

UNIV.-BIBL Afd. 2

*8. Ingeniør.
Plas*

**Moderne
Betonteknik .**

1942.

x

DANSK INGENIØRFØRENING

MODERNE BETONTEKNIK

BETONTEKNIKENS UDVIKLING GENNEM
DE SENERE AAR

FOREDRAG OG DISKUSSIONER
FRA KURSUS I DANSK INGENIØRFØRENING

1942



MCMXLI

DYVA & JEPPESENS BOGTRYKKERI AKTIESELSKAB
KØBENHAVN

Pris Kr. 7.50

Universitetsbiblioteket
2. Afd. - København N.

INDHOLDSFORTEGNELSE OG PROGRAM

for

KURSUS I MODERNE BETONTEKNIK

Betontechnikens Udvikling gennem de senere Aar

5.—7. Februar 1942

Torsdag den 5.

	Side
Kl. 10,00. Mødets Inledning	9
Foredragsholder: Civilingeniør <i>Poul Skjoldborg</i> : »Ce- ment«	11
Diskussionsindleder: Direktør, Civilingeniør <i>J. E. Lø- venthal</i> .	
Mødeleder: Civilingeniør <i>Axel Riis</i> .	
Referent: Civilingeniør <i>V. Sthyr</i> .	
Kl. 14,00. Foredragsholder: Professor, Civilingeniør <i>E. Suenson</i> : »Betons Sammensætning«	37
Diskussionsindleder: Civilingeniør, Dr. techn. <i>Erik V. Meyer</i> .	
Mødeleder: Amtsvejinspektør, Civilingeniør <i>S. Ellert</i> .	
Referent: Civilingeniør <i>Axel Riis</i> .	

Fredag den 6.

Kl. 10,00. Foredragsholder: Civilingeniør <i>Niels M. Plum</i> : »Mo- derne Komprimeringsmetoder«	62
Diskussionsindleder: Civilingeniør <i>H. Dührkop</i> .	
Mødeleder: Civilingeniør <i>A. J. Moe</i> .	
Referent: Civilingeniør, Dr. techn. <i>Erik V. Meyer</i> .	
Kl. 14,00. Foredragsholder: Civilingeniør, Dr. techn. <i>Chr. Osten- feld</i> : »Armering af Jernbetonkonstruktioner«	98
Diskussionsindleder: Civilingeniør <i>Johs. Christensen</i> .	
Mødeleder: Kommuneingeniør, cand. polyt. <i>J. A. Chr. Rastrup</i> .	
Referent: Civilingeniør <i>H. Dührkop</i> .	

Lørdag den 7.

Side

Kl. 10,00. Foredragsholder: Overingeniør, cand. polyt. <i>R. Halfdan-Nielsen</i> : »Forskalling«	131
Diskussionsindleder: Overingeniør, cand. polyt. <i>Villiam Raaschou</i> .	
Mødeleder: Civilingeniør, Dr. techn. <i>Chr. Ostenfeld</i> .	
Referent: Civilingeniør <i>E. H. Sternow</i> .	
Kl. 14,00. Foredragsholder: Civilingeniør <i>S. Friis Jespersen</i> : »Betonarbejdets Udførelse«	154
Diskussionsindleder: Civilingeniør <i>R. A. Larsen</i> .	
Mødeleder: Overingeniør, cand. polyt. <i>Knud V. Rasmussen</i> .	
Referent: Civilingeniør <i>Otto Christensen</i> .	
Kl. 16,30. Fremvisning af <i>F. L. Smidth-Filmene</i>	175
Mødets Afslutning	178

KURSUSUDVALG

- Civilingeniør *K. O. Christensen*, Bygningsingeniørgruppens Bestyrelse.
Amtsvejnspektør, Civilingeniør *S. Ellert*, Amtsvejnspektørforeningen.
Civilingeniør *Hakon Gertsen*, Bygningsingeniørgruppens Bestyrelse.
Civilingeniør *Jens Johansen*, Bygningsingeniørgruppens Formand,
Udvalgets Formand.
Civilingeniør *A. J. Moe*, Foreningen af raadgivende Ingeniører.
Civilingeniør, Dr. techn. *Chr. Ostenfeld*, Dansk Selskab for Bygnings-
statik.
Overingeniør, cand. polyt. *Knud V. Rasmussen*, Dansk Ingeniørfor-
enings Entreprenørgruppe og Bygningsingeniørgruppens Be-
styrelse.
Kommuneingeniør, cand. polyt. *J. A. Chr. Rastrup*, Stads- og Havne-
ingeniørforeningen og Bygningsingeniørgruppens Bestyrelse.
Civilingeniør *Axel Riis*, Arbejdsgruppen for Vejbygning og Byplan-
lægning.
Distriktsingeniør, cand. polyt. *Svend Svendsen*, Bygningsingeniør-
gruppens Bestyrelse.

FOREDRAGSHOLDERE

- Overingeniør, cand. polyt. *R. Halfdan-Nielsen*.
Civilingeniør *S. Friis Jespersen*.
Civilingeniør Dr. techn. *Chr. Ostenfeld*.
Civilingeniør *Niels M. Plum*.
Civilingeniør *Poul Skjoldborg*.
Professor, Civilingeniør *E. Suenson*.

DISKUSSIONSINDLEDERE

- Civilingeniør *Johs. Christensen*.
Civilingeniør *H. Dührkop*.
Civilingeniør *R. A. Larsen*.
Direktør, Civilingeniør *J. Loventhal*.
Civilingeniør, Dr. techn. *Erik V. Meyer*.
Overingeniør, cand. polyt. *Villiam Raaschou*.

UDGIVELSEN OG REDAKTIONEN

forestaaet af
Civilingeniør *Jens Johansen*.

KURSUSDELTAGERE

- | | |
|--|--|
| <p>Civilingeniør <i>H. Allarp</i>
 Civilingeniør <i>Carl Andersen</i>
 Civilingeniør <i>K. B. Andersen</i>
 Civilingeniør <i>Svend Arnholtz</i></p> <p>Civilingeniør <i>O. T. Barfod</i>
 Civilingeniør <i>S. Holm Bentzen</i>
 Ingeniørfirmaet <i>Berthelsen & Jessen</i>
 (2 Deltagere)
 Civilingeniør <i>S. Birch</i>
 Civilingeniør <i>V. L. Bjerregaard</i>
 Civilingeniør <i>Arne Bjørn</i>
 Civilingeniør <i>M. Qvistgaard Bjørn</i>
 Civilingeniør <i>L. M. Blok</i>
 Civilingeniør <i>Jørgen Bohm</i>
 Civilingeniør <i>H. G. Bruun</i>
 Civilingeniør <i>T. Brøndum-Nielsen</i></p> <p>Civilingeniør <i>H. Christensen</i>
 Civilingeniør <i>H. Bank Christensen</i>
 Civilingeniør <i>Wilfred Christensen</i>
 Ingeniørfirmaet <i>Christiani & Nielsen</i>
 (15 Deltagere)
 Civilingeniør <i>K. Lange Clausen</i>
 Civilingeniør <i>P. Culmsee-Hansen</i></p> <p><i>Dansk Vejlaboratorium</i> (4 Deltagere)
 Civilingeniør <i>O. Elbro</i>
 Civilingeniør <i>Mogens Eller</i>
 Civilingeniør <i>Harald Ewaldsen</i></p> <p>Civilingeniør <i>H. Fokdal</i>
 Civilingeniør <i>O. Frandsen</i>
 <i>Frederiksberg Kommunes tekniske</i>
 <i>Forvaltning</i> (3 Deltagere)
 Civilingeniør <i>H. G. Friis</i></p> <p>Civilingeniør <i>Orla Gerdil</i>
 Civilingeniør <i>J. E. Gerhard</i>
 Civilingeniør <i>O. Glarbo</i>
 Civilingeniør <i>C. V. Grambye</i>
 Civilingeniør <i>F. A. Grimsehl</i></p> <p>Civilingeniør <i>Herman Hansen</i>
 Civilingeniør <i>Jørgen Hansen</i>
 Civilingeniør <i>M. Kidde Hansen</i>
 Stads- og Havneingeniør, cand. polyt.
 <i>B. V. Harsløf</i></p> | <p>Civilingeniør <i>M. Hartlung</i>
 Civilingeniør <i>P. B. Hasbo</i>
 Civilingeniør <i>Kaj Hauer</i>
 Civilingeniør <i>P. B. Helwich</i>
 Civilingeniør <i>Aage Henningsen</i>
 Baneingeniør, cand. polyt. <i>Aage</i>
 <i>Hertzum</i>
 Civilingeniør <i>J. H. Hoffmann</i>
 Civilingeniør <i>Jørgen Hoffmann</i>
 Civilingeniør <i>Olaf Hoffmann</i>
 Civilingeniør <i>H. G. Holle</i>
 Civilingeniør <i>Ib Hvidberg</i>
 <i>A/S Højgaard & Schultz</i> (3 Deltagere)
 Civilingeniør <i>K. V. Hoyer</i></p> <p>Civilingeniør <i>C. Iving</i>
 Civilingeniør <i>E. Ingerstev</i>
 Civilingeniør <i>J. Ingwersen</i>
 Civilingeniør <i>Hans Iversen</i></p> <p>Civilingeniør <i>G. K. Jensen</i>
 Civilingeniør <i>Gunnar Jensen</i>
 Civilingeniør <i>M. Holst Jensen</i>
 Civilingeniør <i>Aage Jespersen</i>
 Ingeniørfirmaet <i>A. Jespersen & Søn</i>
 (5 Deltagere)
 Civilingeniør <i>Ernst Jessen</i>
 Civilingeniør <i>Micheli Jessen</i>
 Civilingeniør <i>H. Breinholm Johansen</i>
 Civilingeniør <i>C. Ringe Jørgensen</i>
 Civilingeniør <i>Folmer Jørgensen</i>
 Civilingeniør <i>O. P. Jørgensen</i></p> <p><i>A/S. Kampsax</i> (5 Deltagere)
 Civilingeniør <i>C. C. Kirchheiner</i>
 Civilingeniør <i>E. S. Kiær</i>
 Civilingeniør <i>Knud Kjær-Petersen</i>
 Civilingeniør <i>F. H. Klingemann</i>
 Ingeniørfirmaet <i>Knudsen & Sørensen</i>
 Civilingeniør <i>Povl Kornerup</i>
 Civilingeniør <i>T. F. Krarup</i>
 <i>Københavns Havnevæsen</i> (8 Del-
 tagere)</p> <p>Civilingeniør <i>E. B. Ladegaard</i>
 Civilingeniør <i>E. O. Lage</i>
 Civilingeniør <i>P. Lang.</i>
 Civilingeniør <i>H. Laurent-Lund</i></p> |
|--|--|

Civilingeniør *J. A. Laursen*
Civilingeniør *R. K. Laursen*
Civilingeniør *Svend Lerche*
Civilingeniør *Ove Lunøe*
Lyngby-Taarbæk Kommunes tek-
niske Forvaltning (2 Deltagere)

Civilingeniør *K. M. P. Maarbjergh*
Oberstløjtnant *H. Maare*
Civilingeniør *E. Bendix Madsen*
Civilingeniør *Holger Madsen*
Civilingeniør *N. J. Manniche*
Civilingeniør *F. R. Michelsen*
Civilingeniør *Aksel H. Mikkelsen*
Civilingeniør *A. J. Moe*
Civilingeniør *Jørgen Müller*
Civilingeniør *P. Mølgaard*
Civilingeniør *Axel Møller*
Civilingeniør *Poul Nyholm Møller*
Civilingeniør *Poul Mørch*

Civilingeniør *Axel Nielsen*
Civilingeniør *Axel Nielsen, Odense*
Civilingeniør *E. E. Nielsen*
Civilingeniør *Ejnar Nielsen*
Civilingeniør *Frede Nielsen*
Civilingeniør *H. E. Nielsen*
Civilingeniør *Mogens Falk Nielsen*
Civilingeniør *Peter M. Nielsen*
Civilingeniør *S. A. Nielsen*
Civilingeniør *Sv. Aa. Nielsen*
Civilingeniør *E. Nilou*
Stads- og Havneingeniør, cand. polyt.
H. Nygaard

Civilingeniør, Dr. techn. *Chr. Ostens-*
feld (2 Deltagere)

Overingeniør, cand. polyt. *E. Park.*
Civilingeniør *H. Paulli*
Civilingeniør *Jørgen Paulsen*
Civilingeniør *H. L. Pedersen*
Civilingeniør *Ingvard Pedersen*
Civilingeniør *Klaus Carsten Pedersen*
Civilingeniør *L. Perregaard*
Civilingeniør *Felix Petersen*

Civilingeniør *Flemming Petri*
Civilingeniør *Eigil Poulsen*
Civilingeniør *J. Johs. Poulsen*
Civilingeniør *Holger Preetzmann*

Civilingeniør *H. A. F. Raabæk*
Generalmajor *P. Ramm*
Civilingeniør *W. K. Ramsing*
Civilingeniør *K. V. Rasmussen*
Civilingeniør *Søren Rasmussen*
Civilingeniør *Svend Reimers*

Ingeniørfirmaet *Saabye & Lerche*
(4 Deltagere)

Civilingeniør *Harry Schrøder*
Civilingeniør *Louis Schumacher*
Civilingeniør *K. Seidler*
Civilingeniør *Erik F. Smidth*
A/S. F. L. Smidth & Co. (12 Del-
tagere)

Stadsarkitektens Direktorat, Køben-
havn (2 Deltagere)

Stadsingeniørens Direktorat, Køben-
havn (21 Deltagere)

Civilingeniør *Viggo Steenstrup*
Civilingeniør *Viggo Sthyr*
Civilingeniør *G. Storm*
Civilingeniør *Erik Straaso*
Civilingeniør *Hans Sveistrup*
Civilingeniør *W. Syndergaard*

Teknisk Central (2 Deltagere)

Civilingeniør *Jul. Terpøger*
Civilingeniør *A. H. Thomassen*
Civilingeniør *Sv. Høy Thomsen*
Civilingeniør *Axel Thrane*

Civilingeniør *Jack Vikens*
Civilingeniør *Preben Vinding*

Civilingeniør *Mogens Weitemeyer*
Civilingeniør *Per Wellendorf*
Civilingeniør *Ernst Wille*
Civilingeniør *N. C. Winkel*
Civilingeniør *Aage Winther*

Civilingeniør *A. Østergaard.*

MØDETS INDLEDNING

Kursusudvalgets Formand, Civilingeniør *Jens Johansen*:

Bygningsingeniørgruppens Bestyrelse har ment, at der indenfor det Omraade, der kan betegnes »*Moderne Betontechnik*« var saa mange Spørgsmaal, det maatte være af Interesse at faa belyst og drøftet, at der var Grund til at behandle dette Emne paa den Maade, der i de senere Aar har været anvendt ved de i Dansk Ingeniørforening afholdte Kursus.

Bestyrelsen bestemte sig derfor til at nedsætte et Udvalg og til at indbyde de Organisationer indenfor Ingeniørforeningen, som man mente var interesseret i disse Spørgsmaal til at lade sig repræsentere i dette Udvalg, der blev nedsat med Bygningsingeniørgruppen som økonomisk og ansvarlig Garant.

Det har vist sig at være en Idé, der har »slaaet an«. Fra alle Sider har man modtaget god Tilslutning, baade fra Foredragsholdere, Diskussionsindledere og fra alle andre, man har anmodet om at medvirke ved Gennemførelsen, og endelig, hvad der er det afgørende, fra Deltagerside.

Kursusudvalget takker for den Tilslutning, man har mødt fra alle Sider, og byder alle Velkommen.

CEMENT

Af Civilingeniør *Poul Skjoldborg*.

Beton og Jernbeton har i de senere Aar fundet en stadig stigende Anvendelse og Udbredelse, ikke mindst fordi Teknikken ved Betonfremstilling stadig er blevet udviklet og forbedret, samtidig med at ogsaa Betonens Kvalitet er blevet i høj Grad forbedret og tilpasset til forskellige Formaal. Forbedringen af Betonens Kvalitet skyldes for en Del den udviklede og forbedrede Teknik ved Fremstillingen, men desuden ogsaa det større Kendskab, man efterhaanden har erhvervet med Hensyn til den mest rationelle Sammensætning af Beton og endelig Forbedringer i selve Cementens Kvalitet.

Beton fremstilles som bekendt af Cement, Vand og forskellige Tilslagsmaterialer samt forsynes i Tilfælde af, at det drejer sig om Jernbeton yderligere med Jernarmering. For den færdige Betons Kvalitet er saavel Fremstillingsmaaden som Kvaliteten af de enkelte Bestanddele og disses Blandingsforhold af afgørende Betydning. Cementen er saaledes kun en, men ganske vist en væsentlig Bestanddel af den færdige Beton, og jeg skal i det følgende Foredrag forsøge at give Dem en Oversigt over vor nuværende Viden om Cementens fysiske og kemiske Sammensætning og dennes Betydning for de Egenskaber ved Cementen, der har særlig Interesse ved Betonfremstilling, nemlig Bindetid, Volumenbestandighed, Styrker, Svind, Varmetoning og Modstandsdygtighed mod aggressive Opløsninger, og jeg skal herunder ogsaa forsøge at trække nogle af Linierne op for de Fremskridt, der i de senere Aar er gjort i Retning af Forbedring af den normale Cements Kvalitet, og for Udvikling af bestemte Egenskaber ved Special-Cementer beregnet til særlige Formaal.

Ved Cement forstaar man i Almindelighed et Bindemiddel, og for at afgrænse en særlig Klasse af Cement, som er egneth til Betonarbejder og særlig til Jernbeton, har man i de forskellige Lande udgivet visse Normer for en særlig Cementtype, som herefter maa føre Navnet Portland-Cement. Som sagt er Cementens Endemaal at tjene som en Bestanddel af Beton, og det vilde derfor være mest nærliggende at prøve Cementens forskellige Egenskaber ved Undersøgelse af den fær-

dige Beton. Da dette imidlertid i mange Tilfælde er meget besværligt, foruden at det ogsaa vilde kræve ret store Materiale-mængder, har man forsøgt at udvikle laboratoriemæssige Undersøgelser af enten den rene Cement eller Cementmørtel, som kan give Oplysninger om Cementens Egnethed til Betonstøbning, samtidig med at man har søgt at skaffe Klarhed over Cementens Opbygning og Sammensætning og at fastslaa de enkelte Bestanddeles Betydning for Kvaliteten af den færdige Beton.

Portland-Cement fremstilles ved Sammenblanding og Sammenmaaling af forskellige Raamaterialer her i Landet bestaaende af Kridt, Ler og mindre Mængder Sand. Denne Raablanding brændes i Roterovn til Klinker, som saa igen formales under Tilsætning af ca. 3 % Raagips til Cement. Til Karakterisering af Cement kan man anvende en kemisk Analyse samt en Angivelse af Cementens Finhed. Ved Analysen kan man bestemme de enkelte Oxyder saasom CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , der udgør Hovedbestanddelen af Cementen. Endvidere bestemmes SO_3 væsentlig hidrørende fra den tilsatte Gips, og endelig er det muligt yderligere at bestemme Indholdet af de mindre Iblandinger, som nærmest er uønskede og derfor kan karakteriseres som Urenheder fra Raamaterialerne, — disse omfatter MgO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , Mn_2O_3 , P_2O_5 . Denne Analyse siger dog intet om, hvorledes de forskellige Oxyder er kombinerede, men giver alligevel en Del Oplysninger om Cementens Sammensætning. For nærmere at bedømme Kvaliteten ud fra denne Analyse har man paa Grundlag af Analysen opstillet forskellige Oxydforhold benævnt Moduler, saaledes hydraulisk Modul o. s. v. Ud fra Modulerne er det til en vis Grad muligt at sige en Del om Cementens Kvalitet, men Undersøgelser af Forhold mellem Moduler og enkelte Egenskaber ved Cementen har dog kun vist en Sammenhæng i meget grove Træk.

Der er i de sidste Aar gjort et stort Arbejde for at faa opklaret, hvorledes de enkelte Oxyder er kombineret i Klinkerne. Gennem meget omfattende Undersøgelser dels af Faseligevægten i ternære Systemer som $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO}$, $\text{CaO} - \text{MgO} - \text{SiO}_2$, $\text{CaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ o. fl. og dels i det kvaternære System $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ og endvidere gennem mikroskopiske Undersøgelser af Tyndslib af Klinker og i den sidste Tid ogsaa gennem Studiet af Røntgenstraalediagrammer er det lykkedes at finde de Forbindelser, der er stabile ved fuldstændig Krystallisation til Ligevægt ved den Temperatur, hvorved Klinkerne brændes. Disse Forbindelser er C_3S , C_2S , C_3A (C_5A_3), C_4AF (C_2F).^{*} Med Hensyn til de sekundære Oxyder har man

^{*} For Nemheds Skyld skriver man ved Betegnelse af Klinkerkomponenterne CaO som C, SiO_2 som S, Al_2O_3 som A og Fe_2O_3 som F. 3CaO , SiO_2 forkortes saaledes til C_3S og 4CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 til C_4AF .

fundet, at MgO ikke indgaar Forbindelse, men findes frit dels krystallinsk som MgO, Periclas og dels i fast Opløsning i C_4AF . Det er endnu ikke ganske klarlagt, hvorledes Alkalierne forekommer, — dog synes den stabile Forbindelse for Natrium at være $8 CaO \cdot Na_2O \cdot 3 Al_2O_3$ og for Kalium $K_2O \cdot Al_2O_3$. For de øvrige Urenheder ved man endnu kun meget lidt om, hvorledes de forefindes. Ud fra den kemiske Analyse af en Klinkerprøve kan man nu beregne sig til Klinkernes Sammensætning under Forudsætning af, at der var indtraadt Ligevægt og fuldstændig Krystallisation ved Brændingen, men da dette som Regel ikke er Tilfældet ved den praktiske Brænding af Klinker, kompliceres Forholdene yderligere. For det første er det ikke altid, at der naas Ligevægt og den dertil svarende Kombination, men en Del af Kalken forbliver ubundet, den saakaldte frie Kalk. I de senere Aar er der dog udviklet en ret paalidelig Metode til Bestemmelse af den frie Kalk i Klinkerne, og det er saaledes muligt at tage Hensyn til denne ved Beregningen af Klinkernes Sammensætning. Ved den maksimale Temperatur omkring 1450° , hvortil Klinkerne brændes, findes afhængig af Raamaterialets Sammensætning mellem $\frac{1}{4}$ og $\frac{1}{3}$ af Klinkermassen som flydende Fase, og i Almindelighed foregaar Afkølingen af Klinkerne saa hurtigt, at denne flydende Fase kun delvis naar at krystallisere, medens Resten stivner i Form af Glas. Idet Glasmassen indeholder en større Mængde bundet Energi end de dertil svarende Krystaller, er det muligt gennem Bestemmelsen af denne Mængde bundne Energi at faa et Begreb om Mængden af Glas i en bestemt Klinkerprøve. Dette kan foretages paa den Maade, at man dels bestemmer Opløsningsvarmen for Klinkerne, saaledes som de foreligger, og dels efter at man gennem fornyet Opvarmning og meget langsom Afkøling af Klinkerne har faaet al Glasmassen omdannet til Krystaller. Forskellen i Opløsningsvarmen er da et Maal for den oprindelige Mængde af Glas. Om Glasmassens nøjagtige Sammensætning har man dog endnu ikke fuld Klarhed, og der er iøvrigt heller ikke fuld Enighed om, hvorvidt den virkelig bestaar af Glas eller af submikroskopiske Krystaller eller muligvis en Mellemting herimellem. Glasmassen indeholder sandsynligvis det meste C_4AF , C_3A og en mindre Del C_2S . En Del af MgO kan findes i fast Opløsning i Glasmassen, og endelig findes her sandsynligvis Alkalierne og muligvis ogsaa flere af de andre Urenheder.

Har man saaledes i store Træk klarlagt Cementens kemiske Opbygning, bliver det næste Karakterisering af Cementens Finhed. Denne er først blevet angivet som Resten ved Sigting paa forskellige Sigter, her i Landet som Regel paa en Sigte med 900 Masker/cm² og en Sigte med 4900 Masker/cm². Disse Sigterester kan dog kun give en meget

grov Bedømmelse af Cementens Finhed, og efterhaanden som Finmalingen er blevet drevet videre og videre, er den Oplysning man faar ved en Sigterestbestemmelse blevet endnu mindre værd. Saaledes er f. Eks. Sigteresten for Rapid-Cement kun omkring ved 1 % paa Sigte 4900. Da det af forskellige Grunde har vist sig upraktisk at anvende finere Sigter, har han søgt andre Metoder til Bestemmelse af Cementens Finhed. F. L. Smidth har allerede for en Del Aar siden videreudviklet et Luftslemmeapparat paa Basis af et af Ingeniør P. Mayntz Petersen først angivet Apparat. I dette kan man bestemme den Del af Cementen, hvis Kornstørrelse er større end ca. 25 μ . Dette giver selvfølgelig en betydelig bedre Oplysning om Cementens Finhed end Sigtning paa Sigte 4900, der skiller ved en Størrelse af ca. 89 μ , men giver dog stadig kun Oplysning om et enkelt Punkt paa Cementens Kornkurve. Ved Hjælp af Professor Andreasens Sedimentationsapparat er det muligt at bestemme Cementens Kornkurve helt ned til en Størrelse af ca. 1 μ , og af denne Kornkurve er det igen muligt at beregne et Tal for Cementens samlede Overflade pr. g. I Amerika er man slaaet ind paa direkte at bestemme Cementens Overflade, idet man ved Hjælp af en Fotocelle bestemmer, hvor meget Lys der absorberes eller tilbagekastes af Cementen i en Opslemning i Petroleum. Ved at justere Apparatet paa en Prøve med en kendt Overflade er det paa denne Maade muligt at faa et relativt Maal for Cementens Overflade. Det mest almindelige Apparat af denne Type er Wagners Turbidimeter. Det bedste Middel til Karakterisering af Cementens Finhed er Overfladen bestemt paa den ene eller den anden Maade, og det har vist sig, at der, naar alle andre Forhold holdes lige, inden for visse Omraader er god Overensstemmelse mellem Cementens Overflade og Styrke.

Bindetid.

