbjælker og forstærkede mod Sidetryk ved

brede Vinkeljern, vilde frembyde et saavel elegant som ekonomisk Middel til Konstruktionen af Jernbanebroer.

GULVE AF JERN.

§ 286. *Gulve af Jern.* — Nutildags anvender man meget Gulve af Jern af en meget simpel og let Konstruktion, hvis Pris ikke er mærkelig større end de af Træ, fordi man undgaaer Forskalinger af Træ under Lofterne.

Disse Gulve ere sammensatte af Stænger af fladt Stangjern, oplagte paa den smale Kant, og naae omtrent $0^m,30$ ind i Murene; de danne Hovedbjælkerne, som sædvanligen ligge $0^m,75$ fra hinanden. Over disse Bjælker (Pl. V, Fig. 9 og 10) lægger man Tværstænger af Jern, der almindelig holde 16 Millimetre i Firkant, som med Hager gribe over Bjælkerne og have omtrent $0^m,75$ Mellemrum, saaledes at deres Underkant næsten ligger i Flade med Underkanten af Hovedbjælkerne. Over disse Tværstænger lægges smaae firkantede Jern, $0^m,011$ i Firkant, hvilke løbe parallelt med Hovedbjælkerne, ere indmurede med Enderne, hvori der er anbragt Hager, samt ligge $0^m,25$ fra hinanden.

Paa denne Jernafbinding kommer et Muurværk, bestaaende af Gipsstykker og Gips, eller endnu bedre, af Potter og Gips eller Mørtel, som forbinder det hele System, paa hvilket man lægger almindeligt Gulv.

Da den undre Flade umiddelbart kan modtage Loftpudsen, saa sparer man Forskalingen*).

De brugelige Dimensioner ere følgende:

*) En udførlig Fremstilling af saadanne Gulve finder man i Professor Förster's „Allgemeine Bauzeitung" 19ten Jahrganges, Pl. 632, Side 142 ff.

G.

Gulvets Bærevidde. 2C.	Afstand mellem Bjælkerne.	Jerndelenes Dimensioner.				Jernets Vægt pr. Quadratmeter i Lyset.	Jernets Priis pr. Quadratmeter Gulv.
		Bjælker		Tværstænger.	Smaae Jern.		
		Længde.	Tværsnit.				
Meter	Meter	Meter	Millimeter	Millimeter	Millimeter	Kilogr.	Francs
7	0,75	7,60	190 og 9	16 og 16	11 og 11	21,00	13,25
6	0,75	6,60	165 „ 9	16 „ 16	11 „ 11	19,95	12,25
5	0,75	5,60	135 „ 9	16 „ 16	11 „ 11	18,08	11,00

Dersom man ifølge disse Dimensioner anvender Formlen i § 162

$$ab^2 = \frac{pC^2}{2000000} \quad (ab^2 = \frac{pC^2}{2740} \text{ for norsk Maal og Vægt})$$

med Hensyn til Stænger af Smedejern, der ere underkastede Virkningen af en ensformig fordelt Belastning, saa finder man, at Lasten p, som man kan lade saadanne Gulve bære paa en permanent Maade, vil være for Stængerne af:

7 Metres Bærevidde . . . . $p = 53{,}04$ Kilogrammer
6 „ „ . . . . $p = 54{,}40$ „
5 „ „ . . . . $p = 52{,}41$ „
Middeltal . . $p = 53{,}28$ Kilogrammer.

Men da disse Bjælker ligge $0^m{,}75$ fra hinanden, saa gjør dette en Belastning af $\frac{53{,}28}{0{,}75} = 71$ Kilogrammer, eller omtrent een Person pr. Quadratmeter, hvilket allerede overskrider de Belastninger, som fremkomme af almindelige Forsamlinger, og viser, at disse Dimensioner ere tilstrækkelige for sædvanlige Belastninger, især naar det tages i Betragtning, at Forbindelsen mellem alle Dele formedelst Muurudfyldningen meget forøger det hele Systems Stivhed.

Beregner man ved den samme Formel den Belastning pr. løbende Meter, som kan bæres paa en permanent Maade af Tværstængerne, ved hvilke $2C = 0^m{,}75$, $a = b = 0^m{,}016$, saa finder man

$$p = \frac{b^3 \times 2000000}{C^2} = 58{,}25 \text{ Kilogrammer,}$$

hvilket ligeledes svarer til een Person paa Quadratmetren.

Ligeledes erholdes for de smaae Udfyldningsjern, for hvilke $2C = 0^m{,}75$, $a = b = 0^m{,}011$:

$$p = \frac{b^3 \times 2000000}{C^2} = 18{,}93 \text{ Kilogrammer,}$$

og da der er to saadanne Udfyldningsjern mellem hver to Bjælker, hvorved der tilligemed selve Bjælken opstaaer tre Mellemrum af $0^m{,}25$ Bredde, saa seer man, at den Belastning, som er funden for ethvert af disse Jern, er omtrent Tredieparten af den Belastning, 53,28 Kilogrammer, som er fordelt paa et Mellemrum af $0^m{,}75$ Bredde.

Alle Dele af dette Gulv ere saaledes godt proportionerede for en permanent Normalbelastning af 70 Kilogrammer, eller for een Person paa Quadratmetren.

§ 287. *Forsög med Gulve af Jern.* — Forsøg, ved hvilke Belastningerne bleve meget overdrevne, have vist, at disse Gulve kunne uden Fare udholde langt betydeligere Paavirkninger. Et Gulv med 7 Metres Bærevidde, proportioneret saaledes, som ovenfor er angivet, blev, efterat det var udmuret, belastet med 500 Kilogrammer pr. Quadratmeter. Dets Krumningspil over Horizontalen var efter Anbringelsen af Jernmaterialet $0^m{,}070$; efter Udmuringen aftog den til $0^m{,}040$. Under Belastningen af 500 Kilogrammer pr. □ Meter bøiede dette Gulv sig $0^m{,}030$ under Horizontalen, eller i det Hele $0^m{,}070$; efterat Lasten havde virket i 48 Timer, sank det endnu $0^m{,}050$. Totalbøiningen beløb sig altsaa til $0^m{,}120$.

Ved at borttage Belastningen hævede Gulvet sig $0^m{,}050$; men ved ogsaa at fjerne Udmuringen have Stængerne igjen indtaget en Pil af $0^m{,}060$ over Horizontalen, hvilket viser, at Jernets Elasticitet kun lidet havde forandret sig, og at en stor Del af den permanente Bøining var frembragt og vedligeholdt af selve Udmuringen.

Den denne Prøve tilsvarende Belastning pr. løbende Meter af Bjælken var $500 \times 0{,}75 = 375$ Kilogrammer, eller omtrent 7 Gange saa stor som den ovenfor fundne normale Værdie.

Det maa bemærkes, at Gulvet i et Værelse næsten aldrig vil blive udsat for at bære meer end fire Personer eller 280 Kilogrammer pr. Quadratmeter, hvilket paa Grund af Bjælkernes Afstand $0^m{,}75$ bliver 210 Kilogrammer pr. løbende Meter, eller omtrent fire Gange den ovenfor efter Formlen fundne Normalbelastning.

2den Pröve. — Et Gulv med $6^m{,}00$ Bærevidde blev underkastet følgende Prøve:

Efterat Bjælkerne vare lagte paa deres Plads, opbyggede man paa to af dem en Muur af Brudsteen, understøttet af Plankestykker, saaledes at Murens Vægt blev ligelig fordelt paa dem begge og udøvede paa enhver af dem et Tryk af 2076 Kilogrammer, eller 346 Kilogrammer pr. løbende Meter.

Under denne Belastning have Bjælkerne, som i Begyndelsen havde en Krumning af $0^m{,}070$ over Horizontalen, kun bibeholdt $0^m{,}025$ deraf; men efter Aflastningen steg Krumningen igjen til $0^m{,}065$. Bjælkerne havde altsaa ikke tabt meer end 5 Millimetre af deres Krumning under en Belastning, som var næsten syv Gange saa stor som den ved den praktiske Formel bestemte normale Belastning.

3die Pröve. — Et Gulv af $5^m{,}00$ Bærevidde blev forfærdiget med de samme Forholde af Afstand mellem Underlagene. Bjælkerne havde følgende Dimensioner: $b = 0^m{,}135$, $a = 0^m{,}009$. Gulvet blev belastet med 500 Kilogrammer pr. Quadratmeter, eller 375 Kilogrammer pr. løbende Meter af Bjælken, eller omtrent syv Gange Normalbelastningen.

Bjælkernes Krumning, som i Begyndelsen var $0^m{,}050$, og som ved Udmuringen beløb sig til $0^m{,}045$, sank først til $0^m{,}030$; efter 48 Timers Forløb naaede den $0^m{,}025$ over

Horizontalen. Efterat Gulvet var bleven aflastet, gjentog det Krumningen $0^m,040$ over Horizontalen; følgelig har det saaledes kun tabt 5 Millimetre af dets Krumning ved denne store Overbelastning.

Disse Forsøg, hvorved Belastningerne have overskredet det Dobbelte af de største Belastninger, som tilfældigvis kunne fordeles paa Gulve, vise altsaa, at denne Konstruktionsmaade har al nødvendig Varighed og Stivhed.

§ 288. *Bemærkninger over Bjælkernes Oplægnings- og Forbindelsesmaade.* — Den til Udfyldning af Mellemrum i Bjælkelagets Jerndele anvendte Konstruktionsmaade frembringer, som man ovenfor har seet, en Bøining af Bjælkerne, som ikke ene kan tilskrives Vægten af Materialierne. Ved den Udmuringen givne trugdannede Form kunne de horizontale Komponenter af Udvidelseskræfterne, som udvikle sig under Gipsens Tørring, og som virke fra Siden, ophæve hinanden; men de vertikale Komponenter træde derimod til og frembringe den angivne Synkning. Det er rimeligt, at en bedre Methode eller en anden Form af Udmuringen vilde ophæve denne dens Virkning.

Paa den anden Side kan man betydelig forøge Bjælkernes Stivhed derved, at de virkelig blive befæstede og indmurede, istedetfor at de ved de foregaaende Prøver kun laae i et simpelt Muurværk af Brudsteen med slet og ufuldstændig Forbindelse. Bjælkeenderne burde for største Delen ligge paa en huggen Steen, hvori der dannes et Leie for dem, og derpaa igjen overdækkes med en anden saadan Steen, der var tildannet paa samme Maade, saaledes at Murens Tryk vilde virke saa stærkt paa Bjælkerne, at de virkelig kunde ansees som fuldstændig befæstede. Det vilde være endnu bedre at anbringe en Jernplade over og under Bjælkeenderne, især dersom der til Muurværket anvendes blød eller svag Steen.

§ 289. *Modifikationer i Bjælkernes Form.* — Den for Bjælkerne antagne almindelige Stangjernsform er vistnok

den simpleste og mest ekonomiske. Den frembyder endvidere den Fordel at være den almindelige i Handelen, og som saaledes overalt kan forefindes. Imidlertid synes det at være hensigtsmæssigt at give Bjælkerne Dannelsen af et omvendt T (Pl. V, Fig. 11), som, trukket gjennem et Valtseværk, kunde erholde den øvre Del af Ribben, ligesom dennes Sammenstød med den nedre flade Del, afrundet. Herved blev det muligt at give Tværjernene en lignende Dannelse, hvorved disse vilde erholde afrundede Vinkler og mindre være udsatte for Feil i Bøiningerne; ogsaa kunde de lettere forfærdiges ved Anvendelse af Stempler og ved Aftrykning i Former, saadanne som de bruges i Artillerieværkstederne. Fabrikationen vilde saaledes blive mere ekonomisk og Produktet bedre.

§ 290. *Anvendelse af dobbelte* T-*Jern for Gulve.* — For Nærværende betjener man sig hyppigt af Bjælker af Støbejern eller af Smedejern med dobbelt T-Form til Gulve i Beboelsesbygninger og fornemmelig i Magasiner, som man vil gjøre brandsikkre.

Man beregner Dimensionerne af disse Bjælker efter Formlerne i §§ 144 og 245, idet man deri indfører som Belastning pr. løbende Meter af Bjælkens Længde den, som udledes af Hypothesen om en sædvanlig Belastning af een Person eller 70 Kilogrammer pr. Quadratmeter ifølge Fordelingen af denne Belastning mellem Bjælkerne. De ved Formlerne erholdende Dimensioner ville være tilstrækkelige for langt betydeligere tilfældige Belastninger.

INDFLYDELSE AF LASTENS BEVÆGELSE.

§ 291. *Indflydelse af Lastens Bevægelse paa Legemernes Böining.* — Ved vore hidtil anstillede Betragtninger have vi forudsat, at Belastningen ligger ubevægelig paa et og samme Punkt; men for Broernes Standhaftighed og

især for dem, over hvilke Jernbanetog fare med stor Hastighed, er det ikke uden Interesse at undersøge, hvorvidt en Transports Hastighed kan have Indflydelse paa Bøiningerne.

Man indseer lettelig, at, naar en Vogn eller simpelthen en Sylinder ruller over Bjælker, som bøie sig under Lasten, saa udvikler Krumningen af den af Legemet gjennemløbne Vei en Centrifugalkraft, hvis normale Virkning paa Krumningen i Forening med Belastningens Vægt forøger Bøiningen og kan endog frembringe Brud.

Man erindre sig, at Centrifugalkraften udtrykkes ved

$$\frac{mV^2}{r} = \frac{P}{g} \cdot \frac{V^2}{r},$$

en Formel, i hvilken

m er Massen af Legemet i Bevægelse,
V dets Hastighed i Kurvens Retning, og
r Kurvens Krumningsradius*).

Ved den samme Belastning voxer altsaa Virkningen af denne Kraft, eller den af samme frembragte Tilvæxt af Trykket, som Quadratet af Hastigheden og omvendt som Krumningsradien, d. v. s. den er om saameget større, som Bøiningen selv er betydeligere.

Men paa den anden Side seer man ogsaa, at, dersom de Legemet givne Proportioner ere saadanne, at den Krumningspil, som vilde frembringes af Lasten i Hvile, nødvendigvis maa være meget liden, saa kan Virkningen af Centrifugalkraften ikke opnaa nogen stor Intensitet, og at man da ved de for Hastigheden af Jernbanetogene

*) Forfatteren har ikke nævnt Betegnelsen g, hvilken her maa være den Hastighed, som Tyngden meddeler faldende Legemer ved Enden af det første Secund, eller $g = 9^m,8088 = 31,2528$ Fod norsk Maal. *G.*

sædvanlig fastsatte Grændser kan sætte den ud af Betragtning.

§ 292. *Forsög, udförte i Portsmouth.* — Talrige og interessante Forsøg ere i denne Henseende blevne udførte af DHrr. Henry James, Kapitain, og Douglas Galton, Lieutenant i den kongelige engelske Marine, paa Værftet i Portsmouth.

Stænger af Støbejern med $2^m,745$ Bærevidde bleve opstillede paa saadan Maade, at de udgjorde en Del af en liden horizontal Jernbane; de stødte med deres Ender ved Hjælp af passende Foreningskurver til heldende Planer, paa hvilke en til sig selv overladt Vogn kunde opnaa en betydelig Hastighed.

Sindrige Apparater, forsynede med Grifler, angave under Farten paa en jevn Flade de Bøininger, som Stængerne antoge, og herved var det muligt at sammenligne de Bøininger, som fandt Sted under Bevægelsen, med de Krumningspile, som erholdtes, medens Vognen var i Hvile og anbragt i Midten af Stængerne.

Disse Forsøg bleve gjentagne med Stænger af Støbejern, som alle havde den samme Bærevidde $2C = 2^m,745$, men forskjellige Tværsnit. De givne Dimensioner saavelsom Resultaterne ere indtagne i Tabellen i § 293, hvor man finder Bøiningerne for de forskjellige Belastninger saavel under Hviletilstand som under Bevægelse med forskjellige Hastigheder, samt Forholdet mellem disse Bøininger.

Undersøgelsen af disse Tabeller viser ogsaa, at Maximumsbøiningerne virkelig voxe med Bevægelsens Hastighed, og desforuden seer man, at Bruddet har fundet Sted under svagere og svagere Belastninger, alt eftersom Hastigheden blev større.

Iagttagelsen har endvidere godtgjort, at Bruddet ialmindelighed finder Sted i Punkter, beliggende udenfor Midten af Stangens Længde, og at det oftere paafulgte samtidig paa flere Steder.

Indflydelsen af Hastigheden er saaledes klart paavist ved disse Forsøg, og Virkningen af Centrifugalkraften er i saa Henseende ubestridelig; men da der altid udfordres en vis Tid, for at Bøiningerne kunne opstaae, og da den heraf afhængige Kraft udvikler sig under Farten, saa hender det, at Virkningen eller Bøiningerne aftage udenfor visse Grændser af Hastighed, istedetfor at forøges. Dette sees af følgende Forsøg med Stænger af Staal og af Smedejern.

Forsøg med 2 Stænger af Staal med $0^m,685$ Længde, $0^m,0508$ Bredde og $0^m,0063$ Tykkelse.

Hastighed i 1 Secund . . .	Meter „	Meter 4,57	Meter 7,00	Meter 8,83	Meter 10,35	Meter 13,40
Bøining i Midten	Millim. 17,8	Millim. 25,9	Millim. 33,6	Millim. 36,8	Millim. 33,00	Millim. 26,20

Forsøg med 2 Stænger af Smedejern med $2^m,745$ Længde, $0^m,0254$ Bredde og $0^m,0762$ Tykkelse, belastede med 805 Kilogrammer.

Hastighed i 1 Secund . . .	Meter „	Meter 4,57	Meter 8,83	Meter 11,00	Meter 13,20	Meter „
Bøining i Midten	Millim. 7,36	Millim. 9,90	Millim. 12,70	Millim. 15,75	Millim. 10,90	Millim. „

Disse Forsøg have givet Professor Willis Anledning til meget interessante theoretiske Undersøgelser. Men denne lærde Geometers Beregninger ere for indviklede, til at man kunde betjene sig af dem i almindelige Tilfælde, og vi ville derfor søge at behandle Forsøgenes Resultater efter en simplere og for Praxis tilstrækkelig nøiagtig Methode.

Med Hensyn til Praxis ville vi først bemærke, at en Del af disse Forsøg have begyndt med Belastninger og følgelig med Bøininger, som allerede langt overskrede dem, som man kunde antage for permanente Konstruktioner, og som vore praktiske Formler vilde give. Saaledes skulde Stængerne af Støbejern (Tabellen i § 293) med $0^m,0254$ Bredde, $0^m,0508$ Tykkelse og $2^m,745$ Bærevidde alene kunne udholde en permanent Belastning i Midten af 119,44 Kilogrammer, medens den anvendte Vogn altid veiede

mindst 508 Kilogrammer, hvilket for hver Stang gjorde 254 Kilogrammer.

Stængerne med $0^m,0254$ Bredde og $0^m,0762$ Tykkelse, som med $2^m,745$ Bærevidde kun skulde have baaret en Belastning af 268,70 Kilogrammer, bleve vel kun i Begyndelsen belastede med 254 Kilogrammer pr. Stang, men man maa bemærke, at de først bleve brudte med en Hastighed af $13^m,00$ under en Belastning af 404 Kilogrammer i det ene, og 372 Kilogrammer i det andet Tilfælde.

Altsaa følger det af disse Forsøg, at ved de af vore praktiske Formler bestemte Dimensioner kunne lette Bjælker, som de forsøgte Stænger vare, med Hensyn til den bevægelige Last udholde Befordringen med en Hastighed af 13 Metre pr. Secund af Laster, som overskride de af os som permanente antagne. Med saameget større Grund skulde man kunne sætte ud af Betragtning Indflydelsen af Hastigheden af den Last, der skal bæres, naar Spørgsmaalet er om Broer af hvilkensomhelst Form, hvis Brobane og andre tilhørende Dele forøge Forholdet af Massen til Belastningen i en langt større Proportion, end som var Tilfældet ved Forsøgene. Forresten vise disse Forsøg, at for Kjædebroer og Skibsbroer, som ere underkastede betydelige Bøininger, fordrer Klogskab, at de Forskrifter, som tilholde aldrig at lade Vogne passere uden i Skridt, blive nøiagtig overholdte. Maaske vil det selv i visse specielle Tilfælde være klogt at indsætte for Koefficienten R for de permanente Belastninger, angiven i § 232, svagere Værdier, saaledes som vi allerede have bestemt det ved forskjellige Konstruktioner, saasom Axler for Vandhjul, etc.

§ 293. *Undersögelse af disse Forsögs Resultater.* — For at underkaste Resultaterne af disse Forsøg Beregning maa man tage Hensyn til, at Centrifugalkraften er afhængig af det i Bevægelse værende Legemes Masse, af dets Hastighed og af den Bøiningen tilsvarende Krumnings-

radius. Men denne Radius er selv afhængig af Trykket, i hvilket den centrifugale Kraft ofte har en betydelig Andel. Endvidere viser Iagttagelsen, at Punktet for den største Bøining ikke ligger i Stangens Midte, og at dets Beliggenhed saaledes er meget vanskelig nøiagtigt at bestemme.

Men skulde det ogsaa synes umuligt ganske nøie at bestemme alle de Omstændigheder, som finde Sted ved lignende Bevægelser, saa kan man dog ved følgende Betragtninger tilnærmelsesvis gjøre sig Regnskab derfor.

Krumningsradien r, tilsvarende Trykket i Hviletilstand, udtrykkes ved Formlen (§ 187)

$$r = \frac{EI}{PC},$$

naar 2P kaldes den Kraft, som virker i Midten af Stangen, og hvoraf man a priori kjender den ene Del, nemlig den halve Vægt af Vognen, og $2C = 2^m,745$ er Stangens Totalbærevidde; E og I ere bekjendte Betegnelser.

Erindrer man sig nu, at i det simple Tilfælde af et paa to Underlag oplagt Legeme, som i dets Midte er belastet med en Vægt 2P, haves (§ 190) Forbindelsen

$$f = \tfrac{1}{3}\frac{PC^3}{EI}, \text{ hvoraf } \frac{EI}{PC} = \frac{C^2}{3f};$$

saa erholder man den simple Værdie for Krumningsradien

$$r = \frac{C^2}{3f},$$

hvilken viser, at under hvilkensomhelst Dannelse af Legemets Tværsnit, hvis Vægt med Hensyn til Belastningen ikke behøver at komme i Betragtning, er Krumningsradien lig Quadratet af den halve Bærevidde, divideret med tre Gange Krumningspilen. Sætter man paa den anden Side Vægten af Baneskinnerne udaf Betragtning med Hensyn til Vognens Vægt, saa udtrykkes Centrifugalkraften ved

$$\frac{P'v^2}{gr},$$

naar P′ betegner den Belastning, som her virker i Midten af hver Skinne, eller den halve Vægt af Vognen, og v Transportens Hastighed.

Ifølge den foranstaaende Værdie for Krumningsradien erholde vi for Centrifugalkraften følgende Udtryk:

$$\frac{P'}{g}\frac{v^2}{r} = \frac{3v^2}{gC^2}P'f.$$

Følgelig kunde man let beregne Intensiteten af den ved ethvert Forsøg udviklede Centrifugalkraft, naar man havde Værdien af den enhver Belastning tilsvarende Bøining.

Til Bekræftelse af de foregaaende Betragtninger maa man overbevise sig om, hvorvidt Belastningen, baaren af enhver Skinne, forøget med Værdien af den paa ovenangivne Maade beregnede Centrifugalkraft, virkelig overstiger den Belastning, som er istand til at brække Legemet.

Vi maae derfor antage, at Lasten befinder sig i Midten af Legemets Bærevidde, da dens Sted i Øieblikket for den største Bøining og for Bruddet ikke er bekjendt; endvidere kjende vi kun den ved Forsøget iagttagne Krumningspil med dens tilsvarende Belastning, som forudgik Bruddet. Herved er det indlysende, at Værdien af den Totalkraft, som vi erholde, er mindre end den Kraft, som virkelig frembragte Bruddet. Herved kunne vi overbevise os om, hvorvidt de foranstaaende Betragtninger nærme sig tilstrækkeligt Erfaringsresultaterne for ved given Anledning at kunne tjene til forud tilnærmelsesvis at vurdere Virkningerne af Jernbanetrains Hastighed paa Skinnerne og især paa Broerne.

I de følgende Tabeller har man anført alle Elementer af Forsøgene og Beregningerne.

De i første Kolonne angivne Totalbelastninger i Kilogrammer ere Vægterne af Vognen, og dele sig i to lige Dele for at give Værdien $2P = P'$ af Belastningen, som trykkede paa enhver af Baneskinnerne, og hvilken vi ville tage i Betragtning i det Øieblik, den gaaer over Midten. Man har for hver Stang beregnet den Vægt, som, anbragt i Midten af dens Længde, havde frembragt Brud, og derved har man antaget, at det anvendte Støbejern var af Middelmodstandsevne, eller ifølge § 232

$$R_r = 32441000 \text{ Kilogrammer.}$$

Forøvrigt indsees let, da denne Koefficient kan variere temmelig betydeligt mellem de forskjellige Stænger, at denne Brudbelastning ikke kan bestemmes nøiagtigt.

Idet man adderede Vognens halve Vægt til den for Centrifugalkraften fundne Værdie, erholdt man Værdien af Størrelsen

$$P' + \frac{3v^2}{gC^2} P'f,$$

som udtrykker den noget svage approximative Værdie af den Totalkraft, hvorfor Legemet er udsat under Passagen.

Da Vognens Vægt gradvis blev forøget indtil Brud, og navnlig da de sidste Belastninger afvege meget lidet fra hverandre, erholdt man for denne Kraft Værdier, som laae meget nær Brudbelastningen for Hviletilstand. Men naar Belastningerne derimod bleve meget pludseligt forøgede, har det i de fleste Tilfælde hendt, at Værdien af $P' + \frac{3v^2}{gC^2} P'f$ fandtes meget større end Brudbelastningen i Hviletilstand. I nogle andre Tilfælde, hvor den ved den næstsidste Belastning frembragte Bøining var mærkelig svagere end den, der frembragtes ved den sidste, var To-

talkraften lidt mindre end Brudbelastningen i Hviletilstand; dog indtraf dette Tilfælde sjelden.

Tallene, indførte i Kolonnen, overskreven *„Böining i Hvile“*, ere med Undtagelse af det første Tal i enhver Række ikke blevne bestemte ved direkte Forsøg. Da Bøiningen hver Gang blev iagttagen for den svageste Belastning, betjente man sig af denne Bøining for at beregne alle de andre ved Hjælp af de af os angivne Formler. De Differentser, som man bemærker mellem Bøiningerne af de forskjellige Stænger af en og samme Model, angive paa en vis Maade Maalet for deres sammenlignelsesvise Modstandsevne.

Den første Rækkes Forsøg bleve alle gjorte med Stænger af $2^m,745$ Længde af et rektangulært Tværsnit med $0^m,0254$ og $0^m,0508$; i den anden og tredie Række er Længden forbleven den samme; men Tværdimensionerne bleve efterhaanden bragte til $0^m,0254$ og $0^m,0762$ og til $0^m,1016$ og $0^m,8381$*).

Disse tre Rækker ere de eneste, som fremstilles i følgende Tabel; de ere imidlertid tilstrækkelige for at gjøre os bekjendt med de fornemste Resultater, hvortil DHrr. James og Galton førtes, hvilke ogsaa have gjort Forsøg med stærkere og længere Stænger, saavelsom med Stænger af forskjellige Materier, og tillige med krummede Stykker, saadanne, som saa hyppigt bruges i Brokonstruktioner af Støbejern.

---

*) Disse sidste Værdier for a og b maae aabenbart være Trykfeil; i Tabellens 3die Række har jeg givet dem de forholdsmæssige Værdier: $a = 0^m,0210$ og $b = 0^m,08381$.

G.

Forsög af DHrr. James og Galton.

Første Række.

Vognens Vægt.	Venstre Stang. a=0,0254 m. b=0,0508 m. 2C=2,745 m. Böining i Hvile.	Böining under Bevægelsen.	Forhold mellem Böiningerne.	Belastning af enhver Stang. 2P=P′.	Centrifugalkraft. $\frac{3v^2}{gC^2}P'f$.	Totalkraft. $P'+\frac{3v^2}{gC^2}P'f$.
Vognens Hastighed 4m,57. — Brudbelastning i Hviletilstand, beregnet for een Stang, 516,42 Kilogrammer.						
506,0	0,0223	0,0315	1,41			
566,5	0,0279	0,0432	1,54			
652,5	0,0376	0,0502	1,34			
707,0	0,0434	0,0637	1,47			
775,0	0,0530	0,0761	1,43			
850,0	„	Brud.	„	425,0	76,27	501,27
506,0	0,0218	0,0282	1,28			
566,5	0,0264	0,0358	1,33			
652,5	0,0368	0,0493	1,24			
707,0	0,0422	0,0635	1,55			
775,0	0,0515	0,0775	1,51			
811,0	0,0533	0,0895	1,68			
824,0	0,0537	0,0915	1,70			
836,0	0,0553	0,1119	1,91	418,0	78,38	496,38
506,0	0,0157	0,0186	1,19			
566,5	0,0195	0,0223	1,14			
614,0	0,0236	0,0279	1,18			
660,0	0,0272	0,0340	1,25			
707,0	0,0305	0,0447	1,47			
761,0	0,0345	0,0602	1,74			
813,0	0,0383	0,0736	1,92			
824,0	„	Brud.	„	412,0	102,8	514,8
Vognens Hastighed 7m,31 i 1 Secund.						
506,0	0,0162	0,0259	1,59			
566,0	0,0203	0,0393	1,94			
614,0	0,0244	0,0685	2,81			
640,0	0,0264	0,0800	3,04			
652,0	„	Brud.	„	326	226,2	552,2
506,0	0,0165	0,0221	1,43			
566,0	0,0205	0,0279	1,35			
614,0	0,0248	0,0488	2,37			
640,0	0,0269	0,0722	2,69			
652,0	0,0276	0,0965	3,50			
664,0	0,0286	„	„			
677,0	0,0297	0,1000	3,37			
691,0	„	Brud.	„	345,5	299,7	645,2
506,0	0,0187	0,0289	1,54			
566,0	0,0233	0,0372	1,59			
614,0	0,0279	0,0432	1,58			
640,0	0,0305	0,0512	1,70			

Vognens Vægt.	Venstre Stang. a=0,0254 m. b=0,0508 m. 2C=2,745 m. Bøining i Hvile.	Bøining under Bevægelsen.	Forhold mellem Bøiningerne.	Belastning af enhver Stang. $2P=P'$.	Centrifugalkraft. $\frac{3v^2}{gC^2}P'f$.	Totalkraft. $P'+\frac{3v^2}{gC^2}P'f$.
Vognens Hastighed 7m,31 i 1 Secund. — Brudbelastning i Hviletilstand, beregnet for een Stang, 516,42 Kilogrammer.						
652,0	0,0315	0,0565	1,80			
664,0	0,0327	0,0612	1,87			
677,0	0,0337	0,0644	1,90			
691,0	0,0347	0,0680	1,96			
703,0	0,0360	0,0707	1,95			
716,0	0,0370	0,0780	2,11			
727,0	„	Brud.	„	363,5	246,0	609,5
Vognens Hastighed 8m,84 i 1 Secund.						
506,0	0,0241	0,0457	1,89			
566,0	„	Brud.	„	283,0	164,0	447,0
Pilen 0,0457 var meget lavere end den, ved hvilken Bruddet paafulgte.						
506,0	0,0284	0,0645	2,17			
533,0	0,0330	0,0853	2,56			
546,0	„	Brud.	„	273,0	295,4	568,4
506,0	0,0244	0,0584	2,39			
533,0	0,0274	0,0770	2,80			
546,0	„	Brud.	„	273,0	266,7	539,7
Vognens Hastighed 10m,006 i 1 Secund.						
506,0	0,0215	0,0513	2,40			
533,0	0,0238	0,0677	2,83			
546,0	„	Brud.	„	273,0	300,2	573,2
506,0	0,0205	0,0333	1,61			
533,0	0,0231	0,0472	2,05			
546,0	0,0244	0,0620	2,54			
558,0	0,0254	0,0765	3,02			
571,0	0,0264	0,0926	3,51			
583,0	„	Brud.	„	291,5	438,5	730,0
506,0	0,0330	0,0770	2,34			
519,0	„	Brud.	„	259,5	318,4	577,9
Vognens Hastighed 11m,950 i 1 Secund.						
506,0	0,0218	0,0472	2,16			
519,0	0,0238	0,0571	2,38	259,5	336,9	596,4
506,0	0,0183	0,0417	2,28			
519,0	0,0198	0,0574	2,97			
533,0	„	Brud.	„	266,5	354,6	621,1
506,0	0,0177	0,0381	2,14			
519,0	0,0188	0,0533	2,83			
533,0	0,0198	0,0586	2,76			
546,0	„	Brud.	„	273,0	370,9	643,9

Anden Række.

Vognens Vægt.	Venstre Stang. a=0,0254 m. b=0,0762 m. 2C=2,745 m. Böining i Hvile.	Böining under Bevægelsen.	Forhold mellem Böiningerne.	Belastning af enhver Stang. $2P=P'$.	Centrifugalkraft. $\frac{3v^2}{gC^2}P'f$.	Totalkraft. $P'+\frac{3v^2}{gC^2}P'f$.
Vognens Hastighed 4m,575 i 1 Secund. — Brudbelastning i Hviletilstand, beregnet for een Stang, 1161,96 Kilogrammer.						
Kilogr.	Meter	Meter				
506,0	0,0094	0,0104	1,10			
804,0	0,0175	0,0147	0,87			
1065,0	0,0259	0,0246	0,95			
1338,0	0,0363	0,0418	1,11			
1495,0	0,0441	0,0596	1,34			
1526,0	0,0457	0,0685	1,50			
1545,0	„	Brud.	„	772,5	179,8	952,3
506,0	0,0096	0,0112	1,10			
804,0	0,0180	0,0175	0,97			
1065,0	0,0267	0,0290	0,97			
1338,0	0,0383	0,0396	1,10			
1495,0	„	Brud.	„	747,5	100,6	848,1
				Den næstsidste Belastning var altfor forskjellig fra den sidste.		
506,0	0,0073	0,0079	1,07			
804,0	0,0137	0,0154	1,11			
1065,0	0,0215	0,0211	1,04			
1338,0	0,0303	0,0381	1,26			
1495,0	0,0347	0,0469	1,35			
1545,0	0,0371	0,0564	1,52			
1569,0	0,0381	0,0673	1,76			
1578,0	„	Brud.	„	789,0	180,4	969,4
Vognens Hastighed 8m,84 i 1 Secund.						
506,0	0,0081	0,0091	1,11			
804,0	0,0154	0,0193	1,26			
1065,0	0,0223	0,0345	1,52			
1209,0	0,0272	0,0462	1,70			
1251,0	0,0289	0,0523	1,80			
1282,0	0,0299	0,0549	1,83			
1308,0	0,0310	0,0576	1,86			
1332,0	0,0319	0,0640	2,00			
1396,0	0,0330	0,0678	2,05			
1430,0	„	Brud.	„	715,0	615,0	1330,0
506,0	0,0106	0,0137	1,28			
804,0	0,0200	0,0302	1,50			
1065,0	0,0292	0,0507	1,75			
1338,0	„	Brud.	„	669,0	430,3	1099,3

Vognens Vægt.	Venstre Stang. a=0,0254 m. b=0,0762 m. 2C=2,745 m. Böining i Hvile.	Böining under Bevægelsen.	Forholdmellem Böiningerne.	Belastning af enhver Stang. $2P=P'$.	Centrifugalkraft. $\frac{3v^2}{gC^2}P'f$.	Totalkraft. $P'+\frac{3v^2}{gC^2}P'f$.
Vognens Hastighed 8m,84 i 1 Secund. — Brudbelastning i Hviletilstand, beregnet for een Stang, 1161,96 Kilogrammer.						
Kilogr.	Meter	Meter				
506,0	0,0084	0,0172	1,57			
804,0	0,0157	0,0223	1,42			
1065,0	0,0231	0,0404	1,75			
1338,0	0,0332	0,0702	2,07			
1362,0	„	Brud.	„	681,0	606,5	1287,5
Vognens Hastighed 11m,00 i 1 Secund.						
506,0	0,0099	0,0175	1,71			
804,0	0,0185	0,0284	1,53			
1065,0	0,0272	0,0528	1,94			
1135,0	„	Brud.	„	562,5	583,5	1146,0
506,0	0,0086	0,0127	1,47			
804,0	0,0157	0,0277	1,75			
1065,0	0,0128	0,0482	2,05			
1088,0	„	Brud.	„	544,0	515,5	1059,5
506,0	0,0124	0,0182	0,47	De to sidste Belastninger ere altfor		
804,0	0,0236	0,0332	1,42	forskjellige.		
1065,0	„	Brud.	„			
Vognens Hastighed 13m,10 i 1 Secund.						
506,0	0,0086	0,0112	1,29			
804,0	0,0157	0,0236	1,50			
938,0	0,0193	0,0396	2,04			
989,0	„	Brud.	„	494,5	545,5	1040,0
506,0	0,0068	0,0152	1,92			
804,0	0,0129	0,0272	2,10			
938,0	0,0155	0,0475	3,07			
962,0	„	Brud.	„	481,0	636,5	1117,5
506,0	0,0061	0,0096	1,58	0,0066	0,0127	1,92
804,0	0,0114	0,0218	1,90	0,0127	0,0259	2,04
938,0	0,0134	0,0330	2,35	0,0150	0,0355	2,36
989,0	0,0152	0,0470	3,09	0,0165	0,0508	3,00
1097,0	„	Brud.	„	„	„	„

Tredie Række.

Vognens Vægt.	Venstre Stang. a=0,1016 m. b=0,8381 m. 2C=2,745 m. Böining i Hvile.	Böining under Bevægelsen.	Forhold mellem Böiningerne.	Belastning af enhver Stang. $2P=P'$.	Centrifugalkraft. $\frac{3v^2}{gC^2}P'f$.	Totalkraft. $P'+\frac{3v^2}{gC^2}P'f$.
Vognens Hastighed 4m,575 i 1 Secund. — Brudbelastning i Hviletilstand, beregnet for een Stang, 1161,8 Kilogrammer.						
Kilogr.	Meter	Meter				
506,0	0,0109	0,0160	1,46			
805,0	0,0213	0,0343	1,64			
1065,0	0,0322	0,0508	1,57			
1340,0	0,0477	0,0970	2,01			
1450,0	0,0550	0,1179	2,14			
1472,0	0,0566	0,1230	2,17			
1500,0	„	Brud.	„	750,0	313,4	1063,4
506,0	0,0144	0,0198	1,36			
805,0	0,0279	0,0368	1,32			
1065,0	0,0434	0,0536	1,29			
1340,0	0,0645	0,1043	1,62			
1492,0	0,0770	0,1230	1,59	746,0	311,8	1057,8
Vognens Hastighed 8m,84 i 1 Secund.						
506,0	0,0188	0,0274	1,45			
804,0	0,0365	0,0517	1,42			
938,0	0,0462	0,0740	1,43			
1065,0	0,0561	0,1050	1,87			
1210,0	Begge Stænger bleve brudte.			605,0	805,9	1410,9
506,0	0,0152	0,0256	1.68			
804,0	0,0294	0,0550	1,87			
1065,0	0,0457	0,0942	2,06			
1210,0	„	Brud.	„	605,0	723,0	1328,0
Vognens Hastighed 11m,00 i 1 Secund.						
506,0	0,0132	0,0241	1,82			
804,0	0,0254	0,0556	2,19			
934,0	0,0320	0,0985	3,08			
985,0	„	Brud.	„	492,5	953,2	1445,7
506,0	0,0147	0,0313	2,11			
804,0	0,0284	0,0789	2,78			
934,0	Begge Stænger bleve brudte.			467,0	723,8	1190,8
Vognens Hastighed 13m,10 i 1 Secund.						
506,0	0,0160	0,0391	2,45	Disse to Belastninger ere altfor forskjellige.		
805,0	Begge Stænger bleve brudte.					
506,0	0,0127	0.0325	2.56			
636,0	0,0155	0,0587	3,35			
690,0	0,0195	0,0809	4,13	Den høire Stang blev brudt.		
742,0	0,0216	0,1115	5,14	371,0	1152,5	1523,5

§ 294. *Følgeslutninger af disse Forsög.* — Resultaterne af disse Forsøg bevise, at i de fleste Tilfælde have Totalkræfterne, sammensatte af Vognens halve Vægt og af Centrifugalkraften, naaet eller overskredet Brudbelastningerne i Hviletilstand, hvorved Virkningen af Centrifugalkraften ved et Trains hastige Bevægelse sættes i det klareste Lys. Ved de største forsøgte Hastigheder opnaaer Intensiteten af Centrifugalkraften ikke alene Vognens dobbelte Vægt, men overskrider den endog betydeligt.

Da Centrifugalkraften udtrykkes ved

$$\frac{3v^2}{gC^2} P'f,$$

saa maa den, som man allerede veed, ved lige Belastninger være proportional med Quadratet af Hastigheden og desforuden proportional med Krumningspilen. Heraf følger, at man ved Konstruktioner, hvor det er af Interesse at formindske denne Virkning af Centrifugalkraften, gjør vel i at anvende Materialier og Former, som for de samme Belastninger give de mindste Bøininger.

Saaledes skal man foretrække de Materialier, hvis Elasticitetskoefficient E har den største Værdie; derfor vælger man heller Smedejernet end Støbejernet og Træet.

FORANDERLIGHED HOS VOGNAXLER.

§ 295. *Vognaxlers Forandring ved længere Brug.* — De alvorlige Ulykkestilfælde, som Bruddet af Axlen i et Lokomotiv eller selv en Vognaxel medfører, har allerede længe beskjæftiget den offentlige Opmærksomhed, og man har spurgt, om det ikke skulde være klogt at antage en bestemt gjennemløbet Vei som Grændse, udenfor hvilken alle Axler af en Jernbanes Materiel skulde undersøges og omhyggeligt repareres. Man begriber lettelig, at en saadan Foranstaltning møder mangen Vanskelighed fra de

Ingenieurers Side, hvem Opsynet med Maskinerne og Vognene er anfortroet, idet den vilde fordre betydelige Omkostninger og Kontroller; men saavel den offentlige som selve Jernbaneselskabernes egen velforstaaede Interesse fordrer, at Spørgsmaalet omhyggeligen undersøges, og at derpaa alle nødvendige Foranstaltninger træffes.

For at erholde Oplysning om dette vigtige Spørgsmaal har jeg henvendt mig til to fuldkommen kompetente Mænd, hvis lange Erfaring giver deres Mening og de Kjendsgjerninger, som de have iagttaget, en særdeles Autoritet. Det er DHrr. Marcoux og Arnoux, begge fordums Artillerieofficierer; den Første Direkteur for Brevpostens Materiel, den Anden Administrator for det almindelige Befordringsvæsen. Jeg kan ikke gjøre bedre end ordlydende at afskrive de mig gjorte Meddelelser om denne Gjenstand.

