

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*

Danske Statsbaner.

BERETNING

om

Jernbanebroen over Limfjorden

imellem

Aalborg og Nørresundby.



62513

Indheftet Betænkning fra den Kommission som
Indenrigsministeren har nedsat til at bedømme
Projekterne til en fast Bro over Limfjorden
mellem Aalborg og Nørresundby.

H.M. WISSING
BIBLIOTHEK PROTOCOL &
RESKEFABRIK
ROSENGAARDEN 11

624.69
gl.
Blv-



Betænkning

fra den Kommission som Indenrigsministeriet har nedsat for at bedømme Projekter til en fast Bro over Limfjorden mellem Aalborg og Nørre Sundby.

Trykt som Manuskript.

Kjøbenhavn.

Bianco Lunos Bogtrykkeri ved F. S. Muhle.

1872.

KJØBENHAVN.

AXEL E. AAMODTS BOGTRYKKERI.

1884.

baner.

G

Limfjorden

undby.

Betänkning

En betänkning
af den Kongliga
akademien för
det vetenskapliga
sakernas förvaltning
och för
den vetenskapliga
sakernas förvaltning
och för
den vetenskapliga
sakernas förvaltning

1814

Stockholm

1814

sbaner.

G

Limfjorden

undby.

I.

Indenrigsministeriet lod i September Maaned 1871 udgaa en offentlig Indbydelse til Konkurrence om Tilvejebringelse af et Projekt til en fast Bro over Limfjorden mellem Aalborg og Nørre Sundby. Indbydelsen var ledsaget af trykte

- 1) almindelige Betingelser med Hensyn til Indgivelsen af Projekter,
- 2) Beskrivelse af de Forhold som vedrøre Anlægget,
- 3) almindelige Bestemmelser for Konstruktionen,
- 4) almindelige Betingelser hvorunder Udførelsen vil blive bortkontraheret, samt
- 5) 2 Tegninger hvoraf den ene fremstiller en Plan af Fjorden hvor den skal overspændes af Broen, den anden et Profil paa samme Sted.

Disse Beskrivelser og Tegninger ere alle vedføjede denne Betænkning som Bilag 1, 2, 3, 4, 5.

I Henhold til ovennævnte Indbydelse indsendtes der den 1ste Januar 1872 til Direktøren for de danske Statsbaner fra 33 forskellige Personer Skrivelser, Tilbud og Projekter som have Hensyn til den foreliggende Sag; nemlig:

1. William A. Gregory. London:

a. Tender for Aalborg Bridge:

med 1 Brobane	£ 110,000.
med 2 do.	£ 170,000.

b. 3 sammenheftede Planer.

1*

KJØBENHAVN.

AXEL E. AAMODTS BOGTRYKKERI.

1884.

2. **James Waddell. Glasgow:**
 - a. Report to accompany Mr. Waddell's Design (6 Blade).
 - b. Specification of a Bridge over the Limfjord (31 Blade).
Overslagsum (1 Brobane) £ 58,146. 11 d. = 516,853 Rd.
 - c. 1 Tegning.
3. **J. G. W. Fijnje, La Haye, og N. Nierstrasz, Bois le Duc.**
Skrivelse.
4. **J. Shaw. Manchester:**
 - a. Explanation of plan 2.
 - b. Overslag 126,380 Fred'or.
 - c. Explanation of drawings.
 - d. Plan to be examined first, 11 Tegninger.
 - e. 5 andre Tegninger.
 - f. Skrivelse med Maalestok for Tegningerne.
5. **H. Tellkamp. Altona.**
Skrivelse.
6. **W. Dempsey. Westminster:**
 - a. 5 Tegninger, hvoraf 1 i Ramme.
 - b. Skrivelse af 26de Decbr. 1871.
 - c. Skrivelse af 3die Jan. 1872 med
 - d. Beskrivelse og delvist Tilbud.
 - e. Tegning.
7. **E. Buchwaldt. Nørre Sundby:**
 - a. Beskrivelse, Beregninger og Overslag 1,122,000 Rd.
 - b. 1 Tegning.
8. **H. Meyer og A. Böhlk. Oldenburg:**
 - a. Skrivelse af 28de December 1871.
 - b. Beskrivelse og Overslag 420,738 Rd.
 - c. 37 Tegninger.
9. **C. Otterstrøm. Kjøbenhavn:**
 - a. Beskrivelse og Overslag 725,000 Rd.
 - b. 5 Tegninger.

10. **J. W. Sheilds. London:**
 - a. Skrivelse og Beskrivelse.
 - b. Tilbud for enkelt Brobane £ 66,000.
 - c. do. - dobbelt do. £ 100,000.
 - d. 10 Tegninger.
11. **C. Grove. Kjøbenhavn:**
 - a. Skrivelse af 29de Decbr. 1871.
 - b. Beskrivelse.
 - c. Arbejdsplan.
 - d. Overslag { 1) 1,186,727 Rd. 90 β.
 - c. 6 Tegninger. { 2) 1,138,640 Rd. 60 β.
12. **P. Hansen. Randers:**
 - a. Tilbud om Udførelse af Broen for 970,000 Rd.
 - b. Beskrivelse.
13. **C. Ambt. Kjøbenhavn:**
 - a. Beskrivelse, Materialberegning.
 - b. Overslag og Tilbud fra G. F. Bock (Hovedforslag 1,080,000 Rd., alternativt Projekt 918,199 Rd. 24 β) samt subsidiært Forslag af G. F. Bock med Tilbud om Udførelse for 749,500 Rd.
 - c. Materialberegning.
 - d. 6 Tegninger.
 - e. Skrivelse af 30te Decbr. med et Bilag til Beskrivelsen.
14. **J. Meyer Petersen. Kjøbenhavn:**
 - a. Skrivelse.
 - b. Beskrivelse.
 - c. Overslag 300,000 Rd.
 - d. Arbejdsmaaden.
 - e. 2 Tegninger.
15. **J. S. Stanton. Lancaster:**
 - a. Skrivelse.
 - b. Beskrivelse.
 - c. Overslag 1,051,322 Rd.
 - d. 3 Tegninger.

sbaner.

IG

Limfjorden

undby.

KJØBENHAVN.

AXEL E. AAMODTS BOGTRYKKERI.

1884.

16. **G. Wells Owen. London:**
 a. Skrivelse.
 b. Beskrivelse og Overslag 352,599 Rd.
 c. 5 Tegninger.
17. **Compagnie de Fives-Lille. Paris:**
 a. Beskrivelse og Tilbud om Udførelse:
 med 1 Brobane 1,760,000 Frcs.
 med 2 do. 2,200,000 —
 b. 1 Tegning.
 c. 1 Fotografi med Beskrivelse.
18. **Charles Fox & Son. London:**
 a. Skrivelse fra A. Barber, Hamburg.
 b. Beskrivelse og Overslag £ 92,144.
 c. do. do. do.
 d. 2 Tegninger.
19. **N. P. Carlsen. Kjøbenhavn:**
 a. Skrivelse.
 b. og c. Beskrivelse.
 d. 1 Tegning.
20. **Wang. Glasgow. H. G. Knudsen. Glasgow:**
 a. Telegram.
 b. Skrivelse.
 c. Beskrivelse og Overslag 653,328 Rd. 32 β.
 d. 8 Tegninger.
21. **W. Lüders. Kjøbenhavn:**
 a. Telegram.
 b. Skrivelse.
 c. Tilbud (5 Alternativer)
 d. 16 skrevne Bilag
 e. 20 Tegninger.
 f. 1 Stykke Jernrør.
- | | |
|----|---------------|
| 1) | 1,400,000 Rd. |
| 2) | 990,000 — |
| 3) | 1,150,000 — |
| 4) | 950,000 — |
| 5) | 776,000 — |

22. **Robert King. London:**
 a. Skrivelse fra W. Lange. Kjøbenhavn.
 b. Telegram.
 c. Skrivelse fra W. Lange.
 d. Beskrivelse.
 e. 4 Tegninger.
23. **Tegner. Aarhus:**
 a. Beskrivelse og Overslag 640,000 Rd.
 b. 1 Hefte Tegninger.
 c. 1 do. do.
24. **Bangert. Aarhus:**
 a. Beskrivelse og Overslag 1,024,000 Rd.
 b. 3 Tegninger.
25. **Steinbrenner. Aarhus:**
 a. Tilbud om Udførelse af Broen for 774,500 Rd.
 b. 3 Tegninger.
26. **J. Andersen. Kjøbenhavn:**
 a. Beskrivelse.
 b. Overslag 1,400,000 Rd.
 c. 6 Bilag.
 d. 5 Tegninger.
27. **Laurits Petersen. Kjøbenhavn:**
 a. Tilbud om Udførelse af Broen for 1,400,000 Rd.
 b. Beskrivelse.
 c. 4 Tegninger.
28. **P. L. Mathiesen. Aarhus:**
 a. Skrivelse.
 b. Beskrivelse.
 c. 5 Tegninger.
 d. Overslag 962,194 Rd. 64 β.
29. **Esto perpetua:**
 a. 1 forseglet Kuvert.
 b. Beskrivelse og Overslag 1,237,793 Rd. 64 β.
 c. 4 Tegninger.

sbanner.

G

Limfjorden

undby.

KJØBENHAVN.

AXEL E. AAMODTS BOGTRYKKERI.

1884.

30. C. A. Cuvere. Paris:
 - a. Skrivelse.
 - b. 1 Tegning.
31. C. Rüber. Drammen:
 - 1 Skrivelse.
32. Asmussen. Aalborg:
 - a. 1 Skrivelse.
 - b. 1 Tegning.
33. Ph. Braham. J. Manthforth Hay:
 - a. Beskrivelse og Overslag £ 60,000.
 - b. 3 Tegninger.

Til at bedømme disse Indlæg havde Indenrigsministeriet ifølge Skrivelse af 23de December 1871 til Overvejinspektøren Oberst Wenck udnævnt en Kommission bestaaende af:

Oberst Wenck, Formand,
 Etatsraad, Vandbygningsdirektør Carlsen,
 Kaptajn, fhv. Digeinspektør Carstensen,
 Professor, Docent Holmberg,
 Ingeniørkaptajn Larssen.

Som Sekretær har fungeret cand. polyt. Ollendorff.

Kommissionen der har holdt sine Møder i Ministerialbygningen, har først underkastet Sagerne et foreløbigt, senere et mere indgaaende Gennemsyn. Resultatet af dens Overvejelser foreligger dels i den som Bilag 6 vedføjede Protokol over Forhandlingerne i Møderne, dels i nærværende Betænkning.

II.

Forinden Kommissionen gaaer over til at udtale sin Dom over de indkomne Projekter, skal den fremsætte hvilke Grundsatninger der have været ledende for den i saa Hensende.

Den har mindre betragtet Projekterne fra et absolut Standpunkt med deres Værd i Almindelighed for Øje, end relativt, nemlig med Hensyn til deres Betydning for Løsningen af den foreliggende Opgave.

Den har sat Hensynet til Bekostningen i anden Række, da det først og fremmest kommer an paa at undersøge om Konstruktionen forsvarligt lader sig udføre.

Den har fortrinsvis fæstet Opmærksomheden paa Underbygningens Konstruktion, som det eneste der frembyder usædvanlige Vanskeligheder; mindre paa Overbygningen, saa meget mere som der ikke for dennes Vedkommende er fremsat noget nyt der fortjener Paaagtning.

Underbygningen.

Anbringelse af et Træpælefundament for murede Piller lader sig ikke udføre uden samtidig Anvendelse af pneumatisk Fundering, paa Grund af den faste Grunds store Dybde under Vandfladen.

En Fundering hvis Soliditet er afhængig af Jernet's Holdbarhed, er utilraadelig, da Underbygningen ved et Arbejde af denne Betydning bør yde større Garanti for Varighed end Overbygningen. Der lader sig vel tilvejebringe et provisorisk fast Fundament ved enten at skrue, trykke, ramme eller udskylle mindre Jerncylindre indtil de have naaet den faste Grund, men et saadant bør kun tjene til Understøttelse for en provisorisk Overbygning.

Hverken Støbejern eller Smedejern kan i Tidens Længde modstaa Søvandets tærende Paavirkning, et beskyttende Overtræk kan gaa bort under Indbringelsen i Grunden, og dennes organiske Bestanddele ville sandsynligvis fremskynde Ødelæggelsen. Man maatte saaledes nære en stadig Frygt for Fundamentets Holdbarhed, paa Steder hvor man ikke kan undersøge den.

Indsænkning af Brønde (der senere tjene til Bropillens Konstruktion) ved Udpumpning af Vandet i det indre og Udgravning paa den tørlagte Bund — lader sig ikke gennemføre til den fornødne Dybde uden Luftpumpens Hjælp, da det nedre Sandlag som i hvert Fald bør naas, maa antages at være meget vandholdigt.

sbaner.

IG

Limfjorden

undby.

KJØBENHAVN.

AXEL E. AAMODTS BOGTRYKKERI.

1884.

Sænkning af Brønde af Mur eller Jern med Bortskaffelse af Grunden i det indre ved Hjælp af forskellige Mudderapparater (eller ved Vandets Skyllkraft) har man anvendt med Held i mange Tilfælde, hvor Forholdene have været gunstige for denne Fremgangsmaade. Men hertil hører et fast Stillads, som kun med store Vanskeligheder og Bekostninger lader sig tilvejebringe paa det paagældende Sted i Limfjorden, en ringere Dybde end her forefindes, og en mere ensartet Grund. Under mindre og simplere Forhold, eller hvor man savner bedre Hjælpemidler, vil Metoden have stor Værdi; men paa Brobygningens nuværende Standpunkt og specielt i det foreliggende Tilfælde kan dens Anvendelse ikke tilraades.

Pludselige, uregelmæssige Sænkninger kunne let indtræde i denne uensartede Grund. Allerede et større Lag Skaller som Røret træffer paa, vil volde Vanskeligheder, en Sten eller en Træstamme, hvis Forekomst ikke er usandsynlig, kan gøre en videre Indsækning umulig ved de ovennævnte Midler. For at fjerne en saadan Hindring maatte man anvende Dykkere ved de murede Brønde, ved Jernbrøndene kunde man ogsaa benytte en Indpresning af Luft. Men det er da bedre fra første Færd af at basere Funderingen paa dette værdifulde Hjælpemiddel, der nu er det overvejende almindelige under saa vanskelige Forhold, som her findes.

Den saakaldte pneumatiske Metode udmærker sig ved en stor Sikkerhed i Udførelsen, da man kan undersøge Grunden paa Stedet, virke paa Brønden baade for ned og for oven, og desuden regulere Indsækningen ved tildels at hæve Pillens Vægt. Den ualmindelig store Dybde som Fundamentet maa føres ned til paa enkelte Steder, nødvendiggør dog at man samtidig maa være forberedt paa Anvendelsen af andre Midler, og Oplysninger desangaaende tør derfor ikke savnes i Projektet.

En Indsækning af Grus eller Sten for at sammen-

trykke Grunden paa det Sted hvor Pillen skal opføres, tiltaler ved sin Simpelhed, og har den Fordel at være uafhængig af den faste Grunds Dybde. Den lader sig gennemføre hvor ingen anden Funderingsmaade er mulig, og den kan ogsaa anvendes i nærværende Tilfælde, men maa helst undgaas.

Det bliver nemlig usikkert, om den underliggende sammentrykkelige Grund og Opfyldningsmassen selv efter en betydelig Overbelastning fuldstændig faar tilendebragt sin Sætning, saa at den ikke kan undergaa senere Forandringer. Den ubetydeligste Bevægelse som faar Indflydelse paa Pillens Stilling, vilde kunne frembringe alvorlige Farer for Overbygningen.

Udførelsen er desuden forbundet med Omstændelighed og medtager lang Tid. Den burde efter Kommissionens Anskuelse ske paa følgende Maade: Først indsænkes forneden Grus, foroven Sten indtil Vandfladen, her anbringes en Overbelastning, hvis Størrelse staar i omvendt Forhold til Varigheden; dernæst fjernes Stenmassen indtil 25—30 Fod under daglig Vande, et Betonlag udbredes paa samme, og herpaa opføres en muret Pille ved Hjælp af en Dykkerklokke. Men disse store Opfyldninger ere besværlige at tilvejebringe og fjerne paany, de indsnevre Fjordprofilet og forulempe Skibsfarten.

At benytte en kunstig Pille til at komprimere Grunden med paa en større Dybde, er ligeledes besværligt, langsomt og bekosteligt. Det yder dertil mindre Garanti for et godt Resultat, da Virkningen ikke naar langt ud til Siderne.

Under Henvisning til en senere nærmere Motivering skal Kommissionen her udtale: at Pillerne bør opføres ved Luftpumpens Hjælp, at de bør bestaa af Murværk i deres hele Højde fra den faste Grund til Overbygningen, og at de i hvert Fald over Fjordbunden bør danne én Masse — for med Sikkerhed i Udførelsen at forbinde ubetinget Varighed og den størst mulige Styrke og Stabilitet.

sbaner.

IG

Limfjorden

undby.

KJØBENHAVN.

AXEL E. AAMODTS BOGTRYKKERI.

1884.

Overbygningen.

Ingeniørernes Anskuelser med Hensyn til den heldigste Konstruktion af Overbygningen, navnlig af Brodragerne, ere endnu meget delte, tildels efter Nationaliteterne. Medens man i England træffer de forskelligste oprindelige Former, foretrækkes i Tydskland nu Buekonstruktioner, i Frankrig og Østerrig prismatiske Gitterdragere.

Hver Konstruktion har sine Fordele og sine Mangler. Valget maa nærmest bestemmes af de lokale Forhold, og disse peges i nærværende Tilfælde hen paa den sidstnævnte Form, for at Broen kan indrettes til en Kørebane foroven for almindelige Vogne og mellem Dragerne for Jernbanefærdselen.

Tværbjælker foroven og forneden tjene samtidig til Kørebahnernes Understøttelse og til Dragernes Afstivning og give Konstruktionen en betydelig Styrke mod en Sidepaavirkning.

Hvor kun én Kørebane forefindes, kan ogsaa Bowstring-formen med Gitterforbindelse vælges. En Pladejernstamme er i alle Tilfælde uheldig af Hensyn til Udseendet og Vindfanget.

III.

Paa disse Anskuelser som Grundlag, navnlig for Underbygningens Vedkommende, er nedenstaaende Bedømmelse foretaget. Det vil deraf fremgaa, at intet Projekt findes fuldkommen tilfredsstillende, men at dog ét kommer Kommissionens Anskuelse saa nær, at det med enkelte Modifikationer kan anbefales til Udførelse.

A. Følgende Indlæg indeholde intet Bidrag til Opgavens Løsning i Overensstemmelse med de opgivne Betingelser, eller intet som helst brugbart Forslag til samme.

5. Tellkampf tilbyder eventuelt at angive en Funderingsmaade.
30. Cuvere henleder Opmærksomheden paa Anvendelse af kunstige Sten.

3. Fijnje foreslaar at lægge en Dæmning tværs over Fjorden med en Kanal inden om.
31. Rüber anbefaler at føre en Dæmning ud fra hver Bred indtil en Afstand af 300 Fod, og overspænde denne med en Bro.
4. Shaw funderer ved Hjælp af Jerncylindre med Udpumpning af Vandet og ophænger Skinnevejen i Jerntove.
14. Meyer-Petersen foreslaar en fast Bro paa undersøiske Pontoner.
33. Braham funderer som 4, Shaw, eller ved Hjælp af Skruepæle. Overbygningen er et System af Svingbroer.

B. Følgende Projekter ere for ufuldstændige til at kunne komme i Betragtning enten ved Prisbelønningen eller som Tilbud, afset fra de Indvendinger der iøvrigt kunne gøres mod Konstruktionen.

12. Hansen vil fundere paa et ikke nærmere beskrevet Træpælefundament fra 30 Fod under daglig Vande. Overbygningen har Gitterdragere og enkelt Kørebane.
19. Carlsen antyder en Fundering paa Brønde og en Overbygning tildels af Træ.
1. Gregory skitserer en Fundering paa Jerncylindre og en gitterformig Overbygning, dels med enkelt dels med dobbelt Kørebane.
15. Stanton vil fundere ved Hjælp af Jerncylindre og Pæleramning. Overbygningen der er en Kombination af Støbejern og Smedejern, har en øvre Kørebane for Vogne.
25. Steinbrenner fremsender ingen Beskrivelse. Tegningen viser murede Piller og en gitterformig Overbygning med enkelt Kørebane.
27. Laurits Petersen meddeler ikke Oplysning om Maaden hvorpaa de murede Piller med Træpælefundament skulle lade sig udføre. Overbygning med Gitterdragere og enkelt Kørebane.

sbaner.

IG

Limfjorden

undby.

KJØBENHAVN.

AXEL E. AAMODTS BOGTRYKKERI.

1884.

22. King vil fundere ved Udpumpning af Vandet i Jerncylindre. Overbygningen har Gitterdragere og dobbelt Kørebane.
32. Asmussen giver Antydninger til en Konstruktion som gaar i den Retning Kommissionen anser for den bedste, nemlig Fundering ved Luftpumpens Hjælp, eventuelt med Sænkning af Cylindre fra Pillens Indre paa større Dybde, samt Overbygning med prismatiske Gitterdragere og øvre Kørebane.
18. Fox foreslaar ogsaa Fundering ved Hjælp af Luftpumpen (eller Sandpumpen) og en Overbygning som 32, Asmussen.

C. Følgende Projekter ere uantagelige, fordi Funderingen er baseret paa Jernets Styrke og Varighed.

16. Wells - Owen anvender Skruepæle af Støbejern, hvis Dimensioner fra først af ere utilstrækkelige. Overbygning med Gitterdragere og enkelt Kørebane.
10. Sheilds vil nedramme Støbejernspæle. Overbygning med Gitterdragere og dels enkelt, dels dobbelt Kørebane.
6. Dempsey omgiver Smedejernskruepæle med Hylstre af Støbejern. Overbygning med Bowstringdragere og enkelt Kørebane.
9. Otterstrøm benytter Støbejernskruepæle til Understøttelse for en muret Pille over Fjordbunden. Overbygning med Pladejernsdragere og enkelt Kørebane.
21. Lüders fremsætter 3 Forslag med Støbejernspæle, dels nedskruede, dels sænkede ved Hjælp af Vandskylning. Overbygning med Gitterdragere og mellemliggende tredobbelt Kørebane.

D. Følgende Projekter kunne ikke anbefales til Udførelse, fordi de ere baserede paa Fundering ved Hjælp af Sænkebrønde uden regelmæssig Anvendelse af Luftpumpe.

7. Buchwaldt sænker to Jerncylindre for hver Pille ved

Opmudring med en Spandkæde og Trykket fra en Ponton.
Overbygning med Gitterdragere og øvre Kørebane.