Cementens Bindetid bestemmes i Regelen efter Vicatmetoden. Den rene Cement røres op med Vand til en bestemt Konsistens kaldet Normal-Konsistens, og ved Hjælp af et særligt Apparat bestemmer man nu det Tidspunkt, hvor en cylindrisk Naal med et Tværnsnitsareal paa 1 mm² og belastet med en Vægt paa ialt 300 g ikke mere kan trænge helt igennem Cementmassen. Denne Tid benævnes Begyndelsesbindetid, og ved Slutbindetid forstaas den Tid, der forløber fra Oprøringen, til Naalen ikke mere kan gøre et kendeligt Indtryk paa Mørtelkagens Overflade. Ved denne Metode faar man kun fastlagt 2 Punkter af den Kurve, der viser Sammenhæng mellem Tid og Viskositet for Cementpastaen. Dette er dog ogsaa i al Almindelighed tilstrækkeligt til Kontrol, idet det væsentligste er at faa afgjort, om Cementen er hurtig-

bindende eller langsombindende. De allerfleste Cementer vilde være hurtigbindende, saafremt Klinkerne blev formålet uden Tilsætninger af nogen Art, og Tilsætningen af Gips tjener da til at gøre Cementen langsombindende. Foruden denne Indflydelse har det vist sig, at Gips-tilsætningen forbedrer Cementens Styrker og har en gunstig Indflydelse paa Cementens Svind. Ved Gipstilsætningen er det dog i Praxis ikke muligt at indstille Cementen til en vilkaarlig Bindetid. Under søger man nemlig Bindetiden for en bestemt Klinkerprøve, der formales med stigende Mængder af Gips, ændres Bindetiden fra hurtigbindende til langsombindende for en meget lille Ændring i Gipsindholdet, og ved yderligere Tilsætning af Gips bliver Bindetiden kun ubetydelig forlænget. Teoretisk skulde det saaledes være muligt at indstille Cementen til en hvilken som helst Begyndelsesbindetid imellem hurtigbindende og langsombindende, men som allerede nævnt er dette ikke muligt i Praxis, da Gipstilsætningen ikke kan holdes saa nøjagtig, og yderligere vilde den nødvendige Gipsmængde til en bestemt Bindetid ogsaa variere meget med Variationer i Klinkernes Sammensætning. Ved Betonstøbning har det da i Almindelighed heller ikke Interesse at opnaa saadanne Variationer i Bindetid. Det væsentligste er, at Cementen er saa langsombindende, at Betonen kan blandes og udstøbes, inden Afbindingen begynder, og yderligere maa det ogsaa fremhæves, at der ikke er nogen Sammenhæng mellem Bindetid og Styrker. Tværtimod er det saaledes, at langsombindende Cementer næsten altid opnaar større Slutstyrker end hurtigbindende Cementer. Det maa dog her for at undgaa Misforstaaelse indskydes, at Rapid-Cement har en noget kortere Bindetid end Portland-Cement, selv om Rapid-Cementen stadig har saa langsom en Bindetid, at den maa karakteriseres som en langsombindende Cement. Denne Forskel i Bindetid skyldes hovedsageligt Finmalingen af Rapid-Cement. I de Tilfælde, hvor det som ved Støbning imod et Vandtryk, eller hvor det gælder at tætte for gennemsivende Vand, ønskes at anvende en hurtigbindende Cement, kan dette gøres ved at tilsætte den normale Cement et af de i Handelen værende Tilsætningsmidler til Betonen. Foruden Gips har ogsaa visse andre Kalcium- og Magniumsalte den Egenskab at kunne gøre Cement langsombindende. Det eneste af disse, der dog, saa vidt mig bekendt, har været anvendt i Praxis, er Kalciumklorid. Foruden at gøre Cementen langsombindende har Kalciumklorid en frem skyndende Virkning for Cementens Hærdning, og yderligere kan Kalciumklorid øve en gunstig Indvirkning paa Betonens Afbinding og Hærdning ved Støbninger i Kulde. Paa den anden Side har Kalciumklorid ogsaa nogle uheldige Virkninger, først og fremmest den, at der ved større Tilsætninger er Fare for, at Jernarmeringen angribes og

ruste, og det er derfor ikke her i Landet fra Fabrikkerne Side brugt at sætte Kalciumklorid til Cement.

Selve Processen ved Cementens Afbinding og Hærdning er meget kompliceret og er til Trods for, at der er udført et stort Antal Undersøgelser endnu ikke fuldt opklaret, — ja man kan ikke engang med Sikkerhed afgøre, om Afbinding og Hærdning foregaar ved Udkrystallisation fra en overmættet Opløsning saaledes som f. Eks. brændt Gips hærdner, eller om man maa betragte Afbinding og Hærdning som en kolloid-kemisk Foreteelse, hvor en udfældet Gel skrumper og stivner.

I en nyere Undersøgelse har Professor Forsen fra Sverige beskrevet en Del af de Processer, der foregaar ved Afbinding, og jeg skal ganske kort nævne Hovedpunkterne heraf, da disse giver et vist Billede af, hvad der sker, selv om Professor Forsens Teorier ikke kan siges at være alment anerkendt i alle Enkeltheder:

Naar Cementen røres op med Vand gaar de forskellige Forbindelser i Opløsning i uforandret støkiometrisk Forhold. Selve Hærdningen sker ved, at der af den dannede overmættede Opløsning udfældes Orthokalciumsilikat $\text{Ca}_2, \text{SiO}_4, 4\text{H}_2\text{O}$. Orthosilikatet er sikkert den egentlige Cementlim, og denne udfældes sandsynligvis i en mikrokrystallinsk Form. For at faa langsom Afbinding er det nødvendigt, at Aluminaternes Opløselighed bliver stærkt nedsat, da de ellers vil fælde Silikaterne som et kolloid kalkfattigt Aluminiumsilikathydrat, der giver daarlige Styrker.

Gipsens Virkning er tredobbelt. For det første fraspaltes under Formalingen i Møllen noget af Gipsens Krystalvand, hvorved der i et vist Omfang dannes en Beskyttelsesfilm af hydratiseret Cement paa de enkelte Korn. Ved Oprøring af Cementen med Vand dannes øjeblikkelig en mættet eller overmættet Gipsopløsning, der neutraliserer de fra Cementen opløste Alkalihydroxyder, som ellers vilde gøre Cementen hurtigbindende, og der dannes en mættet Opløsning af Kalkhydrat. Kalkhydrat og Gipsen udfælder nu de efterhaanden opløste Aluminatforbindelser som en tungtopløselig mono Aluminatsulfatforbindelse, der danner en semipermeabel Beskyttelsesfilm om Cementkornene. Beskyttelsesfilmen sinker Processen saa meget, at Cementen ikke bliver hurtigbindende, men tillader alligevel at Opløsningen og Udfældningen af Silikaterne fortsættes.

Virkingen af Stoffer som Sukker og Humus, der virker ødelæggende for Cementens Hærdning, maa antagelig forklares paa følgende Maade, ogsaa efter Professor Forsen:

Begge Stoffer opløser Aluminat og foraarsager derved, at der sker Udfældning af den lidet styrkefrembringende Gel af Aluminiumsilikathydrat. I den videre Virkning er der den Forskel mellem Sukker og

Humus, at Humusforbindelsen efterhaanden udfældes som uopløseligt, humussurt Kalcium, hvorefter de normale Cementreaktioner fortsætter. Dette svarer til, at det i Praksis tit har vist sig, at en Beton fremstillet med humusholdig Sand er meget længe om at binde af, men dog til sidst kan hærde ret godt, især naar den bliver holdt fugtig og efter længere Tid igen bliver stampet. Den gavnlige Virkning af denne gentagne Stampning kan muligvis forklares derigennem, at den medvirker til at ødelægge den skadelige Film af Aluminiumsilikat-hydrat, der er udfældet paa Cementkornene. Derimod sker der ikke med Sukker en lignende Udfældning, og der indtræffer derfor ikke nogen Efterhærdning af Cementen.

Volumenbestandighed.

Til Bestemmelse af Cementens Volumenbestandighed har man udviklet følgende 3 Metoder:

For det første Koldtvandsprøven, hvor en Kage af ren Cement efter Hærdning i 24 Timer i Luft og 27 Døgn Opbevaring i Vand hverken maa vise nogen somhelst Krumning eller Kantrevner. Den anden Prøve benævnes le Chaterlier-Prøven og bestaar i, at en cylindrisk Prøve af Cementpasta anbragt i en særlig Form hærder under Vand i 24 Timer og derefter koges i 3 Timer. Formen er forsynet med 2 Naalespidser, som tvinges fra hinanden, saafremt Cementen udvider sig, og i Henhold til de danske Normer betragtes Cementen som volumenbestandig, naar Afstanden mellem Naalespidserne ikke stiger mere end 10 mm. Den tredie Prøve er udviklet i Amerika, og Princippet i den er, at nogle Prismar fremstillet af ren Cement i Størrelse $1 \times 1 \times 10''$ i en Alder af 24 Timer autoklaveres i 5 Timer ved et Damptryk paa 20,7 kg/cm². Prismernes Længdeændring ved denne Autoklavering maales, og Forlængelsen maa i Følge de nyeste amerikanske Normer højest udgøre 0,5 %.

Af disse tre Prøver maa Koldtvandsprøven siges at være den mildeste, medens Autoklavprøven stiller de strengeste Krav til Cementens Volumenbestandighed.

Der kan i Hovedsagen siges at være fire Aarsager til Uvolumenbestandighed:

Et for højt Gipsindhold, der fører til den saakaldte »Gipstreiber«, men med de nugældende Normers maksimale Grænse for Gipstilsætningen er der ingen Fare for, at Cementen skal vise »Gipstreiber«. Den anden Aarsag er et ekstremt højt Indhold af C₃A. Da de danske Cementers Indhold af C₃A ligger en Del under denne Grænse, og det iøvrigt ogsaa kræves, at Klinkerne skal være afkølet meget langsomt, hvilket ikke sker i Praksis, kan man ogsaa se helt bort fra denne Aar-

sag til Uvolumenbestandighed. Den tredje Aarsag er for stort Indhold af fri Kalk i Klinkerne. Det synes dog ikke, som om al den frie Kalk i Klinkerne medfører Uvolumenbestandighed, idet visse Forhold tyder paa, at den frie Kalk forekommer i 2 forskellige Modifikationer, hvoraf den ene er meget let læskelig og derfor dels hydratiseres i Cementmøllen under Formaling af Klinkerne og i hvert Fald straks læskes ved Cementens Oprøring med Vand, hvorimod den anden Form er svært læskelig og derfor kan give Anledning til Uvolumenbestandighed.

Som Følge af de her nævnte Forhold vil det ikke være muligt at fastsætte en Grænse i Normerne for Cementens Indhold af fri Kalk, idet man ikke har Midler til at bestemme den, om man saa maa sige, skadelige fri Kalk, men ved Analysen faar bestemt den samlede Mængde af fri Kalk og hydratiseret Kalk. Ved den effektive Kontrol paa Cementfabrikkerne, som det nu er muligt at føre, saavel med Mellemprodukterne som med den færdige Cement, er der dog ikke stor Fare for, at Cementen skal være uvolumenbestandig, og jeg kan f. Eks. nævne, at for den danske Cement ligger Indholdet af fri Kalk betydelig under den Mængde, det i og for sig er muligt at have i Cementen uden at denne skulde falde for Chatelier-Prøven.

Den sidste Aarsag til Uvolumenbestandighed er et for højt Indhold af Magnium. Denne Uvolumenbestandighed er saa meget ubehageligere, som den ikke giver sig til Kende hverken ved Koldtvandsprøven eller ved Chatelier-Prøven, men derimod nok ved den amerikanske Autoklavprøve. I Praksis viser denne Uvolumenbestandighed sig først efter flere Aars Forløb, og den skyldes, at den i Cementen indeholdte MgO først meget langsomt hydratiseres. Det er dog ved Undersøgelser fastslaaet, at Faren for Uvolumenbestandighed som Følge af Indholdet af MgO først optræder, naar Indholdet af MgO er større end ca. $2\frac{1}{2}$ %, og da de danske Cemente i Almindelighed indeholder under 2 % MgO, er der altsaa heller ikke her nogen Fare for Uvolumenbestandighed. Naar et mindre Indhold af MgO ikke giver nogen Udvidelse ved Autoklavprøven, skyldes det et meget interessant Forhold, som man har faaet klarlagt i de allersidste Aar, nemlig at det kun er de forholdsvis store Krystaller af MgO, den saakaldte »Periclas«, der giver Anledning til Uvolumenbestandighed. Som jeg allerede har nævnt, kan indtil et Par Procent MgO findes i fast Opløsning i C_4AF og i Glasmassen, og den Magnium, der findes her, hydratiseres saa hurtigt, at den ikke giver Anledning til Uvolumenbestandighed. Man har endvidere konstateret, at man ved meget hurtig Afkøling af Klinkerne kan forhindre den Del af MgO, der ikke findes i fast Opløsning, i at krystallisere ud i store Krystaller, og behandlet paa denne Maade bli-

ver Cementen fuldt volumenbestandig, selv om den indeholder indtil 5 % MgO. Denne Metode benyttes i visse Tilfælde i Amerika og benævnes »Airquenching«.

Styrker.

Den bedste Maade at undersøge Cementens Styrker paa i Relation til Betonfremstilling vil selvfølgelig være at bestemme Styrkerne direkte for Beton. Dette er imidlertid af forskellige Grunde ret besværligt at anvende som løbende Kontrol, og man er derfor gaaet over til at bestemme Styrkerne for Mørtel bestaaende af Cement og Sand. Tidligere har man ogsaa i visse Tilfælde brugt at bestemme Styrken for ren Cement-Mørtel, men disse Metoder er dog nu fuldstændig forladt. I Henhold til de danske Normer bestemmes Styrken paa Prøvelegemer fremstillet af jordfugtig Mørtel blandet af en Vægt del Cement med tre Vægt dele Normsand. Normsandet er meget nær eenkornet, og man kan derfor ikke uden videre anvende de Styrker, man paa denne Maade finder for Cementen ved Beregningen af Beton. Man har derfor søgt at udvikle bedre Metoder til Fastsættelse af Cementens Styrke. I Tyskland er man i det sidste Aar gaaet over til at anvende en Metode, der er en Videreudvikling af en i Schweiz i længere Tid brugt Metode, og som gaar ud paa, at man anvender en plastisk Mørtel bestaaende af en Vægt del Cement til en Vægt del fint Normsand og to Vægt dele groft Normsand og et Vandcementtal paa 0,6. Mørtlen blandes i en Mørtelblander paa samme Maade som den, der anvendes ved de danske Normundersøgelser. Derefter fremstilles af Mørtel Prismer paa $4 \times 4 \times 16$ cm. Fremstillingen af Prismene foregaar for Haanden, idet Prismene stemples 2 Gange, først naar Formen er halv fyldt, og bagefter naar den er helt fyldt. Et Par Timer efter Fremstillingen afskrabes den overflødige Mørtel, saaledes at alle Prismene faar nøjagtig samme Størrelse. Prøvningen sker ved, at man efter de sædvanlige Terminer og Lagringsmaader først bestemmer Bøjetrækstyrken paa Prismene og derefter bestemmer Trykstyrken paa de 2 Brudstykker. Styrker bestemt paa denne Maade giver betydelig bedre Overensstemmelse med praktiske Forhold, og navnlig er Bøjetrækstyrken langt at foretrække frem for den gamle Trækstyrke, saaledes som den bestemmes i Henhold til de danske Normer. I Amerika anvendes ogsaa plastisk Mørtel og til Trykprøvelegemerne et graderet Sand.

For Cements af samme Type som f. Eks. de danske Cements, der alle er fremstillet af meget nær ensartede Raamaterialer og Fabrikationsmetode, vil Overensstemmelsen dog være betydelig bedre mellem Styrker fundet paa jordfugtig Mørtel og Betonblanding end for Ce-

menter af vidt forskellige Typer og Fremstillingsmaade, og ved Bestemmelse af de danske Cementer maa det derfor sikkert ogsaa siges, at Normtrykstyrken giver et nogenlunde paalideligt Sammenligningsgrundlag. Derimod kan Normtrækstyrken ikke tillægges ret megen Værdi.

Ser man paa de Forhold, der er bestemmende for Styrken, har saavel Klinkernes Sammensætning som Cementens Finhed stor Indflydelse. De for Styrken vigtigste Komponenter i Klinkerne er Trikalций- og Dikalцийsilikater. Den indtil 28 Dage opnaaede Styrke skyldes næsten udelukkende Trikalцийsilikat C_3S . Dikalцийsilikatet C_2S bidrager kun meget lidt til Styrken indtil 28 Dage, men bidrager Hovedparten til Cementens Styrkeforøgelse efter dette Tidspunkt, medens en mindre Del kommer fra C_3S . Trikalцийaluminat C_3A giver et mindre Bidrag til Styrken indtil 28 Dage, men derefter aftager dets Virkning og bliver Nul eller maaske negativ efter Tidsrum paa 1—2 Aar. Den Rolle, C_4AF spiller, er endnu ikke ganske klarlagt, men uden dog at være skadelig, synes denne Forbindelse ikke at bidrage meget til Styrkerne. Efter dette skulde man mene, at en Cement bestaaende af Trisilikat, evt. en Blanding af Tri- og Disilikat, maatte være det ideelle, men hvor langt man i denne Retning kan gaa afhænger i høj Grad af de forhaandenværende Raamaterialer og visse praktiske Vanskeligheder, der opstaar ved Fabrikationen, naar Indholdet af C_3A og C_4AF nedsættes, idet disse Forbindelser virker som Flusmidler og derved letter Sintringen af Klinkerne. De danske Cementer har altid haft et forholdsvis højt Silikatindhold og maa derfor ud fra det Synspunkt siges at høre til de bedste Cementer.

Foruden Sammensætningen er som nævnt Finheden af overordentlig stor Betydning for Cementens Styrke, og saaledes at jo finere Cementen er formålet, desto større Styrker faar man. Udtrykkes Cementens Finhed ved Overfladen, synes der endda inden for et vist Omraade at være næsten direkte Proportionalitet mellem Overflade og Styrke, selvfølgelig under Forudsætning af, at alle andre Forhold holdes lige.

Fastsættelsen af den Finhed, hvortil Cementen skal males, afhænger af forskellige Forhold. Med de Malemetoder, man anvendte for en Del Aar siden, var det saaledes ikke muligt at formale Cementen til de Finheder, man nu har kunnet opnaa med de i høj Grad forbedrede og udviklede Møller. Ved vidtdrevet Fimmaling optræder der i Møllerne en saakaldt Klistring ved, at Cementkornene klumper sammen, og derved nedsætter eller helt ophæver Møllens Malevirkning. Ved specielle Metoder er det dog muligt til en vis Grad at overvinde denne Klistring, men selv ved Anvendelse af disse Midler synes der

at være en Grænse for, hvor fint man med de nuværende Mølletyper kan male Cementen. I al Almindelighed vil man dog ikke formale Cementen lige til denne Grænse, idet Kraftforbruget og som Følge deraf Udgiften stiger meget stærkt ved vidtdrevet Finmaling af Cementen.

Finmaling af Cementen har for Styrken af Beton til dels en dobbelt Virkning, idet for det første Finmalingen forbedrer Cementens Styrke, men for det andet forøger Finmalingen Betonblandings Plasticitet, naar Vægtblandingsforholdet holdes konstant. Saafremt man ønsker at arbejde med samme Bearbejdelighed, er det derfor muligt at nedsætte Vandcementtallet, hvilket igen bevirker, at Betonens Styrker stiger.

Jeg skal i Fig. 1 vise, hvorledes Middelstyrken for danske Cemente har udviklet sig siden 1900.

Paa øverste Kurve ses, hvorledes Portland-Cementens Normtrykstyrke efter 28 Dages Vandlagring har varieret. Det ses, at Styrken

fra ca. 200 kg i Aarene umiddelbart efter 1900 var vokset jævnt til 400 kg ved den forrige Krigs Udbrud 1914, medens Styrken derefter holdt sig konstant de følgende Aar indtil 1917. Det sidste Krigsaar og første Aar efter Krigen har der ikke været foretaget mange Undersøgelser af Trykstyrken, og det er først muligt igen at føre Kurven videre fra 1920. Det ses, at Middelstyrken ligger lidt lavere her, men derefter vokser jævnt stigende fra Aar til Aar. Ingeniørforeningens Normer af 1911 fastsatte en Minimumstyrke for Portland-Cement efter 28 Dages Vandlagring paa 200 kg. I 1933 var Middelstyrken af Cement vokset til ca. 525 kg, og ved de nye Normer, der da blev udsendt,

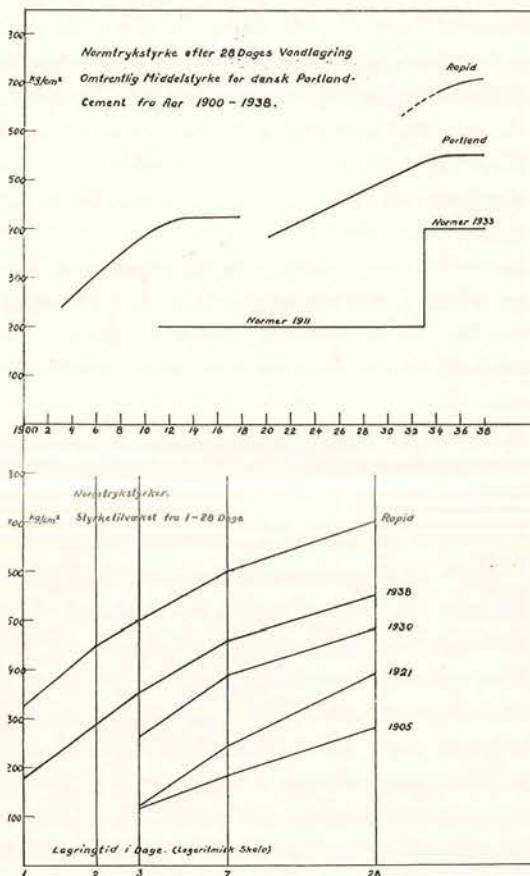


Fig. 1.

sattes Minimumsstyrken til 400 kg pr. cm². Fra 1933 er Portland-Cementen ikke ændret meget, og Middelstyrken i de følgende Aar indtil Krigsudbruddet i 1939 ligger paa ca. 550 kg. Naar Stigningen for Portland-Cement ikke er fortsat, skyldes det antagelig, at De samvirkende Cementfabrikker fra 1934 bragte en ny hurtighærdnende Portland-Cement, den saakaldte Rapid-Cement paa Markedet. Senere har Andelscementfabrikken bragt en lignende Cement, den saakaldte Record-Cement, paa Markedet.

Rapid-Cementen er en hurtighærdnende Cement af Portlandtypen og udmærker sig selvfølgelig først og fremmest ved sine store tidlige Styrker, men Cementen opnaar ogsaa en Del højere 28 Dages Styrker end den normale Portland-Cement. Inden Rapid-Cement kom frem, havde der paa det danske Marked været udbudt 2 Special-Cementer med store tidlige Styrker, nemlig Velo-Cement og Incor-Cement. Disse Cementer er dog, saa vidt mig bekendt, betydelig dyrere at fabrikere end den normale Portland-Cement, hvorfor de ogsaa maatte sælges til en betydelig højere Pris. Rapid-Cementen har knap saa store tidlige Styrker som Velo-Cementen, men kan til Gengæld sælges til en meget lille Overpris over Portland-Cementen og byder alligevel en Række Fordele frem for denne. Det er ganske naturligt, at man efter denne Cementtypes Fremkomst til en vis Grad har fastholdt Niveauet for Portland-Cementen, idet denne er en udmærket Cement til Brug i Almindelighed, hvorimod det til en Række specielle Formaal, navnlig hvor man ønsker store tidlige Styrker eller ogsaa særlig gode Slutstyrker, er klogest at benytte Rapid-Cement. Inden Rapid-Cementen blev bragt frem paa det danske Marked, havde den af de samvirkende Cementfabrikker i nogle Aar været fabrikeret til Eksport, og den øverste Kurve viser Udviklingen af denne Cements 28 Dages Normstyrker fra Aar 1931 til umiddelbart før Krigen. Som det ses, er dennes Styrke nu oppe paa ca. 700 kg efter 28 Dages Forløb. Efter komb. Lagring d. v. s. 1 Dag fugtig Luft, 6 Dage Vand og 21 Dage Luft er Styrken oppe paa ca. 800 kg. Det ses saaledes, at fra Aar 1900 til nu er den normale Portland-Cement 28 Dages Styrker forøget mere end $2\frac{1}{2}$ Gange, og Rapid-Cementens 28 Dages Tal ligger næsten $3\frac{1}{2}$ Gange højere.

Paa den nederste Del af Figuren er indtegnet en Række Kurver, der viser Styrketilvæksten indtil 28 Dage for Portland-Cement fra forskellige Aar. Det ses her, at i 1930 var Portland-Cements Styrke efter 3 Dage lige saa stor som Styrken efter Aarhundredskiftet var efter 28 Dage. I 1938 var Portland-Cements 3 Dages Styrke næsten lige saa stor som den normale Portland-Cements 28 Dages Styrke i Begyndelsen af 20erne. For Rapid-Cementen ses det, at dennes 1 Dags Styrke ligger

over 28 Dages Styrken for Cementen i Begyndelsen af Aarhundredet, og efter 3 Døgn er Rapid-Cementens Normtrykstyrke næsten paa Højde med Portland-Cementens 28 Dages Styrke. Som De ser af disse Tal, er det en virkelig imponerende Udvikling, der i Løbet af de 40 Aar er sket med Hensyn til Cementens Styrke.

Midlerne, hvorved denne Styrkeforøgelse er opnaaet, bestaar først og fremmest i mere hensigtsmæssig S sammensætning af Klinkerne, det vil igen sige Forøgelse af Trisilikatindholdet og dernæst en finere Maling af Cementen. Iøvrigt kan jeg ikke komme nærmere ind paa en Udredning af disse Forhold i Detailler. Meget skyldes ogsaa Forbedringer og Udviklingen af de Maskiner, der anvendes i Cementindustrien, og her har jeg maaske Lov at nævne, at det danske Firma F. L. Smidth & Co. har ydet et meget væsentlig Bidrag, ikke alene til Udviklingen her i Landet, men ogsaa i det hele taget. Sammenligner man de danske Cementer med udenlandske Cementer, maa det siges, at saavel den danske Portland-Cement som de hurtighærdnende Cementer staar fuldt paa Højde med de bedste udenlandske Fabrikater.

Det er fristende at forsøge at sige noget om Mulighederne for den fortsatte Udvikling af Cementens Styrker, men da det altid er vanskeligt at spaa om Fremtiden, og det Gang paa Gang har vist sig, at den Slags Forudsigelser ikke slaar til, skal jeg indskrænke mig til at sige, at man sikkert ikke kan vente, at den voldsomme Udvikling fra de sidste 20 Aar skal fortsættes i samme Tempo. Det er sandsynligt, at man ikke kan forbedre Cementens Styrker væsentlig ad de Veje, man hidtil har fulgt, men der foreligger dog ogsaa andre Muligheder for Forbedring af Cementens Styrke, særlig i Retning af Opnaaelse af meget store tidlige Styrker, men jeg kan desværre ikke komme nærmere ind paa disse Muligheder.