§ 296. *Om Vognaxler paa almindelige Veie, af Marcoux.* — „Flere udmærkede Ingenieurer troe, at ved en altfor lang Tjeneste af Axler til Vogne, der fare med megen Hastighed paa almindelige Veie, fordærves Jernets Natur, og at dets senede Dele forandre sig til en grovkornet Sammensætning med glindsende Facetter, ligesom man finder det i Jern af slet Qualitet."

„Jeg troer ikke, at man med andre Voiturer kan gjøre mere bevisende Forsøg end med Brevposternes, fordi disse gaae med en Hastighed, som ingen anden Voitur paa almindelige Veie endnu har opnaaet. Daglige Iagttagelser, som jeg i over 12 Aar anstillede med Brevposten, have lært mig, at Jernet i Axlerne, som allerede have tjent i længere Tid, ikke havde forandret sig paa ovennævnte Maade, og at man ved at brække disse Axler kolde hverken antræffer væsentlige Forandringer i Texturen eller i Kornets Størrelse, sammenlignet med hvad der fandt Sted ved Axlernes Forfærdigelse."

„Man tør imidlertid af mine Paastande ikke uddrage

den Slutning, at Jernet i Axlerne ikke forandrer sig ved et altfor længe fortsat Brug. Jeg troer tvertimod, at ved de Vibrationer, som Axlerne lide ved store Hastigheder, fordærves Jernet, uden at derfor Texturen lider nogen synderlig Forandring; jeg er overbevist om, at Axlerne blive mindre modstandsdygtige efter en for lang Tjeneste, og som Følge deraf har jeg forordnet for Brev- eller Mall-Posterne, at Vognaxlerne skulle fornyes, efterat de have gjennemløbet en Strækning af 60000 Kilometre*).“

„Altsaa, jeg gjentager det, ifølge mine Iagttagelser over brudte Axler under 12 Aars Mallposttjeneste forandres Jernets Textur ikke paa nogen bemærkelig Maade i en lang Tjeneste, men de Vibrationer, som Axlerne lide, frembringe andre Virkninger, der bidrage til deres Brud. Jeg har bemærket, at godt arbeidede Axler af Jern af god Qualitet brækkes efter at have gjennemløbet 60000 til 80000 Kilometre, fordi der danner sig under Halsen af Axelarmen smaae Ridser, hvilke det er vanskeligt at opdage, uden at man opheder Axelarmen; blive disse Ridser, som ved deres første Opstaaen have meget ringe Dybde, ubemærkede, saa brækkes Axlen paa dette Sted, naar de have forplantet sig 10 til 15 Millimetre“ (0,37 til 0,57 norsk Tomme) „ind i Axelarmens Tværsnit“.

„Jeg er af den Anskuelse, at disse Ridser danne sig efter en lang Tjeneste, at de opstaae ved Axlens Vibrationer, og at de fremkomme paa samme Maade, som naar man bøier en Jerntraad flere Gange frem og tilbage i forskjellige Retninger, indtil den brækkes. Dersom man alene udsætter en Jerntraad for meget svage Bøininger paa en stor Længde, saa kan man ikke brække den; og disse Virkninger frembringe Vibrationerne paa Axellegemet. Indpresser man derimod Jerntraaden i en Skrue-

*) 1 Kilometer = 1000 Metre = 3186,2 norske Fod; omtrent $^1/_{11,3}$ eller nær $\frac{10}{113}$ norsk Miil.

stikke og bøier den flere Gange i forskjellige Retninger, saa forlængrer Jernet sig paa den ene Side, medens det sammenstuver sig paa den anden, og Traaden brækkes tæt ved Skruestikken, ligesom Axlerne brækkes ved Halsen af Axelarmen."

Figur 5 paa Plan V viser den gradvise Tilvæxt af de paa Mallpostens Axler iagttagne Ridser.

§ 297. *Meddelelse af Arnoux.* — „De temmelig hyppige Brud af Postvognenes Axler gaae langt tilbage og have vedvaret længe."

„Siden hin Tid, hvor Brugen af rette Fjedre have tilladt at bygge Vogne med tre Kasser, at belaste dem fordelagtigere og at meddele dem en i Forhold til Veienes Forbedring større Hastighed, have disse Ulykkestilfælde forøget sig."

„I Gjennemsnit kan man antage et Brud paa 120000 til 160000 gjennemløbne Kilometre" (10620 til 14160 norske Mile).

„Af tre brudte Axler var der to Foraxler og een Bagaxel. Ved de første indtraf i Regelen Bruddet i Trediedelen af deres Længde mellem Hjulene, ved den sidste stedse ved Halsen eller ved Begyndelsen af Axelarmen. Ved begge ligge disse Punkter meget nær det, hvorpaa Lasten hvilede."

„Det er Brug i Befordringsvæsenets Værksteder at gjøre Axlerne af senet og med Trækul garvet Jern, eller af Smedejern, erholdt af Støbejern tilvirket med Trækul."

„I ethvert Tilfælde frembød Bruddet ialmindelighed det samme Udseende; ved den forreste og nedre Axelkant, hvor denne bliver mest anstrængt, viste sig en liden Rids, der skyldes den dobbelte Virkning af Lasten og af Trækket; denne Flæk udviklede sig zoneformigt og havde et Korn, ligesaa fint og rent som det i Støbestaal; efterat den havde naaet to Trediedele af Tværsnittet, blev Resten brudt med et meer eller mindre senet Udseende" (Pl. V, Fig. 6).

„Det var Brug at underkaste Vognene en Hovedreparation efter eet Aars Tjeneste og at forstærke Axelarmene ved den anden Reparation; en Operation, som Axelarmenes Slidning og især Stødskiverne gjorde nødvendig; men man indskrænkede sig til denne Reparation, fordi det da var antaget, at de ældste vare de bedste, fordi Axellegemet ikke blev slidt, og dette Legeme bragte man aldrig i Ilden, uden naar man vilde forandre dets Form eller dets Styrke."

„Vognene gjorde i Gjennemsnit, Hvile medregnet, 80 til 100 Kilometre daglig, og følgelig hørte der en gjennemløbet Strækning af 60000 til 70000 Kilometre til, førend man rørte ved Axlerne."

„Nødvendigheden af stadigen at formindske Vognens døde Vægt bevægede os til at indskrænke den Styrke, som Brugen havde bestemt for Axlerne; — de bøiede sig, og vi bleve tvungne til atter at gjengive dem næsten deres gamle Vægt. Denne Operation (kaldet *rembarrage*) bestod i, at man sveitsede til Axlen en Stang af dens hele Længde. Paa den Maade forstærkedes samtidigen de for svage Axler ved *rembarrage*, og vedblev man som hidtil at paalægge de slidte Axelarmene af de gamle."

„Saavel det ene som det andet Slags blev mærket paa forskjellig Maade."

„Snart opdagede vi, at ingen brudt Axel bar Mærket „*rembarré*", medens de Axler, hvorved alene de forslidte Axelarme vare reparerede, bleve brudte. Deraf maatte vi slutte, at Brugen forandrede Axellegemet, og fra dette Øieblik blev den anden Maade forkastet. Alt eftersom de Axler, hvorved man alene havde forbedret Axelarmene, forsvandt, formindskede Ulykkestilfældene sig."

„Endnu en anden Iagttagelse var os paafaldende. Da vi havde antaget de større Svingkrandse, blev Lasten istedetfor at befinde sig paa de to Trediedele af Længden mellem Axelarmene bragt nærmere disse ligesom paa

Bagaxlerne, og fra dette Øieblik brækkedes Foraxlerne ikke oftere end de andre."

„Førend man valgte den Maade at forstærke alle Axler ved Paasveitsningen af en Stang, hvilket kostede langt mere end den simplere Operation at forstærke Axelarmene, havde vi forsøgt at udgløde Axellegemet i Esseslaggene; Axlen forbedredes lidt, men ikke tilstrækkeligt."

„Der er Intet, som endnu begrunder, at en gjennemløbet Vei af 70000 Kilometre blev Grændsen, ved hvilken Axlen ophørte at være sikker; det er endog troligt, at denne Grændse, som varierer med Belastningen, Veienes Beskaffenhed og Hastigheden, er længere fjernet; men saasom Axelarmene efter saadan Tjeneste befindes tilstrækkelig slidte for at nødvendiggjøre en Reparation, have vi taget det Partie kun at foretage en eneste Operation, som sparte os for Vildfarelser; vi have fundet os vel derved, thi det er 7 til 8 Aar siden vi have havt en brudt Axel i vore store Vogne."

„Naar det Samme ikke har været Tilfældet med vore smaae Vogne, saa er en anden Omstændighed Skyld deri. Ved de mindre Axler havde man begaaet den Feil at give Axellegemet formegen Styrke paa det Sted, hvor Axelarmene skille sig derfra; Følgen deraf var, at mange Axelarme bleve brudte ved deres Begyndelsessted."

„Som almindelig Regel have vi bemærket, at paa brolagte Veie er Tiden for god Tjeneste af Axlerne kortere end paa makadamiserede eller Grusveie."

„For at letgjøre Konstruktionen have vi (Pl. V, Fig. 7 og 8) indført Axlernes Indfatning; Axlerne ligge nemlig i et Slags temmelig tynd Kasse eller Æske; denne Anordning, der forebygger Vibrationens Forplantelse, har forekommet os fordelagtig."

„Ialmindelighed have vi af vore Iagttagelser uddraget følgende Slutninger:

1. at Brugen forandrer Axlernes Beskaffenhed og gjør dem skjøre;
2. at, uden at bestemme den sikkre Varighed af en Axel, kan man som laveste Grændse antage 70000 Kilometre under Forudsætning af den hos os brugelige Belastning, Hastighed og Veibeskaffenhed;
3. at under samme Omstændigheder kan Vægten af en Axel anslaaes til $\frac{1}{35}$ eller $\frac{1}{40}$ af den Vægt, den har at bære;
4. at man maa undgaae pludselige Dimensionsforandringer i Axlens Form;
5. at der maa undgaaes skarpe indspringende Vinkler, navnlig ved Begyndelsen af Axelarmene, hvor de befordre Bruddet;
6. at af alle Foranstaltninger, som kunne træffes for at undgaae Virkningen af Forringelser, er det den sikkreste at omsmede Axlen, som da igjen bliver ligesaa god, som om den aldrig havde været i Brug."

„Af talrige nye eller omsmedede Axler, som have været underkastede Virkningen af Faldloddet for at bestemme deres Brud, har man sjelden opnaaet at brække nogen. Andre derimod, som allerede havde været brugte, aabnede sig først og bleve derefter brudte, fremvisende i større eller mindre Grad det Udseende, som vi have angivet."

TØMMERVÆRK.

§ 298. *Almindelige Betragtninger.* — De ovenstaaende Betragtninger have tilstrækkeligt paavist Vigtigheden af de Følgeslutninger, hvortil den theoretiske og praktiske Undersøgelse af Materialiernes Modstandsevne i alle Konstruktioner føre; men der findes ingen hyppigere Anvendelse af disse Betragtninger end ved Tømmerværk af alle mulige Dimensioner. Vi ville undersøge denne Gjenstand i alle dens Enkeltheder, idet vi især fæste os ved Kon-

struktioner af Jern, som hver Dag udvikle sig meer og meer.

KRÆFTERNES FORDELING OG PRAKTISKE ANGIVELSER.

§ 299. *Ligevægtsforhold af heldende Legemer: et heldende Legeme, befæstet ved dets ene Ende og paavirket i den anden af Kræfterne* P *og* Q, *respektive horizontalt og vertikalt.* — Den almindelige Forbindelse i § 136

$$R = \frac{T}{A} \pm \frac{Mv'}{I}, \text{ eller } R = \frac{Mv'}{I} \pm \frac{T}{A}$$

gjælder for dette Tilfælde, naar man for M sætter Summen af Momenterne af de ydre Kræfter P og Q med Hensyn til Tværsnittet i Befæstelsespunktet, og idet man sætter de Kraftmomenter, som stræbe at frembringe Bøiningen i een Retning, positive, og dem som stræbe at frembringe Dreining i modsat Retning, negative. Ogsaa maa man overbevise sig om, hvorvidt de mest forlængrede eller de mest forkortede Fibrer ere paavirkede i samme Retning af de Kræfter, som frembringe Bøiningen, og af dem, som virke efter Længden.

Dersom f. Ex. et Legeme AB af Længde C betragtes som befæstet i B (Pl. V, Fig. 12) og er paavirket af to Kræfter P og Q, som gjøre med dets Retning Vinklerne a og b, og man kalder C′ Vægtstangsarmen til P med Hensyn til Punktet B, og h Vægtstangsarmen til Kraften Q med Hensyn til samme Punkt: saa ville Komponenterne af Kræfterne P og Q perpendikulær paa dets Længde være $P \sin a = P \frac{C'}{C}$ og $Q \sin b = Q \frac{h}{C}$, og Summen af deres Momenter med Hensyn til den befæstede Ende B vil være

$$M = (P \sin a - Q \sin b)\ C = PC' - Qh,$$

og de ville frembringe en Bøining

$$f = \frac{P \sin a - Q \sin b}{3EI} C^3 = \frac{PC' - Qh}{3EI} C^2.$$

Betræffende Komponenterne, som virke i Retningen af Legemets Længde, saa seer man strax, naar man sætter AP = P og AQ = Q og konstruerer de respektive Parallelogrammer, at de kunne fremstilles ved Længderne AE og AF, og at man formedelst de ligedannede Triangler vil have:

$$C : AH = P : AE = \frac{P . AH}{C} = P . \cos a,$$

$$C : AD = Q : AF = \frac{Q . AD}{C} = Q . \cos b.$$

Deres Sum, som stræber at komprimere Legemet, vil altsaa være

$$T = \frac{P . AH + Q . AD}{C} = P . \cos a + Q . \cos b;$$

saaledes vil man her for Betingelsen af Stabilitetsligevægt have

$$R = \frac{P . \cos a + Q . \cos b}{A} + \frac{P . \sin a - Q . \sin b}{1} Cv' =$$

$$= \frac{Ph + QC'}{CA} + \frac{(PC' - Qh)v'}{1}.$$

I visse Tilfælde vil man kunne bestemme den ene af Kræfterne eller dens Retning, saa at Bøiningen, og som Følge heraf Extensionen eller Kompressionen, frembragt af de normale Komponenter, bliver Nul. Man behøver kun at gjøre

$$P . \sin a = Q . \sin b \text{ eller } PC' = Qh.$$

Dette lader sig isærdeleshed anvende paa Tagstolstræberne eller Spærrerne i Tagforbindelser med Træk-

stænger af Jern, hvis Helding eller Spænding man kan lade variere. I dette Tilfælde (Pl. V, Fig. 13), hvor Kraften P er vertikal, naar Q er horizontal, haves $AD = C'$ som Horizontalprojektion af Legemet og $AH = h$ som Vertikalprojektion; derhos er $\cos a = \sin b$, $\sin a = \cos b$, følgelig

$$f = \frac{P.\sin a - Q.\cos a}{3EI} C^3 = \frac{PC' - Qh}{3EI} C^2 \text{ og}$$

$$R = \frac{P.\cos a + Q.\sin a}{A} + \frac{P.\sin a - Q.\cos a}{I} Cv',$$

$$\text{eller } R = \frac{Ph + QC'}{CA} + \frac{PC' - Qh}{I} v'.$$

§ 300. *Heldende Legeme, befæstet i* B *og underkastet to Kræfter* P *og* Q, *den ene virkende vertikalt, den anden horizontalt i dets Ende, samt en paa dets Længde ensformig fordelt Belastning af* p *Kilogrammer pr. löbende Meter.* — Naar, som Fig. 14 (Pl. V) angiver, den ensformig fordelte Belastning virker i modsat Retning af Kraften P, saa er Summen af de ydre Kræfters Momenter med Hensyn til Tværsnittet i Befæstelsen

$$(P \sin a - Q \cos a) C - p.\sin a \frac{C^2}{2}$$

$$\text{eller} \qquad (Q \cos a - P \sin a) C + p.\sin a \frac{C^2}{2};$$

disse Værdier lade sig ogsaa skrive under følgende Form:

$$PC' - Qh - \frac{pCC'}{2} \text{ eller } Qh - PC' + \frac{pCC'}{2},$$

alt efter den respektive Størrelse af de Led, som findes deri. For Betingelsen af Stabilitetsligevægt udleder man deraf, idet man holder Regning med de Komponenter, som stræbe at komprimere eller at strække Legemet:

$$R = \frac{Ph + QC' - pCh}{CA} + \frac{PC' - Qh - \frac{pCC'}{2}}{I} \cdot v',$$

eller

$$R=\frac{P.\cos a+Q\sin a-pC.\cos a}{A}+(P\sin a-Q\cos a-\tfrac{1}{2}pC\sin a)C\frac{v'}{I}.$$

Bøiningen udledes af de i § 190 givne Regler; Resultanten af Kræfterne P og Q, normal paa Legemets Længde, er virkelig $P\sin a - Q\cos a = \frac{PC'-Qh}{C}$, og den frembringer en Bøining lig $\frac{1}{3}\frac{(P\sin a - Q\cos a)}{EI}C^3 = \frac{1}{3}\frac{PC'-Qh}{EI}C^2$ nedenfra opad, dersom $P\sin a > Q\cos a$ eller $PC' > Qh$, eller lig $\frac{1}{3}\frac{(Q\cos a - P\sin a)}{EI}C^3 = \frac{1}{3}\frac{Qh-PC'}{EI}C^2$ fraoven nedad, dersom $Q\cos a > P\sin a$ eller $Qh > PC'$.

Komponenterne af den langs Legemet ensformig fordelte Belastning er lig med en Belastning $p\sin a = \frac{pC'}{C}$ pr. løbende Meter, som virker perpendikulært paa Længden og frembringer en Bøining, udtrykt ved $\frac{1}{8}\frac{p.\sin a\, C^4}{EI} = \frac{1}{8}\frac{pC'C^3}{EI}$; den endelige Bøining er altsaa:

$$f=\frac{C^3}{3EI}[(P\sin a - Q.\cos a)+\tfrac{3}{8}pC'\sin a]=$$

$$=\frac{C^2}{3EI}(PC'-Qh+\tfrac{3}{8}pCC'),$$

eller $$f=\frac{C^3}{3EI}[(Q.\cos a - P.\sin a)-\tfrac{3}{8}pC'\sin a]=$$

$$=\frac{C^2}{3EI}(Qh-PC'-\tfrac{3}{8}pCC').$$

§ 301. *Anvendelse.* — Disse Formler have Anvendelse paa Tømmerværk og navnlig paa Spærrer eller Tagstolstræbere i Tagforbindelser. Naar saaledes en Forbindelse af dette Slags har opnaaet Ligevægtstilstand, og at Forbindelserne ikke mere give efter eller aabne sig, saa kan man betragte Tagstolstræberne, som om de vare

befæstede i deres øvre Ende, og den anden som underkastet Reaktionen af Underlaget og af Spændbjælken eller Trækstangen. I dette Tilfælde er Lasten p Vægten af Taget med Indbegreb af Spærrer, Tagstolaaser og Tagstolstræberne selv, Sneens Vægt og Trykket af Vinden, som Taget kan have at udholde. Den vertikale Kraft P, som kommer fra Underlagets eller Fodstykkets Reaktion, er lig pC, naar der handles om en Tagstolstræber, hvis Længde er C.

Den horizontale Kraft Q (Pl. V, Fig. 15) er derimod lig og modsat den Kraft, som stræber at bringe Tagstolstræberne til at glide udad, og følgelig erholder man, naar man antager, at Stræberens Ende ikke maa forandre Plads, Ligningen:

$$f = \frac{C^3}{3EI}(-pC\sin a + Q\cos a + \tfrac{3}{8}pC\sin a) = 0,$$

eller $$f = \frac{C^2}{3EI}(-pCC' + Qh + \tfrac{3}{8}pCC') = 0,$$

hvoraf man uddrager for den Betingelse, at Bøiningen maa være Nul:

$$Q\cos a = \tfrac{5}{8}pC.\sin a \text{ og } Q = \tfrac{5}{8}pC.\operatorname{tang} a,$$

eller $$Qh = \tfrac{5}{8}pCC', \quad Q = \tfrac{5}{8}\frac{pCC'}{h}.$$

Fremdeles udleder man heraf for Stabilitetsbetingelsen:

$$R = \frac{pC\cos a + \tfrac{5}{8}pC\frac{\sin a}{\cos a}\cdot\sin a - pC\cos a}{A} -$$

$$-(pC\sin a - \tfrac{5}{8}pC\sin a - \tfrac{1}{2}pC\sin a)C\frac{v'}{I},$$

hvoraf $$R = \tfrac{5}{8}\frac{pC(1-\cos^2 a)}{A\cos a} + \tfrac{1}{8}p\sin a.C^2.\frac{v'}{I}$$

$$= pC(\tfrac{5}{8}\frac{1-\cos^2 a}{A\cos a} + \tfrac{1}{8}C.\sin a.\frac{v'}{I}),$$

eller $R = \frac{5}{8}\frac{pCC'^2}{AhC} + \frac{1}{8}pCC'\frac{v'}{I} = pC(\frac{5}{8}\frac{C'^2}{AhC} + \frac{1}{8}C'\frac{v'}{I})$,

forudsat nemlig, at $1 - \cos^2 a = \sin^2 a = \frac{C'^2}{C^2}$.

§ 302. *Bemærkning om den Betingelse, som gjör Böiningen lig Nul.* — Den Betingelse, at Stedforandringen af det heldende Legeme maa være Nul, er tilfredsstillet i Tagafbindinger af Træ ved Spændbjælkens Modstand eller ved Hanebjælken, til hvilken Spærrerne ere forbundne og forboltede og derefter forsynede med Jernbaand.

Er Spænd- eller Trækbaandet af Jern, og er Vinklen, som det danner med Tagstolstræberen, given, saa forbeholder man sig det Middel at forøge Spændingen Q saaledes, at Forbindelsen $Q = \frac{5}{8}pC \operatorname{tang} a = \frac{5}{8}\frac{pCC'}{h}$ tilfredsstilles.

Man vil i denne Anledning bemærke, at Trækbaandet eller Trækbjælken af Jern ikke fuldkommen kan erholde denne Spænding, førend Taget er paalagt, fordi der herved vilde opstaae en Kraft, som søger at aabne Tagstolstræbernes Forbindelse i Spidsen, medmindre denne Sammenføining iforveien er bleven forstærket. Det er hensigtsmæssigt gradvis at forøge denne Spænding paa den Maade, at man hæver Spidsen om saa meget, som den vil sænke sig i Belastningens første Øieblik. Har man imidlertid anvendt Sko af Støbejern til Spærrernes Forening i Spidsen, saa kan man fra Begyndelsen af og førend Afbindingens Reisning kraftigt spænde Trækbjælken, indtil Tagstolstræberne antage en Bøining, som er lig og modsat den, der vil frembringes af den paa Legemet ensformig fordelte Belastning. Denne Tagstolstræbernes Bøining, som bevirkes ved Spændingen af Trækbaandet, eller $Q = \frac{5}{8}pC \operatorname{tang} a = \frac{5}{8}\frac{pCC'}{h}$, er lig

$$f = \frac{C^3}{3EI}\cdot\frac{5}{8}pC\sin a = \frac{5}{24}\frac{C^3}{EI}\cdot pC\sin a = \frac{5}{24}\frac{C^3}{EI}\cdot pC'.$$

Har man følgelig beregnet denne Bøining iforveien, saa vil det være let førend Binderens Reisning at spænde Trækbaandet i tilstrækkelig Grad, for at Tagstolstræberne kunne antage saadan Bøining, og naar de derpaa blive belastede, saa ophæver denne Bøining sig enten delvis eller ganske.

§ 303. *Anvendelser.* — Naar Tagstolstræberne af Træ have et rektangulært Tværsnit, er $A = ab$ og efter § 142 $\frac{v'}{I} = \frac{6}{ab^2}$, og Faktoren $\frac{5}{8}\frac{1-\cos^2 a}{\cos a} = \frac{5}{8}\frac{C'^2}{hC}$ er altid liden nok til, at man i Praxis uden mærkelig Feil kan sætte dens Middelværdie istedet. Saaledes er for de almindeligst brugte Heldinger af Tage med flade ophængte Tagsteen $a = 45°$ og $a = 57°$, og for hule tørt ophængte Tagsteen $a = 63°$. Nu finder man for denne Faktor følgende Værdier, alt eftersom man gjør

a lig	45°,	57°,	63°:
$\frac{5}{8}\frac{1-\cos^2 a}{\cos a} = \frac{5}{8}\frac{C'^2}{hC}$,	0,442,	0,807,	1,093;

Middelværdien heraf er 0,7807 eller 0,781.

For en Tagstolstræber med hvilketsomhelst Tværsnit vilde da R være:

$$R = pC\left(\frac{0{,}781}{A} + \frac{1}{8}\frac{C'v'}{I}\right),$$

forudsat at $C \sin a$ er Projektionen C' af Tagstolstræberne eller Halvparten af Totalbærevidden $2C'$ af Tagstolbinderen. Har Tagstolstræberen nu et rektangulært Tværsnit, saa er altsaa

$$R = pC\left(\frac{0{,}781}{ab} + \frac{3}{4}\frac{C'}{ab^2}\right),$$

følgelig $ab^2 = \frac{pC}{R}(0{,}781\,b + \frac{3}{4}C) = \frac{pC}{R}(0{,}781\,b + 0{,}75C')$.

Produktet pC er som allerede anført Totalvægten af Ta-

get med Indbegreb af Tagstolstræbernes Vægt, som man approximativt først beregner.

Sætter man R = 700000 Kilogrammer, som Oberst Ardant*) antager (959 ℔ pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt), saa erholder man den praktiske Formel:

$$ab^2 = pC(0{,}00000112\,b + 0{,}00000107\,C')$$

for almindeligt Tømmerværk, hvori Træet ikke er skarpkantet eller meget tørt; er det derimod firkantet og udsøgt, saa kan man godt sætte R = 800000 Kilogrammer (1096 ℔ for norsk Maal og Vægt) og man vil have Formlen

$$ab^2 = pC(0{,}000000976\,b + 0{,}0000009375\,C').$$

Anvender man endelig fuldkommen skarpkantet, udsøgt Træ, saa kan man endog sætte R = 1000000 Kilogrammer (1370 ℔ for norsk Maal og Vægt), og man erholder da den praktiske Formel

$$ab^2 = pC(0{,}000000781\,b + 0{,}00000075\,C').$$

Indrettes disse Formler for norsk Maal og Vægt, hvorved Længdemaalene som forhen ansættes i Tommer, og Trykkene i norske Pund, saa erholdes for R = 959 ℔:

$$ab^2 = pC(0{,}0008144\,b + 0{,}000782\,C');$$

for R = 1096 ℔:

$$ab^2 = pC(0{,}0007126\,b + 0{,}0006843\,C');$$

for R = 1370 ℔:

$$ab^2 = pC(0{,}00057\,b + 0{,}0005474\,C').$$

Disse Formler gjælde for Tagstolstræbere i simple Tagstole med Trækbjælke af Træ, og for de øvre Tagstolstræbere i Palladio's Tagstole, som ogsaa for Stræbere i Bindere med Trækbjælke af Jern.

Vi ville anvende Ovenstaaende paa de almindeligste Tilfælde; men iforveien er det nødvendigt at bestemme Belastningen pr. løbende Meter af Tagstolstræberens Længde.

*) Études théoriques et expérimentales sur les charpentes à grande portée.

§ 304. *Belastning af Tage pr. Quadratmeters Overflade.* — Denne Last er afhængig af Materialiernes Natur, som danne Taget paa Tømmerværket; ogsaa maa man holde Regning med den Mængde Snee, som Taget kan have at bære, ligesom med Vindens Virkning. De forskjellige Elementer af denne Beregning har Ardant anslaaet saaledes:

Tagets Slags.	Tagets Helding		Virkelig Vægt pr. Quadratmeter af Taget.	Mængde af Træ i Kubikmeter pr. Quadratmeter Tømmerværk.
	i Grader til Horizonten.	udtrykt ved Forholdet $\frac{C'}{h}$.		
	Grader		Kilogrammer	Kubikmetre *)
Flade Tagsteen med Hager	45 til 33	1,00 til 1,53	60	0,063
Tört nedlagte hule Tagsteen	27 „ 21	1,96 „ 2,60	75 til 90	0,058
I Kalk nedlagte hule Tagsteen	31 „ 27	1,66 „ 1,96	136	0,068
Skifer	45 „ 33	1,00 „ 1,53	38	0,056
Valtset Kobber	21 „ 18	2,60 „ 3,07	14	0,042
Zink No. 14	21 „ 18	2,60 „ 3,07	8,50	0,042
Galvaniseret Jernblik	21 „ 18	2,60 „ 3,07	8,50	0,042
Bituminös Asphalt	21 „ 18	2,60 „ 3,07	25,00	0,056

*) 1 Kubikmeter = 32,34587 norske Kubikfod.

G.

Man antager, at i Middeltal veier Fyr 550 Kilogrammer pr. Kubikmeter (34 ℔ pr. norsk Kubikfod) og Eg 900 Kilogrammer (55,7 ℔ pr. norsk Kubikfod).

Sneen veier 10 Gange mindre end Vand af lige Volumen, og den Høide, til hvilken den kan ophobe sig paa et Tag, er $0^m,50$; dette svarer til en Extrabelastning af 50 Kilogrammer pr. Quadratmeter; men man regner imidlertid kun 25 Kilogrammer (5 ℔ pr. norsk Quadratfod).

Betræffende Vinden, saa ere de Tryk, den udøver, kun forbigaaende, og man kan undlade at optage dem i Regningen. Imidlertid er det klogt at tage Hensyn til den, og derfor antager man, at Vinden har en Middelhastighed af 6 til 7 Metre (19 til 22 Fod norsk Maal).

De af Vinden perpendikulært paa een Quadratmeter (een Quadratfod norsk Maal og Vægt) udøvede Tryk ere:

Paa 1 Quadratmeter.		*Paa 1 norsk Quadratfod.*	
Vindens Hastighed.	Tryk i Kilogrammer.	Vindens Hastighed.	Tryk i norske Pund.
Metre	Kilogrammer	Fod	Pund
3,00	1,467	10,00	0,2260
5,00	2,908	16,00	0,5785
8,00	7,443	25,00	1,4125
10,85	13,691	35,00	2,7685
14,00	22,795	45,00	4,5765
20,00	46,520	64,00	9,2570
40,00 Orkan	186,080	128,00 Orkan	37,0278

§ 305. *Belastning af Tagene pr. Quadratmeter Overflade.* — Ved Hjælp af disse Elementer erholder man følgende Tabel:

Tækningsmaaden.	Galvaniserede Jernplader.	Zink No. 14.	Flade Tagsteen.	Skifer.	Hule, indmurede Tagstene.
Helding mod Horizonten	20°	20°	40°	40°	30°
Tagstolstræbernes Længde C	1,064 C′	1,064 C′	1,214 C′	1,214 C′	1,155 C′
Vægt pr. Quadratmeter af Taget*)	65Kil	65Kil	125Kil	100Kil	200Kil
Tagets Overflade for en Afstand mellem Binderne af 3m,50	3m□,724C′	3m□,724C′	4m□,249C′	4m□,249C′	4m□,043C′
Totallast af Tagstolstræberen, *p*C	242K,06 C′	242K,06 C′	531K,0 C′	425K,0 C′	808K,6 C′
For norsk Maal og Vægt blive disse Störrelser:					
Helding mod Horizonten	20°	20°	40°	40°	30°
Tagstolstræbernes Længde C	1,064 C′	1,064 C′	1,214 C′	1,214 C′	1,155 C′
Vægt pr. Quadrattomme af Taget*)	0,08905 ℔	0,08905 ℔	0,17125 ℔	0,137 ℔	0,274 ℔
Tagets Overflade for en Afstand mellem Binderne af 133,82 Tommer	142,384 C′ □ Tom.	142,384 C′ □ Tom.	162,46 C′ □ Tom.	162,46 C′ □ Tom.	154,56 C′ □ Tom.
Totallast af Tagstolstræberen, *p*C	12,68 C′ ℔	12,68 C′ ℔	27,82 C′ ℔	22,257C′ ℔	42,35 C′ ℔

*) Heri er medregnet Vægten af Tømmeret i Afbindingen, anslaaet approximativt og antaget af Fyr, af et Lag Snee af 0m,25 (10 Tommer) Tykkelse, og Trykket af Vinden, regnet til 6 til 7 Metres (19 til 22 Fods) Hastighed. C′ betegner her Binderens halve Bærevidde.

Praktiske Formler til Beregning af Dimensionerne for Tagstolstræberne af Træ i simple Bindere med Trækbjælker af Træ eller Jern, og de övre Tagstolstræbere i Bindere efter Palladio.

Tækningsmaade.	Formler for Værdierne af R lig:		
	700000 Kilogrammer. Raat tilhugget Tömmer.	800000 Kilogrammer. Med Bilen tilhugget Tömmer.	1000000 Kilogrammer. Udsögt, skarpkantet Tömmer.
	ab^2	ab^2	ab^2
Galvaniseret Jernblik og Zink	$242{,}0\,C'(0{,}00000112\,b+0{,}00000107\,C')$	$242{,}0C'(0{,}000000976b+0{,}0000009375C')$	$242{,}0C'(0{,}0000007781b+0{,}00000075C')$
Skifer	$425{,}0\,C'(0{,}00000112\,b+0{,}00000107\,C')$	$425{,}0C'(0{,}000000976b+0{,}0000009375C')$	$425{,}0C'(0{,}0000007781b+0{,}00000075C')$
Flade Tagsteen	$531{,}0\,C'(0{,}00000112\,b+0{,}00000107\,C')$	$531{,}0C'(0{,}000000976b+0{,}0000009375C')$	$531{,}0C'(0{,}0000007781b+0{,}00000075C')$
I Kalk lagte hule Tagsteen . . .	$808{,}6\,C'(0{,}00000112\,b+0{,}00000107\,C')$	$808{,}6C'(0{,}000000976b+0{,}0000009375C')$	$808{,}6C'(0{,}0000007781b+0{,}00000075C')$
	For norsk Maal og Vægt blive disse Formler:		
	R = 959 Pund.	R = 1096 Pund.	R = 1370 Pund.
	ab^2	ab^2	ab^2
Galvaniseret Jernblik og Zink	$12{,}68\;\;C'(0{,}0008144\,b+0{,}000782\,C')$	$12{,}68\;\;C'(0{,}0007126\,b+0{,}0006843\,C')$	$12{,}68\;\;C'(0{,}00057\,b+0{,}0005474\,C')$
Skifer	$22{,}257\,C'(0{,}0008144\,b+0{,}000782\,C')$	$22{,}257\,C'(0{,}0007126\,b+0{,}0006843\,C')$	$22{,}257\,C'(0{,}00057\,b+0{,}0005474\,C')$
Flade Tagsteen	$27{,}82\;\;C'(0{,}0008144\,b+0{,}000782\,C')$	$27{,}82\;\;C'(0{,}0007126\,b+0{,}0006843\,C')$	$27{,}82\;\;C'(0{,}00057\,b+0{,}0005474\,C')$
I Kalk lagte hule Tagsteen . . .	$42{,}35\;\;C'(0{,}0008144\,b+0{,}000782\,C')$	$42{,}35\;\;C'(0{,}0007126\,b+0{,}0006843\,C')$	$42{,}35\;\;C'(0{,}00057\,b+0{,}0005474\,C')$

Af de foregaaende Angivelser udledes foranstaaende Tabel over de Formler, som blive at anvende, alt eftersom man giver R de forskjellige Værdier, som ere passende til Qualiteten af det Træ, der er brugt til Binderen.

De Bjælker, som man anvender til Tagstolstræberne, have i Almindelighed ikke noget quadratisk Tværsnit, og af Chevandier's og Wertheim's Forsøg (§ 226) seer man, at Træet i almindelige Tømmerforbindelser, hvilket firhugges med Øxe i Skovene, sædvanligen har en Bredde a lig 0,9 af Høiden eller Tykkelsen b; men vedkommende det Tømmer, som firskjæres med Saug, da er man Herre over de Proportioner, som bør fastsættes mellem Dimensionerne; og da Saugningen kun forvolder et ringe Tab af Træ, og tilsteder at nyttiggjøre sig de bortskaarne Dele, saa antage vi for udsøgte Bjælker, at $a = 0{,}75\,b$.

Ved Anvendelsen af de foranstaaende Formler ville vi altsaa gjøre:

for grovhugget Træ med Vankanter . . . . . $a = b$;
„ med Bilen tilhugget Træ . . . . $a = 0{,}9b$;
„ med Saugen tilskaarne, skarpkantede Træer . . . . . $a = 0{,}75b$.

Heraf udledes Høiden eller Tykkelsen b, som det er passende at give Tagstolstræberne, alt efter Bæreviddens Størrelse, og følgelig ogsaa af de tilsvarende Værdier af a.

Men for at simpelgjøre Beregningen, eller for idetmindste at erholde en første tilnærmet Værdie af denne Tykkelse b, kan man i det andet Led af disse Formler sætte det Udtryk, som indeholder Elementet b, ud af Betragtning, forudsat at det i Regelen kun stiger til 0,01 af det Led, som indeholder Binderens halve Bærevidde; og dersom man tillige anvender de ovenangivne Forholde mellem a og b, saa reducere Formlerne sig til de Udtryk, som indeholdes i følgende Tabel:

Tækningsmaade.	Formler for Værdierne af R lig:		
	700000Kil Grovt tilhugget Tömmer. $a=b$.	800000Kil Med Bilen tilhugget Tömmer. $a=0{,}90b$.	1000000Kil Udsögt, skarpkantet Tömmer. $a=0{,}75b$.
Galvaniseret Jernblik og Zink No. 14	$b^3=0{,}00026\,C'^2$	$b^3=0{,}00026\,C'^2$	$b^3=0{,}00024\,C'^2$
Skifer	$b^3=0{,}00045\,C'^2$	$b^3=0{,}00043\,C'^2$	$b^3=0{,}00043\,C'^2$
Flade Tagsteen	$b^3=0{,}00057\,C'^2$	$b^3=0{,}00056\,C'^2$	$b^3=0{,}00053\,C'^2$
I Kalk lagte hule Tagsteen	$b^3=0{,}00087\,C'^2$	$b^3=0{,}00084\,C'^2$	$b^3=0{,}00081\,C'^2$
	For norsk Maal og Vægt blive disse Formler:		
	R = 959 Pund.	R=1096 Pund.	R=1370 Pund.
Galvaniseret Jernblik og Zink No. 14	$b^3=0{,}00901\,C'^2$	$b^3=0{,}00964\,C'^2$	$b^3=0{,}00930\,C'^2$
Skifer	$b^3=0{,}01740\,C'^2$	$b^3=0{,}01692\,C'^2$	$b^3=0{,}01624\,C'^2$
Flade Tagsteen	$b^3=0{,}02180\,C'^2$	$b^3=0{,}02120\,C'^2$	$b^3=0{,}02031\,C'^2$
I Kalk lagte hule Tagsteen	$b^3=0{,}03312\,C'^2$	$b^3=0{,}03220\,C'^2$	$b^3=0{,}03091\,C'^2$

Man kan let overbevise sig om, hvorvidt Værdien af disse Formler ligger nær den, som erholdes af de foregaaende. Antage vi f. Ex. det Tilfælde, hvori Forskjellen skulde være den største, nemlig det, som har den største Belastning og de raaeste Bjælker, hvilket Tilfælde gjælder for hule i Kalk lagte Tagsteen, og sætte vi $C'=6^m{,}00$ i Formlen $b^3=0{,}00087C'^2$, saa erholde vi $b^3=0{,}0313$, og følgelig $b=0^m{,}314$. Indsætter man derpaa denne Værdie i det andet Led i Formlen i § 305 med

$$b^3=808{,}6\,C'(0{,}00000112b+0{,}00000107\,C'),$$

saa erholde vi

$$b^3=808{,}6\times 6^m{,}00\,(0{,}00000035+0{,}00000632)=0{,}0328,$$

følgelig $b=0^m{,}32$.

(Gjøres samme Anvendelse for norsk Maal og Vægt, saa er $C'=6^m{,}00=229{,}4$ Tommer norsk, og $C'^2=52624{,}36$ □ Tommer, altsaa $b^3=0{,}03312\times 52624{,}36=1743$, og $b=12{,}03$ Tommer $=0^m{,}314$ som oven. Indsætter man derpaa denne Værdie i det andet Led i Formlen (§ 305), saa erholdes:

$$b^3=42{,}35\times 229{,}4\,(0{,}0098+0{,}17939),$$

eller

$$b^3 = 9715{,}09 \times 0{,}189 = 1836;$$

følgelig $b = 12{,}24$ Tommer, der ligeledes svarer til $b = 0^m{,}32$).

Forskjellen mellem disse to Værdier er temmelig svag, saa at man i de fleste Tilfælde kan anvende de reducerede Formler, saaledes som de ere indtagne i ovenstaaende Tabel.

§ 306. *Anvendelse af foranstaaende Formler.* — Som Anvendelse af de ovenstaaende Formler give vi her en Tabel over Dimensionerne af Tagstolstræbere i simple Bindere af forskjellige Bærevidder, og dette for grovt tilhugget, for med Bilen tilhugget, og for udsøgt skarpkantet Træ.