21. Lüders har to Forslag til Sænkning af Jerncylindre ved Hjælp af Milroys Excavator og lignende Overbygning som i sine under C. opførte Projekter.
2. Waddell anvender dobbelte Jerncylindre som 7, Buchwaldt, men opmudrer med Kennards Sandpumpe eller Milroys Excavator. Overbygning med Gitterdragere og enkelt Kørebane.
20. Wang foreslaar dobbelte murede Sænkebrønde og Anvendelse af Milroys Apparat; Gitterdragere med enkelt Kørebane.
26. Andersen anvender en enkelt muret Sænkebrønd for hver Pille og opmudrer med en Spandkæde. Overbygning med Bowstringdragere og enkelt Kørebane.
13. Ambt foreslaar at fjerne Grunden inden i mindre Jernrør (der efter at være fyldte med Beton skulle tjene til Understøttelse for en muret massiv Pille over Fjordbunden) ved Hjælp af Udskylning med Vand eller Milroys Excavator. Overbygning med parabolske Dragere og enkelt Kørebane.
Det vedlagte Forslag af Bock gaar ud paa at opføre en muret Pille paa et Træpælefundament, hvis Udførelse næppe er mulig paa den angivne Maade.
8. Meyer & Bøhlk anvende dobbelte murede Brønde som indsænkes ved Opmudring med flere forskellige Apparater; eventuelt med Hjælp af Dykkere eller Indpumpning af Luft i det murede Rør. Gitterdragere med krumt Hoved og enkelt Kørebane; énfløjet Svingbro.

E. Følgende Projekter foreslaa Anvendelsen af komprimeret Luft til Opførelsen af en muret Pille, men ikke under en saadan Form, at de kunne lægges til Grund for Udførelsen.

28. Mathiesen beskriver i Korthed den Fremgangsmaade som først er anvendt ved Strasburg-Kehlbroens Bygning

sbaner.

IG

Limfjorden

undby.

KJØBENHAVN.

AXEL E. AAMODTS BOGTRYKKERI.

1884.

og senere paa mange andre Steder, uden at angive hvorledes den skal tilpasses efter de lokale Forhold, hvor den betydelige Vanddybde, den bløde øvre og den dybtliggende faste Grund gøre særegne Foranstaltninger nødvendige.

Overbygningen er efter Paulis System med enkelt Kørebane. Den viste Forlægning af Broen er utilstedelig af Hensyn til Jernbanefærdselen.

29. Esto perpetua foreslaar principalt at sænke Pillen ved Indpresning af Vand, som skal fjerne Grunden under en Jernklokke hvorpaa Murværket efterhaanden opføres — subsidiært Anvendelse af fortættet Luft; i begge Tilfælde uden Stillads til Pillens Styring, der kun skal ske ved Hjælp af Fortøjninger. Et Stillads er dog i hvert Fald nødvendigt; Skyllemetoden er uigennemførlig paa den foreslaaede Maade og den pneumatiske kun antyd.

Overbygningen har principalt Bowstringdragere med enkelt Kørebane, subsidiært prismatiske Gitterdragere med øvre Kørebane for Vogne.

24. Bangert vil sænke en Dykkerklokke til 80 Fod Dybde under Vandfladen og derfra paa almindelig Maade nedramme Pæle i den faste Grund. Principet er gennemført tidligere under en anden Form, der lod sig benytte ved Limfjordsbroen*); men den her foreslaaede Klokkes betydelige Dimensioner vil medføre saa store Vanskeligheder med Hensyn til Konstruktionen, Manøvreringen og Fyldingen med Luft, at dens Anvendelse ikke kan tilraades.

Overbygningen har elliptiske Pladejernsdragere, mellemliggende Jernbane og to udenforliggende Kørebaner for Vogne.

*) Annales des ponts et chaussées 1859, S. 334.

F. Følgende Projekter fundere ved en Komprimering af Grunden.

11. Grove vil fastne Grunden ved en successiv Paafyldning af Grus gennem en Jernponton, og ved Belastning af denne der senere benyttes til Pillens Opførelse. Denne Fremgangsmaade kan ikke anbefales.

Overbygningen har Pladejernsdragere og enkelt Kørebane. I Stedet for at overføre en Del af Svingbroens Vægt paa Midtetappen, ophæves Vægten ved tildels at lade Svingbroen flyde i et Bassin i Pillen.

23. Tegner foreslaar en Forlægning af Broen mod Vest, der skønnes nødvendig af Hensyn til Trafiken paa den nærværende Overgangslinje; men tillige en Forlægning af Fjorden, der efter Kommissionens Opfattelse næppe er forenelig med Opgavens Betingelser.

Ved at føre den sydlige Dæmning ud til Midten af Fjorddybet indskrænkes Funderingen paa dybt Vand til to Piller, som opføres paa en Indsænkning af Grus og Søsten; de øvrige Piller funderes som Sænkebrønde fra en lav Opfyldning paa den nordre Landgrund, der senere tildels opmudres. Overbygningen har Bowstringdragere og enkelt Kørebane.

Det er imidlertid vanskeligt forud at overse i den fulde Udstrækning, hvad Indflydelse den foreslaaede Indgriben i de bestaaende Strømforhold kan faa. Der vil i hvert Fald fremstaa et mere bugtet Løb og mindre gunstige Forhold for Besejlingen. Naar et heldigt Resultat skal sikres, maa derfor paaregnes Udførelse af mere omfattende Strømledningsarbejder end angivne i Projektet.

I et alternativt Forslag er der fremstillet en Fundering med Komprimering af Grunden uden Forlægning af Fjorden, som tildels stemmer med den ovenfor under II beskrevne. Denne Konstruktion vilde Kommissionen anbefale.

sbaner.

IG

Limfjorden

undby.

KJØBENHAVN.

AXEL E. AAMODTS BOGTRYKKERI.

1884.

fale, hvis det skulde vise sig umuligt at gennemføre det næste Projekt, som formentlig hurtigere, billigere og sikrere løser Opgaven.

G. Følgende Projekt er ikke tilstrækkelig udførlig affattet til at kunne prisbelønnes, men egner sig til at modtages som Tilbud med visse Modifikationer, der nærmere omtales i det paafølgende Afsnit IV.

17. Compagnie de Fives-Lille vil sænke Piller af Sten med cirkulært Tværsnit 19 Fod i Diameter, ved at mure oven paa en Klokke fyldt med fortættet Luft; og hvis det mod Forventning ikke lykkes at føre denne dybere ned end 80 Fod, da understøtte Pillen paa Skruepæle.

Overbygningen har prismatiske Gitterdragere, 2 faste Fag Syd for, 4 Nord for Svingbroen; alternativt en øvre Kørebane for Vogne med Adgangsramper af Jern.

NB. I den som Bilag-6 vedføjede Protokol over Forhandlingerne i Kommissionens Møder findes tildels en udførligere Omtale af de forskellige Projekter, som den fremgik af Diskussionerne under det successive Gennemsyn.

IV.

Kommissionen skal her efter nærmere udvikle sine Anskuelser om Broanlægget, saavel med Hensyn til Beliggenheden som til Underbygningens og Overbygningens Konstruktion og Bekostning.

Broens Beliggenhed.

For ikke at forulempe Overfarten mellem de eksisterende Færgebroer og Jernbanetrafikken overhovedet under Arbejdets Udførelse, bør Broen lægges uden for den paa Bilag 5 viste Overgangslinje AB. For samtidig dog at drage Nytte af dette Naboskab og af Hensyn til Fjordprofilens Beskaffenhed, synes det rettest at vælge Beliggenheden lidt vestligere.

Da det ikke er forbundet med Ulemper for Jernbanefærdslen, eftersom de nuværende Kurveradier ved Tilslutningerne i det væsentlige kunne bibeholdes, og da en mere normal Retning paa Fjorden er heldig for Strømforholdene og Skibsfarten, samt tilsteder en mindre Længde og en simplere og hensigtsmæssigere Konstruktion af Broen, bør Broaxen lægges omtrent parallelt med de paa Bilag 5 viste Telegraftove.

Fremdeles kan man formentlig tillade sig en større Indskrænkning af Fjordprofilets Brede end Afstanden mellem Punkterne A og B. Vandstandsforandringen og Strømhastigheden ere nemlig smaa, og hvis en Udvidelse af Profilet senere skulde vise sig nødvendig, kan man erstatte Jorddæmningerne med lettere Brokonstruktioner. Af økonomiske Hensyn bør man derfor lægge Landpillerne lidt udenfor Landgrundene, omtrent paa 8 Fods Dybde, hvorved deres indbyrdes Afstand bliver den samme som mellem de nuværende Færgebroer eller 1000 Fod.

Den saaledes fremkomne Broaxe er tegnet paa Bilag 7 med en blaa prikket Linje. Den er inddelt i 2 faste Fag med Aabninger paa 200 Fod til hver Side af Svingbroen, som har 2 Aabninger med 65 Fod Vidde.

Den foreslaaede Beliggenhed medfører naturligt at Hovedarbejdspladsen falder paa Aalborgsiden, hvor man maa antage at der er flest Ressurcer for Arbejdet tilstede.

Underbygningen.

Pille-Tværsnittets Form. De i Fives-Lilles Projekt viste Piller med cirkulært Tværsnit ere lettere at sænke end aflange, da de have ens Stabilitet i alle Retninger, og de tilstede en skæv Retning af Strømmen samtidig med en lige Konstruktion af Overbygningen. Naar Brolinjen imidlertid gøres omtrent normal paa Strømmen, falde de sidste Fordele bort, og det aflange Tværsnit, hvis Hovedaxe er vinkelret paa Broens, bliver at foretrække.

2*

sbaner.

IG

Limfjorden

undby.

KJØBENHAVN.

AXEL E. AAMODTS BOGTRYKKERI.

1884.

Det er i sidstnævnte Retning at Pillen skal kunne modstaa Vindens, Isens og Strømmens Tryk. Efter Broens Længde er den ikke udsat for disse Sidepaavirkninger, og Stabiliteten styrkes her ved Forbindelsen med Dragerne; Breden kan derfor indskrænkes. Jo smallere Pillerne ere, jo mindre indsnævres ogsaa Profilet, hvad dog her er af underordnet Betydning.

De af Fives-Lille foreslaaede Piller ere desuden for svage. Den øvre Diameter maa forøges noget for at Brodragernes Tryk ikke skal komme Kanten for nær, den nedre Diameter maa forøges endnu mere af Hensyn til Stabiliteten og mulige Forskydninger under Indsænkningen. Naar nu det samme Tvær-snit faar en aflang Form, fordeles Overbygningens Tryk mere ligeligt over Pillens Flade, en Sidepaavirkning vinkelret paa Broaxen forstørrer det betydelige Tryk som Grunden under Fundamentet er udsat for i et langt mindre Forhold, og man kan spare en halv Snes Fod i Svingbroens Længde for Enderne.

Af alle disse Grunde forkastes den cirkulære Form undtagen for Svingbroens Pille.

Pillernes Tvær-snit bør være rektangulært paa den Del, der dækkes af Overbygningen, eller paa en Længde lig Afstanden mellem Dragernes Ydersider. Da Paavirkningen af Vind, Strøm og Is fortrinsvis kommer vester fra, er det raadeligt at flytte Tyngdepunktet over mod denne Side, hvilket passende kan ske ved en spidsbueformig Afslutning, som bedst leder Strømmen og deler Isen. Den østre Afslutning kan gøres halvcirkelformig.

For Landpillernes Vedkommende er der ingen Grund til at afvige fra den halvrunde Form for begge Ender, og for Svingpillen er den fuldstændig cirkulære den mest hensigtsvarende.

Længdesnittets Form. Hensyn til Stabiliteten og For- delingen af Trykket anviser et voxende Tvær-snit ned efter. Alle Erfaringer fra Funderinger, udførte paa den her foreslaaede Maade, tale fremdeles for at give den nederste Del af Pillen saa stort Tvær-snit, at man ved Hjælp heraf kan rette paa mu-

lige Afvigelser i den tilsigtede Stilling, som let indtræde under Pillens Sænkning.

Naar det øvre Tværnsnit er fastsat, bør man derfor give Siderne et mindre Anlæg for saa vidt de staa i Vand, og ved Fjordbunden gøre Regning paa et Fremspring af den nedre Del, hvis Sider kunne være lodrette.

Tværsnittets Dimensioner. Pillerne ere med Hensyn til Stabiliteten under ugunstige Forhold i denne Bro, fordi de først støttes af den fastere Grund i stor Dybde, samtidig med at de paavirkes vandret nær den øvre Ende. Foruden hertil maa man ved Bestemmelsen af Tværsnittet fremdeles tage Hensyn til det lodrette Tryk som Pillen og Grunden er udsat for, og som dels atter afhænger af Pillens Højde, dels af Spændvidden.

Disse forskellige Faktorer indeholde de bestemmende Elementer i sig. Problemet egner sig imidlertid ikke for en teoretisk Behandling, den empiriske Vej er den eneste paalidelige, og en Sammenligning med udførte Broer under tilsvarende Forhold*) har da givet, at en Strømpille som understøtter en gennemgaaende Overbygning, bør have en Brede i Vandfladen af omtrent 11 Fod, en Brede af 13 Fod omtrent 30 Fod under Niveaueet, og en Brede af 16 Fod paa den nederste prismatiske Del. Tværsnittets Udstrækning forøvrigt fremgaar da af de oven anførte Bemærkninger om dets Form. Paa Bilag 8 er en Pille aftegnet; den støttes af en større Stensækning paa Fjordbunden.

Landpillerne som blive helt omgivne af en Jordmasse, kunne være et Par Fod smallere, saa at de endnu beholde tilstrækkelig Brede for oven til Hvileflade for Brodragerne. Fremspringet af den nedre Del lægges i Hovedsagen paa Strømsiden af Hensyn til Dæmningens Sidetryk.

*) Nouvelles Annales de la Construction 1869, S. 5.

Allgemeine Bauzeitung 1870, S. 276.

Annales des ponts & chaussées 1864, S. 353.

sbaner.

IG

Limfjorden

undby.

KJØBENHAVN.

AXEL E. AAMODTS BOGTRYKKERI.

1884.

De to Strømpiller mellem Svingbroen og den faste Bro savne det Tillæg i Stabilitet som Jorden giver Landpillerne, eller som den gennemgaaende Overbygning giver de andre Strømpiller, de findes desuden midt i Strømmen paa det mest udsatte Sted; de bør derfor være et Par Fod bredere.

Svingpillen maa foroven have en Diameter af 25 Fod saavel af Hensyn til dens egen som til Overbygningens Stabilitet; Siderne faa desuden indtil 30 Fod under Vandfladen samme Anlæg som de øvrige Piller; den nedre cylindriske Del, 30 Fods Diameter.

Pillernes Højde bestemmes af Grundens Beskaffenhed. Det antages at i hvert Fald det i Profilet, Bilag 5, viste nedre Sandlag eller Lerlag, har tilstrækkelig Fasthed til at kunne bære Broen naar Pillerne føres 10 til 15 Fod ned i samme. Forudsat at Gennemsnittet af Grunden efter Linjen AB ogsaa passer for den ny af Kommissionen foreslaaede Overgangslinje, ville Pillerne altsaa faa en voxende Højde fra den nordre Bred mod den søndre, der falder mellem 60 og 115 Fod under daglig Vande. Højden over samme maa blive 7 Fod, da Overbygningens Underflade ikke tør komme Vandfladen nærmere end 8 Fod.

NB. Kommissionen kan ikke undlade at henlede Opmærksomheden paa, at selv de ovenfor foreslaaede betydelige Forstærkninger af Underbygningen i Fives-Lilles Projekt, ikke udelukke Foranstaltninger til at fjerne Farer for Broanlægget, der kunne fremstaa under Isens Opbrud.

Arbejdets Udførelse.

Den Dybde, hvortil man kan indsænke Brønde ved Hjælp af den pneumatiske Metode, begrænses af den menneskelige Organismes Evne til at taale det nødvendige Lufttryk. I saa Henseende har Erfaringen godtgjort, at man uden Skade kan opholde sig under et Tryk af 4 Atmosfærer, hvilket svarer til

omtrent 100 Fods Dybde under Vandfladen*). De lokale Forhold have imidlertid ført med sig, at den normale Maximumsdybde for Arbejder af denne Art har været omtrent 80 Fod.

I nærværende Tilfælde anse vi det for sandsynligt, at det blandede Sand- og Mudderlag vil yde en betydelig Modstand mod Vandets Gennemtrængen, og saa længe man arbejder deri, vil det kunne ske under et Tryk som er en Del mindre end det der svarer til Dybden under Niveauet. Men efter at man har naat det nedre Sandlag, vil dette næppe mere være Tilfældet, da Sandet staar i umiddelbar Forbindelse med Vandet i Fjorden.

I Henhold til ovennævnte Erfaring tør det vel formodes, at man i det mindste vil kunne naa en Dybde af 100 Fod ved Hjælp af den almindelige Fremgangsmaade, og maaske de 5 til 15 Fod mere som udfordres for de søndre Piller — hvilket man i hvert Fald ikke bør spare paa Anstrængelse for at sætte i Værk. Men Kommissionen vilde dog ikke uden Betænkning have tilraadet den pneumatiske Metodes Anvendelse efter Fives-Lilles Forslag, hvis den ikke saa sig i Stand til at angive Midler til at føre Murværket ned til den fornødne Dybde, uden at paaregne et regelmæssigt Arbejde paa mere end det almindelige Maximum 80 Fod under Vandfladen. Den af Fives-Lille eventuelt anbefalede Indskruning af Pæle fra en Klokke paa sidstnævnte Sted, lader sig nemlig vanskelig udføre i den fornødne Udstrækning.

Kommissionen anbefaler følgende Fremgangsmaade, vel at mærke kun som Nødhjælp:

Naar det ikke vil lykkes paa almindelig Maade at føre Pillen videre, benytter man den betydelige Arbeidskraft der bor i den fortættede Luft, og som hidtil kun har haft den passive

*) Zeitschrift für Bauwesen 1866, S. 535.

Annales de chimie et de physique 1841, III. S. 234.

Annales des ponts et chaussées 1867, S. 116.

Zeitschrift des Architekten-Vereins zu Hannover 1871, S. 434.

sbaner.

IG

Limfjorden

undby.

KJØBENHAVN.

AXEL E. AAMODTS BOGTRYKKERI.

1884.

Opgave at holde Vandet ude — aktivt, til at drive hule Jerncylindre med løst Laag tilbørligt ned i den faste Grund.

Dette Funderingsprincip som er baseret paa, samtidig at lade Luften virke trykkende paa Cylindrens Hoved og løsnende paa Grunden, er angivet for omtrent 30 Aar siden af Engländeren Dr. Pott, og anvendt i den første Tid til forskellige Funderinger med Jernrør paa 1 til 6 Fods Diameter. Indsænkningen skete da kun ved at udpumpe Luften af Cylindren og lade Atmosfærens Tryk virke paa den, jævnt eller stødvis. Men herved kunde man aldrig opnaa 1 Atmosfæres Overtryk, og man mødte jævnlig Hindringer for Rørets videre Indtrængen i Grunden. Dette gav Anledning til Brugen af fortættet Luft efter Trigers Forslag, som Erfaringen har vist at være en mere frugtbar Tanke.

I nærværende Tilfælde ere imidlertid Forholdene usædvanlig gunstige for Anvendelsen af Potts Metode. Naar man nemlig efter at være kommen til en Dybde af f. Ex. 80 Fod, stiller en hul Cylinder, lukket foroven, aaben forneden, paa Bunden af Klokken, og sætter dens indvendige Rum ved Hjælp af et Rør som gaar op gennem Pillen i Forbindelse med Atmosfæren, vil der paa dens Laag virke et Overtryk af omtrent $2\frac{1}{2}$ Atmosfære eller 35 Pund paa Kvadrattommen (altsaa paa en Cylinder af 6 Fods Diameter omtrent 140,000 Pund). Dette Tryk vil være i Stand til at overvinde betydelige Modstande under Sænkningen, og opfordrer til at lade denne foregaa med Forsigtighed. Naar Cylindrens Laag paa denne Maade er kommet til Bunden af Klokken, maa det tages af, en ny Længde tilføjes og saa fremdeles til den forønskede Dybde er naat. Det indvendige Rum opmudres efterhaanden, og fyldes sluttelig med Beton eller Murværk.

Træffer Cylindren en større Genstand paa sin Vej, kan Røret der ellers anvendes til at fortynde Luften, benyttes paa omvendt Maade til at fortætte den, for at drive Vandet ud medens en Arbejder gaar ned og rydder Hindringen til Side.

Dette kan ikke antages at fordre længere Tid, end han kan taale Lufttrykket. Det er heller ikke usandsynligt, at den for-tættede Luft kan benyttes paa anden Maade i det paagældende Øjemed.

Cylindrens Tværsnit maa helst være i ét Stykke, men det kan ogsaa samles af flere, hvis Dimensioner bestemme Arbejdsbrøndens Diameter. Paa Bilag 8 er eksempelvis angivet Cylindre paa 6 Fod og en Brøddiameter paa 7 Fod. Valget heraf bør dog tildels overlades Entreprenøren.

Arbejdsbrønden kan man undlade at udmure for at spare Murværk og formindske Pillens Vægt. Den kan desuden faa Betydning som Udgangspunkt for senere Arbejder i Grunden, eller hvis man i et eller andet Øjemed vil sprænge Broen f. Ex. under Krigsforhold.

Pillerne kunne opføres af Mursten, kløvede Kampesten eller Beton. I første Tilfælde blive de lettere og udøve et mindre Tryk paa Grunden, i sidste Tilfælde faa de større Vægt og for saa vidt en større Stabilitet. Det første Hensyn skønnes dog at være det væsentligste. I alle Tilfælde anvendes Portlandcement-Mørtel og en Beklædning med Granit 7 Fod over og under daglig Vande.

Indsænkningen af de to Landpiller foregaar bedst fra en fast Arbejdsplads, der kan tilvejebringes paa den af Overingeniør Tegner angivne Maade ved at føre Dæmninger ud omkring dem, begrænsede mod Fjorden af et Bolværk med Stensænkning foran, der tildels bevares efter at Pillerne ere udførte. Indsænkningen af de 5 Strømpiller kan, som Erfaringen har vist, ske fra Pontoner *).

NB. Det anbefales at kontrahere med Entreprenøren om Betaling for en Middeldybde af f. Ex. 90 Fod og om en vis større

*) Allgemeine Bauzeitung 1870, S 276.

Civil Engineer and Architects Journal 1864, S 165.

sbaner.

IG

Limfjorden

undby.

KJØBENHAVN.

AXEL E. AAMODTS BOGTRYKKERI.

1884.

Sum for hver Fod mere, ringere Sum for hver Fod mindre. I Henhold til almindelige Erfaringer er det nemlig ikke usandsynligt, at Grunden under Arbejdets Udførelse viser sig bedre end Resultatet af Boringerne lade formode, og at navnlig det blandede Sand- og Mudderlag i sin nedre Del vil have en ikke ubetydelig Fasthed, der kan muliggøre ringere Pillehøjder end ovenfor forudsat.

Overbygningen.

Spændvidderne. Ved de ovenfor foreslaaede Modifikationer af Pillerne i Fives-Lilles Projekt er Rumfanget, altsaa ogsaa (noget nær i samme Forhold) Prisen forøget, omtrent som 3 til 5. Men naar Pillerne stige i Pris, bliver det mere økonomisk at indskrænke Antallet eller at forøge Spændvidden, omtrent i Forhold som Kvadratrødderne af Pillernes Pris. Da nu Middelspændvidden i Fives-Lilles Projekt er 166 Fod, saa bør den med de forøgede Pilledimensioner være lidt over 200 Fod. Afstanden mellem Landpillerne 1000 Fod deles altsaa rettest som vist paa Bilag 7 og 8, i 4 faste Spændvidder af sidstnævnte Størrelse, foruden de 2 for Svingbroen.