Jeg kan maaske til Slut nævne, at det flere Gange fra Jern-Beton-teknikerens Side har været hævdet, at det vilde have stor Betydning, om man kunde fremstille en Special-Cement, hvor Trækstyrkerne var væsentlig større i Forhold til Trykstyrkerne end de er for de nu kendte Cementtyper. Efter vor nuværende Viden om Cementen synes der dog absolut ikke at være nogen Chance for at opnaa et saadant Resultat. Ser man paa Forholdet mellem Trykstyrker og Bøjetrækstyrker bestemt paa plastisk Mørtel, er der udmærket Overensstemmelse imellem de 2 Styrker, idet det dog er saaledes, at Bøjetrækstyrken ved de meget store Trykstyrker ikke vokser helt i samme Forhold som Trykstyrken. I de allerfleste Tilfælde vil derfor ogsaa Forbedringer af Trykstyrken medføre en meget nær tilsvarende Forøgelse af Bøjetrækstyrken, men det ligger sandsynligvis ikke inden for

Mulighedernes Grænse væsentlig at ændre Forholdet mellem disse to Styrker.

Svind.

Naar Cementen hærdner i Luft sker det under Rumfangsformindskelse, og denne benævnes almindeligvis Svind. Svind maales som Regel som den liniære Formindskelse udtrykt i mm pr. m for Prismer fremstillet af Mørtel af en ganske bestemt Sammensætning. Om Svindet kan der siges det gode, at det bidrager til at faa Betonen til at klemme om Armeringen, men bort set herfra medfører Svind forskellige Ubehageligheder saasom Opstaaen af visse Trækspændinger, der igen kan medføre Revnedannelse i Betonen. Svindets Størrelse er afhængig af mange Forhold, saasom Blandingsforhold, Størrelsen og Formen af Betonmassen og endelig ogsaa i meget høj Grad af Lagringsmaaden.

Særlig ved Anvendelsen af Cement til Betonveje har man lagt stor Vægt paa Svind, idet man mente, at dette havde stor Betydning for de Revnedannelser, der i visse Tilfælde er fremkommet i Slidlaget paa Betonveje. Der har derfor været gjort mange Forsøg, dels paa at finde en paalidelig Maade at maale Svindet paa, og dels for at undersøge, om man ved at ændre Cementens Sammensætning kunde formindske dette Svind. Det synes heraf at fremgaa, at C_3S og C_2S bidrager omtrent lige meget til Svindet, medens C_3A giver et betydeligt større Svind og C_4AF et lidt mindre Svind end Silikaterne. Med Hensyn til Cementens Finhed er det saaledes, at Svindet stiger med stigende Finhed. En Overgang anvendte man derfor — i hvert Fald i Tyskland — til Betonveje kun forholdsvis groft formalede Cementer, og Cementer der ogsaa til Dels ved Ændringer i den kemiske Sammensætning var søgt bragt ned til et lille Svind. I den allersidste Tid synes man dog at lægge betydelig mindre Vægt paa selve Cementens Svind, idet det dels har vist sig, at Betonens Svind er betydelig mindre end det Svind, man konstaterer for de særlige Prøvelegemer, og mange Gange udviskes Forskellen mellem det Svind, man har konstateret hos forskellige Cementer ved Mørtelprøvningen, naar Svindet maales paa Beton. Endelig er det jo heller ikke Svindet alene, der er afgørende for eventuel Fremkomst af Svindrevner, men snarere Forholdet mellem Trækstyrker og Svind. Man er derfor ogsaa igen begyndt at anvende finere malet Cement, idet man derigennem opnaar en Styrkeforbedring, og saafremt man holder Betonen fugtig den første Tid efter Støbningen og dermed nedsætter Svindet i denne Periode, opnaar man ved at anvende en Cement med større Styrker, at Forholdet mellem Svind og Styrke stiller sig meget gunstigere, naar

man afdækker Betonen end, saafremt man anvendte en Cement med lavere Styrker og som Følge deraf ogsaa muligvis noget mindre Svind.

Svindet skyldes antagelig en Skrumpning i Forbindelse med en Udtørring af Betonen og finder derfor kun Sted, naar Betonen har Lejlighed til at udtørre, medens der ikke forekommer noget Svind, men derimod en Udvidelse, saafremt Betonen opbevares under Vand. Den første Del af Svindet er irreversibelt, medens den sidste Del af Svindet er reversibelt saaledes at, hvis man paa et vist Tidspunkt flytter Betonen fra tør Luft til fugtig Luft, begynder den igen at udvide sig. Om den Udvidelse, der finder Sted ved Lagring af Beton under Vand kan siges, at de samme Faktorer, som bevirker forøget Svind ved Luftlagring, ogsaa bevirker forøget Udvidelse ved Vandlagring, altsaa for Cementens Vedkommende højt Indhold af C_3A og stor Finhed.

Varmetoning.

Et Forhold, som særlig ved Støbning af meget store Betonmasser som f. Eks. Spærredæmninger spiller en stor Rolle er Cementens Varmeudvikling under Hærdningen. Ved Hydratiseringen af de enkelte Mineralier, hvoraf Cementen er opbygget, frigøres der Varme, og denne Varmeudvikling kan i store Betonmasser føre til ret store Temperaturforskelle mellem Overfladen og det indre af Betonmassen og som Følge af disse Varmeforskelle kan der opstaa Spændinger, der fører til Revnedannelser. Disse Revnedannelser er saa meget uheldigere, som det her i de fleste Tilfælde er af største Vigtighed at faa Betonen saa tæt som muligt, for at Vandet ikke skal kunne trænge ind i Betonen og ødelægge den. Til Bestemmelse af denne Varmetoning er der udviklet flere Metoder. Den mest almindelige gaar ud paa, at man i et Kalorimeter bestemmer Opløsningsvarmen, dels for den friske Cement, og dels paa Cementprøver, der efter Oprøring med Vand har faaet Lov at hærde i forskellige Tidsrum og derefter knuses. Forskellen i Opløsningsvarmen er da et Udtryk for den Varmemængde, der er blevet frigivet ved Hærdningen i den forløbne Tid. Andre Metoder gaar ud paa at bestemme selve Temperaturstigningen i en Betonklods, naar denne underkastes adiabatisk Lagring.

Gennem mange Undersøgelser og Forsøg har man fastslaaet de forskellige Klinkerkomponenters Indflydelse paa Varmetoningen, og man har herved fundet, at Trikalciumaluminatet hydratiseres praktisk talt fuldstændig i Løbet af 24 Timer og ialt udvikler en Varme paa ca. 200 Kal./g. C_4AF udvikler ca. 100 Kal./g og bruger hertil næsten en Maaned. C_3S udvikler ligeledes i Løbet af en Maaned næsten hele sin bundne Varmemængde, der er paa 120 Kal./g, medens Dikalciumsilikat næsten ingen Varme udvikler i Løbet af 7 Døgn og bruger

det meste af et Aar for at udvikle Hovedparten af sin Varme, nemlig 60 Kal./g. Hydratationsvarmen for den frie Kalk er 279 Kal./g og for MgO ca. 203 Kal./g. Endelig udvikles der ogsaa Varme, idet Kalcium-sulfat reagerer med det hydratiserede Trialuminat under Udfældning af et Kalciumaluminatsulfat, og herved udvikles der en Varme paa 149 Kal./g SO_3 .

Det ses saaledes, at der er stor Forskel paa de enkelte Bestanddeles Varmeudvikling, og som Følge heraf vil det være muligt inden for visse Grænser at regulere Varmeudviklingen ved at ændre Sammensætningen. Foruden Sammensætningen spiller ogsaa Finmalingen en stor Rolle, idet Temperaturstigningen i Betonen selvfølgelig bliver større, naar Varmen frigøres hurtigere, end naar Hærdningen forløber langsommere, og der derfor bliver bedre Tid til Afledning af Varme gennem Betonens Overflade.

Special-Portland-Cementer med lav Hydratationsvarme har fundet en udstrakt Anvendelse i Amerika. De første Cementer af denne Art fremkom omkring ved 1932. Denne saakaldte »Lowheat« Cement blev første Gang anvendt ved Bygningen af Morrisdæmningen. Indholdet i den anvendte Lowheat-Cement af C_3A var ca. 4—5 %. Indholdet af C_4AF ca. 16 %. Indholdet af C_3S ca. 22 % og af C_2S ca. 48 %. Endvidere var Cementen ret groft formalet nemlig til en Finhed af omkring en halv Snes Procent paa 4900. Hydratationsvarmen for denne Cement androg ca. 55 Kal. efter 7 Dage og ca. 65 Kal. efter 28 Dage imod de tilsvarende Tal paa ca. 86 og 91 for normal Portland-Cement og 108 og 114 for hurtighærdnende Cementer.* Som Følge af det lave Indhold af C_3S og den forholdsvis grove Formaling hærtnede Cementen dog meget langsomt, særlig i Vintermaanederne, og man gik derfor over til at anvende en Blanding af 40 % almindelig Portland-Cement + 60 % Lowheat. Den følgende Udvikling i Amerika har været, at man fra Lowheat-Cementen er gaaet over til at anvende en saakaldt »moderate-heat«-Cement ogsaa kaldet »modified«-Cement. Denne Cement adskiller sig fra Lowheat-Cementen ved et betydeligt større Indhold af C_3S og en Del finere Formaling, hvorimod Indholdet af C_3A er omtrent som for Lowheat-Cementen. Hydratationsvarmen for denne Cement andrager ca. 74 og 82 Kal. efter 7 og 28 Dage og ligger altsaa stadig ca. 10 % under Varmeudviklingen for normal Portland-Cement. I de nye amerikanske Normer, der er udkommet i

* Til Sammenligning kan anføres at Middel af 12 amerikanske normale Portland-Cementer og Middel af 12 amerikanske hurtighærdnende Portland-Cementer viste følgende Sammensætning:

	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
Portland-Cement	48 %	27 %	10 %	8 %
Hurtighærdnende Portland-Cement	56 %	15 %	12 %	8 %

September 1940, er der specificeret Normer for 5 forskellige Cementtyper. Type Nr. 4 er Cement til Massebeton med lav Afbindingsvarme, og det kræves her, at Cementen ikke maa indeholde over 35 % C_3S , ikke under 40 % C_2S og ikke over 7 % C_3A .

I Tyskland er man gaaet en noget anden Vej, idet man der i Stedet for Ændringer i Cementens Sammensætning har anvendt Tilsætninger af Puzzolan til Portland-Cementen, eller man har anvendt Tilsætninger af Højovns slagge de saakaldte Højovnscementer. Endvidere har man ogsaa ved Forsøg vist, at man kan nedsætte Cementens Varmeudvikling ved at underkaste denne en Forhydratisering evt. ledsaget af en Kulsyrebehandling. Dette sker paa den Maade, at man behandler Cementen i en roterende Tromle med Vanddamp og Kulsyre, efter Behandlingen lagres Cementen en Tid, hvorefter den eftermales. Paa denne Maade synes det at være muligt at hydratisere de Bestanddele i Cementen, der har den største Varmeudvikling og saaledes opnaa en væsentlig Nedsættelse af Hydratationsvarmen paa Bekostning af en forholdsvis mindre Nedgang i Styrkerne. Disse Behandlinger er dog foreløbig kun anvendt ved Undersøgelser og har endnu ikke været forsøgt i Praksis.

Modstandsdygtighed mod aggressive Opløsninger.

Cement og Beton er ikke og kan sikkert heller ikke i nogen væsentlig Grad gøres modstandsdygtige over for Angreb af frie Syrer. Men foruden disse angribes Betonen ogsaa af forskellige Opløsninger og endelig ogsaa til en vis Grad af fersk Vand, især naar dette er meget kalkfattigt. Af de Opløsninger, som har større Interesse, maa først og fremmest nævnes Havvand og dernæst ogsaa sulfatholdige Opløsninger, der visse Steder forekommer som Grundvand. Ved sulfatholdige Opløsninger har det vist sig, at Ødelæggelsen af Betonen antagelig staar i Forbindelse med en Reaktion mellem Opløsningens Sulfationer og de i Betonen værende hydratiserede Kalkaluminater, idet der dannes Kalciumaluminatsulfatforbindelse $3 CaO, Al_2O_3, 3 CaSO_4, 31 H_2O$. Denne Forbindelse, der ogsaa har været kaldt Cementbaciller, dannes under en betydelig Volumenforøgelse, hvorved Betonen ligefrem sprænges. Ved Støbninger af Beton i sulfatholdigt Vand maa man derfor anvende en Cement med meget lavt Indhold af C_3A . Klinkernes Sammensætning ændres herved i Almindelighed saaledes, at de kommer til at indeholde mere C_4AF , der ikke angribes af Sulfatopløsninger og mindre af den skadelige C_3A Forbindelse. Saadanne Cementer fabrikeres flere Steder i Udlandet. Nævnes kan den saakaldte Ferrari-Cement og den tyske Erz-Cement. I de nye amerikanske Normer, som jeg allerede har omtalt, er der normeret en Cementtype

Nr. 5 til Anvendelse i Tilfælde, hvor stor Modstandsdygtighed mod Sulfatangreb kræves. Det forlanges her, at Cementen max. maa indeholde 5 % C_3A . Endvidere skal Cementen mindst indeholde 24 % SiO_2 .

Medens dette at fabrikere specielle Cements til Anvendelse i sulfatholdigt Grundvand er af forholdsvis ny Dato, har man længe været klar over, at Havvand har en aggressiv Virkning over for Betonarbejder. Havvandets ødelæggende Evne skyldes til Dels Indholdet af Sulfat, men desuden ogsaa en vis Ionbytning, der kan finde Sted, hvorved Kalcium i Cementen erstattes med Magnium, som da ligeledes medfører Ødelæggelse af Betonen. For at forøge Betonens Modstandsdygtighed mod Havvand kan man anvende de samme Forholdsregler som mod Sulfatangreb.

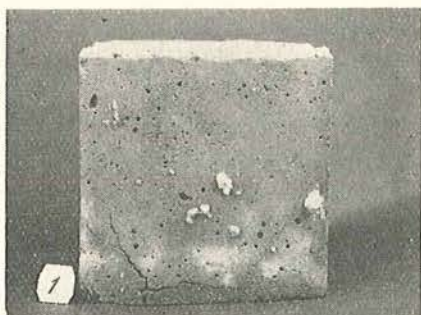
En anden og ældre Metode end Ændringen i Klinkernes Sammensætning er at tilsætte Cementen de saakaldte Puzzolaner. Den danske Moler-Cement er netop en Cement af denne Type. Puzzolanerne defineres almindeligvis som Materialer, der, skønt de ikke i sig selv har cementagtige Egenskaber, dog er i Stand til at indgaa Forbindelser med Kalk ved almindelig Temperatur og i Nærværelse af Vand og derved danne stabile uopløselige Forbindelser, der besidder cementagtige Egenskaber. Under Cementens Hærdning frigøres der en stor Mængde Kalciumhydroxyd, der udkrystalliserer i den hærtnende Beton. Ved Vandbygningsarbejder er der Fare for, især saafremt Betonen ikke er praktisk talt vandtæt, at denne Kalciumhydroxyd kan udluges, hvorved Betonen bliver yderligere porøs og udsættes for Angreb. Ved Tilsætning af en passende Mængde Puzzolan, opnaar man, at denne Kalk gaar i Forbindelse med Puzzolanen og danner uopløselige Forbindelser, hvorved Betonens Modstandsdygtighed naturligvis forøges. Tilsætning af Puzzolan forøger dog ikke alene Cementens Modstandsdygtighed ved Støbninger i Havvand, men ogsaa mod Angreb af sulfatholdigt Vand, og det er derfor et Spørgsmaal, om Puzzolanets Virkning er helt klarlagt ved den omtalte Binding af det ellers frie Kalkhydrat. Det er muligt, at de dannede Kalkpuzzolanforbindelser udskiller sig som en beskyttende Film over Aluminathydraterne og derved forhindrer disse i at angribes af Sulfater. For at undersøge forskellige Cements Holdbarhed over for Sulfatopløsninger eller Havvand har man mange Steder udført Forsøg paa den Maade, at man har lagret Beton eller Mørtelterninger fremstillet af de forskellige Cements, man vil prøve i Natrium- eller Magniumsulfatopløsninger eller direkte i Havvand. Medens det i Praksis selvfølgelig er af den allerstørste Betydning, at Beton, der anvendes til Støbning i Havvand, bliver saa tæt, som det overhovedet er muligt, har man ved Laboratorieforsøgene som Regel anvendt Blandingsforhold, der ikke giver en tæt

Beton for derved at fremskynde Angrebet, saa man hurtigere faar et Begreb om de forskellige Cements indbyrdes Modstandsdygtighed.

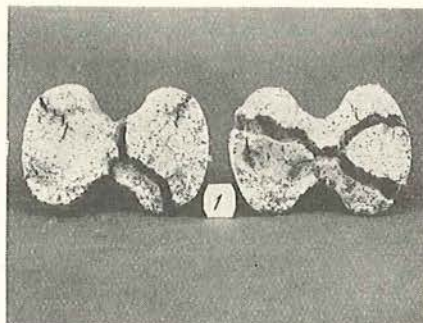
Jeg skal vise Dem et Par Billeder, der viser Resultatet af Forsøg, der er udført paa »Rørdal«, og som viser Betonterninger og Trækprøvelegemer af henholdsvis Portland-Cement, Moler-Cement og en særlig Cement fremstillet af Klinker med lavt Indhold af C_3A og formalet med en mindre Mængde Moler, end der anvendes til den normale Moler-Cement, — en Cement vi har kaldt Havvandscement. Terningerne har været lagret i et Aar i en 10 % Opløsning af Natriumsulfat, og som De vil se, viser Portland-Cementen stærke Tegn paa Ødelæggelse, hvorimod der endnu ikke er noget at se hverken paa Moler-Cementen eller Havvandscementen, og først efter en længere Tids Forløb vil man muligvis være i Stand til at fastslaa, hvilken af de 2 sidstnævnte Cements der er mest modstandsdygtig. Som jeg allerede har nævnt, er disse Terninger fremstillet i et saadant Blandingsforhold, at Betonen er meget porøs for netop hurtigt at faa et Resultat af Forsøget. Endvidere er Opløsningen betydelig stærkere end de Saltkoncentrationer, der er Tale om i Havvand, og af Forsøget kan man derfor heller ikke slutte, at Betonstøbninger af Portland-Cement i Havvand skulde være ødelagt i en tilsvarende Grad i Løbet af saa kort Tid, tværtimod viser Erfaringen, at Betonstøbninger, der er omhyggeligt udført, og hvor man navnlig har lagt Vægt paa at opnaa en tæt Beton, selv efter en Aarrækkes Forløb kun udviser ingen eller meget svage Tegn paa Angreb. Spørgsmaalet om, hvorvidt Portland- eller hurtighærdnende Portland-Cement vil være at foretrække til Støbninger i Havvand, saafremt man af visse Grunde ikke vil anvende Moler-Cement eller anden Special-Cement, kan ikke paa det nuværende Tidspunkt afgøres med Sikkerhed. I magre og utætte Blandinger synes det, som om de hurtighærdnende Cements angribes hurtigere end Portland-Cementen, men da man ved Betonarbejdets Udførelse lettere opnaar en tæt Beton med hurtighærdnende Cement, er det ikke usandsynligt, at denne Fordel udligner denne Cements tilsyneladende lidt mindre Modstandsdygtighed.

Frysning og Optøning.

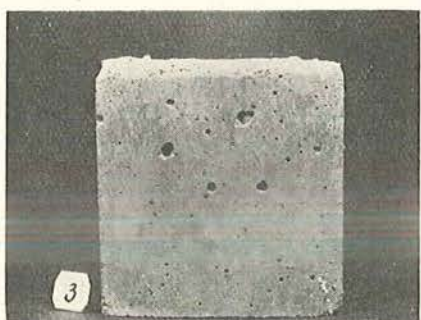
Et Forhold ved Betonen, som ogsaa i visse Tilfælde blandt andet ved Slidlag for Betonveje har stor Interesse, er Betonens Modstandsdygtighed mod gentagne Frysninger og Optøninger. Ved Betonens Sammensætning har det selvfølgelig ogsaa her stor Betydning, at denne bliver saa tæt som muligt. Forskellige Undersøgelser, der er foretaget for at konstatere, om Cements Sammensætning ogsaa spiller en Rolle i denne Forbindelse, synes at have vist, at jo højere Ce-



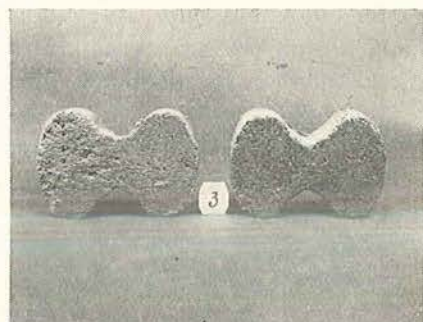
Portland-Cement.



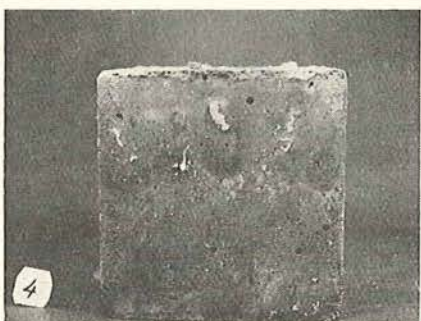
Portland-Cement.



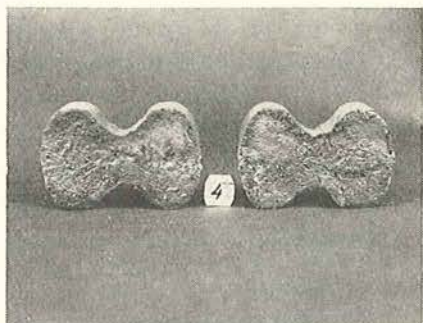
Moler-Cement.



Moler-Cement.



Havvands-Cement.



Havvands-Cement.

Fig. 2. Blandingsforhold efter Vægt 1 Cement : 5,5 Sand : 3,5 Sten, Vandcementtal = 1,0. Prøvelegemerne er lagret 1 Dag i fugtig Luft, 13 Dage i Vand og 1 Aar i 10 % Natriumsulfatopløsning.

Fig. 3. Blandingsforhold efter Vægt 1 Cement : 4 Sand, Vandcementtal = 0,7. Prøvelegemerne er lagret 1 Dag i fugtig Luft, 13 Dage i Vand og 1 Aar i 10 % Natriumsulfatopløsning.

mentens Indhold af Tri- og Dikalciumsilikat er, desto større er Betonens Modstandsdygtighed. Da de danske Cementer har et forholdsvis højt Indhold af Silikater, ikke mindst ved Sammenligning med mange udenlandske Cementer, maa de altsaa ogsaa i denne Forbindelse siges at være velegnede og at have en fordelagtig Sammensætning.

Andre Special-Cementer.

Aluminat-Cement eller Smelt-Cement.

Aluminat-Cement er som bekendt en særlig Cementtype fremstillet paa en helt anden Basis end Portland-Cement. Cementen bliver ikke fabrikeret her i Danmark. Aluminat-Cementen har meget store Be- gyndelsesstyrker og havde en Overgang fundet en vis Udbredelse netop paa Grund af disse meget store tidlige Styrker, men Cementen er ret dyr i Forhold til den almindelige Portland-Cement og har yderligere forskellige mindre gode Egenskaber. Blandt andet er Cementen ikke bestandig ved Lagring i Vand ved Temperaturer over 30—35° C. Cementen kan heller ikke blandes med almindelig Portland-Cement, hvorfor det ved Overgang fra Støbninger med Portland- til Aluminat-Cement er nødvendigt, at alle Redskaber renses meget grundigt. Forskellen mellem de tidlige Styrker for Aluminat-Cement og de bedste hurtighærdnende Cementer af Portland-Type er ogsaa efterhaanden blevet ret lille, især naar man ikke ser paa Styrken efter kortere Tidsrum end 1 Døgn, og dette i Forbindelse med Aluminat-Cementens Pris gør, at denne i hvert Fald her i Landet ikke anvendes mere i nogen større Udstrækning. Aluminat-Cementen er mere modstandsdygtig mod Sulfatopløsning end Portland-Cementen, og den blev som Følge heraf tidligere anvendt en Del netop til Arbejder, hvor man havde Interesse af denne Egenskab, men ogsaa her vil Aluminat-Cementen sikkert efterhaanden fortrænges af sulfatbestandige Cementer af Portland-Typen.

Hvid Cement.

En anden særlig Cement er hvid Cement. Denne kan fremstilles saaledes, at den opfylder Normerne for Portland-Cement. Ved Fremstillingen maa man anvende jernfattige Raamaterialer, og da Cementen yderligere skal brændes med Olie, bliver den nødvendigvis saa meget dyrere end den almindelige Portland-Cement, at den kun finder Anvendelse til visse Udsmykingsarbejder og som Basis for Fremstilling af farvet Cement med lyse, klare Farver. Den hvide Cement og de farvede Cementer bruges for en stor Del til Pudsarbejder foruden til Fabrikation af Fliser og visse andre Betongenstande. Ved An-

vendelse af farvet Cement til Puds har der vist sig visse Vanskeligheder, idet der i nogle Tilfælde er fremkommet et hvidt skæmmende Udslag paa Pudsen. Fra de samvirkende Cementfabrikkers Side har der været foretaget mange Undersøgelser og gjort et stort Arbejde for at komme denne Ulempe til Livs, og det synes, som om man ad 2 Veje kan modvirke Tendensen til Fremkomst af Udslag, nemlig dels ved egnede Tilsætninger til Cementen og dels ved Udvikling af de mest hensigtsmæssige haandværksmæssige Metoder ved Pudsens Opsætning. Hovedvægten skal antagelig lægges paa den sidste Foranstaltning, men der synes at være Mulighed for, at man ved en Kombination af begge Metoder kan naa et fuldt tilfredsstillende Resultat i Praksis. Desværre er nogle af de bedst egnede Tilsætninger, som man har fundet, ikke til at skaffe for Tiden.

Slutning.

Jeg haaber, at det gennem dette Foredrag er lykkedes mig at give Dem et Overblik over, hvad det med vor nuværende Viden om Cementen og med den Teknik ved Cementfremstillingen, der staar til Raadighed, er muligt at naa i Retning af Fremstilling af de bedst egnede Cementtyper til de forskellige Formaal, hvorved Betonen anvendes.

Med Hensyn til de praktiske Muligheder for Fremskaffelse af den til et bestemt Formaal bedst egnede Cement maa jeg maaske til Slut nævne, at de samvirkende danske Cementfabrikker til Stadighed fabrikkerer følgende Cemente:

Portland-Cement,
Rapid-Cement,
Velo-Cement,
Moler-Cement,
hvid Cement
og farvede Cemente

i næsten enhver ønskelig Farve. Fabrikkerne har endvidere fremstillet Lowheat-Cement og sulfatbestandig Cement og er ogsaa i Fremtiden beredt til og sikkert ogsaa i Stand til, saafremt de nødvendige Raamaterialer kan fremskaffes, at fremstille disse og andre Special-Cemente, saafremt det Kvantum, der skal bruges, tillader en Fremstilling paa en økonomisk forsvarlig Basis.