Dersom man sammenligner de i denne Tabel indeholdte Dimensioner med dem, som fordum vare antagne i Metzerskolen, og som svarede til de i Almindelighed i Landet brugelige Tagstole og til Tækning med hule Tagsteen, saa vil man for dette Tilfælde see en næsten fuldkommen Overensstemmelse. Saaledes ere Dimensionerne for simple Bindere med Tækning af hule Tagsteen i Lothringen følgende:

	6m	9m	12m
Ifölge Skolen i Metz (1820)	0m,22 til 0m,190	0m,26 til 0m,24	0m,32 til 0m,30
Foreslaaet Formel: $b^3 = 0{,}00087\ C'^2$ . . .	0m,199	0m,260	0m,316

Tækningsmaade.	Binderens Bærevidde $2C'$.	Grovt tilhugget Træ	Med Bilen tilhugget Træ $a = 0{,}90b$.		Udsögt skarpkantet Træ $a = 0{,}75b$.	
		$a = b$.	b	a	b	a
		$b^3 = 0{,}00026\ C'^2$	$b^3 = 0{,}000252\ C'^2$		$b^3 = 0{,}00024\ C'^2$	
	Metre	Meter	Meter	Meter	Meter	Meter
Zink No. 14.	5,00	0,118	0,117	0,105	0,114	0,086
	6,00	0,133	0,131	0,117	0,130	0,098
	8,00	0,161	0,159	0,143	0,157	0,118
	10,00	0,187	0,184	0,165	0,182	0,137
	12,00	0,211	0,208	0,187	0,205	0,144
		$b^3 = 0{,}00045\ C'^2$	$b^3 = 0{,}00044\ C'^2$		$b^3 = 0{,}00043\ C'^2$	
Skifer.	5,00	0,141	0,140	0,126	0,139	0,104
	6,00	0,160	0,158	0,142	0,157	0,118
	8,00	0,194	0,192	0,173	0,190	0,143
	10,00	0,224	0,223	0,201	0,220	0,165
	12,00	0,253	0,251	0,226	0,250	0,188

Tækningsmaade.	Binderens Bærevidde $2C'$.	Grovt tilhugget Træ $a=b$.	Med Bilen tilhugget Træ $a=0{,}90b$.		Udsögt skarpkantet Træ $a=0{,}75b$.	
			b	a	b	a
		$b^3=0{,}00057\,C'^2$	$b^3=0{,}000553\,C'^2$		$b^3=0{,}00053\,C'^2$	
	Metre	Meter	Meter	Meter	Meter	Meter
Flade Tagsteen.	5,00	0,153	0,152	0,137	0,149	0,112
	6,00	0,173	0,171	0,154	0,168	0,126
	8,00	0,209	0,207	0,186	0,204	0,153
	10,00	0,243	0,240	0,216	0,237	0,178
	12,00	0,274	0,270	0,243	0,261	0,200
		$b^3=0{,}00087\,C'^2$	$b^3=0{,}00084\,C'^2$		$b^3=0{,}00081\,C'^2$	
Huleindmurede Do.	5,00	0,176	0,174	0,157	0,172	0,129
	6,00	0,199	0,196	0,176	0,194	0,146
	8,00	0,240	0,237	0,213	0,235	0,176
	10,00	0,279	0,276	0,248	0,273	0,205
	12,00	0,315	0,311	0,280	0,307	0,230

§ 307. *Formler for Tagstolstræbere eller Spærrer af Smedejern.* — Ved Tage af Jern have Tagstolstræberne ofte Formen af et Prisma med rektangulært Tværsnit, og man anvender da det flade Stangjern af de i Handelen sædvanlige Dimensioner, hvis Tykkelse a ialmindelighed er $\frac{1}{5}$ af Bredden b. Modstandskoefficienten R maa for store Konstruktioner, som i enhver Henseende maae frembyde den største Sikkerhed, fremdeles være 6000000 Kilogrammer (8220 ℔ for norsk Maal og Vægt), og 8000000 Kilogrammer (10960 ℔ for norsk Maal og Vægt) for mindre Konstruktioner, som kunne være lettere.

Heldingen er aldrig under 20°; a er da $= 70°$,

og $$\frac{5}{8}\frac{1-\cos^2 a}{\cos a}=\frac{5C'^2}{8hC}=1{,}614,\quad C\sin a=C',$$

og Formlen fra § 303 bliver

$$R=1{,}614\frac{pC}{A}+0{,}125\,C'\frac{v'}{I}pC,$$

eller for de rektangulære Tværsnit:

$$ab^2=\left(\frac{1{,}614b}{R}+\frac{0{,}750\,C'}{R}\right)pC.$$

Men i dette Tilfælde behøver man endnu mindre end for Træ at tage Hensyn til Udtrykket i Formlens andet Led, som indeholder Høiden eller Tykkelsen b, og da reducerer den sig til

$$ab^2 = \frac{pC}{R} \times 0{,}75\ C'.$$

Forresten anvender man i dette Tilfælde næsten udelukkende Tækning med Zink eller galvaniseret Jernblik, hvorved Tagenes Helding mod Horizonten kan reduceres til 20°, saaledes, at man ifølge det Foregaaende i denne Formel maa sætte $a = \frac{1}{5}b$, $pC = 242{,}06\ C'$ Kilogrammer, $R = 6000000$ eller 8000000 Kilogrammer. Herved opstaae følgende Værdier:

for store Konstruktioner, $b^3 = 0{,}0000303\ C'^2$*),
for lette Konstruktioner, $b^3 = 0{,}0000227\ C'^2$.

Naar vi som forhen indrette disse Formler for norsk Maal og Vægt, gjøres $a = \frac{1}{5}b$, $pC = 12{,}68\ C'$ ℔ (§ 305), $R = 8220$ eller 10960 ℔, og man erholder følgende Værdier:

for store Konstruktioner, $b^3 = 0{,}001157\ C'^2$*),
for lette Konstruktioner, $b^3 = 0{,}0008677\ C'^2$.

---

*) Disse Formler maae gjælde for $a = b$; thi sættes $a = \frac{1}{5}b$, saa bliver:

$$\tfrac{1}{5}b^3 = \frac{242{,}06}{6000000} \times 0{,}75\ C'^2, \text{ og } b^3 = 0{,}0001513\ C'^2;$$

$$\text{og } \tfrac{1}{5}b^3 = \frac{242{,}06}{8000000} \times 0{,}75\ C'^2, \text{ og } b^3 = 0{,}0001134\ C'^2.$$

Ligeledes for norsk Maal og Vægt:

$$\tfrac{1}{5}b^3 = \frac{12{,}68}{8220} \times 0{,}75\ C'^2, \text{ og } b^3 = 0{,}005785\ C'^2;$$

$$\text{samt } \tfrac{1}{5}b^3 = \frac{12{,}68}{10960} \times 0{,}75\ C'^2, \text{ og } b^3 = 0{,}004338\ C'^2.$$

G.

§ 308. *Tagstolstræbere med Ribber.* — Ved store Konstruktioner i Jern giver man Tagstolstræberne Profilet af et dobbelt T, hvorom der var Tale i § 245.

I dette Tilfælde erindrer man sig fra § 144, at man har

$$\frac{I}{v'} = \frac{1}{6}\frac{(ab^3 - 2a'b'^3)}{b}, \text{ hvoraf } \frac{v'}{I} = \frac{6b}{ab^3 - 2a'b'^3};$$

og da man ogsaa har $A = ab - 2a'b'$, saa bliver Formlen i § 303:

$$R = pC\left(\frac{1{,}614}{A} + \frac{1}{8}\frac{C'v'}{I}\right)$$

til

$$R = \left(\frac{1{,}614}{ab - 2a'b'} + \frac{0{,}125\, C' \times 6b}{ab^3 - 2a'b'^3}\right)pC.$$

Man kan a priori mellem Størrelserne a, b, a', b' antage tre Forbindelser, f. Ex. følgende:

$$a = 0{,}6b,\ a' = 0{,}40a = 0{,}24b,\ b' = 1{,}25a = 0{,}75b,$$

og Formlen bliver da

$$R = \left(\frac{1{,}614b}{0{,}24b^3} + \frac{0{,}75\, C'}{0{,}398b^3}\right)pC;$$

hvoraf man ved at gjøre $R = 6000000$ Kilogrammer (8220 ℔ for norsk Maal og Vægt) erholder

$$b^3 = (0{,}00000112b + 0{,}000000314\, C')pC,$$

eller for norsk Maal og Vægt:

$$b^3 = (0{,}000818b + 0{,}0002292\, C')pC.$$

I de fleste Tilfælde kan man sætte Udtrykket b i andet Led med Hensyn til Tagstolstræberens Spænding ud af Betragtning, og saasom man næsten altid anvender Zink til disse Tage, saa kan man ogsaa her sætte $pC = 242{,}06\, C'$ Kilogrammer (12,68 C' ℔ for norsk Maal og Vægt), hvilket giver den praktiske Formel:

$$b^3 = 0{,}000000314 \times 242{,}06\, C'^2 = 0{,}000076\, C'^2,$$

eller for norsk Maal og Vægt:

$$b^3 = 0{,}0002292 \times 12{,}68\ C'^2 = 0{,}002906\ C'^2.$$

§ 309. *Anvendelse paa Tage i Jernbanestationerne i Saint-Germain og Versailles.* — Ifølge de af Bygmestrene antagne Dimensioner er

$$\text{tang}\, a = \frac{C'}{h} = \frac{13{,}615}{6} = 2{,}26916 = \text{tang}\, 66°13',$$

hvoraf

$$\tfrac{5}{8}\,\frac{1-\cos^2 a}{\cos a} = 1{,}298,\quad b = 0^m{,}118,\quad a = 0^m{,}080,$$

$$b' = 0^m{,}098,\quad a' = 0^m{,}035;$$

hvilket giver Forholdene:

$$a = 0{,}678b,\quad b' = 0{,}830b,\quad a' = 0{,}297b.$$

Heraf følger

$$R = \left(\frac{1{,}298}{0{,}185b^2} + \frac{0{,}75\ C'}{0{,}3397b^3}\right) pC;$$

hvoraf

$$b^3 = \left(\frac{1{,}298}{0{,}185 \times 6000000}\, b + \frac{0{,}75\ C'}{0{,}3397 \times 6000000}\right) pC =$$

$$= (0{,}00000117b + 0{,}000000368)\, pC;$$

dersom man bortkaster Udtrykket med b i Formlens andet Led og gjør $pC = 242{,}06\ C'$ Kilogrammer, saa bliver Formlen:

$$b^3 = 0{,}0000891\ C'^2.$$

Behandles det samme Exempel med norsk Maal og Vægt, saa bliver $b = 4{,}5116$ Tommer; de øvrige Forhold ere de samme, nemlig $a = 0{,}678b$, $b' = 0{,}830b$, $a' = 0{,}297b$, hvoraf man erholder

$$R = \left(\frac{1{,}298}{0{,}185b^2} + \frac{0{,}75\ C'}{0{,}3397b^3}\right) pC;$$

hvoraf

$$b^3 = \left(\frac{1{,}298}{0{,}185 \times 8220} b + \frac{0{,}75\,C'}{0{,}3397 \times 8220}\right) pC =$$
$$= (0{,}0008535 b + 0{,}0002686) pC.$$

Dersom man bortkaster Ledet med b og gjør som forhen $pC = 12{,}68\,C'$ ℔, saa bliver Formlen

$$b^3 = 0{,}0034058\,C'^2.$$

Men det maa imidlertid bemærkes, at de saaledes opstillede Formler sætte ud af Betragtning den Tilvæxt af Modstand, som Træk- og Stræbebaandene yde Tagstolstræberne. Vi ville senere komme tilbage hertil.

§ 310. *Bemærkninger over Anvendelsen af T-Jern med en given Form.* — Man har seet i § 245, at de dobbelte T-Jern ere gjorte efter Modeller, bestemte ved Fabrikkernes Apparater, og mellem hvilke det er bedre at vælge dem, som have den nødvendige Styrke, end at lade gjøre en ny Model. For at træffe saadant Valg maa man have for Øie, at Tagstole af Jern næsten altid ere tækkede med Zink eller galvaniseret Jernblik, og ved at antage Afstanden mellem Binderne til $3^m{,}50$ (133,82 Tommer norsk Maal) kan man fastsætte den paa Tagstolstræberen eller Spærren ensformig fordelte Belastning til Værdien $pC = 242{,}06\,C'$ Kilogrammer ($12{,}68\,C'$ ℔ for Formlerne i norsk Maal og Vægt), hvilken man har fundet for Tækning med Zink af Tagstole af Træ. Dersom Binderne ere mere eller mindre fjernede fra hinanden end $3^m{,}50$, saa maa man gjøre Værdien pC forholdsmæssig større eller mindre.

I ethvert Tilfælde har man Værdien af pC og følgelig $\frac{1}{2}pC^2$, naar man multiplicerer den med $\frac{1}{2}C$, og man kan derpaa henholde sig til Tabellen i § 245, for at finde Proportionen af det Jern, der er tjenligt til Tagstolstræbere for den antagne Tagstol.

Exempel. Dersom man f. Ex. har $2C' = 12^m{,}00$, saa erholder man

$$pC = 242^{Kil},06 \times 6 = 1452^{Kil},36$$

og $$\frac{1}{2}pC^2 = 1452^{Kil},36 \times 3 = 4357^{Kil},08.$$

Denne Værdie tilsvarer det Tilfælde, hvor Tagstolstræberne eller Spærrerne staae $3^m,50$ fra hinanden, og dersom man sammenligner den med Tabellen i § 245, saa seer man, at der ikke findes T-Jern, som ere istand til med Sikkerhed at kunne bære denne Belastning. Fordobler man derimod Bindernes Antal ved at indskrænke Afstanden mellem dem til $1^m,75$, saa bliver ogsaa Værdien af $\frac{1}{2}pC^2$ reduceret til det Halve, og er altsaa lig 2178,54, og man seer da, at T-Jernet P_8 fra Fabrikken de la Providence, af $0^m,260$ Høide med $0^m,020$ Tykkelse i Legemet og $0^m,071$ Bredde over og under, skulde med Sikkerhed kunne anvendes som Spærre for en eneste horizontal Bærevidde af $6^m,00$.

§ 311. *Trækbaandenes Dimensioner.* — Som man har seet i § 301, ere de horizontale Trækbaand eller Spændbjælker underkastede en meget ofte betydelig Trækkekraft, som udtrykkes ved den horizontale Komponent

$$Q = \frac{5}{8}pC \text{ tang } a;$$

og naar man kalder h Høiden af Tagrøstningen over Trækbaandet, eller Høiden af Tagstolen, og $2C'$ den horizontale Bærevidde, hvilket giver tang $a = \frac{C'}{h}$, saa bliver dette

Udtryk $$Q = \frac{5}{8}pC\frac{C'}{h}.$$

Herved er tillige udtrykt det Tryk, som Strækbernes eller Spærrernes Fødder udøve paa Svillerne eller Fodstykkerne for at drive dem fra hinanden, og det er klart, at dette Tryk er en Brøkdel af Spærrens Belastning pC, et Tryk, der er saameget større, som Binderens Høide er mindre i Forhold til dens Bærevidde. Trækbaandet bærer og ophæver dette Tryk ved dets Modstand mod Træk efter Længden; men det maa ogsaa i visse Tilfælde være istand

til at udholde en ensformig fordelt Belastning, naar det er bestemt til at bære Gulvet til et Pak- eller Kornloft.

Ved herpaa at anvende Formlen i § 136, gjentagen i § 299:

$$R = \frac{T}{A} + \frac{Mv'}{I},$$

maa man gjøre

$$T = \tfrac{5}{8} pC \frac{C'}{h} \text{ og } M = \tfrac{1}{2} p' C'^2,$$

idet p' betegner den ensformig fordelte Belastning, som det skal bære, eller dets egen Vægt, dersom det ikke har Noget at bære.

Ovenstaaende Formel bliver da:

$$R = \tfrac{5}{8} \frac{pC}{A} \cdot \frac{C'}{h} + \tfrac{1}{2} p' C'^2 \cdot \frac{v'}{I}.$$

For Tagforbindelser af Træ og for visse Tagværk af Jern er Tværsnittet rektangulært, og man har

$$A = ab \text{ og } \frac{v'}{I} = \frac{6}{ab^2},$$

hvilket giver $$R = \tfrac{5}{8} \frac{pC}{ab} \cdot \frac{C'}{h} + \frac{3p'C'^2}{ab^2},$$

hvoraf $$ab = \frac{1}{R}\left(\tfrac{5}{8} pC \frac{C'}{h} + \frac{3p'C'^2}{b} \right).$$

Men nu er i det Høieste

for Zink . . . . . $\frac{C'}{h} = \text{tang } 70° = 2{,}748,$

„ flade Tagsteen og Skifer $\frac{C'}{h} = \text{tang } 50° = 1{,}192,$

„ hule indmurede Tagsteen $\frac{C'}{h} = \text{tang } 60° = 1{,}732.$

Forresten har man i Tabellen i § 305 Værdierne af Belastningen pC, og saaledes udleder man deraf følgende

praktiske Formler, idet man bortkaster det andet Led, i hvilket Faktoren p' altid sammenlignelsesvis er meget liden.

Tækningsmaade.	Trækbaand eller Spændbjælker af Jern, hvis Tværsnit er			
	rektangulært, $a=\frac{1}{5}b$.		sirkulært.	
	Metrisk Maal og Vægt.	Norsk Maal og Vægt.	Metrisk Maal og Vægt.	Norsk Maal og Vægt.
Zink No. 14 . .	$b^3=0{,}000346\,C'$	$b^3=0{,}01325\,C'$	$d^3=0{,}0000882C'$	$d^3=0{,}003374C'$
Skifer	$b^3=0{,}000264\,C'$	$b^3=0{,}01009\,C'$	$d^3=0{,}0000672C'$	$d^3=0{,}002570C'$
Flade Tagsteen	$b^2=0{,}000330\,C'$	$b^3=0{,}01260\,C'$	$d^3=0{,}0000840C'$	$d^3=0{,}003210C'$
Hule i Kalk lagte Tagsteen . . .	$b^3=0{,}000729\,C'$	$b^3=0{,}02790\,C'$	$d^3=0{,}0001860C'$	$d^3=0{,}007103C'$

§ 312. *Tilfælde, hvor Trækbaandet ikke er horizontalt.* — Dersom Trækbaandet af Jern ikke er horizontalt, men derimod hævet imod Røstet, saaledes som det undertiden bruges, saa maa (Pl. V, Fig. 16) Spændingen aabenbart blive forøget i Trækbaandet i Forhold som Røstets Høide h over Horizontalen af Underlagene til Perpendikulæren h_1, nedfældet fra Røstet paa Trækbaandets heldende Retning. Momentet af det mod Røstet stigende Trækbaands Spænding maa ogsaa virkeligen være lig Momentet af det horizontale Trækbaand med Hensyn til samme Punkt, saasom det ene ligesaavel som det andet maa frembringe Ligevægt med Reaktionen af Underlaget eller af Muren, som søger at dreie Tagstolstræberen eller Spærren om Røstet. Man behøver altsaa kun at multiplicere det andet Led af ovenstaaende Formel med Forholdet $\frac{h}{h_1}$ for at erholde Værdien af b^2 eller d^2.

§ 313. *Tabel over Spændbjælkernes og Trækbaandenes Dimensioner.* — Den følgende Tabel giver Dimensionerne af Trækbaandene for de Tilfælde, hvor de ikke have at bære noget Gulv og kun have til Hensigt at forhindre Adskillelsen af Tagstolstræbernes eller Spærrernes Fødder, saaledes som Tilfældet er ved Stationspladse, Skuur o. s. v.

Tabel over Spændbjælkernes og Trækbaandenes Dimensioner i simple Bindere af forskjellig Bæreevidde.

$$ab = \frac{1}{R}\left(\frac{5}{8}\frac{pCC'}{h} + 3dAC'^2\right).$$

Tækningsmaade.	Horizontal Bæreevidde $2C'$.	Ikke firhugget Træ. R = 700000 Kilogrammer.	R = 6000000 Kilogrammer.	
		$b^2 = 0{,}000000893\, pC\frac{C'}{h} + 0{,}00000423\, dA\, C'^2$ med Spændbjælkens Vægt. $a = h$.	Rektangulært Tværsnit. $b^2 = \frac{5}{8}\cdot\frac{pC}{6000000}\cdot\frac{C'}{h}$. $a = \frac{1}{2}b$.	Cirkulært Tværsnit. $d^2 = \frac{5 \cdot 1{,}273}{8} \times \frac{pC}{6000000}\cdot\frac{C'}{h}$.
Zink No. 14. $pC = 242{,}06\, C'$ $\frac{C'}{h} = 2{,}748$.	Metre 5	$b^2 = 0{,}000594\, C' + 0{,}00344\, A\, C'^2$	$b^2 = 0{,}000347\, C'$	$d^2 = 0{,}0000885\, C'$
	6	$a = b = 0{,}051$ Meter	$b = 0{,}0294$, Meter $a = 0{,}0059$ Meter	$d = 0{,}0149$ Meter
	8	$= 0{,}061$	$= 0{,}0323$, $= 0{,}0065$	$= 0{,}0166$
	10	$= 0{,}084$	$= 0{,}0374$, $= 0{,}0075$	$= 0{,}0188$
	12	$= 0{,}113$	$= 0{,}0416$, $= 0{,}0083$	$= 0{,}021$
		$= 0{,}148$	$= 0{,}0457$, $= 0{,}0091$	$= 0{,}023$
Skifer. $pC = 425.\, C'$ $\frac{C'}{h} = 1{,}192$.		$b^2 = 0{,}00045\, C' + 0{,}00344\, A\, C'^2$	$b^2 = 0{,}000264\, C'$	$d^2 = 0{,}0000674\, C'$
	5	$a = b = 0{,}040$	$b = 0{,}0258$, $a = 0{,}0052$	$d = 0{,}013$
	6	$= 0{,}055$	$= 0{,}0281$, $= 0{,}0056$	$= 0{,}014$
	8	$= 0{,}084$	$= 0{,}0326$, $= 0{,}0065$	$= 0{,}017$
	10	$= 0{,}107$	$= 0{,}0364$, $= 0{,}0073$	$= 0{,}019$
	12	$= 0{,}143$	$= 0{,}0400$, $= 0{,}0080$	$= 0{,}020$

Dimensionerne for Spændbjælker af Træ, saaledes som de angives i ovenstaaende Tabel, synes muligens for Praxis at være for svage; man maa imidlertid ikke forglemme, ligesom vi allerede ovenfor have sagt, at de kun ere bereg-

Tækningsmaade.	Horizontal Bærevidde $2C'$.	Ikke firhugget Træ. R = 700000 Kilogrammer. $b^2 = 0{,}000000893\ pC\ \frac{C'}{h} + 0{,}00000423\ dA\ C'^2$ med Spændbjælkens Vægt. $a = b$.	Jern. R = 6000000 Kilogrammer. Rektangulært Tværsnit. $b^2 = \frac{9}{8} \cdot \frac{pC}{6000000} \cdot \frac{C'}{h}$. $a = \frac{1}{5} b$.	Jern. R = 6000000 Kilogrammer. Sirkulært Tværsnit. $d^2 = \frac{5.1{,}273}{8} \times \frac{pC}{6000000} \cdot \frac{C'}{h}$.
		$b^2 = 0{,}000565\ C' + 0{,}00344\ A\ C'^2$	$b^2 = 0{,}000329\ C'$	$d^2 = 0{,}000084\ C'$
	Meter	Meter	Meter Meter	Meter
Flade Tagsteen $pC = 531.\ C'$ $\frac{C'}{h} = 1{,}192.$	5	$a = b = 0{,}050$	$b = 0{,}0287,\ a = 0{,}0057$	$d = 0{,}0145$
	6	$= 0{,}060$	$= 0{,}0315,\ = 0{,}0060$	$= 0{,}0160$
	8	$= 0{,}083$	$= 0{,}0363,\ = 0{,}0070$	$= 0{,}0184$
	10	$= 0{,}112$	$= 0{,}0410,\ = 0{,}0080$	$= 0{,}0206$
	12	$= 0{,}147$	$= 0{,}0450,\ = 0{,}0090$	$= 0{,}0225$
		$b^2 = 0{,}00125\ C' + 0{,}00344\ A\ C'^2$	$b^2 = 0{,}000729\ C'$	$d^2 = 0{,}000186\ C'$
Hule Tagsteen. $pC = 808{,}6\ C'$ $\frac{C'}{h} = 1{,}732.$	5	$a = b = 0{,}068$	$b = 0{,}043,\ a = 0{,}009$	$d = 0{,}022$
	6	$= 0{,}079$	$= 0{,}047,\ = 0{,}009$	$= 0{,}024$
	8	$= 0{,}104$	$= 0{,}057,\ = 0{,}011$	$= 0{,}027$
	10	$= 0{,}133$	$= 0{,}061,\ = 0{,}012$	$= 0{,}031$
	12	$= 0{,}169$	$= 0{,}066,\ = 0{,}013$	$= 0{,}034$

Anmærkning. Ved de Pegina 12 angivne Reduktionskoefficienter forvandles letteleg ovenstaende Dimensioner i norsk Maal.

nede for det Tilfælde, hvor Spændbjælken ikke har at bære nogen Last eller noget Gulv, hvilket vel sjelden indtræffer, men undertiden finder Sted ved Bygning af Skuur. Dette beviser kun, at man i det sidste Tilfælde kan bygge

med stor Lethed. Men i sædvanlige Tilfælde, hvor Spændbjælken endnu skal bære en Tillægsbelastning, maa man henty til Formlen i § 311

$$ab = \frac{1}{R}\left(\tfrac{5}{8}pC\frac{C'}{h} + \frac{3p'C'^2}{b}\right).$$

Sædvanligvis gjør man Trækbaandenes eller Spændbjælkernes Tværsnit quadratisk, for at de kunne blive bredere end de med dem forbundne Tagstolstræbere, medmindre man anvender Spændbjælker som Tænger. Er Tværsnittet et Quadrat, saa har man $a = b$, og ovenstaaende Ligning bliver:

$$a^2 = \frac{1}{R}\left(\tfrac{5}{8}pC\frac{C'}{h} + \frac{3p'C'^2}{a}\right).$$

Under denne Form vilde den føre til en Æquation af tredie Grad, hvis Opløsning ikke er let nok for Praxis. Dersom man alligevel ansaae det nødvendigt for et enkelt Tilfælde at opløse den, saa kunde man lettelig opnaae dette ved den af os allerede i andre Dele af disse Foredrag ofte angivne graphiske Methode.

Dersom man bemærker, at i det Tilfælde, hvor Spændbjælkerne skulle bære et Gulv, den deraf udspringende Belastning altid har langt større Indflydelse end den af Spærrens Virkning frembragte Spænding, hvilket man kan overbevise sig om ved selve Anvendelsen, saa kan man i dette Tilfælde sætte Spærrens Virkning ud af Betragtning med Hensyn til den Last, som skal bæres, og da vil Formlen reduceres til den for Legemer, der ere belastede med en ensformig efter Længden fordelt Belastning:

$$R = \tfrac{1}{2}\frac{p'C'^2v'}{1},$$

hvilken for det Tilfælde, at Legemet har et rektangulært Tværsnit, giver

$$ab^2 = \frac{3p'C'^2}{R}$$

og bliver: for ikke firhugget Træ, hvor $a = b$, R = 700000 Kilogrammer: . . . . . $b^3 = \frac{p'C'^2}{233333}$;

for firhugget Træ,

$a = 0{,}9b$, R = 800000 Kilogrammer: $b^3 = \frac{p'C'^2}{240000}$;

for Træ med skarpe Kanter,

$a = 0{,}75b$, R = 1000000 Kilogrammer: $b^3 = \frac{p'C'^2}{250000}$.

For norsk Maal og Vægt blive disse Formler:
for utilhugget Træ,

$a = b$, R = 959 ℔: . . . . $b^3 = \frac{p'C'^2}{319{,}0}$;

for firhugget Træ,

$a = 0{,}9b$, R = 1096 ℔: . . $b^3 = \frac{p'C'^2}{328{,}8}$;

for skarpkantet Træ,

$a = 0{,}75b$, R = 1370 ℔: . $b^3 = \frac{p'C'^2}{342{,}5}$.

Dersom man f. Ex. antager, at Magasinloftet skal optage Kornvarer, der oplægges i en Høide af $0^m{,}60$, saa tilsvarer dette en Belastning af $0{,}60 \times 750^{Kil} = 450^{Kil}$ pr. □ Meter under Antagelse af, at Kornet i Middeltal veier 750 Kilogrammer pr. Kubikmeter. Beløber nu Afstanden mellem Binderne sig til $3^m{,}50$ (133,82 Tommer norsk Maal og Vægt), saa vil Lasten p' pr. løbende Meter af Spændbjælkens Længde være $p' = 450^{Kil} \times 3^m{,}50 = 1575^{Kil}$ (82,5 ℔ pr. løbende Tomme norsk Maal og Vægt).

Da denne Belastning ialmindelighed er høiere end den, som Gulve i Kornlofter i Regelen have at bære, saa erholder man ved at antage denne Belastning et tilstrækkelig stærkt Bjælkelag.

Ved i Formlerne at indsætte foranstaaende Værdie $p' = 1575$ Kilogrammer ($p' = 82{,}5$ ℔ for norsk Maal og Vægt) blive de:

for utilhugget Træ,

$$a = b: \ldots b^3 = \frac{1575}{233333} C'^2 = 0{,}00675 C'^2;$$

for firhugget Træ,

$$a = 0{,}9b: \ldots b^3 = \frac{1575}{240000} C'^2 = 0{,}0056 C'^2;$$

for skaaret, skarpkantet Træ,

$$a = 0{,}75b: \ldots b^3 = \frac{1575}{250000} C'^2 = 0{,}00630 C'^2.$$

For norsk Maal og Vægt blive disse Formler:
for utilhugget Træ,

$$a = b: \ldots b^3 = \frac{82{,}5}{319{,}6} C'^2 = 0{,}258 C'^2;$$

for firhugget Træ,

$$a = 0{,}9b: \ldots b^3 = \frac{82{,}5}{328{,}8} C'^2 = 0{,}2509 C'^2;$$

for skaaret, skarpkantet Træ,

$$a = 0{,}75b: \ldots b^3 = \frac{82{,}5}{342{,}5} C'^2 = 0{,}24088 C'^2.$$

Heraf udledes følgende Tabel over de Dimensioner, der bør gives Spændbjælker af Træ, naar de skulle bære et Gulv:

Bærevidde $2C'$.	Ikke firhugget Tra $a = b$.	Firhugget Træ $a = 0{,}9b$.	Skaaret, skarpkantet Træ $a = 0{,}75b$.
Metre	Meter	Meter	Meter
12	0,343	0,340	0,336
10	0,323	0,320	0,316
8	0,300	0,297	0,293
6	0,272	0,270	0,266
5	0,257	0,254	0,250

Anmærkning. Da Formlerne for Beregningen ere simple, reduceres ikke de i denne Tabel angivne Dimensioner til norsk Maal og Vægt. De angivne Dimensioner ere desuden ikke rigtig beregnede. Istedetfor at multiplicere Koefficienterne med C'^2 ere de kun multiplicerede med C'.

G.

De i denne Tabel bestemte Dimensioner ere noget svagere end de, som forhen bleve angivne i Metzerskolen; men da de ere beregnede for en Belastning af 450 Kilo-

grammer pr. Quadratmeter og en Afstand af $3^m,50$ mellem Binderne, hvilket vist overskrider de sædvanlige Proportioner, saa betænker jeg mig ikke paa at ansee dem for tilstrækkelige.

Man har ikke udstrakt denne Tabel til større Bærevidder end 12 Metre, fordi man paa saa store Bærevidder anvender Mellemstændere til Understøttelse af Spændbjælkerne, naar disse skulle bære Belastninger, og fordi vi længer hen ville bestemme det Afbindingssystem, som er passende at anvendes for de store Bærevidder.

Naar man er sikker paa, at Belastningerne ikke kunne naae den ovenfor bestemte Værdie af 450 Kilogrammer pr. Quadratmeter (0,6165 ℔ pr. norsk Quadrattomme), saa indskrænker man Dimensionerne derefter.

§ 314. *Tagstolstræber eller Spærre, som støder imod en Spændrigel.* — I Fig. 17 (Pl. V) være P' det vertikale Tryk af Totalbelastningen af den over Spændriglen liggende Del af Tagstolstræberen og af Taget; p Belastningen pr. løbende Meter, fordelt paa Længden $AB = C_1$ af den nedre Tagstolstræber. Det i B udøvede vertikale Tryk er $P = P' + pC_1$. I § 301 har man seet, at Spændbjælkens Spænding, som frembringes af den ensformig fordelte Belastning pC_1, er lig med $\frac{5}{8} pC_1$ tang a. Paa den anden Side frembringer Lasten P' en Spænding, udtrykt ved P' tang a; saaledes at Spændbjælkens Totalspænding efter dens Længde er

$$(P' + \tfrac{5}{8} pC_1) \text{ tang } a.$$

Man maa altsaa betragte Tagstolstræberen AB som franeden opad underkastet Virkningen af den vertikale Kraft $P = P' + pC_1$, og i horizontal Retning Kraften $Q = (P' + \frac{5}{8} pC_1)$ tang a, samt den vertikale Belastning pC_1, fordelt ensformig over dens Længde.

Ved altsaa i Ligningen i § 300 at indsætte $P' + pC_1$ for P, og $(P' + \frac{5}{8} pC_1)$ tang a for Q vil man for dette Systems permanente Ligevægtsforbindelse have

$$R=\frac{(P'+pC_1)\cos a+(P'+\frac{5}{8}pC_1)\tang a\sin a-pC_1\cos a}{A}+$$

$$+[(P'+pC_1)\sin a-(P'+\tfrac{5}{8}pC_1)\sin a-\tfrac{1}{2}pC_1\sin a]C\frac{v'}{I},$$

$$R=\frac{1}{A\cos a}(P'+\tfrac{5}{8}pC_1\sin^2 a)+\tfrac{1}{8}pC_1{}^2\sin a\frac{v'}{I}.$$

Ved Hjælp af denne Formel kan man beregne Dimensioner for de nedre Tagstolstræbere ved Tagstole med Spændrigel eller efter Palladio (No. 38, Ardant's Mémoire).

Kjender man Spændbjælkens Spænding

$$(P'+\tfrac{5}{8}pC_1)\tang a,$$

saa beregner man dens Dimensioner, idet man tager dens egen Vægt med i Regningen, ved Formlen

$$R=(P'+\tfrac{5}{8}pC_1)\frac{\tang a}{A}+\tfrac{1}{2}dAC'^2\frac{v'}{I},$$

$$\text{eller } R=\frac{(P'+\frac{5}{8}pC_1)}{A}\frac{C_1'}{h_1}+\tfrac{1}{2}dAC''^2\frac{v'}{I},$$

idet de foregaaende Betegnelser bibeholdes.

Dersom endelig Spændbjælken skal bære en Belastning p', ensformig fordelt paa dens Længde $2C''$, saa have vi Formlen

$$R=\frac{(P'+\frac{5}{8}pC_1)}{A}.\frac{C_1'}{h_1}+\tfrac{1}{2}p'C''^2\frac{v'}{I};$$

her er C_1' Projektionen af Tagstolstræberen, og h_1 Høiden af Spændriglen over Spændbjælken; i den ensformig fordelte Belastning $2p'C''$ indtager man Legemets egen Vægt, eller man bortkaster den alt efter Omstændighederne.

Palladio's Tagstol. — Denne Tagstol eller Binder kan betragtes som sammensat af to Dele: en øvre Del over Spændriglen, som danner et simpelt Tag, hvortil Spændriglen er Spændbjælke, og hvis Spærrer eller Tag-

stolstræbere beregnes efter Formlen i § 305; og en anden Del, hvis Anordning er fuldkommen overensstemmende med den sidst behandlede Formel.

§ 315. *Anvendelse paa Tagstolstræberne i Palladio's Binder med Spændrigel.* — Ved i denne Formel at indføre Værdierne $A = ab$; $\frac{v'}{I} = \frac{6}{ab^2}$; $C_1 \sin a = C_1'$, naar C_1' kaldes den horizontale Projektion af den nedre Tagstolstræber, og antage f. Ex., at Spændriglen er anbragt i Totrediedelen af Tagstolens Høide, hvilket næsten gjør $P' = \frac{1}{2}pC_1$, erholder man Formlen

$$R = \frac{pC_1}{ab}\left(\frac{4+5\sin^2 a}{8\cos a}\right) + \frac{3}{4}\frac{pC_1C_1'}{ab^2}.$$

Ved endvidere at bemærke, at Ledet, som indeholder Faktoren $\frac{4+5\sin^2 a}{8\cos a}$, kun har en meget ringe Indflydelse, saa kan man i dens Sted sætte dens Middelværdie; nu finder man for

$a =$	45°,	57°,	63°,
$\frac{4+5\sin^2 a}{8\cos a} =$	1,149,	1,725,	2,194,

hvis arithmetiske Middeltal er 1,69,

og vi erholde altsaa Formlen

$$R = \frac{pC_1}{ab} \times 1{,}69 + 0{,}75\frac{pC_1C_1'}{ab^2},$$

hvoraf $$ab^2 = \frac{pC_1}{R}(1{,}69b + 0{,}75\,C_1').$$

Da i denne Formel Tykkelsen b af Tagstolstræberen altid er meget liden i Forhold til dennes Horizontalprojektion, saa er Udtrykket med b meget lidet imod Udtrykket $0{,}75\,C_1'$.

§ 316. *Praktiske Formler.* — Naar man med Ardant antager for ikke firhugget Tømmer Værdien $R = 700000$ Kilogrammer, saa finder man for den praktiske Formel:

$$ab^2 = pC_1(0{,}0000024\,b + 0{,}00000107\,C_1').$$

Dersom Træet er firhugget, kan man gjøre R = 800000 Kilogrammer, og man har

$$ab^2 = pC_1(0{,}0000021\,b + 0{,}000000937\,C_1').$$

Naar endelig Træet er udvalgt og uden Feil, kan man gjøre R = 1000000 Kilogrammer, og Formlen bliver da:

$$ab^2 = pC_1(0{,}00000169\,b + 0{,}00000075\,C_1').$$

For norsk Maal og Vægt blive disse Formler:

for ikke firhugget Træ, naar man sætter R = 959 ℔:

$$ab^2 = pC_1(0{,}00176\,b + 0{,}000782\,C_1').$$

Dersom Træet er firhugget, kan man gjøre R = 1096 ℔ og erholder da

$$ab^2 = pC_1(0{,}00154\,b + 0{,}0006843\,C_1').$$

Naar Træet endelig er udvalgt og uden Feil, kan man gjøre R = 1370 ℔, og Formlen bliver da

$$ab^2 = pC_1(0{,}00123\,b + 0{,}0005474\,C_1').$$

Ved i disse Formler at indføre Værdierne for pC, givne i § 305 med Hensyn til de forskjellige Tæknings-maader, danner man følgende Tabel over anvendelige praktiske Formler, i hvilke man kalder:

C_1 Længden af den nedre Tagstolstræber eller Spærre,

$2C''$ Binderens hele Bærevidde,

$2C'$ Spændriglens Bærevidde,

$C_1' = 2C'$ Bærevidden eller Horizontalprojektionen af den nedre Tagstolstræber, idet man antager, at Spænd-riglen er anbragt i Totrediedele af Binderens hele Høide $h + h_1$.

Praktiske Formler til Beregning af Dimensionerne for de nedre Tagstolstræbere i Bindere efter Palladio.

Tækningsmaade.	Formler for de forskjellige Værdier af R:		
	R = 700000 Kilogrammer. Raat, ikke firhugget Træ. $a = b$.	R = 800000 Kilogrammer. Med Bilen firhugget Træ. $a = 0{,}9b$.	R = 1000000 Kilogrammer. Udsögt, skarpkantet Træ. $a = 0{,}75b$.
Zink . . .	$b^3 = 242{,}06 C_1 (0{,}0000024b + 0{,}00000107 C_1')$ Kilogrammer	$b^3 = 268{,}95 C_1 (0{,}0000021b + 0{,}000000937 C_1')$ Kilogrammer	$b^3 = 322{,}75 C_1 (0{,}00000169b + 0{,}00000075 C_1')$ Kilogrammer
Skifer . . .	$b^3 = 425{,}00 C_1 (0{,}0000024b + 0{,}00000107 C_1')$	$b^3 = 472{,}22 C_1 (0{,}0000021b + 0{,}000000937 C_1')$	$b^3 = 566{,}66 C_1 (0{,}00000169b + 0{,}00000075 C_1')$
Flade Tagsteen . .	$b^3 = 531{,}00 C_1 (0{,}0000024b + 0{,}00000107 C_1')$	$b^3 = 590{,}00 C_1 (0{,}0000021b + 0{,}000000937 C_1')$	$b^3 = 708{,}00 C_1 (0{,}00000169b + 0{,}00000075 C_1')$
I Kalk lagte hule Tagsteen. . .	$b^3 = 808{,}60 C_1 (0{,}0000024b + 0{,}00000107 C_1')$	$b^3 = 898{,}44 C_1 (0{,}0000021b + 0{,}000000937 C_1')$	$b^3 = 1078{,}13 C_1 (0{,}00000169b + 0{,}00000075 C_1')$
	For norsk Maal og Vægt blive disse Formler:		
	R = 959 Pund.	R = 1096 Pund.	R = 1370 Pund.
Zink . . .	$b^3 = 12{,}68\ C_1 (0{,}00176b + 0{,}0007820 C_1')$ Pund	$b^3 = 14{,}09\ C_1 (0{,}00154\,b + 0{,}0006843\ C_1')$ Pund	$b^3 = 16{,}90\ C_1 (0{,}00123\,b + 0{,}0005474\ C_1')$ Pund
Skifer . . .	$b^3 = 22{,}257 C_1 (0{,}00176\,b + 0{,}0007820 C_1')$	$b^3 = 24{,}73\ C_1 (0{,}00154\,b + 0{,}0006843\ C_1')$	$b^3 = 29{,}67\ C_1 (0{,}00123\,b + 0{,}0005474\ C_1')$
Flade Tagsteen . .	$b^3 = 27{,}82\ C_1 (0{,}00176\,b + 0{,}0007820 C_1')$	$b^3 = 30{,}91\ C_1 (0{,}00154\,b + 0{,}0006843\ C_1')$	$b^3 = 37{,}09\ C_1 (0{,}00123\,b + 0{,}0005474\ C_1')$
I Kalk lagte hule Tagsteen. . .	$b^3 = 42{.}35\ C_1 (0{,}00176\,b + 0{,}0007820_1 C_1')$	$b^3 = 47{,}07\ C_1 (0{,}00154\,b + 0{,}0006843\ C_1')$	$b^3 = 56{,}47\ C_1 (0{,}00123\,b + 0{,}0005474\ C_1')$

Betræffende Anvendelsen af disse Formler, saa kan man først lade upaaagtet det Led, som i Formlernes anden Del indeholder Bjælkens Høide b, hvilket er temmelig svagt med Hensyn til det andet Led. Ved gjentagen Regning indsætter man i den anden Del af ovenanførte Ligning den først fundne Værdie af b og udleder deraf en anden, som altid er tilstrækkelig nøiagtig.

De til andet Led af Formlernes anden Del reducerede Formler indeholdes i følgende Tabel.