Svingbroen lægges nu bedst i Midten af Hensyn til Udseendet og Symmetrien, der gør Overbygningens Konstruktion simplere. Forholdene synes ogsaa her gunstigere for Funderingen og for Skibsfarten. Da denne fremdeles vinder ved den mere normale Retning som Broaxen har faaet paa Strømmen, og da der er Anledning til saa vidt mulig at lette Konstruktionen, indskrænkes Aabningernes Vidde til 65 Fod.

Kørebaneerne. Kommissionen maa bestemt fraraade af Hensyn til de iøjnefaldende Ulemper og Farer saa vel for Vej som for Jernbanefærdslen, at give disse en fælles Kørebane med forsænket Spor paa denne lange Bro, der tjener til at forbinde to nærliggende Banegaarde og til at overføre det enkelte

Spor paa en Hovedbane. Den kender intet analogt Tilfælde. Det er allerede uheldigt nok, at der maa anbringes en Svingbro.

En Kørebane for almindelige Vogne synes heller ikke fornøden i dette Øjeblik; men der er sikkert Anledning til at forberede en saadan ved at give Jerndelene i den for Jernbanen nødvendige Overbygning et større Tværnsnit. Fremstillingen af en Kørebane senere, kan da ske alene ved et øvre Dække af Træ, og Ramper der give Adgang til det, medens ellers et selvstændigt Broanlæg vilde udfordres.

Fortovene skønnes ogsaa at kunne undværes foreløbig. De kunne senere med Lethed anbringes oven paa Dragerne til hver Side af Kørebanen, hvor deres naturlige Plads er.

Naar den nedre Brobane kun benyttes til Jernbanefærdslen maa en fri Brede af 14 til 16 Fod anses tilstrækkelig. Den øvre Brobanes Brede kan formentlig ogsaa indskrænkes til 14 Fod, naar den kommer i umiddelbar Forbindelse med Fortovene.

Jerndelene. Til hver Side af Svingbroen findes to gennemgaaende, prismatiske Dragere med Gitterstamme. Deres Højde er omtrent $\frac{1}{10}$ af Spændvidden eller 20 Fod; Bredden af Hoved og Fod er $\frac{1}{10}$ af Højden eller 2 Fod, lig Bredden af de lodrette Stivere der anbringes for hver 10 Fod. Den fri Afstand mellem Dragerne er her 14 Fod, fra Midte til Midte 16 Fod.

Dragerne ere forbundne indbyrdes foroven og forneden med Tværbjælker lige for de lodrette Stivere; i den derved dannede Rammes Hjørner anbringes Afstivningsjern. De nedre Bjælker bære Sporvejen gennem Længdebjælker under Skinnerne; den fri Højde fra disse til de øvre Bjælkers Underkant er 16 Fod. De øvre Bjælker tjene foruden som Afstivning til eventuelt at bære Brodækket for Kørebanen.

Paa Pillerne støttes Dragerne mod en Sidepaavirkning ved smedede eller støbte Stivere.

For at lette Manøvreringen af Svingbroen bør en Del af Vægten overføres paa Midtetappen, og for at styrke Stabiliteten

sbaner.

J G

Limfjorden

undby.

KJØBENHAVN.

AXEL E. AAMODTS BOGTRYKKERI.

1884.

bør dennes understøttende Ende lægges saa højt som mulig. Opmærksomheden henledes paa at bygge Svingbroen af Staal, for at formindske Vindfanget og navnlig Vægten.

Det maa desuden tilraades at indskrænke Antallet af Stykker i Konstruktionen og anvende større Tværnit, paa Grund af de ugunstige Forhold for Jernet der følge af det salte Vands store Nærhed.

Naar ovennævnte Konstruktion følges, kan man tilstede en Spænding i Nettotværsnittet af

10000 Pund paa Kvadrattomme for Dragernes Hoved og Fod,

9000 — — — — — - Gitteret,

8000 — — — — — - Tvær- og Længdehjelper

— ved Smedejern; Staal kan man byde mindst en dobbelt saa stor Paavirkning. Man gør derhos Regning paa en jævn Belastning af 1 Ton paa løbende Fod af Jernbanen, $\frac{1}{2}$ Ton paa løbende Fod af Vejbanen med Fortovene samt tilsvarende lokale Belastninger ved Lokomotiver og Vogne.

Arbejdets Udførelse sker formentlig bedst saaledes, at Overbygningen afdelingsvis fuldføres paa et Stillads ved Bredden, og dernæst transporteres ud paa sin Plads baaret af Pontoner.

Bekostningen.

Kommissionen skal ikke fremsætte noget detailleret Overslag, da den ikke kan tillægge samme væsentlig større Værd end et summarisk, som er baseret paa den iøvrigt gennemførte Sammenstilling med Fives-Lilles Projekt.

Der savnes i disse Oplysninger om, hvordan Tilbudsummen 630000 Rigsdaler for en Jernbanebro med to Fortove, er fremkommen; men den antages at kunne deles omtrent paa følgende Maade:

a) Underbygningen	320000 Rdl.
b) Overbygningen	240000 —
c) Midlertidige Anskaffelser, Administration, Nettoudbytte . .	70000 —

a) Rumfanget af Pillerne hos Fives-Lille udgør 272000 Kubikfod, Enhedsprisen altsaa 1 Rdl. 16 β paa Kfd. Da nu Rumfanget efter Kommissionens Forslag bliver 350000 Kfd., faar man for dette 408000 Rdl, som af Hensyn til de Vanskeligheder der følge med Pillernes forandrede Form og Størrelse, forhøjes til

430000 Rigsdaler.

b) Bekostningen for Overbygningen 240000 Rdl. hos Fives-Lille antages ogsaa at ville medgaa til Overbygningen i det modificerede Projekt, uagtet Længden her er mindre og Fortovene udeladte; ti Spændvidden er forøget, og Sikkerhedskoefficienten formindsket (fra 7,5 kg paa 1 mmq til henholdsvis 7,31; 6,58; 5,85).

Denne Sum er baseret paa en Belastning af 2200 Pund paa løbende Fod af Broen; en øvre Kørebane for Vogne fordrer 900 Pund mere eller et Tillæg af $\frac{9}{22}$. Da dette fortrinsvis angaar Materialmængden eller Stykkernes Tværsnit og ikkun medfører ringe Forøgelse i Arbejdsløn, paaregnes her kun den halve Pris eller 50000 Rdl.; altsaa i alt for Overbygningen

290000 Rigsdaler.

c) Udgiften til Arbejdets Ledelse forøges i Lighed med de andre Poster til

80000 Rigsdaler.

Den hele Bekostning bliver altsaa

800000 Rigsdaler,

foruden Skinner, Dæmninger, Duc d'Alber og (sandsynligvis) Grus og Sten omkring Pillerne — der dog kunne lades ude af Betragtning i dette summariske Overslag, saa meget mere som Fives-Lilles Tilbud har en betinget Pris for Murmaterialerne, der ikke er lav.

Anbringelse af en øvre Vejbane vil udfordre til Jordramper, Viadukter over Banen og Brodække af Træ omtrent

70000 Rigsdaler.

sbaner.

J G

Limfjorden

undby.

KJØBENHAVN.

AXEL E. AAMODTS BOGTRYKKERI.

1884.

V.

Kommissionen slutter denne Betænkning med at sammenfatte sine Anskuelser i følgende Udtalelse:

1. 32 af de indsendte Projekter kunne ikke anbefales til at tjene som Grundlag for Broens Opførelse, og derfor heller ikke til at modtage den udsatte Præmie. Kun ét er tilfredsstillende i førstnævnte Henseende, men det er ikke tilstrækkelig udførlig affattet til at kunne prisbelønnes.
2. Broanlægets Udførelse bør overdrages Compagnie de Fives-Lille der har fremsendt dette Projekt, eller eventuelt en anden Entreprenør der er i Besiddelse af lige saa betydelige finansielle og tekniske Ressurcer.
3. Broen lægges Vest for den nuværende Overgangslinje, mere normalt paa Strømmen. Dens Længde indskrænkes til c. 1000 Fod. Den deles i to faste Fag paa 200 Fod Vidde til hver Side af Svingbroen, hvis fri Aabninger ere 65 Fod.
4. Pillerne bygges af Murværk i én Masse, og føres tilbørlig ned i den faste Grund ved Hjælp af den pneumatiske Metode (i større Dybde end 80 Fod under Vandfladen kunne de, om fornødent, bestaa af murede Søjler). Tværsnittet af Pillerne i de faste Fag faar en aflang Form, og en voxende Størrelse fra Bredderne udefter og fra oven nedefter; Svingpillens Tværsnit kan være cirkulært, tiltagende ned ad — alt som ovenfor nærmere beskrevet.
5. Overbygningen opføres saaledes, at den foreløbig kun tjener Jernbanefærdslen, men senere let kan indrettes til samtidig at bære en øvre selvstændig Kørebane for almindelige Vogne og to Fortove — derfor med prismatiske Gitterdragere, nedre og øvre Tværbjælker af fornøden Styrke.
6. En saadan Bro antages for Øjeblikket at kunne bygges for 800,000 Rd.

7. Saafrømt det mod Forventning ikke skulde være muligt at komme overens med en vederhæftig Entreprenør om Udførelsen af den her angivne Konstruktion paa rimelige Vilkaar, bør Funderingen med Forbigaaelse af de andre Metoder, ske ved en Komprimering af Grunden, hovedsagelig i Overensstemmelse med Overingeniør Tegnens Forslag.

Kjøbenhavn i Marts 1872.

Wenck

Carlsen. Carstensen. Holmberg. Larssen.

sbaner.

IG

Limfjorden

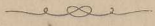
undby.

KJØBENHAVN.

AXEL E. AAMODTS BOGTRYKKERI.

1884.

Danske Statsbaner.



BERETNING

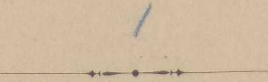
om

Jernbanebroen over Limfjorden

imellem

Aalborg og Nørresundby.

Med tilhørende Tegninger.



KJØBENHAVN.

AXEL E. AAMODTS BOGTRYKKERI.

1884.

Indhold.

	Pag.
A. Forberedelse til Anlægget	3.
B. Udbydelse til Konkurrence og Kontraktafslutning	4.
Kommissionens Betænkning	5.
Kontraktafslutning	7.
C. Almindelig Beskrivelse af Broen	7.
Pillerne	8.
Pillernes Nedsænkingsdybder ...	8.
Stenkastninger omkring Pillerne ..	9.
Afviserværk foran Svingbroen ...	9.
Tilslutningsdæmninger ved Land ..	9.
D. Arbeidets Udførelse.	
1. Arbejdspladsen	10.
2. Pillerne	10.
Anvendelse af den pneumatiske Methode ved Sænkning af Pillerne	10.
Arbejdernes Sygdomme	11.
Landpillen paa Aalborgsiden. Pille Nr. 7	13.
Stilladset	13.
Arbeidskammer	13.
Pillens Ophængning	13.
Nedsænkning i Vandet	13.
Muringen	14.
Udgravning af Grunden under Luft- tryk	14.
Explosion	14.

	Pag.
Tilendebringelse af Sænkearbeidet	15.
Forskydning af Pillen	16.
Landpillen paa Sundbysiden. Pille Nr. 1	16.
Strømpille Nr. 6	17.
Stilladset	17.
Sænkning af Pillen	18.
Forandring af Lufterkammer	18.
Forandring af Opheisningsapparatet	19.
Fuldførelsen af Arbejderne ved denne Pille	19.
Optagning af Stilladset	20.
Oversigt over Sænkearbeidet	20.
Strømpille Nr. 5	20.
Udslyngning af Nedgangsrøret ...	20.
Fuldførelse af Pillen	22.
Strømpille Nr. 2	22.
Omstyrning af Pillen	23.
Ombygning af Pillen	25.
Pillens Flytning	26.
Gjennembrydning af den omstyrte Pille	26.
Strømpille Nr. 3	27.
Svingpille Nr. 4	27.
3. Overbygningen	28.
Svingmekanismen	29.
Tilslutningsfagene	29.
Overbygningens Montering og An- bringelse	30.
E. Oversigt over de til Anlægget medgaaede Udgifter	31.



A. Forberedelser til Anlægget.

Samtidig med Anlægget af Vendsysselbanen — det sidste Led i den jyske Længdebane fra Vamdrup til Frederikshavn — blev der ved Indenrigsministeriets Foranstaltning i Aaret 1870 foretaget en Række Undersøgelser i Limfjorden sigtende til at komme til Kundskab om, hvorvidt der indenfor passende Afstande til begge Sider af Banernes Endepunkter — ved Aalborg og Nørre-Sundby — maatte findes Overgangssteder over Fjorden, hvor Anlægget af en fast Jernbanebro vilde kunne iværksættes uden uforholdsmæssige Udgifter.

Det maatte nemlig erkjendes, at Længdebanen først ved Tilveiebringelsen af en saadan Forbindelse vilde komme til Afslutning og opnaa sin fulde Betydning ikke alene for den lokale Trafik, men ogsaa for Samfærdselen mellem Jylland og den skandinaviske Halvø. Saafermt der skulde være Udsigt til over Frederikshavn at drage den svensk-norske Trafik ned igjennem Jylland, maatte Betingelsen herfor være, at Befordringen af Personer og Gods kunde foregaae uden Afbrydelse, og at særlig Overgangen over Limfjorden hverken medførte Ulemper eller Tidstab. Det eneste Middel, hvorved dette kunde opnaaes paa en fuldkommen fyldestgørende Maade, var imidlertid Anlægget af en fast Jernbanebro. Med enhver anden Forbindelse, hvad enten den søgtes tilveiebragt ved en Pontonbro eller ved Dampfærger, vilde der altid være forbunden den Betænkelse, at Overfarten kunde standses om Vinteren paa Grund af Iis, altsaa netop paa den Tid, da en sikker og uhindret Tranportvei vilde være af størst Betydning.

Resultatet af disse i Aaret 1870 foretagne Undersøgelser godtgjorde Muligheden af, at en saadan fast Bro vilde kunne tilveiebringes for en Pris, der stod i rimeligt Forhold til de Fordele, som ventedes opnaaede, men tillige at Anlægget maatte forudsættes at kræve en ikke ringe Tid og være forbundet med meget betydelige og tildels hidtil ukjendte Vanskeligheder — en Antagelse, hvis Rigtighed senere noksom blev godtgjort under Arbeidets Udførelse.

Ved de omtalte Undersøgelser viste Fjordbunden sig nemlig at bestaae af Slik og Mudder i en Dybde af indtil 110 Fod under Vandspejlet. Dette Lag, som i den øvre Deel af Flodleiet er meget blødt, næsten flydende, tiltager noget i Fasthed nedefter og gaaer efterhaanden over til en Blanding af Mudder, Skaller, Tang og Sand. Under det træffer man den oprindelige Fjordbund, som fra en Dybde af c. 50 Fod ved den nordre Bred med et jævnt Fald sænker sig mod Syd, saaledes at den ved den sydlige Bred først træffes paa en Dybde af c. 110 Fod. Den bestaaer af et Sandlag af betydelig Mægtighed, som for oven er af grovere Beskaffenhed, men efterhaanden bliver finere indtil en Dybde af 150 Fod, paa hvilket Punkt Undersøgelserne standsedes. I Flodleiets Sider fandtes Leerlag — paa den nordre Side i c. 70 Fods Dybde; henimod søndre Side i c. 100 Fods Dybde — hvor Undersøgelserne førtes igjennem disse Leerlag, blev der atter fundet fint, leerblandet Sand.

De ovenfor beskrevne Forhold ere fremstillede paa den til Beretningen hørende Plan I. Da Undersøgelserne tillige havde godtgjort, at Fjordbunden frembød en ganske lignende Beskaffenhed saavel Øst som Vest for Linien Aalborg—Nørre-Sundby, maatte man opgive Haabet om at opnaa gunstigere Betingelser ved at forlægge Broen til et fjernere Punkt og derimod blive staaende ved denne Overgangslinie som den, der bedst sluttede sig til de bestaaende Anlæg.

Disse ville findes angivne paa Plan II, som foruden den senere benyttede Arbejdsplads for Broanlægget, tillige viser de nærmeste Omgivelser saavel som de daværende Anlæg for Overfarten — nemlig to Jernbanespor, som i direkte Fortsættelse af de respektive Hovedspor førte fra Aalborg og Nørre-Sundby Stationer ned til Kysterne og derfra paa Jorddæmninger ud over Landgrundene, hvor de sluttede sig til de paa Tegningen angivne midlertidige Anlægsbroer, mellem hvilke Dampskibsforbindelsen foregik.

Limfjorden har paa dette Punkt en Bredde af c. 2,600 Fod og Afstanden mellem Anlægsbroerne udgjorde c. 1000 Fod. Umiddelbart udenfor Anlægsbroerne ophøre Landgrundene, og det dybe Løb i Fjorden begynder. Det viser paa de nærmeste Strækninger til begge Sider af Brolinien et regelmæssigt og konstant Vandprofil, hvis Strømretning omtrent danner en Vinkel af 65° med Brolinien.

Vandbevægelserne i Limfjorden hidrøre dels fra Tidevandets og dels fra Vindens Indflydelse. Den daglige Variation i Vandhøiden, fremkaldt ved Ebbe og Flod, er ubetydelig og beløber sig kun til 8 Tommer under eller over daglig Vande. Derimod bevirke Vindene langt betydeligere Niveau-differencer. Vindretningerne fra Nord over Øst til Sydøst fremkalde Lavvande; fra Syd over Vest til Nordvest derimod Høivande. Den høieste observerede Vandstand har naaet 5 Fod over og den laveste $2\frac{1}{2}$ Fod under daglig Vande. Disse Vandstande ere imidlertid meget sjældne, idet Afvigelserne i Reglen bevæge sig imellem $1\frac{3}{4}$ à $1\frac{1}{2}$ Fod over eller under daglig Vande. Strømhastigheden kan naae indtil 6 à 7 Fod i Sekundet.

Farvandet er til sine Tider forulempet af Iisdrift. Den fra Øst kommende Iis er uden videre Betydning og brydes af den derværende Pontonbro, hvorimod Iisdriften fra Vest kan fremtræde med betydelig Styrke, som enkelte Gange har fremkaldt Brud paa Pontonbroen.

B. Udbydelse til Konkurrence og Kontraktafslutning.

Efter at de forberedende Undersøgelser vare tilendebragte, og Resultatet af dem havde godtgjort, at man stod overfor en Opgave, som paa Grund af de usædvanlig vanskelige Forhold vilde kræve den omhyggeligste Overveelse, hvis den skulde føres til en heldig Løsning, blev det næste Spørgsmaal, paa hvilken Maade og efter hvilket System Broanlægget rettest vilde være at bringe til Udførelse.

I Tydskland, Holland og Amerika var der vel udført Broanlæg med Funderingsarbejder i meget betydelige Dybder, men disse oversteg dog i Reglen ikke 80 Fod, medens der her først var fast Bund i en Dybde af c. 110 Fod. For imidlertid at høste den størst mulige Fordeel af de Erfaringer, som man i Udlandet havde vundet ved lignende Arbejder, lod Indenrigsministeriet i September Maaned 1871 udgaae Indbydelse til en international Konkurrence om Tilveiebringelsen af et Projekt til en fast Bro over Limfjorden mellem Aalborg og Nørre-Sundby. Denne Indbydelse var ledsaget af de fornødne Beskrivelser og Bestemmelser for Konstruktionen af Broen samt for

Indgivelsen af Projekter, og udlovede for det Projekt, som blev foretrukket, en Præmie af 500 danske Frederiksdorer.

Blandt de almindelige Bestemmelser for Konstruktionen anføres her de vigtigste:

Længden af Broen fra Landpille til Landpille fastsættes til 1,200 Fod.

I den faste Bro indrettes en Svingbro, hvis to Aabninger have en fri Spændevide af 75 Fod.

Broen skal forsynes med et enkelt Jernbanespor og indrettes saavel for Jernbane- som for almindelig Færdsel.

Broens Superstruktur skal konstrueres af Jern. Overkanten af Jernbanesporet lægges i en Høide af 10 Fod over daglig Vandstand, og skal der imellem Broens Superstruktur og Middelvandstanden i Limfjorden være en fri Høide af mindst 8 Fod.

Overbygningen for Jernbanesporet skal have en saadan Bæreevne, at den foruden sin egen Vægt kan modtage en tilfældig Belastning af mindst 1 Tons pr. løbende Fod af Banen. For Kjørebanel og Trottoirerne beregnes den tilfældige Belastning til 50 Pund pr. □ Fod.

Bropillerne skulle kunne udholde en Prøvebelastning, der er lig med det 3 Dobbelte af den belastede Broes Vægt.

Som Resultat af denne Indbydelse indkom der Skrivelser, Projekter samt Tilbud paa Overtagelsen af Anlægget fra ialt 33 forskellige Personer.

Til at bedømme disse Projekter, i hvilke de forskellige Konstruktionssystemer og Arbeidsmaader vare bragte i Forslag, blev der af Indenrigsministeriet nedsat en Kommission bestaaende af Oberst, Overinspektør **Wenck**, som Formand, Etatsraad, Vandbygningsdirektør **Carlsen**, Kaptajn, Digeinspektør **Carstensen**, Professor **Holmberg** og Ingeniørkaptajn **Larsen**.

Kommissionens Betænkning.

Ved Bedømmelsen af Projekterne udtalte Kommissionen i sin Betænkning, at den selvfølgelig fortrinsviis havde havt Opmærksomheden fæstet paa Underbygningens Konstruktion og paa den Fremgangsmaade, som tænktes anvendt ved Arbejdets Udførelse, da der navnlig paa disse Punkter fremtraadte usædvanlige Vanskeligheder, af hvis Overvindelse Broens Soliditet og det heldige Udfald af hele Foretagendet var afhængigt. Ligeoverfor disse Spørgsmaal maatte andre Hensyn som til Udseende, Overbygningens Konstruktion etc. træde tilbage, og selv Hensynet til Bekostningen kunde kun stilles i anden Række, da det først og fremmest maatte komme an paa at undersøge, om den foreslaaede Konstruktion virkelig lod sig udføre forsvarligt og med tilstrækkelig Sikkerhed for et heldigt Resultat.

Resultatet af Kommissionens Undersøgelse af de enkelte Projekter i Henhold til ovenstaaende sammenfattedes i en udførlig Betænkning, af hvilken det fremgik, at intet af samtlige indkomne Projekter kunde ansees for fuldkommen tilfredsstillende, men at dog eet kom Kommissionens Anskuelse saa nær, at det med forskellige Modifikationer kunde anbefales til Udførelse. Dette Projekt, som var indsendt af Compagnie de Fives-Lille, gik ud paa at sænke murede Stenpiller med et cirkulært Tversnit, 19 Fod i Diameter, ved at mure ovenpaa en Jernklokke fyldt med fortættet Luft. Denne Klokke skulde sænkes ned til den faste Bund, altsaa til c. 110 Fods Dybde, og derefter fyldes med Beton. For det Tilfælde, at det mod Forventning ikke skulde lykkes at føre Pillen dybero ned end c. 80 Fod, den største Dybde, til hvilken man hidtil var naaet ved Arbejder af denne Art, var der endvidere foreslaaet at understøtte den ved Skruepæle, der skulde nedskrues til den faste Grund fra det Indre af Klokken.

Overbygningen var projekteret med prismatiske Gitterdragere, 2 faste Fag Syd for og 4 Nord for Svingbroen, hvorhos der for den almindelige Færdsel alternativt var foreslaaet en øvre Kjørebane med Adgangsramper af Jern.