DISKUSSION

refereret ved Civilingeniør Viggo Sthyr.

Diskussionsindlederen, Direktør, Civilingeniør Løventhal udtalte:

Cement blev tidligere fremstillet efter de Opskrifter, som man erfaringsmæssigt vidste gav de bedste Resultater. Det er betryggende at vide, at man nu er naaet frem til et større Kendskab til Cementens Sammensætning, saaledes at man ved, ikke alene hvorledes, men ogsaa hvorfor de forskellige Egenskaber opnaaes.

Paa Grundlag af denne Viden har man forbedret Portland-Cementen meget betydeligt og skabt de nye hurtighærdnende Portland-Cementer.

Resultaterne er imponerende, og Forskningsinstitutterne og Fabrikerne har Grund til at være stolte. Dog bemærker man med en vis Vemod, at Trækstyrkerne ikke følger Trykstyrkernes Kapløb opad.

Det er et Spørgsmaal, om de store Trykstyrker, der er opnaaet, kan udnyttes helt i Praksis. Man kan vel i mange Tilfælde gøre Konstruktionerne spinklere, men næppe Blandingsforholdet væsentlig magrere af Hensyn til Betonens Tæthed, navnlig hvor der er Tale om aggressive Stoffers Indvirkning.

Der har jo været ført flere Diskussioner om, hvad man skal forstaa ved tæt Beton. Fuldkommen porefri Beton eksisterer ikke, og med tæt Beton mener man derfor i Almindelighed i Praksis en Beton, som ved et vist Tryk er uigennemtrængelig for Vædske, f. Eks. Vand.

Tætheden har særlig Betydning, naar Betonen angribes af aggressive Stoffer. I Foredraget er der med Rette skelnet mellem to Slags skadelige Stoffer, nemlig de der virker opløsende paa Cementens Bestanddele, navnlig den frie Kalk, og udvasker denne, og de der ved Indtrængen i Betonen danner nye kemiske Forbindelser med Cementens Bestanddele, og derved virker skadeligt. Blandt de første er Syrer og blødt Vand, medens den anden Kategori navnlig omfatter Sulfater.

Hvis der skal være Tale om Udvaskning maa der dog være en vis Bevægelse i den indtrængende Vædske for at de opløste Bestanddele kan fjernes, medens dette ikke er nødvendigt, for at de kemiske Omsætningsprocesser kan indtræffe.

I begge Tilfælde er det heldigt, at Betonen er saa tæt som muligt, og dersom man tillige anvender en Cementsort, som er mindre angribelig end Portland-Cement, f. Eks. aluminatfattig Cement, Moler-Cement eller anden Puzzolan-Cement, skulde Betonen kunne blive endnu bedre. Foredragsholderen var dog vist noget optimistisk, naar han kaldte de ved Puzzolan-Cementer dannede Kalk-Kiselsyreforbindelser uopløselige.

Moler-Cement er i mange Tilfælde udmærket anvendelig til Vandbygningsarbejder i Stedet for Portland-Cement, men man maa huske, at kun ca. $\frac{3}{4}$ af Moler-Cementen er Cement, og at dens Rumvægt kun er $\frac{2}{3}$ af Portland-Cementens. Ved Fastsættelse af Blandingsforholdet maa man tage Hensyn hertil. Man maa ligeledes huske, at Moler-Cement er en Vandbygningscement, som kræver vaad Hærdning, og som i nogen Grad kræver en anden Støbeteknik end Portland-Cement.

Foredragsholderen nævnte, at Al-Cement ikke var bestandig ved Vand-

lagring ved en Temperatur over 35°. Det bør dog samtidig nævnes, at Beton med Al-Cement kan udstøbes og hærde ved meget lave Temperaturer.

Da Cementen er en saa vigtig Bestanddel af Betonen, vil man ved indtrufne Uheld uvilkaarlig tænke paa, om Aarsagen til Uheldet ikke ligger hos Cementen. Det kan imidlertid siges, at Fejlen i de fleste Tilfælde maa søges andetsteds. Som de hyppigste Fejl kan jeg nævne:

1. For lidt Cement i Betonen, en Fejl, der meget hyppigt begaaes.
2. Tilslagsstofferne har en uheldig Kornfordeling eller indeholder Urenheder, f. Eks. Humusstoffer eller for meget Ler.
3. For stor Vandtilsætning.
4. Tilsætning af Vand til Beton, som er begyndt at binde af.
5. For lav Temperatur i Betonens Omgivelser.
6. For hurtig Udtørring af Betonen eller Bortsivning af Vandet, f. Eks. til Underbunden.
7. Daarligt Arbejde ved Betonstøbningen. F. Eks. daarlig Blanding, hvilket giver en ujævn Fordeling af Cementen, selv om det rigtige Blandingsforhold er overholdt.

Professor, Civilingeniør Suenson spurgte, hvorledes de Tærninger af Molerement, som Foredragsholderen viste, var lagrede, inden de blev udsat for Sulfatpaavirkning? Ved vore Forsøg, hvor Provelegemerne havde været lagrede i fugtig Luft, var Molerementen ikke saa sulfatbestandig som Portlandcementen.

Af Hensyn til Forskydningsspændingerne i Bjælker, vilde det være ønskeligt, om Cementens Trækstyrke kunde blive sat op, derimod ikke af Hensyn til Revnedannelsen i Bjælkens Trækside, thi Betonspændingen her kan ikke holdes lavere end Trækstyrken, og under disse Forhold vilde det være bedre, om Betonen slet ingen Trækstyrke havde. I saa Tilfælde vilde Revnerne blive fint fordelt i Betonen, idet det jo er saaledes, at jo stærkere Betonen er, jo senere kommer Revnerne, og jo videre bliver de.

Med Hensyn til Wagners Turbidimeter vil jeg gerne vide, hvorledes dette justeres, idet Maalingerne ikke giver direkte Maal for Overfladen.

Civilingeniør, Dr. techn. Erik V. Meyer syntes, at Tanken om at fordele Revnerne lød tiltalende, men dersom Betonen selv kunde klare Trækspændingerne, vilde det dog være bedre.

Professor, Civilingeniør Suenson gav Dr. Meyer Ret heri, men da en saa stor Trækstyrke ikke er opnaelig, vil Trækstyrken Nul maaske være at foretrække. Betonen vil da modstandsløst følge Jærnets Forlængelser, og der vil opstaa uendelig mange uendeligt fine Revner, ganske som naar man indslæmmer en Jærnstang med Cement og senere trækker den over; synlige Revner optræder da først ved Flydegrænsen.

Civilingeniør Moe spurgte, om man vidste, hvorvidt de stigende Styrker havde Indflydelse paa Betonens Krybning? Man har Indtryk af, at Krybningen er blevet større, men dette skyldes muligvis, at Styrkerne udnyttes mere end tidligere. Ved man om Forskydningsstyrkerne følger med Trækstyrkerne eller Trykstyrkerne? Tidligere regnede man Forskydningsstyrken 3 Gange saa stor som Trækstyrken, gælder dette stadig?

Direktør Loventhal oplyste, at hans Omtale af Trækstyrkernes Betydning

skyldtes Revnedannelserne. Mon ikke de mange fine Revner, som Professor Suenson vil foretrække, vil forøge Utætheden?

Civilingeniør Steffensen havde i nogle Tilfælde været ude for, at normal Portland-Cement var bundet hurtigt af i meget varmt Vejr, og vilde gerne vide, hvad dette skyldtes. Paa Arbejdspladsen blæste Elmebrugter fra nærtstaaende Træer over paa Materialbunkerne. Kan disse skade Betonen?

Civilingeniør H. Dührkop omtalte som Svar paa Civilingeniør Moe's Forspørgsel nogle Forsøgsresultater, som viser, at Krybningen aftager med Cementens voksende Hærdningsenergi. Alcement giver saaledes mindre Krybning end hurtighærdnende Portlandcement, og denne giver mindre Krybning end almindelig Portlandcement. Dette gælder dog kun, naar Betonen lagres saaledes, at den udtørres, ved Vandlagring har man Eksempler paa, at Alcementen medfører større Krybning end Portlandcement. Lavvarmecement kan give dobbelt saa stor Krybning som almindelig Portlandcement.

Civilingeniør Blom Andersen spurgte om Portlandcement var hurtigere hærdnende end Rapidcement ved Temperaturer omkring Frysepunktet.

Civilingeniør Hvidberg vilde gerne have oplyst, om man med det af Foredragsholderen omtalte Turbidimeter kunde foretage paalidelige Maalinger af Overfladen hos finfordelte, faste Stoffer, selv om Partikelstørrelsen tildels laa under Lysets Bølgebredde.

Civilingeniør Jens Johansen ønskede af Hensyn til Anvendelsen af hvid Cement og farvet Cement i Vejbygning nogle nærmere Oplysninger om disse Cemente.

Civilingeniør Laursen nævnte den i Sverige anvendte Erstatnings-Cement, som var blevet omtalt i et Foredrag i Bygningsstatisk Selskab. Er man herhjemme inde paa Tanken om at fremstille en saadan Erstatnings-Cement, hvortil der saavidt han havde forstaaet var tilsat 15 % Stenmel? Kan en saadan Cement blive god?

Foredragsholderen, Civilingeniør Skjoldborg svarede:

Professor Suenson: Moler-Betontærningerne var lagret i 14 Dage i Vand. Justering af Turbidimeteret kan ske ved, at man dertil benytter en Cementprøve, hvis Overflade man har beregnet udfra en ad mikroskopisk Vej bestemt Kornfordeling.

Civilingeniør Hvidberg: Kornstørrelser under Lysets Bølgebredde maales ikke. Maaling med Turbidimeteret giver ikke eksakte Værdier, men kun relative Maal for Overfladens Størrelse.

Civilingeniør Moe: Hvorvidt Forskydningsstyrkerne følger Trækstyrkerne eller Trykstyrkerne, kan jeg ikke oplyse. Træk- og Trykstyrkerne er vokset omtrent proportionalt.

Civilingeniør Steffensen: At Portland-Cement kan binde hurtigt af i meget varmt Vejr er et kendt Fænomen, som imidlertid kan modvirkes ved Tilsætning af lidt mere Gips. Her i Landet vil man dog sikkert i de allerfleste Tilfælde kunne opnaa en tilstrækkelig langsom Afbinding ogsaa i den varmeste Tid, naar man til Støbningen anvender koldt Vand og eventuelt beskytter Tilslagsmaterialerne mod direkte Solskin. Hvorvidt Elmebrugterne er skadelige i Tilslagsmaterialerne, tør jeg ikke udtale mig om.

Civilingeniør Blom Andersen: C. t. O. vil efter Frokostpausen svare paa dette Spørgsmaal. (Se Referat af Diskussionen efter Professor Suensons Foredrag).

Civilingeniør Jens Johansen: Hvid Cement og farvet Cement er af Portland-Cement-Type og kan derfor anvendes overalt, hvor Portland-Cement kan anvendes, selv om de har lidt større Svind og lidt mindre Styrke. De omtalte Vanskeligheder med Udslag forekommer kun ved farvet Cement og ikke med hvid Cement.

Civilingeniør Laursen: Den svenske E-Cement er noget i Retning af den »Sand-Cement«, som tidligere blev fremstillet her i Landet. Der skulde ikke være noget i Vejen for ogsaa at anvende den her i Landet, saafremt Brændselsituationen gør det paakrævet, og nogle Forforsøg har godtgjort, at det er muligt at fremstille en saadan Cement med fuldt tilfredsstillende Betonstyrker.

Mødelederen, Civilingeniør Riis takkede derefter Foredragsholderen.

BETONS SAMMENSÆTNING

Af Professor, Civilingeniør *E. Suenson*.

- | | |
|---|--------------------------------|
| A. Indledning. | Konsistens og Styrke er givet. |
| B. Betons Tæthed. | G. Valg af Gruskvalitet, naar |
| C. Betons Styrke. | Betonens Cementprocent og |
| D. Vand-Cement-Forholdets Be-
tydning. | Konsistens er givet. |
| E. Betons Støbelighed. | H. Kornkurver. |
| F. Valg af Cementprocent, naar | I. Grovhestal. |
| Gruskvalitet samt Betonens | K. Grusets Rumvægt. |

A. *Indledning.*

Teoriene for Betons rette Sammensætning er behandlede i en saa omfattende Literatur, at man kunde vente, at vi fuldt ud beherskede Emnet, og saa er Forholdet dog det, at vi stadig er henvist til at gøre Forsøg med de foreliggende Materialer, naar vi vil finde det gunstigste Blandingsforhold, og at vi kun kan bruge Teoriene til en foreløbig Orientering.

Den uerfarne Ingeniør, der vil søge at trænge ind i Emnet gennem Literaturstudier, er ilde faren. Han vil støde paa talrige Teorier, der er indbyrdes modstridende, og den Vejledning, han trænger til, er ikke en yderligere Udbygning af Teoriene, men tværtimod en Kritik af disse og en Fremdragnings af de Love, som Teoriene er mer eller mindre mangelfulde Udtryk for, og skønt jeg er klar over, at jeg i Dag ikke taler for Novicer, tror jeg dog at tjene Dem bedst ved at forsøge at give en saadan Vejledning.

Jeg har i min Bog om Jernbeton — ved Henvisninger i det følgende betegnet JB — valgt at dele Gruset i 2 Fraktioner, Sand og Sten, i Overensstemmelse med Praksis paa de fleste danske Byggepladser. Kravene til Sandet behandles for sig, Kravene til Stenene for sig, og sluttelig redegøres for den gunstigste Værdi af Forholdet $P_{st} : P_s$. En saadan Deling har Mangler, men til Gengæld pædagogiske Fortrin; jeg tror ikke, at man paa nogen bedre Maade kan bibringe Eleven det

Overblik over væsentligt og uvæsentligt, som bør være Undervisningens Maal.

Men i Dag vil jeg behandle Gruset — Sand + Sten — som en Enhed.

Man kan undre sig over, at vidt forskellige Teorier kan bestaa Side om Side, skønt de er Udtryk for Erfaringer høstede i Praksis og ved Forsøg, men nærmere beset er det ikke uforstaaeligt, og jeg skal nævne nogle af Grundene:

(1) De fleste Forsøg og Teorier er baserede paa, at 2 Gruskorn af samme Vægt virker ens i Betonen; man glemmer, at de kan have forskellig Vægtfylde og altsaa forskelligt Rumfang, og det er selvfølgelig Rumfangsforholdene, det kommer an paa.¹⁾ Og selv om Rumfanget er ens, kan Kornformen være forskellig, og Formen paavirker Lejrings-tætheden. Derfor kan 2 Grussorter med samme Kornkurve i Vægtenheder være ulige egnede til Betonfremstilling.

(2) Betonens gunstigste Sammensætning varierer med dens Konsistens, og denne kan ikke beskrives eentydigt. Et Begreb som »plastisk Konsistens« er meget rummeligt.

(3) Paa Grund af de variable Faktorens Mangfoldighed er vi tvungne til kun at stille beskedne Krav med Hensyn til Overensstemmelse mellem Teori og Virkelighed, saaledes at en Gruppe Forsøgsresultater kan fremstilles med tilfredsstillende Nøjagtighed ved Kurver af forskellig Form (Fig. 1).

(4) Selv om Teoriene tilsyneladende er meget forskellige, dækker de dog nogenlunde hinanden indenfor et begrænset Omraade, nemlig det indenfor hvilket de mest brugte Betonkvaliteter ligger.

Betons Godhed afhænger dels af de kemiske Processers Forløb, dels af Kornstørrelsesforholdene, altsaa af Betonens Struktur, og i dette Foredrag vil jeg kun behandle Strukturen. Først skal der redegøres for de Strukturforskelle, paa hvilke Forskellen mellem god og daarlig Beton beror, og dernæst vil jeg forsøge at give en Vejledning til at fremstille Beton med den ønskede Struktur.

B. Betons Tæthed.

Naar en Søjle støbes af mer eller mindre flydende Beton og bagefter skæres op i Tærninger, hvis Styrke bestemmes, vil man finde, at Styr-

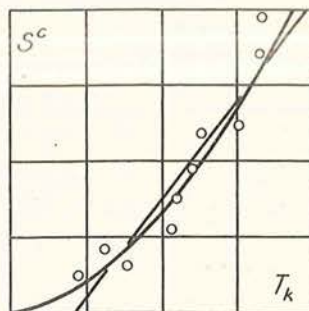


Fig. 1. Forsøgsværdier kan udtrykkes ved forskellige Kurver.

¹⁾ E. Suenson: Trykforsøg med Alcement-Beton (Ingeniøren 1924, S. 263).

ken aftager fra neden og opefter, og at det samme gælder Rumvægten. Der er altsaa en vis Forbindelse mellem Styrke og Tæthed.

Men Betons Tæthed er et flertydigt Begreb, og inden jeg gør videre Brug af Ordet, maa jeg derfor forklare hvilken Betydning, jeg tillægger det. Først maa der skelnes mellem 2 helt forskellige Betydninger:

(1) Tæthedsgrad i Betydningen *Gennemtrængelighed for Luft og Vædsker*.

(2) Tæthedsgrad i Betydningen *Porositetsgrad*; kun i denne Betydning bruger jeg Ordet i Dag.

Men ogsaa (2) er et flertydigt Begreb. Definitionen er tilsyneladende ceentydig:

$$T = \frac{r}{r+p} = \frac{r}{R}$$

hvor r og p er Rumfangene af fast Masse og Porer, og R er Betonens samlede Rumfang, men i Virkeligheden er r og p flertydige Størrelser, og eftersom man tillægger dem den ene eller den anden Betydning, kommer man til følgende Tæthedsgrader:

(a) *Den absolutte Tæthedsgrad*, som findes ved at tørre og pulverisere Betonen og bestemme Pulverets absolutte Rumfang r . Ved denne Fremgangsmaade findes r mindre, hvis Gruskornene er hule, end hvis de er massive, og den absolutte Tæthedsgrad er derfor intet Maal for den Tæthed, der interesserer Betonteknikeren.

(b) *Lejrings-tæthedsgraden*, ved hvis Bestemmelse man i r medregner Gruskornenes interne Porer, hvis de da ikke er saa vide og saa aabne, at der kan trænge Cement ind i dem. Denne Tæthedsgrad interesserer os mere end den absolute; vi ønsker at faa den stor uden Brug af megen Cement.

I det følgende taler jeg kun om Lejrings-tætheden.

Definitionen (2) er da ceentydig, men T er en Størrelse, der ændrer sig fra Udstøbningsøjeblikket til Hærningens Afslutning, som det skal forklares i det følgende.

Hvis en Form med Rumfang R fyldes til Randen med Beton (Fig. 2), vil dennes Bestanddele straks efter Udstøbningen tilfredsstillende Rumfangsligningen:

$$R = r_c + r_g + V + L$$

idet Bogstaverne tilhøjre for Lighedstegnet udtrykker de absolutte Rumfang af Cement, Grus, Vand og Luft.

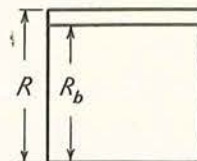


Fig. 2.
Betons Sætning.

Naar Betonen er størknet, har den ændret Sammensætning: En Del af Vandet har forbundet sig kemisk med Cementen, hvis Rumfang derved er vokset fra r_c til $\alpha \cdot r_c$; en anden Del er steget til Vejrs og har lejret sig paa Betonens Overflade; en tredje Del er fordampet eller løbet ud af Formens Utætheder; ved disse Processer formindskes den oprindelige Vandmængde fra V til v . Ogsaa Luftmængden har sandsynligvis ændret sig; noget Luft er maaske steget til Vejrs som Blærer, men det er ogsaa muligt, at Vandets Forsvinden har medført en Indsugning af Luft; ved disse Processer formindskes eller forøges den oprindelige Luftmængde fra L til l .

Den størknede Beton har følgende Rumfangsligningen:

$$R_b = \alpha \cdot r_c + r_g + v + l = \alpha \cdot r_c + r_g + p$$

hvor p er Porerumfanget.

Skønt α er større end 1 og voksende i Tidens Løb, sætter vi $\alpha = 1$. Desuden ser vi bort fra de Rumfangsændringer, der sker efter Stærkningen som Følge af Betonens Svind eller Svulmning; saavel disse som α 's Vækst under Stærkningen betyder nemlig intet for vort Formaal. Vi regner altsaa med Værdierne:

$$R_b = r_c + r_g + p$$

$$T_b = \frac{r_c + r_g}{R_b}$$

Den saaledes definerede Tæthed er følgende Lejringsstætheden, efter at Betonen har sat sig, og inden de kemiske Processer er begyndt.

For mørtelmættede Betoner med de Cementholdigheder, som bruges i Praxis, stiger T_b med Stenprocenten, hvorimod den er uafhængig af Cementprocenten, naar denne ikke er unormalt stor (Fig. 3¹⁾). Er Stenprocenten fornuftigt valgt, finder man $T_b = \text{ca. } 0,85$, altsaa ca. 15 % Porer enten Betonen er fed eller mager.

T_b er derfor intet Maal for Be-

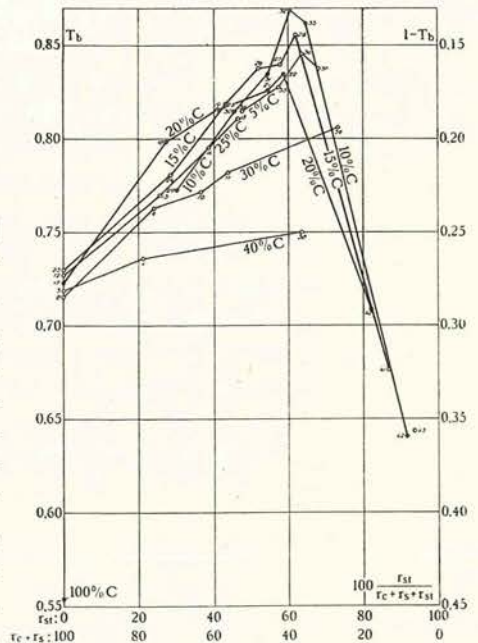


Fig. 3. T_b 's Variation med Stenprocent og Cementprocent, naar Betonen har en given plastisk Konsistens.

¹⁾ Se JB § 87.

tonens Styrke; dette er iøvrigt umiddelbart indlysende, thi man kan erstatte Cementen med Stenmel, uden at T_b ændres.

Bestemmende for Styrken er derimod Kitmassetætheden, som omtales i næste Afsnit.

C. *Betons Styrke.*

Beton bestaar af Grus + Kitmasse (Fig. 4).

Kitmassen bestaar af delvis hærdnet Cement + Vand + Luft, altsaa af Cement + Porer: $r_c + p$.

Betonens Styrke bestemmes af Kitmassens Styrke, naar Gruskornenes Styrke ikke er unormalt ringe.

Kitmassens Styrke bestemmes af Cementens Kvalitet og Kitmassens Tæthed:

$$T_k = \frac{r_c}{r_c + p}$$

Det samme gælder derfor Betonens Styrke. Denne kan udtrykkes ved:

$$S^c = K \cdot T_k^n$$

hvor K er en kemisk Faktor, hvis Størrelse bestemmes af Cementens Kvalitet og Hærdningsforhold, altsaa af Betonens Alder, Lagringsmaade, Lagringstemperatur o. s. v., medens n er et Tal, som man ved Forsøg ofte finder liggende mellem 2 og 3, uden at man kender Aarsagen til dets Variation.

K varierer paa samme Maade som Betonens Styrke (Fig. 5).

Naar forskellige Betoner fremstilles af samme Cement og hærdner paa samme Maade og er lige gamle, er K ens for dem alle, og deres Styrke er altsaa proportional med T_k^n (Fig. 6).

Denne nære Overensstemmelse mellem Styrke og Kitmassetæthed synes at være til Stede, enten vi støber vaadt eller tørt¹⁾, og det er derfor meget vigtigt at holde sig den for Øje. Alle Teorier for Betons gunstigste Sammensætning er kun holdbare, saafremt de fører til Betoner med stor Værdi af T_k .



Fig. 4. Det sorte og hvide er Kitmasse. Det skraverede er Gruskorn.

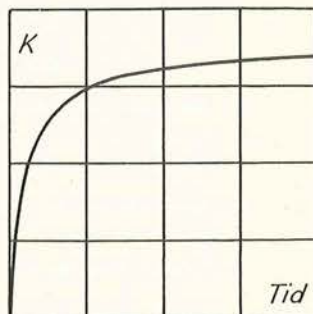


Fig. 5. K 's Variation med Tiden.

¹⁾ E. Suenson: Druckfestigkeit, Dichtigkeit und Wasser-Zement-Verhältnis von Beton und Mörtel (Erste Mitt. des I.M., Zürich 1930).

Ses der bort fra meget cementfattige Betoner, som ikke bruges i Praksis, kan Kitmassetæthedens Indflydelse paa Styrken ogsaa udtrykkes ved den punkterede Linie i Fig. 6:

$$S^c = K_1 \cdot T_k - K_2.$$

Dermed er vi kommet til den første Station paa Vejen, idet vi har fundet den Strukturfaktor T_k , der bestemmer Betonens Styrke.

Vor næste Opgave maa være at finde Aarsagerne til T_k 's Variation samt Midlerne til at gøre T_k stor, og det skal nu vises, at man opnaar en stor Værdi af T_k ved enten at bruge megen Cement eller lidet Vand; og for at kunne nøjes med lidet Vand, maa Gruset og specielt Sandet være groft.

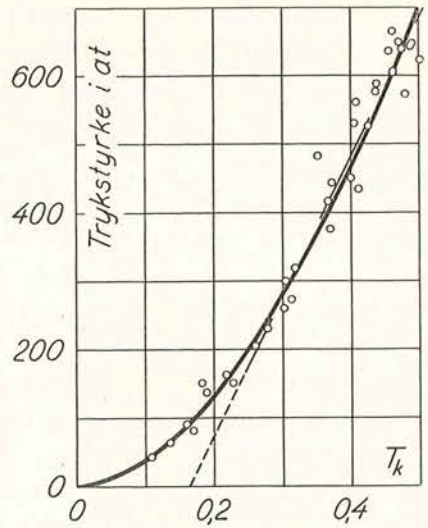


Fig. 6. Trykstyrkens Vækst med T_k .

D. Vand-Cement-Forholdets Betydning.

Paa Forhaand at sikre sig en bestemt Kitmassetæthed er kun muligt, hvis Betonen udstøbes med plastisk eller halvflydende Konsistens og selv i saa Fald kun med Tilnærmelse.