Tæknings-maade.	Formler for det raa firhuggede Tra $R = 700000^{Kil}$ $a = b$.	ned Bilen firhuggede Træ. $R = 800000^{Kil}$ $a = 0{,}9b$.	udsögte, skarpkantede Træ. $R = 1000000^{Kil}$ $a = 0{,}75b$.
Zink	$b^3 = 0{,}00026 C_1 C_1'$	$b^3 = 0{,}00025 C_1 C_1'$	$b^3 = 0{,}00024 C_1 C_1'$
Skifer	$b^3 = 0{,}00045 C_1 C_1'$	$b^3 = 0{,}00044 C_1 C_1'$	$b^3 = 0{,}00043 C_1 C_1'$
Flade Tagsteen	$b^3 = 0{,}00057 C_1 C_1'$	$b^3 = 0{,}00056 C_1 C_1'$	$b^3 = 0{,}00053 C_1 C_1'$
Hule i Kalk lagte Tagsteen . . .	$b^3 = 0{,}00087 C_1 C_1'$	$b^3 = 0{,}00084 C_1 C_1'$	$b^3 = 0{,}00081 C_1 C_1'$
	For norsk Maal og Vægt:		
	$R = 959$ Pund	$R = 1096$ Pund	$R = 1370$ Pund.
Zink	$b^3 = 0{,}00092 C_1 C_1'$	$b = 0{,}00964 C_1 C_1'$	$b = 0{,}00925 C_1 C_1'$
Skifer	$b^3 = 0{,}01741 C_1 C_1'$	$b^3 = 0{,}01692 C_1 C_1'$	$b^3 = 0{,}01624 C_1 C_1'$
Flade Tagsteen	$b^3 = 0{,}02176 C_1 C_1'$	$b^3 = 0{,}02115 C_1 C_1'$	$b^3 = 0{,}02030 C_1 C_1'$
Hule i Kalk lagte Tagsteen . . .	$b^3 = 0{,}03312 C_1 C_1'$	$b^3 = 0{,}03221 C_1 C_1'$	$b^3 = 0{,}03091 C_1 C_1'$

De numeriske Operationer, som disse Formler kræve, have været anstillede paa forskjellige Bærevidder af Tagstole, idet man antog, at Spændriglens Bærevidde udgjorde Trediedelen af den hele Aabning. Den følgende Tabel indeholder Tværsnitsdimensionerne for Tagstolstræberne efter Beskaffenheden af det anvendte Træ i de forskjellige Slags Tage, nemlig med Bærevidder fra 15 til 36 Metre.

For ethvert andet Forhold mellem Totalbærevidden af Tagstolen og af Spændriglen maa man henty til de oven angivne almindelige Formler.

Tabel over Dimensionerne af de nedre Tagstolstræbere i Tagstole af forskjellige Bærevidder, efter Palladio.

Tækningsmaade.	Bærevidde af Spændriglen $2C'$.	Bærevidde af hele Tagstolen $2C''$.	Grovt firhugget Træ. $a=b$.	Med Bilen firhugget Træ. $a=0{,}90b$.		Udsögt, skarpkantet Træ. $a=0{,}75b$.	
				b	a	b	a
	Metre	Metre	$b^3=0{,}00026\,C_1C_1'$ Meter	$b^3=0{,}00025\,C_1C_1'$ Meter		$b=0{,}00024\,C_1C_1'$ Meter	
Zink No. 14. Helding mod Horizonten. 20°.	5	15	0,148	0,146	0,129	0,144	0,108
	6	18	0,167	0,165	0,149	0,164	0,123
	8	24	0,206	0,200	0,180	0,197	0,148
	10	30	0,235	0,230	0,207	0,229	0,172
	12	36	0,265	0,262	0,236	0,258	0,194
			$b^3=0{,}00045\,C_1C_1'$	$b^3=0{,}00044\,C_1C_1'$		$b^3=0{,}00043\,C_1C_1'$	
Skifer. 40°.	5	15	0,178	0,176	0,158	0,175	0,131
	6	18	0,200	0,199	0,179	0,198	0,149
	8	24	0,243	0,242	0,218	0,240	0,180
	10	30	0,282	0,280	0,252	0,278	0,209
	12	36	0,318	0,316	0,284	0,314	0,236
			$b^3=0{,}00057\,C_1C_1'$	$b^3=0{,}00055\,C_1C_1'$		$b^3=0{,}00053\,C_1C_1'$	
Flade Tagsteen. 40°.	5	15	0,193	0,190	0,171	0,188	0,141
	6	18	0,216	0,214	0,193	0,212	0,159
	8	24	0,263	0,260	0,234	0,257	0,193
	10	30	0,305	0,302	0,272	0,298	0,224
	12	36	0,344	0,341	0,307	0,337	0,253
			$b^3=0{,}00087\,C_1C_1'$	$b^3=0{,}00084\,C_1C_1'$		$b^3=0{,}00081\,C_1C_1'$	
Hule i Kalk lagte Tagsteen. 30°.	5	15	0,222	0,219	0,197	0,217	0,163
	6	18	0,250	0,247	0,222	0,244	0,183
	8	24	0,306	0,300	0,270	0,295	0,221
	10	30	0,350	0,347	0,312	0,343	0,257
	12	36	0,396	0,392	0,353	0,387	0,290

Anmærkning. Da de i denne Tabel angivne Dimensioner neppe kunne være rigtig beregnede, bør man ved hvert forekommende Tilfælde beregne efter Formlerne de Dimensioner, som søges.

G.

§ 317. *Anvendelse paa Spændbjælkerne i Palladio's Tagstole.* — Formlen med Hensyn til disse Spændbjælker, som (§ 314) er:

$$R=(P+\tfrac{5}{8}pC_1)\frac{\text{tang } a}{A}+\tfrac{1}{2}dAC''^2\frac{v'}{I},$$

bliver, idet man antager, at Spændriglen er beliggende i Totrediedele af Høiden, hvilket gjør $P=\frac{1}{2}pC$, og ved at sætte tang $a=\frac{C_1'}{h_1}$, naar C_1' er den horizontale Projektion af den nedre Tagstolstræbers Høide, og h_1 dens vertikale Projektion:

$$R=\tfrac{1}{8}(4pC+5pC_1)\frac{C_1'}{Ah_1}+\tfrac{1}{2}dAC''^2\frac{v'}{I},$$

eller $R=\frac{7}{8}pC_1\frac{C_1'}{Ah_1}+\frac{1}{2}dAC''^2\frac{v'}{I}$, naar $C=\frac{1}{2}C_1$,

og naar Spændbjælken kun bærer sin egen Vægt; og

$$R=\tfrac{1}{8}(4pC+5pC_1)\frac{C_1'}{Ah_1}+\tfrac{1}{2}p'C''^2\frac{v'}{I},$$

eller $R=\frac{7}{8}pC_1\frac{C_1'}{Ah_1}+\frac{1}{2}p'C''^2\frac{v'}{I}$, naar $C=\frac{1}{2}C_1$

og Spændbjælken skal bære en ensformig fordelt Belastning.

Da Spændbjælkerne sædvanligvis have et rektangulært Tværsnit, saa er

$$A=ab,\quad \frac{v'}{I}=\frac{6}{ab^2}.$$

Formlen bliver da

$$R=\tfrac{7}{8}\frac{pC_1}{ab}\cdot\frac{C_1'}{h_1}+\frac{3dC''^2}{b}$$

for det Tilfælde, hvor der ikke er nogen anden Belastning paa Spændbjælken end dens egen Vægt, og

$$R=\tfrac{7}{8}\frac{pC_1}{ab}\cdot\frac{C_1'}{h_1}+\frac{3p'C''^2}{ab^2},$$

hvor den tillige skal bære en ensformig fordelt Belastning $2p'C''$.

I det første Tilfælde giver Formlen:

$$ab = \frac{1}{8R}\left(7pC_1\frac{C_1'}{h_1} + 24daC''^2\right).$$

Dersom Spændbjælken er af Træ, og man antager $a = 0{,}75b$ og $R = 800000$ Kilogrammer, saa fremkommer Forbindelsen

$$b^2 - 0{,}00000375dC''^2b - 0{,}00000146pC_1\frac{C_1'}{h_1} = 0.$$

Antager man, at Spændbjælken er af Fyr, og at d sættes $= 600$ Kilogrammer (Vægten af 1 Kubikmeter, eller for norsk Maal og Vægt 37,15 ℔ pr. Kubikfod, eller 0,0215 ℔ pr. Kubiktomme) saa har man:

$$b^2 - 0{,}00225C''^2b - 0{,}00000146pC_1\frac{C_1'}{h_1} = 0.$$

Hvilket for norsk Maal og Vægt, hvor $R = 1096$ ℔, bliver:

$$b^2 - 0{,}00274dC''^2b - 0{,}001064pC_1\frac{C_1'}{h_1} = 0;$$

indsættes endelig heri $d = 0{,}0215$ ℔, saa har man:

$$b^2 - 0{,}0000589C''^2b - 0{,}001064pC_1\frac{C_1'}{h_1} = 0.$$

For at erholde Værdierne a og b, som tilsvare de forskjellige Bærevidder og de forskjellige Tækningsmaader, maa man indsætte i denne Formel Værdierne af pC_1 og $\frac{C_1'}{h_1}$, saaledes som det for ethvert enkelt Tilfælde findes angivet i Tabellen i § 305. Heraf erholdes de praktiske Formler.

Men det maa endnu bemærkes, at ved Tagstole med store Bærevidder er det hensigtsmæssigt i Tilfælde af, at Spændbjælken ikke skal bære noget Gulv, istedetfor Træ at anvende Jern.

§ 318. *Trækbaand eller Spændbjælker af Jern.* – I dette Tilfælde er Legemet aldrig udsat for at bære nogen

Belastning, og saasom det altid er understøttet af een eller flere Hængstænger, kan man sætte dets egen Vægt ud af Betragtning, og da reducerer Formlen sig til

$$R = \frac{7}{8} \frac{pC_1}{A} \cdot \frac{C_1'}{h_1}.$$

Dersom Tværsnittet er rektangulært, er $A = ab$, og naar man sætter $R = 6000000$ Kilogrammer (8220 ℔ for norsk Maal og Vægt), saa erholder man:

$$ab = 0{,}000000146 pC_1 \frac{C_1'}{h_1},$$

eller for norsk Maal og Vægt

$$ab = 0{,}0001064 pC_1 \frac{C_1'}{h_1}.$$

Gjør man $a = \frac{1}{5}b$, er

$$b^2 = 0{,}000000730 pC_1 \frac{C_1'}{h_1};$$

og for norsk Maal og Vægt

$$b^2 = 0{,}000532 pC_1 \frac{C_1'}{h_1}.$$

For et sirkulært Tværsnit vilde man have

$$A = \frac{d^2}{1{,}273},$$

naar d er Diametren; og denne Værdie af A, indsat i den almindelige Formel, giver:

$$d^2 = \frac{7 \times 1{,}273}{8R} pC_1 \frac{C_1'}{h_1} = 0{,}000000186 pC_1 \frac{C_1'}{h_1},$$

eller for norsk Maal og Vægt

$$d^2 = 0{,}000135 pC_1 \frac{C_1'}{h_1}.$$

Palladio's Tagstol, hvis Dimensioner vi hidtil have behandlet, er nu næsten forladt formedelst Brugen af Jern istedetfor Træ og paa Grund af en anden Konstruktionsmaade, med hvilken vi ville beskjæftige os i en af de følgende Paragrapher.

§ 319. *Indflydelse af Temperaturforandringerne paa Trækbaandenes Spænding.* — De ved Temperaturforandringerne frembragte Forlængringer og Forkortninger udøve paa Spændingen af Trækbaandene en Indflydelse, som det er nødvendigt at medtage i Regningen.

For at letgjøre Midlet hertil ville vi først angive følgende Tabel over de Udvidelser, som Legemerne ere underkastede ved givne Temperaturforandringer.

Tabel over de Udvidelser, som de faste Legemer lide fra Vandets Frysepunkt indtil dets Kogepunkt, efter Laplace og Lavoisier.

Stofferne.	Udvidelser i Brök.	
	Decimal.	Ordinær.
Ikke hærdet Staal	0,00107915	$\frac{1}{927}$
Staal, gulhærdet, udglödet til 65°	0,00123956	$\frac{1}{807}$
Blödt Smedejern	0,00122045	$\frac{1}{819}$
Rundt, trukket Jern	0,00123504	$\frac{1}{812}$
Udskillet Guld	0,00146606	$\frac{1}{682}$
Pariser-Guld, udglödet	0,00151361	$\frac{1}{661}$
„ „ , ikke udglödet	0,00155155	$\frac{1}{645}$
Kobber	0,00171220	$\frac{1}{584}$
Gult Kobber eller Messing	0,00186670	$\frac{1}{535}$
Pariser-Sölv	0,00190868	$\frac{1}{524}$
Fint, rent Sölv	0,00194552	$\frac{1}{514}$
Tin fra Indien eller Malacca	0,00193765	$\frac{1}{516}$
Bly	0,00284836	$\frac{1}{351}$

Vi have seet, hvorledes Spændingen af et Trækbaand maa beregnes, for at det kan sammenholde Yderenderne af de Legemer, som det forbinder, i en nødvendig Afstand, og som i § 44 viist tør denne normale Spænding, paadet at Konstruktionen kan blive varig, ikke overskride 6,102 Kilogrammer f. Ex. for det bløde Jern, hvis elastiske Forlængringsgrændse er $0^m,00066$ pr. Meter og tilsvarer en Spænding af 12,205 Kilogrammer.

Antager man nu, at Tagværket er reist under en Temperatur t, og at Temperaturen er bleven afkjølet indtil t', saa vil dens Synkning være $t - t'$.

Efter Laplace og Lavoisier ere de Udvidelser og Sammentrækninger, som Legemer lide, inden visse Grændser proportionale med Temperaturforandringerne i et Forhold, hvilket for Smedejernet er $0^m,00122$ for en Forskjel i Temperaturen af 100°. Følgelig vilde for Temperaturforskjellen $t - t'$ Sammentrækningen være $0^m,0000122\ (t—t')$, og da man veed, at det bløde Jern af samme Fabrikationsmaade som det, hvoraf man forfærdiger disse Trækbaand, forlængrer sig om $0^m,0008$ pr. Meter under en Kraft af 14,75 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter (20207,5 ℔ pr. Quadrattomme norsk Maal og Vægt) af Tværsnittet, saa følger heraf, at Tilvæxten i Spænding, som tilsvarer Længdeforandringen $0^m,0000122\ (t - t')$ pr. Meter, vil gives ved Proportionen

$$0^m,0008 : 14^{Kil},75 = 0^m,0000122\,(t - t') : x = 0^{Kil},225\,(t - t')$$

eller for 1 Quadratmeter

$$225000\ (t - t')\ \text{Kilogrammer}^*),$$

som i norsk Maal og Vægt gjør pr. Quadrattomme

$$308{,}25\ (t - t')\ \text{Pund}.$$

Har man altsaa bestemt Spændingen T af hvilketsomhelst Trækbaand af Jern i et Tagværk, saa vil den tilsvarende Anstrængelse, der udholdes af enhver Quadratmeter af dets Tværsnit, være $\frac{T}{A}$, og denne Kraft plus den, som svarer til Spændingen ved Temperaturforandringen, maa være lig den Spænding, som tilsvarer Elasticitetsgrændsen, og som er 12000000 Kilogrammer (16440 ℔ pr. norsk Quadrattomme); man erholder altsaa Forbindelsen

$$12000000^{Kil} = \frac{T}{A} + 225000^{Kil}\,(t - t'),$$

*) I Originalen er herfor anført $225^{Kil}\ (t - t')$, ligesom denne Størrelse ogsaa er gjentagen i de to følgende Ligninger, hvilket maa være en Regne- eller Trykfeil. *G.*

hvoraf

$$A = \frac{T}{12000000^{Kil} - 225000^{Kil}(t-t')},$$

og for norsk Maal og Vægt:

$$A = \frac{T}{16440 - 308{,}25\,(t-t')}.$$

Ardant troer, at man kan antage som yderste, vel kun momentane Grændse for den Spænding, som et Trækbaand af Jern lider ved Afkjølingen, Værdien 12000000 Kilogrammer pr. Quadratmeter, eller 12 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter; men at det vilde være klogt kun at gaae til 10 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter (13700 ℔ pr. norsk Quadrattomme).

Man seer forresten, at det vilde være hensigtsmæssigt heller at sammensætte saadanne Tagforbindelser i Aarstider, hvori Temperaturen er lav, end om Sommeren.

§ 320. *Et Legeme, oplagt paa to Underlag og nedenunder forstærket med en Stötte og to Trækbaand af Jern.*

Tilfælde, hvor Legemet er belastet i dets Midte. — I Pl. V, Fig. 18 være 2P Belastningen i Midten; 2C den hele Bærevidde AB; T Spændingen af Trækbaandene; CD$=h$ Længden af Støtten; BD$=l$ Længden af ethvert Trækbaand.

Dersom man fastsætter den Betingelse, at Spændingen af Trækbaandene BD og AD skal holde Ligevægt med Belastningen 2P, idet DFEG er et Parallelogram, saa vil man, naar DE$=$2P, ved de ligedannede Triangler DFH og BCD have

DF eller T:DH eller P$=l:h$, hvoraf

$T = \frac{Pl}{h}$, hvilket viser, at Spændingen i Trækbaandet forøges i den Grad, som Støtten CD bliver kortere.

Ved denne Værdie af Spændingen T kan man antage

Punktet C som uforanderligt under Belastningen 2P og Legemet som fastholdt i C.

Det vertikale Tryk i B og Støttepunktets Reaktion, som søger at bøie Legemet CB, er P, og Momentet heraf er PC; Momentet af Trækbaandets Spænding T, som modsætter sig denne Bøining, er $T \times CI = \frac{ThC}{l}$, forudsat nemlig, at $CI : h = C : l$.

Paadet at Legemet kan bibeholde dets Ligevægt under Virkningen af disse to Kræfter, maae deres Momenter ogsaa være lige, følgelig

$$T \times CI = T\frac{hC}{l} = PC,$$

hvilket stemmer overens med den foregaaende Betingelse.

Giver man altsaa Trækbaandet Spændingen $T = \frac{Pl}{h}$, saa har man frembragt Ligevægt mellem de Kræfter, som søge at bøie Legemet; det er altsaa kun underkastet en Kompressionskraft lig $\frac{TC}{l} = \frac{PC}{h}$, og følgelig kan Overfladen af dets Tværsnit $A = ab$ beregnes saaledes, at Belastningen pr. Enhed af Overflade $\frac{PC}{hab}$ ikke overskrider den i Tabellen i § 311 angivne Grændse. Man maa altsaa forsøgsvis bestemme den, og paadet at Legemet ikke skal være udsat for lettere at bøie sig i den ene Retning end i den anden, vil det være hensigtsmæssigt at gjøre $a = b$.

Ved det Foregaaende er forudsat, at Belastningen hviler fast i Punktet C. Men dersom Spørgsmaalet er om en bevægelig Last, saaledes som det er Tilfældet med Broer, saa maa det bemærkes, at, naar Lasten er passeret og dens Vægt 2P ei længer er virkende, vil Spændingen i Trækbaandene, som endnu bestaaende, stræbe at bøie Legemet nedenfra opad, formedelst Virkningen af denne Spænding, hvis Moment forud var bestemt og gjort lig med PC. Forbindelsesstøtten maatte saaledes have

saadanne Dimensioner, at der mellem Fibrernes Modstand mod Extension og mod Kompression og de ydre Kræfter bestod Forholdet $\frac{RI}{v'} = PC$, hvorved dens egen Vægt er ladet upaaagtet; heraf uddrages, at Dimensionerne maae være de samme, som naar Støtten ikke havde noget Trækbaand og var underkastet Belastningen 2P i dens Midte. Den hele Virkning af Trækbaandene vilde altsaa i dette Tilfælde indskrænke sig til at bringe Legemet til at bøies i modsat Retning af den, i hvilken det vilde have givet efter for Belastningen. Man tør altsaa ikke antage, at Bøiningen er Nul, naar det er underkastet Belastningen, og paadet at den absolute Bøining maa blive et Minimum, maa man antage, at Bøiningen er den samme i begge Tilfælde, enten den er over eller under Horizontalen.

Ifølge heraf gjør man simpelthen

$$\frac{Th}{l} = \frac{P}{2}, \text{ hvoraf } T = \frac{Pl}{2h},$$

hvilket giver som Moment af denne Spænding

$$T \times CI = \frac{PC}{2},$$

saaledes at i det Tilfælde, hvor Lasten 2P vilde være i C, vilde Overskuddet af Momentet PC af den halve Belastning, som søger at bøie Trækbaandet i en Retning, over Momentet af Spændingen T, som søger at bøie det i den modsatte Retning, være

$$PC - T \times CI = \frac{PC}{2};$$

og efter Lastens Overgang vilde Momentet af Trækbaandets Spænding, som ene endnu er bestaaende, ligeledes være $\frac{PC}{2}$, men virkende i modsat Retning. Følgelig maatte Dimensionerne af Støttens Tværsnit blive at bestemme ved Formlen

$$\frac{RI}{v'} = \frac{PC}{2}.$$

Antager man under disse Forhold Belastningen 2P ankommen i Midten af Intervallet BC eller i Afstanden $\frac{C}{2}$ fra det ene eller det andet Punkt, saa lader denne Last sig betragte som opløst i to andre lig P, hvoraf den ene, som trykker C, er lig og modsat Resultanten af de Trækbaandene givne Spændinger og følgelig vil ophæve Virkningen af denne Resultant og bringe Punktet C tilbage paa Horizontalen. Da Punkterne B og C ere uforanderlige, saa maa man altsaa antage Legemet som oplagt paa to Støttepunkter B og C og underkastet Belastningen 2P, som virker i Afstanden $\frac{C}{2}$ fra ethvert af disse Punkter. Momentet af Støttepunktets Reaktion, som stræber at bøie Legemet, maa være $P\frac{C}{2}$, Momentet af Trækbaandenes Spænding maa ligeledes være $\frac{PC}{2}$; følgelig vil Enden B ikke forandre sin Plads, og Legemet med sine uforanderlige Ender B og C lader sig betragte som befæstet i disse Punkter. Dets Midte, som er underkastet Lasten 2P, bøier sig altsaa saaledes som anført i § 209, og man har Ligningen

$$f = \frac{1}{24}\frac{PC^3}{EI}.$$

Ligger Lasten nærmere ved B, saa bøier Legemet sig ved Virkningen af Trækbaandets Spænding nedenfra opad, og ligger Lasten nærmere ved C, bøier Legemet sig ovenfra nedad. Men i ethvert Tilfælde er den største Værdie af den bøiende Krafts Moment $\frac{PC}{2}$, og bestemmer man dets Dimensioner efter Formlen $\frac{RI}{v'} = \frac{PC}{2}$, saa er man tilstrækkelig forsikkret om dets nødvendige Styrke.

For at holde Regning med Brodækkets og Tømmerafbindingens Vægt kalder man p denne Vægt pr. løbende Meter (løbende Tomme for norsk Maal og Vægt) og adderer da til Belastningen 2P Vægten $\frac{2pC}{2} = pC$, saaledes at Momentet af den Kraft, som stræber at bøie Legemet ovenfra nedad, vil blive:

$$\left(P + \frac{pC}{2}\right) C.$$

Da Momentet af Spændingen er $T \times CI = Th \frac{C}{l}$, saa maa man for i begge Tilfælde, hvor Lasten hviler i C, og hvor den er passeret over, at gjøre Bøiningen lige, have Forbindelsen

$$T \times CI = \frac{ThC}{l} = \tfrac{1}{2}\left(P + \frac{pC}{2}\right) C,$$

hvoraf

$$T = \tfrac{1}{2} \frac{\left(P + \frac{pC}{2}\right) l}{h};$$

heraf erholdes Trækbaandets Diameter, idet nemlig $\frac{T}{A} = 6$ Kilogrammer.

Paa den anden Side beregner man igjen Dimensionerne af Legemet AB ved Formlen

$$\frac{RI}{v'} = \tfrac{1}{2}\left(P + \frac{pC}{2}\right) C.$$

Dersom der kun handles om en ensformig fordelt Belastning, saa gjør man $P = 0$ og har da

$$T = \tfrac{1}{4} \frac{pCl}{h} \text{ og } \frac{RI}{v'} = \tfrac{1}{4} pC^2.$$

Disse sidste Udtryk gjælde for Stræbere til Tagstole med Trækbaand af Jern og med nedadvendte Hængstænger eller Støtter, idet man for p tager Belastningen pr. løbende Meter (løbende Tomme for norsk Maal og Vægt)

af deres horizontale Projektion, og idet man lader upaa-agtet Længdetrykket, som opstaaer af Trækbaandets Spænding og af Underlagets Reaktion, hvilket, som man har seet, er tilladeligt i de fleste Tilfælde.

De ved de omvendte Hængstænger og ved Trækbaand af Jern saaledes forstærkede Legemer lade sig anvende som Brobjælker, naar man ikke har noget at befrygte ved Uleiligheden af den nedenunder anbragte Hængstangs eller Støttes Længde.

Det maa bemærkes, at ved Sænkningsbevægelsen, hvorved Legemets Midte C føres tilbage til Horizontalen, saasnart Lasten ankommer til dette Punkt, varierer Længden af Trækbaandene og følgelig ogsaa deres Spænding, men med saa svage Størrelser, at man aldeles kan sætte dem ud af Betragtning, saaledes som vi have tilladt os det i vore Beregninger.

§ 321. *Tagstole af store Bærevidder med Trækbaand og Stræbebaand af Jern.* — Man anvender nutildags med Fordel et Tagforbindelsessystem, hvis Tagstolstræbere AB og A′B (Pl. V, Fig. 19) af Træ og endnu oftere af Jern ere understøttede i deres Midte af et Stræbebaand CE eller C′E′ perpendikulær paa deres Længde; Stræbebaandet fastholdes af to Trækbaand af Jern, hvoraf det ene AE eller A′E′ udgjør en Del af Hovedtrækbaandet, og det andet BE eller BE′ forener Røstet med Enden E eller E′ af Stræbebaandet.

De to Ender E og E′ af Stræbebaandene ere forbundne med et horizontalt Trækbaand EE′, som undertiden ligger i Forlængringen af Linien AA′ eller oftere høiere end denne Linie og løber parallel med samme.

Man maa undersøge Konstruktionsforholdene af denne Tagstol for at kunne bestemme Dimensionerne af dens enkelte Dele, og ville vi til den Ende begynde med det simpleste Tilfælde, nemlig det, hvori AE, EE′ og E′A′ alle ligge i samme Linie og ere horizontale.

Kalde vi 2C′ Totalbærevidden af Tagbinderen AA′,

C Bærevidden AB = BA′ af enhver af Tagstolstræberne eller Spærrerne AB og BA′,

h_1 Længden af Strækbaandene CE og C′E′,

l Længden AE = BE, AE′ = BE′ af de skraae Trækbaand,

h Totalhøiden BB′ af Tagstolen,

α den Vinkel, som Tagstolstræberen danner med Trækbaandet AE, og i dette Tilfælde med Horizontalen:

saa ville vi først undersøge Ligevægtsbetingelserne for Tagstolstræberen eller Spærren under Indvirkningen af den paa samme ensformig fordelte Last p, for Reaktionen P fra Understøttelsesmuren eller Stænderen, for den af Strækbaandet CE forplantede Kraft, som vi ville kalde S, og for Spændingen Q af Trækbaandets Gren AE.

Vi antage først, at Spændingen af Trækbaandene AE og BE er bleven bestemt paa den Maade, at Trianglen ABE stedse bliver den samme, eller at Punkterne A, C og B forblive i en ret Linie, og vi søge at bestemme Spændingen T af Trækbaandet EE′ paa den Maade, at det sammenholder Tagets begge Dele ABE og A′BE′, idet vi betragte Modstanden af Forbindelsen i B som Nul. Momentet af Spændingen T, hvilket er Th, maa være lig Momentet PC′ af Reaktionen P paa Underlaget i A mindre end Summen af den ensformig fordelte Belastnings Momenter, hvilken Sum er

$$\tfrac{1}{2}p\mathrm{CC}';$$

man har altsaa for Ligevægtsbetingelsen

$$\mathrm{T}h = \mathrm{PC}' - \tfrac{1}{2}p\mathrm{CC}' = \frac{p\mathrm{CC}'}{2},$$

naar nemlig $\mathrm{P} = p\mathrm{C}$, idet der i p indbefattes Belastningen pr. løbende Meter (pr. løbende Tomme for norsk Maal og Vægt) af Tagstolstræberen og af Tagværkets egen Vægt;

heraf følger $$T = \frac{pCC'}{2h}.$$

Vi gaae nu over til Bestemmelsen af Spændingerne T′ og T″ af Trækbaandene AE og BE. Da formedelst Virkningen af Spændingen T af Trækbaandet EE′, som forplantes ved Trækbaandet AE, Punktet A ligesom Spidsen B er ubevægelig, saa lader Tagstolstræberen sig betragte som et Legeme, der er oplagt paa to Støttepunkter og underkastet en ensformig fordelt Belastning pC, der søger at bøie det. Nu veed man (§ 174), at i dette Tilfælde er denne Last ligegjældende med en Vægt lig $\frac{1}{2}pC$, anbragt i Midten af dets Længde eller i C, og som virker vertikalt. Følgelig handles der om at forplante franeden opad, eller fra E til C, en Modstandskraft, som er lig Komponenten af denne Vægt, hvilken for at nedtrykke Punktet C virker i modsat Retning fra C til E. Paa en Vertikal CG afsætter man efter en given Maalestok en Længde CG, hvilken forestiller Værdien $\frac{pC}{2}$ Kilogrammer; gjennem Punktet G drager man GH parallel med Tagstolstræberen, og Længden CH vil efter Maalestokken angive Værdien af den Kraft, der udøves af Belastningen ovenfra nedad, eller fra C til E paa Trækbaandet. Man afsætter igjen denne Længde CH fra E til H′, og gjennem Punktet H′ drager man Linierne H′F og H′I parallel med Trækbaandene AE og BE; Stykkerne EF og EI give efter Maalestokken Værdierne af Spændingerne T′ og T″, som disse Trækbaand maae udøve for at forhindre Sænkningen.

Trækbaandet AE maa desforuden modstaae Spændingen T, udøvet af Trækbaandet EE′; følgelig er Totalspændingen T_1 af Trækbaandet AE

$$T_1 = T + T'.$$

Saaledes har man Spændingen af de forskjellige Trækbaand.

Betræffende Tagstolstræberen eller Spærren, saa vil dens Bærevidde være reduceret om det Halve, og dens Ender ville være fastgjorte ved Trækbaandene AE og BE; dens Midte C er allerede bleven understøttet ved Strøbebaandet, følgelig kan man antage, at den er bleven fastholdt i disse tre Punkter. Man beregner dens Dimensioner ligesom for et skraatstillet Legeme af Længde $\frac{C}{2}$, som langs dets hele Længde er belastet ensformig med den vertikalt virkende Vægt p pr. løbende Meter og fastholdt i begge dets Ender. Dersom man sætter ud af Betragtning Virkningen af de Kræfter, som opstaae i Retningen efter Længden, hvilket er tilladt i de fleste praktiske Tilfælde, saa vil man have som perpendikulær Komponent af Belastningen, der er anbragt i Legemets Midte, og som er ligegjældende med den ensformig fordelte Belastning:

$$\tfrac{1}{2}p\,\frac{C\sin a}{2} = \tfrac{1}{4}pC'.$$

Legemets Bærevidde er indskrænket til $\frac{1}{2}C$, og dens Halvdel, eller Vægtstangsarmen til Lasten, antaget anbragt i Midten, er $\frac{1}{4}C$; følgelig vil Ligevægtsforholdet mellem denne Belastning og Fibrernes Modstande da være

$$\frac{RI}{v'} = \tfrac{1}{16}pCC'.$$

For Legemer med rektangulært Tværsnit er $\frac{I}{v'} = \frac{1}{6}ab^2$, følgelig har man herfor

$$ab^2 = \frac{3pCC'}{8R}.$$

For Spærrer med Formen som dobbelte T-Jern er

$$\frac{I}{v'} = \frac{ab^3 - 2a'b'^3}{6b}$$

og saaledes

$$\frac{ab^3 - 2a'b'^3}{6b} = \frac{pCC'}{16R}$$

Disse Formler anvendes ifølge de for Profilet af Jerndelene antagne Proportioner, ligesom forhen er blevet sagt (§ 245).

§ 322. *Tilfælde, hvor Trækbaandet i Midten ligger höiere end Tagstolens Understöttelsespunkter.* — Her maa man gaae frem paa samme Maade som i forrige §, idet man da betegner ved h den vertikale Afstand BB′ (Pl. V, Fig. 20) af Røstet fra det horizontale Trækbaand EE′, hvis Spænding ligeledes erholdes ved Formlen

$$T = \frac{pCC'}{2h}.$$

Her maa bemærkes, at denne Kraft T, som søger at forskyde Artikulationen eller Forbindelsespunktet E horizontalt, maa have en Modvægt i Modstanden af Trækbaandet AE, og at den ogsaa søger at nedtrykke Stræbebaandet. For graphisk at bestemme Værdierne af Spændingerne T′ og T″ af Trækbaandene AE og BE opløser man Spændingen T i to Kræfter, hvoraf den ene er given paa Maalestokken ved Siden EL af Parallelogrammet ELKM, hvori EK = T er Diagonalen; denne maa adderes til Komponenten af Kraften $\frac{pC}{2}$ i Retningen af Stræbebaandet. Den anden Komponent T_3, der har samme Retning som Trækbaandet AE, maa adderes til Spændingen T′ og giver saaledes Totalspændingen

$$T_1 = T_3 + T'.$$

§ 323. *Forsög til direkte Bestemmelse af Trækbaandenes Spænding.* — De foranstaaende Betragtninger, ved hvis Hjælp man har bestemt Spændingen af Tagstolenes forskjellige Trækbaand, ere grundede paa den geometriske Theorie for Kræfternes Sammensætning og Opløsning. Den eneste Hypothese, som man har tilladt sig, er den,

at man har ladet upaaagtet den Modstand, som Forbindelserne modsætte Trækbaandenes Virkning. Det er virkelig let at indsee, at Belastningernes Vægtstangsarme ligesom deres Intensitet ligeoverfor Forbindelserne ere i den Grad store, at disse øieblikkeligen vilde være tilintetgjorte, naar der ikke fandtes nogen Spændbjælke, eller denne gav efter paa en mærkelig Maade; heraf forklarer det sig, hvorfor man ikke bruger at gjøre nogen Regning paa Forbindelsernes Modstand.

Det var imidlertid ikke overflødigt at anstille nogle specielle Forsøg for direkte at maale Spændingerne af de forskjellige Spændbjælker i sammensatte Tagstole og saaledes at stadfæste de ovenfor givne Regler. I saa Henseende har jeg ved Hr. Tresca, Ingenieur ved Konservatoriet, ladet udføre følgende Forsøg.

To simple Tagbindere (Pl. VI, Fig. 1) med Spærrer af Træ bleve saaledes opstillede, at i enhver af dem var den ene Spærre sammensat af to Stykker, der dannede en Tang, som omfattede den anden Spærre, og som var forenet med denne ved en simpel Bolt, der ogsaa gik gjennem Spidserne af begge Tagbinderne og tjente dem som Røst samt dannede et aldeles frit bevægeligt Hængsel.

Spærrernes Fødder vare afrundede og hvilede paa to retvinklet indskaarne Sviller. Denne Anordning havde til Hensigt at overføre det horizontale Tryk af Stræberne nøiagtigt i Fladen for Jerntrækbaandene, som forbandt Svillerne, under forresten hvilkensomhelst Helding af Stræberne eller Spærrerne.

To Trækbaand af Jern med to Grene, hvilke mod Midten af Bærevidden forenede sig til en eneste, vare fæstede til et Dynamometer for at maale Spændingen. Svillerne hvilede paa en horizontal, faststaaende Flade, og for at svække den Modstand, som de kunde møde under Frem- og Tilbageglidningen, havde man oplagt dem paa godt afdreiede og fuldkommen frie Ruller af 6 Centimetres Diameter.

Belastningen paa Stræberne var ensformig fordelt paa deres Længde ved Hjælp af Trækasser af $0^m,23$ Bredde og $0^m,75$ Længde; disse Kasser stode ved Siden af hinanden og optoge efter Forgodtbefindende et større eller mindre Antal Jernkugler af en gjennemsnitlig Vægt af 400 Grammer. Kasserne vare adskilte og fuldkommen uafhængige af hverandre, saaledes at Belastningen i Virkeligheden var fordelt meget ensformig. Kun var denne Last ikke nøie rettet paa Strøbernes Axe, og Tykkelsen af disse ligesom af Kuglelagene var saadan, at Vertikalen, som gik gjennem Lastens Tyngdepunkt, var $0^m,053$ nærmere Svillen end den, som gik gjennem Midten af Spærrens Figuraxe. Heraf fulgte, at Lastens Middelvægtstangsarm med Hensyn til Hængslet i Spidsen blev forøget om denne Størrelse. I Forsøgene havde man

$$2C' = AA' = 3^m,38, \quad h = 1^m,07, \quad C' = 1^m,69.$$

Af det Foregaaende følger, at, naar Vægtstangsarmen for det vertikale Tryk $P = pC$, udøvet paa Svillerne, var $C' = 1^m,69$, var Middelvægtstangsarmen for den ensformig fordelte Belastning

$$\frac{C'}{2} + 0^m,053 = \frac{1^m,69}{2} + 0^m,053 = 0^m,898,$$

og at den for den søgte Spænding T af Trækbaandet beløb sig til $h = 1^m,07$. Ifølge dette kunde man beregne denne Spænding ved Formlen

$$T \times 1^m,07 = P \times 1^m,69 - P \times 0^m,898,$$

hvoraf

$$T = 0^m,74\,P.$$

Under Forsøgene drog man forresten Omsorg for stedse at holde Svillerne i deres oprindelige Afstand $2C' = 3^m,38$ fra hinanden.

Den følgende Tabel indeholder Resultaterne saavel af Beregningen som af Forsøgene.

Ensformig fordelt Belastning af de to Spærrer paa samme Side.	Trækbaandets Spænding	
	beregnet.	iagttaget.
Kilogrammer	Kilogrammer	Kilogrammer
176,0	130,0	134,0
248,0	183,5	184,0
329,0	244,0	242,0

Overensstemmelsen mellem disse to Resultater er saa fuldstændig, som man vel kan ønske sig det.

§ 324. *Forsög med en sammensat Tagbinder.* — Lignende Iagttagelser bleve gjorte med dobbelt Tagbinder af Jern med Strækebaand efter Systemet i Fig. 2, Pl. VI, som blev mig laant af Hr. Kaulek. Dynamometre eller almindelige Fjædervægter, som man iforveien havde justeret, anbragtes paa Trækbaandene EE′, AE og BE. De bleve berigtigede ved Skruebøiler, som tilstedede nøiagtigen at bringe Trækbaandenes Længde til den, som de havde førend Belastningen, og hvorved de to parallele Bindere erholdt den samme Bærevidde 2C′.

Efterat man havde opstillet de to Bindere og overbevist sig om, at de nøiagtig vare af samme Bærevidde, belastede man dem med de ovenfor omtalte Kasser, og ved Hjælp af Skruerne førte man de ved Strækningen af Fjædrene i Vægterne forlængrede Trækbaand nøie tilbage til deres oprindelige Længde for paa denne Maade at kunne maale den Spænding, som disse Trækbaand havde udholdt, dersom de ikke havde været afbrudte ved de dynamometriske Apparater.

Idet man nu beregnede Trækbaandenes Spænding under den anvendte Belastning eller graphisk bestemte dem og sammenlignede dem med de iagttagne Spændinger, erholdt man nedenstaaende Resultater, for hvilke man som givne Størrelser havde:

$$EE' = 1^m,262; \quad AE = A'E' = 0^m,875; \quad BE = BE' = 0^m,848;$$

$$h = 0^m,595; \quad 2C' = 3^m,012;$$

og følgelig gjælder for dette Tilfælde Formlen

$$T = P\frac{C'}{2h} = 1{,}265\,P.$$

Den følgende Tabel indeholder de beregnede og iagttagne Resultater.

Belastning paa hver Spærre. P.	Trækbaandenes Spænding					
	EE′		BE		AE	
	beregnet.	iagttaget.	beregnet.	iagttaget.	beregnet.	iagttaget.
Kilogrammer	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.
35	44,25	42,0	22,5	18,0	66,75	69,6
70	88,50	87,2	44,8	43,0	133,30	141,0

Forsøgets Resultater, som differere snart mere snart mindre end de beregnede, samstemme ialmindelighed med disse saameget, som man kan vente det af saadanne Undersøgelser, især naar man bemærker, at de forsøgte Bindere fremstillede et stort Antal Forbindelser, som i visse Tilfælde selv kunde afgive nogen Modstand.

§ 325. *Følgeslutninger af disse Forsög.* — Man seer altsaa, at de theoretiske Regler stemme saa nøie overens med Iagttagelsesresultaterne, at man uden Frygt kan anvende disse Regler til Beregning af Trækbaandenes Spænding, idet man herved følger den Vei, som er angiven i §§ 321 og 322.

§ 326. *Tagstole efter Model af Stationsbygningerne paa Jernbanen i Versailles og Saint-Germain samt af Exerceerhuset i Vincennes.* — I Tagstole af stor Bærevidde har man foruden Strækbebaandet i Midten endnu to andre, som nok engang dele de to Halvdele af Tagstolstræberne, hvilke saaledes befinde sig understøttede i tre Mellempunkter.

Ligesom i det foregaaende Tilfælde bestemmer man først Spændingen T af det horizontale Trækbaand EE′ (Pl. V, Fig. 21) ved Formlen

$$T = \frac{pCC'}{2h}.$$

Derpaa erholder man ved graphisk Konstruktion Spændingen T_2, som Trækbaandene AH og CH og deres Homologe maa udøve, paadet at Strækbebaandet DH kan holde Punktet D i den rette Linie AB, idet man antager den ensformig fordelte Last $\frac{1}{2}pC$, som trykker paa Længden $AC = \frac{1}{2}C$, erstattet ved dens Æquivalent $\frac{1}{4}pC$, som virker i Punktet D, og idet man ved Konstruktionen af et Parallelogram bestemmer Komponenten af denne Belastning i Retningen DH af Strækbebaandet. Fremdeles gaaer man frem paa samme Maade som angivet i § 321 for ved Tegning at finde de to Komponenter, eller de to med T_2 lige Spændinger, som maae holde Ligevægt med denne Belastning.

Man gaaer derpaa over til Bestemmelsen af Spændingerne T′ og T″ af Trækbaandene EH og EG. Men her maa der foruden Komponenten i Retningen CE af Lasten $\frac{1}{4}pC$, som er ligegjældende med den ensformig fordelte Belastning paa Delen DF af Spærren, ogsaa endnu holdes Ligevægt med Resultanten af de to Spændinger T_2, som Trækbaandene CH og CG med Hensyn paa C udøve fraoven nedad, en Resultant, som forøvrigt endnu er lig med den samme Komponent af $\frac{1}{4}pC$ i Trækbaandets Retning. Følgelig ere Spændingerne T′ og T″ de samme som ved Tagstole med kun eet Strækbebaand.

Ligger derimod Trækbaandet EE′ over Horizontalen, ligesom i Figuren, saa maa man til Komponenten af Belastningen $\frac{pC}{2}$ addere Komponenten af Spændingen T i Retningen af Strækbebaandet CE.

Spændingen af Trækbaandet BG er lig med Summen af dets egen Spænding med Hensyn til Strækbebaandet FG, og Spændingen T″.

Spændingen af Trækbaandet AH er ligeledes lig Summen af Spændingerne T′ og T_2; og den vil desuden blive forøget med Komponenten T_3 af Spændingen T″ af Træk-

baandene EE′ og EG. Man erholder saaledes dens Værdie T_4.