Da Kommissionen, som alt anført, ikke kunde anbefale Projektet til Udførelse i den Skikkelse, hvori det var foreslaaet af Compagnie de Fives-Lille, udviklede den i Betænkningen nærmere sine Anskuelser om Broanlægget saavel med Hensyn til Under- og Overbygningens Konstruktion som til Arbeidets Udførelse og til Bekostningen.

Den tidligere vedtagne Længde for Broen af 1,200 Fod forment Kommissionen uden Betænkkelighed at kunne tilraade indskrænket. Vandstandsforandringerne og Strømhastigheden ere nemlig smaa, og hvis en Udvidelse af Profilet senere skulde vise sig nødvendig, vilde Jorddæmningerne kunne erstattes af lettere Brokonstruktioner. Af økonomiske Hensyn burde Landpillerne lægges lidt udenfor Landgrundene, omtrent paa 8 Fods Dybde, hvorved deres indbyrdes Afstand vilde blive den samme som mellem de eksisterende Færgebroer eller 1,000 Fod.

Med Hensyn til Pillernes Form fremhævedes, at i hvorvel de i Fives-Lilles Projekt viste Piller med cirkulært Tversnit vare lettere at sænke end aflange, da de have eens Stabilitet i alle Retninger, maatte den aflange Form dog foretrækkes, for at Pillerne bedre kunde blive i Stand til at modstaae Vindens, Strømmens og navnlig Iisgangens Paavirkning. Desuden vare de foreslaaede Piller for svage, og anbefalede Kommissionen i saa Henseende at forøge deres Dimensioner betydeligt, saaledes at Svingpillens Diameter gjordes ikke under 25 Fod og at Strømpillerne erholdt en Bredde af 13—16 Fod samt en Længde af c. 35 Fod.

Med Hensyn til Arbeidets Udførelse anbefalede Kommissionen at foretage Sænkningen af Pillerne ved Hjælp af den pneumatiske Methode, saaledes som foreslaaet af Compagnie de Fives-Lille, idet den ligesom dette Firma gik ud fra, at man ved denne Arbejdsmethode efter al Sandsynlighed vilde kunne naae ned til den fornødne Dybde, og at det i ethvert Tilfælde vilde være muligt at naae den normale Maximumsdybde af 80 Fod for Arbejder af denne Art, hvorefter man da fra denne Dybde maatte understøtte Pillen paa anden Maade.

Den af Fives-Lille for dette Tilfælde eventuelt anbefalede Indskruning af Pæle fra den under Pillen værende Klokke, kunde Kommissionen derimod ikke tilraade, da Indskruningen vanskelig vilde lade sig udføre i den fornødne Udstrækning og desuden maatte være temmelig usikker, paa Grund af at Skruepælene let kunde træffe paa større Gjenstande saasom Sten, Træstammer etc. og derved hindres fra at trænge ned til fornøden Dybde.

Kommissionen anbefalede derfor i saa Tilfælde at benytte den betydelige Arbeidskraft, der boer i den fortættede Luft, og som hidtil kun havde haft den passive Opgave at holde Vandet ude, — aktivt, til at drive hule Jerncylindre med løst Laag tilbørlig ned i den faste Grund.

I det foreliggende Tilfælde formentes Forholdene at være usædvanlig gunstige for Anvendelsen af denne Fremgangsmaade, men, som det vil sees af den efterfølgende Beskrivelse af Bygningen, blev der dog under denne ikke Anvendelse for Kommissionens her beskrevne Funderingsmethode, da det om end med store Anstrengelser lykkedes at føre samtlige Piller ned til den faste Bund.

Med Hensyn til Overbygningen anbefalede Kommissionen at udføre denne saaledes, at den, medens den foreløbig kun betjener Jernbanefærdselen, senere let kunde indrettes til at bære en øvre selvstændig Kjørebane for almindelig Færdsel samt to Fortove — derfor med prismatiske Gitterdragere, hvis øvre Tverbjælker gives fornøden Styrke til senere at kunne bære Brodækket for Kjørebanen. Desuden tilraadedes det at indskrænke Antallet af Stykker i Konstruktionen og at anvende større Tversnit af Hensyn til de ugunstige Forhold for Jernet, som Følge af det salte Vands store Nærhed, da Underkanten af Overbygningen kun kunde komme 8 Fod over Vandfladen.

Ved Anvendelsen af ovennævnte Konstruktion foresloges det endvidere for Smedejernets Vedkommende at tilstede en Spænding i Nettotversnittet af

10,000 Pund pr. ☐ Tomme for Dragerens Hoved og Fod.

9,000 do. do. for Gitteret.

8,000 do. do. for Tver- og Længdebjælker.

Ifølge en kalkulatorisk Beregning antog Kommissionen at kunne anslaae Bekostningen ved en saadan Bro til 1,600,000 Kr. foruden Skinner, Dæmninger, Duc d'Alber og Stenkastninger omkring Pillerne.

Broanlæggets Udførelse foresloges overdraget Compagnie de Fives-Lille eller eventuelt en anden Entreprenør, der var i Besiddelse af ligesaa betydelige finansielle og tekniske Resourcer. For det Tilfælde, at det mod Forventning ikke skulde være muligt at komme overens med en saadan om Udførelsen af den ovenfor angivne Konstruktion paa rimelige Vilkaar, tilraadede Kommissionen at lade Funderingen ske ved en Komprimering af Grunden, hovedsagelig i Overensstemmelse med et af Overingeniør Tegner fremsendt Forslag, der i det væsentlige gik ud paa at fastne Grunden ved Opfyldninger af Grus og Søsten, ovenpaa hvilke Pillerne derefter opførtes.

Kontraktafslutning.

Paa Grundlag af den af Kommissionen afgivne Betænkning blev der af Indenrigsministeriet ført Forhandlinger med Compagnie de Fives-Lille, ved hvilke Regjeringen var repræsenteret af Etatsraad, Jernbanedirektør Holst, Etatsraad, Vandbygningsdirektør Carlsen og Ingeniørkaptajn Carstensen; Compagniet af Civilingeniør Moreaux, Medlem af Bestyrelsen for bemeldte Selskab.

De fornyede Overveielser, for hvilke Projektet saaledes atter blev gjort til Gjenstand, ledede til en væsentlig Modifikation for Pillernes Vedkommende. Medens det nemlig hidtil havde været forudsat, at Pillerne maatte føres ned i de Lag, som ved de anstillede Grundundersøgelser havde viist sig fuldkommen faste, kom de Delegerede nu til det Resultat, at alle Forhold talte for Sandsynligheden af, at det ikke vilde blive nødvendigt at føre Pillerne saa dybt ned, og denne Anskuelse bestyrkedes af Hr. Moreaux, der udtalte, at han ifølge al den Erfaring, han havde indvundet ved lignende Arbejder, maatte anse det for givet, at man ikke behøvede at føre Pillerne ned til de oprindelig forudsatte Dybder. Man enedes derfor om, at Landpillerne skulde føres ned til en Dybde af 18 Meter; Svingbroens Pille til en Dybde af 30 Meter og de øvrige Strømpiller til en Dybde af 28 Meter, idet man dog forbeholdt Ret for Regjeringen til mod Tillægsbetaling at forlange Pillerne førte dybere ned, saafremt det maatte vise sig nødvendigt, dog ikke ud over 36 Meter under daglig Vandstand.

Paa Grundlag af disse indskrænkede Nedsænkningsdybder for Pillerne blev derefter den endelige Kontrakt afsluttet med Compagnie de Fives-Lille under 4de Oktober 1873 og approberet af Indenrigsministeriet under 19de samme Maaned.

Ifølge denne Kontrakt forpligtede Compagniet sig til at opføre Broen og at præstere alle hertil fornødne Materialier og Arbejder, ligesom ogsaa alle nødvendige Maskiner, Redskaber, Stilladser o. s. v. for en samlet Sum af 2,575,000 Frcs. I denne Sum var dog ikke indbefattet Leveringen af de til Jernbanesporet fornødne Skinner og Forbindelsesdele, ligesom ogsaa de Arbejder ved begge Ender af Broen, som vare nødvendige for at sætte Broen i Forbindelse med de tilstødende Jernbanespor skulde udføres ved Ministeriets egen Foranstaltning og paa dettes Bekostning. Endvidere skulde samtlige til Arbeids- og Oplagspladse fornødne Arealer uden Vederlag stilles til Entreprenørernes Disposition og endelig var ogsaa Anbringelsen af Stenkastninger omkring Pillerne holdt udenfor Kontrakten, da der ikke kunde opnaaes Enighed om Prisen derfor.

C. Almindelig Beskrivelse af Broen.

Ifølge det endelig vedtagne Projekt erholdt Broen derefter en samlet Længde af 318 Meter, der ved fem Mellempiller og to Endepiller deles i sex Fag, af hvilke de to ved hver Ende af Broen dækkes med kontinuerlige, prismatiske Gitterdragere af 65_{,80} og 66_{,15} Meters Vidde, medens de to Fag i Midten overdækkes med en dobbeltarmet Svingbro af 26_{,775} Meter Spændvidde.

Til disse i det oprindelige Projekt indeholdte Brofag blev der senere føiet endnu to mindre Fag, et ved hver Ende af Broen, da det viste sig, at de to Landpiller ikke kunde modstaae Trykket af de bag dem opfyldte Jordmasser. Det forsøgtes forgjæves at støtte Pillerne ved Stenkastninger foran dem, og det blev derfor nødvendigt at frigjøre dem for Jørdtrykket ved at bortgrave den Del af Landdæmningerne, som var nærmest ved Pillerne og erstatte dem ved aabne Brofag fra Pillerne og ind til Land, hvor de kom til at hvile paa et i Dæmningerne opført Fundament.

Af disse Arbeider anbragtes Tilslutningsfaget ved den sydlige Ende af Broen allerede under Bygningen af den egentlige Bro og erholdt en Længde af 35 Meter. Samtidig foreslog Compagnie de Fives-Lille at anbringe et tilsvarende Fag ved den nordlige Ende af Broen, men dette Forslag blev dengang ikke taget tilføje, da den derværende Landpille tilsyneladende stod aldeles fast. Først senere viste den en svag fortsat Bevægelse ud imod Fjorden, og man ansaae det da for sikkert ogsaa at borttage Fylden bag denne Pille og ligeledes at anbringe et Tilslutningsfag her.

I Plan I, som angiver den almindelige Anordning af Broen, er Tilslutningsfaget paa Aalborgsiden indtegnet. Faget ved Broens nordlige Ende byggedes først efter at Broen var afleveret af Entreprenørerne og overgivet til Trafiken. Det erholdt en Spændvidde af 17 Meter.

Pillerne.

Broens Piller byggedes af fuldt brændte Mursten og vare paa det øverste Stykke fra 2,20 Meter under daglig Vandstand forsynede med en Granitbeklædning, ligesom ogsaa Dækstenene udførtes af huggen Granit. Som det fremgaar af Plan I, ere samtlige Piller førte ned til det faste Sand i en Dybde af c. 34 Meter under daglig Vandstand med Undtagelse af den nordlige Landpille, som funderedes paa fast Grund i Coten $\div$ 18,00 Meter.

Med Hensyn til Pillernes Form var Svingpillen oprindelig konstrueret cirkulair med en Diameter af 8,5 m. Ifølge de Erfaringer som indvandt under Bygningen af de andre Piller, kunde den dog ikke ansees for tilstrækkelig stabil med dette Tversnit og der blev derfor som viist i Plan V tilføiet et iisbrydende Parti af 2,75 Meters Længde. Da denne Bestemmelse toges, var Sænkekassen under Pillerne allerede udført i den oprindelig bestemte Form, og den Deel af Sænkekassen som tilføiedes under det iisbrydende Parti, maatte derfor indrettes saaledes, at det kunde nittes til det cirkulaire Rum. Herved fremkom den i Planen viste Udbuening paa det Sted, hvor det iisbrydende Parti støder til den cirkulaire Pille.

Tversnittet af de øvrige Strømpiller har, som viist i Plan VI, en aflang Form, der, ligesom ved Svingpillen, imod Vest ender i et spidsbueformet iisbrydende Parti, medens den imod Øst, fra hvilken Side den ikke er videre udsat for Iisgangens Paavirkning, afsluttes halvcirkelformigt. Indtil 2,20 m under daglig Vandstand har den nederste Deel af Pillerne en Bredde af 5,0 m i Broens Retning og en Længde 12,50 m i Strømretningen. Fra Coten $\div$ 2,20 og opefter indskrænkes Pillens Bredde til 4,20 m.

Landpillerne ere, som viist i Plan V, konstruerede aldeles paa samme Maade som Strømpillerne kun med den Forskjel, at de ere afsluttede halvcirkelformet i begge Ender af Pillerne, og at man af Hensyn til den Stabilitet, som de tilstødende Jorrdæmninger antoges at ville give dem, havde troet at kunne gjøre disse Piller noget svagere end de øvrige nemlig 10,06 m i Længden og 4,44 m i Bredden. Som ovenfor nævnt bristede imidlertid denne Forudsætning, hvorfra Kommissionen var gaaet ud, idet Dæmningerne langt fra at støtte Pillerne tvertimod ved deres Tryk bragte disse til at helde forover og derved nødvendiggjorde Anbringelsen af de ovenfor omtalte Tilslutningsfag ind imod Land.

Pillernes

Nedsænkningedybder.

Allerede ved Sænkningen af den første Pille, som Compagniet tog under Arbeide — nemlig Landpillen paa Aalborgsiden (Nr. 7) — viste det sig, at ogsaa Forudsætningen om, at Pillerne ikke behøvede at føres ned til fuldkommen fast Bund, maatte opgives. I en Dybde af 18 Meter — den i Kontrakten fastsatte Nedsænkningedybde for denne Pille — viste Bundens sig at være af saa blød Beskaffenhed, at det blev nødvendigt at føre Nedsænkningen videre, og først i en Dybde af 34,6 Meter

naaedes der en Bund, som frembød tilstrækkelig Bæreevne — altsaa i 16,6 Meter større Dybde end paaregnet i Projektet og Kontrakten. Men selv i denne Stilling hvilede Pillen kun paa den faste Bund uden at være trængt ned i den, og da den i hele sin Længde kun var omgivet af bløde Mudderlag, savnede den fornøden Støtte mod Sidetryk, hvilken derfor maatte tilvejebringes ad anden Vei — nemlig ved Stenkastninger omkring Pillen. Det samme Forhold gjentog sig for alle Strømpillernes Vedkommende, men da den faste Bund her fremtraadte tidligere — nemlig paa Dybder mellem 25—30 Meter — blev det muligt at opnaae bedre Støtte for disse Piller ved at føre dem ned i de faste Lag. Det blev derfor bestemt at fortsætte Nedsænkningen saa langt, som det overhovedet kunde skee ved Arbeide under Lufttryk, og denne Grændse viste sig efter den ved Limfjordsbroen indvundne Erfaring at være 35 Meter, paa hvilken Dybde den største Deel af Arbeiderne ved Sygdom bleve gjorde utjenstdygtige.

Til yderligere Sikkring af Pillerne anbragtes betydelige Stenkastninger udenom disse, da der maatte næres Frygt for, at Pillerne, som i Forhold til deres store Høide af 36 m have en temmelig ringe Tykkelse og derfor kun ringe Stabilitet i horizontal Retning, ikke vilde være i Stand til at modstaae Trykket af Iisgangen, naar denne uhindret kunde tørne direkte mod Pillen. Da de bløde, tildeels af Mudder bestaaede Lag, hvorigjennem Pillerne vare sænkede, desuden ikke kunde ventes at ville yde disse nogen betydelig Støtte, besluttedes det paa kunstig Maade at skaffe dem en saadan ved omkring Pillerne at aflagre meget betydelige Kvantiteter Sten og harpet Grus. Ved Broens Aflevering var der saaledes ialt anbragt c. 5,000 Cubmtr. harpet Grus og c. 6,300 Cubmtr. store Søsten.

Stenkastninger
om Pillerne.

I det oprindelige Projekt var der ikke indbefattet Værker til Beskyttelse og Støtte for Svingbroen i aaben Tilstand.

Afviserværk
foran Svingbroen.

Opførelse af saadanne Værker kan imidlertid ikke undgaaes, da Svingbroen i udsvinget Tilstand, — hvor den staaer frem midt i Farvandet, som Skibene skulde passere for at komme igjennem Broen — er meget udsat for Paaseiling af disse. Hertil kommer, at naar Svingbroen staaer aaben længere Tid ad Gangen, og Enderne af Drageren ikke ere understøttede, men hænge frit i Luften, ere de enkelte Konstruktionsdele underkastede en stærk Paavirkning, som foruden at have en skadelig Indflydelse paa Jernet i Længden let kan fremkalde en Bøining af Drageren.

Af disse Grunde blev der paa hver Side udfor Svingbropillen anbragt et Afviserværk bestaaende af 4 Smedejerns-Cylindre indvendig fyldte med Beton og foroven afstivede ved Jernplader, hvilke Afviserværker samtidig med at sikre Pillen mod Paaseiling og mod Iisgangen tillige indrettedes til at understøtte Enderne af Drageren. Plan XIV.

De til Broen stødende Jorddæmninger ind mod Land have imod Øst Skraaninger med et Anlæg af 1:2; imod Vest, fra hvilken Side de ere mest udsatte for Bølgeslagets og Iisdriftens Paavirkning, et Anlæg af 1:3.

Tilslutningsdæm-
ningerne ved Land.

Desuden ere de sikrede ved, at Skraaningerne fra 1 Fod under til 4 Fod over daglig Vandstand ere beklædte med et Stenglacis, hvis Fod dækkes af en Stenkastning.

Den nærmere Indretning af Broen og af alle dens enkelte Dele fremgaaer af den efterfølgende Beskrivelse med tilhørende Planer, der indeholde detaillerede Tegninger af samtlige Broens Hoveddele og de ved Arbeidets Udførelse benyttede Maskiner og Redskaber.

I Beskrivelsen er der givet en detailleret Fremstilling af Arbeidets Gang ved Sænkningen af hver enkelt Pille; thi medens Principet for Fremgangsmaaden i Hovedsagen var det samme for alle Pillernes Vedkommende, frembød Arbeidet dog mange Forskjelligheder i Detaillen, ligesom der ogsaa — som det senere skal sees — ved enkelte Piller indtraf overordentlige Forhold af saa betydelig teknisk Interesse, at der er Anledning til at skjænke dem en særlig Omtale.

I April Maaned 1874 paabegyndtes Arbeiderne og fortsattes med kun korte Afbrydelser om Vintrene til den 7de Januar 1879, da Broen aabnedes for Trafiken. Den 8de Juli samme Aar blev Broen afleveret af Compagnie de Fives-Lille som fuldført og samtidig hoitidelig indviet.

D. Arbeidets Udførelse.

1. Arbeidspladsen.

Til Indretning af de fornødne Arbeidspladse blev der ved midlertidig Expropriation stillet de paa Plan II betegnede Arealer ved begge Ender af Broen til Entreprenørernes Disposition.

Da Pladsen paa Aalborgsiden paa Grund af sin Beliggenhed i umiddelbar Forbindelse med Byen og med Banen selvfølgelig maatte frembyde de fleste Resourcer for Arbeidet, var det naturligt, at Hoved-Arbeidspladsen indrettedes paa denne Side af Fjorden.

Der opførtes her en Kontoirbygning, og en Barakke til Bolig for Sænkearbejderne, af hvilke de fleste vare Fremmede, navnlig Italianere, da det viste sig, at disse bedst vare istand til at modstaae de skadelige Virkninger af Arbeidet i den comprimerede Luft. Endvidere byggedes et Pakhus, en Smedie og Værksted til Udførelse af Reparationer etc.

Da Størstedelen af Materialerne og Maskinerne bragtes med Skib direkte til Arbeidspladsen, blev der c. 50 Meter vest for Brolinien bygget en Lossebro paa Pæle ud til 12 Fods Vanddybde til Anlæg for disse Skibe. Til Anlæg for Transportprammene, der førte Materialerne fra Land ud til Pillerne, byggedes en mindre Lossebro umiddelbart vest for den ældre Jernbanedæmning.

Paa Yderenden af begge disse Broer var der opstillet Kraner til Losning af Materialerne, ligesom de ogsaa vare forsynede med Jernbanespor, der i Land forgrenede sig til de forskellige Materialpladser.

Pladsen paa Sundbysiden blev kun brugt til Oplagsplads for de Materialier, som skulde bruges til Landpillen paa denne Side.

Den nærmere Indretning af Arbeidspladsen er viist paa Plan II.

Efter at Broanlægget var fuldført, fjernedes samtlige Bygninger etc. og Pladserne tilbageleveredes til de respektive Eiere.

2. Pillerne.

Anvendelse af den
pneumatiske Methode
paa Sænkningen af
Pillerne.

Som alt ovenfor anført sænkedes Pillerne ved Hjælp af den almindelige pneumatiske Methode. Fremgangsmaaden, som i sine Hovedtræk var den samme ved alle Pillerne, er i Korthed følgende:

En forneden aaben Jernkasse, det saakaldte Arbeidskammer, hvis Tversnit indvendig har noiagtig samme Form, som Pillen, ophænges i et svært Stillads lodret over den for Pillen bestemte Plads ved Hjælp af Jernkjæder. Da disse Kjæder foroven ere befæstede til lange Skruer, der kunne hæves eller sænkes ved Hjælp af Møttriker hvilende paa Stilladsets øverste Bjælkelag, er man derved i Stand til efterhaanden at sænke Arbeidskammeret. Saasnart dette er kommet ned i Vandet, paa-begyndes Opmuringen af Pillen ovenpaa Kammerets Loft, medens man samtidig forhøier dets udvendige Sider ved en tynd Jernklædning bestaaende af sammennittede Plader paa 4 à 5 $\frac{m}{m}$ Tykkelse. Denne Jernklædning, der efterhaanden som Pillen synker, forhøies i Repriser paa 2 $\frac{m}{m}$ Høide og saaledes, at dens øverste Rand altid naaer et Stykke op over Vandet, tjener dels som Fangdæmning om Pillen, saaledes at man uhindret kan arbeide indenfor, dels som Beskyttelse for Murværket og som Model for dette.

Naar Pillen har naaet Bunden og er trængt saa dybt ned i denne, at den ikke ved sin egen Vægt kan sænkes dybere, maa Udgravningen af Grunden i Arbeidskammeret begynde. Adgangen til dette skeer gennem en Aabning i Loftet 2 $\frac{m}{m}$ i Tvermaal, uden om hvilken der er anbragt et vertikalt

Jernrør, det saakaldte Nedgangsrør, gennem hvilket man stiger ned i Klokken ad en lodret Stige. Gennem dette Rør skaffes endvidere de i Arbeidskammeret udgravede Materialier bort.

Naar Udgravningen foregaaer i vandførende Jordlag, maa det tilstrømmende Vand holdes ude af Arbeidskammeret. Dette skeer ved Hjælp af fortættet Luft, som af en Dampmaskine pumpes ned i Arbeidskammeret og ved sit Tryk presser Vandet ned under dette. Nedgangsrøret er da foroven lukket med et stærkt, paaskruet Laag, der er forsynet med en tætsluttende Lem, som kan aabnes nedad, og gennem hvilken man kan komme ned i Pillen. Ovenpaa Laaget sættes derefter det saakaldte »Luftkammer«, en c. $2\frac{1}{2}$ Meter høi Cylinder af samme Tvermaal som Nedgangsrøret. I Loftet er der anbragt en Klap, som kan aabnes indad, saaledes at Mandskabet kan stige ned, hvilken Klap ved en Gummipakning slutter lufttæt til den omgivende Væg. Dette Luftkammer, som altsaa danner en Slags Forstue til det Indre af Pillen, tjener til ved Arbeidernes Nedstigning eller Opstigning fra Pillen at kunne frembringe en jevn Overgang mellem den ydre Luft og det inden i Pillen herskende høie Lufttryk.