For en saadan Beton kan man tilnærmelsesvis regne $p = V$, altsaa:

$$T_k = \frac{r_c}{r_c + V} = \frac{1}{1 + \frac{V}{r_c}} = \frac{\frac{r_c}{V}}{\frac{r_c}{V} + 1}$$

og

$$S^c = K \cdot \left(\frac{1}{1 + \frac{V}{r_c}} \right)^n$$

svarende til, at Betonens Styrke alene afhænger af Vand-Cement-Forholdet, saafremt Cementens Kvalitet og Hærdningsforholdene er givet (Fig. 7).

Loven om Vand-Cement-Forholdets Betydning blev fremsat 1918 af *Abrams* under en anden Form end ovenstaaende, nemlig:

$$S^c = A : B \cdot \frac{1,5 \cdot \frac{P_v}{P_c}}$$

der ogsaa svarer til krumme Kurver (Fig. 8).

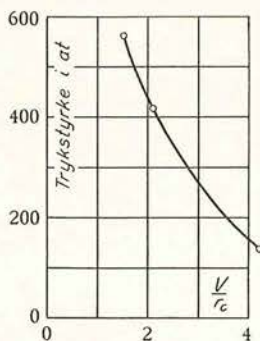


Fig. 7¹⁾.

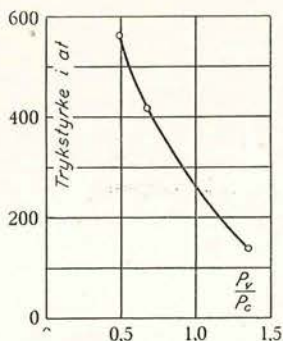


Fig. 8¹⁾.

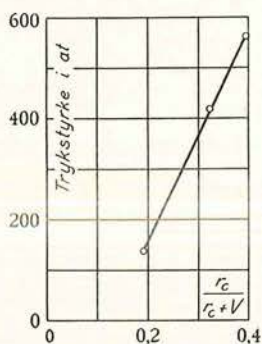


Fig. 9¹⁾.

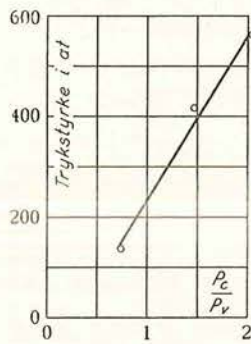


Fig. 10¹⁾.

I 1924 fandt jeg, at Loven simplere kunde udtrykkes ved²⁾:

$$S_c = K_1 \cdot \frac{r_c}{r_c + V} - K_2 = K_1 \cdot \frac{P_c}{P_c + 3,1 P_v} - K_2$$

altsaa ved rette Linier (Fig. 9), og i 1926 angiver *Stadelmann*, Svejts, den endnu simplere Form (Fig. 10):

$$S_c = K_3 \cdot \frac{P_c}{P_v} - K_4.$$

At Vand-Cement-Forholdets Betydning kan udtrykkes ved 4 mod hinanden stridende Ligninger skyldes, at Uoverensstemmelserne ikke er større end Forsøgs-Usikkerheden.

Skønt alle 4 Loves Gyldighed er betinget af, at Betønen efter Ud-støbningen er luftfri, og at den ikke inden Størkningen udskiller Vand — to i Virkeligheden uforenelige Betingelser — har vi i Praksis ingen bedre Rettesnor for Betonens Fremstilling. Næsten alle Betonens gode

1) De tre Punkter i Fig. 7—10 er tilfældigt udvalgte Forsøgs-værdier, nemlig de til Betonerne Nr. 27, 32 og 36 i JB § 85 svarende.

2) *Ingenløren* 1924, S. 276.

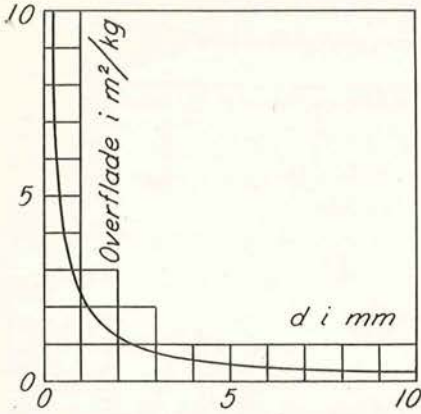


Fig. 11. Overfladen af 1 kg Kugler med Diameter d .

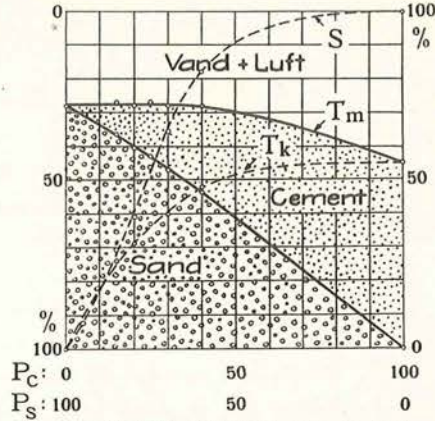


Fig. 12. Forholdet mellem r_s , r_c og r_D i Cementmørtel.

Stoffer, som undertiden findes i Grus eller tilsættes sammen med Cementen for at spare paa denne, thi en passende Mængde af disse Stoffer gør Betonen mere støbelig, uden at dens Vandbehov forøges. Virkningen beror formentlig paa følgende Forhold:

- (1) Melet omdanner den tynde Cementslam til en tykkere Fløde, der paa een Gang virker klæbende og smørende.
- (2) Klæbeevnen bevirker, at Fløden ikke løber bort fra Gruskornene under Tyngdens Indvirkning; derved bevares den jævne Fordeling af Cementen i Betonen.
- (3) Smøreevnen bevirker, at stærkere Kræfter, som Stampning, let frembringer Forskydninger i Betonen.

Den Vandmængde, der findes i 1 m³ nystøbt Beton, vil altsaa afhænge af Betonens Konsistens og af Grusets Kvalitet, men ikke af Cementholdigheden.

Denne Lov, der blev fremsat 1931 af Inge Lyse, stemmer godt med mine Forsøg med saavel Mørtel (Fig. 12¹)) som Beton. At den gælder for Beton viser Fig. 3, thi naar T_b er en Funktion af Tørstoffernes Stenprocent og er uafhængig af deres Cementprocent, maa det samme være Tilfældet med Betonens Poreprocent d. v. s. med dens Vandindhold.

Forholdene er ganske enkelt fremstillet i

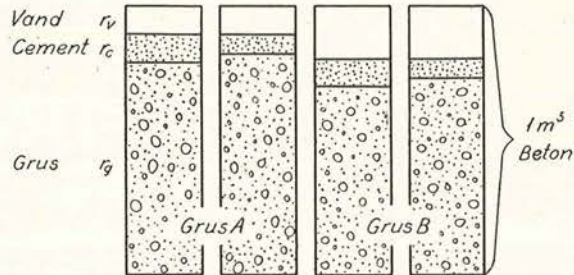


Fig. 13. Beton med ens Støbelighed.

¹) Se JB § 77.

Fig. 13. Gruset A kræver mindre Vand end Gruset B, medens en Ændring af $r_c : r_g$ ikke ændrer Vandbehovet.

Hvis man derfor vil ændre Blandingsforholdet $P_c : P_g$ uden at ændre Konsistensen, skal V forblive uændret, og for hvert kg, man

forøger P_c , skal P_g formindskes med $1 \cdot \frac{\gamma_g}{\gamma_c} = 1 \cdot \frac{2,65}{3,1} = 0,855 \text{ kg}$.

F. Valg af Cementprocent, naar Gruskvalitet samt Betonens Konsistens og Styrke er givet.

Da Betonens Styrke kan udtrykkes ved $P_v : P_c$ og dens Støbelighed ved $P_v : R_b$ kan man ved Hjælp af simple Forsøg løse den i Overskriften stillede Opgave.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Inge Lyses Lov: } \frac{P_v}{R_b} = K \\ \text{Stadelmanns Lov: } S^c = K_3 \cdot \frac{P_c}{P_v} - K_4 \end{array} \right\} \text{ giver: } S^c = K_5 \cdot \frac{P_c}{R_b} - K_4.$$

Naar man derfor af den foreliggende Cement og det foreliggende Grus fremstiller 2 Betoner med forskellige Værdier af $\frac{P_c}{R_b}$ og bestemmer deres Styrke, kan K_5 og K_4 beregnes; for alle andre Værdier af $\frac{P_c}{R_b}$ kan Styrken derefter udregnes uden Forsøg.

For den første Betons Vedkommende maa man maale eller udregne Udbyttet:

$$R_b = r_c + r_g + r_v = \frac{P_c}{3100} + \frac{P_g}{2650} + \frac{P_v}{1000}$$

hvorefter man kender Stofmængderne i 1 m^3 :

$$1 \text{ m}^3 = \frac{r_c}{R_b} + \frac{r_g}{R_b} + \frac{r_v}{R_b} = \frac{P_c}{R_b} : 3100 + \frac{P_g}{R_b} : 3100 + \frac{P_v}{R_b} : 1000.$$

Den anden Beton skal have samme Værdi af $\frac{r_v}{R_b}$ og altsaa samme Værdi af $\frac{r_c + r_g}{R_b}$, men en ny Værdi af $r_c : r_g$. Naar denne er valgt, kan man af den sidste Ligning beregne den tilsvarende Værdi af $P_c : P_g : P_v$, saa man kun behøver at udstøbe denne Beton og bestemme dens Styrke.

Konstanterne K_4 og K_5 varierer naturligvis ikke blot med Cementens og Grusets Kvalitet, men ogsaa med Betonens Alder og Hærdningsmaade.

G. Valg af Gruskvalitet, naar Betonens Cementprocent og Konsistens er givet.

Er $P_c : R_b$ givet, og vil man opnaa Maksimum af Styrke, skal $P_v : R_b$ være saa lille som muligt, og Gruset skal følgelig vælges saa groft, som Hensynet til Støbelighedskravet (2) i Afsnit E tillader.

Vanskeligheden ved Grusvalget ligger i, at fine Korn gør Skade ved at forøge Vandbehovet, og Nytte ved at udfylde grove Mellemrum uden Haarrørsvirkning, og at man ikke paa Forhaand ved, hvilken af de to Virkninger, der dominerer. Det bedste Grus kan derfor kun findes ved Prøvestøbninger; det Grus, der gør Betonen støbelig med mindst Vand, er det bedste, saafremt det tilfredsstillter Krav (2).

Skal man vælge mellem 2 foreliggende Grussorter, og er Betonens Cementholdighed og Konsistens givet, kan man fremstille 2 Betoner med denne Cementholdighed og denne Konsistens og maale Vandforbruget; det Grus, der kræver mindst Vand, vil da give den stærkeste Beton.

Det gode Grus' Overlegenhed bestaar alene i, at det kan nøjes med lidt Vand; støber man meget vaadt uden Hensyn til Grusets Behov, vil godt og daarligt Grus give samme ringe Styrke. Er Betonen megel cementrig, forsvinder Forskellen ogsaa.

Det bedste Grus kan som nævnt kun findes ved Prøvestøbninger med de forhaandenværende Grussorter, men man kan opnaa en mer eller mindre god Orientering ved simplere Forsøg, f. Eks. ved at bestemme Grusets Kornkurve eller Grovhestal, idet disse Faktorer har Indflydelse paa Grusets Vandbehov. Er Kornkurven givet, aftager Vandbehovet med voksende d_{maks} .

H. Kornkurver.

En Kornhobs Opbygning af ulige store Korn kan karakteriseres ved en Kornkurve (Fig. 14), hvis Ordinate angiver hvor stor en Vægtprocent af Hoben, der falder gennem et Sigtehul, hvis Vidde angives af Abscissen.

Gaar man ud fra, at den Kornkurve, der medfører størst Lejringsstæthed hos Betonen, er den bedste for saavel Støbelighed som Styrke — en Forudsætning, som ikke er rigtig, navnlig ikke for Styrkens Vedkommende, men som dog nærmer sig til det rigtige — bør man søge at bestemme denne Kurve. Dette

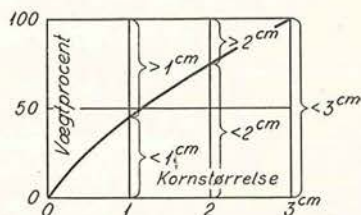


Fig. 14. Kornkurve.

kan ske ved at blande en Mængde forskellige Gruskornstørrelser sammen i en Mængde forskellige Forhold, tilsætte en given Cementmængde

og saa meget Vand, at Konsistensen bliver den ønskede, udstøbe disse Betoner og bestemme deres Lejringsæthed:

$$T_b = \frac{r_c + r_g}{R_b}$$

Den Kornkurve, der giver den største Værdi af T_b vil da være den gunstigste i Forbindelse med den paagældende Cementprocent og Konsistens.

Den første Kurve af denne Art blev opstillet af Amerikaneren Fuller og omfattede ikke Gruset alene, men alt Tørstoffet: Cement + Grus (Fig. 15); den viste, hvorledes en mager Beton med $P_g = 9 P_c$, udstøbt halvflydende, skulde være opbygget for i nystøbt Stand at indeholde Minimum af Porer (Luft + Vand)¹⁾.

Senere har man bestemt tilsvarende Kurver gældende for andre Cementprocenter, og ved sluttelig at optegne alle disse Kurver for Gruset alene har man faaet en Skare, hvis Middelkurve var en 2' Grads Parabel:

$$y = 100 \sqrt{\frac{d}{d_{\text{maks}}}}$$

og denne har man derefter opstillet som Mønster for Grus til Beton.

Et grovere Grus anbefales af Materialprøveanstalten i Zürich, nemlig:

$$y = 50 \cdot \left(\frac{d}{d_{\text{maks}}} + \sqrt{\frac{d}{d_{\text{maks}}}} \right)$$

Det er imidlertid indlysende, at den gunstigste Kurveform ikke kan være uafhængig af d_{maks} ; Sand $5/0$ mm og Grus $30/0$ mm med samme Kurveform er vidt forskellige Materialer i Henseende til Middeldiameter, Vandbehov og deraf følgende Cementbehov. Skal disse Forskelle udlignes ved en Ændring af Kurveformen, maa Sandkurven rettes ud, eller Gruskurven hvælves mere. Det maa derfor være en Regel, at jo større d_{maks} er, des mere hvælver den gunstigste Kornkurve sig op; med aftagende d_{maks} rettes Kurven ud; for $d_{\text{maks}} = 5$ mm bliver den til en ret Linie²⁾, og for finere Sand er den formentlig hul opad.

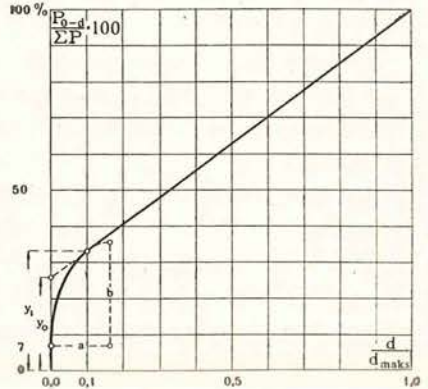


Fig. 15. Fullers Kurve.

¹⁾ Se JB § 88.

²⁾ Se JB § 104.

Ogsaa Cementprocent, Vandprocent og Kornform paavirker den gunstigste Kurveform, men hvis disse Størrelser ikke falder meget udenfor de i Praksis almindelige Rammer, og hvis $d_{maks} = ca. 30mm$; kan man dog regne med, at Grus med parabolisk Kornkurve er vel egnet til den meste Beton, navnlig fordi man faar en passende Kombination af Støbelighed og Styrke.

1. *Grovhedstal.*

Grusets Grovhed betyder mere for dets Vandbehov end Kornkurveformen, og man har søgt at danne et Grovhedstal, som gav Udtryk for Vandbehovet og dermed for Cementbehovet, naar en given Betonstyrke skal naas.

Et saadant Tal er ogsaa langt mere anvendeligt end en Kornkurve, thi som Regel kan man ikke skaffe Grus med en forud prøvet og godkendt Kurveform; Valget maa træffes mellem et Antal uregelmæssige, zigzagformede Kurver, om hvis Rækkefølge i Henseende til Egnethed man intet ved.

Grovhedstal bruges ogsaa udenfor Betontechniken og kan være af forskellig Art.

Hvis man indtegner et Antal Kornkurver i samme Koordinatsystem, kunde man tage Arealet over hver enkelt Kurve som et Maal for Grusets Grovhed. Denne er jo paa Forhaand et udefineret Begreb, saa der er intet til Hinder for at definere den ved nævnte Areal, og denne Definition muliggør en Sammenligning af uregelmæssige Kurver.

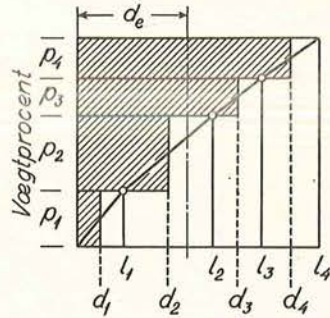


Fig. 16. Beregning af Arealet over Kornkurven.

Fig. 16 viser, hvorledes dette Areal F kan beregnes af de kendte Sigterester:

l_1 til l_4 er Sigtehullernes Tværmaal.

d_1 til d_4 er Fraktionernes Middelkornstørrelse, naar man forudsætter $d_1 = \frac{1}{2} \cdot (0 + l_1)$, $d_2 = \frac{1}{2} \cdot (l_1 + l_2)$ o.s.v., altsaa at Kornkurven er retliniet mellem Sigtehulspunkterne.

p_1 til p_4 er Grusets vægtprocentiske Indhold af de 4 Fraktioner.

$$F = p_1 \cdot d_1 + p_2 \cdot d_2 + p_3 \cdot d_3 + p_4 \cdot d_4 = \sum p \cdot d.$$

Omformes F til et Rektangel med Højde $\sum p = 100 \%$, bliver Grundlinien lig med den Diameter d_e som Kornene i et enskórnet Grus skal have for at give samme F som det foreliggende Grus:

$$d_e = \frac{\sum p \cdot d}{100}.$$

Grovhedstallet F er dog uden Tilknytning til nogen teknisk vigtig

Egenskab hos Gruset og bruges derfor ikke. Naar jeg har omtalt det, er det kun som Introduktion til *Abrams'* Grovhestal, som er af samme Art, men mindre anskueligt.

Skal Grovhestallet være Udtryk for Grusets styrkegivende Egenskab, maa det være Udtryk for Grusets Vandbehov, og dette vokser meget hurtigt med aftagende d (Fig. 11), hurtigere end Arealet F paa Fig. 16 giver Udtryk for. Hvis man derimod optegner Kurven med $\log l$ som Abscisser, vil en Forskel i Kornstørrelse paa f. Eks. 1 mm blive repræsenteret ved en des større Strækning af Abscisseaksen, jo mindre Kornet er, og dens Indflydelse paa Arealet F forstørres tilsvarende. Dette fremgaar af Fig. 17—18, der viser 4 Grussorters Kornkurver med henholdsvis d og $\log d$ som Abscisse. Kurven B tilvenstre er en 2' Grads Parabel. Nulpunktet i det logaritmiske System ligger uendelig fjærnt; Strækningen tilvenstre for Abscissepunktet $\log 0,2$ er udeladt.

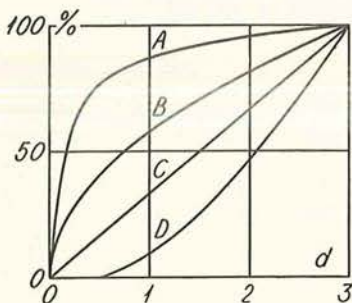


Fig. 17. Kornkurver med d som Abscisse.

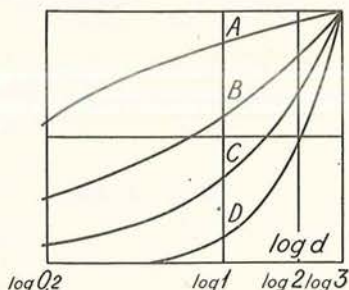


Fig. 18. Samme Kurver med $\log d$ som Abscisse.

Forsøg har vist, at Arealet F over den logaritmiske Kornkurve er et Maal for Grusets Vandbehov, saafremt F begrænses mod venstre paa hensigtsmæssig Maade. F er derfor af Værdi ved Bedømmelse af Grusets Godhed, saafremt Gruset iøvrigt har en fornuftig Sammensætning, d. v. s. at d_{maks} ikke er for lille i Forhold til F . I saa Fald vil to Grussorter med ens F have ens Vandbehov.

Abrams var den første, der opstillede et Grovhestal af denne Art (JB § 116). Det var baseret paa Brugen af et bestemt Sæt Sigtter med de omtrentlige Maskevid-

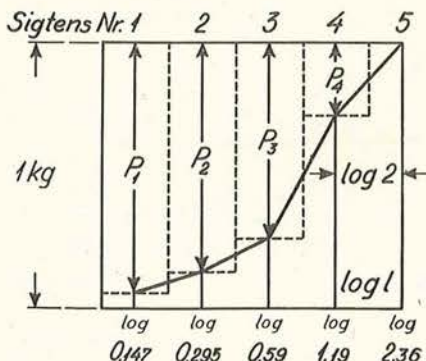


Fig. 19. Bestemmelse af *Abrams'* Grovhestal.

der $0,15^{\text{mm}} - 0,15 \cdot 2 - 0,15 \cdot 2^2$ o. s. v. (Fig. 19), og Tallet defineredes ved Summen af Sigteresterne:

$$G_a = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + \dots$$

naar 1 kg Grus sigtes paa samtlige Sigter op til den groveste, paa hvilken Gruset efterlader en Rest; P angives i kg. Det ses, at G_a er proportional med Arealet over Kurven, naar denne afsluttes mod venstre med den punkterede vandrette Streg, hvis Længde er $\frac{1}{2} \cdot \log 2$.

To Grussorter med samme G_a er æquivalente i den Forstand, at 1 m³ af den ene Sort kan erstatte 1 m³ af den anden Sort, uden at Betonens Konsistens og Styrke ændres.

Forbindelsen mellem Grusets Vandbehov og G_a er ikke simpel, men Abrams har udregnet Tabeller over $P_v : P_c$, naar $R_c : R_g$, Konsistensen og G_a er givet.

Senere har *Hummel* og *Spindel* opstillet Grovhestal af lignende Art som Abrams', men de har andre Talværdier, og deres indbyrdes Samhørighed er vanskelig at overse. De, der vil studere disse Forhold nærmere, kan jeg maaske give en Haandsrækning ved at paapege nogle almenyldige Love, der knytter sig til de logaritmiske Kurver.

For at gøre Forholdene saa enkle som muligt forudsættes Brugen af et rationelt Sigtesystem med Maskevidderne (Fig. 20):

$$l_0 \quad l_1 = l_0 \cdot c \quad l_2 = l_0 \cdot c^2 \quad l_3 = l_0 \cdot c^3 \text{ o.s.v.}$$

c er en vilkaarlig Konstant, l_0 er den Maskevidde, der tilbageholder samtlige Korn eller saa nær samtlige Korn, at man kan indse, at de faa, der passerer, er uden Betydning for Grovhestallet.

Arealet over Kurven er da:

$$F = (\frac{1}{2} + P_1 + P_2 + P_3 + \dots) \cdot \log c.$$

En mere anskuelig Forestilling om dette Grovhestals Betydning faar man ved at bestemme den Korndiameter, som et enskornet Grus skal have for at opnaa Grovhestallet F . Hvis man i et vilkaarligt Punkt svarende til Maskevidden l_m tegner en Ordinat, vil denne i Forbindelse med Abscisseaksen fra $\log l_0$ til $\log l_m$ være Kornkurve for et Grus, hvis Korn alle har Tværmaalet l_m , og hvis Vandbehov derfor er givet ved Arealet af Rektanglet: $1 \cdot a = 1 \cdot (\log l_m - \log l_0)$.

Skal Rektanglet have

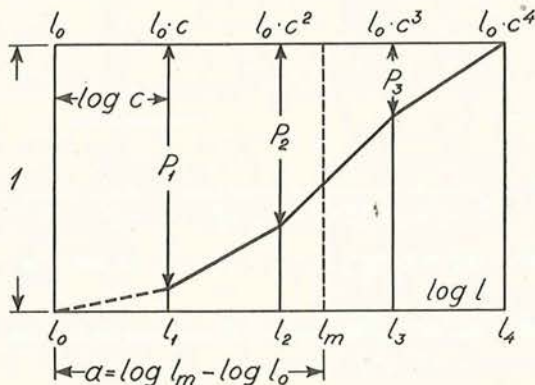


Fig. 20.

samme Størrelse som F , afsættes $a = F : l_m^1$), hvorved man finder den Kornstørrelse l_m , som et enskornet Grus skal have for at faa samme Grovhedstal som det foreliggende Grus.

I Stedet for F kan man derfor bruge l_m som Grovhedstal, og det har adskillige Fordele:

- 1) Det er anskueligt.
- 2) Det er uafhængigt af Diagrammets Maalestoksforhold.
- 3) Det er en eentydigt defineret fysisk Størrelse.
- 4) det overflødiggor alle de andre Grovhedstal, som blot er forskellige Udtryk for l_m .

Det vilde derfor være meget ønskeligt at faa denne Reform gennemført.

Hvis et givet Grus har Grovhedstallene G_a , G_h og G_s , eftersom man bruger Abrams', Hummels eller Spindels System, bliver Udtrykket for det æquivalente enskornede Grus' Kornstørrelse:

$$\log l_m = 0,301 G_a - 0,983 = 0,01 G_h - 1 = G_s - 3$$

svarende til:

$$G_h = 30,1 G_a + 1,7 \quad G_s = 0,301 G_a + 2,017.$$

Endnu et Grovhedstal skal nævnes, nemlig Eksponenten til c . Det er indført af *O. Stern*, der kalder det *Kornpotensen*. Hvis et Korns Størrelse netop svarer til Maskevidden $l_o \cdot c^2$, har det Kornpotensen 2; hvis et Grus med Kornkurvearealet F er æquivalent med et enskornet Grus med $l_m = l_o \cdot c^m$, har det Kornpotensen m . Et Korn med given Størrelse f . Eks. 2 mm har altsaa en Kornpotens, der varierer med Sigtesystemet.

Den internationale Standardiseringsassociation har derfor foreslaaet et internationalt Sigtesystem med $l_o = 1$ Mikron og $c = \sqrt[10]{10} = 1,259$ samt at benævne Sigterne med Kornpotensen m .

Alle de nævnte Grovhedstal er Modificationer af Abrams'. En afvigende Form har det Tal, jeg har indført for Sand og kaldt Sandets *Styrkeindeks*:

$$\alpha = 3g + 2m + 1,4f$$

hvor g , m og f er Sandets vægtprocentiske Indhold af Kornstørrelserne $\frac{5}{2}$, $\frac{2}{0,5}$ og $\frac{0,5}{0}$ mm; naar Mørtlerne fremstilles med plastisk Konsistens, vil deres Trykstyrke blive proportional med α .