Spændingerne af alle Trækbaand ere saaledes bestemte, og man seer, at Systemets Ligevægt fuldkommen er forsikkret ogsaa uden Hjælp af et andet horizontalt Trækbaand CG′, saaledes som nogle Ingenieurer have anvendt i visse Tilfælde.

Betræffende Tagstolstræberen eller Spærren, saa kan man formindske dens Dimensioner, saasom den efter Længden er understøttet i tre Punkter og befæstet i dens Ender; ved dens Beregning maa man have for Øie, at enhver Del endnu kun har en Bærevidde af $\frac{1}{4}$C, og at følgelig den ensformig paa Spærren fordelte Belastning kun er ligegjældende med en Belastning af $\frac{1}{8}p$C, anbragt i Midten af Rummet mellem to paa hinanden følgende Befæstelsespunkter, samt at endelig Vægtstangsarmen til denne Last kun er $\frac{1}{8}$C. Til Bestemmelse af Dimensionerne for dens Tværsnit har man altsaa Formlen

$$\frac{\mathrm{RI}}{v'} = \frac{1}{64} p \mathrm{CC}',$$

som man betjener sig af paa den sædvanlige Maade.

§ 327. *Om Strœbebaandene.* — Naar man har bestemt de Tryk- eller Kompressionskræfter, som de have at udholde, saa beregner man let de Tværdimensioner, som de ifølge Tabellerne i §§ 95 og 101 maae erholde. Forøvrigt kan man her anvende det Kompressionen godt modstaaende Støbejern.

§ 328. *Bemærkninger over de foranstaaende Regler.* — I den simple Gang, som vi have angivet, sætter man aldeles ud af Betragtning Stivheden af Tagstolstræbernes Forbindelse med Røstet og deres Rivning paa Tagbinderens Underlag og betragter kun Ligevægten af de som ubøielige antagne Dele, idet man antager, at Systemet er fuldkommen bevægeligt omkring dets Sammenføininger. Alle

disse Hypotheser føre til Spændinger, som ere langt større end de, som finde Sted i Virkeligheden, og ere saaledes gunstige for Konstruktionens Varighed.

I runde Tal kan man — forudsat forresten, at man til Bindere af saadan Vigtighed anvender udsøgt Material, — for Koefficienten R antage følgende Værdier:

for Smedejern . . $R = 8000000^{Kil}$ (10960 ℔ pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt),

„ Træ. . . . . $R = 1000000^{Kil}$ (1370 ℔ pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt).

§ 329. *Sammenføininger.* — For at lette Forbindelserne eller Sammenføiningerne forener man Trækbaandene passende med Plader eller Skiver af Smedejern, idet man gjør Enderne af ethvert af Trækbaandene bredere og forsyner dem med et rundt afglattet Hul, i hvilket er indpasset en Bolt, som gaaer gjennem Pladerne; ethvert Trækbaand er saaledes særskilt forbundet. I store Tagstole vilde det være temmelig vanskeligt at bringe i Udøvelse Spændingsmidlerne for alle Trækbaand: saaledes maa man for dem, som ere bestemte til Stræbebaandene, regulere dem derved, at man opstiller Tagstolen paa den Maade, at Tagstolstræberen eller Spærren har i Midten og oventil den Bøining, som vilde været frembragt ved den af det tilsvarende Stræbebaand forplantede Kraft, og som man i § 321 har lært at bestemme. Kalder man denne Kraft S, saa vil Bøiningen være given ved Formlen

$$f = \frac{1}{24} \frac{SC^3}{EI}.$$

Naar Spærren bliver belastet, saa kommer den næsten aldeles tilbage til den retliniede Form.

Betræffende det horizontale Trækbaand, saa kan man anbringe i dets Tagstolstræberen nærmest liggende Ender en paa en Bolt bevægelig Bøile, hvormed man kan stramme

Trækbaandet, hvis Ende danner en Skrue. Undertiden gaaer dette Trækbaand ogsaa gjennem den Sko af Støbejern, som optager Tagstolstræberens Fod, spændes formedelst en ydre Skrue og holdes i sin Stilling ved en indre Modskrue.

§ 330. *Anvendelse paa Exerceerhuset i Vincennes.* — Denne Bygning har Tagstolstræbere og Stræbebaand af Træ med Trækbaand af Jern. Forøvrigt er den i det Hele taget konstrueret efter det i § 326 angivne System. Man har følgende Angivelser:

$$2C' = 23^{m},24, \quad C = 13^{m},84.$$

Tagstolens Totalhøide over dens Underlag er $8^{m},45$, Maalet taget over Røstet; men det horizontale Trækbaand er hævet og befinder sig kun i Afstanden $h = 6^{m},10$ under det Punkt, hvor Tagstolstræbernes Midtlinier sammentræffe. Afstanden mellem Tagbinderne er $3^{m},65$. Taget er tækket med Zink No. 14; men Træafbindingerne ere blevne gjorte sværere end nødvendigt, hvilket man skal see, naar vi foretage Beregningen; saaledes at dets Vægt, som for hver Stræber eller Spærre kun skulde have været 3233 Kilogrammer, deri indberegnet Virkningen af Snee og Vind, er gaaet op til $pC = 5200$ Kilogrammer, som vi maae lægge til Grund for Beregningen af Trækbaandenes Dimensioner.

Ifølge disse Angivelser har man

$$T = \frac{5200 \times 11,62}{2 \times 6,10} = 4952,8 \text{ Kilogrammer.}$$

Antager man, at Trækbaandenes Spænding bør beregnes efter 6 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter (8220 ℔ pr. Quadrattomme norsk Maal og Vægt), saa maa Tværsnittet af det horizontale Trækbaand være

$$\frac{4952^{Kil},8}{6} = 825^{\square Millim.},5 \quad (1,2^{\square Tomme} \text{ norsk})$$

og Jernets Diameter

$$d = \sqrt{1{,}273 \times 825{,}5} = 32^{\text{Millim.}},4 \quad (1{,}24^{\text{Tomme}} \text{ norsk}).$$

Spændingen i Trækbaandene AH, CH, CG og BG, som overføre paa Strækbebaandene DH og FG den nødvendige Anstrængelse for at understøtte Punkterne D og F i Tagstolstræberne, bestemt ved Konstruktion saaledes som anført i § 326 ved Hjælp af Værdien $\frac{pC}{4} = 1300$ Kilogrammer, er 1550 Kilogrammer, hvilket udfordrer $\frac{1550}{6} = 258{,}3$ Quadratmillimetres Tværsnit og en Diameter af 18,20 Millimetre.

De for at understøtte Punktet C nødvendige Spændinger T′ og T″, beregnede efter Værdien $\frac{pC}{2} = 2600$ Kilogrammer, og Komponenten af Spændingen T = 4952,8 Kilogrammer i Retningen CE, som er lig med 1120 Kilogrammer, beløbe sig til 5360 Kilogrammer, hvilket udfordrer for Trækbaandet EG et Tværsnit af $\frac{5360}{6} = 893{,}33$ Quadratmillimetre og en Diameter af 33,40 Millimetre. Trækbaandet HE maa desforuden modstaae Komponenten af Spændingen T i dets Retning, hvilken er lig 4460 Kilogrammer; dets Totalspænding er altsaa

$$5360 + 4460 = 9820 \text{ Kilogrammer};$$

dets Tværsnit maa følgelig være $\frac{9820}{6} = 1636{,}6$ Quadratmillimetre og dets Diameter 45,64 Millimetre.

Trækbaandet BG maa modstaae Summen af Spændingerne T_2 og T″, eller $1550 + 5360 = 6910$ Kilogrammer; dets Tværsnit maa altsaa være $\frac{6910}{6} = 1151{,}66$ Quadratmillimetre og dets Diameter $d = 38{,}4$ Millimetre.

Trækbaandet AH skal endelig modstaae Summen af Spændingen T_2 og Spændingen af HE, eller af

$$1550 + 9820 = 11370 \text{ Kilogrammer};$$

dets Tværsnit vil være $\frac{11370}{6} = 1895$ Quadratmillimetre og dets Diameter $d = 49{,}1$ Millimetre.

Disse Dimensioner ville være tilstrækkelige; men Bygmesteren synes kun at have regnet paa en Modstand af 5 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter (6850 ℔ pr. norsk Quadrattomme) af Tværsnittet, hvilket har ført ham til følgende Dimensioner:

Trækbaandenes Betegnelse	EE′ Millim.	EG Millim.	HC og CG Millimetre	BG Millim.	HE Millim.	AH Millim.
Beregnede Diametre	35,6	37,0	19,9	41,0	50,0	54,0
Diametre, givne af Bygmesteren . . .	40,0	36,0	20 og 27	40,0	55,0	55,0

Man seer, at der hersker en temmelig Overensstemmelse mellem de antagne og de beregnede Dimensioner, ligesom vi have bestemt det under Antagelsen af en Spænding af 5 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter. Men vi troe, at man med fuldkommen Sikkerhed havde kunnet antage de foranstaaende Værdier, der bleve baserede paa en permanent Spænding af 6 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter af Tværsnittet.

Betræffende Tagstolstræberne, saa reduceres deres Formel

$$\frac{RI}{v'} = \tfrac{1}{64} pCC'$$

her til Formlen $$\frac{Rab^2}{6} = \frac{5200 \times 11{,}62}{64},$$

hvoraf $$ab^2 = \tfrac{3}{32} \frac{5200 \times 11{,}62}{800000}.$$

Antager man Forholdet $a = \frac{2}{3} b$, saa erholder man

$$b^3 = \tfrac{9}{64} \frac{5200 \times 11{,}62}{800000},$$

følgelig $b = 0^m{,}22$, og $a = 0^m{,}15$.

Disse Dimensioner ere mindre end de, som Bygmesteren har antaget.

Ialmindelighed kunde alle Dimensioner af denne Tagstol have været formindskede. Tækningens Vægt ligesom Vægten af Tømmerværket er bleven anslaaet for høit, og Trækbaandenes Dimensioner bleve, som man har seet, beregnede under den Forudsætning, at Jernet kun blev udsat for en Spænding af 5 Kilogrammer, medens man i nærværende Tilfælde, hvor man indbringer i Regningen de eneste tilfældige videre Belastninger, Sneens Vægt og Vindens Virkning, uden Fare havde kunnet gjøre R = 8000000 Kilogrammer. Med denne Modifikation vilde man for de forskjellige Trækbaand endnu finde tilstrækkelige Dimensioner. Man skulde selv for Forbindelsesdelene af Træ, hvilke bestode i udvalgt, godt malet og udluftet Material, have kunnet ansætte R = 1000000 Kilogrammer, hvorved Tværsnittet og som Følge heraf Vægten var bleven mindre.

§ 331. *Anvendelse paa Jerntagstolen over Stationsbygningen paa Jernbanen fra Saint-Germain og Versailles.* — Denne Tagstol, aldeles af Jern, har en Bærevidde $2C' = 27^m,24$ og 6 Metres Høide. Det horizontale Trækbaand ligger i en Høide $h = 4^m,88$ under Røstet. Totalvægten af den af enhver Tagstolstræber baarne Belastning er omtrent $pC = 4770$ Kilogrammer. Man har altsaa for Spændingen af det horizontale Trækbaand EE':

$$T = \frac{4770 \times 13,62}{2 \times 4,88} = 6656 \text{ Kilogrammer.}$$

Regnes der 6 Kilogrammers Spænding pr. Quadratmillimeter af Tværsnittet, saa maatte Trækbaandet EE' have et Gjennemsnit af $\frac{6656}{6} = 1109,3$ Quadratmillimetre og følgelig en Diameter $d = 37,6$ Millimetre.

Spændingen T_2 af Trækbaandene CH og CG (Fig.

21) maa bestemmes ved Hjælp af Lasten $\frac{pC}{4} = 1192{,}5$ Kilogrammer, antaget anbragt i D, og som i Retningen af Strækbebaandet (efter § 326) er opløst i Sidekræfter.

Tegningen giver $T_2 = 1840$ Kilogrammer. Tværsnittet af disse Trækbaand maa altsaa have en Overflade af $\frac{1840}{6} = 306{,}6$ Quadratmillimetre og 19,75 Millimetre til Diameter.

Trækbaandene EH og EG maae for at understøtte Strækbebaandet CE have en Spænding, bestemt for en Del ved den i C virkende Belastning $\frac{pC}{2} = 2385$ Kilogrammer, opløst i Sidekræfter efter Retningen CE og adderet til Komponenten af Spændingen T af Trækbaandet EE′, hvilken omtrent er 660 Kilogrammer; heraf erholdes i det Hele ved Tegningen T″ = omtrent 5000 Kilogrammer. Tværsnittet af dette Trækbaand maa altsaa have en Overflade af 833,3 Quadratmillimetre og en Diameter af 32,6 Millimetre.

Trækbaandet BG vil lide en Spænding lig med

$$T'' + T_2 = 6840 \text{ Kilogrammer};$$

dets Tværsnit maa være 1140 Quadratmillimetre og dets Diameter 36,4 Millimetre.

Trækbaandet HE har en Spænding T″ plus Komponenten af Spændingen T af Trækbaandet EE′ efter dettes Retning, hvilket omtrent er lig med 6330 Kilogrammer; dette giver

$$T' = 5000 + 6330 = 11330 \text{ Kilogrammer};$$

Tværsnittet af dette Trækbaand vil da have en Overflade af 1888,33 Quadratmillimetre og en Diameter af 49,2 Millimetre.

Endelig har Trækbaandet AH Spændingen

$$T = T_2 + T' = 1840 + 11330 = 13170 \text{ Kilogrammer};$$

dets Tværsnit maa altsaa være 2195 Quadratmillimetre og dets Diameter 53 Millimetre.

Paa lignende Maade vil man erholde de tilsvarende Diametre for en Spænding af 5 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter af Tværsnittet, og sammenligner man disse Dimensioner med dem, som Bygmesteren har givet, saa faaes følgende Tabel.

Trækbaand		EE′ Millim.	HC og CG Millimeter	EG Millim.	BG Millim.	HE Millim.	AH Millim.
Diametre .. beregnede efter en Spænding pr. Quadratmillimeter af	6Kil.	37,6	19,75	32,6	36,4	49,2	53,00
	5Kil.	41,3	21,6	35,7	41,7	53,7	58,00
antagne af Bygmesteren		45,0	30,0	40,0	40,0	50,0	50,00

Man seer, at ialmindelighed differere de af Bygmesteren antagne Diametre dels over dels under de Dimensioner, som tilsvare en Belastning af 5 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter af Tværsnittet.

§ 332. *Proportionalitet mellem Trækbaandenes Tværsnit og Bærevidderne.* — Man vil have gjort den Bemærkning, at alle efter vor Methode bestemte Spændinger ere proportionale med Tagstolstræberens eller Spærrens Længde og følgelig ogsaa med Bærevidden af Tagstolen med enhver Slags Tækningsmaade.

Saaledes er Spændingen

$$T = \frac{PCC'}{2h}$$

med Tækning af Zink (Tabellen i § 313) lig

$$T = \frac{242{,}06\,C'^2}{2h} = 121{,}03C'\frac{C'}{h},$$

et Udtryk, hvori $\frac{C'}{h} = \frac{1}{0{,}364}$ paa Grund af Tagets Helding, som i dette Tilfælde gjør en Vinkel af 20° med Horizonten; heraf erholdes definitivt

$$T = 332{,}50C'.$$

Ligesaa forholder det sig med den Modstand, som de enkelte eller fordoblede Stræbebaand yde mod Spærrernes Bøining.

Heraf følger, at, naar man har bestemt Spændingerne af Trækbaand for en Tagbinder af given Bærevidde, saa vil man have Spændingerne og saaledes ogsaa Overfladerne af Trækbaandenes Tværsnit for andre Tilfælde ved en simpel Proportion mellem Overflader og Bærevidder; ligeledes ogsaa for Diametrene af de anvendende runde Jerndele, som forholde sig til hinanden som Quadratrødderne af disse Overflader eller af Bærevidderne.

Saasnart altsaa en Tagstol efter et bekjendt System er bleven proportioneret paa den Maade, som Theorie og Erfaring have godkjendt, har man for alle Tage af samme Slags med samme Heldinger Trækbaandenes Diametre, idet man gjør dem proportionale med Quadratrødderne af Bærevidderne.

§ 333. *Bemærkning over Sammensætningen af Tagstole med stor Bærevidde.* — Det Indviklede, som opstaaer ved Anvendelsen af Mellemstræbebaandene DH og FG (Pl. V, Fig. 21), opfordrer nuomstunder, og jeg troer med Grund, Bygmestrene til at lade dem bortfalde og at formindske Afstanden mellem Tagbinderne, hvorved disses Antal forøges, og deres Belastning bliver mindre. Ved Formindskelse i Dimensionerne for Strækere, Trækbaand og Tagstolaaser opstaaer en Udjevning i Vægt, hvorved saavel kan opnaaes Ekonomie som en simplere Konstruktion.

Man maa forresten bemærke, at et eneste Stræbebaand, som understøtter Tagstolstræberen i Midten, er tilstrækkeligt til, at denne kan gjøres af to T-formede Jernstænger, hvis Forbindelse hviler paa dette Stræbebaand. Saadanne Jernstænger kan man erholde af 7 til 9 Metres Længde, naar de ikke ere af for stort Tværsnit.

TAGSTOLE AF JERN FOR ZINKTAGE.

§ 334. *Anvendelse paa Tækning med Zink.* — Bemærkningen i § 332 gjør os det muligt at forene alle Elementer med Hensyn til Konstruktionen af Tagstole af Jern for alle Bærevidder i let brugbare Tabeller.

Betragte vi først en Tagstol af 2 Metres Bærevidde, antage vi videre, at Afstanden mellem Tagbinderne, som vi før have betegnet med e, kun er 1 Meter, og beregne vi Længderne og Belastningerne for denne Tagstol, der skal tjene os som Typus eller Forbillede, saa kunne vi deraf ved en simpel Multiplikation aflede Dimensionerne af alle Dele for enhver Tagstol.

Vi ville imidlertid indskrænke os til at undersøge denne Model-Tagstol for et Zinktag og for en Helding af $\alpha = 20°$. Den paa enhver Tagstolstræber ensformig fordelte Vægt er da $pC = 69{,}16C'$ Kilogrammer ($0{,}094754C'$ ℔ for norsk Maal og Vægt), eller simpelthen $69^{\text{Kil}},16$, naar nemlig $C' = 1$, og Koefficienten 242,06 Kilogrammer, som er given i § 305 for en Afstand mellem Tagbinderne af $3^{\text{m}},5$, reduceres i Forholdet som 3,5 til 1 Meter.

Anvende vi paa denne Modelbinder Beregningerne, af hvilke vi allerede have givet Exempler for nogle særegne Tilfælde, saa erholde vi de i følgende Tabel anførte Tal. Disse Beregninger bleve gjorte for ethvert af de to Tagstolsystemer med eet eller med tre Strækbaand under tre forskjellige Heldingsforhold. I ethvert af disse Systemer, hvori α' er den ved det nedre Trækbaand og Tagstolstræberen dannede Vinkel, har man efterhaanden antaget $\alpha' = 20°$, $\alpha' = 15°$, $\alpha' = 10°$. I det første Tilfælde er det antaget, at Trækbaandet danner i Høide med Underlagene en Spændrigel; ved de to andre Tilfælde ligger det meer eller mindre hævet over dette Sted.

Af disse forskjellige Elementer fremgaae altsaa 6 forskjellige Kombinationer: tre for Tagstolene med eet

og tre for dem med tre Stræbebaand. Disse Anordninger ere fremstillede i Figurerne 3, 4, 5, 6, 7, 8 (Pl. VI) og vi ville i det Følgende betegne dem med Nummerne 1, 2, 3, 4, 5, 6.

Tagbinder med kun eet Stræbebaand; Tækning med Zink; Helding $a = 20°$.

Delenes Betegnelse.	Længder, tilsvarende Vinklerne			Belastninger eller Spændinger, tilsvarende Vinklerne		
	$a' = 20°$.	$a' = 15°$.	$a' = 10°$.	$a' = 20°$.	$a' = 15°$.	$a' = 10°$.
	Meter	Meter	Meter	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.
Tagstolstræber . AB	1,0642	1,0642	1,0642	69,16	69,16	69,16
Stræbebaand . . CE	0,1932	0,1426	0,094	32,50	42,375	55,07
Halvt Trækbaand, dannende en Spændrigel . . . . . B'E	0,434	0,451	0,468	95,00	109,41	127,97
Øvre Trækbaand BE	0,566	0,551	0,5404	47,52	81,86	158,97
Nedre Trækbaand AE	0,566	0,551	0,5404	142,52	188,45	282,67

Tagbinder med tre Stræbebaand; Tækning med Zink; Helding $a = 20°$.

Delenes Betegnelse.	Længder, tilsvarende Vinklerne			Belastninger eller Spændinger, tilsvarende Vinklerne		
	$a' = 20°$.	$a' = 15°$.	$a' = 10°$.	$a' = 20°$.	$a' = 15°$.	$a' = 10°$.
	Meter	Meter	Meter	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.
Tagstolstræber . AB	1,0642	1,0642	1,0642	69,16	69,16	69,16
1 Stræbebaand i Midten . . . . . CE	0,1932	0,1426	0,094	32,50	42,375	55,07
2 Stræbebaand DH, FG	0,0916	0,0713	0,047	16,25	16,25	16,25
Halvt Stræbebaand, dannende en Spændrigel . . . . . B'E	0,434	0,451	0,468	95,00	109,41	127,97
Trækbaand . . . BG	0,283	0,275	0,2702	71,28	113,23	205,33
Trækbaand . . . GE	0,283	0,275	0,2702	47,52	81,86	158,57
Trækbaand . . . HE	0,283	0,275	0,2702	142,52	188,45	282,67
Nedre Trækbaand AH	0,283	0,275	0,2702	166,26	219,82	329,43
Trækbaand . . . CG	0,283	0,275	0,2702	23,76	31,37	46,76
Trækbaand . . . CH	0,283	0,275	0,2702	23,76	31,37	46,76

For andre Tagstole med samme Helding voxe disse Længder i det samme Forhold, som Bærevidden 2C' forøges, saaledes at man kun behøver at multiplicere disse

Dimensioner med den halve Bærevidde C′ for øieblikkelig at erholde de tilsvarende Længder.

Med Hensyn til de paa Delene udøvede Kræfter, saa voxe eller aftage de ligesom Belastningen af Tagstolstræberen eller Spærren, d. e. proportionalt med Afstanden e mellem Tagbinderne og med deres halve Bærevidde C′. Følgelig er det nok at multiplicere de for ethvert Tilfælde beregnede Kræfter i Model-Binderen med $C'e$ for fra Afstanden $e = 1$ Meter og Bærevidden $2C' = 2$ Metre at overgaae til hvilkensomhelst Afstand mellem Binderne og hvilkensomhelst Bærevidde.

§ 335. *Dimensioner af de Dele, som ere underkastede en Trækkekraft.* — Vi vide, at Tværsnittet af enhver Del, som er udsat for en Trækkekraft, udtrykkes ved Forholdet $\frac{T}{R}$, naar T er Spændingen i Kilogrammer eller norske Pund, og Koefficienten R for Smedejern er lig 6000000 eller 8000000 Kilogrammer (8220 eller 10960 ℔ for norsk Maal og Vægt). Dette Tværsnit er altsaa ligesom selve Trækkekraften proportionalt med Produktet $C'e$. Dersom man engang for alle har beregnet det Volumen Jern, som maa anvendes i ethvert System af Model-Tagstolen, saa maa man for at erholde disse Volumer for Delene i hvilkesomhelst andre Tagbindere med Bærevidde 2C′, der ere fjernede fra hinanden om Afstanden e, multiplicere de saaledes fundne Tal med $C'e$ for at erholde Tværgjennemsnittene, og med C'^2e for at erholde Volumerne og Vægterne med Hensyn til enhver anden Afstand og Bærevidde.

Som Exempel ville vi anføre Resultaterne af Beregningen for Trækbaandene i Modeltagstolen No. 1, for hvilken man har

$$a = a' = 20°,\quad C' = 1^{\text{Meter}},\quad e = 1^{\text{Meter}},\quad h = 0^{\text{m}},364:$$

Delenes Betegnelse.	Delenes Længde. L.	Trækkekraft. T.	Tilsvarende Tværsnit. A.	Delenes Volumen.
	Meter	Kilogrammer	Quadratmeter *)	Kubikmeter *)
Halvt Trækbaand, dannende Spændrigel B'E	0,434	95,00	0,000015841	0,000006875
Øvre Trækbaand BE	0,566	47,50	0,000007920	0,000004483
Nedre Trækbaand AE	0,566	142,52	0,000023760	0,000013431
			Summa . .	0,000024789
			Vægten af denne Sum . .	0,1891 Kilog.

Denne Vægt maa man i ethvert enkelt Tilfælde multiplicere med C'^2e for strax at finde Totalvægten af Trækbaandene i den halve Tagbinder. Antager man for R Værdien 8000000 Kilogrammer, saa erholder man et mindre Tal.

Ved en lignende Beregning af de andre Dele erholder man følgende Tal.

Tabel over Vægten af Trækbaandene i Tagstole, tækkede med Zink; Helding $a = 20°$.

Tagbinderens Model.	Værdie af Vinklen a'.	Vægt af Trækbaandene i den hele Binder.
		Kilogrammer
No. 1	20°	0,3782
No. 2 med eet Stræbebaand	15°	0,5000
No. 3	10°	0,7756
No. 4	20°	0,4918
No. 5 med tre Stræbebaand	15°	0,6498
No. 6	10°	0,9071

Ved enhver praktisk Anvendelse multipliceres disse Tal med C'^2e for umiddelbart at erholde Vægten.

Man seer, at ved den altfor store Ophøining af Spændriglen, som ikke paa nogen Maade letter Tagstolstræberne,

*) 1 Quadratmeter = 10,15187 □ Fod = 1461,86928 □ Tommer. 1 Kubikmeter = 32,34587 Kubikfod = 55893,66336 Kubiktommer norsk Maal. *G.*

forøges Vægten af Trækbaandene i en mærkelig Grad. Ved $a' = 10°$ beløber denne Vægt sig omtrent til det Dobbelte af den for $a' = 20°$. Det maa altsaa kun være med Forbehold og ved at tage Hensyn til denne Bemærkning, at det i visse Tilfælde maa ansees hensigtsmæssigt at opoffre Spørgsmaalet om Ekonomie for den Elegance, som en Tagstol af Jern erholder ved Anvendelsen af meget hævede Spændrigler.

Betræffende den Vægtforøgelse, som foraarsages ved Anvendelsen af tre Strækbebaand, saa er den temmelig ubetydelig og tilsteder forresten at kunne benytte lettere Tagstolstræbere eller Spærrer, saasom der herved opstaaer to nye Understøttelsespunkter i deres Længde.

§ 336. *Tagstolstræbernes Dimensioner.* — Af Tabellerne i § 334 erholdes ogsaa Tagstolstræbernes eller Spærrernes Længde ligesom Maalet for de Belastninger, som de i ethvert Tilfælde have at modstaae. Da disse to Elementer ere bekjendte, saa veed man, idet Betegnelserne i §§ 162 og 165 bibeholdes, at Dimensionerne maae anordnes paa den Maade, at følgende Ligninger bestaae:

Tagbindere med eet Strækbebaand, der danner eet Understøttelsespunkt midt under Tagstolstræberen . . . . . { rektangulært Jern $\frac{ab^2}{3} = \frac{1}{16}\frac{pCC'}{R}$; dobbelt T-Jern $\frac{ab^3 - 2a'b'^3}{6b} = \frac{1}{16}\frac{pCC'}{R}$;

Tagbindere med tre Strækbebaand, som i Tagstolstræberens Længde danne tre lige langt fra hinanden liggende Understøttelsespunkter . . . . . { rektangulært Jern $\frac{ab^2}{3} = \frac{1}{64}\frac{pCC'}{R}$; dobbelt T-Jern $\frac{ab^3 - 2a'b'^3}{6b} = \frac{1}{64}\frac{pCC'}{R}$.

I disse Formler maa man for pC sætte $69{,}16\,C'^2e$ Kilogrammer ($0{,}094754\,C'^2e$ Pund for norsk Maal og Vægt), idet Koefficienten 69,16 Kilogrammer er, som vi vide, den Belastning, som svarer til Normal-Tagbinderen, hvis bekjendte Dele indeholdes i Tabellerne i § 334.

Indsætter man altsaa denne Værdie og sætter for R

dens Værdie, R = 6000000 Kilogrammer (8220 Pund for norsk Maal og Vægt), og Beregningerne saavidt muligt udføres, saa finder man for

1 Strœbebaand:

rektangulære Jern . . $\frac{I}{v'}$ eller $\frac{ab^2}{3} = 0{,}00000072\, C'^2 e$,

dobbelte T-Jern $\frac{I}{v'}$ eller $\frac{ab^3 - 2a'b'^3}{6b} = 0{,}00000072\, C'^2 e$;

3 Strœbebaand:

rektangulære Jern . . $\frac{I}{v'}$ eller $\frac{ab^2}{3} = 0{,}00000018\, C'^2 e$,

dobbelte T-Jern $\frac{I}{v'}$ eller $\frac{ab^3 - 2a'b'^3}{6b} = 0{,}00000018\, C'^2 e$.

(For norsk Maal og Vægt have disse Formler det samme Udtryk).

Det andet Led af enhver af disse Ligninger kan umiddelbart beregnes ved Hjælp af Værdierne C′ og e; imidlertid ville nogle Detailler her vel være paa sit Sted for saavel at sammenligne de rektangulære Jern med de dobbelte T-Jern med Hensyn til Bekostning, som ogsaa for at bestemme den Andel, som Tagstolstræberne eller Spærrerne have i Totalmassen af det til Konstruktionen af et Jerntag anvendende Jern.

For at omfatte alle praktiske Tilfælde ville vi i følgende Tabel samle Resultaterne af Beregningen, idet vi antage forskjellige Værdier af e, nemlig $e = 1^{\text{Meter}}$, $e = 2^{\text{Metre}}$, $e = 3^{\text{Metre}}$, $e = 4^{\text{Metre}}$, og lade C′, det vil sige Tagstolens halve Bærevidde, variere fra C′ = 4 Metre, som tilsvarer en Bærevidde af 8 Metre, indtil C′ = 15 Metre, som svarer til en Bærevidde af 30 Metre.

Betræffende de dobbelte T-Jern, saa har man efter for ethvert Tilfælde at have beregnet Værdien $\frac{I}{v'}$ sammenlignet denne Værdie med dem, der ere angivne i Tabellen

i § 245, hvilket har tilladt at kunne bestemme den Model af Jern, som hensigtsmæssigst bør anvendes, det være sig enten blandt Prøverne fra Værket „de la Providence“ eller blandt dem fra Værket „Montataire“. Bogstaverne P og M adskille fremdeles de to Værkers Produktioner. Efterat man paa denne Maade har fundet den rigtige Model, er Ribbens Bredde a bleven bestemt, ved hvilken Størrelsen $\frac{I}{v'}$ erholder den passende Værdie, og man har derpaa beregnet Vægten af Stykket ved Hjælp af de Angivelser, som indeholdes i de respektive Værkers Fortegnelser.

Med Hensyn til de rektangulære Jern er man kommet simplere til Maalet ved at antage et konstant Forhold mellem Stykkets Tykkelse og Bredde, $a = \frac{1}{8}b$.

Tabel over Tagstolstræbere til Jerntage med

Afstand mellem Tagbinderne. *e.*	Tagbindernes Bæreevne. $2C'$.	Værdie af $C'^2 e$.	Tagbinder med 1 Stræbebaand.							
			Værdie af $0{,}00000072 C'^2 e$.	Dobbelte T-Jern.			Rektangulære Jern.			
				Prøvestykkets Betegnelse.	Værdie af *a.*	Vægt pr. løbende Meter.	Bredde. *a.*	Høide *b.*	Vægt pr. løbende Meter.
	Metre	Metre			Meter	Kilogr.	Meter	Meter	Kilogr.
1 Metr.	8	16	0,00001152	„	„	„	0,0111	0,0554	4,79
	10	25	0,00001800	„	„	„	0,0130	0,0647	6,56
	12	36	0,00002592	„	„	„	0,0146	0,0730	8,32
	15	56,25	0,00004048	M_1	0,0439	9,33	0,0170	0,0847	11,23
	„	„	„	P_2	0,0451	11,88	„	„	„
	20	100	0,00007200	M_3	0,0522	15,22	0,0205	0,1026	16,45
	„	„	„	P_3	0,0519	18,90	„	„	„
	25	156,25	0,00011250	P_5	0,0551	20,00	0,0238	0,1191	22,11
	30	225	0,00016200	M_6	0,0665	24,33	0,0269	0,1345	28,22
	„	„	„	„	„	„	„	„	„
2 Metr.	8	32	0,00002304	„	„	„	0,0140	0,0702	7,63
	10	50	0,00003600	M_1	„	8,00	0,0163	0,0815	10,37
	12	72	0,00005184	M_2	0,0476	12,22	0,0184	0,0920	13,20
	„	„	„	P_2	0,0498	15,04	„	„	„
	15	112,50	0,00008096	M_3	0,0538	16,84	0,0214	0,1067	17,82
	„	„	„	P_4	0,0484	16,00	„	„	„
	20	200	0,00014400	M_3	0,0646	26,08	0,0265	0,1323	27,35
	„	„	„	P_4	0,0609	28,44	„	„	„
	25	312,50	0,00022500	M_7	0,0714	34,75	0,0300	0,1500	35,10
	„	„	„	P_7	0,0693	36,60	„	„	„
	30	450	0,00032400	P_8	0,0691	45,40	0,0349	0,1694	46,12
	„	„	„	„	„	„	„	„	„
3 Metr.	8	48	0,00003456	M_1	„	8,00	0,0161	0,0804	10,10
	10	75	0,00005400	M_5	0,0485	13,00	0,0187	0,0933	13,61
	12	108	0,00007776	M_5	0,0530	16,03	0,0210	0,1052	17,23
	„	„	„	P_1	0,0482	15,38	„	„	„
	15	168,75	0,00012144	M_7	0,0604	20,53	0,0246	0,1222	23,45
	„	„	„	P_3	0,0567	22,43	„	„	„
	20	300	0,00021600	M_4	0,0702	32,79	0,0296	0,1480	34,17
	„	„	„	P_7	0,0682	34,40	„	„	„
	25	468,75	0,00033750	P_8	0,0704	48,66	0,0344	0,1717	46,06
	„	„	„	„	„	„	„	„	„
	30	675	0,00048600	„	„	„	0,0385	0,1939	74,65
	„	„	„	„	„	„	„	„	„
4 Metr.	8	64	0,00004608	M_2	0,0452	10,17	0,0197	0,0885	13,57
	„	„	„	P_2	0,0474	14,40	„	„	„
	10	100	0,00007200	M_3	0,0512	14,21	0,0206	0,1026	16,48
	„	„	„	P_3	0,0519	17,90	„	„	„
	12	144	0,00010368	P_5	„	25,00	0,0232	0,1159	26,88
	„	„	„	„	„	„	„	„	„
	15	225	0,00016200	M_6	0,0665	24,33	0,0269	0,1315	28,22
	„	„	„	„	„	„	„	„	„
	20	400	0,00028800	P_8	„	40,00	0,0326	0,1629	41,41
	„	„	„	„	„	„	„	„	„
	25	625	0,00045000	„	„	„	0,0378	0,1890	71,44
	30	900	0,00064800	„	„	„	0,0427	0,2135	91,16

Anmærkning. Denne Tabel, som nærmest har Hensyn til de to

Zinktækning; Tagets Helding $a = 20°$.

Tagbinder med 3 Stræbebaand.						
	Dobbelte T-Jern.			Rektangulære Jern.		
Værdie af $0{,}00000018 C'^2 e$.	Prøvestykkets Betegnelse.	Værdie af a.	Vægt pr. løbende Meter.	Bredde a.	Høide b.	Vægt pr. løbende Meter.
		Meter	Kilogr.	Meter	Meter	Kilogr.
0,00000288	,,	,,	,,	0,0070	0,0351	1,92
0,00000450	,,	,,	,,	0,0082	0,0408	2,61
0,00000648	,,	,,	,,	0,0092	0,0460	3,30
0,00001012	,,	,,	,,	0,0107	0,0534	4,46
,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,
0,00001800	,,	,,	,,	0,0130	0,0647	6,56
,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,
0,00002812	P_1	,,	9	0,0150	0,0750	8,77
0,00004050	M_1	0,0489	9,04	0,0169	0,0847	11,16
,,	P_2	0,0451	11,88	,,	,,	,,
0,00000576	,,	,,	,,	0,0089	0,0443	3,07
0,00000900	,,	,,	,,	0,0102	0,0513	4,18
0,00001296	,,	,,	,,	0,0116	0,0580	5,25
,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,
0,00002025	,,	,,	,,	0,0135	0,0673	7,08
,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,
0,00003600	M_1	,,	8	0,0163	0,0815	10,37
,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,
0,00005625	M_2	0,0495	13,85	0,0191	0,0953	14,20
,,	P_3	0,0471	14,10	,,	,,	,,
0,00008100	M_3	0,0538	16,84	0,0214	0,1068	17,83
,,	P_4	0,0484	15,80	,,	,,	,,
0,00000864	,,	,,	,,	0,0101	0,0506	3,99
0,00001350	,,	,,	,,	0,0118	0,0588	5,41
0,00001944	,,	,,	,,	0,0135	0,0664	6,99
,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,
0,00003037	P_1	0,0441	11,12	0,0154	0,0770	9,24
,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,
0,00005400	M_2	0,0485	12,99	0,0187	0,0993	13,61
,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,
0,00008637	P_4	0,0501	19,20	0,0218	0,1090	18,53
,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,
0,00012150	M_5	0,0604	20,53	0,0244	0,1222	23,45
,,	P_5	0,0567	22,43	,,	,,	,,
0,00001152	,,	,,	,,	0,0111	0,0554	4,79
,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,
0,00001800	,,	,,	,,	0,0130	0,0647	6,56
,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,
0,00002592	M_1	,,	8	0,0146	0,0730	8,32
,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,
0,00004048	M_1	0,0392	9,04	0,0170	0,0847	11,23
,,	P_2	0,0451	11,88	,,	,,	,,
0,00007200	M_3	0,0512	14,82	0,0205	0,1026	16,45
,,	P_3	0,0519	18,90	,,	,,	,,
0,00011250	P_5	0,0551	20,15	0,0238	0,1191	22,11
0,00016200	M_6	0,0665	26,75	0,0269	0,1345	28,22

nævnte Fabrikker, ansees det overflødigt at overføre i norsk Maal

Af de i denne Tabel angivne Tal fremgaaer det, at de to Fabrikker, hvis Produktioner vi have nævnt, ikke kunne levere dobbelte T-Jern for alle i Tabellen angivne Tagbindere.

Paa den ene Side feiler der Jern af de mindre Prøver for Bindere med mindre Bærevidde og mindre indbyrdes Afstande, især i de Systemer, hvor der anvendes tre Stræbebaand; paa den anden Side ere de tykkeste T-Jern fra „de la Providence“ utilstrækkelige for en Bærevidde af 30 Metre og en Afstand mellem Binderne af 3 eller 4 Metre, saavelsom for en Tagbinder af 25 Metre, naar Afstanden mellem Binderne beløber sig til 2 Metre. Tabellen giver for disse Tilfælde, ligesom for alle andre, Dimensionerne af de rektangulære Jern, der bør anvendes under den Forudsætning, som vi have antaget, nemlig af en Tykkelse lig Femteparten af Høiden; ethvert andet Forhold vilde udfordre en tilsvarende Modifikation i Beregningerne.

Naar vi sammenligne de respektive Vægter af de i Tabellen anførte rektangulære Jern og de dobbelte T-Jern fra de la Providence og fra Montataire, som ere passende for de forskjellige Bindere, saa see vi, at Jernene fra Montataire stedse frembyde en betydelig Fordel fremfor de rektangulære Jern, og selv fremfor dem fra de la Providence. Denne Forskjel er undertiden betydelig, og kommer af, at Korpuset i de dobbelte T-Jern er tyndere end i de tilsvarende rektangulære Jern, medens de tillige have en større Høide; denne dobbelte Omstændighed er mindre mærkelig ved de fleste af Jernene fra Montataire, og det er derfor, det undertiden hender, at rektangulære

og Vægt, da man for ethvert enkelt Tilfælde lettelig ved Hjælp af de i denne Paragraph angivne Formler kan beregne Tagstolstræberens Dimensioner. Det gjentages her hvad forhen er anført, at overalt, hvor Formlerne i norsk Maal benyttes, angives og indsættes Længdedimensionerne i norske duodecimale Tommer.

G.

Jern, anvendte som Tagstolstræbere, veie lidt mindre end de tilsvarende T-Jern fra de la Providence. I Figurerne 9 til 14, Pl. VI, give vi en sammenlignende Fremstilling af disse forskjellige Jerns Tværsnit:

1. for Tagbinder med kun eet Stræbebaand, som har 10 Metres Bærevidde og 4 Metres Afstand mellem Binderne (Fig. 9, 10 og 11);
2. for Tagbinder med tre Stræbebaand af 30 Metres Bærevidde og med kun 1 Meters Afstand mellem Binderne (Fig. 12, 13 og 14).

Disse Figurer forklare den sidst berørte Forskjel, men de vise tillige, at de dobbelte T-Jern altid have en langt større Høide end de tilsvarende rektangulære Jern, i hvilke Forholdet mellem Tykkelse og Høide er $\frac{1}{5}$. Denne større Høide, som undertiden er en Fordel i Konstruktionen af Gulve, er kun at betragte som en Uleilighed ved Tagstole, hvorfor man ogsaa ved denne Konstruktionsmaade ofte maa forkaste dette Slags Jerndele.

Sideribberne ere imidlertid fordelagtige fra et andet Synspunkt: thi de gjøre det muligt, at Afbindingerne bedre kunne modstaae tværs paa dem virkende Kræfter og bidrage saaledes til at forøge Varigheden. Ogsaa kunne disse Ribber ofte blive af Nytte i Forbindelserne enten ved at bibeholdes i deres oprindelige Form, eller ved gjennem Omsmedning at modificeres for Tilfældet.

En Sammenligning af Systemerne med eet eller med tre Stræbebaand viser aabenbart, at det sidste System forskaffer en stor Ekonomie med Hensyn til Tagstolstræbernes Vægt. Denne Bemærkning viser sig endnu tydeligere af følgende Tabel, i hvilken vi have indført Vægterne af Tagstolstræberne, idet vi forresten have indskrænket os til den fordelagtigste af de Modeller, der ere angivne i den foregaaende Tabel; det vilde være let efter Behov at fuldstændiggjøre den ved deri at indføre de i Tabellen i §

336 beregnede Vægter for andre Modeller af rektangulære og dobbelte T-Jern.

Vægt af Jerntagstolstræbere for forskjellige Bærevidder og Afstande mellem Tagbinderne.