At denne Overgang særlig ved Udstigningen af Pillen bliver saa jevn som mulig, er af største Vigtighed af Hensyn til Arbeidernes Sundhed, og Forsømmelighed i saa Henseende kan have meget alvorlige Sygdomme og i mange Tilfælde Døden tilfølge.

Nedstigningen i Pillen, efter at Arbeidskammeret er fyldt med fortættet Luft, skeer derfor paa følgende Maade:

Man aabner først en Hane, som sætter den ydre Luft i Forbindelse med Luftkammeret, for at den fortættede Luft, som mulig kunde være derinde, kan slippe ud. Efter at dette er skeet, kan Klappen aabnes, saa at man kan stige ind i Luftkammeret, og man staaer da foran Lemmen i Gulvet, som imidlertid er fast tillukket paa Grund af den comprimerede Lufts Tryk nedenfra. Man lukker da Klappen og den nævnte Hane og aabner derpaa en anden Hane, som tilveiebringer Forbindelse imellem Pillens Indre og Luftkammeret. Den fortættede Luft strømmer da op i dette, og naar Trykket som Følge heraf er blevet ens paa begge Sider af Lemmen, aabnes denne let, og man kan da stige ned gennem Nedgangsrøret.

Ved efterhaanden at bortskaffe Grunden inden i Arbeidskammeret og ved at mure ovenpaa dette sænkes Pillen ned til den faste Grund. Er denne naaet, udfyldes Arbeidskammeret og det af Nedgangsrøret optagne hule Rum i Pillen med Beton, hvorefter Pillen er fuldført.

Af ovenstaaende vil det almindelige Princip ved den pneumatiske Funderingsmethode formentlig fremgaae tilstrækkeligt tydeligt. Denne Methode, som udmærker sig ved stor Sikkerhed i Udførelsen, og som navnlig har det Fortrin fremfor andre, at man stadig kan kontrollere Bundens Beskaffenhed paa selve Stedet, frembyder kun Vanskeligheder, naar som i foreliggende Tilfælde Dybden under Vandets Overflade bliver væsentlig større end 30 Meter. Folkene i Pillen lide da meget af det stærke Lufttryk, og det koster derfor megen Tid og Møie at faae Pillen ned i den rette Dybde.

Som alt nævnt er det navnlig ved en Dybde af over 30 Meter, at Arbeiderne lide af de eiendommelige sygelige Phænomener; det vil altsaa sige, efter at Lufttrykket er naaet op over 3 Atmosphærer.

Arbeidernes
Sygdomme.

Naar Arbeiderne efter at have opholdt sig i Luftkammeret, medens Luften i dette efterhaanden bliver comprimeret, ere stegne ned i Arbeidsrummet, opstaaer der næsten regelmæssig hos alle — selv hos dem, som ere vant til dette Arbeide — en mere eller mindre stærk Trykken for Brystet; Pulsen bliver langsommere, og man føler navnlig en hæftig Smerte i Ørene forårsaget ved Luftens Tryk paa Trommehinden. Disse ubehagelige Fornemmelser tabe sig dog snart, og iøvrigt befinde Arbeiderne sig fuldkommen vel. Selve Opholdet i den comprimerede Luft er altsaa ikke forbundet med Fare; derimod føle Arbeiderne sig ofte besværede af de Luftarter, som udvikles af den mudrede Fjordbund. Naar Pillen er sænket til en større Dybde, hændes det nemlig ofte, at den fortættede Luft paa Grund af Muddrets Fasthed ikke, som naar Grunden er af sandet Beskaffenhed, kan slippe ud under Arbeidskammerets nederste Kant. Dette medfører da den Ulempe, at Luften i

Pillen, da den ikke fornyes, bliver tung og besværlig at aande i. Man søgte vel at modarbejde Luftens Stillestaaen ved at sætte Arbeidskammeret i Forbindelse med den atmosfæriske Luft ved Hjælp af et Kobberrør, der var ført op gennem Nedgangsrøret, og foroven var lukket med en Hane. Naar Luften i Arbeidskammeret blev for slet, aabnedes Hanen, og en Deel af den comprimerede Luft strømmede ud. Der opnaaedes vel paa denne Maade en deelvis Luftfornylse, men den var dog meget utilstrækkelig, og Arbeiderne følte sig ofte stærkt besværede af den stillestaaende Luft. Arbeidstiden, der i Begyndelsen ved det mindre Lufttryk var 4 Timer ad Gangen med 8 Timers Hviletid, maatte af denne Grund indskrænkes til kun 3 Timer med 9 Timers Hvile i fri Luft, og hermed fortsattes Arbeidet uafbrudt Dag og Nat.

Medens selve Opholdet nede i Pillen saaledes vel er forbunden med Ubehageligheder, men ikke med nogen særlig Fare, forandres Forholdet derimod fuldstændigt, saasnart Arbeiderne forlade Pillen og da for hurtig udsættes for Paavirkningen af den atmosfæriske Luft. Vel maa Arbeiderne forblive i Luftkammeret, indtil Luften i dette er tilstrækkelig fortyndet, og vel var ved Limfjordsbroen Aabningen, hvorigennem den fortættede Luft strømmede ud, saa lille, at det ved et Tryk af f. Ex. 3 Atmosfærer varede tre Kvarteer, inden Luftkammeret var befriet for Trykket, men tiltrods for disse Sikkerhedsforanstaltninger hændtes det dog ofte, at Arbeiderne ikke bleve fuldstændig befriede for den optagne Luft. De sygelige Phænomener, som da opstaae, ere navnlig: heftige Smerter i alle Leddene forbundne med en utaalelig Kløe og Prikken i Huden, stærk Trykken for Brystet, meget forøget Hjerteraction, Tunghed i Hovedet, Døsigheid samt deelvis eller komplet Lamhed af Underextremiteterne, Blæren og Endetarmen. Disse Symptomer opstaae ofte strax efter at Arbeiderne ere komne ud, men undertiden først efter 1—2 Timers Forløb, de kunne blive saa heftige, at Døden indtræder øieblikkelig eller efter meget kort Tid. Saaledes gik en Arbejder tilsyneladende ganske rask fra Arbeidet, men paa Veien til sit Hjem styrtede han død om. Hos nogle Arbeidere hæves nu Tilfældene i Løbet af nogle Dage fuldstændigt; hos andre blive Lamhederne staaende uforandrede i Maaneder og helbredes rimeligviis aldrig ganske.

Som det er godtgjort ved forskjellige Forsøg, synes Aarsagen til disse besynderlige Phænomener at hidrøre fra, at endeel af den i Blodet optagne comprimerede Luft bliver tilbage, naar Lufttrykket formindskes, og optræder som smaa Luftblærer, der med Blodet føres omkring i Legemet, og som, forsaavidt de træffe Hjernen, Rygmarven eller andre vigtige Organer, fremkalde de ovenfor nævnte farlige Symptomer.

Et virksomt Middel mod disse sygelige Tilstande er neppe endnu fundet. Det viste sig ved de ikke faa Tilfælde af denne Art, som indtraf ved Limfjordsbroens Bygning, at naar Sygdommen optraadte med alvorligere Symptomer, maatte den nærmest betragtes som uhelbredelig, i al Fald forsaavidt Talen er om, at Patienten kan gjenoptage sit tidligere Arbeide. Man maa derfor have Opmærksomheden særlig rettet paa saavidt muligt at forhindre Sygdommens Fremkomst, hvad der efter de hidtidige Erfaringer kun kan naaes ved en muligst langsom Dekompression af Luften i Luftkammeret. Det viste sig ogsaa, at da Aabningen i Udblæsningshanen, som i Begyndelsen var temmelig stor, senere blev gjort mindre, aftog samtidig Sygdomstilfældene saavel i Hyppighed som ogsaa i Voldsomhed, om det end ikke lykkedes fuldstændigt at forhindre deres Fremkomst.

Efter denne korte Beskrivelse af den pneumatiske Funderingsmethode og de den ledsagende eiendommelige Phænomener, vil der i det følgende blive givet en Fremstilling af, hvorledes denne Arbeidsmaade bragtes til Anvendelse ved Sænkningen af Limfjordsbroens Piller.

I denne Fremstilling ere Pillerne opførte i kronologisk Orden, efterhaanden som de ere byggede, og betegnede med Nummere, saaledes at Landpillen paa Norre-Sundby-Siden er opført som Pille Nr. 1, Landpillen paa Aalborgsiden som Pille Nr. 7.

Landpillen paa Aalborgsiden.

Pille Nr. 7.

I Slutningen af Juni Maaned 1874 paabegyndtes Arbejderne ved denne Pille med Opførelsen af Stilladset.

Da dette, som ovenfor anført, skal bære Vægten af Pillen under den første Deel af Sænke- arbeidet og desuden kunne beskytte Pillen mod Strømmen og Isgangen, maatte det navnlig ogsaa af Hensyn til den bløde Bund konstrueres meget massivt.

Stilladset.

Det bestod som vist paa Plan III af 24 Stykker runde Pæle $15\frac{1}{2}$ m lange og $0,31$ m tykke. Disse Pæle vare forbundne med Vandlister, som bare et løst Gulv af Planker, paa hvilket Samlingen af Arbeidskammeret foregik. I c. $4\frac{1}{2}$ Meters Høide vare Pælene atter forbundne med Langtømmer og bare her to svære dobbelte Jerndragere, i hvilke Pillen ophængtes.

Efter at Stilladset var fuldført, paabegyndtes den 10de August Samlingen af Arbeidskammeret. Dette Kammer har, som viist paa Plan VIII, fuldstændig samme Form som Pillen nemlig rektangulair med cirkelformig Afslutning mod Øst og Vest. Længden er 10 m, Bredden $4,4$ m og Hoiden $2,4$ m.

Arbeidskammeret.

Loftet i Arbeidskammeret er dannet af 11 $\frac{m}{m}$ tykke Jernplader c. 1 Meter brede og er stærkt afstivet ved overliggende Jernbjælker, en over hvert Pladesammenstød; til Loftet er nittet en 13 $\frac{m}{m}$ tyk Jernklædning, der danner Siderne af Arbeidskammeret. Denne Jernklædning, der er samlet af c. 1 m brede Plader, støttes dels ved 5 Rækker horizontale Vinkeljern i en halv Meters Afstand over hverandre, men navnlig derved, at der ved hver Pladesammenføjning er tilveiebragt en kraftig Afstivning mellem Væggen og Loftet ved Hjælp af en Række stærke Jernkonsoller bestaaende af en trekantet Plade, kantet med Vinkeljern.

Samtlige Fuger i Arbeidskammeret tættedes omhyggelig med Cement, for at forhindre den komprimerede Luft fra at slippe ud.

Saasart det saaledes indrettede Arbeidskammer var fuldført, ophængtes det i Stilladset ved Hjælp af 4 Skruer med tilhørende Kjæder.

Disse Skruer, hvis Konstruktion nærmere er angivet paa Plan IV vare $0,06$ m i Gjennemsnit og $2\frac{1}{2}$ m lange.

Skruerne gaae frit op gennem de dobbelte Jerndragere paa det øverste af Stilladset og bæres her af Møttriker, hvis Modstandsplader hvile paa de nævnte Dragere. Disse Møttriker ere foroven støbte som Tandhjul og kunne dreies ved Hjælp af et Halsbaand med Klinkerbevægelse, hvorved man følgerig bliver i Stand til at sænke Pillen.

Skruerne ende forneden i et Oie, til hvilket Kjæderne, der bære Pillen, befæstes. Disse Kjæder, der ere sammensatte af lange Led samlede med Bolte, gribe med Hager ned om Arbeidskammerets Underkant, saaledes at de let kunne frigjores fra dette.

For at kunne indskyde nye Kjædeled, naar Skruen var sænket helt ned, var der ved hver Møttrik anbragt en Smedejernsstrop, i hvilken Kjæden kunde hages ind, medens der blev sat nye Led til.

Efter at Arbeidskammeret var ophængt i Kjæderne, borttoges Stilladsets Gulv og Kammeret sænkedes ned i Vandet, hvilken Sænkning foregik fuldstændig regelmæssig ved at dreie de 4 Møttriker ensformigt. Samtidig paasattes Nedgangsrøret og de 4 $\frac{m}{m}$ tykke Plader, der danne den ydre Jernklædning, hvorefter Murarbeidet paabegyndtes den 23de September.

Nedsænkning i
Vandet.

Muringen.

Murværket bestaar af fuldbændte Sten, muret i en Mørtel af 1 Del Portland Cement og 2 Dele Sand. Det førtes ikke helt ind til Nedgangsrøret, men holdtes i en Afstand af c. $\frac{1}{2}$ Sten, for at dette senere kunde trækkes op og benyttes ved de andre Piller. Der muredes først en tynd Skæl helt op omkring Nedgangsrøret og langs Indersiden af det ydre Rør, saa at det Indre af Piller foreløbig var hult. Hensigten hermed var dels at undgaa at belaste Ophængningskjæderne mere end høist nødvendigt og dels at kunne regulere Pillens Sænkning ved at gjøre Murværket mere eller mindre fyldigt.

Udgravning af
Grunden under
Lufttryk.

Da Piller ikke kunde synke dybere ned i Grunden ved sin egen Vægt, paabegyndtes Udgravningsarbeidet ved Hjælp af komprimeret Luft.

Til den Ende paasattes Luftkammeret, der, som vist paa Plan 4, bestod af en Cylinder af 13 $\frac{m}{m}$ tykke Jernplader og af samme Diameter som Nedgangsrørene; der pumpedes derefter Luft ned i Arbeidskammeret ved Hjælp af en dobbeltvirkende Trykpumpe, der sattes i Gang af en Dampmaskine paa 16 Hestes Kraft. Saavel Dampmaskinen som Pumpen vare anbragte paa en overdækket Pram, der lagdes ved Siden af Piller (se Plan X). Fra Luftpumpen lededes den komprimerede Luft igjennem en stærk Gummislange til Piller, hvor Slangen fastskrues til et Jernrør, der gjennem Nedgangsrøret førte ned til Arbeidskammeret. I Jernrøret var anbragt en Ventil, der kun kunde aabne sig indad og derved forhindre den komprimerede Luft fra at strømme ud af Piller, hvis Luftpumperne af en eller anden Grund skulde blive ude af Stand til at virke.

Til selve Udgravningen af Arbeidskammeret forsøgte først Anvendelsen af den saakaldte Friedmanske Pumpe (Plan IV). Systemet for denne er i det væsentlige det samme som ved Giffards Injecteur, kun med den Forskjel, at der i Stedet for Damp presses en Vandstraale ind gjennem Pumpen under et Tryk af 6 à 7 Atmosfærer og derved frembringes en stærk Sugning op igjennem et Rør, der udmunder nede i Mudderet. Den Friedmanske Pumpe anbragtes nede i Arbeidskammeret og sænkedes med dette. En Dampmaskine pumpede ved Hjælp af en dobbeltvirkende Trykpumpe Vandet op i en Vindkjedel, fra hvilken det derefter pressedes videre ned i Pumpen.

Efter at denne var brugt i et Tidsrum af 6 Uger, blev den imidlertid borttaget, da det viste sig, at den ikke kunde bruges med Fordeel paa Grund af, at Mudderet var for fast og sammenhængende. Man gik da over til at udgrave Grunden ved Haandkraft og derefter heise den op i Spande ved Hjælp af en Elevator.

Udgravningen af Grunden og Bortskaffelsen af Mudderet foregik nu saaledes: 2 à 4 Mand begave sig ned i Arbeidskammeret, hvor de med Spader udgravede Jorden og fyldte den i Spandene. Saasnart en Spand var fyldt, blev den af Elevatoren heiset op i Luftkammeret, og dens Indhold tømte ud i den firkantede Kasse paa Siden af dette (se Plan IV). Denne Kasse var deelt i to lige store Rum, der ved cirkulære Huller stode i Forbindelse med Luftkammeret, medens dens udvendige Sider kunde aabnes ved lufttæt sluttende Klapper. Foroven i begge Rummene var der anbragt Ventiler, igjennem hvilke den komprimerede Luft kunde slippes ud. De fyldte Spande tømtes ud i et af disse Siderum, og naar dette var fyldt, lukkedes Hullet ind til Luftkammeret. Paa et Signal aabnede to Mand udenfor først Ventilen og derefter Klappen og kunde nu tømme Siderummets Indhold. Medens det ene Rum tømtes, fyldtes det andet indefra, saaledes at der ingen Standsning indtraadte i Arbeidet.

Paa denne Maade — ved Udgravning i komprimeret Luft og Muring i fri Luft — sænkedes Piller til en Dybde af 17 Meter under daglig Vandstand. Derefter fortsattes Sænkningen uden Lufttryk til en Dybde af 19 m og atter med Lufttryk til 30 m Dybde.

Explosion.

Paa dette Punkt trængte atter Vandet med Voldsomhed ind i Piller. Der blev derfor pumpet Luft ind til et Tryk af 2,5 Atmosfærer, hvilket Tryk imidlertid atter fjernedes den 10de Juni, for at man i fri Luft lettere kunde foretage nogle Arbejder i det øverste af Nedgangsrørene; 4 Mand vare beskæftigede hermed, idet de til Belysning benyttede almindelige Lys. Der maa da fra Mudderslagene i Bunden af Piller have udviklet sig brændbare Luftarter, som, idet de ikke længere trængtes

tilbage af noget høiere Lufttryk, ere stegne op i Pillen og der blevne antændte ved Lysene. Der paafulgte nemlig en stærk Explosion; den øverste Klap i Luftkammeret blev slaaet i, men hindredes heldigviis fra at lukkes fuldstændig af et tykt Toug, som hang ned i Luftkammeret; paa Grund heraf lykkedes det, om end med stort Besvær, at skaffe sig Adgang til det Indre af Pillen og at redde de der indespærrede Arbeidere, af hvilke de fleste dog vare stærkt forbrændte. En større Ulykke blev saaledes undgaaet, ligesom selve Pillen og de derværende Apparater ingen Skade lede ved Explosionen. For at forebygge lignende Uheld blev der imidlertid strax anskaffet Davy'ske Sikkerhedslamper og det blev Folkene strængt forbudt at benytte andet Lys nede i Pillen.

Arbeidet med Sænkningen fortsattes under store Vanskeligheder og ved stadig Anvendelse af fortættet Luft indtil den 1ste September 1875; man var da naaet ned til en Dybde af 34₁₆ Meter under daglig Vandstand. Da den ledende Ingenieur ikke ansaae det for muligt at arbeide under større Lufttryk, og da Grunden i den nævnte Dybde desuden viste sig at bestaae af reent, fast Sand, blev Sænkningen af Pillen standset paa dette Punkt, altsaa i en Dybde af c. 16 Meter under den i Kontrakten foreløbig fastsatte.

Tilendebringelse af
Sænkarbeidet.

Allerede i Begyndelsen af Aaret var der fra Compagnie de Fives-Lille's Overingenieur fremkommet et Andragende om, at Sænkningen skulde standses paa en Dybde af 22 Meter under Vandspeilet, idet han i Henhold til en Række i Løbet af Arbeidet foretagne Observationer af Gnidningsmodstanden mellem Pillen og den omgivende Grund søgte at paavise, at Grundens Bæreevne i Forening med Vedhængningen vilde være tilstrækkelig til at bære Pillen i den nævnte Dybde. Denne Anskuelse kunde imidlertid ikke tiltrædes af Regjeringens Ingenieurer, idet disse gik ud fra, at man — selv bortset fra de af Compagnie de Fives-Lille anstillede Observationers og Beregningers tvivlsomme Værd — alene af Hensyn til Pillernes Stabilitet imod Sidetryk maatte søge at trænge saa dybt ned i den faste Grund, som det paa nogen Maade lod sig gjøre. I Henhold til denne Betragtning bleve derfor ogsaa samtlige Piller, med Undtagelse af den nordre Landpille, hvor Bundforholdene vare betydelig gunstigere, førte ned til en Dybde af c. 34 Meter.

Efter at Sænkningen var tilendebragt, blev Arbeidskammeret og den nederste Deel af Nedgangsrøret fyldte med Beton i en Blanding af 1 Cement, 2 Sand og 4 $\frac{1}{2}$ Skjærver, over hvilken der blev udgydt et Lag Cementmørtel for at danne en vandtæt Afslutning.

Betonen tilberedtes paa Stilladset udenfor Pillen og bragtes derefter i Spande ind i Luftkammeret, som til den Ende var sat i Forbindelse med den ydre Luft. Naar Kammeret var fyldt med Spande, lukkedes den ydre Klap og Luften fortættedes, hvorefter to i Luftkammeret posterede Arbeidere kastede Betonen gennem Nedgangsrøret ned i Arbeidskammeret, hvor den derefter blev planeret og stampet.

Da den Arbeidsmaade imidlertid viste sig at være meget langsom og i høi Grad trættende og farlig for de oppe i Luftkammeret posterede Arbeidere paa Grund af den hyppige Skiften af Lufttrykket fra almindeligt til c. 3 Atmosfærer — nemlig hver Gang en ny Blanding Beton førtes ind i Luftkammeret — blev der ved Bygningen af de senere Piller truffet Foranstaltninger til en hensigtsmæssigere Indførelse af Betonen.

Til denne Ende blev der uden paa Luftkammeret tæt under Loftet fastskruet en tragtformet Beholder, det saakaldte Betonkammer (se Skitzen Plan IV), der saavel foroven som forneden kunde lukkes med lufttæt sluttende Klapper, begge forsynede med Luftventiler. Betonkammeret er saaledes kun at betragte som et særligt lille Luftkammer og fungerer fuldstændig paa samme Maade. Naar Betonen skulde bringes ind i Pillen, lukkedes den nederste Klap, hvorpaa Betonkammeret fyldtes med Beton. Derefter blev den øverste Klap lukket, og samtidig aabnede de i Luftkammeret posterede Folk Ventilen i den nederste Klap, saaledes at den komprimerede Luft kunde strømme ind og fylde Betonkammeret; den nederste Klap aabnede sig da selvstændig, og Betonen gled altsaa direkte gennem Luftkammeret ned i Klokken.

Var dette skeet, lukkedes den nedre Klap, Betonkammeret befriedes for Lufttrykket, idet den øverste Ventil aabnedes, og kunde derefter paany fyldes med Beton.

Efter at Arbeidskammerets Fyldning med Beton var tilendebragt, blev Nedgangsrøret trukket op for at anvendes ved Sænkningen af de andre Piller, og samtidig fyldtes Brønden med Beton i en Blanding 1—3—6. Efter at dernæst den øverste, med Granit beklædte, Deel af Pillen var opmuret, var denne fuldført den 17de September 1875 og havde saaledes om end med enkelte Afbrydelser været under Arbeide i c. 14 Maaneder.

Forskydning af
Pillen.