K. Grusets Rumvægt.

Grusets Rumvægt bruges undertiden som Kvalitetsmaalestok, idet stor Rumvægt regnes for gunstig. Denne Maalestok er ubrugelig, saa-

1) Hvis $\log c$ er afsat som x^{cm} , haves $a = m \cdot \log c = m \cdot x^{cm}$.

fremt Kornenes Vægtfylder varierer med deres Størrelse, som Tilfældet er, naar Betonen fremstilles af Betonklinker og Natursand. Men selv om Vægtfylden er konstant, er Maalestokken upaalidelig, idet en stor Rumvægt ofte skyldes et stort Indhold af fine Partikler med stort Vandbehov, saaledes at den gode Virkning af det tunge Grus' lave Mellemrumsprocent mere end opvejes af dets store Vandbehov.

Og selv om saadanne fine Partikler ikke forefindes, er Rumvægten lidet vejledende, fordi Forholdet mellem Sand og Sten kan variere meget stærkt, uden at Rumvægten varierer væsentligt.

Ved Forsøg med Havsten 15/5 mm og Havsand 5/0 mm i naturfugtig Tilstand fandt vi i *Laboratoriet for Byggeteknik* følgende Rumvægte:

	$P_{st} : P_s =$	4,9	3,5	1,3	
Ved løs Lejring		1610	1605	1565	kg/m ³
Sammenstampet med Træstøder ...		1896	1923	1890	»

Naar Havsten 30/15 mm og Havsand 5/0 mm sammenstampedes under Vand med en spinkel Jernstang, fandtes Rumvægten eksklusive Vand at være:

P_{st} :	100	80	70	60	50	40	30	0 %
P_s :	0	20	30	40	50	60	70	100 %
Rumvægt:	1725	1960	2065	2120	2120	2065	2015	1855 kg/m ³

Af disse Rumvægte bliver man ikke klogere, end man er i Forvejen, og prøver man at fremstille Beton af saadan en Række nogenlunde lige tunge Grussorter som de midterste 4, vil ikke det tungeste, men det groveste Grus give størst Styrke, fordi det har mindst Kornoverflade.

F. Eks. fandtes for Beton fremstillet af Havgrus i Blandingsforholdet $P_c : P_s : P_{st} = 1 : 2 : 3$:

Stenstørrelse i mm			Grusets Rumvægt kg/m ³	S_{28}^c at
5/10	10/15	15/30		
50 0/0	50 0/0		2005	366
		100 0/0	2075	431
25 0/0	25 0/0	50 0/0	2110	397

Styrken vokser altsaa med Grusets Grovhed og ikke med dets Rumvægt.

Er G det tungeste Grus' Grovhedstal og $G + \Delta G$ det mest styrkegivende Grus' Grovhedstal, vil ΔG vokse med Betonens Cementholdighed.

Til Afslutning vil jeg endnu engang fremhæve, at:

- (1) Kitmassetætheden er det bedste Maal for Betonens Styrke, og Maalet er brugbart for alle Konsistenser.
- (2) Vand-Cement-Forholdet er det lettest kontrolable Maal for Styrken, men Maalet er kun brugbart, naar Konsistensen er plastisk.
- (3) Grusets Vandbehov er det bedste Maal for Grusets styrkegivende Egenskaber næst efter Styrkeforsøg.
- (4) samt at Betonens Godhed navnlig afhænger af Forholdet Sand : Sten og i ringere Grad af Sandets Kornkurve og i endnu ringere Grad af Stenenes Kornkurve.

DISKUSSION

Refereret ved Civilingeniør *Axel Riis*.

Diskussionsindlederen, Civilingeniør, Dr. techn. *Erik V. Meyer* udtalte følgende:

Jeg vil gerne takke Professor Suenson for hans udmærkede Foredrag. Som altid gribes Problemerne an fra Grunden, og i det store og hele er jeg enig i de Konklusioner, Professor Suenson kommer til. Jeg skal i Tilslutning til Professorens Retningslinier senere fremkomme med de Anvisninger, som jeg har foreslaaet Ingeniørforeningens Jernbetonudvalg vedrørende Beton til Jernbeton.

Kitmassetætheden er jo et udmærket Udtryk, men for Simpelheds Skyld regnes Cementen ikke at ændre sin Volumen, d.v.s. man sætter $\alpha = 1$. Imidlertid ændrer den baade Vægt og Volumen, idet Vægten stiger og Rumvægten synker, hvilket bevirker, at 1 g Portland Cement efter Hærdningen fylder 0,48 cm³ mod 0,32 cm³ før Hærdningen, Rapid Cement endda 0,50 cm³ efter Hærdningen, altsaa en Volumenforøgelse paa over 50 %, hvilket vil sige, at α er ca. 1,5.

Selv om det ikke gør nogen principiel Forskel paa Styrkeformlen, giver det et bedre Billede af Betonens virkelige Tæthed. 17 % Porer i den færdige Beton eller 170 l pr. m³ formindskes ved Udvidelsen af 300 kg Cement med ca. $0,18 \times 300 = 54$ l eller til 11,6 %. Dette Tal stemmer ogsaa bedre med, at man i Retningslinierne for Betonveje angiver Porevolumenet til mellem 11 og 12,5 %.

Jeg vil gerne gøre opmærksom paa, at vi regner 0,6 à 0,65 for en god Grænse for V/C, naar der forlanges Vandtæthed, og at vi med Rapid gerne gaar til i hvert Fald 0,8, ja endda opnaar Vandtæthed op til V/C 1,0. Nærer Professoren nogen Betænkelse herved?

Jeg vil gerne nævne, at vi, naar vi skal fremstille Beton af bestemt Styrke, ved Valg af Blandingsforhold Cement : Grus gaar ud fra V/C og fremstiller Betonen med den ønskede Konsistens, hvad vi i Reglen naar ved eet Forsøg. Opnaar vi ikke straks den ønskede Konsistens, sættes enten

mere Cementdejg eller mere Grus til. Da Civilingeniør Friis Jespersen paa Lørdag kommer lidt ind paa disse Forhold, skal jeg ikke gaa i Detailler.

Jeg vil gerne vise nogle Billeder, af hvilke Vandmængdens Indflydelse paa Betonens Svind fremgaar. Fig. 1 viser det almindelig kendte, at Svindet stiger med voksende Cementindhold, og at Svindet stiger med voksende V/C. Disse Kurver har den svenske Ingeniør *Ulf Bjuggren* set nærmere paa og fundet, at de kan slaas sammen, naar man gaar ud fra den samlede Vandmængde i Betonen, og han er kommet til den Kurve, som vises paa Fig. 2, altsaa at Betonens Svind udelukkende er afhængig af den anvendte Vandmængde. Ogsaa dette taler for, at Gruset med det mindste Vandbehov er det bedste.

Er det rigtigt, at visse melfine Stoffer gør Betonen mere bearbejdelig, uden at dens Vandbehov forøges? Er det ikke snarere saaledes, at disse Stoffer holder paa Vandet og altsaa paa en Maade giver selve Betonen større Vandbehov end Betonen uden disse Stoffer, idet Betonen uden Til sætning udskiller Vand og uheldigvis samtidig noget Cement. Det overflødige Vand har man kun sat til for at give Betonen en Bearbejdighed, som den i Forvejen er uegnet til at faa. De fine Stoffer hjælper altsaa paa Bearbejdigheden ved at sætte selve Betonens Vandbehov op, saaledes at den kan bearbejdes.

Jeg skal saa vise Dem nogle Kurver, Fig. 3, som vi stræber efter at naa, naar vi i C.t.O. sammensætter Materialer. De stemmer i det store og hele overens med Professor Suensons Retningslinier.

Fig. 4 til 7 viser de »Kornkurve-Omraader« for Tilslagsmaterialer til Jernbeton, som jeg har foreslaaet i det Udvalg i ingeniørforeningen, der reviderer Jernbeton-Normerne.

I Morgen hører vi forhaabentlig noget om Betonsammensætning for Beton til Vibrering af Civilingeniør Plum, men jeg tror, det vil interessere at høre, om der er nogle, der har Erfaringer fra Sammensætning af Grus til stampede Rør eller til andre specielle Formaal.

Civilingeniør *Niels M. Plum* be-

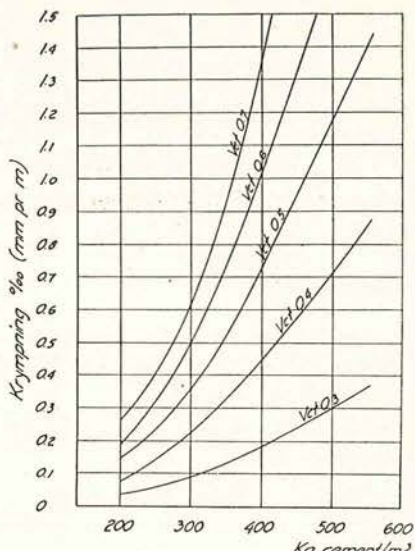


Fig 1. Betons Svind i Forhold til Cementindholdet ved forskellige Vandcementtal.

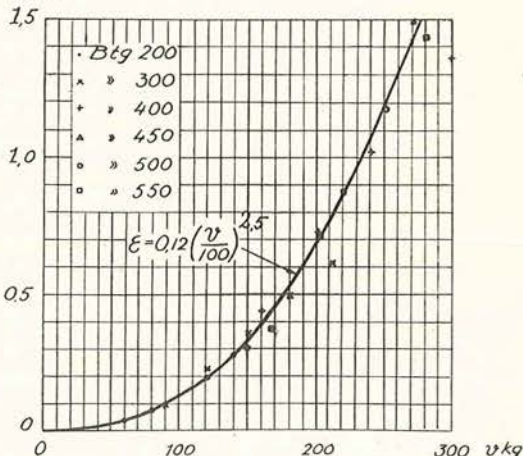


Fig. 2. Betons Svind som Funktion af Vandindholdet pr. m³, uafhængigt af Cementindholdet.

mærkede i Anledning af Professor Suensons Udtalelser om Grovhestallet, der ogsaa betegnes Finhedsmodul, at Kornkurven sikkert giver et bedre Billede end Finhedsmodulen af, hvorledes Tilslaget er graderet. Man kan faa samme Finhedsmodul med Materialer, der indeholder enten meget fint og lidt groft eller omvendt meget groft og lidt fint, med andre Ord Finhedsmodulen er ikke noget entydigt Kriterium. Endvidere fremhævede Professoren, at det var Tilslagets samlede Overflade, der betød saa meget med Hensyn til Vandbehovet, og at det derfor var af Vigtighed, at Tilslaget ikke indeholdt for meget fint Materiale. Da Professoren ikke bemærkede, hvorledes dette i Praksis bedst opnaas, var der maaske Grund til at fremhæve, at en Anvendelse af større Maximalcornstørrelse, der bevirker en lavere Beliggenhed af Kornkurven og altsaa et forholdsvis lille Indhold af fint Materiale, i Almindelighed er den bedste Løsning.

De Forslag til Normer for Kornkurver, som Dr. Meyer viste, forudsætter en given Kornform. For at være fuldstændig maa Forslaget derfor suppleres med Omraader for andre Kornformer.

Dr. Meyer bemærkede i Anledning af Civilingeniør Plums Udtalelse om Vandbehovets Afhængighed af Størrelsen af Maksimumcornstørrelsen, at Professor Suenson ifølge sit Manuskript udtaler, at »er Kornkurven givet, aftager Vandbehovet med voksende d_{maks} «.

Angaaende de viste Kornkurveomraader bemærkede han, at de fulgtes af en Vejledning, der angav, at Kurven kunde vælges desto dybere liggende, jo mere effektivt Betonen skulde bearbejdes, og des bedre Kornformen var.

Civilingeniør M. Jessen fremhævede Kornformens Betydning for Bearbejdigheden. Er Kornene i den grovere Del af Tilslaget flade eller lange og spidse, vil Betonen blive vanskelig at bearbejde, og der kan fremkomme Stenreder, hvor Stenene har pakket sig saadan sammen, at Mørtelen ikke kan udfylde Mellemmømmene. Kornkurven vil maaske slet ikke afsløre dette Forhold. I Jernbetonnormerne staar der intet derom. Kornformen vil og-

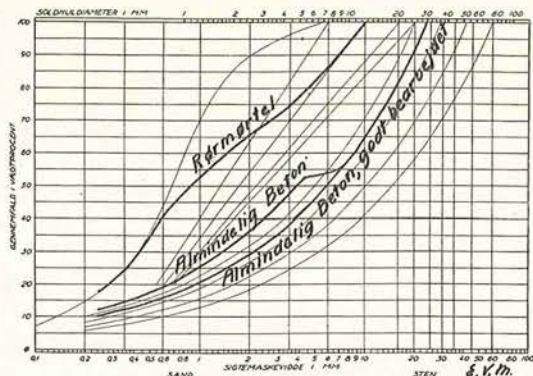


Fig. 3. Tilstræbte Kornkurver for Tilslagsmaterialer til Rørmørtel og almindelig Beton.

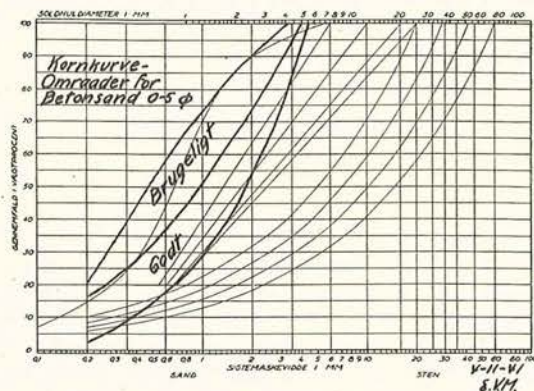


Fig. 4. Kornkurve-Omraader for Betonsand til Jernbeton,

saa have stor Betydning for Hulrumsprocenten af Stene. Medens den f. Eks. kan være 33 for rundkornet Materiale, kan den være 50 for kantet og fladkornet eller spidskornet Materiale. Mon man nogen Steder stiller Krav til Hulrumsprocenten af Stene?

Mødelederen, Amtsvejinpektør, Civilingeniør S. Elert, havde fra sin Praksis Erfaring for, at f. Eks. Flint kunde volde Vanskeligheder for Betonens Bearbejdighed. Man maatte prøve sig frem, indtil man fandt et saadant Blandingsforhold mellem den finere Del af Tilslaget og Flintstenene, at Betonen blev tilstrækkelig bearbejdlig.

Civilingeniør Herman Hansen vilde gerne udtale sig om Spørgsmaalet Flintskeerter kontra runde Sten. Det drejede sig om en Leverance til Statsbanerne. I 1. Omgang blev Flintskeerterne kasseret, fordi Hulrumsprocenten var over det tilladte Maksimum: 40 %. Man forsøgte først at variere Blandingsforholdet af Flintskeerterne, som var fremstillet paa en Kæbeknuser, og hvis Størrelse laa mellem 7 og 30 mm, men det hjalp ikke. Der fandtes for alle Blandingerne en Hulrumsprocent paa ca. 50.

Man fremstillede derefter nogle Flintskeerter paa en Kubit-Knuser. Hulrumsprocenten af disse Skærter (som havde en meget bedre Kornform end de først anvendte) bestemtes til 47, og det var ikke muligt at bringe denne længere ned ved Variation af Blandingsforholdet. (Stør-

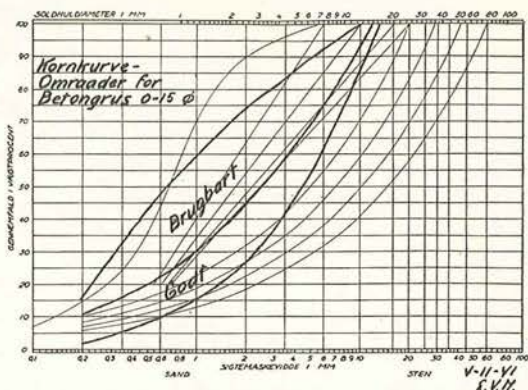


Fig. 5. Kornkurve-Omraader for Betongrus til Jernbeton.

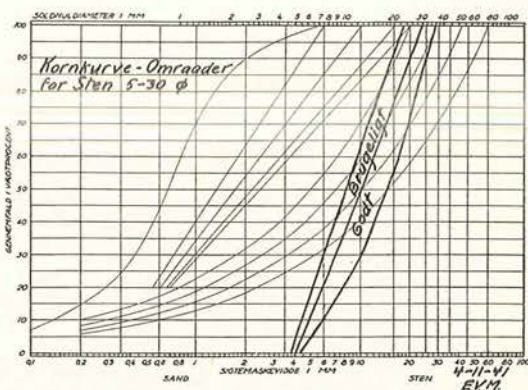


Fig. 6. Kornkurve-Omraader for Sten til Jernbeton.

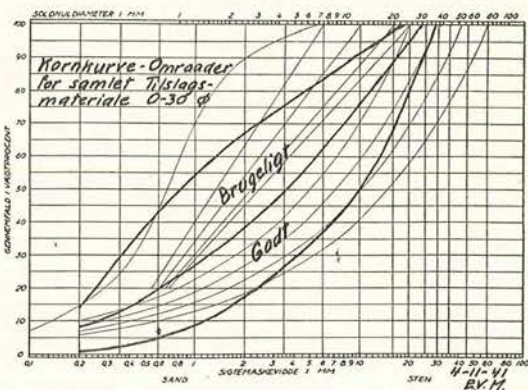


Fig. 7. Kornkurve-Omraader for samlede Tilslagsmateriale til Jernbeton.

relsen af disse Skærver laa ogsaa mellem 7 og 30 mm). Til Sammenligning kan anføres, at Hulrumsprocenten for Søstensmaterialet laa paa 37—38.

Man gik derefter over til at anstille nogle Forsøg med Støbning af Prøveterninger (20×20×20 cm), for at se, hvorledes Styrken af saadanne, fremstillet med forskelligt Tilslag, stillede sig efter de ifølge Statsbanernes Normer gældende Styrkekrav til Beton af forskelligt Blandingsforhold — for Beton 1:2:3 250 kg/cm².

Ved et 1. Forsøg blandede man efter Forholdet 1:3:5 og benyttede følgende 3 Blandinger, for hvilke den maksimale Kornstørrelse var den samme. Ved Styrkeprøvningen efter 28 Døgn's Forløb fandtes de anførte Resultater:

(1) Kubiske Flintskærver + Bakkegrus	278 kg/cm ²
(2) Søsingels + Strandsand	131 »
(3) Flintskærver + Bakkegrus	136 »

Sandsynligvis var der dog her sket en Forsøgsfejl, formentlig for hurtig Udtørring, hvorfor Forsøget blev gentaget, denne Gang under Statsbanernes Kontrol. Man blandede atter i Forholdet 1:3:5 og benyttede samme Tilslag som 1. Gang. Resultatet var følgende som Gennemsnit af 3 Bestemmelser (anført i Parentes):

(1) 281 kg/cm ²	(281 — 275 — 288)
(2) 230 »	(242 — 228 — 220)
(3) 242 »	(249 — 233 — 244)

I alle 3 Tilfælde er der ved Fremstillingen anvendt 8 Liter Cement (løst Maal). Vandtilsætningen var ved (1) og (3) 4 Liter og ved (2) 3½ Liter. Til Trods for, at Bearbejdigheden var bedst for de runde Sten, fik man altsaa atter størst Styrke med Flintskærverne, og af disse var de paa Kubitknuseren fremstillede de bedste.

Endelig foretog man et 3die Forsøg, idet man nu valgte en stærkere Blanding, nemlig 1:2:3, og for Søsingelsens Vedkommende blandede denne dels med Strandsand, dels med Bakkegrus. Man fandt (stadig efter 28 Døgn's Forløb):

(1) Kub. Flintskærver + Bakkegrus	430 kg/cm ²	(439 — 435 — 416)
(2) Søsingels + Strandsand	286 »	(292 — 283 — 283)
(3) Flintflækker + Bakkegrus	388 »	(392 — 376 — 397)
(4) Søsingels + Bakkegrus	354 »	(358 — 344 — 360)

I disse Tilfælde anvendtes 5 Liter Cement til hver Blanding, og der til-sattes 5 Liter Vand.

Flintskærverne, navnlig de »kubiske«, var altsaa stadig Søsingelsen overlegen. (Søsingels + Bakkegrus ses at give væsentlig større Styrke end Søsingels + Strandsand).

Professor *Suenson* fik herefter Ordet, og bemærkede følgende:

Dr. Meyer mener, at man i Formlen for T_k bør indføre α 's virkelige Værdi (paa hvilket Tidspunkt?) i Stedet for $\alpha = 1$, men α 's Variation — i Tidens Løb og med Cementens Art — er en Følge af de kemiske Proces-

ser, og dens Virkning er udtrykt i K . I Formlen $S^c = K \cdot T_k^n$ er alle de kemiske Processers Virkning samlet i K , medens T_k er Udtryk for Kitmassens Lejringsstæthed, inden de kemiske Processer er begyndt. Denne Adskillelse af de to Faktorer, der bestemmer Styrken, blev allerede foretaget i 1892 af Feret, men kun for Mørtel og kun for plastisk Konsistens, og T_k blev bestemt umiddelbart efter Mørtlens Oprøring, altsaa inden de kemiske Processer var kommet i Gang. Professor Suenson havde paavist, at Loven ogsaa gjaldt for Beton, og at den kunde bringes til at gælde for flydende Beton, saafremt man udskød Bestemmelsen af T_k , til Vandoverskudet havde udskilt sig; det var altsaa kun en Udvidelse af Ferets Lov.

Een af Talerne mente, at Kitmassetæthed og Vand-Cement-Forhold var noget nær det samme, og dette er rigtigt, naar Betonen har en vis Konsistens, derfor bestemmer Vand-Cement-Forholdet Styrken, naar Betonen er passende plastisk. I Forbindelse med enhver anden Konsistens duer Forholdet ikke som Styrkemaalestok. Forsøgene i Laboratoriet for Byggeteknik har derimod vist, at Loven $S^c = K \cdot T_k^n$ er gyldig for alle Konsistenser.

At en lav Værdi af $P_v : P_c$ er gunstig for plastisk og flydende Betons Frostfasthed kan næppe betvivles, og nogle fraraader at overskride Værdien 0,6; Professor Graf er mere optimistisk og mener, at Beton med $S^c \geq 200$ at er frostfast.

Om man med Rapidcement kan fremstille vandtæt Beton med $P_v : P_c = 1$, turde Taleren ikke udtale sig om. Det afhænger bl. a. af Vandtrykkets Størrelse, Betonens Tykkelse og Grusets Art. Hvis Gruset ikke indeholder mange melfine Partikler, vilde han paa Forhaand ikke vente at opnaa Vandtæthed.

Hvis Opgaven er at fremstille Beton med given Styrke og given Konsistens, naar Grussorten er givet, er Dr. Meyers Fremgangsmaade fortræffelig; da $P_v : P_c$ er bestemt af Styrken, og da man ved Forsøget finder det Forhold mellem Cementslam og Grus, der giver den ønskede Konsistens, kan man regne sig til den nødvendige Værdi af $P_c : P_g$.

Hvad de melfine Stoffers Virkning angaar, kan en Tilsætning forøge Betonens Flydeevne, uden at $P_v : P_c$ ændres. Nogle Forsøg med Kalk er refererede i JB § 119.

Forbindelsen mellem Kornkurveformen og Betonens Kvalitet var alt for variabel til, at den kunde fastsættes i Jernbetonnormerne. Disse skulde ikke være en ordrig Lærebog i at fremstille mønsterværdig Beton, men i kort og klar Lovform afstikke Grænserne for den projekterende Ingeniørs Bevægelsesfrihed. Man kunde lave Beton af næsten al Slags Grus, naar man afpassede Cementmængden efter Gruskvaliteten. (Dr. Meyer: Rørmørtel!). Rørmørtel er noget ganske særligt, fordi Rørene skal afformes straks efter, at de er fremstillet, og desuden være vandtætte.

Taleren var enig med Civilingeniør Plum i, at Kornkurven giver et bedre Billede af Gruset end Grovhestallet, thi dette giver slet intet Billede; helt forskellige Grussorter kan have samme Grovhestal. Men 2 Grussorter med samme d_{maks} og samme Grovhestal er ikke mere forskellige, end at de — som Abrams' Forsøg viser — kan regnes at være ækvivalente; 1 m³ af den ene Sort kan erstatte 1 m³ af den anden Sort, uden at Betonens Konsistens og Styrke ændres. Under disse Forhold er det nyttigere at kende Grovhestallet end at kende Kornkurven, thi kender man det første samt Betonens Konsistens og Blandingsforhold $R_c : R_g$, finder man i Abrams' Tabeller Betonens Styrke.

Civilingeniør *Plum*: Selv om 2 Kurver giver samme Grovhestal, er de ikke derfor lige gode. Den, som er næsten vandret paa det midterste Stykke, og som altsaa mangler Mellemfractioner, vil have stor Bearbejdelighed, men give en utæt Beton, medens den, som er næsten lodret, betegner en Beton med ringe Bearbejdelighed.

Professor *Suenson* bekræftede Kornkurvestudiernes store Værdi, men hvis han paa en Byggeplads skulde vælge mellem to Grussorter, vilde han ikke kunne gøre det alene paa Grundlag af Kornkurverne.

Civilingeniør *Jessen* havde efterlyst Regler for Stenformens Indflydelse paa Vandbehovet. Hvis kugleformede Korn har Vandbehovet 1, kan det for fliset Materiale være f. Eks. 1,25, altsaa 25 % større. Paa Spørgsmaalet om, hvorvidt Skærver er bedre eller daarligere end Rundsten, kan svares, at Skærver har et større Mørtelbehov, naar en given Støbelighed skal opnaas, og at man plejer at finde $S^c : S^l$ mindre for Skærvebeton end for Rundstensbeton, hvorimod Forholdet mellem de to Betonsorters S^c varierende med forskellige Faktorer (JB § 111). Til stenrig og cementfattig Beton var Rundsten formentlig at foretrække.

Hvad Amtsvejinspektør *Ellerts* Spørgsmaal om Flints Anvendelighed angaar, skulde efter nogle gamle Forsøg Flint give en ringe Styrke paa Grund af Flintens glatte Overflade. Men dette bekræftes aabenbart ikke af Civilingeniør *Herman Hansens* Forsøg. At Bakkegrus er bedre end Strandgrus skyldes antageligt, at det er grovere og indeholder lidt Ler, der forøger Bearbejdeligheden og ikke skader Styrken, hvis der ikke er for meget af det.

Civilingeniør *Plum*: Med Hensyn til Bestemmelse i Praksis af Kornformen af Stenene ved Hjælp af Hulrumsprocenten skal bemærkes, at denne er saa følsom for Variationer i Komprimeringsmaaden, at den ikke er anvendelig som Kriterium. I andre Lande er man derfor gaaet andre Veje, og f. Eks. i Frankrig foreskrives, at det volumetriske Forhold, d. v. s. Forholdet mellem Stenenes Volumen og Volumenet af den omskrevne Kugle, ikke maa være mindre end ca. 0,15, medens man i England regner, at hvis den mindste Dimension kaldes a, den mellemste b og den største c, skal $a:b > 0.6$ og $c:b < 1.8$.