Afstand mellem Tagbinderne. e.	Tagbindernes Bærevidde. 2C.	Tagstolstræbernes Længde.	1 Stræbebaand.		3 Stræbebaand.	
			Prövestykkernes Betegnelse.	Vægt af begge Stræbere.	Prövestykkernes Betegnelse.	Vægt af begge Stræbere.
	Metre	Metre		Kilogr.		Kilogr.
1 Meter	8	4,2568	Rektangulær.	40,58	Rektangulær.	16,35
	10	5,3210	,,	69,82	Do.	27,78
	12	6,3852	,,	106,26	Do.	42,14
	15	7,9815	M_1	148,94	Do.	71,20
	20	10,6420	M_3	323,96	Do.	139,62
	25	13,3025	P_5	536,12	Do.	233,32
	30	15,9630	M_6	776,76	M_1	288,62
2 Metre	8	4,2568	Rektangulær.	64,96	Rektangulær.	26,14
	10	5,3210	M_1	85,14	Do.	44,48
	12	6,3852	M_2	156,06	Do.	67,04
	15	7,9815	M_3	255,42	Do.	113,02
	20	10,6420	M_3	555,08	M_1	170,28
	25	13,3025	M_7	924,56	M_2	368,50
	30	15,9630	P_8	1472,42	M_3	537,64
3 Metre	8	4,2568	M_1	68,10	Rektangulær.	33,97
	10	5,3210	M_2	138,36	Do.	57,57
	12	6,3852	P_4	196,40	Do.	99,27
	15	7,9815	M_5	327,76	Do.	147,50
	20	10,6420	M_7	697,72	M_2	276,48
	25	13,3025	P_8	1225,42	Rektangulær.	593,00
	30	15,9630	Rektangulær.	2383,28	M_5	655,46
4 Metre	8	4,2568	M_2	86,60	Rektangulær.	40,78
	10	5,3210	M_3	151,24	Do.	69,81
	12	6,3852	P_5	319,26	M_1	102,16
	15	7,9815	M_6	388,38	M_1	144,34
	20	10,6420	P_8	881,37	M_3	315,44
	25	13,3025	Rektangulær.	1900,66	P_5	536,12
	30	15,9630	Do.	2910,38	M_6	854,02

Man seer strax af denne Tabel, at ved tre Stræbebaand reduceres Vægten af Tagstolstræberne om Totrediedele eller dog idetmindste om Halvparten af den Vægt, som udfordres i Systemet med eet Stræbebaand; vi ville snart see, at denne Ekonomie forbliver meget vigtig, endog naar man medtager i Regningen den Forøgelse i Vægt,

som foranlediges af de paa Siderne liggende Strækbaand og Trækbaand.

§ 337. *Strækbaandenes Dimensioner.* — Strækbaandene kunne bestaae af Smedejern eller af Støbejern. Det er altid lange Legemer, ved hvilke Tværdimensionerne ere meget smaae i Forhold til Længden, og man veed, at, naar Forholdet mellem disse Dimensioner overskrider visse Grændser, saa er det nødvendigt at formindske Belastningen pr. Quadratmillimeter, da Legemerne ellers vilde bøie sig.

Anvendelsen af Smedejern forebygger denne Uleilighed, idet ethvert Strækbaand da kan bestaae af to flade Jern, som i korte Mellemrum forbindes ved Mellemstykker og saaledes ville danne Tænger (moises) af Jern, hvis Forbindelse med Tagstolstræberne og med Trækbaandene vil være meget let at udføre. Ved denne Konstruktion blive de ydre Dimensioner af Strækbaandets Tværsnit tilstrækkelig forøgede, idet man bibeholder en og samme Vægt, for at Jernet kan udholde en permanent Belastning af 6 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter, og, regner man den kun til 4 Kilogrammer, saa ere vi sikkre paa at erholde en tilstrækkelig Modstand. Men for ikke at byde Øiet tilsyneladende uforholdsmæssige Dimensioner fordoble vi de saaledes beregnede Overflader og følgelig ogsaa de tilsvarende Vægter. Antage vi, efterat Strækbaandenes Længde og Bæreevne er bestemt i Tabellerne i § 336, i Henhold til Ovenstaaende de Tværdimensioner, som tillade 4 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter, saa kunne vi ogsaa beregne deres Vægt af deres Dimensioner, samt Vægten af Modelbinderen, og deraf danne følgende Tabel, efter hvilken man kun behøver at multiplicere Længderne med C', Belastningerne og Tværsnittene med $C'e$, samt Volumerne og Vægterne med $C'^2 e$, for fra Modelbinderen at overgaae til hvilkensomhelst anden Binder. I Tabellen ere de fordoblede Tal angivne.

Tabel over Dimensionerne for Stræbebaandene af Jern; Zinktag; Taghelding $a = 20°$.

Delenes Betegnelse.	Værdie af Vinklen a'.	Delenes Længde.	Belastninger.	Tværsnit.	Volumen.	Vægt af Stræbebaandene og deres Mellemstykker.
		Meter	Kilogr.	Quadratmeter	Kubikmeter	Kilogr.
Hovedstræbebaand	$a'=20°$	0,1932	32,50	0,0000081	0,00000157	0,0245
Sidestræbebaand .	Do.	0,0916	16,25	0,0000041	0,00000048	0,0061
Hovedstræbebaand	$a'=15°$	0,1426	42,38	0,0000106	0,00000152	0,0237
Sidestræbebaand .	Do.	0,0713	16,26	0,0000041	0,00000029	0,0046
Hovedstræbebaand	$a'=10°$	0,0936	55,07	0,0000133	0,00000125	0,0195
Sidestræbebaand .	Do.	0,0468	16,25	0,0000041	0,00000019	0,0030

Hovedstræbebaandene forblive de samme, enten man foretrækker Systemet med et enkelt Stræbebaand, i hvilket Tilfælde det er nok at fordoble den af ovenstaaende Tabel udledede Vægt for at erholde Totalvægten af en Tagbinders Stræbebaand, eller man anvender Systemet med tre Stræbebaand. I det sidste Tilfælde maa man til det Dobbelte af Hovedstræbebaandets Vægt føie det Firedobbelte af et af Sidestræbebaandenes Vægt for at erholde Vægten af alle Stræbebaand i Tagbinderen. Anvende vi dette paa Modeltagstolen, saa erholde vi følgende Tabel.

Tabel over Vægten af Jernstræbebaandene for en Tagbinder med 2 Metres Bærevidde og 1 Meters Afstand mellem Binderne.

Systemets Betegnelse.	Værdie af Vinklen a'.	Totalvægt af Jernstræbebaandene.
		Kilogramme
Model No. 1 med 1 Stræbebaand . . .	$a' = 20°$	0,0490
„ „ 2 „ „ „ . . .	$a' = 15°$	0,0474
„ „ 3 „ „ „ . . .	$a' = 10°$	0,0390
Model No. 4 med 3 Stræbebaand . . .	$a' = 20°$	0,0734
„ „ 5 „ „ „ . . .	$a' = 15°$	0,0658
„ „ 6 „ „ „ . . .	$a' = 10°$	0,0510

Ved den praktiske Anvendelse paa andre Tagbindere maae disse Tal multipliceres med C'^2e. De Differentser, som fremstaae af dem, ere saa smaae, at man kan be-

tragte deres Indflydelse kun som ubetydelig i Konstruktionen af Jerntagstole. Tagstolstræberen er altid den vigtigste Del; og naar man ikke frygter for at forøge Forbindelserne, saa er Systemet med tre Stræbebaand og een Spændrigel i Høide med Støttepunkterne at foretrække for ethvert andet.

§ 338. *Resultater og Følger.* — Vi kunne endelig nu sammenstille Spørgsmaalets tre Elementer og angive for alle af os undersøgte Tilfælde, hvilke ogsaa temmelig omfatte alle i Praxis, Totalvægterne fuldstændig beregnede. Men først ville vi forene Beregningens samtlige Elementer for nogle særegne Tilfælde.

Vægt af de Jerndele, hvoraf en Tagbinder efter Model No. 1 (Fig. 3, Pl. VI) *bestaaer, for forskjellige Bærevidder og Afstande.*

Afstand mellem Tagbinderne e.	Tagbinderens Bærevidde 2C'.	Værdie af Koefficienten $C'^2 e$.	Trækbaandenes Vægt.	Tagstolstræbernes Vægt.	Stræbebaandenes Vægt.	Totalvægt.
	Metre		Kilogr	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.
1 Meter	8	16	6,05	40,58	0,80	47,43
	10	25	9,45	62,82	1,23	80,50
	12	36	13,62	106,26	1,77	111,65
	15	56,25	21,27	148,94	2,76	175,97
	20	100	37,82	323,96	4,90	366,68
	25	156,25	59,10	536,12	7,66	602,88
	30	225	85,10	776,76	11,03	872,79
4 Metre	8	64	24,21	86,60	3,14	113,95
	10	100	37,82	151,24	4,90	193,96
	12	144	54,46	319,26	7,06	380,78
	15	225	85,10	388,38	11,03	484,51
	20	400	144,28	881,38	19,60	1045,25
	25	625	236,30	1900,66	30,63	2167,67
	30	900	336,38	2910,38	44,10	3290,86

Disse Tal ere tilstrækkelige for at bevise det Overveiende af Tagstolstræberne eller Spærrerne i Totalvægten. Da Sammenstillingen af saadanne Tabeller for de andre Tilfælde ikke fremstiller nogen Vanskelighed, saa ville vi kun forene Resultaterne, m man vilde erholde, i følgende

Tabel, paadetat man ved første Overblik kan see de Fordele, der med Hensyn til Ekonomie ere forbundne med det ene eller det andet System.

Vægt af de Jerndele, af hvilke en med Zink tækket Tagstol bestaaer, for forskjellige Bærevidder og Afstande.

Afstand mellem Tagbinderne. *e.*	Tagbinderens Bærevidde. *2C.*	Totalvægt af en Tagbinder.					
		Med 1 Stræbebaand.			Med 3 Stræbebaand.		
		Model No. 1.	Model No. 2.	Model No. 3.	Model No. 4.	Model No. 5.	Model No. 6.
	Metre	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.
1 Meter	8	45,73	47,34	62,38	25,40	27,80	31,68
	10	80,50	83,51	90,19	41,92	45,67	51,73
	12	121,65	125,97	135,59	62,49	67,90	76,63
	15	175,97	179,74	194,76	102,44	111,45	125,09
	20	366,68	378,70	407,42	196,14	211,18	235,43
	25	602,88	621,76	663,40	321,66	345,13	383,02
	30	872,79	899,93	960,05	469,89	449,63	504,19
2 Metre	8	78,66	82,48	91,04	44,24	49,04	56,20
	10	106,50	112,52	125,88	72,66	80,26	92,39
	12	186,84	195,48	214,72	107,75	118,56	136,02
	15	303,48	317,01	347,16	178,50	193,53	220,81
	20	640,52	565,28	718,72	284,22	313,40	362,90
	25	1058,08	1095,83	1179,12	544,19	592,12	667,91
	30	1664,68	1718,76	1839,00	900,18	859,66	968,99
3 Metre	8	88,65	94,38	107,22	61,12	68,32	79,96
	10	170,40	179,43	199,47	99,98	111,24	129,43
	12	242,57	255,53	284,40	160,33	176,55	208,75
	15	399,85	420,15	465,21	241,22	268,26	309,18
	20	826,08	861,94	942,10	446,04	491,16	563,91
	25	1425,70	1482,33	1607,25	858,03	928,44	1042,11
	30	2671,67	2752,79	2933,15	1199,26	1138,49	1302,18
4 Metre	8	113,95	121,64	138,76	76,98	86,58	102,01
	10	193,96	206,00	232,72	126,35	141,37	165,62
	12	380,78	398,10	436,59	183,58	205,20	240,13
	15	484,51	511,56	571,65	269,30	305,35	369,92
	20	1045,25	1100,33	1207,21	541,52	601,68	698,68
	25	2167,67	2243,20	2409,77	889,50	983,37	1104,93
	30	3290,36	3403,06	3643,54	1579,09	1498,06	1720,31

Sammenligner man de respektive Totalvægter for Modellerne 1, 2 og 3 med de tilsvarende Tal for Modellerne 4, 5 og 6, saa vil man strax erkjende, at der til Gunst for de sidste hersker en betydelig Forskjel; denne Forskjel er ofte Halvparten af Totalvægten. For Tagstole med

stor Bærevidde kan man ikke noksom anbefale Systemet med tre Strækbebaand, da det medfører en saa stor Ekonomie i Materialiernes Vægt. Det udfordrer vel nogle flere Sammenføininger; men de deraf opstaaende større Bekostninger ere i Sammenligning med den angivne Besparelse meget ubetydelige.

Undersøger man Tallene i en og samme Horizontalrække, saa seer man tydeligt de forskjellige Systemers Vægtdifferentser. Man vil bemærke, at den Vægtforøgelse, som opstaaer af Spændriglens høiere Beliggenhed, her synes langt ubetydeligere, end da vi blot betragtede den med Hensyn til Trækbaandene, hvilket ligger deri, at Tagstolstræberne forblive de samme, i hvilken Høide man end anbringer Spændriglen. Denne Forøgelse af Vægt vil forøvrigt ikke udjevnes ved nogen Besparelse, thi Forbindelserne blive de samme, og neppe vil Vægten af Strækbebaandene blive modificeret.

En anden væsentlig Bemærkning paatrænger sig os ved Undersøgelsen af Tallene i en og samme Vertikalkolonne, naar man samlet betragter de Tal, som svare til en og samme Bærevidde; vi see saaledes, at for en Afstand af 1 Meter mellem Tagbinderne er Vægten af enhver af dem mærkelig mindre end den tilsvarende Vægt for en Afstand af 2, 3 og 4 Metre. Det maa imidlertid bemærkes, at, dersom det Rum, der skal overtækkes, har L Metres Længde, er Antallet af de Tagbindere, som maae anvendes, $n = \frac{L}{e} + 1$, hvori $\frac{L}{e}$ nødvendigvis maa være et helt Tal.

For $e = 1^m$ finder man $n_1 = L + 1$;

for $e = 4^m$ finder man $n_4 = \frac{L}{4} + 1$;

hvoraf

$$\frac{n_1}{n_4} = \frac{L+1}{\frac{L}{4}+1} = 4 - \frac{12}{L+4}.$$

Heraf sees, at, med mindre man har at overtække meget smaae Længder, er det Antal Tagbindere, som udfordres, næsten omvendt proportionalt med deres Afstand. Paadetat Omkostningerne kunne blive lige, maatte saaledes den passende Binder for $e = 1^m$, kun veie Fjerdeparten af det, som en Tagbinder af samme Bærevidde veier for en Afstand af $e = 4^m$. Tabellen viser os, at dette ikke er Tilfældet, og at det følgelig med Hensyn hertil synes at være fordelagtigere at forøge Afstanden mellem Binderne. Men andre Betragtninger modsætte sig denne Slutningsfølge. Forstørrer man Afstanden mellem Tagbinderne, saa forøges just derved ogsaa Bærevidderne af Aaserne (pannes), af Røstaasen (faîtage) og af alle langsløbende Dele, og man maa følgelig give disse større Dimensioner. Vi maae endnu opholde os nogle Øieblikke ved dette Spørgsmaal, som endnu mere forvikler sig derved, at et større Antal Tagbindere ogsaa fordrer et større Antal Forbindelser og saaledes forøger Tagværkets Pris.

§ 339. *Dimensioner af de langslöbende Dele.* — For at kunne modstaae Vinden og Kræfter, som maatte yttre sig i et Tags Længderetning, maae de enkelte Tagbindere forbindes paa saadan Maade, at de i denne Retning frembyde tilstrækkelig Styrke; dette er Hensigten med Røststolvæggen eller Mønnestolen (ferme sous faîte), som i alle Tagværk bestaaer af Røst- eller Mønneaasen, der ved Stræbebaand er stærkt forbunden med Hængsøilerne eller Hængstængerne.

Modstanden forøges endnu derved, at man for Tagstolens Underlagssvil med Hensyn til Stænderne, som bære den, træffer en lignende Foranstaltning, naar Taget simpelthen bæres af saadanne Underlag; men det er almindeligvis ikke Tilfældet ved Tage med store Bærevidder, med hvilke vi her fornemmelig beskjæftige os.

Tagstolstræberne bære stedse een eller forskjellige Rækker af Aaser, paa hvilke Undertækningen eller Læg-

teværket hviler, og som sikkert maae forbindes med enhver Stræber eller Spærre, paadetat disse nye Dele kraftig kunne medvirke til alle Tagbinderes Styrke. Røst- eller Mønneaasen, Mellemaaserne og Underlagssvillerne ere vel fuldkommen tilstrækkelige til at fastholde Binderne i deres indbyrdes Stilling; men Røststolbinderen er ligesaa nødvendig for at modsætte sig de Kræfter, der virke efter Længden, og som i denne Retning stræbe at omkaste Binderne.

Omendskjønt Anordningen af de langsløbende Dele kan være forskjellig alt efter de forskjellige praktiske Tilfælde, saa ville vi dog antage, at de ligge omtrent 2 Metre fra hinanden, nemlig overensstemmende med de Dimensioner, som Kaulek har antaget for Konstruktionen af Jerntaget over et Magasin for Værkstedet de la Providence paa Jemappequaien i Paris. Denne Afstand er forresten ogsaa den, som bedst passer til de almindelige Dimensioner af de i Handelen forekommende Tækningsbord.

I Modeltagbinderen med 20° Helding er som bekjendt Stræbernes eller Spærrernes Længde $1^m,0642$. For enhver anden Binder, hvis Bærevidde vilde være $2C'$, blev denne Længde $1^m,0642\,C'$ og udfordrede for den hele Tagbinder to Underlagssviller, een Mønneaas og et Antal af n Aaser, givet ved Formlen $2\left(\frac{1,0642\,C'}{2}-1\right)$, da Antallet af de for enhver Tagflade nødvendige Aaser er $\frac{1,0642\,C'}{2}-1$.

Summen af alle Dele efter Længden vil da være

$$3+2\left(\frac{1,0642\,C'}{2}-1\right)=1+1,0642\,C',$$

et Udtryk, som, paa Grund af at det maa give et helt ulige Tal, maa modificeres derhen, at man forstørrer det sidste Udtryk saaledes, at Størrelsen $1,0642\,C'$ erstattes ved det umiddelbar paafølgende høiere lige Tal.

Denne Regel fører til følgende Tabel.

Totalbærevidde 2C'.	Antal langslöbende Stykker.
Metre	
8	7
10	7
12	9
15	9
20	13
25	15
30	17

Ved Tage af 8 til 12 Metres Bærevidde have vi været nødte til at antage en betydelig mindre Afstand mellem Aaserne end 2 Metre; men det er da bedre at gjøre Delene lettere end at tage sin Tilflugt til en større Afstand, til hvilken de i Handelen forekommende Bord forresten ikke passe.

I alle andre Tilfælde kunne vi antage, at enhver Tagaas bærer, ensformig fordelt paa dens Længde, en Tækningsflade af 2 Metres Bredde, hvilket ifølge Angivelserne i § 305 udgjør 128*) Kilogrammer pr. Længdemeter ved et Zinktag med 20° Helding.

For at beregne Dimensionerne af Tagaaserne kan man altsaa anvende følgende Formel, angiven i § 336: rektangulært Jern:

$$\frac{I}{v'} \text{ eller } \frac{ab^2}{3} = \frac{1}{4}\frac{128e^2}{6000000} = 0{,}00000533e^2;$$

dobbelt T-Jern:

$$\frac{I}{v'} \text{ eller } \frac{ab^3 - 2a'b'^3}{6b} = \frac{1}{4}\frac{128e^2}{6000000} = 0{,}00000533e^2;$$

e, eller Afstanden mellem Tagbinderne, er her Længden af den Bøiningskraften underkastede Aas.

Disse Formler ere forresten kun anvendelige paa det Tilfælde, hvor Forbindelsen af Aasen med Spærren kan

*) Ifølge § 305: 130 Kilogrammer.

betragtes som et urokkeligt Befæstelsespunkt, hvilket ikke frembyder nogen Vanskelighed ved Sammenføiningen af Jerndele.

Ved efterhaanden at give *e* forskjellige Værdier lader sig som oven beregne Tallene i følgende Tabel.

Afstand mellem Tagbinderne. *e.*	Værdie af $\frac{I}{v'}$	Dobbelte T-Jern.			Rektangulære Jern.		
		Prövestykkernes Betegnelse.	Værdie af *a.*	Vægt pr. löbende Meter.	Bredde *a.*	Höide *b.*	Vægt pr. löbende Meter.
Meter			Meter	Kilogr.	Meter	Meter	Kilogr.
1	0,00000533	,,	,,	,,	0,0086	0,0431	2,90
2	0,00002132	M_1	,,	8,00	0,0137	0,0684	7,31
3	0,00004797	M_2	0,0460	10,85	0,0179	0,0896	12,51
4	0,00008528	P_4	0,0490	18,80	0,0218	0,1089	18,52

I det Følgende ville vi antage Vægterne pr. løbende Meter, 2,90 Kilogrammer, 7,31 Kilogrammer, 12,51 Kilogrammer og 18,52 Kilogrammer som respektive svarende til Afstandene 1, 2, 3 og 4 Metre. Naar vi saaledes kjende Vægten af en Tagaas pr. løbende Meter, er det nok at multiplicere denne Vægt med Antallet af de langsløbende Aaser og med Længden af det Rum, som skal overtækkes, for strax at finde Totalvægten af disse Stykker.

§ 340. *Denne Bemærknings Indflydelse paa de foregaaende Resultater.* — Dersom vi ville gjøre en praktisk Anvendelse af disse Resultater for at bestemme, om det i et givet Tilfælde er hensigtsmæssigt at vælge en stor eller liden Afstand mellem Tagbinderne, saa maae vi henholde os til Tabellen i § 338. Handles der f. Ex. om en Bærevidde af 30 Metre, hvortil der udfordres 17 Tværribber, saa maa man føie til Vægten af en Tagbinder No. 1 med en Afstand af 4 Metre, som er . . . . . $3290^{Kil},86$
Vægten af 17 Aaser af 4 Metre, og Vægten pr. løbende Meter, 18,52 Kilogrammer (foranstaaende Tabel), eller $17 \times 4 \times 18{,}52$ Kilogrammer = $1259^{Kil},36$

Totalvægt af et Mellemrum paa 4 Metre i Tilfælde af 4 Metres Afstand mellem Tagbinderne er altsaa 4550Kil,22

Regner man ligedan for en Afstand mellem Binderne af 1 Meter, saa har man:

Vægten af en Tagbinder No. 1, med 30 Metre = 2C′, $e = 1$ Meter 872Kil,79

Vægten af 17 Længdeaaser af 1 Meter og Vægt for løbende Meter af 2,90 Kilogrammer (foranstaaende Tabel), eller $17 \times 1 \times 2{,}90$ Kilogrammer 49Kil,30

Totalvægt af et Mellemrum paa 1 Meter 922Kil,09

For 4 Metres Taglængde har man altsaa $4 \times 922{,}09$ Kilogrammer eller 3688,36 Kilogrammer, hvilket i dette Tilfælde vilde gjøre en Besparelse af 861,86 Kilogrammer pr. 4 Metre til Gunst for den mindre Afstand.

Ialmindelighed erholder man det samme Resultat for forskjellige Bærevidder, saasom Vægten af de langsløbende Dele ved store Afstande udøver en overveiende Indflydelse, medens Vægten ved 1 Meters Afstand forholdsvis er meget ringe.

Det er Bygmesterens Sag at sammenholde disse Beregninger over Omkostningerne med den Elegance og Lethed, som den ene eller den anden Anordning medfører.

§ 341. *Stræbebaand af Støbejern.* — Vi have seet, at Vægten af Stræbebaandene ialmindelighed kun har en meget underordnet Vigtighed i det Spørgsmaal, som beskjæftiger os; de Følgeslutninger, hvortil vi ere blevne ledede, ville altsaa forblive de samme, om man forfærdiger dem af Smedejern eller af Støbejern, hvilket sidste ligeledes meget godt modstaaer Kompression. Vel passer Støbejernet ikke saa godt til Materiens Fordeling i Legemets Tværsnit som Smedejernet, ved tilstrækkeligt at kunne forøge de ydre Dimensioner af dette Tværsnit i begge Retninger, hvilke Dimensioner altid ere meget smaae med Hensyn

til Legemernes Længde. Vil man gjøre Stræbebaandene af Støbejern, saa maa man betragte dem som massive støbte Søiler og bestemme deres Tværsnit ved Formlen i § 101:

$$P^{Kil} = 1780 \frac{d^{3,6}}{l^{1,7}} \quad (P^{\text{℔}} = 16243 \frac{d^{3,6}}{l^{1,7}} \text{ for norsk Maal og Vægt}),$$

hvoraf

$$d^{3,6} = P^{Kil} \frac{l^{1,7}}{1780} \quad (d^{3,6} = P^{\text{℔}} \frac{l^{1,7}}{16243} \text{ for norsk Maal og Vægt});$$

en Formel, ved hvilken man direkte kan beregne d^2 ved Logarithmer, eller finde d ved den i § 104 gjorte graphiske Konstruktion.

I Praxis erholde Stræbebaandene en Udbugning paa Midten, for at de ikke skulle bøie sig, og ialmindelighed giver man deres Tværsnit Formen af et Kors med lige Arme, som ere forstærkede med Ribber, saaledes som vi have seet det ved Bevægelsesaxler.

Uagtet disse Anordninger, som forringe Ulemperne ved Anvendelsen af Støbejern til Stræbebaandene, maa det dog erkjendes, at Smedejernet bedre vil modstaae tilfældige Stød eller enhver Indvirkning af en fra Siden virkende Kraft, ligesom forresten Forbindelsen med Tagstolstræberne eller Spærrerne altid bekvemmere lader sig udføre, idet man ved Smedning nedbøier den nedre Ribbe af det dobbelt-T-formede Tværsnit i Forbindelsesstedet, hvorved der dannes en Flade, paa hvilken de to indre Sider af det som Tang dannede Stræbebaand med Lethed lader sig befæste.

Fjerde Afdeling.

Vridning. (Torsion).

THEORETISKE BEGREBER.

§ 342. *Legemernes Modstand mod Vridning.* — Naar en Axel, der skal forplante en Bevægelse, bærer to Hjul, hvoraf det ene modtager Virkningen af den bevægende Kraft, og det andet maa overvinde den modstræbende Modstand, saa lide alle Molekuler i denne Axel ved disse hinanden modsatte Kræfter en Vinkelfordreining, som man betegner med Navnet Vridning (Torsion).

Denne Virkning gjør sig ofte bemærkelig for det blotte Syn, i det Øieblik kraftige Motører sættes i Gang, hvilke have at trække eller bringe store Masser i Bevægelse, og bliver saameget mere mærkbar, naar den forplanter sig fra en Axel til en anden og saaledes paa en vis Maade fordobler sig fra Axel til Axel; det vil derfor ofte bemærkes, at den første Motør, f. Ex. et Vandhjul, er i den bedste Gang, førend de sidste Organer have begyndt at bevæge sig.

Man indseer lettelig, at de ved Vridningen frembragte Fordreininger voxe paa den ene Side med Fibrernes eller de vedkommende Molekulers Afstand fra Axen, og paa den anden Side med Længden af de Axler eller Legemer, som ligge mellem de til Omdreiningsaxen perpendikulære Planer, hvilke indeholde de Kræfter, som bevirke Omdreiningen, og dem, som modsætte sig den.

I ethvert perpendikulær til Omdreiningsaxen staaende Tværsnit frembringes ved den Vridning, som det lider, med Hensyn til dets foregaaende Stilling en Forrykkelse af Molekulerne ved Dreiningen om en Axe, der i Maskinerne som Følge af Symmetrien hos de anvendte Profiler altid er Axen for den almindelige Bevægelse; det er altsaa naturligt at antage, og saa at sige indlysende, at Molekulernes absolute Fordreininger i ethvert Tværsnit ere proportionale med deres Afstande fra Axen, og at deres Vinkelfordreininger ere konstante, eller med andre Ord, at alle Molekuler, som førend Vridningen laae i en ret Linie eller i en gjennem Axen gaaende Radius, efter Vridningen igjen befinde sig i samme Radius.

Naar paa den anden Side Legemet er sylindrisk eller prismatisk, saa lide dets forskjellige Tværsnit, beliggende mellem de til Axen perpendikulære Planer, som indeholde Modstandene eller de bevægende Kræfter, den samme Vinkelfordreining, fordi de i dette Tilfælde alle ere lige; man seer altsaa, at Forrykningerne, som de Molekulærtraade eller Fibrer lide, hvilke først vare beliggende i en ret Linie parallel med Axen, føie sig til de øvrige saaledes, at den totale eller relative Forrykning af to Molekuler, beliggende i de to modsatte Ender af den for Vridning udsatte Del af Legemet, er proportional med Længden af denne Del eller med den Afstand, som adskiller disse Ender.

Da saaledes Forrykningerne eller de af Molekulerne i en og samme Fiber beskrevne Buer ere proportionale med deres Afstande fra Legemets Ende, saa seer man, at Fibrerne bøie sig i Spirallinier, hvis Gang er den samme for alle Fibrer med hvilkensomhelst Afstand fra Axen, men for hvilke Tangentens Helding voxer med denne Afstand.

Da ved denne Bevægelse Legemerne ikke forkorte sig, saa forblive de forskjellige Tværsnit indbyrdes i samme Afstand, og deraf er det indlysende, at de Fibrer, som

have krummet sig efter Spirallinien, have forlængret sig saameget, som den hele Længde af den udviklede Spirallinie overstiger Fibrernes oprindelige Længde. Som man seer, hersker der altsaa et direkte Forhold mellem Molekulernes Modstand mod Vridning og deres Modstand mod Forlængring.

Efter disse almindelige Betragtninger ville vi udtrykke Følgeslutningerne deraf ved simple Formler, der sætte os istand til at sammenligne hine med Iagttagelsernes Resultater.

§ 343. *Ensartede Legemers Modstand mod Vridning. De ydre og de indre Kræfters Ligevægt.* — Naar man betragter to uendelig nær hinanden beliggende Tværsnit IK og *ik* (Pl. VI, Fig. 15) og især en af Elementærfibrerne, som danne Skiven IK*ik*, og som ere parallele med Axen AB, omkring hvilken den ved Vridningen frembragte Omdreining finder Sted, saa seer man først, at, naar Tværsnittet IK antages som fast, vil Enden n af Fibren mn forrykkes angulært om Størrelsen eller om Buen $R'a_1$, naar man kalder R' Afstanden fra Axen, og a_1 den elementære Bue, bestemt ved Enheden af Afstanden; og tager man Forholdet af denne Forrykning til Længden Cc af Fibren, saa har man for Forrykningen, henført til Enhed af Afstanden eller pr. Enhed af Legemets Længde, Forholdet $\frac{R'a_1}{Cc}$.

Kalde vi altsaa l Afstanden Cc mellem de to Afsnit, A Overfladen af Tværsnittet af Fibren mn, saa vil den Kraft, som er nødvendig til at frembringe Forskydning ved Dreining, for denne Fiber være:

$$T = GA \frac{R'a_1}{l}.$$

Naar man kalder G Modstanden mod Sideforskydning pr. Enhed af Legemets Overflade og af dets Længde, og Afstanden l er den samme for alle Fibrer i Tværsnittet, saa staaer den største Forskydning, og følgelig den største

Kraft i Forhold til den fra Axen AB mest fjernede Fiber, eller til den største Værdie af R′, som vi ville kalde R.

For at der nu kan blive Ligevægt mellem de ydre Kræfter, som stræbe at vride Legemet, og Fibrernes molekulære Modstande mod Vridning, maa der være Lighed mellem de enes og de andres Momenter med Hensyn til Axen, hvorom denne Ligevægt danner sig.

Momentet af Kraften T med Hensyn til en af Fibrerne er:

$$TR' = GA\frac{R'^2 a_1}{l},$$

hvori G, l og Fordreiningsvinklen a_1 ere de samme for hele Udstrækningen af et og samme Tværsnit; det følger heraf, at Summen af alle lignende Momenter for det hele Afsnit er lig Produktet af $G\frac{a_1}{l}$, multipliceret med Summen af de AR'^2 lignende Produkter, af hvilke ethvert er Overfladen af Fibren *mn*'s Tværsnit multipliceret med Quadratet af dets Afstand fra Axen. Denne Sum af Produkterne AR'^2 blev af Persy kaldet *det polare Inertiemoment.* Naar det betegnes med I_1, vil Summen af Momenterne af alle de molekulære Modstande mod Vridning være $GI_1\frac{a_1}{l}$, og maa være lig Summen M af de ydre Kræfters Momenter, som stræbe at frembringe Vridningen, saaledes at man for den almindelige Betingelse af Ligevægt vil have Forbindelsen

$$GI_1\frac{a_1}{l} = M.$$

Dette er den almindelige Forbindelse, som udtrykker Ligevægtsbetingelsen mellem de molekulære Modstande mod Forrykning ved Vridning og de ydre Kræfter for ethvert af Legemets Tværsnit.

§ 344. *Bemærkninger betræffende Sylindre og Prismer.* — I dette Udtryk er Forholdet $\frac{a_1}{l}$ nøiagtig den trigonome-

triske Tangent til Fordreiningsvinklen af de Fibrer, som ere beliggende i Enhedsafstanden fra Axen; og da for sylindriske eller prismatiske Legemer, hvis Axe er perpendikulær paa Tværsnittets Plan, denne Vinkel er den samme ved ethvert af dem, saa krumme Fibrerne sig under Vridningen efter Spirallinier, hvis Vending betinges ved dette Forhold, og hvis Helding er proportional med deres Afstand R′ fra Axen.

Heraf udleder man:

$$\frac{a_1}{l} = \frac{M}{GI_1} \text{ og } a_1 = \frac{M}{GI_1} l.$$

Altsaa har man for et prismatisk eller sylindrisk Legeme af Længde L, naar alle med Afstandsenheden maalte Vinkelfordreininger sammenføies, for den hele Fordreiningsvinkel af dets yderste Afsnit:

$$a = \frac{M}{GI_1} L.$$

Følgelig ere Vridningsvinklerne

1. proportionale med Summen af de ydre Kræfters Momenter;
2. proportionale med Legemernes Længde, eller med den Afstand, som adskiller de ydre Tværsnit.

Disse to Følgeslutninger bleve stadfæstede af DHrr. Duleau og Savart med Hensyn til de Vinkelforrykkelser, som ligge mellem de Grændser, hvori Elasticiteten ikke er bleven forandret.

§ 345. *Bemærkninger over Brugen af foranstaaende Formel.* — Vi ville først bemærke, at, da a her er udtrykt ved en Sirkelbue med en Radius lig Enheden, medens den i den fra Axen mest fjernede, i Afstanden R′ liggende Fiber frembragte virkelige Vridningsbue, der er den, som det er magtpaaliggende at kjende og at begrændse, har Værdien R′a, saa er det nødvendigt at multiplicere de to Led af ovenstaaende Udtryk med R′, hvilket giver:

$$R'a = \frac{M}{GI_1} LR'.$$

Endvidere er det nødvendigt i de fleste Tilfælde i Praxis, især i Maskinvæsenet, at begrændse Forrykningsvinklerne af Axlernes yderste Dele; og da man har seet, at de ere proportionale med Legemernes Længde L, saa maa den i ethvert Tværsnit frembragte Vridningsvinkel gjøres saameget mindre, som Legemet er længere, hvilket vil sige, at Forholdet $\frac{R'a}{L}$ maa have en ifølge det anvendte Materials Natur og Bestemmelsen af det under Betragtning havende Apparat begrændset Værdie.

Vi komme senere tilbage til disse Betragtninger.

§ 346. *Anvendelse af foranstaaende Formel paa Sylindre og Prismer.* — For at sammenligne de ved foranstaaende Formel erholdte Resultater med dem, der ere iagttagne ved nævnte Autorers Forsøg, maa man indsætte deri Værdierne af det polare Inertiemoment I_1, som tilsvare deres Former.

§ 347. *Værdie af Tværsnittenes polare Inertiemoment.* — Kalder man v og u Afstandene i Tværsnittet m af en Elementærfiber fra to perpendikulær til hinanden staaende Axer ox og oy (Pl. VI, Fig. 16), som gaae gjennem Tværsnittets Tyngdepunkt, saa erholder man aabenbart:

$$aR'^2 = av^2 + au^2.$$

Det polare Inertiemoment af en plan Overflade er altsaa lig Summen af Inertiemomenterne, tagne med Hensyn til to gjennem Tyngdepunktet af dette Tværsnit gaaende retvinklige Axer. Heraf følger, at for den fulde Sirkel, hvis Inertiemoment med Hensyn til hvilkensomhelst Diameter er $\frac{1}{4}\pi R'^4$, vil det polare Inertiemoment være:

$$I_1 = \tfrac{1}{2}\pi R'^4 = \tfrac{1}{2} AR'^2,$$

og følgelig

$$\frac{I_1}{R'} = \tfrac{1}{2}\pi R'^3 = \tfrac{1}{2} AR' = 1{,}5708R'^3 = 0{,}19635d^3.$$

Ligeledes vilde man have for en Sirkelkrands:

$$I_1 = \tfrac{1}{2}\pi(R'^4 - R''^4) = \tfrac{1}{2}A(R'^2 + R''^2),$$

og $$\frac{I_1}{R'} = \tfrac{1}{2}\pi\left(\frac{R'^4 - R''^4}{R'}\right) = \tfrac{1}{2}A\left(\frac{R'^2 + R''^2}{R'}\right).$$

De i § 235 gjorte Bemærkninger vedkommende den større Modstandsevne hos hule end hos massive Sylindre lade sig ogsaa her anvende.

For et Prisma med rektangulært Tværsnit har man, naar a betegner Bredden og b Høiden af Rektanglet,

$$I_1 = \frac{a^3b^3}{3(a^2+b^2)} \text{ og } \frac{I_1}{R'} = \frac{2}{3}\frac{a^3b^3}{(a^2+b^2)^{\frac{3}{2}}},$$

forudsat at den største Værdie af $R' = \frac{1}{2}\sqrt{a^2+b^2}$.

Er Tværsnittet quadratisk, saa har man $a = b$, og følgelig:

$$I_1 = \frac{b^4}{6};\quad R' = \tfrac{1}{2}b\sqrt{2};\quad \frac{I_1}{R'} = \tfrac{1}{3}\frac{b^3}{\sqrt{2}} = 0{,}2357b^3.$$

ERFARINGSRESULTATER OG PRAKTISKE FORMLER.

§ 348. *Duleau's Forsög over Vridning.* — For at prøve denne duelige Ingenieurs Forsøgsresultater have vi i den følgende Tabel særskilt samlet dem, som vedkomme sylindriske og prismatiske Legemer.

Den til at frembringe Vridning anvendte Vægt var stadigen 10 Kilogrammer, og dens Vægtstangsarm lig $0^m,32$, saa at man har

$$M = 10^{Kil} \times 0^m,32 = 3{,}20.$$

Formlen i § 344 giver

$$G = \frac{ML}{aI_1},$$

hvori a udtrykker Buen med Radius 1, som maaler Vridningsvinklen, medens denne Vinkel blev angiven af Duleau i Grader. Man maa altsaa multiplicere dette Antal

Grader med $\frac{3,1416}{180}$ for at erholde den Værdie af a, som skal indsættes i Formlen.

For det sylindriske Legeme har man endelig efter foregaaende Paragraf

$$I_1 = 1,5708R'^4,$$

og for Prismerne med quadratisk Tværsnit

$$I_1 = \tfrac{1}{6}b^4 = 0,16666\,b^4.$$

Ved Hjælp af disse Angivelser og ved Iagttagelserne kan man beregne den ethvert Forsøg tilsvarende Værdie af G.

Duleau's Forsög over Smedejernets Vridning.

Jernets Betegnelse.	Længde L.	Tværdimensioner.	Vridningsvinkel i Grader.	Vridningsvinkel i Bue a.	Værdie af Vridningskoefficienten G.
		Rundjern. $R' =$			
	Metre	Meter	o	Meter	Kilogrammer
Jern fra Périgord	2,80	0,00710	13,4	0,2338	9600700000
	3,17	0,00985	6,0	0,1047	6552300000
Engelsk Jern	2,40	0,00990	4,0	0,0698	7292000000
Jern fra Ariège	3,57	0,01075	4,8	0,0838	6500000000
	2,89	0,01075	4,5	0,0785	5616000000
Jern fra Périgord	3,19	0,01105	3,32	0,0579	7528200000
	2,89	0,01150	3,00	0,0524	6424000000
Engelsk Jern	3,24	0,01175	2,34	0,0408	8487200000
Jern fra Périgord	2,94	0,01375	1,82	0,0318	5391900000
	3,35	0,01335	1,87	0,0326	6590700000
	2,92	0,01785	0,625	0,0109	5375700000
Jern fra Ariège	2,77	0,01340	1,650	0,0288	6077200000
				Middeltal =	6786325000
		Rektangulærjern. $b =$			
Engelsk Quadratjern C_2, i kold Tilstand smidigt,	4,12	0,020	6,5	0,11345	4360600000
	2,52	0,020	4,0	0,06981	4320000000
i ophedet rödskjört	2,52	0,02035	3,08	0,05375	5243700000
Quadratjern fra Périgord	3,39	0,03260	0,62	0,01082	5437800000
Engelsk fladt Jern	2,91	0,034 og 0,00856	11,40	0,19897	7020000000
Samme Stykke	1,55	0,034 0,00856	5,62	0,09809	7500000000
Fladt Jern fra Périgord	2,91	0,034 og 0,01045	7,20	0,12567	6270000000
Engelsk fladt Jern, mærket B	1,45	0,06780 og 0,01474	0,85	0,01483	4527000000

Resultaterne af disse Forsøg fremstille ikke nogen meget stor indbyrdes Overensstemmelse; imidlertid gaae deres Afvigelser snart i den ene, snart i den anden Retning. Savart's Forsøg ere nøiagtigere og have bedst stadfæstet Loven for Proportionaliteten mellem Vridningsvinklerne og Kraftmomenterne.

Forresten seer man, at denne Uregelmæssighed er, som det var at vente, endnu større for de quadratiske og rektangulære end for det runde Jern; den sylindriske Form er i Virkeligheden ogsaa den, som med lige Beskaffenhed af Material bedst modstaaer Vridning, og i saa Henseende er man sikkrest, naar man holder sig til Tallet 6786000000 Kilogrammer, som Jern af denne Form har givet.

§ 349. *Forsög over Vridning af Stöbejern.* — I Mühlhausen blev der i Industrieselskabets Bygningsværksteder gjort Forsøg over Vridningen af sylindriske Axler af Støbejern for at udfinde den Grad af Modstandsevne, som de forskjellige der til Anvendelse havende Arter af Støbejern besidde.