Efter at Pillen var fuldført, blev det nødvendigt at paabegynde Opfyldningen af den tilstødende Landdæmning, da denne skulde benyttes som Arbeidsplads til Overbygningens Montage. Da man befrygtede en Forskydning af Pillen, blev dette Arbeide udført med stor Forsigtighed, idet der først anbragtes en større Opfyldning af det udgravede Materiale dækket med store Søsten langs Pillens udvendige Side, hvorefter den til Dæmningen bestemte Fyld, der bestod af reent Sand, blev ført ud i horizontale Lag. Til Trods herfor begyndte Pillen, efter at Dæmningen var naaet ud til den, at helde ud imod Fjorden. Det blev derfor nødvendigt hurtigst muligt at bortskaffe Fylden, af hvilken en Deel blev anbragt foran Pillen som Modvægt mod Jordtrykket. Det lykkedes ogsaa paa denne Maade at standse Pillens Bevægelse ud imod Fjorden, efter at denne havde naaet en Størrelse af $1,06$ m fra Lodlinien, og ved at fjerne Fylden paa en Afstand af 25 Meter og opmudre en Rende bag Pillen til en Dybde af 4 m fik man denne bragt saa vidt tilbage mod sin oprindelige Stilling, at den blivende Heldning mod Fjorden kun udgjør $0,40$ m.

Der havde ved denne Forskydning ikke fundet nogen Sænkning af Pillen Sted, og Grunden, paa hvilken Pillen hviler, havde altsaa vist sig at have tilstrækkelig Bæreevne. Derimod var Pillen aabenbart konstrueret for svag og manglede fornøden Stabilitet til at modstaa Trykket af Dæmningen, og det blev derfor nødvendigt at modificere det oprindelige Projekt saaledes, at den ikke længer kom til at fungere som Landpille, idet der, som alt tidligere nævnt, tilføiedes endnu et Brofag af 35 Meters Længde, som med sin søndre Ende kom til at hvile paa et i Dæmningen opmuret Fundament. Dette Fundament bæres, som det fremgaaer af Plan XIV, af 84 Stkr. 12 Tommer Pæle, der ere rammede c. 14 Meter ned i Grunden og foroven dækkede med et Lag Beton af $\frac{2}{3}$ Meters Tykkelse.

Samtidig med Anbringelsen af dette Tilslutningsfag foreslog Compagnie de Fives-Lille at anbringe et tilsvarende paa Sundbysiden. Dette Forslag blev imidlertid dengang ikke taget tilfølg og først senere, da den derværende Landpille, efter at Broen var aabnet for Driften, viste en svag fortsat Bevægelse ud imod Fjorden, har man anseet det for sikkert ogsaa at borttage Fylden bag denne Pille og ligeledes at anbringe et Tilslutningsfag her.

Landpillen paa Sundbysiden.

Pille Nr. 1.

Sænkningen af denne Pille paabegyndtes den 1ste April 1875 og fortsattes under stadig Anvendelse af Lufttryk til Begyndelsen af Juni samme Aar, da Pillen havde naaet en Dybde af 18 m under daglig Vandstand. Man forsøgte vel at grave ud i fri Luft, men dette maatte atter opgives, da Grunden var for sandblandet til at kunne holde Vandet ude af Arbeidskammeret. Som det fremgaaer af det paa Plan XII fremstillede Profil af Bundens Beskaffenhed, bestod Grunden af Mudder

indtil en Dybde af 11^m, hvorefter den blev mere og mere sandholdig, indtil den i en Dybde af 18^m gik over til rent fint Sand, der fortsattes til 22 Meters Dybde under daglig Vandstand, hvor Bunden bestod af rent Ler.

Paa den nævnte Dybde af 18^m standsedes Sænkningen og Udstøbningen af Arbeidskammer og Nedgangsrør paabegyndtes, hvilket Arbejde tilendebragtes den 5te Juni; Pillen var saaledes bleven fuldført til Vandspeilet i et Tidsrum af c. 9 Uger.

Selve Sænkningen foregik fuldstændig paa samme Maade som ved Landpillen paa Aalborgsiden. Styringen af denne Pille voldte imidlertid mange Vanskeligheder, da den viste en stadig Tendens til at helde ud imod Fjorden, og det var forgjæves, at man ved Hjælp af Kjættinger og svære Gier, der vare anbragte i Land, søgte at holde Pillen i lodret Stilling. Det lykkedes ikke Entreprenørerne trods alle Anstrengelser at overvinde disse Vanskeligheder, og Pillen blev staaende med en betydelig Heldning — 0,71^m — ud imod Fjorden.

Af denne Grund passede imidlertid Afstanden til de andre Piller ikke længer, og det blev derfor nødvendigt af Hensyn til Overbygningen at krage de øverste Granitskifter ud over Pillens Bagside, saaledes som dette er antydnet paa Plan IX.

Tilslutningsdæmningen blev derefter ført ud til Pillen, dog ikke i fuld Høide, da man frygtede for, at lignende Forskydninger som ved den søndre Landpille kunde finde Sted her; og derfor, som alt tidligere nævnt, ogsaa var betænkt paa at maatte bygge et Fag til bag denne Pille. Da denne imidlertid efter at have været underkastet en nøiagtig Iagttagelse i over et Aar ikke viste noget Tegn til en Forskydning, bestemte man sig af Bekostningshensyn til at fuldføre Jorddæmningen bag Pillen og saavidt mulig søge at sikre denne ved Stenkastninger ud imod Fjorden. Pillen forholdt sig ogsaa fuldkommen rolig indtil Januar 1877, da der sporedes en svag Bevægelse udad, som dog standsede fuldstændig, efter at man efterhaanden havde forøget Stenkastningen til det betydelige Kvantum af 335 Kubikfavne, repræsenterende en Vægt af c. 8 Millioner Pund.

Som tidligere meddelt viste der sig dog efter nogen Tids Forløb atter Tegn til Forskydninger, og man maatte da beslutte sig til at borttage Fylden og erstatte den med et aabent Brofag dog af noget ringere Længde end det, som var blevet anbragt ved Broens sydlige Ende.

Strømpille Nr. 6.

Samtidig med at begge Landpiller vare under Arbejde, blev der truffet Forberedelser til Bygningen af Strømpillen Nr. 6 nærmest ved Aalborgsiden.

Stilladset til denne saavelsom til de øvrige Strømpiller fik saavel paa Grund af den større Vanddybde som navnlig paa Grund af den betydelige større Vægt, som vilde blive ophængt i det, en fra Landpillernes Stilladser temmelig afvigende Konstruktion. Det bestod, som vist i Plan III, af 6 stærke Pæle 27 Meter lange og 1 Meter tykke, som foroven vare forbundne indbyrdes ved sammen-nittede Jernbjælker. Ovenpaa disse anbragtes atter Tværbjælker af Træ, som dels tjente til Understøttelse for Skruemøttrikerne til de Kjæder, i hvilke Pillen ophængtes under Sænkningen, og dels til at bære de fornødne Kraner og øvrige Opheisningsapparater. Foruden ved de nævnte Jerndragere vare Pælene c. 1 Meter over Vandfladen forbundne indbyrdes ved horizontale Bjælker, som bare et Plankégulv, paa hvilket Arbeidskammeret blev samlet paa lignende Maade som ved Landpillerne. Til yderligere Afstivning i Sideretning var der mellem Pælene anbragt Diagonalkryds af 1½ Tomme Rundjern, der forneden vare befæstede til Halsbaand, som man lod glide ned omkring Pælene, indtil de naaede Bunden, og foroven vare boltede til de udenom Pælene anbragte Vandlister. Plan III.

Som alt nævnt vare Pælene 27 Meter lange, saaledes at de paa de dybeste Steder naaede c. 13 Meter ned i Mudderet. Hver Pæl var — som det fremgaar af Plan III — samlet af

Stilladset.

8 Stk. Tømmer, der vare forbundne indbyrdes til et fast Hele ved Hjælp af Ankere og Bolte, saaledes at den foroven havde en Tykkelse af 1 Meter. Paa den nederste Del, som kom til at staa i Mudderet, var Diameteren forøget til 1,30 Meter ved Hjælp af en Plankebeklædning for derved at give Pælene større Bæreevne. Som det fremgaaer af Tegningen, vare Pælene hule i hele deres Længde, idet der i Midten var ladet et kvadratisk Rum frit, 0,38 m i Tværmaal. Det var nemlig oprindeligt paatænkt at benytte denne Kanal ved Nedsænkningen af Pælene, idet man paa lignende Maade som beskrevet ved Landpillen Nr. 7 vilde lede en Vandstrøm ned igjennem et i Kanalen anbragt Rør og skylle Mudderet op under Pælen ved Hjælp af en Friedmansk Pumpe. For bedre at løsne Mudderet var der desuden paa en til Pælens Underkant befæstet Jernring anbragt et temmelig compliceret Apparat bestaaende af to krumme Knive eller Skrabere, der fra oven ved Tandhjul og Drev kunde sættes i omdreieende Bevægelse.

Det lykkedes imidlertid ikke at sænke Pælene paa denne Maade, ligesaa lidt som det havde vist sig muligt ved det omtalte Forsøg ved Landpillen Nr. 7, og den Friedmanske Methode blev derfor nu definitivt forladt, og Pælene trykkedes ned i den bløde Bund ved Belastning.

I dette Øiemed konstrueredes et 40 Fod høit Stillads, der opførtes paa en Tømmerflaade bestaaende af to Pontoner, 35 Fod lange, 11 Fod brede og $3\frac{1}{2}$ Fod høie, der vare fast forbundne indbyrdes ved to stærke Tværdragere ac og bd (see Plan III) anbragte paa den ene Halvdel af Flaaden, medens der paa den anden Halvdel ikke var nogen saadan fast Forbindelse mellem Pontonerne, for at Pælen kunde passere ind imellem disse.

Nedtrykningen af Pælene foregik nu saaledes: Stilladset bugseredes hen til det Sted, hvor Pælene skulde staae, og fortoiedes her, hvorefter Pælen heisedes op, saa at den kom til at hænge lodret indeni Stilladset. Efter at den derpaa ved Hjælp af Tove og Spil var ført ned gennem Vandet og det øverste Lag af Mudderet, fortsattes Nedtrykningen ved direkte Belastning. Til den Ende anbragtes ovenpaa Pælen tvende Stykker Tværtømmer, der tjente til at bære Møttriker og Kjæder af samme Konstruktion som dem, der anvendtes til Pillernes Ophængning i Stilladset, hvilke Kjæder forneden fastgjordes til Pontonerne. Ved Omdreining af Møttrikerne var man derved i Stand til at hæve Flaaden og Stilladset op af Vandet og saaledes overføre Vægten af dem paa Pælen, som derved trykkedes ned i Fjordbunden. Ved at belaste Flaaden med Mursten bragtes den paa Pælen virkende Vægt og dermed dens Bæreevne op til 150,000 Pd.

Paa denne Maade trykkedes Pælene 12 à 13 Meter ned i Mudderet og Arbeidet gik let og hurtigt for sig, saaledes at 6 à 8 Mand kunde sænke en Pæl i Løbet af 2 Dage.

Sænkningen af
Pillen.

Efter at samtlige 6 Pæle vare anbragte og forbundne indbyrdes ved de alt nævnte Træbjælker og Jerndragere, paabegyndtes Samlingen af Arbeidskammeret, Plan VIII, der har fuldkommen samme Indretning som ved Landpillerne. I Overensstemmelse med Pillens Form havde det en Længde af 12,50 Meter og en Bredde af 5,00 Meter.

Selve Sænkningen, der paabegyndtes den 19de Juni 1875, foregik fuldstændig paa samme Maade som ved Landpillerne; i en Dybde af $24\frac{1}{2}$ Meter under daglig Vandstand borttoges Kjæderne, hvori Pillen var ophængt, og Sænkningen fortsattes derpaa til en Dybde af $\div 33,9$ Meter, hvor Grunden bestod af rent, fast Leer. Det lykkedes heller ikke ved denne Pille at sænke den fuldstændig lodret, idet den blev staaende med en Heldning af 0,27 Meter imod Syd.

Forandring af Luft-
kammeret.

Som tidligere beskrevet bestod Luftkammeret af en enkelt Cylinder, i hvis Bund og Loft der var anbragt Klapper, gennem hvilke man kunde stige ind og ud af Pillen.

Denne Konstruktion led imidlertid af den væsentlige Mangel, at Udgravningsarbeidet nede i Pillen maatte afbrydes, hvergang en saadan Ind- og Udstigning fandt Sted, idet Bundklappen da maatte være lukket, og altsaa Forbindelsen mellem Arbeidskammer og Luftkammer afbrudt. Ved større Dybder er denne Afbrydelse af meget væsentlig Betydning, idet Sænkearbejderne skifte hver tredie Time og da maae opholde sig omtrent een Time i Luftkammeret, medens Luften i dette bliver

decomprimeret. En Fjerdedeel af Arbeidstiden gik derved tabt til ingen Nytte, og det var derfor naturligt, at man søgte Midler til at undgaa dette uheldige Forhold, der selvfølgelig ogsaa spillede en betydelig finansiell Rolle.

Ved Sænkningen af de sidste 6 Meter af denne Pille blev der derfor foretaget flere Forandringer ved Luftkammeret, hvorved det ogsaa lykkedes at undgaa enhver Standsning i Arbeidet. Plan IV giver et Billede af den forandrede Konstruktion.

Saa Siden af det oprindelige Luftkammer anbragtes to, mindre cylindriske Kamre $1,6$ m i Diameter og $2\frac{1}{2}$ m høie, der stode i Forbindelse saavel med den ydre Luft som med det indre Kammer ved $0,75$ m høie og $0,65$ m brede Aabninger, der kunde lukkes lufttæt ved Hjælp af Klapper med mellemliggende Kautschukpakninger og vare forsynede med de fornødne Ind- og Udblæsningsventiler. Sidekamrene erholdt det fornødne Lys gennem stærke Glasruder (saakaldte Koøine) i Loftet. I det oprindelige Luftkammer lukkedes den øverste Klap, og i Stedet for den ene Aabning i Gulvet anbragtes tvende Huller for at lette Op- og Nedheisningen af Spandene. Disse Huller holdtes i Reglen altid aabne — med Undtagelse af naar man vilde foretage Reparationer i Luftkammeret uden at arbeide under Lufttryk og derfor spærrede af for det Indre af Pillerne — og det oprindelige Luftkammer fungerede derfor for Fremtiden kun som en Fortsættelse af Nedgangsrøret, medens Ind- og Udstigningen og den dermed forbundne Comprimering og Decomprimering af Luften foregik i Sidekamrene. Der opnaaedes herved, at samtidig med at et Hold Arbeidere steg ind i Pillerne gennem det ene af disse, kunde et andet Hold stige ud gennem det andet Kammer, uden at Arbeidet med Opheisning og Udtømmning af Spandene i det oprindelige Luftkammer blev afbrudt, hvorved det altsaa blev muligt i høi Grad at fremme Sænkningen af Pillerne.

Samtidig med Anbringelsen af de nye Luftkamre foretoges en Forandring af de Apparater, med hvilke Spandene heisedes op. Som tidligere nævnt, var der hertil benyttet en Elevator, som dreves ved komprimeret Luft. Da denne Elevator imidlertid kun var indrettet for en Løftehøide af 20 Meter og desuden let kom i Uorden, forlod man denne Methode og benyttede derefter det paa Tegningen viste Spil, bestaaende af 2 Kjædeskiver med tilhørende Haandsving samt en Ledeskive, der var anbragt nede i Luftkammeret. Haandsvingenes Axler gik igennem lufttætte Stoppebøsninger ud i det Frie, hvor Arbeiderne der dreiede Spillene, befandt sig.

Forandring af
Opheisnings-
apparatet.

Indretningen af dette Opheisningsapparat var altid en Forbedring men tilfredsstillende dog ikke ganske; der blev derfor senere ovenpaa Luftkammeret anbragt en 6 Hestes Dampmaskine, som heisede Spandene op ved Hjælp af et Spil af noget forandret Konstruktion (see Skitzen Plan IV). Paa en horizontal Axel, der ved Hjælp af Tandhjul og Remskive sattes i omdreieende Bevægelse af Dampmaskinen, var der befæstet to glatte, coniske Hjul a og b. Ved Hjælp af Vægtstængerne V og V' kunde Axlen forskydes saa meget i horizontal Retning, at Hjulene a og b afvekslende kunde trykkes ind imod et tredje conisk Hjul c, paa hvis Axel Kjædeskiven k var anbragt. Man var derved i Stand til at dreie denne saavel i den ene som i den anden Retning og altsaa heise Spandene baade op og ned uden at forandre Dampmaskinens Gang og ligeledes at lade Opheisningsmekanismen staa stille uden at standse Maskinen.

Denne Konstruktion af Opheisningsapparatet viste sig meget hensigtsmæssig; det var bekvemt at manøvrere, kom ikke let i Uorden og bidrog ikke lidet til at fremme Udgravningsarbeidet særlig, naar Pillerne var naaet ned til en større Dybde.

Efter at Sænkningen af Pillerne, som alt anført, var standset paa en Dybde af $33,9$ Meter under daglig Vandstand, blev Arbeidskammeret udstøbt med Beton og Lufttrykket lidt efter lidt formindsket. Da der intet Vand trængte igennem Betonen, kunde Nedgangsrøret derefter skrues fra og løftes op uden Anvendelse af Lufttryk. Opmuringen af det indre Murværk og af de øverste Granitskifter blev derefter tilendebragt, idet man, da disse ved Strømpillerne begynde c. $2,2$ Meter

Fuldførelse
af Arbeiderne ved
denne Pille.

under daglig Vandstand, provisorisk førte den ydre Jernklædning c. 1 m op over Vandfladen og saaledes benyttede den som Fangdæmning.

Den 27de Juli 1876 var Pillen fuldført og havde altsaa ialt været under Arbeide i et Tidsrum af 13 Maaneder med 5 Maaneders Afbrydelse om Vinteren.

Optagning af
Stilladset.

Endnu før Sænkningen af Pillen var tilendebragt, og medens denne endnu var under Lufttryk paabegyndtes Borttagelsen af Stilladset.

De fire midterste Pæle optoges to og to ad Gangen paa den Maade, at to af de til Stilladset anvendte svære Jerndragere lagdes tværs over Pillen og forenedes i begge Ender ved Tværtømmer. Gjennem disse anbragtes derefter fire af de Skruer, som benyttedes til Pillens Ophængning — to ved hver Pæl — saaledes at Møttrikerne hvilede paa Tværtømmeret, medens Skruens nederste Ende ved en Kjæde var fastgjort til Pælen. Ved derefter at skrue Møttrikerne om lykkedes det — om end med Besvær — at faa Pælene trukne op.

De to yderste Pæle bleve ved Spil, der vare anbragte i Land og paa den nærmeste Pille, trukne skjævt over til den ene Side og saaledes bøiede ud af Grunden.

Oversigt over
Sænkearbeidet.

Paa Tegningen Plan VII er der givet et almindeligt Billede af Arbeiderne ved en Strømpille under Sænkning. Pillen er endnu ophængt i Stilladset, hvor en Arbeider netop er i Færd med at dreie paa Skruerne for at sænke den. Nede i Arbeidskammeret ere fire Mand beskæftigede med at udgrave Grunden, medens en femte oppe i Luftkammeret tømmer Spandene ud i den paa Siden af Luftkammeret anbragte Kasse. Udenfor sees Lokomobilet, som driver Heiseapparatet, ligesom ogsaa den overdækkede Pram med Dampmaskine og Luftpumper til Komprimering af Luften i Pillen sees fortøiet ved Siden af denne. Overst ere Murerne i Færd med at opmure de to Ringe omkring Nedgangsrøret og langs Indersiden af den ydre Jernklædning, medens den øvrige Deel af Pillen foreløbig er ladet hul, for derved at regulere dens Vægt under Sænkningen.

Strømpille Nr. 5.

Opførelsen af Stilladset til denne Pille paabegyndtes omtrent samtidig med Stilladset til den ovenfor beskrevne, saaledes at der den 21de September 1875 kunde tages fat paa selve Opmuringen.

Selve Arbeidet foregik fuldstændig som ved de andre Piller, og frembød ingen Forhold af særlig Interesse. Efterat Sænkningen var fuldført og Arbeidskammeret fyldt med Beton, indtraadte imidlertid et af disse ulykkelige Tilfælde, der ledsage saa mange større Byggeforetagender, og om hvis Aarsag man kun kan danne sig en mere eller mindre grundet Formodning, medens det aldrig bliver fuldstændig opklaret, hvor eller hos hvem den egentlige Skyld ligger.

Udslyngning af
Nedgangsrøret.

Da man, efterat Betonen i Arbeidskammeret var hærnet, vilde skride til Optagelsen af Nedgangsrøret, et Arbeide, som ved de andre Piller ikke havde voldet nogensomhelst Vanskelighed, viste det sig, at Røret ikke lod sig rokke af Stedet. Man antog, at det var den nederste Ring, som ved nedfalden Mørtel, Murstensbrokker og lignende var klemt fast til det omgivende Murværk, og man besluttede derfor at løse Forbindelsen en Ring høiere oppe og lade det nederste Stykke Rør blive siddende.

Da der var trængt endel Vand op i Pillen igjennem Betonen, blev der atter indblæst comprimeret Luft og derefter sendt tre Arbeidere ned for at skille Rørene ad og udtage Boltene. Tre Timer efter at Folkene vare stegne ind i Pillen hørtes da et dumpt Knald, hvorefter man saa hele det 30 Meter lange Nedgangsrør blive slynget ud af Pillen til en saadan Hoide, at dets Underkant hævede sig c. 10 Meter op over denne, for derefter at vælte over imod Vest og styrtte i Fjorden, idet det i Faldet slog et stort Hul i den ydre, provisoriske Jernklædning.

Da Opførelsen af Murværket var standset tre Fod under daglig Vande for at give Plads for en Overdækning af Granitblokke, strømmede Vandet øieblikkelig ind i Pillen og oversvømmede den aldeles, hvorved to af Arbeiderne, der vare blevne dernede, omkom. Den tredie gik tilveirs med Luftkammeret og druknede i Fjorden.

Medens man i det første Øieblik, efter at Ulykken var skeet, var tilbøielig til at henføre den til en Explosion i det Indre af Pillen, viste imidlertid de Undersøgelser, som bleve anstillede, at en saadan ikke kunde have fundet Sted, men at Aarsagen snarere maatte søges i Lufttrykket i Nedgangsrøret.

Af de optagne Forhør fremgik det nemlig som sandsynligt, at Arbeiderne havde løsnet Forbindelsen nede i Pillen og givet Signal til at mindske Lufttrykket, som udgjorde 2,3 Atmosphærer. I samme Øieblik har da dette faaet Overmagten, sønderrevet de enkelte Bolte, som endnu vare tilbage og slynget Røret op i Luften. At denne Antagelse er den rigtige bestyrkes yderligere af den efterfølgende Beregning.