Civilingeniør *A. Østergaard* vilde gerne høre lidt om en Betonstøbemetode, ved hvilken Formen var udført saaledes, at den virkede som en Art Træk-papir, der reducerede Vandcementtallet.

Professor *Suenson* bemærkede hertil, at man var kommet ind paa at benytte denne Metode i Forbindelse med Rendebeton, der jo maatte være meget flydende. Man indlagde maatteformede Sugeskiver i Støbeformen eller paa Betonens vandrette Overflade og forbandt dem med Sugeledninger. Metoden kunde maaske faa Betydning for Cementvarefabrikker, men næppe for Byggepladser.

Civilingeniør *Østergaard*: Statsbanerne forlanger, at højst 50 % af Betonsandet (regnet som Materiale finere end 7 mm ϕ) maa være < 1 mm. Er dette Krav mon rationelt? I et givet Tilfælde opnaaedes det at tilfredsstille Kravet ved til Betonsandet at sætte 20 % $2/5$ mm Skærver. Man kom saa ned paa 49 % < 1 mm.

Professor *Suenson* turde ikke udtale sig om Kravets Hensigtsmæssighed; det var i alt Fald ikke for vidtgaaende, da det blev tilfredsstillet af Sand med Styrkeindeks 170: At forbedre et underlødigt Sand ved Tilsætning af $2/5$ mm Korn var fuldt ud rationelt.

Civilingeniør *Viggo Sthyr* kunde angaaende Vakuum-Betonen bemærke, at han indenfor Betonvareindustrien havde set Eksempel paa, at Evakuering af en Del af den frisk udstøbte Betons Vand i Forbindelse med Vibrering havde givet udmærkede Resultater.

I Anledning af Professorens Bemærkning om, at Betonens Styrke var uafhængig af Grusets Styrke, mente Taleren, at Bemærkningen vel maatte skyldes, at Professoren havde maattet begrænse de Emnier, han vilde gaa nærmere ind paa, thi i Virkeligheden har jo Grusets og da navnlig Stenenes Styrke i ikke ringe Grad Indflydelse paa Betonens Styrke.

Med Hensyn til Inge Lyses Teori om den konstante Vandmængde anførte Professoren, at den kun gjaldt for de samme Materialer og samme Kornkurve for Tilslaget (og selvfølgelig samme Konsistens af Betonen). Ved nogle Forsøg (anstillet af C.t.O.), hvor Kornkurven varierede noget, men ikke meget, fandtes Vandindholdet i Betonen at være størst, saavel ved ret store som ved ret smaa Vandcementtal, medens det var noget mindre ved Mellemværdier af Vandcementtallet. Til Trods for, at der altsaa var anvendt Tilslag med lidt forskellige Sigtekurver, varierede Vandindholdet i Betonen dog kun ca. 10 %. Lignende Iagttagelser er gjort med Blandinger til Betonvarer, hvor dog den totale Vandmængde laa lavere, idet der var Tale om jordfugtig Beton.

Endelig bemærkede Civilingeniør Sthyr, at han var enig med Professor Suenson i, at Rumvægten af en Grussort ikke alene kunde give Oplysning om Grusets Velegnethed. Har man derimod en Bunke Sand og en Bunke Sten og ønsker at finde det bedste Blandingsforhold for disse Materialer, faar man god Vejledning herom ved at vælge den Blanding, der faar størst Rumvægt. Det er sikkert rigtigt, at den allerbedste Blanding i mange Tilfælde indeholder lidt flere Sten end den tungeste; men ved Benyttelsen af den nævnte Metode faas et betydelig bedre Resultat end ved at vælge et Blandingsforhold svarende til de almindelige Standardblandinger 1:2:3, 1:4:8 o. s. v.

Professor *Suenson* var enig med Civilingeniør Sthyr i, at Rumvægtsbestemmelser var nyttige, men man maatte ikke overvurdere Nyttens. Grus 30/0 mm kunde have ens Rumvægt, enten Sandindholdet udgjorde 30 eller 60 %, saa Rumvægten karakteriserede ikke Kornstørrelsesforholdene.

Dr. *Meyer* fremdrog her det af Professoren selv nævnte Forsøg vedrørende Rumvægten af Havsten 15/30 og Havsand 0/5 mm i forskelligt Blandingsforhold. Der var dog en betydelig Forskel paa Rumvægten af de forskellige Blandinger, idet der med Sten alene og Sand alene var fundet henholdsvis 1725 og 1855 kg pr. m³, medens der med saavel 60 % Sten og 40 % Sand som med 50 % Sten og 50 % Sand var fundet 2120 kg/m³. Ganske vist gav denne Blanding næppe den største Styrke, men til nogen stor Forskydning til den grove Side var der dog næppe Anledning, idet en saadan Forskydning vilde gaa ud over Bearbejdigheden.

Professor *Suenson* sluttede Diskussionen med at gentage, at Grusets Vandbehov er det bedste Maal for dets Egnethed til Beton; jo mindre Behovet er, desto bedre er Gruset.

Mødelederen, Amtsvejinspektør, Civilingeniør *S. Ellert*, sluttede Mødet med at rette en Tak til Foredragsholderen, Professor *Suenson*, Diskussionsindlederen, Dr. techn. *Erik Meyer*, samt de øvrige Deltagere i Diskussionen.

MODERNE KOMPRIMERINGSMETODER

Af civilingeniør hos Christiani & Nielsen, *Niels M. Plum*.

MOTIVERINGEN FOR ANVENDELSEN AF BEDRE KOMPRIMERINGSMETODER

Ved sammensætning af al beton til jernbeton stiler man først og fremmest efter at opnaa:

en stærk beton og
en holdbar beton.

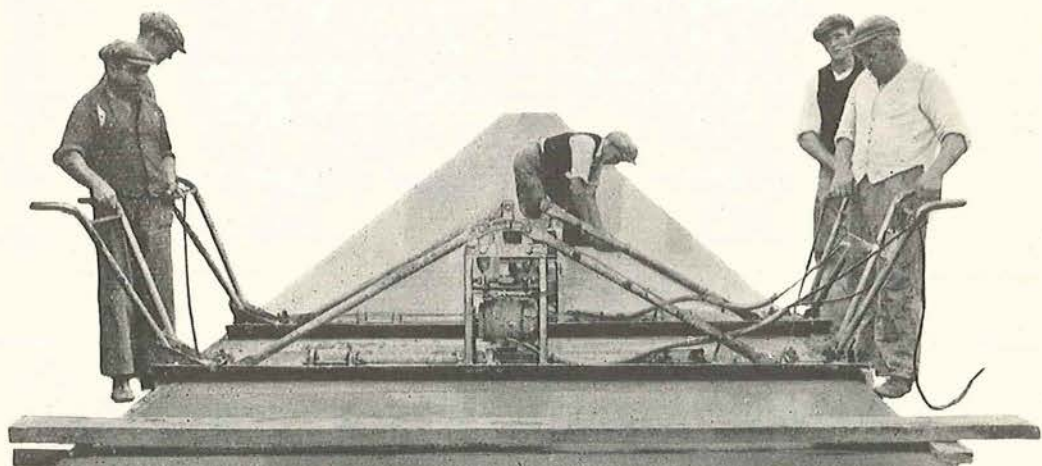
Ved styrke tænkes her baade paa tryk- og trækstyrke, medens vi med hensyn til holdbarheden i denne forbindelse vil indskrænke os til at tale om tæthed.

Som af professor Suenson nævnt, afhænger *styrken* i hovedsagen af vandcementforholdet v/c eller, da cementindholdet som regel af forskellige aarsager ligger fast inden for et ret snævert interval (275—350 kg/m³, fortrinsvis af vandindholdet, og da saaledes at et højt vandindhold giver lille styrke og omvendt. Den grafiske afhængighed mellem v/c og styrken er hyperbellignende (se fig. 1), eller hvad der er nemmere anvendeligt afhængigheden af det omvendte forhold: c/v er lineær. (se fig. 2).

Med hensyn til *tæthed* er forholdet vedrørende vandtilsætningen inden for visse grænser og særlig inden for jernbetonen det omvendte. Omend et forøget vandindhold efter fordampningen efterlader et større porevolumen, vil dog den større plasticitet medføre en saadan forringelse af hulrum i hjørner, under armeringen etc., at det samlede resultat i regelen bliver en tættere beton. Men det vil dog forstaas, at det er heller ikke fra et tætheds synspunkt lutter fordel at forøge vandindholdet.

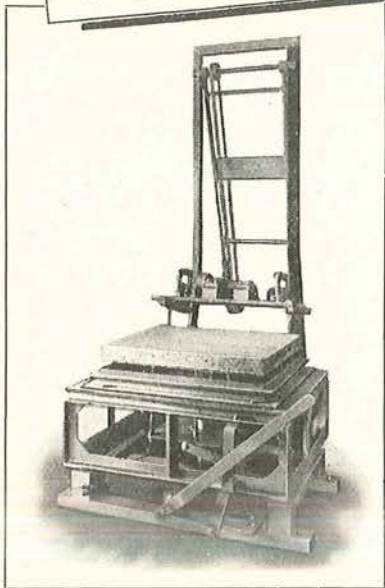
Da disse forhold efterhaanden blev klarlagt, og det samtidig fra en mængde alt for tidligt forvitrede betonbygværker blev klart, hvor stor betydning betons tæthed havde — man havde jo tidligere hovedsageligt interesseret sig for styrken — meldte kravene sig om nye metoder.

MANNICHE OG HARTMANN A/S

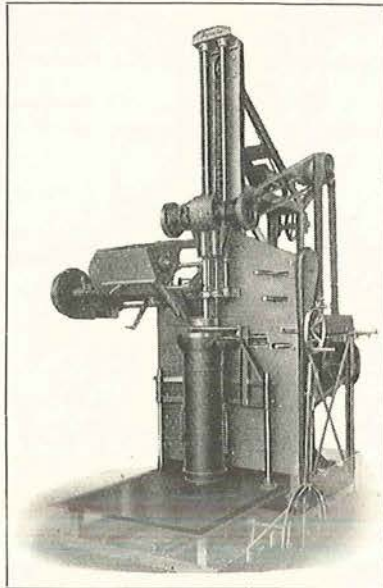


BETON · VIBRERET · JERNBETON

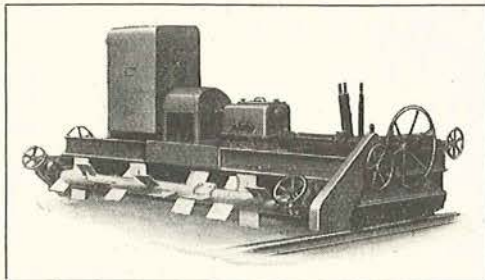
Til moderne Betonteknik:



P. M. Vibrations-Flisemaskine Type 40
for Flisestørrelser til 80 x 80 cm. Kapacitet ca. 125 Fliser pr. Dag. - Brudstyrken, som forlanges ifølge Normerne, kan let opnaas, selv med ret stor Cementbesparelse.



APOLLO SPECIAL Rørstampemaskine
stamper Rør fra 10-60 cm i Diameter og i Længde af 100 cm. - Brudstyrken for Rør stamperet paa SPECIAL ligger langt over, hvad Normerne DS 400 forlanger.



P. M. Vibrations-Vejfærdiger Type VR 25
for Betonveje fra 2,5 til 4,5 m Bredde. Fineste Prøve-resultater af Betonen er konstateret af Dansk Vejlaboratorium.

Vi er til Tjeneste med alle yderligere Oplysninger og sender Dem gerne vore Special-Prospekter.

PEDERSHAAB MASKINFABRIK A/S

KØBENHAVN
Telf. *C. 14066

BRØNDRSLEV
Telf. 450

AARHUS
Telf. 11400



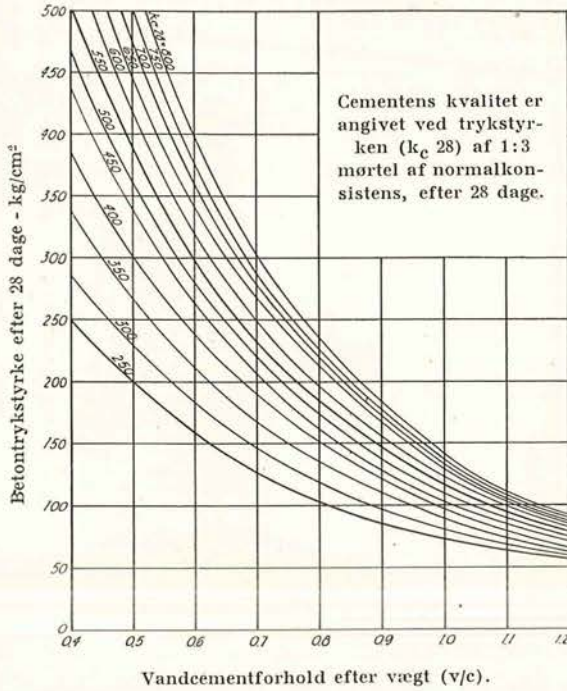


Fig. 1. Afhængigheden mellem v/c og trykstyrke for forskellige cementer og gennemsnitsstøbematerialer.

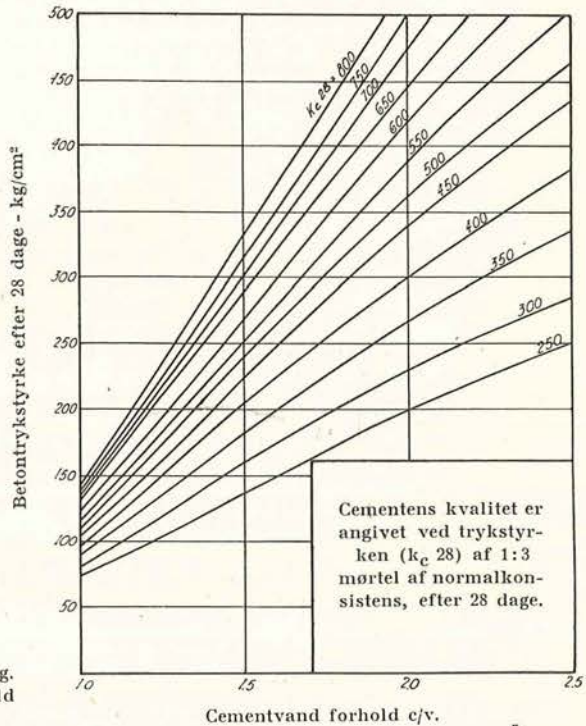


Fig. 2. Samme afhængighed som fig. 1, kun med det omvendte forhold som abscisse.

Den mest direkte vej syntes en overgang blot en forøgelse af cementindholdet, og omend denne vej ogsaa fører til et resultat, medfører den dog — bortset fra den væsentlige prisforøgelse — samtidig for konstruktioner, der ikke kan svinde frit, saa store ulemper i form af svindrevner, at metoden ikke kunde betragtes som en almindelig løsning.

I stedet for at tilsætte cement kan tætheden inden for visse grænser ogsaa forbedres væsentligt ved tilsætning af meget finmalet materiale (»filler«), som dog i de fleste tilfælde er vanskeligt at fremskaffe.

Begge metoder har den fejl, at betonen nemt bliver ret kostbar, og ingen af dem naar til det centrale, nemlig fjernelsen af det vand, der medgaar ud over de 20—30 %, der er nødvendige til cementens afbinding, eller fjernelse af luftporerne.

DE NYERE KOMPRIMERINGSMETODER

I de sidste 10 aar har man derfor forsøgt andre veje, der koncentrerer sig om fremstilling af beton med *mindre vandindhold*. Blandt disse er følgende de vigtigste:

Centrifugering.

Vacuum.

Vibrering.

De to første er i hvert fald paa deres nuværende stadium næppe anvendelige til andet end mere specielle formaal, og der skal derfor kun gives en kort oversigt over deres teori, medens vibreringen, der efterhaanden er udviklet til fuldstændig generel anvendelighed, vil blive behandlet i sine forskellige former lige fra »schokbeton«, der bestaar i ganske faa, men meget kraftige rystelser pr. minut, til den højfrekvente vibration med indtil 10.000—20.000 svingninger pr. minut.

Centrifugering.

Da centrifugering jo inden for mange omraader i øjeblikket er et meget skattet og udbredt middel til fremskaffelsen af et efter ønske kraftigt ensrettet kraftfelt, var det ogsaa naturligt, at man tidligt forsøgte centrifugeringen som hjælpemiddel for betonkomprimeringen, og metoden har da ogsaa paa specielle omraader i dag naaet en udvikling og et resultat, der rangerer i højeste klasse.

I princippet komprimeres betonen efter denne metode (som sikkert er tilhørerne bedst bekendt fra de ogsaa herhjemme blandt andet fremstillede »Bonna-rør«) i en roterende forskalling.

Ved legemer med stor lysning foregaar indfyldningen af betonen i formen først, efter at roteringen er begyndt (ved hjælp af særlige

fordelerapparater, der stikkes ind fra enden), idet der herved opnaas større ensartethed af røret og jævnere gang af maskinen, hvorimod fyldningen ved fremstilling f. ex. af master maa foregaa inden formen lukkes og anbringes i maskinen.

I formen kan ogsaa være udlagt en sammenbundet armering bestaaende af længdejern holdt paa plads af spiraler (eller omvendt, alt efter formaalet), og denne armering behøver ingen særlige afstandsklodser eller -jern, da den af støbematerialer, der trænger ud mellem den og formen, erfaringsmæssigt vil blive nøjagtigt centreret under rotationen.

Metoden egner sig naturligt til fremstilling af hule legemer med ensartet godstykkelse (rør), men det er ogsaa muligt at fremstille legemer med forskellig lysning og/eller udvendig diameter i enderne, ligesom det endda ogsaa er muligt ved at give rotationsaksen en lille afvigelse fra vandret at fremstille en jævnt forløbende variation af vægtykkelsen. Det maskineri, der kræves til fremstilling af rør og master m. m., er som det vil forstås, af saadanne dimensioner, at der kræves udpræget massefabrikation for at opnaa en rimelig afskrivning.

Med hensyn til blandingsforholdet for en beton, der egner sig til komprimering ved centrifugering, kan nævnes, at plasticiteten skal være ret stor, for at betonen kan fordele sig helt jævnt i røret. Dette kræver et forholdsvis stort abs. vandindhold paa mindst ca. 200 kg/m³, og med en rimelig værdi af vandcementforholdet faas altsaa ret store abs. cementindhold (350—500 kg c/m³). Den vel gennemførte centrifugering, d. v. s. opnaaelse af tæthed i røret inden for en begrænset roteringsstid kræver endvidere en ganske særlig nøjagtig overholdt kornkurve, der er ret lavt beliggende. Den endelige afbalancering af vandindhold, cementindhold og kornkurve er som sædvanlig et puslespil mellem bearbejdelighed — der her giver sig udtryk i rørets jævnhed — styrken og tætheden, men forholdene kompliceres usædvanligt derved, at en forøgelse af cementindhold og/eller finsand ikke altid fremmer tætheden, men kan have til følge, at overskudsvandet ikke kan slippe bort under centrifugeringen.

Der arbejdes i praksis efter 2 forskellige metoder for vandets fjernelse. Den ene metode bestaar i, at forskallingen — paa næsten samme maade som vacuum forskallingen (se senere) — er foret med et filter, gennem hvilket vandet slynges ud, medens den anden metode bestaar i, at der arbejdes med tæt forskalling (hvilket jo, f. ex. er tilfældet ved støbningen af den indre kappe i Bonna-rør), og at vandet samles paa indersiden, hvor det under rotationen begrænses i enderne af træflanger, der stikker lidt inden for betonen.

Valget af metode afhænger af betonsammensætning, hvilken over-

flade der ønskes indvendig og udvendig i røret, omløbstal etc. Metoden, hvor vandet trækkes ind, fører med sig, at der ligeledes samles en hel del mørtel paa indersiden, hvilket giver en meget glat og kemisk modstandsdygtig flade (se fig. 3).

For at undgaa afblanding er det nødvendigt, at samtlige kornstørrelser i støbematerialerne har samme vægtfylde, da selv ret smaa afvigelser giver sig omgaaende til kende paa en af siderne. Den praktiske

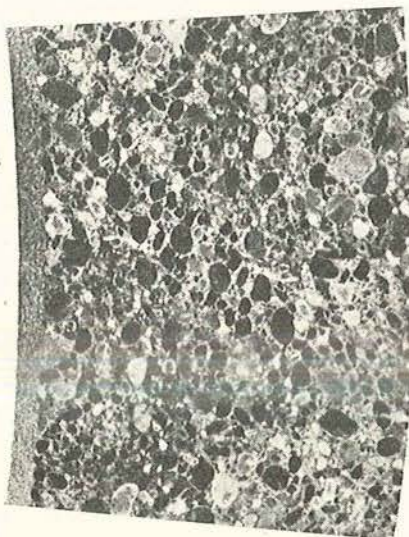


Fig. 3. Tværsnit af væg i centrifugeret betonrør, der bl. a. viser det rene mørtellag paa indersiden.⁴⁾

overholdelse af en saadan absolut ensartet vægtfylde fører med sig, at man som regel kun kan anvende knuste materialer af en og samme homogene bjærgart og er derfor ofte en af de største praktiske vanskeligheder.

Til specielle formaal kan en bevidst fremkaldt afblanding (lagdeling) baade med hensyn til stenmateriale og cementsort nyttiggøres til særlig forhudning paa overfladerne.

En nærmere udredning af alle disse forhold vil dog føre for vidt her, og særlig interesserede maa henvises til speciallitteraturen.¹⁾⁻⁶⁾

Angaaende optimale rotationshastigheder og -tider er det vanskeligt

at give generelle oplysninger, da disse varierer bl. a. med rørdiameteren, men det kan dog maaske være af interesse, at tophastigheden er ca. 400—600 omdr./min. og rotationstiden ca. 15—60 minutter. I almindelighed anvendes ikke konstant omløbstal i hele rotationstiden, men man begynder ved en hastighed paa $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$ af den maximale, ved hvilken betonen fordeler sig jævnt og indtager sin ligevægtsstilling, og først naar denne er opnaaet sættes fuld fart paa, hvorved den endelige komprimering og uddrivning af vandet opnaas. Ved at begynde med den lille hastighed opnaas for cementfattige blandinger, at betonen — idet vandet da ikke uddrives — endnu har sin fulde bearbejdelighed, medens ligevægtsstillingen skal indtages. Det langsomme omdrejningstal — med højt vandindhold — maa dog kun bibeholdes ganske kort, da der ellers kan opstaa en uønsket afblanding.

Ved fremstilling af store godstykkelser (f. ex. 15 cm) anvendes

¹⁾ Numrene henviser til Litteraturfortegnelsen.

som regel metoden med at trække vandet indad, da det herved er muligt at fremstille røret i 3 tempi med mellemliggende stop, hvor vandet, der staar inden i røret, kan ledes bort, og saaledes ikke skal presses gennem hele tykkelsen.

Efter færdigkomprimeringen maa retardationen foregaa jævnt og lempeligt for at undgaa, at betonen løsrives sig fra formen og sønder-rives af differenskræfter.

For en egnet betonsammensætning stiger trykstyrke og tæthed med stigende maximalt omløbstal, hvorimod det modsatte kan være tilfæ-l-det ved mindre egnede blandinger, selv om disse giver tilfredsstillende resultater ved middelomløbstal.

Vacuum.

Vacuumbeton bestaar i princippet deri, at betonen fremstilles og udstøbes med saa rigelig en vandmængde, at fuld fyldning af formen etc. er sikret, selv ved anvendelse af primitive komprimeringsmidler, og umiddelbart efter støbningens tilendebning fjernes saa det over-flødige vand ved at underkaste betonen et vacuum. Processen er ind-rettet saaledes, at samtidig med sugningen underkastes betonen som helhed et kraftigt tryk, der formaar at lukke porerne efter det bort-sugede vand — og uden hvilken sammentrykning fjernelsen af vandet selvfølgelig vilde være værdiløs.

I sin praktiske udformning ser metoden i almindelighed saaledes ud:

Plader.

Betonen udstøbes som sædvanligt paa en almindelig forskalling og med en efter vacuumet afpasset overtykkelse paa ca. 10 %, hvorefter der paa oversiden anbringes en indtil 1×3 m stor maatte af udseende f. ex. som fig. 4 bestaaende af en gummiramme, der ligger tæt an selv mod den ru betonoverflade og derindenfor forneden et staaletraadsvæv, der sikrer fri passage for vandet mellem filtret og den øvre tætte

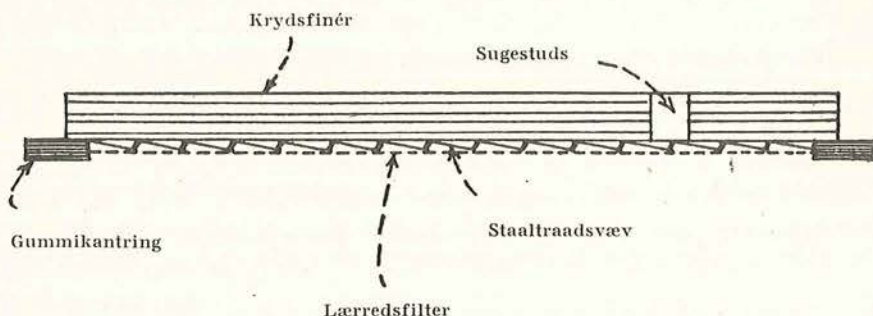


Fig. 4. Snit gennem sugemaatte til fremstilling af vacuum-beton. 7)

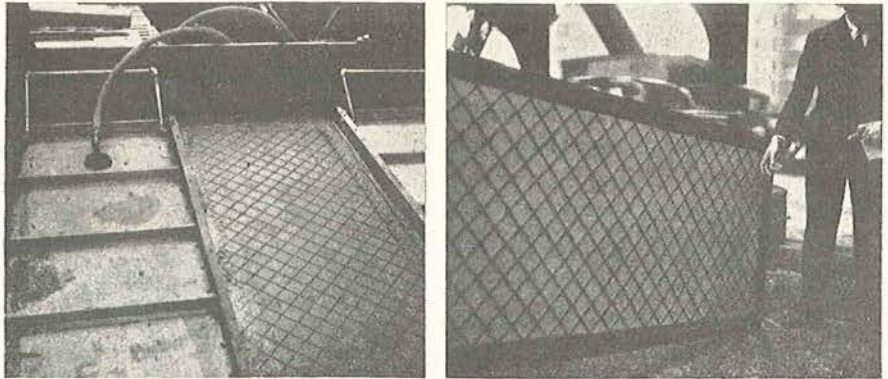


Fig. 5. Sugemaatter. Til højre ses undersiden med konturerne af det kraftige gitter, der sikrer den frie afstand mellem filtret langs undersiden og formens bagside. Til venstre betonfladen med og uden formen anbragt. Formens aftryk i betonen bemærkes tydeligt.⁸⁾

afdækningsplade til sugerørets mundstykke. En eller flere af disse plader anbringes successivt — hver gang med passende overdækning — efterhaanden over hele arealet, og hver gang udsuges det tilsvarende stykke, medens atmosfærens tryk foroven og forneden besørger komprimeringen. (se fig. 5).