Disse Axler havde $1^{m},50$ Længde og $0^{m},10$ Diameter; de endte sig i to Prismer med quadratiske Baser, hvoraf det ene var indladt i et fast, paa Muurværk hvilende Lager, og det andet optog en Vægtstang, bestemt til at bære den Last, hvormed Vridningen skulde frembringes. Denne Vægtstang havde 2 Metres Længde; dens Vægt i Forbindelse med Skaalens var 240 Kilogrammer, og Tyngdepunktet af denne Last befandt sig $0^{m},80$ fra Axen; denne Vægt blev saaledes at ansætte til $\frac{240^{Kil} \times 0^{m},80}{2^{m},00} = 96$ Kilogrammer.

Men saasom der imidlertid af Vægtstangens egen Vægt og af de første Belastninger maatte yttre sig Vridninger, som hidrøre fra Spillerummet mellem Sammenføiningerne, saa vil det føre til større Nøiagtighed, naar man

blot sammenligner Vridningsforskjellerne indbyrdes og undersøger deres Gang efter Tilvæxten ved Belastningerne af 100 Kilogrammer.

Man har forresten gjort den Bemærkning, at Bruddet stedse fandt Sted mellem Vægtstangen og det nærbeliggende Tapleie.

Forsög over Böining og Brud af Stöbejern ved Vridning.

Stöbejernets Tilvirkningssted.	Vægtskaalens Belastning.	Vridningsvinkel.	Stöbejernets Tilvirkningssted.	Vægtskaalens Belastning.	Vridningsvinkel.
	Kilogr.	Grader		Kilogr.	Grader
	100	0,50.		1680	15,25
	200	1,25	Bouchot, sandsynligvis	1780	16,25
	300	2,00	fra Franche-Comté, graat	1880	17,75
	400	2,50	Korn af foranderlig Stör-	1980	18,75
	500	3,50	relse, god Qualitet.	2080	20,25
	600	4,25		2180	Brud
	700	5,00	Bouchot	2150	Do.
	800	5,75	Fraisans	1600	Do.
Skotsk graat, grovkornet Jern, meget smidigt, meget blödt.	900	6,50	Do.	2050	Do.
	1000	7,25	Rive-de-Gier, finkornet	1950	Do.
	1100	8,50	og tæt, næsten hvidt,	2250	Do.
	1150	9,00	noget rödspættet, skjört		
	1200	9,50	½ Engelsk ½ Bouchot . .	1950	Do.
	1250	10,25	½ Engelsk ½ Rive-de-Gier	2050	Do.
	1300	11,00	½ Engelsk ½ bocage*) . .	2000	Do.
	1350	12,75	½ Bouchot ½ Fraisans . .	2210	Do.
	1400	13,25	½ Do. ½ Do. . . .	2150	Do.
	1450	14.20	½ Bouchot ½ bocage . . .	2150	Do.
	1500	15,00	½ Rive-de-Gier ½ bocage	2050	Do.
	1600	Brud			
	400	2,50			
Bouchot, sandsynligvis fra Franche-Comté, graat Korn af foranderlig Störrelse, god Qualitet.	700	5,75			
	1000	8,50			
	1100	9,25			
	1300	11,00			
	1400	12,00			
	1500	13,00			
	1600	14,50			
	1640	15,00			

*) Bocage kalder man de gamle Støbejernssorter af 1ste og 2den Smeltning, som ere blandede med hinanden og af forskjellig Qualitet.

Anvender man paa disse Forsøg Formlen

$$a = \frac{M}{GI_1} L,$$

i hvilken

a udtrykker Buen med Enheden til Afstand, beskreven under Vridningen og angiven i følgende Tabel;

$L = 1^m,50$ Axlens Totallængde;

M Momentet af Vridningskraften;

$I_1 = \frac{\pi}{2} R'^4$ Tværsnittets polare Inertiemoment:

saa udleder man deraf

$$G = \frac{2M \times 1^m,50}{3,1416 \times (0,05)^4 \times a}.$$

Endvidere, da Belastningens Vægtstangsarm stadigen var 2 Metre, og Buen til Afstandsenheden er lig den angivne Værdie multipliceret med $\frac{6,2832}{360}$, saa følger deraf, at, naar man antager Værdierne af a i Grader, hvilke ere angivne i foregaaende Tabel, vil man have

$$G = \frac{2 \times 2 \times 1,50\,P}{3,1416\,(0,05)^4 \times \frac{6,2832}{360} \times a} = 17500000 \frac{P}{a}$$

ved at henføre G til Quadratmetren (eller 23975 $\frac{P}{a}$ pr. Quadrattomme norsk Maal og Vægt),

eller $$G = 17,50 \frac{P}{a},$$

naar man beregner dens Værdie med Hensyn til Quadratmillimetren.

Anvender man denne Formel paa de ti første Forsøg med skotsk Støbejern, saa finder man

	Kil	Kil	Kil	Kil	Kil	Kil	Kil	Kil	Kil	Kil
P . .	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
a . .	0°,50	1°,25	2°,00	2°,50	3°,50	4°,25	5°,00	5°,75	6°,50	7°,25
G . .	3500 Kil	2800	2625	2800	2500	2470	2450	2434	2423	2413

Middeltal . . 2448 Kilogrammer.

Af disse Værdier for G synes det at fremgaae, at denne Størrelse, efterat den ved de første Dreininger har aftaget meget hastigt, senere opnaaede en Middelværdie af 2448 Kilogrammer pr. Quadratmillimeter af Tværsnittet.

Gjør man en lignende Beregning for de med graat, finkornet Støbejern fra Bouchot anstillede Forsøg, saa erholder man følgende Resultater:

P	400 Kil	700 Kil	1000 Kil	1100 Kil	1300 Kil	1400 Kil	1500 Kil	1600 Kil	1640 Kil	1680 Kil	1780 Kil
α	2°,50	5°,75	8°,50	9°,25	11°,00	12°,00	13°,00	14°,50	15°,00	15°,25	16°,25
G	2800K	2130	2058	2081	2068	2041	2019	1931	1913	1928	1917

Middeltal . . 2080 Kilogrammer.

Man seer heraf, at, naar man undtager den første Værdie af G, som svarer til en for svag Bøining, synes de andre Værdier næsten konstante indtil Vridningen af 12 til 13°, hvilken langt overskrider hvad som er tilladeligt i Maskiner, — og at det almindelige Middeltal er G = 2080 Kilogrammer, en ringere Størrelse end den, som man fandt for det skotske Støbejern, men som derefter bliver konstant indtil langt større Vridningsvinkler end dem, for hvilke den samme Størrelse bliver konstant for sidstnævnte Støbejern; dette synes at bevise, at Støbejernet fra Franche-Comté frembyder i Anvendelsen en større Sikkerhed end det skotske.

Forresten indsees let, at Støbejernets Beskaffenhed kan frembringe meget store Forandringer i Værdien af Koefficienten G.

§ 350. *Værdie af Koefficienten* G. — Af alle bekjendte Forsøg er man bleven ledet til meget almindelig at antage følgende Middelværdier for denne Koefficient.

	pr. Quadratmeter.	pr. Quadrattomme norsk Maal og Vægt.
Blödt Jern	G = 6000000000Kil	G = 8 220 000Pund
Stangjern	G = 6666000000 „	G = 9 132 420 „
Tydsk Staal (Schmelzstahl) . .	G = 6000000000 „	G = 8 220 000 „
Stöbestaal, meget fint	G = 10000000000 „	G = 13 700 000 „
Stöbejern	G = 2000000000 „	G = 2 740 000 „
Kobber	G = 4366000000 „	G = 5 981 420 „
Bronze	G = 1066000000 „	G = 1 460 420 „
Egetræ	G = 400000000 „	G = 548 000 „
Fyr	G = 433000000 „	G = 593 210 „

Ved Hjælp af disse Værdier kan man, naar fornø-

diges, tilnærmelsesvis beregne den ved Legemets Vridning bevirkede Forrykningsvinkel, naar man i Formlen

$$a = \frac{ML}{GI_1}$$

indsætter Værdierne af de ydre Kræfters Moment, af Længden L af Legemet mellem de befæstede Tværsnit og af det polare Inertiemoment, hvis Værdie vi have angivet i § 347.

§ 351. *Praktiske Grændser for Vridningsvinklen.* — I Maskinerne er det vigtigt at indslutte Værdierne af Vridningsvinklen a, eller, hvilket er det samme, Heldingen af den ved Vridningen dannede Spirallinie inden meget snævre Grændser, hvilke ere bestemte først ved den Hovedbetingelse, at Elasticiteten ikke forandres paa nogen mærkelig Maade, og dernæst derved, at der ikke tillades for store relative Forrykninger af nogle Dele med Hensyn til andre.

Den største Bue, som nemlig beskrives af de Punkter paa Legemet, der lide de største Forrykninger, er den, som gjennemløbes af de Punkter, der ere beliggende i Maximumsafstanden R′ fra Axen; dens Værdie er $R'a$. Da forøvrigt Vinkelfordreiningen af de paa en og samme Axel befæstede Dele, i Forhold til hverandre, maa være indskrænket til en vis Amplitude, saa er det Forholdet $\frac{R'a}{L}$ af hin Bue til Legemets Længde, som antyder Heldingen af Tangenterne til Vridningens Spirallinier paa den ydre Overflade af det Legeme, der er underkastet Vridningen, hvilken maa begrændses ifølge Iagttagelsen af gode Konstruktioner.

Ved altsaa at multiplicere de to Udtryk af ovenstaaende Forhold med Afstanden R′ af den længst fra Axen fjernede Fiber erholder man:

$$\frac{R'a}{L} = \frac{MR'}{GI_1},$$

og det er dette Forhold $\frac{R'a}{L}$, som maa begrændses, paa det

at Konstruktionen maa fremstille den nødvendige Soliditet og Sikkerhed.

§ 352. *Anvendelser og praktiske Formler.* — Vi ville anvende disse Betragtninger paa Støbejernet fra Bouchot, med hvilket Industrieselskabet i Mühlhausen har anstillet Forsøg, og fastsætte for dette Støbejern $G = 2000000000$ Kilogrammer (2740000 ℔ for norsk Maal og Vægt). Iagttagelsen af flere tilstrækkelig solide Konstruktioner, som bleve udførte i Artillerieværkstederne, har bevist, at man for sylindriske hastiggaaende Axler af Støbejern med Sikkerhed kan betjene sig af Formlen

$$d^3 = \frac{PR}{262000} \quad \left(d^3 = \frac{PR}{359} \text{ for norsk Maal og Vægt}\right),$$

som giver $\frac{PR}{d^3} = 262000$ $\left(\frac{PR}{d^3} = 359 \text{ for norsk Maal og Vægt}\right)$,

naar P er Kraften, som frembringer Vridningen, R dens Vægtstangsarm, og $PR = M$ betegner Momentet af den ydre Kraft;

og Formlen $$\frac{R'a}{L} = \frac{MR'}{GI_1}$$

bliver saaledes tilbageført til

$$\frac{R'a}{L} = \frac{PR}{\left(G\frac{I_1}{R'}\right)}.$$

For sylindriske Axler har man (§ 347)

$$\frac{I_1}{R'} = 1{,}5708R^3 = 0{,}19635d^3,$$

hvilket tilbageforer den almindelige Formel til

$$\frac{R'a}{L} = \frac{PR}{200000000 \times 0{,}19635d^3} = \frac{1}{392700000}\frac{PR}{d^3}$$

$$\left(\frac{R'a}{L} = \frac{PR}{2740000 \times 0{,}19635d^3} = \frac{1}{538000}\frac{PR}{d^3} \text{ for norsk Maal og Vægt}\right).$$

Da nu den praktiske Formel giver

$\frac{PR}{d^3} = 262000$ ($\frac{PR}{d^3} = 359$ for norsk Maal og Vægt),

saa følger deraf, at den fører til

$$\frac{R'a}{L} = \frac{262000}{392700000} = 0{,}000667 \quad (\frac{R'a}{L} = \frac{359}{538000} = 0{,}000667$$

for norsk Maal og Vægt),

hvilket lærer os, at med denne Formel har den Spirallinie, som fremkommer ved Vridningen af en af Sylindrens Generatricer, til Grændsetangent en ret Linie, som gjør mod den oprindelige Stilling af denne Generatrice en Vinkel, hvis trigonometriske Tangent er høist $0^m{,}000667$ eller $2^{\text{Minuter}}\ 18^{\text{Secunder}}$. Denne Størrelse er omtrent kun det Halve af den, som tilsvarer en Vridning, der frembragtes ved de i Mühlhausen prøvede Stykker under en Belastning af 400 Kilogrammer. Den hører derfor til en Belastning af omtrent 200 Kilogrammer, og man har seet, at de prøvede Sylindres Elasticitet ikke blev forandret ved en $7\frac{1}{2}$ Gange større Belastning eller 1500 Kilogrammer.

Man seer altsaa, at den praktiske Formel i „Aide-mémoire" begrændser de angulære Forrykninger paa en Maade, som frembyder en maaskee overdreven Sikkerhed.

Antager man altsaa denne Grændse for Vinkelforrykningen eller denne Værdie af $\frac{R'a}{L}$ for alle lettere Axler, og reducerer man den til Halvparten for stærke Axler eller for Motører af det største Slags, d. e. for Motører til den første Bevægelsesforplantning, eller for saadanne, som ere bestemte til at bevæge store Masser, saa erholder man, naar disse Størrelser multipliceres med Værdien af Tallet G (§ 350), som tilsvarer det anvendte Materials Beskaffenhed, Værdierne af den konstante Koefficient $G\frac{R'a}{L}$, som indtræder i den almindelige Formel

$$G\frac{R'a}{L} = \frac{M}{\left(\frac{I_1}{R'}\right)},$$

hvis andet Led indeholder Momentet M af Kraften og Størrelsen $\frac{I_1}{R'}$, som er afhængig af Legemets Dimensioner (§ 347).

Man finder saaledes for de forskjellige Materialier:

Materialets Beskaffenhed.	Pr. □ Meter, metrisk Maal og Vægt.		Pr. □ Tomme, norsk Maal og Vægt.	
	Axler		Axler	
	lette. $G\frac{R'a}{L}$.	svære. $G\frac{R'a}{L}$.	lette. $G\frac{R'a}{L}$.	svære. $G\frac{R'a}{L}$.
	Kilogr.	Kilogr.	Pund	Pund
Smedejern og Staal	4002000	2001000	5483	2741
Støbejern	1334000	667000	1828	914
Egetræ	266800	133400	366	183
Fyrretræ	288811	144405	396	198

Ved Hjælp af disse Værdier og af dem, som $\frac{I_1}{R'}$ antager efter Legemernes forskjellige Former, er det let at indrette de sædvanlige Formler til Bestemmelse af de hensigtsmæssigste Dimensioner for Praxis og at danne følgende Tabel.

Praktiske Formler til Bestemmelse af Dimensionerne for saadanne Legemer, som ere udsatte for Vridning.

Tværsnittets Form.	Legemets Material.	Metrisk Maal og Vægt. Formler for Axler		Norsk Maal og Vægt. Formler for Axler	
		lette.	svære.	lette.	svære.
Quadrat	Smedejern eller Staal	$b^3 = \frac{PR}{943270}$	$b^3 = \frac{PR}{471635}$	$b^3 = \frac{PR}{1292}$	$b^3 = \frac{PR}{646}$
	Stöbejern	$b^3 = \frac{PR}{314423}$	$b^3 = \frac{PR}{157211}$	$b^3 = \frac{PR}{430}$	$b^3 = \frac{PR}{215}$
	Egetræ	$b^3 = \frac{PR}{62884}$	$b^3 = \frac{PR}{31442}$	$b^3 = \frac{PR}{86}$	$b^3 = \frac{PR}{43}$
	Fyrretræ	$b^3 = \frac{PR}{68073}$	$b^3 = \frac{PR}{34036}$	$b^3 = \frac{PR}{93}$	$b^3 = \frac{PR}{46}$
Fuld Sirkel	Smedejern eller Staal	$d^3 = \frac{PR}{785793}$	$d^3 = \frac{PR}{392896}$	$d^3 = \frac{PR}{1076}$	$d^3 = \frac{PR}{538}$
	Stöbejern	$d^3 = \frac{PR}{261931}$	$d^3 = \frac{PR}{130965}$	$d^3 = \frac{PR}{359}$	$d^3 = \frac{PR}{179}$
	Egetræ	$d^3 = \frac{PR}{52386}$	$d^3 = \frac{PR}{26193}$	$d^3 = \frac{PR}{72}$	$d^3 = \frac{PR}{36}$
	Fyrretræ	$d^3 = \frac{PR}{56710}$	$d^3 = \frac{PR}{28355}$	$d^3 = \frac{PR}{78}$	$d^3 = \frac{PR}{39}$

Tværsnittets Form.	Legemets Material.	Metrisk Maal og Vægt. Formler for Axler lette.	Metrisk Maal og Vægt. Formler for Axler svære.	Norsk Maal og Vægt. Formler for Axler lette.	Norsk Maal og Vægt. Formler for Axler svære.
Ringdannet, med hvilkensomhelst d og d'	Smedejern eller Staal	$\frac{d^4-d'^4}{d}=\frac{PR}{785793}$	$\frac{d^4-d'^4}{d}=\frac{PR}{392896}$	$\frac{d^4-d'^4}{d}=\frac{PR}{1076}$	$\frac{d^4-d'^4}{d}=\frac{PR}{538}$
	Støbejern	$\frac{d^4-d'^4}{d}=\frac{PR}{261931}$	$\frac{d^4-d'^4}{d}=\frac{PR}{130965}$	$\frac{d^4-d'^4}{d}=\frac{PR}{359}$	$\frac{d^4-d'^4}{d}=\frac{PR}{179}$
	Egetræ	$\frac{d^4-d'^4}{d}=\frac{PR}{52386}$	$\frac{d^4-d'^4}{d}=\frac{PR}{26193}$	$\frac{d^4-d'^4}{d}=\frac{PR}{72}$	$\frac{d^4-d'^4}{d}=\frac{PR}{36}$
	Fyrretræ.	$\frac{d^4-d'^4}{d}=\frac{PR}{56710}$	$\frac{d^4-d'^4}{d}=\frac{PR}{28355}$	$\frac{d^4-d'^4}{d}=\frac{PR}{78}$	$\frac{d^4-d'^4}{d}=\frac{PR}{39}$
Ringdannet, med $d'=\frac{3}{5}d$	Smedejern eller Staal	$d^3=\frac{PR}{684030}$	$d^3=\frac{PR}{342015}$	$d^3=\frac{PR}{937}$	$d^3=\frac{PR}{468}$
	Støbejern	$d^3=\frac{PR}{228010}$	$d^3=\frac{PR}{114005}$	$d^3=\frac{PR}{312}$	$d^3=\frac{PR}{156}$
	Egetræ	$d^3=\frac{PR}{45600}$	$d^3=\frac{PR}{22800}$	$d^3=\frac{PR}{62}$	$d^3=\frac{PR}{31}$
	Fyrretræ.	$d^3=\frac{PR}{49364}$	$d^3=\frac{PR}{24682}$	$d^3=\frac{PR}{68}$	$d^3=\frac{PR}{34}$

Disse Formler ere med Hensyn til Axler af Støbejern omtrent de samme som de, jeg har angivet i min „Aide mémoire“, 4de Oplag; men for Smedejernet kan Divisoren i Formlerne derimod ikke være den samme, da Værdien af Koefficienten G for den elastiske Modstandsevne mod Vridning for dette Metal er det Tredobbelte af Støbejernets (§ 350), hvilket vi tidligere ikke have antaget, fordi der manglede os tilstrækkelige Angivelser til Bestemmelsen heraf.

§ 353. *Støbejerns Modstandsevne mod Brud ved Vridning.* — Bruddet ved Vridning bliver frembragt ved den Vinkeldreining, som foregaaer mellem hvilkesomhelst to paa hinanden følgende Snit, og naar den deraf følgende Forlængring af Fibrerne eller Adskillelsen af deres Molekuler overskrider de Grændser, som de molekulære Modstande kunne tillade. Heraf følger, at Modstandsevnen mod Brud ved Vridning er uafhængig af Legemets Længde og derimod afhænger af Heldingen $\frac{R'a}{L}$ af Tangenterne til den ved Vridningen frembragte Spirallinie og af Koefficienten G for den elastiske Modstandsevne mod Vridningen. Produktet $G\frac{R'a}{L}$ af disse to Størrelser kan altsaa paa en vis Maade betragtes som Legemernes Brudkoefficient ved Vridning, og dens Værdie vil være given ved Værdien af $\frac{M}{\left(\frac{I}{R'}\right)}$, naar denne er bleven bekjendt ved Forsøg.

Ved de i Mühlhausen gjorte Forsøg, hvor de prøvede Sylindre havde en Diameter af $0^m,10$ og Lastens Vægtstangsarm var $2^m,00$, har man seet (§ 352), at for skotsk Støbejern fandt Bruddet Sted under en Belastning af 1600 Kilogrammer, hvortil der maa føies 96 Kilogrammer formedelst Vægtstangens Vægt, henført til dens Ende.

Ved Støbejernet fra Bouchot beløb Brudbelastningen sig til $P = 2181^{Kil} + 96^{Kil} = 2277$ Kilogrammer, og ved de forskjellige Blandinger af Støbejern fra Rive-de-Gier, engelske, fra Fraisans og forskjellige Støbninger af Jern fra Bouchot har Belastningen kun fjernet sig lidet fra ovenstaaende Værdie.

Ifølge disse Angivelser finder man for skotsk Jern:

$$G\frac{R'a}{L} = \frac{1696^{Kil} \times 2^m,00}{0,19635 \times 0,10^3} = 17275000 \text{ Kilogrammer}$$

(23666 ℔ for norsk Maal og Vægt),

og for Støbejern fra Bouchot og andre i Mühlhausen forsøgte Sorter i Middeltal:

$$G\frac{R'a}{L}=\frac{2277^{Kil}\times 2^{m},00}{0,19635\times 0,10^{3}}=23193000 \text{ Kilogrammer}$$

(31774 ℔ for norsk Maal og Vægt),

til hvilke Resultater vi endnu kunne føie de af Hr. Carillion i Paris.

§ 354. *Carillion's Forsög over Stöbejerns Modstandsevne mod Brud ved Vridning.* — Disse Forsøg bleve anstillede med fransk Støbejern fra forskjellige Tilvirkningssteder, hvoraf nogle Sorter erholdtes ved forskjellige Blandinger hos Jernstøbere i Paris, og andre fra Smeltehytterne.

Alle Prøvestykker vare støbte i Form af Sylindre, som i begge Ender dannede prismatiske Hoveder med quadratisk Tværsnit, hvoraf det ene var stærkt fastholdt mellem Kjæverne af en Skruestikke, og det andet optog en Vægtstangsarm, dannet som en Skruenøgel, hvorpaa anbragtes Belastningen, som skulde frembringe Vridningen. Den svagere Del af disse Legemer var afdreiet med den største Omsorg til en fuldkommen ensformig Diameter og berigtiget ved Hjælp af et Kalibermaal.

Sylinderne havde en Diameter af $0^{m},02$, og Belastningens Vægtstangsarm en Længde af $0^{m},50$.

Vridningsvinklerne for de forskjellige Belastninger bleve ikke iagttagne, og man indskrænkede sig til kun at optegne Brudvinklen og den tilsvarende Belastning.

Følgende Tabel indeholder Resultaterne af disse Forsøg.

Navne paa Jernstöberne og Stöberierne.		Den Belastning af Vægtstangen, som frembragte Brud. P.
		Kilogrammer
Hr. Pihet, i Paris	1839	83,625
Do.	1844	83,000
Do.	1844	85,625
Do.	1844	80,625
Do.	1844	87,000

Navne paa Jernstöberne og Stöberierne.		Den Belastning af Vægtstangen, som frembragte Brud. P.
		Kilogrammer
Hr. Béchu, i Paris	1844	87,000
Hr. Thiébault, i Paris	1850	87,925
		87,125
		85,625
		83,125
Hr. Guérin, i Montluçon	1851	96,125
		81,625
		93,625
		89,125
Hr. Mazière, ved Bourges	1851	85,625
		81,625
		70,625
Hr. Raffin, i Nevers	1851	65,625
		67,625
		66,625
		70,625
		71,625
		68,625
		90,625
DHrr. Salmon og Furster, i Bourges	1851	75,625
		73,625
	Middeltal	80,750

Naar man efter Middelværdien af den Belastning, som disse Iagttagelser levere, beregner Værdien af Brudkoefficienten $G\frac{R'a}{L}$, saa finder man:

$$G\frac{R'a}{L} = 25703000 \text{ Kilogrammer}$$

(35213 ℔ for norsk Maal og Vægt),

som afviger meget lidet fra den, der er udledet af Forsøgene i Mühlhausen med fransk Støbejern, især naar man tager i Betragtning, at disse sidste bleve udførte med langt stærkere Sylindre, og som følgelig havde et mindre fint Korn; en Omstændighed, som kan have en betydelig Indflydelse paa Resultaterne.

§ 355. *Bemærkninger med Hensyn til de praktiske Formler i § 352.* — Man vil bemærke, at i de praktiske

Formler i § 352 have vi antaget for lette Axler af Støbejern Værdien

$$G\frac{R'a}{L} = 1334000 \text{ Kilogrammer (1828 ℔ pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt),}$$

medens Forsøgene over Brud ved Vridning, som vi just have afhandlet, have givet os følgende Værdier:

	Pr. □ Meter.	Pr. □ Tomme norsk Maal og Vægt.
	$G\frac{R'a}{L}$.	$G\frac{R'a}{L}$.
	Kilogrammer	Pund
Støbejern fra Skotland	17275000	23666
Støbejern fra Bouchot, Rive-de-Gier og blandede	23193000	31774
Forskjellige Støbejernssorter, blandede eller rene fra Paris eller Berry	25703000	35213
Middeltal	22057000	30217

Heraf sees, at Middelværdien $G\frac{R'a}{L} = 22057000$ Kilogrammer (30218 Pund for norsk Maal og Vægt) er lig med meer end sexten Gange den, som vi have antaget i de praktiske Formler, og at følgelig hine Formler yde al Sikkerhed og føre til Dimensioner, som endog ere større end nødvendigt.

§ 356. *Et Tilfælde, hvori man er nödt til at udsætte Legemerne for en betydelig Vridning.* — De af os antagne Grændser, hvilke vi have erholdt ved Iagttagelsen af gode Maskinkonstruktioner, med Hensyn til den Vridning, som man kan underkaste Axler, ere alene at betragte som vedkommende dem, der ere bestemte til Forplantelse af Bevægelse, ved hvilke nemlig, afseet fra Modstandsevnen, de for store relative Fordreininger vilde medføre Uleiligheder. Men der gives Tilfælde, hvor Arbeidets Natur derimod udfordrer, at Maskindelene uden Fare og uden permanente Forandringer kunne udsættes derfor. Derhen høre Borstængerne ved Brøndboringen, og da deres Lethed bi-

drager meget til en bekvemmere Haandtering, er det af Vigtighed kun at give dem de høist nødvendige Dimensioner, idet man paa den anden Side tager Jern dertil af den første Qualitet.

Boringen af Grenelle Brønden har givet Hr. Mulot Anledning til forskjellige vigtige Iagttagelser, blandt hvilke vi ville anføre følgende, som han har været saa god at meddele os.

I en Dybde af 530 Metre (1688,68 Fod norsk Maal) kunde to Borstænger med quadratisk Tværsnit med respektive $0^m,041$ og $0^m,051$ Sidelinie, som stode fast ved en Modstand, som mødte deres nedre Del, uden Forandring af deres Elasticitet udholde den første syv og den anden fem Omdreininger af den Hestegang, som virkede i deres øvre Del.

Ifølge Angivelserne vare Værdierne af den halve Diagonal eller Afstanden R′ fra Axen af de for den største Fordreining udsatte Fibrer:

$R' = 0^m,029$ for Stangen med $0^m,041$ Sidelinie, og

$R' = 0^m,036$ for Stangen med $0^m,051$ Sidelinie;

deraf udleder man

for den første: $R'a = 0^m,029 \times 7 \times 6,2832 = 1^m,275$;

for den anden: $R'a = 0^m,036 \times 5 \times 6,2832 = 1^m,131$,

hvoraf for Heldingerne af de ved disse Stængers Kanter dannede Spirallinier fremkomme følgende Værdier:

første Stang med $0^m,041$ Sidelinie $\frac{R'a}{L} = 0,00240658$,

anden Stang med $0^m,051$ Sidelinie $\frac{R'a}{L} = 0,0021339$.

Det maa tilføies, at Hr. Mulot's Iagttagelser have leveret Bevis for, at, om endog nogle Stænger ere istand til uden Forandring i deres Form at udholde saa betydelige Vridninger, gives der dog andre, som vanskabes og brækkes, saa at altsaa disse Vridninger maa betragtes som de yderste Grændser.

Sammenligner man nu disse Værdier af $\frac{R'a}{L}$ med den, som vi i § 352 have angivet for de praktiske Formler, og som er

$$\frac{R'a}{L} = 0{,}000667,$$

saa seer man, at denne her er lidt over Fjerdeparten af Værdien for den yderste Grændse; vi have altsaa nærmet os temmelig denne Grændse med Hensyn til permanente Konstruktioner og ere alligevel forblevne langt nok fjernede derfra for med Tillid at kunne anvende de praktiske Formler i § 352.

Hr. Mulot's Forsøg have ogsaa godtgjort, at Stænger af godt Jern fra Berry bedre modstode Vridning uden Formforandring, end garvede Jernsorter af Affald, tilvirkede i Omegnen af Paris. Men en Stang af det sidste Slags Jern med $0^m,056$ Sidelinie og af 8 Metres Længde har under Vridningen kunnet udholde fire Omgange uden at brækkes. I dette Tilfælde er $R' = 0^m,0395$, $R'a = 0^m,993$ og $\frac{R'a}{L} = 0{,}124$, hvilket saavel her, som i andre Tilfælde beviser, at, naar det meget bløde Jern har den Feil lettere end haardt Jern at forandre Form, har det derimod den Fordel uden at brydes at udholde langt større Formforandringer end det haarde Jern, og frembyder derfor i visse Tilfælde langt større Sikkerhed.

Rettelser:

Side	40	Linie	6 f. n.	Maaet	læs: Maalet
„	46	„	7 „ „	Tykkelsen	„ Styrken
„	47	„	11 f. o.	2240	„ 2280
„	47	„	14 „ „	$\frac{77000}{2240}=34{,}40$ Kilogr.	„ $\frac{77000}{2280}=33{,}77$ Kilogr.
„	51	„	2 f. n.	i Tabellen: 16 500 000	„ 16 440 000
„	52	„	2 f. o.	i Do. : 11 577 000	„ 12 462 000
„	71	„	12 f. n.	448,0, 493,2, 301,4, 261,6, 139,7 . . .	„ 444,2, 429,2, 305,3, „ 258,3, 140,9
„	71	„	13 „ „	32,7, 36,0, 22,0, 19,1, 10,2	„ 32,4, 30,3, 22,3, 19,0, „ 10,3
„	126	„	6 „ „	$\frac{1780x(1^{3,6}-0{,}8^{3,6})}{60^{1,7}}$.	„ $\frac{1780x^{3,6}(1-0{,}8^{3,6})}{60^{1,7}}$
„	126	„	12 f. o.	45012	„ 45002
„	126	„	13 „ „	82200	„ 81522
„	133.			I Overskriften for 11te Rubrik: □ Millimetren	„ □ Tommen
„	152	Linie	2 f. n.	$f=\frac{PC}{32619ab^3}$ . . .	„ $f=\frac{PC^3}{32619ab^3}$
„	168	„	11 „ „	at den i ethvert Tilfælde tager	„ at der i ethvert Tilfælde tages
„	176	„	1 „ „	i Tælleren: a' . .	„ a_1
„	181	„	7 „ „	$\frac{AR_1}{4}$	„ $\frac{AR_1}{2}$
„	182	„	1 f. o.	$\frac{\pi ab^2}{2}$	„ $\frac{\pi ab^2}{4}$
„	182	„	2 „ „	$\frac{\pi ba^2}{2}$	„ $\frac{\pi ba^2}{4}$
„	182	„	6 „ „	$\frac{\pi(ab^3-a'b'^3)}{2b}$ . .	„ $\frac{\pi(ab^3-a'b'^3)}{4b}$
„	182	„	7 „ „	$\frac{\pi(ba^3-b'a'^3)}{2a}$ . .	„ $\frac{\pi(ba^3-b'a'^3)}{4a}$
„	183	„	6 „ „	$a'=b=\frac{1}{2}a$ . . .	„ $a'=b=\frac{1}{5}a$
„	194	„	10 f. n.	$X=P-Q\pm\sqrt{\frac{(P-Q)^2}{p}+\frac{2QD}{p}}$	
				læs: $X=\frac{P-Q\pm\sqrt{(P-Q)^2+2QDp}}{p}$	
„	202	„	9 f. o.	Prismerne	læs: Pressionerne
„	208	„	11 f. n.	$X=-\frac{Q'-P}{p}+\sqrt{\frac{(Q'-P)^2}{p^2}+PD}$	
				læs: $X=\frac{-Q'+P+\sqrt{(Q'-P)^2-2PDp}}{p}$	
„	209	„	7 f. o.	$Q'=0{,}774P$ . . .	læs: $Q'=0{,}633P$
„	215	„	8 f. n.	$0^m{,}025$	„ $0^m{,}035$
„	294	„	8 f. o.	hele	„ hule.

Fig. 1.

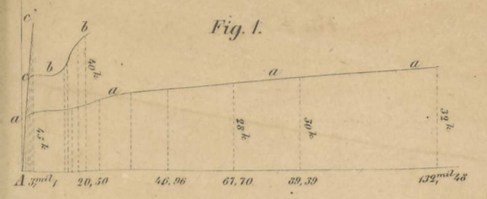


Fig. 2.

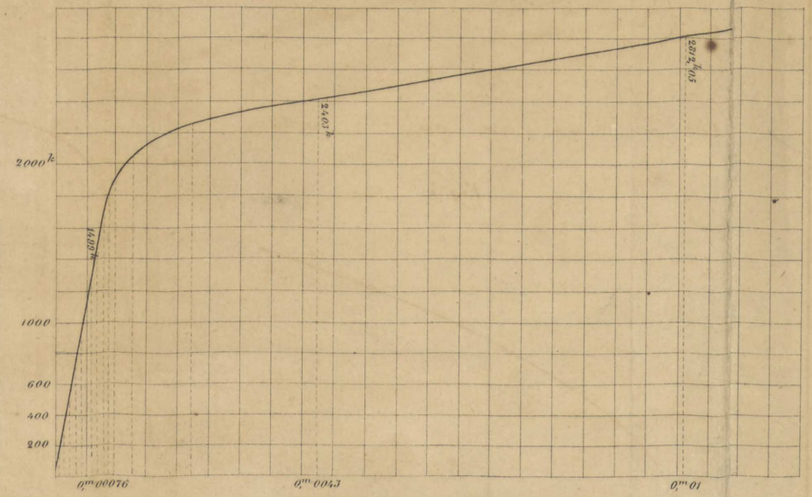


Fig. 3.

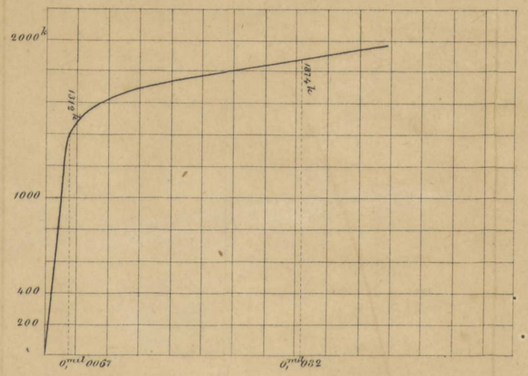


Fig. 4.

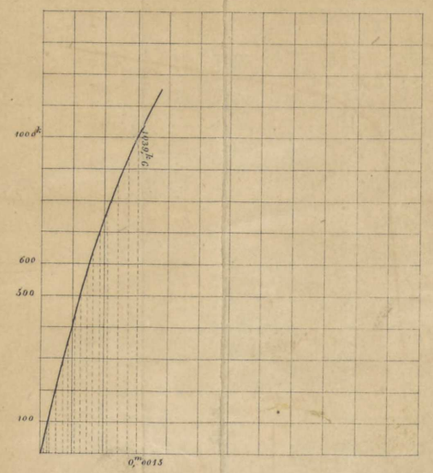


Fig. 5.

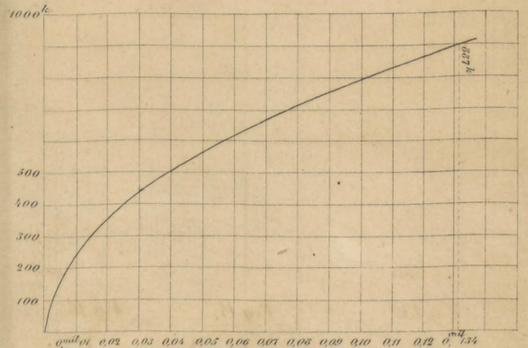


Fig. 7.

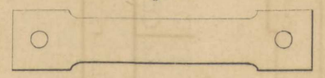


Fig. 12.

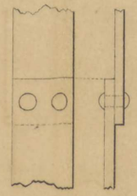


Fig. 13.

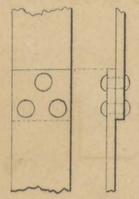


Fig. 14.

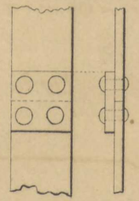


Fig. 16.

Fig. 15.

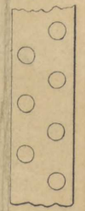


Fig. 18.

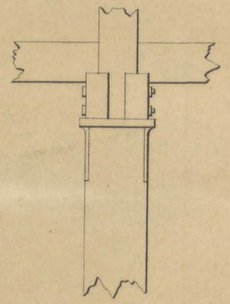


Fig. 21.

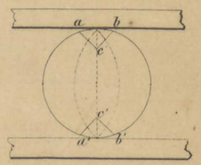


Fig. 6.

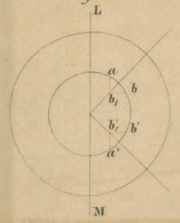


Fig. 8.

Fig. 9.

Fig. 10.

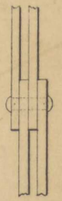


Fig. 11.

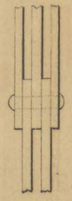


Fig. 17.

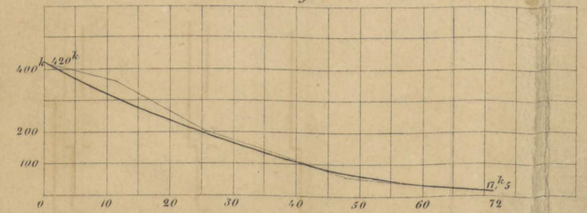


Fig. 19.

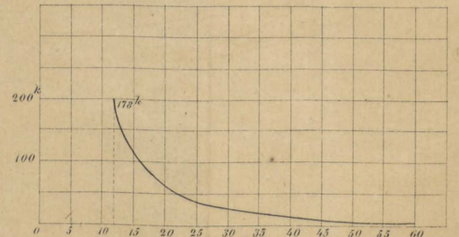
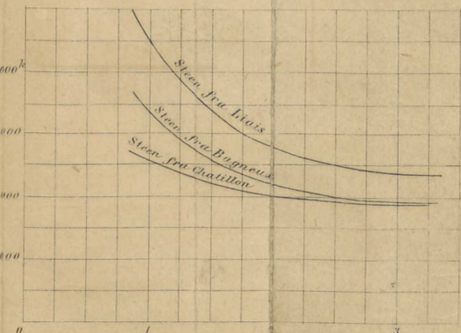


Fig. 20.



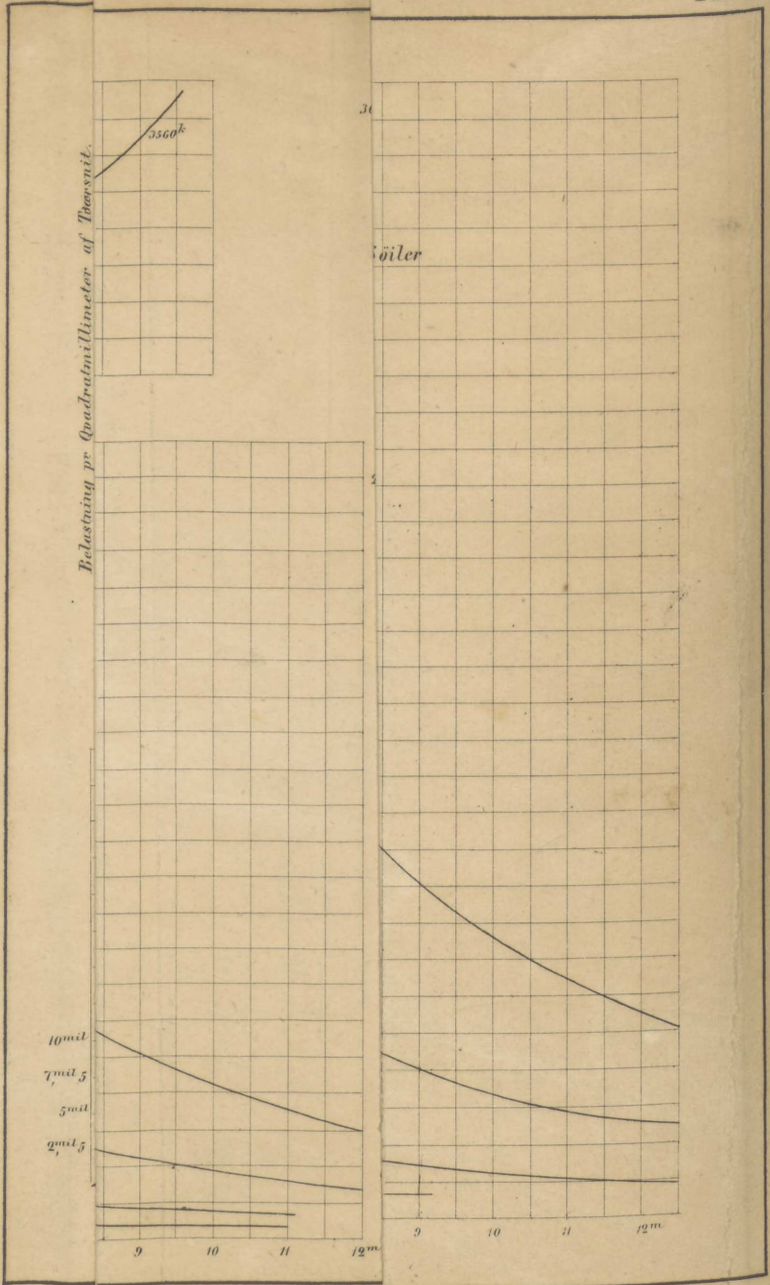

Belastning pr Quadratmillimeter af Tværsnit.
3560k
Viler
10mil
7,5mil
5mil
2,5mil
9
10
11
12m
9
10
11
12m

Fig. 1.