Kaldes

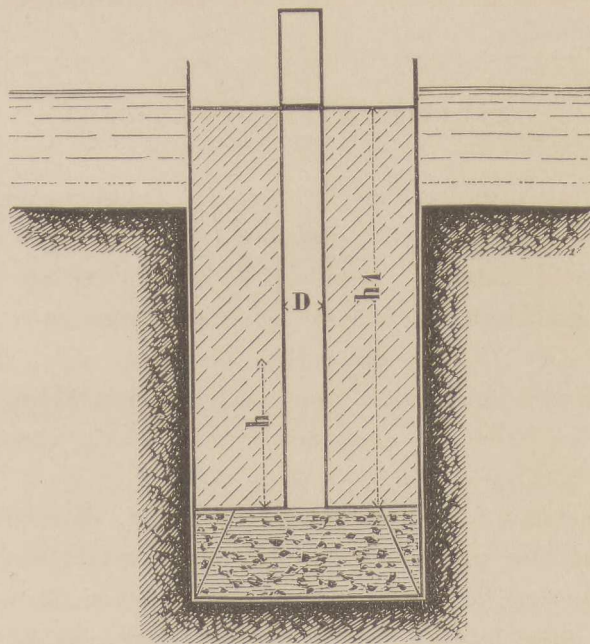
Nedgangsrørets Diameter $D = 2$ Meter, dets Høide $h_1 = 30$ Meter

Overtrykket $p = 2,3$ Atm. $= 23,775$ kg. pr. $\square$ mtr. da er ved Bevægelsens Begyndelse det indvendige Tryk paa Cylinderens Laag

$$P_o = \frac{D^2 \pi}{4} p = 74,656 \text{ kg.}$$

Naar Cylinderens Underkant derefter er løftet op til en vis Høide h vil Trykket ifølge Mariottes Lov aftage til

$$P_h = P_o \cdot \frac{h_1}{h_1 + h}$$



Antager man nu, at Luftens Expansionskraft ophører at virke paa Cylinderen i det Øieblik, dennes nederste Rand kommer op over Pillen, da er Arbeidet, som er medgaaet til at løfte Cylinderen = den Arbeidsmængde, som udvikles ved at Luftens Spænding aftager fra P_o til P_h , altsaa =

$$\begin{aligned} \int_0^{h_1} P_h dh &= \int_0^{h_1} \frac{h_1}{h_1 + h} dh = P_o h_1 \log_{\text{nat}} 2 \\ &= 74,656 \times 30 \times 0,693 = 1,552,098 \text{ kg. mtr.} \end{aligned}$$

Da dette Arbeide maa være = Lastens Arbeide, altsaa Produktet af Udslyngningshøiden x og Cylinderens Vægt V , som udgjorde 36,000 kg. altsaa

$$Vx = 1,552,098 \text{ kg. mtr.}$$

findes heraf hele Udslyngningshøiden

$$x = 43,1 \text{ Meter}$$

og Cylinderens Underkant skulde derefter være blevet løftet op i en Høide over Pillen af

$$H = x - h_1 = 43,1 - 30 = \text{c. } 13 \text{ Meter.}$$

Da der i denne Beregning ikke er taget Hensyn til den ydre Lufts Modstand, Cylinderens Gnidning mod Murværket og det Krafttab, som selvfølgelig er fremkommet paa Grund af Spillerummet mellem Pillen og Nedgangsrøret, vil det sees at Resultatet stemmer godt med den iagttagne Høide af c. 10 Meter.

Der har været reist Spørgsmaal om, hvorvidt ikke Pillens Murværk skulde have taget Skade af Lufttrykket; da dette imidlertid ikke har været over $2,4 \text{ kg. pr. } \square \text{ Ctmtr.}$ og ung Cementmørtel taaler mindst 8 à 10 kg. pr. Kvadratcentimeter, ligesom ogsaa Murværket styrkedes yderligere ved den omgivne Jernklædning, var der i saa Henseende Intet at frygte, hvad en nærmere Undersøgelse af Pillen ogsaa bekræftede.

Fuldførelse
af Pillen.

Efter at den provisoriske Jernklædning udenom Pillen var repareret, blev der taget fat paa Bortskaffelsen af det Materiale, som var kommet ind i Nedgangsbrønden. Da dette maatte ske under Vand, benyttede man til dette Arbeide en saakaldt »amerikansk Mudderske«, et Apparat af lignende Konstruktion, som de nu almindelig anvendte Excavatorer. Det lykkedes ogsaa paa denne Maade at optage det øverste Lag, som bestod af en blød Blanding af Betonslam, Sand og Mudder, hvorefter man naaede reent Sand, som ligeledes blev bortskaffet paa de nederste 2 Meter nær, da det ikke kunde antages, at det tilbageblivende Sand, som var fast afleiret, kunde have nogen skadelig Indflydelse ved at forblive i Pillen.

Fylldningen af Nedgangsrøret med Beton blev derefter paabegyndt, idet de første 9 Meter bleve støbte under Vand og af en særlig stærk Blanding. Da denne var hærdet, blev Brønden pumpet læns og underkastet et nøiagtigt Eftersyn. Der var imidlertid ingensomhelst Beskadigelse at opdage, og Udstøbningen blev derfor fuldført.

Den 25de Februar 1877 blev dette Arbeide tilendebragt, og Pillen gjort færdig ved Opmuring af de øverste Granitskifter. Den havde da været under Arbeide i et Tidsrum af 17 Maaneder rigtig nok med flere Afbrydelser.

Strømpille Nr. 2.

Da Pillen Nr. 5 var sænket til en Dybde af 22 Meter opførtes Stilladset til Strømpillen nærmest ved Nørre-Sundbysiden, hvorpaa Arbeidskaumeret blev samlet og nedsænket i Vandet paa samme Maade som ovenfor beskrevet. Den 10de Juni 1876 paabegyndtes derefter Opmuringen af denne Pille, der skulde opnaae en saa uheldig Navnkundighed i Broens Historie.

Arbeidet fortsattes uden Uheld paa sædvanlig Maade ved Anvendelse af Lufttryk, indtil Pillen havde naaet en Dybde af c. 16 Meter. Paa dette Tidspunkt indtraf imidlertid en orkanagtig Storm, under hvilken den Pram, som bar Luftpumperne og Dampmaskinen, blev læk og kæntrade. Dampkjedlen sank tilbunds i Fjorden, medens Luftpumpen og Maskinen blev hængende ved Prammen. Som Følge af at Lufttilførselen standsedes, sank Pillen pludselig et Stykke ned i Grunden, heldigvis dog ikke dybere, end at Jernklædningen ragede op over Vandet.

Paa Grund af Stormen blev der ikke arbeidet nede i Pillen og der skete derfor ingen videre Ulykke; det stedfundne Uheld havde imidlertid i sine Følger en skjæbnesvanger Indflydelse paa Arbeidets Gang, da det vistnok maa siges at have været — om end ikke udelukkende — saa dog i meget væsenlig Grad medvirkende Aarsag til den kort Tid efter indtrufne Omstyrtning af Pillen, hvorved ikke alene Frugten af de sidste Maaneders Arbeide tilintetgjordes, men hvorved man tillige blev stillet overfor et Arbeide af den vanskeligste og mest precaire Natur.

Da man ved Tabet af Dampkjedlerne var sat ud af Stand til at pumpe Luft ind i Pillen, besluttede man nemlig, for ikke at miste nogen Tid, at fortsætte Opmuringen uden samtidig at udgrave Grunden i Arbeidskammeret, og saaledes efterhaanden at lade Pillen trykke sig ned i Mudderet ved sin egen Vægt. I fuldkommen ensartet Bund medfører denne Arbeidsmaade heller ikke nogen Betænkelse, men er Bunden derimod uensartet, eller indeholder den Sten og lignende, vil det sees, at Pillen let bliver udsat for Forskydninger, naar Underkanten af Arbeidskammeret ikke paa hele sin Omkreds træffer et Underlag af samme Fasthed, og Pillen ikke bæres oppe og holdes i Ligevægt ved Anvendelse af Lufttryk.

Omstyrtning
af Pillen.

I det foreliggende Tilfælde støttedes Pillen endnu tildels af de fire Kjæder, i hvilke den fra Begyndelsen af havde været ophængt, men efterhaanden som den sænkedes dybere, begyndte den dog at helde til Siden, først over imod Nord, hvilken Heldning den 22de Juli naaede en Størrelse af c. $\frac{1}{3}$ Meter. Ved Anvendelse af ensidig Belastning, nemlig ved udelukkende at mure paa den søndre Side, lykkedes det dog efterhaanden at faae Pillen rettet, saaledes at den den 7de August atter stod lodret. Den begyndte imidlertid da at gaae over imod Syd og denne Bevægelse fortsattes, til Trods for at man ved Opmuring i den nordre Side søgte at bringe Pillen i Ligevægt.

Om Middagen den 8de August bemærkedes det, at medens Kjæderne paa den nordre Side vare slappe, hang Pillen udelukkende i de søndre Kjæder, som derfor truede med at sprænges. For at undgaae dette firedes der af paa Kjæderne, men nu tiltog Bevægelsen imod Syd saaledes, at den naaede en Størrelse af $1\frac{1}{2}$ Centimeter i Timen. For at støtte Pillen anbragtes Dunkraften mellem denne og de søndre Stilladspæle, men Pillen tog Pælene med sig; man stablede løse Mursten op i den nordre Side traf Forberedelser til, ved Hjælp af Touge, at forankre Pillen til den nordre Bred, men inden dette kunde ske, begyndte Stilladset kjendeligt at give efter, Arbeiderne sprang i Baadene og et Øieblik efter, Kl. 6 Eftermiddag, væltede Pillen fuldstændig over imod Syd og tog Stilladset med sig.

Sænkningen havde paa dette Tidspunkt naaet en Dybde af 21₁ Meter under daglig Vandstand og Murværket var ført til en Fod over Vandets Overflade. Pillen væltede lige i Broens Længderetning og forskjød sig samtidig et lille Stykke imod Nord, saaledes som det fremgaar af Profilet Plan IX.

Med Hensyn til Spørgsmaalet om Aarsagen til det indtrufne Uheld gjorde der sig forskellige Meninger gjældende mellem Regjeringens og Compagnie Fives-Lille's Ingeniører. De sidste vare tilbøjelige til at give den Stenkastning, som var anbragt omkring Landpillen paa Sundbysiden, Skylden for Ulykken, idet Trykket af den skulde have forplantet sig gennem Mudderet til Pille Nr. 2 og derved foraarsaget dens Omstyrtning. Dens samlede Størrelse var c. 79 Kubikfavne med en Vægt af c. 1,900,000 Pd. Den var anbragt $2\frac{3}{4}$ Maaned førend Opmuringen af Pillen paabegyndtes og var forbleven urørt siden den Tid.

Efter Compagniets Ingeniørs Anskuelse skulde i Tiden fra den 12te til den 22de Juli, da Pillen passerede de øvre, bløde Lag, Trykket af denne Stenkastning have bragt Pillens Fod til at vandre 0₃₇ Meter mod Syd, medens den øvre Ende støttedes af Stilladset. Da Pillen derefter den 22de Juli mødte et relativt fastere Lag, der støttede Foden, skulde det samme Tryk da have bragt den til atter at reise sig og til derpaa at helde over mod Syd.

For nærmere at belyse disse Forhold blev der optaget et nøiagtigt Profil af Bunden imellem de to Piller, ligesom der ogsaa omtrent midtvejs mellem dem blev anstillet Forsøg for at prøve, om der paa dette Sted kunde spores noget Tryk hidrørende fra Stenkastningen. Der fremkom imidlertid ved

disse Undersøgelser Intet, som kunde tjene til Støtte for den af Compagniet fremsatte Anskuelse. Ved at gennemgaae nedenstaaende Tabel over Observationer af Pillens Stilling fra den 12te Juli til den 8de August kan der ikke heller udledes en saadan Beskaffenhed af Bunden som forudsat af Compagniet. Betragter man nemlig den sidste Kolonne i Tabellen, som angiver Sænkningen pr. Døgn,

Datum	Skjærets Cote under D V	Pillens Heldning		Sænkning pr. Døgn
		mod Syd	mod Nord	
12te Juli 1876	16,95 ^m	»	0,13	} 0,15 ^m
13de do. —	17,10	»	0,13	
14de do. —	17,50	»	0,17	0,40
15de do. —	18,15	»	0,20	0,65
18de do. —	18,60	»	0,29	0,15
22de do. —	19,00	»	0,37	0,10
26de do. —	19,62	»	0,30	0,15
28de do. —	19,90	»	0,24	0,14
3die August —	20,29	»	0,11	0,07
6te do. —	20,55	Lodret	Lodret	0,09
7de do. —	20,69	0,25	»	0,14
8de do. Kl. 7 Morgen.	20,85	0,30	»	0,16
8de do. - 12 Middag.	»	0,40	»	} 0,65
8de do. - 2 Efterm.	»	0,50	»	
8de do. - 5 do.	21,12	Væltet		

vil det sees, at de Lag, som passeredes fra den 15de Juli til den 7de August, maa have været temmelig af samme Beskaffenhed og at der specielt den 22de Juli, da Heldningen mod Nord naaede sit Maximum og Pillen atter begyndte at gaae tilbage til den lodrette Stilling, ikke var nogen kjendelig Forandring i Grundens Fasthed. Først fra 7de til 8de viser der sig en større Synkning af Pillen og altsaa en blødere Bund.

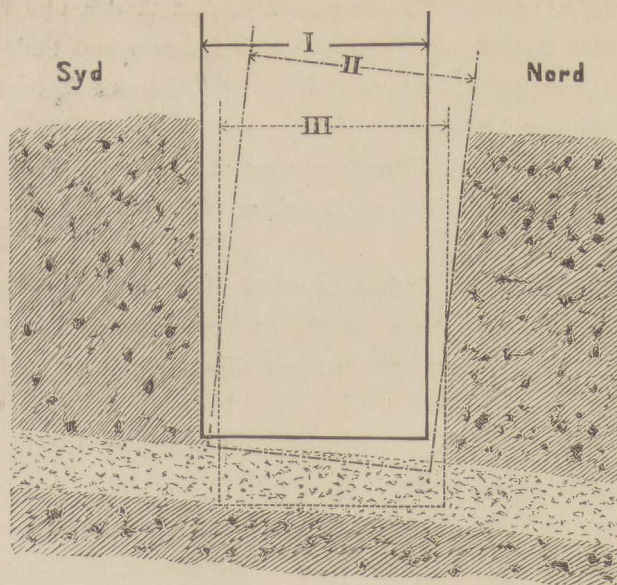
Der fremkom saaledes aldeles Intet, der kunde tyde paa, at Omstyrtningen skyldtes et udefra kommende Sidetryk paa Pillen, hvorimod de foretagne Undersøgelser frembød flere Momenter, som i høi Grad bekræftede den af Regjeringens Ingenieurer forfægtede Anskuelse, at Faldet simpelthen hidrørte fra Grundens uensartede Beskaffenhed og fra den Omstændighed, at Arbeidet foretoges uden Anvendelse af Lufttryk.

Som alt ovenfor bemærket ere nemlig Pillerne under Sænkningen stadig underkastede Heldninger snart til den ene, snart til den anden Side alt eftersom de forskjellige Dele af Skjæret træffer paa blødere eller fastere Mudderlag eller skraatliggende Sandaarer, Sten eller lignende. Disse Heldninger modarbeides dels ved ulige Sænkning af Kjæderne, saalænge Pillen er ophængt i disse, dels ved kun at opmure i den ene Side og, naar Pillen er under Lufttryk, navnlig ved kun at udgrave Grunden under den ene Halvdeel af Arbeidskammeret. Da særlig den sidstnævnte Methode er af god Virkning, og da Lufttrykket desuden bærer en stor Deel af Pillens Vægt og derved bevirker, at den ikke kommer til at synke saa pludseligt, vil det sees, at man ved at arbeide uden Lufttryk er berøvet et af de virksomste Midler til at støtte Pillen under Sænkningen.

I Henhold til disse Betragtninger tænkte Regjeringens Ingenieurer sig derfor Omstyrtningen foregaaet paa følgende Maade:

Omtrent ved den 12te Juli er Underkanten af Pillen stødt paa et fastere Lag, der har haft Heldning mod Nord (Stilling I i vedføjede Skitse); idet Pillen er sunken dybere, er den søndre Side

baaret stærkere oppe end den nordre, hvorved Pillen har faaet Heldning imod Nord (Stilling II). Ved Belastning og udelukkende Opmuring i søndre Side er Pillen dog atter bragt tilbage til den lodrette Stilling (III), men den søndre Side af Skjæret er da naaet igjennem det faste Lag, medens den nordre endnu bares oppe af det og Følgen heraf har da været, at Pillen er begyndt at helde imod Syd. Da Pillen tilmed var stærkt belastet i denne Side, er denne Heldning bleven fremskyndet saaledes, at Pillen tilsidst er væltet.



Hvorvidt denne Forklaring virkelig er den rigtige, maa jo selvfølgelig staae hen; en vis Bekræftelse erholder den imidlertid i den Omstændighed, at da man ved Sænkningen af den nye Pille var kommen ned til den omhandlede Dybde og underkastede Grunden en omhyggelig Undersøgelse, fandt man, som formodet, en Sandaare med Heldning imod Nord.

Hvad der nu end var Aarsag til det indtrufne Uheld, maatte man imidlertid være betænkt paa Midler til at bygge en ny Pille i Stedet for den omstyrtede. Spørgsmaalet om, hvorledes dette skulde iværksættes, frembød meget store Vanskeligheder, da Pillen netop var væltet i Broens Længderetning, og man derfor ikke kunde undgaae at støde paa den, selv om man forandrede Spændvidderne noget. At fjerne Pillen ved Sprængning kunde maaske have været forsøgt, men dels vilde det under de forhaandenværende Omstændigheder have været en meget usikker Fremgangsmaade, og dels nærede man Frygt for at beskadige de andre Piller. Man havde derfor i Virkeligheden kun Valget imellem enten at bygge to nye Piller, en paa hver Side af den væltede, eller forsøge paa at bryde igjennem denne og bygge den nye Pille paa samme Sted som den tidligere.

Ombygning
af Pillen.

Den første Methode var naturligvis den sikreste, men ogsaa en meget utilfredsstillende Løsning af Opgaven, da den fuldstændig vilde gøre Brud paa den Symetri, som man maa fordre ved et Bygningsværk som Limfjordsbroen, og desuden vilde blive meget kostbar, da der skulde bygges to Piller i Stedet for een og desuden anbringes en stærk og kostbar Jernkonstruktion imellem dem til at bære Overbygningen.

Den anden Methode var den smukkeste og fyldigste Løsning af Opgaven, men den frembød overordenlige Vanskeligheder og en betydelig Risiko for Entreprenørerne. Paa en Dybde af 21 Meter først at gjenembryde en Murmasse som den væltede Pilles, udvendig og indvendig beklædt med Jernkonstruktioner, og derefter at sænke en ny Pille ned imellem de afbrudte Stykker til en Dybde af 34 Meter under Vandfladen var et Arbejde af en saa særegen og ukjendt Natur, at man med Føie kunde vige tilbage ved Tanken om alle de tildels uberegnelige Forhold, som kunde træde hindrende iveien for dets Udførelse.

Efter længere Tids omhyggelige Undersøgelser bestemte Entreprenørerne sig ikke desto mindre for at vælge den sidst nævnte Methode og altsaa sænke den nye Pille ned igjennem den tidligere.

Man maa yde Compagnie de Fives Lille's Ingeniører den største Anerkjendelse for, at de ikke lode sig afskrække af de Vanskeligheder, som de vidste vilde møde dem ved dette Arbeide, for den Dygtighed, hvormed de overvandt alle Hindringer, og den Sikkerhed, hvormed det hele Arbeide blev gennemført. Ombygningen af denne Pille er derved kommet til at staae som et af de smukkeste og interessanteste Afsnit af det hele besværlige Brobygningsforetagende.

I Foraaret 1877 paabegyndtes Opførelsen af Stilladset til den nye Pille. Som det fremgaaer af Plan IX, maatte man ordne Pælene paa en noget anden Maade end tidligere, nemlig i to Grupper, een paa hver Side af den i Fjordbunden liggende Pille og forbundne foroven ved to 16 Meter lange Jerndragere, i hvilke Pillen blev ophængt.

Den 5te Juli 1877, altsaa elleve Maaneder efter at den første Pille var væltet, var Arbeidskammeret til den nye anbragt paa Stilladset, og Sænkearbeidet tog derefter sin Begyndelse.

Flytning af Pillen.

Efter at dette var fortsat til en Dybde af c. 12 Meter under daglig Vandstand, kom Entreprenørerne til det Resultat, at Pillen maatte flyttes, da den, naar den sænkedes videre, vilde støde paa Arbeidskammeret i den omstyrtede Pille, og en Gjennembrydning af dette ansaae man for uigjennemførlig.

Pillen blev da ogsaa, hængende i sine Kjæder, flyttet 3,15 m mod Syd, svarende til Længden af et Fag i Overbygningen. Paa det øverste af de Pillen nærmeste staaende Stilladspæle A D og B C (see Plan IX) anbragtes dobbelte Tvinger af svært Tømmer, som forlængedes ud over de søndre Pæle, idet de frie Ender støttedes mod disse ved Hjælp af stærke Skraastivere. Paa Tvingerne anbragtes en Opklodsning til Høide med Underkanten af de to Jerndragere e og f, i hvilke Pillen var ophængt, hvilken Opklodsning foroven forsynedes med Jernplader for at danne en glat Bane for de nævnte Dragere under Flytningen.

Efterat den søndre Del af Plankedækket var borttaget, blev der for at lette Pillen pumpet Luft ned i Arbeidskammeret til et Tryk af 1 Atmosfærer, hvorpaa man ved Hjælp af Dunkrafte, anbragte under Enderne af hver Drager, forskjød disse ganske langsomt mod Syd. Denne vanskelige Operation lykkedes fuldstændig. Pillen kom altsaa til at hænge i den søndre Side af Stilladset, og da de derværende Stilladspæle paa Grund heraf bleve temmelig stærkt belastede, blev det senere nødvendigt at anbringe endnu to Pæle under den frie Ende af de omtalte Tvinger.

Gjennembrydning af den omstyrtede Pille.

Den 25de August 1877 stødte den søndre Kant af Skjæret i en Dybde af 13 Meter under daglig Vandstand paa den omstyrtede Pille, og Gjennembrydningen af denne blev da paabegyndt. Navnlig i Begyndelsen maatte dette Arbeide foretages med stor Forsigtighed for at forhindre den nye Pille fra at glide paa den skraa Flade, som den omstyrtede frembød. Vægten blev derfor ved Op-muringen afpasset saaledes, at Pillen næsten kunde holde sig flydende og saaledes ikke udøvede noget videre Tryk paa Underlaget.

Selve Gjennembrydningen foretoges ved Hjælp af Meisler, med hvilke man først huggede en Rende langs med Skjæret og saa langt ind under dette, at det kunde passere fuldstændig frit gennem det omgivende Murværk, hvorefter man paa samme Maade fjernede det øvrige Materiale inde i Arbeidskammeret.

I det hele var dette et meget besværlig Arbeide, og navnlig voldte Sønderbrydningen af Nedgangsrøret mange Vanskeligheder, da det maatte skilles ad i smaa Stykker for at kunne skaffes ud af Pillen.

Arbeidet skred imidlertid jevnt fremad, man nærrede kun Frygt for at de afbrudte Stykker af den væltede Pille skulde sætte sig i Grunden og derved klemme den nye Pille fast imellem sig. Dette skete imidlertid ikke, men kort Tid efter at den søndre Side af Skæret var naaet igjennem Murværket, mærkede man, at den nye Pille begyndte at helde mod Nord, sandsynligvis paa Grund af et Tryk fra den søndre Del af den omstyrtede Pille.

Denne Heldning tog til, og man maatte derfor standse Sænkearbeidet og støtte Pillen ved en interimetisk Afstivning mod Overbygningen, som paa dette Tidspunkt var skudt omtrent halvveis ud over Landpillen paa Sundbysiden (see Plan IX).