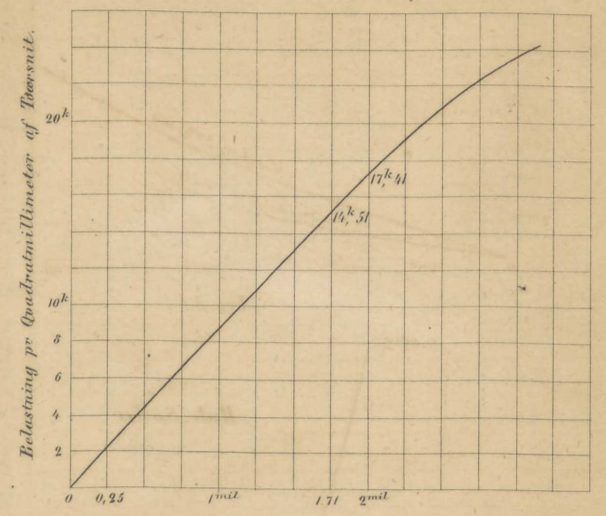


Fig. 2.

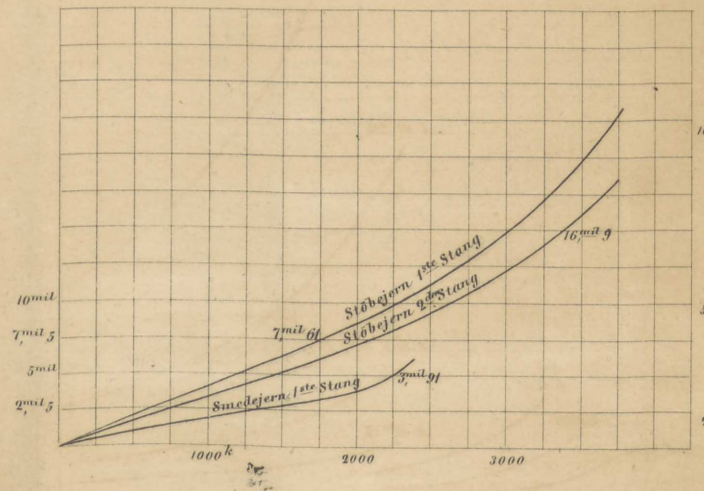


Fig. 3.

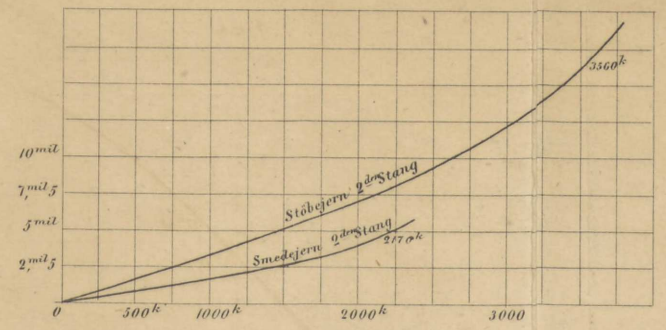


Fig. 5.

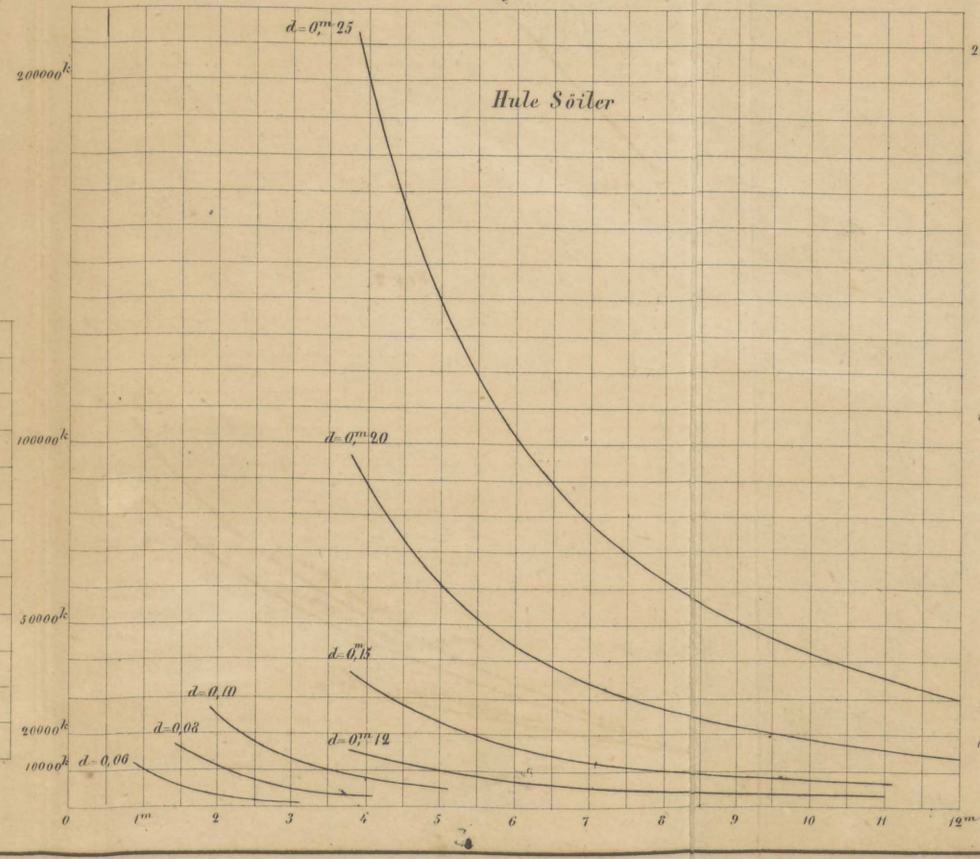


Fig. 4.

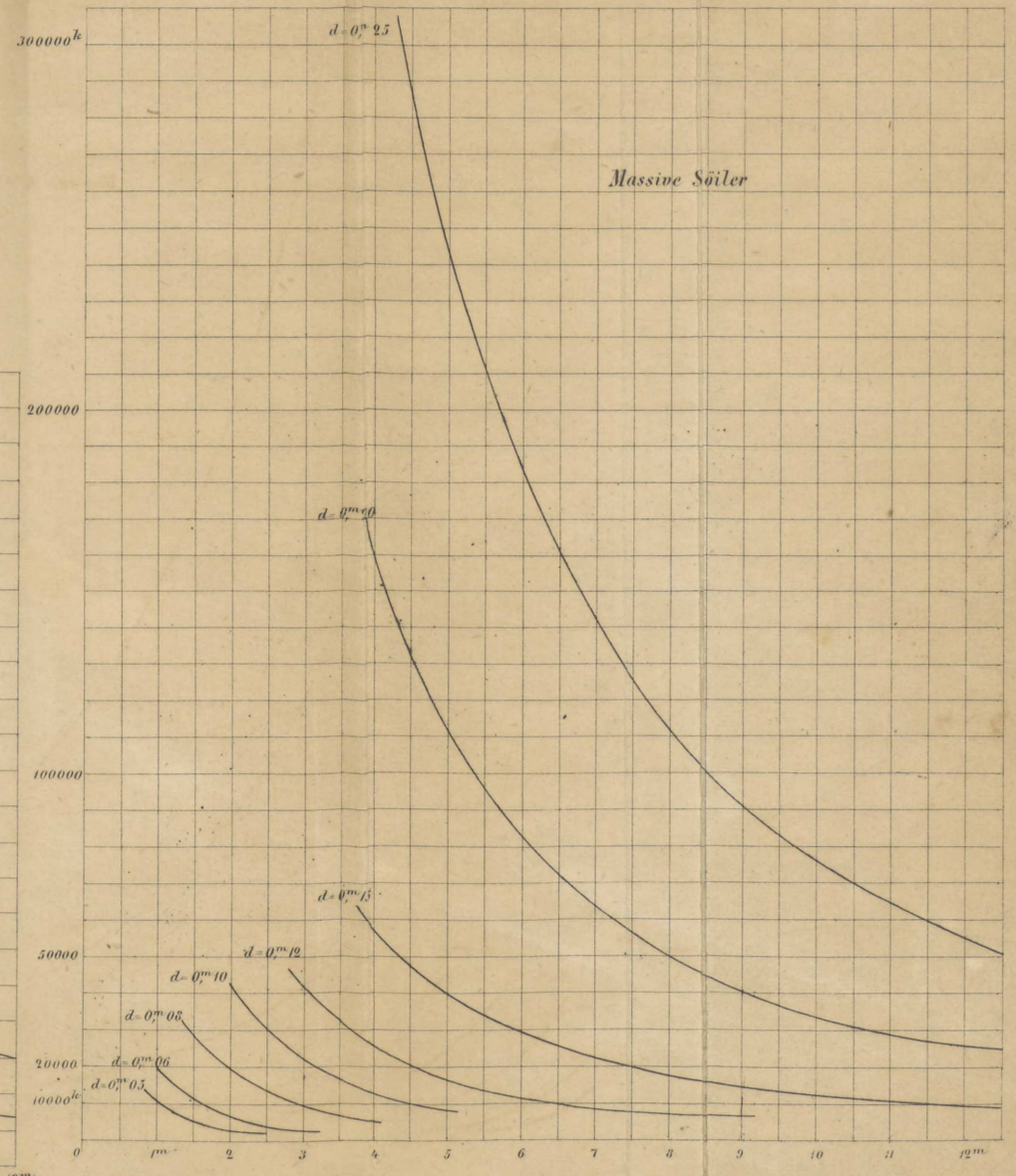
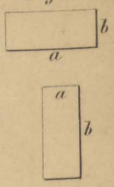
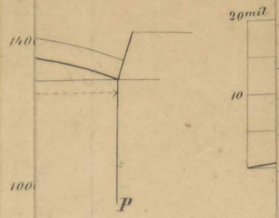


Fig. 8.





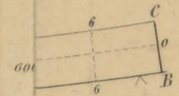


Fig. 7.

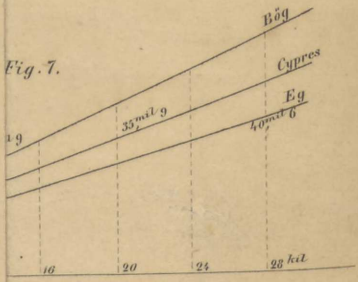


Fig. 15.

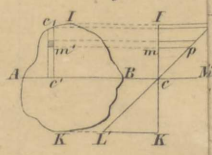


Fig. 17.

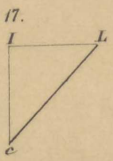


Fig. 19.

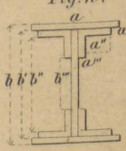


Fig. 20.

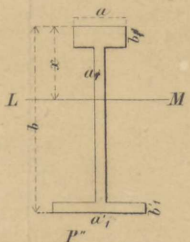
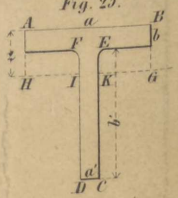


Fig. 24.

Fig. 25.



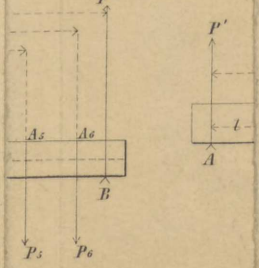
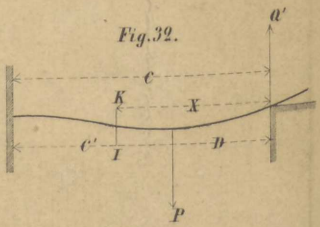


Fig. 32.



Holeks Atelier

Fig. 2.

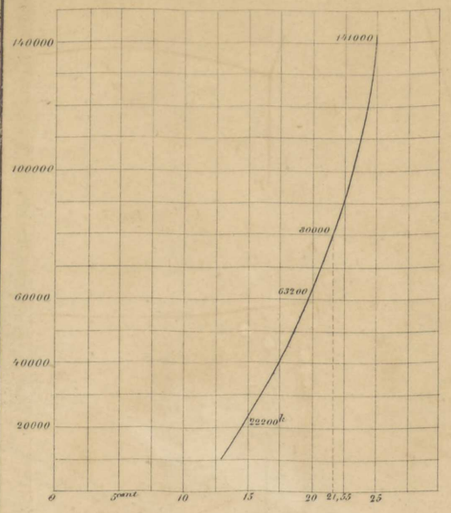


Fig. 1.

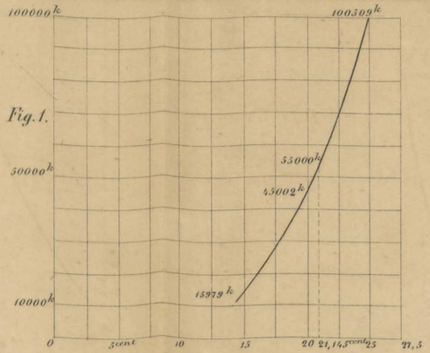


Fig. 3

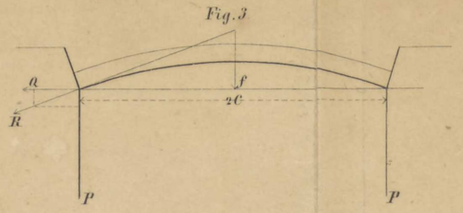


Fig. 4.

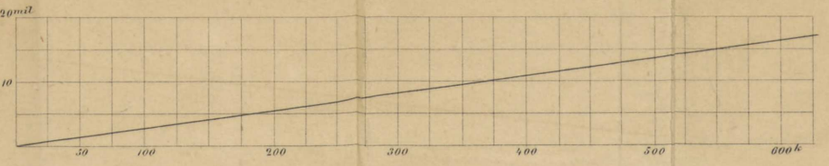


Fig. 8.

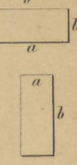


Fig. 5.

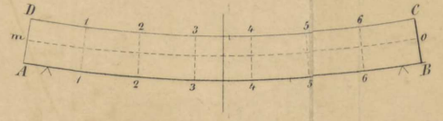


Fig. 6.

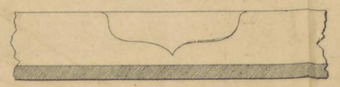


Fig. 7.

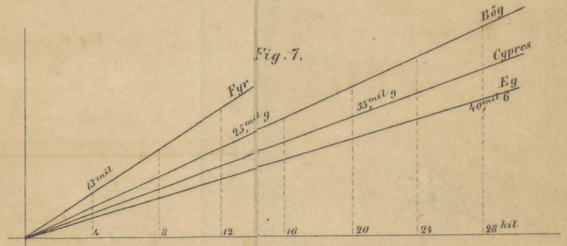


Fig. 10.

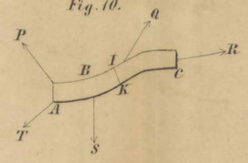


Fig. 12.

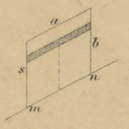


Fig. 14.

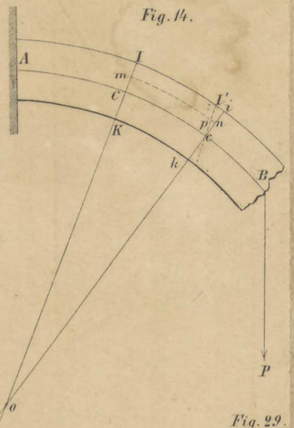


Fig. 15.

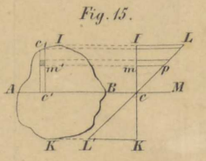


Fig. 16.

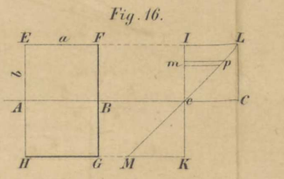


Fig. 18.

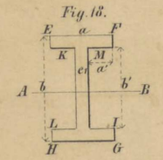


Fig. 17.

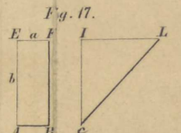


Fig. 19.

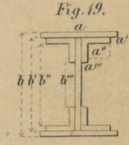


Fig. 9.

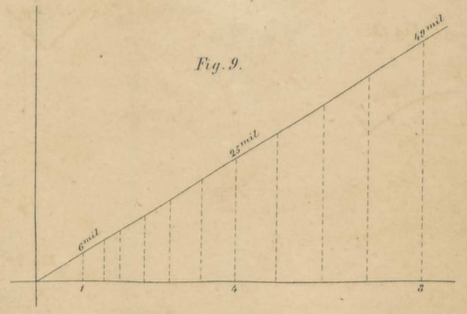


Fig. 11.

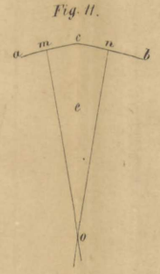


Fig. 13.

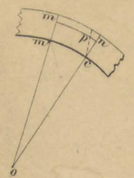


Fig. 20.

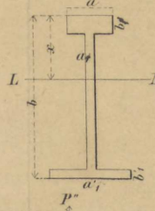


Fig. 21.

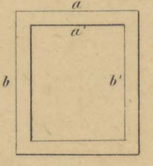


Fig. 22.

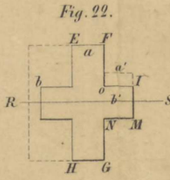


Fig. 23.

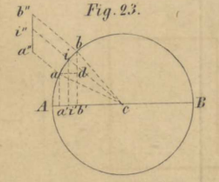


Fig. 24.

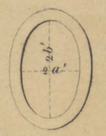


Fig. 25.

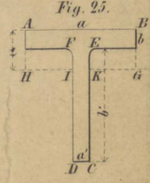


Fig. 26.

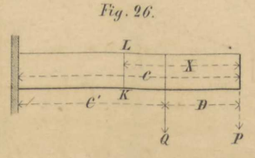


Fig. 27.

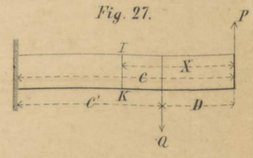


Fig. 28.

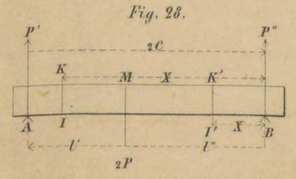


Fig. 29.

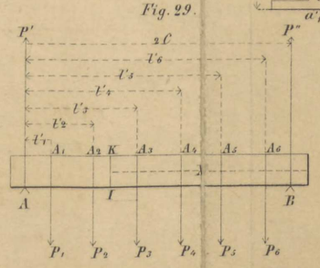


Fig. 30.

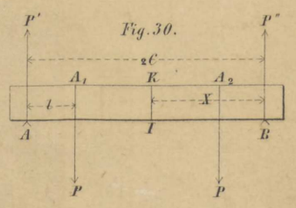


Fig. 31.

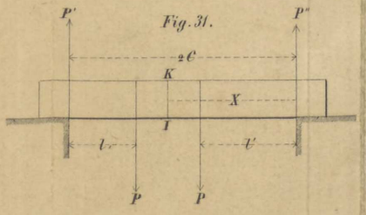
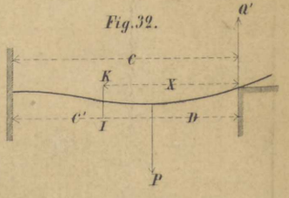


Fig. 32.



Hölcke Atelier

Fig. 9.

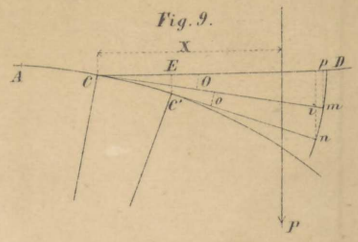


Fig. 12.

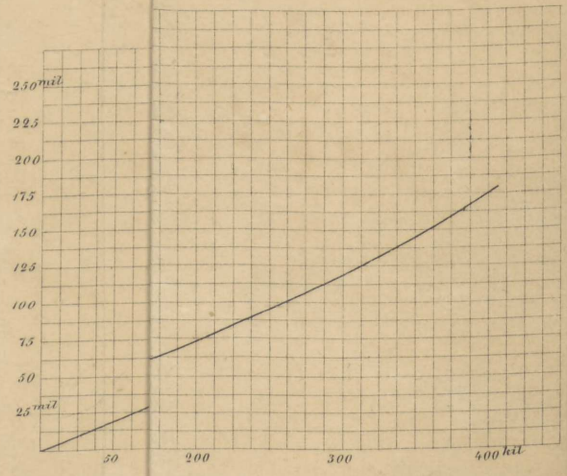


Fig. 19.

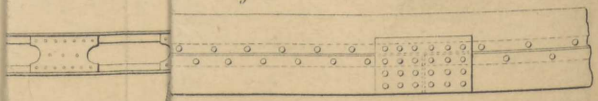


Fig. 21.

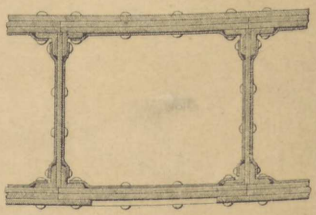


Fig. 1.

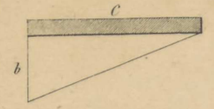


Fig. 2.

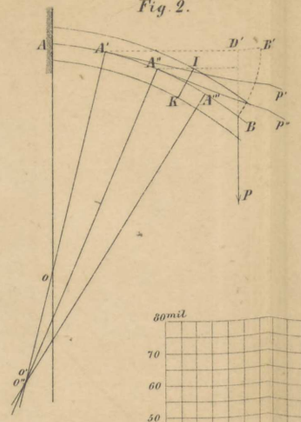


Fig. 4.

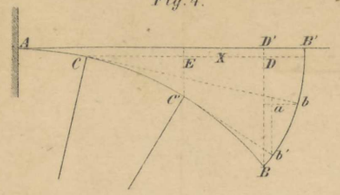


Fig. 5.

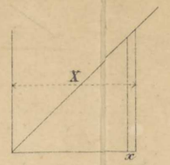


Fig. 6.

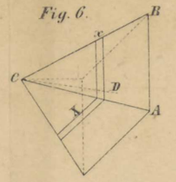


Fig. 7.

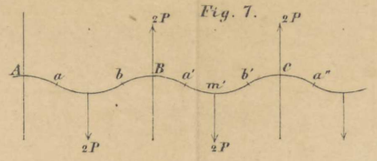


Fig. 8.

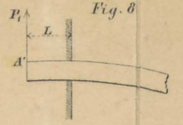


Fig. 9.

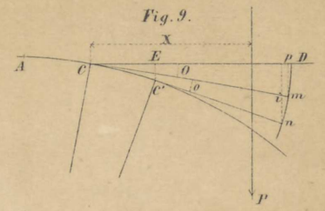


Fig. 12.

Fig. 3.

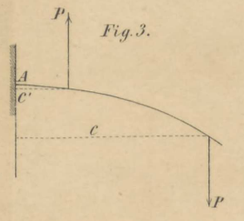


Fig. 10.

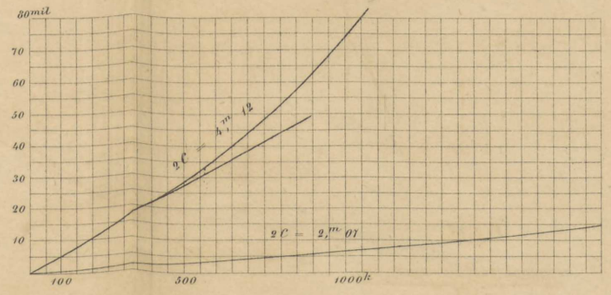
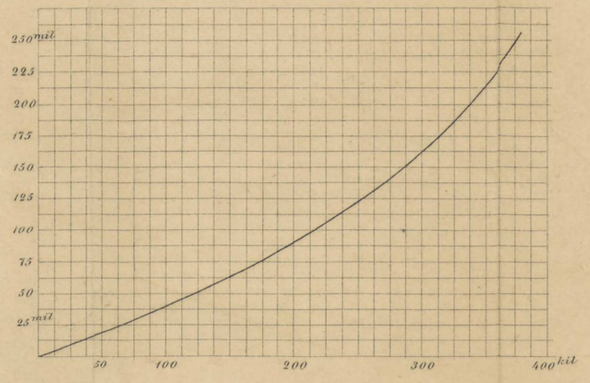


Fig. 11.



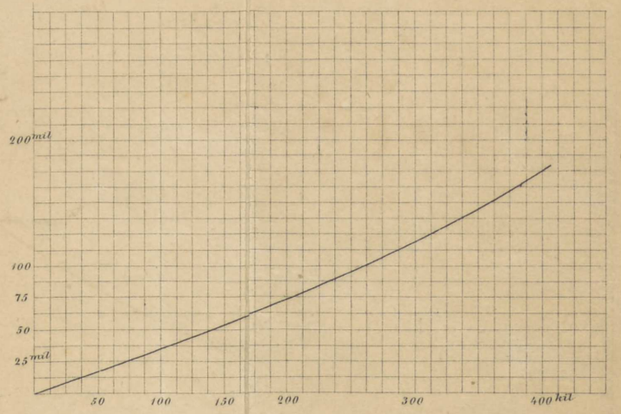


Fig. 19.

Fig. 13.

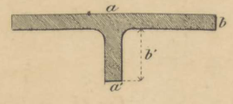


Fig. 15.

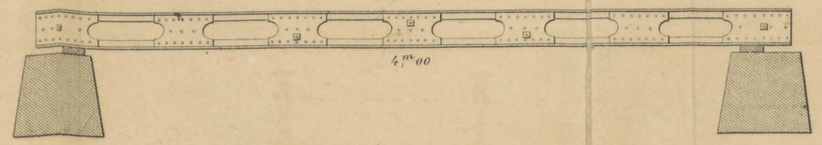


Fig. 16.

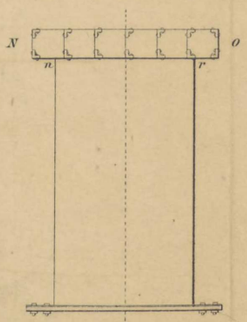


Fig. 14.

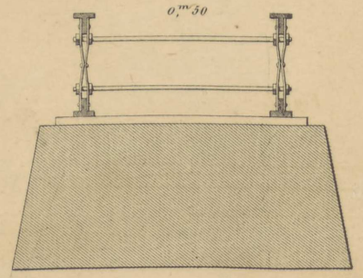


Fig. 17.

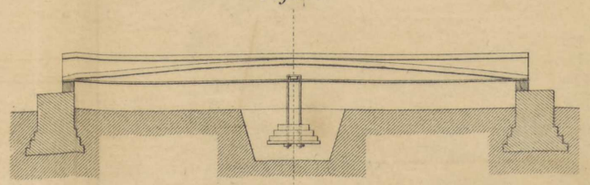


Fig. 18.

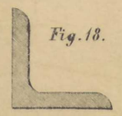


Fig. 20.

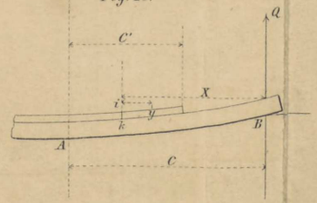


Fig. 21.

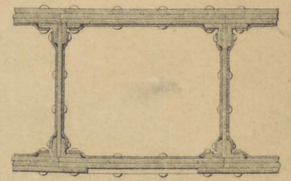


Fig. 4.

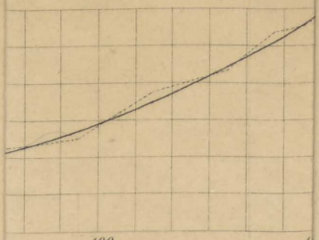


Fig. 6.

Fig. 14.

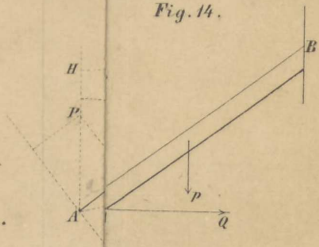


Fig. 11.

Fig. 15.

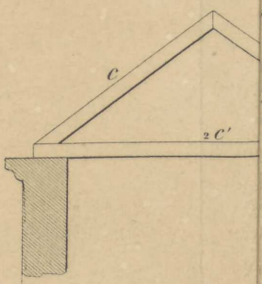
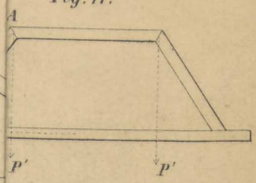
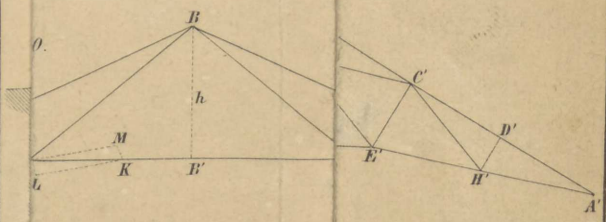


Fig. 17.





Holche Atelier.

Fig. 1.

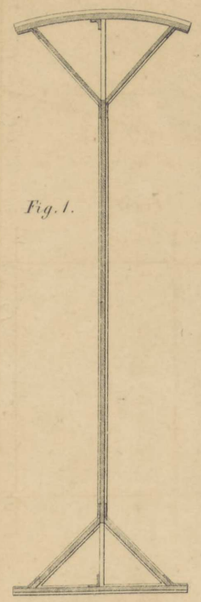


Fig. 2.

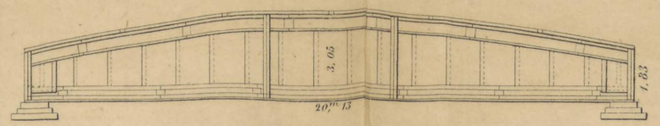


Fig. 3.

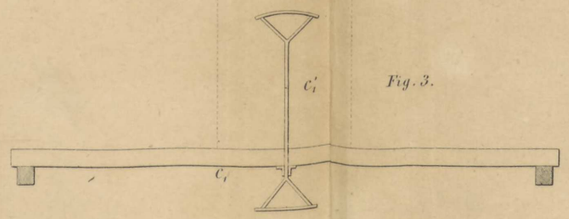


Fig. 4.

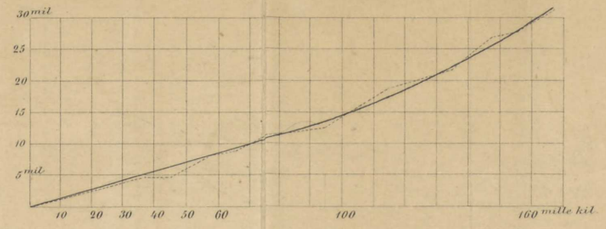


Fig. 5.

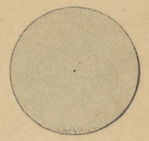


Fig. 5.

Fig. 5.

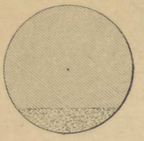


Fig. 6.

Fig. 7.

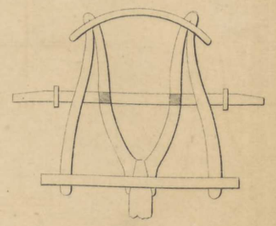


Fig. 8.

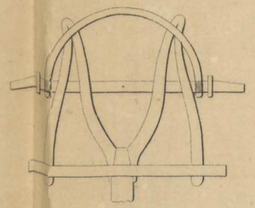


Fig. 9.

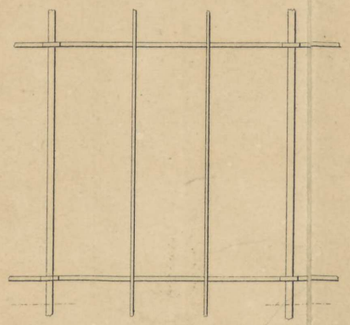


Fig. 10.

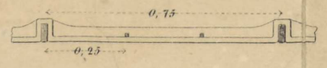


Fig. 11.

Fig. 12.

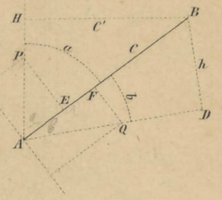


Fig. 13.

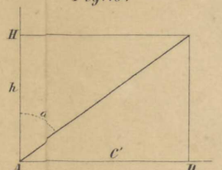


Fig. 14.

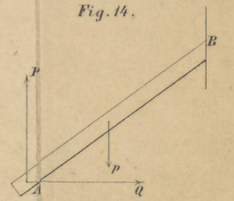


Fig. 15.

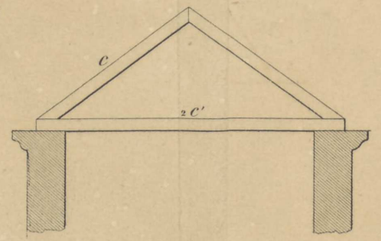


Fig. 16.

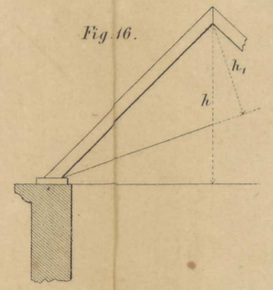


Fig. 17.

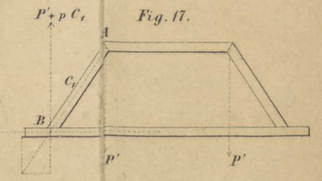


Fig. 18.

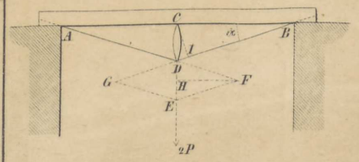


Fig. 19.

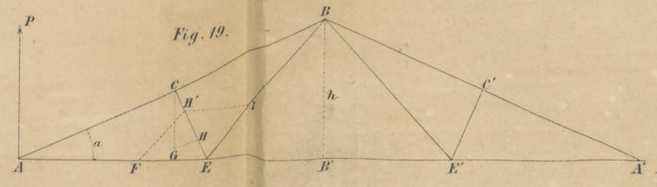


Fig. 20.

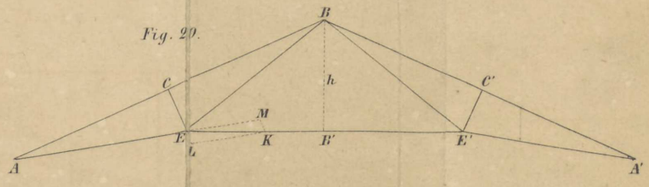
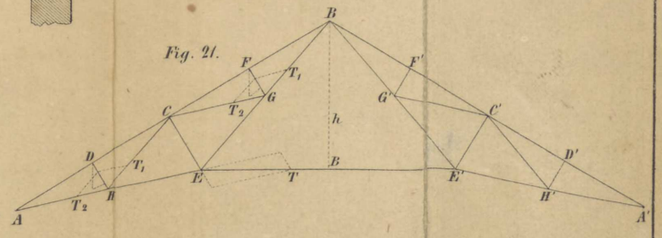
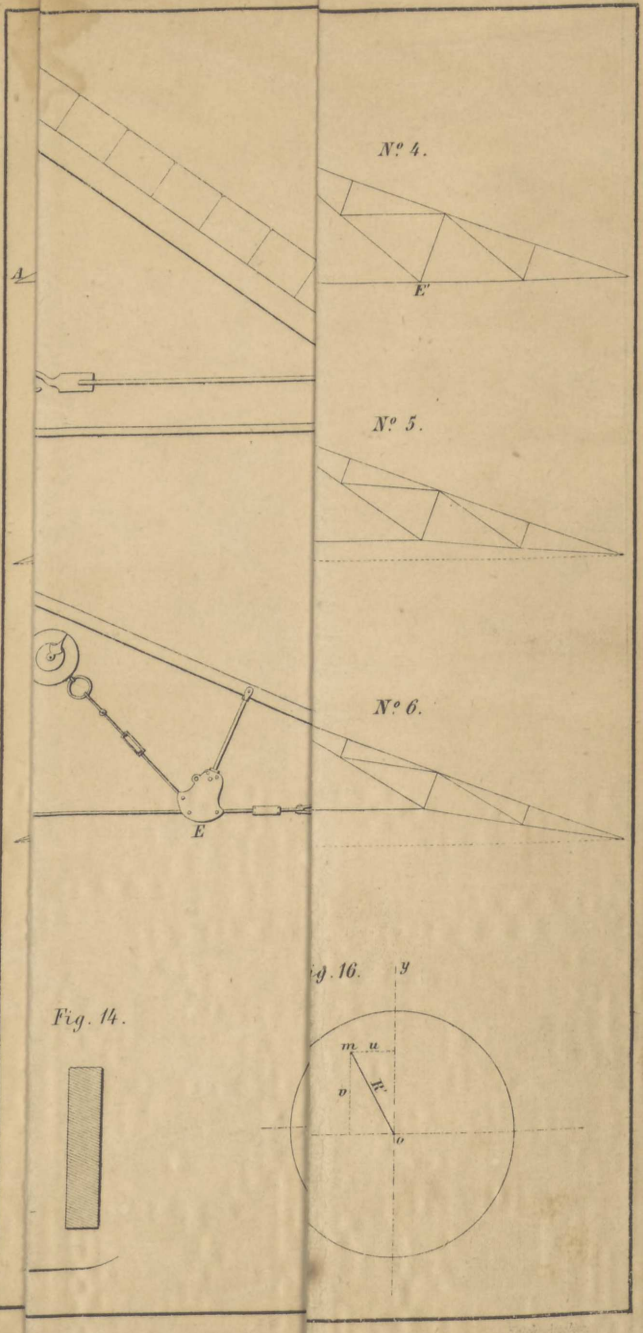


Fig. 21.



Hal. Jo Atelier



Nº 4.

Nº 5.

Nº 6.

Fig. 14.

Fig. 16.

Fig. 3. N° 1.

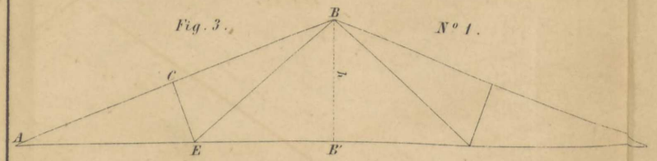


Fig. 4. N° 2.

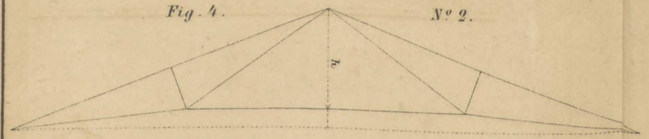


Fig. 5. N° 3.

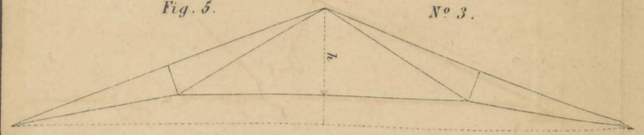


Fig. 1.

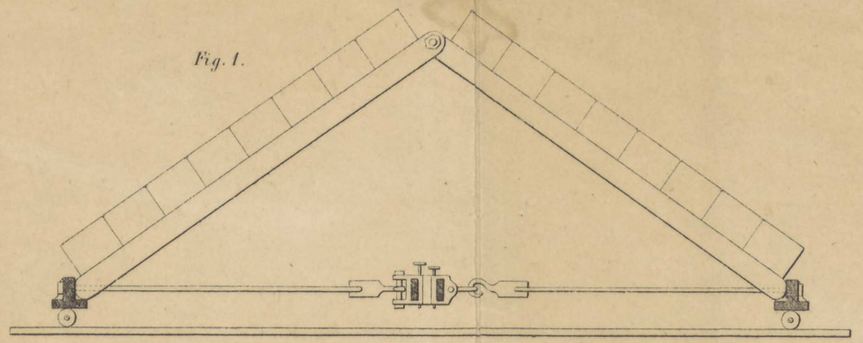


Fig. 2.

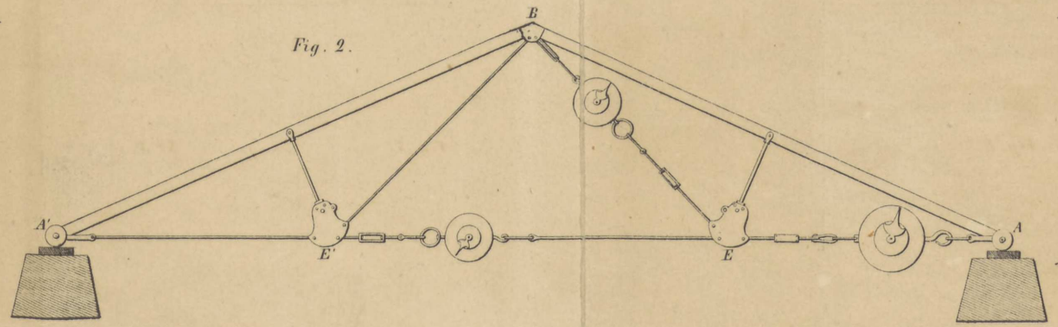


Fig. 6. N° 4.

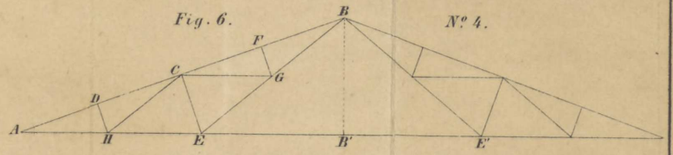


Fig. 7. N° 5.

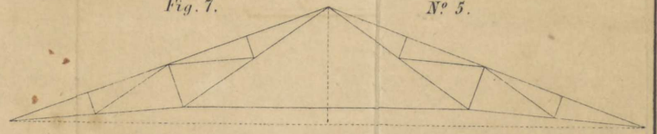


Fig. 8. N° 6.

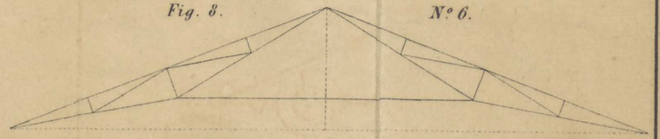


Fig. 9.

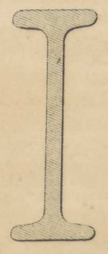


Fig. 10.

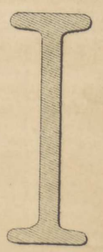


Fig. 11.

Fig. 12.

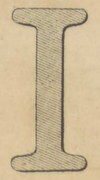


Fig. 13.

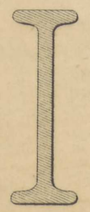


Fig. 14.

Fig. 15.

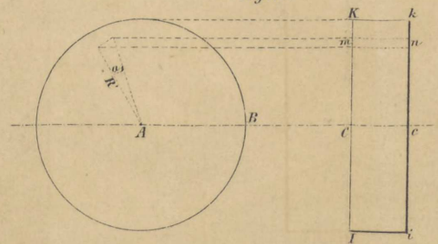
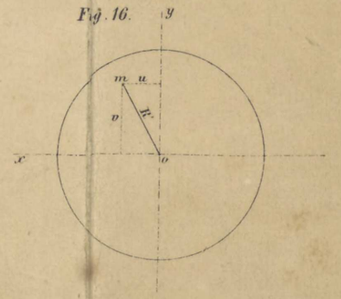



Fig. 16.