Ved samtidig at fylde Grus ned paa den nordre Side af Pillen lykkedes det i Løbet af nogle Dage atter at rette denne, saaledes at Sænkearbeidet kunde gjenoptages.

Da man var naaet ned til en Dybde af henimod 20 Meter under Vandfladen stødte man pludselig paa større Jerndelev, som ved nærmere Eftersyn viste sig at være hele den søndre Side af det gamle Arbeidskammer med de dertil nittede Consoler; af Loftet og de derover liggende Jernbjælker fandtes derimod intet, saaledes at dette saavel som den nordre Side af Kammeret maa formodes at være blevet hængende ved Pillen. I det denne altsaa styrtede om og samtidig forskjød sig et Stykke imod Nord, er den søndre Side af Skjæret bleven fastholdt af Undergrunden og denne Del af Arbeidskammeret revet fra, hvorved det har faaet den i Plan IX viste omvendte Stilling.

Optagningen af disse Jerndelev, som man mod al Forventning traf paa, frembød ikke ubetydelige Vanskeligheder, da de ligesom Nedgangsrøret maatte skilles fuldstændig ad og tildels hugges over, for at man kunde skaffe dem ud gennem Luftkammeret.

Den 4de April 1878 lykkedes det endelig at fjerne de sidste Delev af den omstyrtede Pille, og Gjennembrydningen havde saaledes medtaget et Tidsrum af ialt $7\frac{1}{2}$ Maaned og udkrævet en Arbeidsstyrke af gennemsnitlig 40 Mand ved fortsat Arbeide Dag og Nat.

Ialt optoges af den tidligere Pille 20,300 Kilogram Jerndelev, 280 Kubikmeter Murværk samt 5 Kubikmeter Træ hørende til Stilladset.

Slutningen af Sænkearbeidet foregik fuldstændig paa samme Maade, som ved de andre Piller, kun sank Pillen ikke successive, efterhaanden som der udgravedes, men det var nødvendigt hyppig at mindske Lufttrykket, for at faae den til at gaa ned, hvad der tyder paa, at Stykkerne af den tidligere Pille have udøvet en stærk Friktion. Ikke desto mindre lykkedes det at sænke den fuldkommen lodret, og den 11te August 1878, altsaa efter 13 Maaneders Arbeide, var Ombygningen af denne Pille tilendebragt.

Strømpille Nr. 3.

Arbeidet ved denne Pille, som paabegyndtes den 7de September 1876 og derefter varede i 12 Maaneder til September 1877, frembød ingensomhelst Forhold af særlig Interesse, naar undtages, at det ved denne Pille lykkedes at sænke den til en Dybde af 26 Meter under Vandfladen uden Anvendelse af Lufttryk, idet Pillen ved sin Vægt trykkedes ned i Mudderet, som derefter udgravedes i det aabne Nedgangsrør dels ved Hjælp af en amerikansk Mudderske, dels i Begyndelsen ved almindelig Udgravning nede i Røret, da Mudderet var saa fast, at der intet Vand trængte ind i Pillen.

I en Dybde af 26 Meter bestod Grunden af Sand, og Pillen vilde da ikke synke videre, hvorfor man blev nødsaget til anvende den pneumatiske Methode paa de sidste 8 Meter.

Pillen, der under Sænkningen ligesom de øvrige, havde heldet snart til den ene og snart til den anden Side, blev staaende med en Heldning af 0_{12} Meter.

Svingpille Nr. 4.

Ligesom den foregaaende Pille sænkedes denne ned til en Dybde af c. 26 Meter uden Anvendelse af Lufttryk ved Udgravning nede i Pillen, og kun de sidste 8 Meter bleve funderede pneumatisk.

Ved Betragtning af den Tid, der medgik til denne sidste Del af Sænkningen, vil det sees, i hvor høi Grad det efterhaanden paa Grund af den større Øvelse, de under Arbeidet indhøstede

Erfaringer og de forskjellige indførte Forbedringer i Arbeidsredskaberne var lykkedes at fremme Arbeidet i Sammenligning med, hvad der blev præsteret i den første Tid.

De sidste 8 Meter af Svingpillen repræsenterede saaledes et Volumen af 568 Kubikmeter og sænkedes i et Tidsrum af 9 Uger, medens der f. Ex. til Sænkninger af de sidste 6 Meter af Strømpillen Nr. 6 repræsenterede et Volumen af 324 Kubikmeter anvendtes 13 Uger, saaledes at der for Svingpillens Vedkommende udførtes et Sænkearbejde af 63 Kubikmeter pr. Uge, ved Strømpille Nr. 6 derimod ikkun et Arbejde af 25 Kubikmeter i samme Tid.

3. Overbygningen.

Som alt tidligere anført bestaaer Overbygningen af 6,30 Meter høje prismatiske Gitterdragere, som ere førte continuerlig over de to faste Fag paa hver Side af Svingbroen. Længden af hver af de continuerlige Dragere bliver derved 132,3 Meter, medens Svingbrodragerne ere 53,55 Meter lange. Dragerne ere iøvrigt konstruerede med et firdobbelt System af Diagonaler, der danne en Vinkel paa 45° med Horizontalen og med tilhørende Verticaler i 3,15 Meters indbyrdes Afstand.

Som det fremgaar af Plan VI, der viser et Tværnsnit af Overbygningen, have de tvende Hoveddragere en indbyrdes Afstand af 4,90 Meter fra Midte til Midte, og da Verticalerne ere 500 m/m brede, bliver Broens indvendige frie Lysning saaledes 4,40 Meter ved en fri Høide af 4,961 Meter over Skinnernes Overkant.

Dragernes Hoved og Fod have et T formet Tværnsnit bestaaende af en Verticalplade 600×13, 2 Gurtvinkler $\frac{110 \times 110}{16}$ og et fra een til syv varierende Antal Dækplader 700×10, og til hvis Stamme Diagonalerne, som gennemgaaende ere dannede af $\square$ Jern, ere befæstede. Verticalerne bestaa af 4 Vinkeljern, der ere afstivede indbyrdes ved et Gitter af 100×8 m/m Baand, hvilket Gitter dog over Pillerne og i Midten af Svingbroen er erstattet med to 10 m/m tykke gennemgaaende Plader, ligesom Verticalerne paa disse Steder endvidere ere forstærkede med en 600 m/m bred Længdeplade, der er forbunden med Tværpladerne ved Hjælp af Vinkeljern (see Plan XI).

Foroven ere Hoveddragerne indbyrdes forbundne ved 600 m/m høje Gittere, der ere befæstede til hver anden Vertical ved Hjælp af 8 m/m tykke Hjørneplader. Over Pillerne ere disse Gittere af Stabilitetshensyn erstattede med massive Pladejerns-Dragere, ligesom Broen er yderligere afstivet i Sideretningen ved Hjælp af et øvre og nedre System af Andreaskors, foroven bestaaende af $\perp$ Jern, forneden af fladt Jern.

Tværdragerne, der ere anbragte ved hver Vertical, ere konstruerede som 600 m/m høje Pladejernsdragere med en Stamme af 8 m/m Tykkelse og to Gurtvinkler foroven og forneden af Dimension $\frac{100 \times 100}{14}$; de hvile med Enderne paa Foden af Hoveddragerne og ere yderligere forbundne med disse og med Verticalerne ved Hjælp af lodrette Vinkeljern.

Imellem Tværdragerne er der fastgjort to 450 m/m høje Længdedragere, konstruerede som Pladejernsdragere med en 8 m/m tyk Stamme og 4 Gurtvinkler $\frac{70 \times 70}{13}$, som tilligemed tvende Bjælker af $\square$ Jern, een paa hver Side af Broen, bære Træsvellerne, paa hvilke Skinnerne og Plankedækket ere befæstede.

De continuerlige Dragere have kun faste Leier paa det Sted, hvor de støde til Svingbroen, medens alle de andre Understøttelser ere konstruerede som Rulleleier, som tillade en Udvidelse og Sammentrækning af Dragerne ved Temperaturforandringer. De faste Leier bestaa af 1,20 Meter lange og 451 m/m høje Støbejerns Sko, der ved paastøbte Ribber paa Undersiden ere befæstede i Murværket. Rulleleierne ere paa Landpillerne og Mellempillerne konstruerede med henholdsvis 7 og 12 Stkr. 285 m/m høje Ruller, som ere fastholdte i deres Stilling ved Hjælp af 100 m/m brede Jernskinner, to paa hver Side af Rullerne.

Svingbroen dreier sig omkring en 300 $\frac{m}{m}$ tyk Smedejerns Tap og hviler paa et System af 24 coniske Staal-Ruller, der ved et omlobende $\square$ Jern ere forbundne indbyrdes til en Ring, 5,30 Meter i Gjennemsnit. Rullerne løbe paa en Støbejerns Krands, der gennem 8 paastøbte Arme er afstivet til et 501 $\frac{m}{m}$ høit Centerstykke, som omslutter Midtertappen. Foruden til at fastholde Tappen tjener dette Centerstykke endvidere til Leie for en Smedejerns Ring, til hvilken Rullerne ere forankrede gennem 50 $\frac{m}{m}$ tykke Rundjern og saaledes forhindrede fra at vige ud til Siden.

Plan XII.

Da Svingpillen er huul, hviler Centerstykket paa en stærk dobbelt Smedejerns Drager 800 $\frac{m}{m}$ høi, der tillige tjener til Føring for Midtertappen.

Den øvre Ring, som tjener til at overføre Broens Vægt paa Rullekrandsen, er konstrueret som en 328 $\frac{m}{m}$ høi Pladejernsdrager og er afstivet af 8 af tvende $\square$ Jern og overliggende Plader bestaaende Arme, der ere samlede om Midtertappen ved Hjælp af to stærke circulaire Plader og et mellemliggende støbt Udfyldningsstykke.

For at fastgjøre Broen om Midtertappen er Tværdrageren over Svingpillen delt i to Dragere, der løbe sammen ude ved Enderne, medens de i Midten have en indbyrdes Afstand af 550 $\frac{m}{m}$, saaledes at der imellem dem kan fastboltes et stærkt Centerstykke af Støbejern, som omslutter Tappen.

Af Hensyn til mulige uregelmæssige Sænkninger i Murværket og en deraf følgende forøget Gnidningsmodstand i Rullekrandsen, er der truffet den Ordning, at en Del af Broens Vægt kan overføres paa Midtertappen, der til den Ende foroven er forsynet med Frictionsskiver og et overliggende 100 $\frac{m}{m}$ tykt Smedejerns Dæksel, som overfører Trykket paa Tappen ved Hjælp af 4 Stkr. 70 $\frac{m}{m}$ tykke Bolte. Forneden ende disse Bolte under de circulaire Plader, som tjene til Befæstelse for Armene i den øvre Ring.

Som det fremgaaer af Plan XII er hele Svingmekanismen omgivet af en Støbejerns Ramme, som saavidt muligt skulde forhindre Vandet fra at trænge ind i Pillen; den indvendige halve Omkreds af denne Ramme er forsynet med en Tandkrands, i hvilken Drevet, som tjener til at svinge Broen, griber ind. Da denne Mechanisme imidlertid ikkun tillader at aabne Broen til een Side og i en Vinkel paa 90 Grader, ligesom den ogsaa kun var indrettet med enkelt Indgriben, blev den senere forandret, saaledes som angivet paa Planen, idet der udenom den støbte Ramme blev anbragt endnu en Tandkrands, der fastgjordes paa selve Pillen, og med tilhørende dobbelte Støbestaals Drev. Udenom Tandkrandsen anbragtes en Pladejerns Skjærm til Beskyttelse for denne.

Foruden at man ved denne Indretning erholdt en betydelig forøget Kraft saavel paa Grund af den dobbelte Indgribning som ogsaa paa Grund af Krandsens noget større Diameter, opnaaede man desuden den væsentlige Fordel at kunne dreie Broen til begge Sider, hvad der navnlig ved stærk Blæst og naar man dreier »med Vinden« letter Arbeidet i høi Grad.

Naar Broen er lukket, hviler Enden af hver Svingbroarm paa to Excentriker, fastgjorde paa samme Axel og som ved Hjælp af en vertical Skrue, der virker paa en paa Axlen fastgjort Vægstangsarm, kunne dreies saaledes, at de hæve Drageren op i den rette Høide; en Pahl, der samtidig skyder sig frem i en, i det tilstødende faste Brofag fastgjort Sko, forhindrer Broen i at dreie sig til Siden.

Til foreløbig at standse Broen, idet den svinges ind, er der ved hver Ende af Broen i den yderste Vertical anbragt endnu en Pahl, som kan skrues frem i det tilstødende faste Fag.

Som det fremgaaer af Plan XIV, bleve de ved begge Ender af Broen anbragte Tilslutningsfag konstruerede som 3,15 Meter høie, prismatiske Gitterdragere med et dobbelt System af Diagonaler. I Tversnit var deres Konstruktion iøvrigt i nøie Overensstemmelse med den øvrige Bro. Paa de oprindelige Landpiller ere de forankrede paa faste Støbejerns Sko, medens de ved Temperaturforandringer fremkaldte Udvidelser og Sammentrækninger reguleres ved Rulleleier paa de i Tilslutnings-Dæmningerne opførte Fundamenter, paa hvilke Dragerne hvile.

Tilslutningsfagene.

Overbygningens
Montering
og Anbringelse.

Alle Jerndelene til Overbygningen fabrikeredes i Compagnie de Fives-Lille's Værksteder i Lille og forsendtes derfra i færdig tilpasset Stand, hvorpaa de faste Fag samledes paa Tilslutnings-Dæmningerne bagved Landpillerne, medens Svingbroen monteredes paa sin Plads paa et i Fjorden opført Stillads. Dette Stillads bestod af lange 12 Tommers Bjælker, der naaede fra Pille til Pille og paa Midten støttedes af en Jernbjælke, hvilende paa to af de svære Stilladspæle, som vare benyttede ved Bygningen af Pillerne. Til Opstillingen benyttedes en Løbekran, som paa et Spor kunde forskydes hen over hele Svingbroen (Plan X).

Som alt bemærket, bleve de faste Fag samlede og nittede paa de respektive Landdæmninger, idet det var Hensigten at anbringe dem paa deres Plads ved at skyde dem ud over Pillerne.

Maaden, paa hvilken dette Arbejde udførtes, saavel som de Apparater og Redskaber, som benyttedes til Udsætningen, findes fremstillede paa Plan XIII.

Saavel paa Pillerne som paa de paa Landdæmningerne anbragte Opklodsninger under Dragerne blev der fastgjort Støbejerns Ruller af den i Planen viste Form. For at modvirke pludselige Stød af Overbygningen, der kunde udsætte Rullernes Axler for Brud, hvilede disse paa elastiske Underlag bestaaende af skaalformede Staalskiver, indesluttende i en Jernkasse og dækkede med en Smedejernsplade.

Efter at Rullerne vare anbragte foretoges en midlertidig Forstærkning af de midterste Verticaler i Overbygningen ved Hjælp af 10 Stkr. 8" $\times$ 8" Tømmer, der fastboltedes til Jernene, for derved at modvirke de stærke Transversalkræfter, som fremkomme, naar Drageren er skudt ud over den første Pille og endnu ikke har naaet at faae fast Understøttelse paa den næste. For at forhindre Dragerne fra at vippe om blev den bageste Ende endvidere belastet med en Del Jernbaneskiner.

Selve Udsætningen skete ved Hjælp af to stærke Spil med tilhørende Systemer af Tallier. Spillene anbragtes paa Overbygningen som vist i Planen, medens Tallierne fastgjordes dels paa Undersiden af Dragerne, dels til Bjælker, der vare lagte foran de paa Pillerne anbragte Opklodsninger, hvorved man tillige ophævede Trykket af Overbygningen, idet denne skjød sig frem over Pillerne.

Udsætningen udførtes af 8 Mand ved hvert Spil. Den 770,000 Pd. svære Drager bevægede sig jevnt ud over Rullerne med en Middelhastighed af 6 Meter i Timen. Saasart en Pille var naaet, blev Enden af Drageren skruet tilveirs ved Hjælp af Dunkrafte og bragt til at hvile paa Rullerne. Bøiningen af den frit nedhængende Ende af Drageren var i Maximum 0,27 Meter, hvoraf det noksom fremgaaer, i hvor høi Grad Materialet i Overbygningen bliver anstrængt ved denne Monteringsmethode.

Efter at Overbygningen var ført ud over Pillerne, blev den sænket ned paa de definitive Underlag, efter at man først paa alle tre Piller havde anbragt svære Dunkrafte for at lette Drageren saa meget, at man kunde fjerne de interimistiske Ruller og Opklodsninger. For at sænke Dragerne jevnt og langsomt ned paa Leierne benyttede man sig af Sandtønder af lignende Indretning som de, der benyttes til Sænkning af Bærebuerne under murede Hvælvinger.

Ved Udgangen af Aaret 1878 var Broen fuldført, hvorefter den blev underkastet de i Kontrakten om Bygningen foreskrevne Prøver permanent og mobil Belastning svarende til 1 Ton eng. pr. løbende Fod af Broen.

Til Belastningen benyttedes et Tog bestaaende af et Godslokomotiv og 20 med Grus belæssede Godsvogne, der passerede Broen med en Fart af c. 4 Mil i Timen.

Ved hvilende Belastning var den største Bøining af Dragerne i de faste Fag 25 $\frac{m}{m}$ for et enkelt Fag og 20 $\frac{m}{m}$, naar to tilstødende Fag vare belastede. Under den rullende Belastning var Maximalbøiningen 12,5 $\frac{m}{m}$.

Samtlige Bøininger forsvandt, efter at Belastningen var fjernet.

For Svingbroens Vedkommende var Virkningen af Belastningen umærkelig. I udsvinget Stilling sænkede Dragerenderne sig 13,5 $\frac{m}{m}$.

		Enkeltsum		Hovedsum	
		Francs	c.	Francs	c.
Overført....		253,000	»	2,915,655	»
Afviserværkerne foran Svingbroen					
Vestre Afviserværk.....	151,100 fr.				
Østre do.	151,400 -	302,500	»		
Stenkastningerne omkring Strømpillerne					
Søsten: 7,485 ₅₃ Kbm. à 17 fr.....	127,254 ₀₁ fr.				
harpet Grus: 5,174 ₄ Kbm. à 12 fr.....	62,092 ₈₀ -	189,346	81	744,846	81
Arbejder udførte af Compagnie de Fives-LilleTilsammen Francs				3,660,501	81
		Kroner	Øre	Kroner	Øre
3,660,501 ₈₁ Francs à 0.72 Kr.				2,635,561	30
Land-Dæmningerne.					
Jordarbeidet		24,275	»		
Stenarbeidet		18,377	79		
Søndre Landpilles Forskydning		5,902	25		
Forskjellige mindre Arbejder		12,075	14	60,630	18
Lægning af Sporet.					
4,700 løbende Fod Spor; alle Materialier inkl.				33,161	66

Ialt for hele Broanlægget Kroner: 2,729,353.14.

Af Afsnittene A og B fremgaae følgende Enhedspriser:

Samtlige 7 Piller indeholde 11,400 Kubikmeter Murværk

er pr. Kubikmeter Pille $\frac{2,030,655}{11,400} = 178,13$ francs.

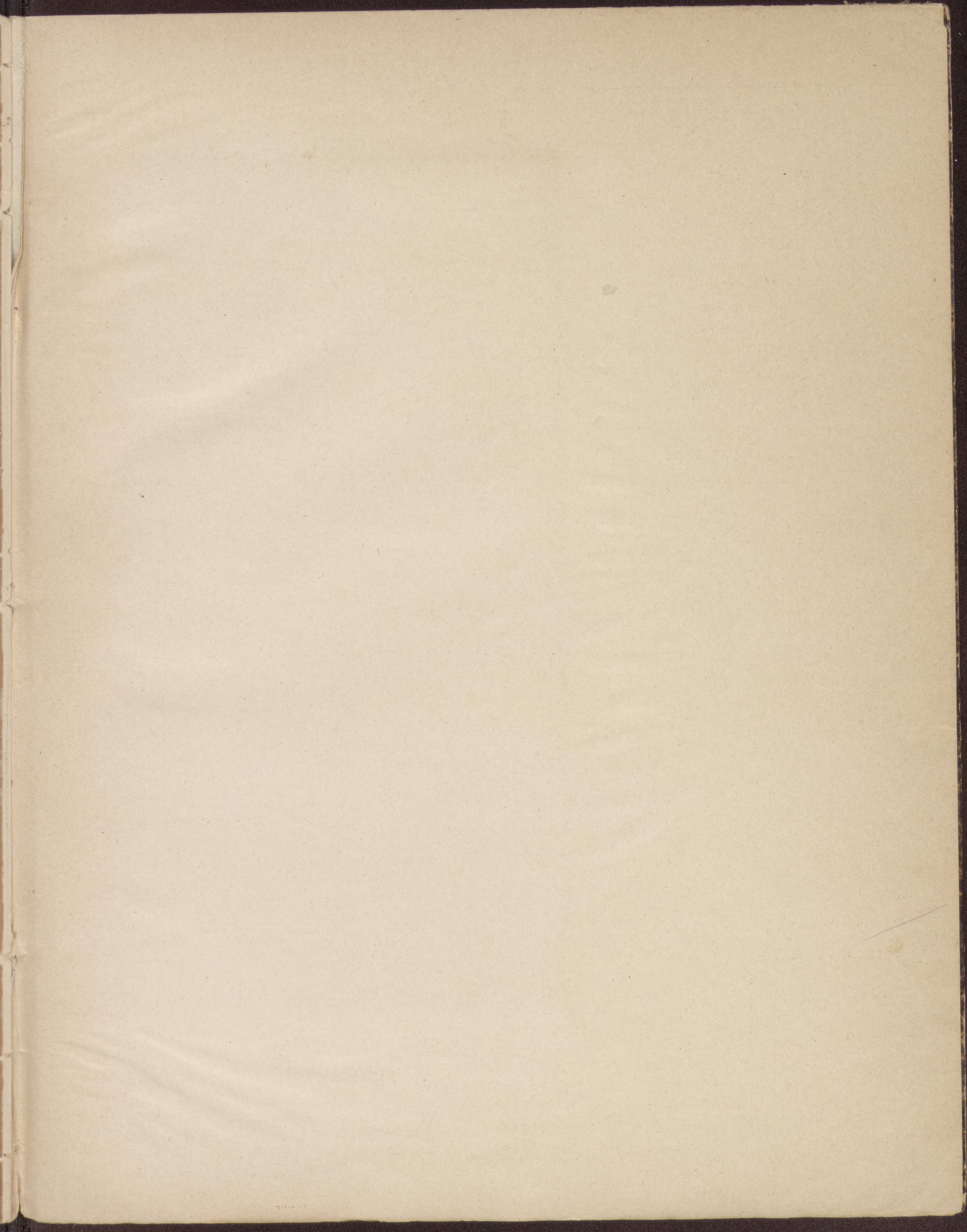
Vægten af samtlige Jerndeale i Overbygningen er 941,000 Kil.

er pr. Kilogram af Overbygningen $\frac{885,000}{941,000} = 0,94$ francs.

Aarhus, September 1884.

Tegner.

Overingenieur for de nye Statsbaneanlæg.



DTV Danmarks Tekniske
Videncenter
Teknologihistorisk Samling

TB
624.69
Ber

461248



300189574

1884