Med et undertryk paa 500—600 mm kvægsølv, hvilket giver et ydre tryk paa forskallingen af størrelsen 6—8 t/m², er det herved muligt at reducere vandindholdet fra f. ex. $v/c = 0,75$ til $v/c = 0,45$ eller ca. 40 % i en 15—20 cm plade i løbet af smaa 5 minutters sugning hvert sted.

Vægge.

Fremgangsmaaden er her den, at maatter tilsvarende dem, der tidligere er nævnt, opsættes indeni eller som en del af forskallingen enten paa en eller begge sider afhængig af tykkelsen. Maatterne inddeles i vandrette felter paa $\frac{1}{2}$ —1 m's højde, der uafhængigt af hinanden kan sættes i forbindelse med sugelanlægget, og hvorved kan opnaas en successiv udtørring af betonen, som særligt ved høje konstruktioner (der jo almindeligvis ved kontinuert støbning faar et meget betydeligt forskallingstryk i bunden) vil være meget fordelagtig, idet udsugningen bibringer betonen en saadan sammenhæng og stivhed, at betonens sidetryk helt forsvinder.

Dette forhold udnyttes baade ved denne metode som ved de andre ovenfor nævnte metoder under særlige forhold — særlig massefabrikation af færdigstøbte betondele — til afforskalling umiddelbart efter behandlingen, men i almindelighed maa dog en vis forsigtighed i denne retning udvises af hensyn til den friske betons ringe modstandsdygtighed overfor tilfældig overlast.⁷⁾⁻⁸⁾

Vibrering.

Hvis man under navnet vibrering sammenfatter alle de metoder, der tilsigter komprimering af tørt tilberedt beton (lav v/c) ved hjælp af varierende ydre kræfter, der medfører en periodisk forøgelse af det komprimerende kraftfelt, som normalt kun bestaar af tyngdekraften, og/eller en midlertidig overvindelse af betonens indre friktion ved hjælp af kræfter ogsaa i andre retninger, falder disse i praksis naturligt i 3 grupper, nemlig

»Schokbehandling«,
Maskinstampning,
Vibrering.

der dog principielt kun er forskellige i den tilførte krafts frekvens, amplitude og retning.

»Schokbeton«

anvendes særlig i Holland til fabriksmæssig fremstilling af færdigstøbte elementer og fortrinsvis af betonpæle, og metoden bestaar simpelthen deri, at formen under fyldningen i hele sin udstrækning ved excentriker eller lignende løftes og atter falder frit en 10—12 mm. Bevægelsen gentages ca. 120—150 gange i minuttet og fortsættes indtil et par minutter efter støbningens ophør, hvorefter betonen skal have opnaaet en meget betydelig tæthed.

Metoden kræver ret svære maskinelle installationer, som næppe kan bæres af en gennemsnitlig arbejdsplads, men i Holland, hvor de billige kanaltransporter muliggør centraliseret fremstilling, har den sikkert berettigelse. ⁹⁾

Maskinstampet beton

er den herhjemme bedst kendte form for moderne betonkomprimering, idet den i en aarrække har været anvendt ved fremstilling af betonveje. Stampningen praktiseres her i sin almindeligste form ved en lang række hammerstempler (ophængt paa en kørende bro, der spænder over hele vejbanen) der af excentriker eller lignende løftes og ved hjælp af svære fjedre atter hamres mod beton eller ved de ældre typer falder frit. Det dynamiske tryk af en saadan hammer kan andrage et par kg pr. cm², frekvensen være indtil 250 slag/min. og faldhøjden omkring 8—10 cm. Den energi, der overføres til betonen, afhænger selvsagt af maskinens fremføringshastighed, men ved de almindeligste værdier omkring 200 cm/min. kan opnaas god komprimering af beton med abs. vandindhold ned til ca. 150 kg/m³.

Paa grund af materiellets art egner metoden sig hovedsagelig til fremstilling af betonveje. ¹⁰⁾ og ¹¹⁾.

Vibreret beton

er egentlig i princippet kun en videre udvikling af de før omtalte metoder, som naturligt fremkom, efterhaanden som det blev klart, hvor stor rolle frekvensen af den tilførte ydre paavirkning spiller.

For at man skal kunne tale om egentlig vibrering, maa frekvensen (n) ligge over ca. 3.000 svingninger/min., og af rent mekaniske aarsager er det derfor klart, at det hertil krævede materiel maa være af ganske særlig art, idet det er en meget speciel og krævende opgave at konstruere vibratorer (d. v. s. maskiner, der bevirker enten en frem- og tilbagegaaende eller en cirkulær flytning af tyngdepunktet) med denne hyppighed.

Der vil senere blive gjort udførligt rede for de forskellige typer og deres konstruktion, men det vil først være paa sin plads nærmere at gøre rede for de mere teoretiske sider af vibreringen.

Vibreringens virkning.

Til forstaaelse af, hvorledes betonen under paavirkning af de fra en vibrator udgaaende kræfter midlertidigt kan bliye saa plastisk, at den alene ved sin egen vægt kan overvinde sin indre friktion og flyde ud, saa den fuldstændigt udfylder alle hjørner og hulheder, tjener følgende simple forklaring, der uden at gøre krav paa at være absolut korrekt, dog giver et anskueligt billede af forholdene: ¹²⁾.

Den ligevægtsstilling ved almindelig ikke komprimeret beton, hvor partiklerne netop ikke kan rutche længere ned mellem hinanden, er bestemt derved (se fig. 6), at komponenten t_0 af reaktionen T fra partikel A paa partikel B i anlægsfladens plan netop er mindre end friktionskoefficienten multipliceret med normalkomponenten n_0 .

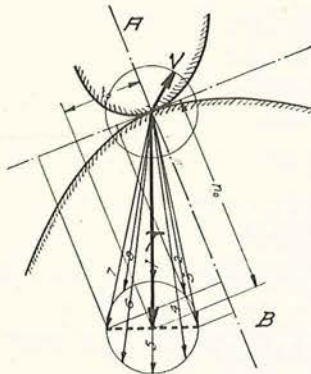


Fig. 6.

Vibreres betonen herefter i et lodret plan, vil A 's reaktion paa B faa tilført kraften V , der ligesom vibratoren løber rundt f. ex. 4.000 gange i minuttet. Resultanten af reaktionen er vist i forskellige stillinger no. 1—8 paa figuren. Det ses umiddelbart, at for stillingerne 6—7 og 8 er tangentialkomponenten større end friktionen, saaledes at A i halvdelen af perioden vil glide nedad, medens

den vil ligge stille i den anden halvdel af perioden, naar resultanten er 2—3 eller 4.

Hvis vibreringen sker i et andet plan enten ved »cirkulære« svingninger fra en roterende vibrator eller svingninger kun orienteret i een retning fra en stempelvibrator, vil det blot sige, at enden af V bevæger sig enten rundt langs perimeteren eller frem og tilbage i diagonalen af en cirkel i dette plan, men resultanten vil stadig som før svinge frem og tilbage om den lodrette stilling.

Hvordan vibrationen altsaa end udføres, vil den virke som en ned-sættelse af betonens indre friktion, saa denne, under tyngdekraftens indvirken, og medens den overflødig luft undviger, kan synke sammen og blive tilsvarende tættere. (Fig. 7).

Naar vibratoren anbringes i den tørre beton, begynder denne meget hurtigt at blive plastisk og sammenhængende lige i vibratorens omegn, og herfra forplantes virkningen efterhaanden ud til alle sider. Den forandring, der foregaar med betonen, er meget tydelig at se, idet den fra at være jordfugtig og mat gaar over til at være plastisk og blank. Naar Vibratoren stikkes tilstrækkelig langt ned i betonen, vil denne omdannelse, der ledsages af en livlig luftudvikling, vise sig sidst paa overfladen, og enhver, der blot faa gange har iagttaget fænomenet, vil saaledes med fuld sikkerhed kunne afgøre, naar betonen er gennemkomprimeret.

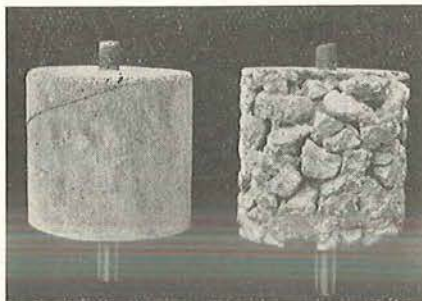


Fig. 7. To prøvecylindre af samme betoning, til venstre vibreret, til højre haandstampt.

Saalænge der endnu er hulrum nede i betonmassen mellem stenene eller f. ex. under armeringen eller i et vanskeligt tilgængeligt hjørne, vil den plastiske mørtel, der drages nedad af tyngdekraften, ikke vise sig paa overfladen. Forholdet er endda saa gunstigt, at har man en beton med mørtelunderskud, vil vibreringen kun inddrage den del af stenene, der er brug for i den plastiske masse, medens de tiloversblevne efter endt vibrering, ligger løse ovenpaa den komprimerede beton.

Det ses saaledes, at hvis manden, der passer vibratoren, blot er opmærksom, kan han se, hvor længe han skal fortsætte vibreringen hvert sted, og metoden indeholder saaledes i sig selv en »automatisk sikkerhed« mod stenreder og hulheder.

Frekvens og amplitudes betydning.

Vibreringens virkning afhænger som før nævnt af frekvensen (n) (hvorved menes for roterende vibratorer: antal hele omdrejninger eller for stempelvibratorer: antal dobbelslag pr. minut), og nærmere undersøgelser — som der til dato desværre kun er ret faa af — har vist, at virkningen i store træk er proportional med frekvensens kvadrat (n^2).

Endvidere er virkningen naturligt afhængig af amplituden (A) — og der viser sig her at være omtrent direkte proportionalitet — samt af det svingende legemes masse.

Med tilnærmelse kan derfor den samlede virkning (f), der kaldes den maximale acceleration, udtrykkes som

$$f = k \cdot g \cdot n^2 \cdot A,$$

hvor ($k \cdot g$) er en konstant, der afhænger af vibratorens masse, og heri er g tyngdens acceleration, som det er naturligt at have indgaaende for sammenligninger med det naturlige tyngdefelt.

Hvis virkningen maaes f. ex. ved den for et konstant v/c opnaaede styrke, vil den grafiske afhængighed mellem denne og accelerationen have et udseende, som det fremgaar af fig. 8, der omfatter 3 forskellige værdier af v/c , nemlig 0,40, 0,50 og 0,60 svarende til de absolutte vandindhold ca. 130, 160 og 190 kg/m^3 .

Det ses af disse kurver, at styrken indtil en vis værdi af f stiger proportionalt og hurtigt med f , indtil en styrke naas, der ligger meget nær den maximale, og at herefter selv meget betydelige forøgelser af f er næsten uden virkning, og man kan derfor betegne kurvens »knæpunkt« som den kritiske værdi for accelerationen.

For $v/c = 0,40$ er den kritiske værdi af $f = \text{ca. } 4 \text{ g}$, medens den for højere vandindhold ses at være faldende over 3 g for $v/c = 0,50$ til ca. 2 g for $v/c = 0,60$.

Den mindre acceleration, der er nødvendig for at gennemvibrere de vaadere blandinger, sammen med den højere beliggenhed af kurverne for udgangsværdien $f = 1 \text{ g}$ er et udtryk for de vaadere blandingers større bearbejdelighed, men kurvernes videre forløb viser klart vibreringens overlegne udnyttelse af de mindre v/c -forhold.

Naar det før blev sagt, at virkningen kun i store træk var proportional med frekvensens kvadrat skyldes dette, at en nærmere undersøgelse af kurverne paa fig. 8 viser en tydelig — omend ringe — spredning for forskellige værdier af frekvensen (n), og som varierer med v/c -forholdet.

En saadan nærmere analyse af f. ex. den øverste kurve ($v/c = 0,40$) ses paa fig. 9, hvoraf fremgaar, at frekvenserne 1.500—5.000 følges

jævnt ad, (omend med den ejendommelighed, at de ikke ligger i rækkefølge, men viser et slags »vendepunkt« ved $n = \text{ca. } 3.000$), medens den kritiske acceleration for $n = 8.000$ ligger væsentligt højere ($= 5 \text{ g}$) end de øvrige.

Om aarsagen til vendepunktet — der flytter sig med varierende v/c — kan der ikke siges noget definitivt, da forsøgene kun omfattede een kornkurve, og det formodes, at det afhænger af denne.¹³⁾

Betydningen af den højere kritiske værdi for $n = 8.000$ kan maaske forstaas, naar man betragter de tilsvarende amplituder, der jo for $n = 8.000$ antager meget smaa værdier. For den kritiske værdi af accelerationen og $n = 8.000$ vil A være $= 0,07 \text{ mm}$, og det ligger derfor nær at antage, at der her skulde være naaet en absolut lavere grænse for A . Ved de mindre frekvenser kommer dette ikke frem, da A først bliver mindre end $0,07 \text{ mm}$ for saa smaa værdier af f , at alene den ringe effekt vilde foraarsage mangelfuld komprimering.¹²⁾

At der maa findes en saadan lavere grænse for A , forekommer rimeligt, men før der foreligger nærmere undersøgelser herom, særlig med henblik paa dens variation med v/c , kornkurve og -form, bør den fundne værdi tages med alt muligt forbehold.

Af de førnævnte forsøg synes at fremgaa, at det for en given acceleration er nogenlunde ligegyldigt, hvilken frekvens man anvender, naar blot ikke amplituden synker under den kritiske værdi, da betonens styrke ikke varierer nævneværdigt med denne.

Naar bestræbelserne p. t. alligevel gaar i retning af højere frekvens, maa det forklares ved andre egenskaber; bl. a. at betonens styrke umiddelbart efter afforskallingen er ca. 50 % større for $n = 12.000$ end for $n = 3.000$, og at jo højere frekvensen er, des finere (og flere) er porerne, hvilket særligt paa den afforskallede overflade giver sig

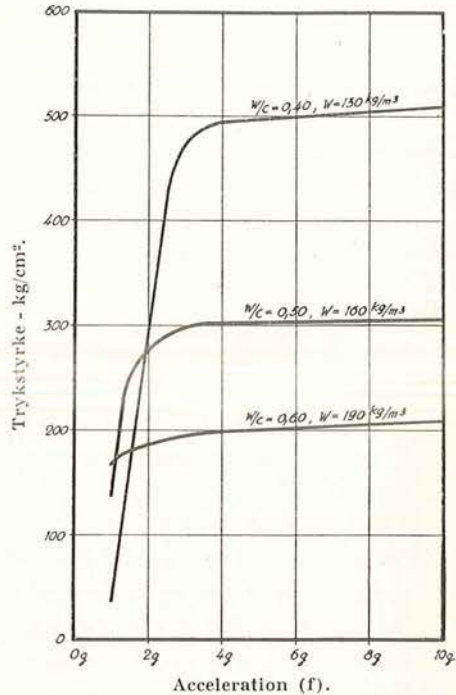


Fig. 8. Afhængighed mellem acceleration og trykstyrke for 3 forskellige vand-cementforhold.

et meget iøjnefaldende udtryk. Det kan i denne forbindelse anføres, at man for to prøver med samme porevolumen men forskellig n (12.000 og 3.000) har maalt den gennemsnitlige porediameter til henholdsvis 0,8 og 3,0 mm.

Endvidere stiger vibratorens aktionsradius med stigende frekvens.

Hvor langt vibrationen forplanter sig gennem betonen fra vibratoren, og hvor nær hinanden konsekutive nedstikninger derfor skal være, kan ikke fastlægges i almindelighed, idet effektens spredning i betonen foruden af betonens indre egenskaber er meget afhængig af formenes eventuelle absorption eller spejling af svingningerne med deraf følgende interferens.

I en uendelig stor betonklods er den grafiske sammenhæng mellem effekt og afstand fra vibrator en hyperbel.¹⁵⁾ og¹⁶⁾

Under veldefinerede omstændigheder kan heraf nemt udregnes den maximale afstand mellem to nedstikninger, der sikrer, at ethvert punkt bliver vibreret med tilstrækkelig acceleration (og amplitude), og denne afstand vil i almindelighed være omkring en halv meter.¹³⁾ ¹⁴⁾

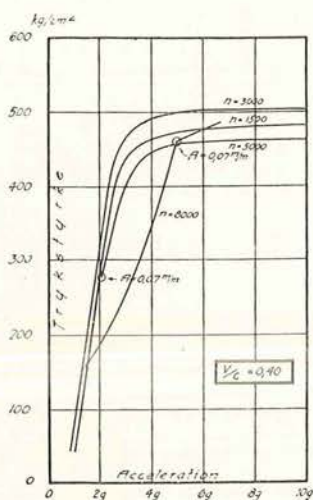


Fig. 9. Afhængighed mellem acceleration og trykstyrke for konstant v/c og forskellige frekvenser.

Vibreringstidens betydning.

Hvis man med en konstant acceleration f. ex. $f = 4 g$ foretager forsøg over vibreringstidens betydning, vil man komme til et resultat, der i princippet er som fig. 10.

For fuld komprimering opnaas de samme styrker som ved de tidligere forsøg, og der ses ligesom ved disse at være et knæpunkt af samme art svarende til den kritiske værdi af vibreringstiden, der andrager ca. 3 min., 15 sec. og 5 sec. for henholdsvis $v/c = 0,40$, $0,50$ og $0,60$.

Hvis kurverne decifrerer med hensyn til forskellige værdier af frekvensen fremkommer forhold, der er analoge med de i forbindelse med fig. 9 omtalte.

For en ordens skyld skal gøres opmærksom paa, at de ovennævnte figurer 8 til 10 refererer til forsøg med een bestemt kornkurve og kornform, og at man derfor ikke fra de anførte resultater med hensyn til styrke, acceleration, frekvens, amplitude og vibreringstid kan slutte noget definitivt om værdierne for andre blandingsforhold og kornformer.

Angaaende virkningen af meget langvarig vibrering, hvorved i praksis særlig tænkes paa den vibrering, der ved støbning i flere lag kan forplante sig til underliggende allerede afbundne betonlag enten direkte, ved at vibratoren føres helt til bunds, eller gennem udragende jern, er meningerne og erfaringerne stadig meget modstridende.

Laboratorieforsøg angaaende adhæsion beton-beton og beton-jern har vist, at intermitterende genvibrering bevirker en stadig stigning i adhæsionen indtil ca. den 6. time efter støbningen, og at en fortsættelse helt til 18 timer endnu ikke har bragt adhæsionen ned under den oprindelige.

Ved bedømmelsen af disse resultater maa imidlertid erindres følgende: Naar en beton, der er faldet til ro, pludselig bliver udsat for en ny vibrering, vil denne i første øjeblik bevirke en forstyrrelse i den fundne ligevægtsstilling, saa partiklerne paany et øjeblik kastes rundt mellem hinanden, hvorefter de atter finder et nyt leje. Denne proces gennemløbes helt i de ovenomtalte laboratorieforsøg, og resultatet bliver altsaa, at man efter dens afslutning atter finder en tæt lejring.

Kommer man i *praksis* med vibratoren i kort berøring med tidligere færdigvibreret beton, kan man godt tænke sig, at partiklerne kun naar at komme i »uorden«, inden man fjerner vibratoren igen, saaledes at den nye fastlejring ikke kommer i stand, og dette forklarer maaske de daarlige erfaringer. Det maa derfor nok tilraades saa vidt muligt at undgaa berøring med underliggende lag samt overalt at bevæge vibratorerne meget langsomt, saaledes at de kan naa at »udbedre« eventuelle skader efter sig. ¹²⁾ ¹³⁾

Sammensætning af vibreret beton.

Som før nævnt betyder vibreringen først og fremmest en midlertidig nedsættelse af betonens indre friktion, og det bliver herved muligt at arbejde med en langt lavere beliggenhed af kornkurven (se fig. 11), d. v. s. meget grovere og vanskeligere bearbejdelige blandinger og et mindre abs. vandindhold.

Da den nøjagtige bestemmelse af kornkurvens beliggenhed paa den

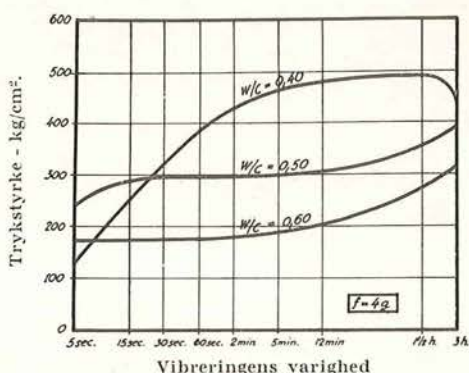


Fig. 10. Afhængighed mellem vibreringens varighed og trykstyrken for 3 forskellige vandcementforhold.

ene side afhænger af cementindhold og kornform og paa den anden side af vibreringens konstanter, maa det pointeres, at det paa figuren viste almindelige interval skal tages med forbehold, men som almindelig regel gælder inden for visse grænser, der bl. a. afhænger af den

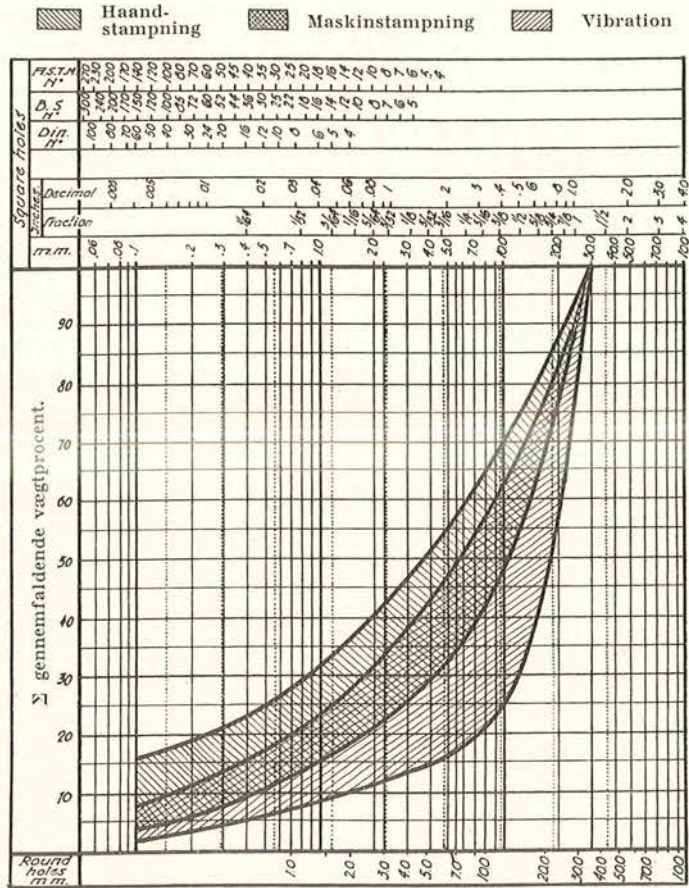


Fig. 11. Typiske kornkurve-intervaller ved haandstamping, maskinstamping og vibrering for middelkornform.

ønskede tæthed, at jo større acceleration og vibreringstid des lavere kan kornkurven vælges.

Professor Suenson har klarlagt kornkurvens betydning for det nødvendige vandindhold, og det vil heraf forstås, at alene den af vibreringen muliggjorte sænkning af kornkurven særlig i sandområdet medfører en betydelig reduktion af det nødvendige vandindhold.

Til orientering om, hvad der kan opnaas, kan meddeles, at medens beton til haandstamping maa indholde fra 180—230 kg vand/m³, alt

KLÖCKNER
BETON-SPECIALSTAAL.

Armeringsstaalet
af den høje Kvalitet til
JERNBETONBYGNING.

Kendingsmærke



Anvendeligt som Træk- og Trykarmering
svejsbart.

Materialegenskaber:

Brudstyrke: 50-64 kg/mm²

Strækgrænse: 34-36 kg/mm²

Brudforlængelse: 22-24 % (5 d)

25-30 % Besparelse

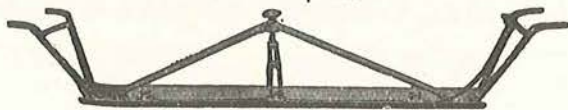
i Forhold til almindeligt Monierjern.

Anerkendt af Bygningskommissionen
ifølge den danske Ingeniørforenings
Normer for Jernbetonkonstruktioner.

KLÖCKNER-WERKE AG
Werk OSNABRÜCK.

Repræsentant: C. J. Holm, København,
Kronprinsensgade 14
Telefon: Central 7881
Statstelefon 17

Vibrator-Bjælke.



HOFF & CO.

VIBRATOR MACHINE WORKS, MASKINFABRIK

Fabrikerer:

Vibratorer for Vejbeton og Cyclestier. - Stavvibratorer, Formvibratorer
- baade for Trykluft og elektrisk Drift. - Vibrator-Borde. - Transportable elektriske Slibe- og Polermaskiner med bøjelig Aksel for Maskin-, Auto-, Møbel- og Radio-Industrien. - Kedelrensningmaskiner. - Bøjelige Aksler & Slinger. - Trykluftværktøjer. - Kompressorer.

MARIENDALSVEJ 25 . KØBENHAVN F

TELEFON: GOTHAB 4036-9456

TELEGR.-ADR.: „HOFFCO“, KØBENHAVN



AMALIEGADE 9

KLÖCKNER
BETON-
SPECIALSTAAL

BAU-STAHLGeweBE
BETON-
STAALVÆV

FØRES PAA LAGER

efter kornkurve og kornform, for at være praktisk bearbejdelig, kan vandindholdet ved vibrering reduceres til 125—160 kg/m³.

Reduktionen i det abs. vandindhold kan nyttiggøres paa 2 forskellige maader, nemlig enten a) ved bibeholdelse af den normale cementmængde med følgende formindskelse af v/c til en forøgelse af styrken eller b) hvis styrken og dermed v/c ikke ønskes forbedret til en formindskelse af cementindholdet.

ad a) Hvad der kan opnaas ved reduktionen af v/c kan f. ex. ses af fig. 1 eller 2. Naar det abs. vandindhold falder som nævnt, vil v/c falde fra 0,8—0,6 til 0,5—0,4, hvorved teoretisk opnaas en styrketilvækst paa ca. 100 % i middeltal og mindst ca. 30 % — for den samme materialepris.

For trykkede konstruktioner, hvor man kan se bort fra ud-bøjningsfaren, er besparelsen direkte proportional med disse tal, medens den for store brodragere, hvor egenvægten spiller en afgørende rolle, kan stige til det dobbelte.

ad b) En oversigt over cementbesparelsen, naar styrke og dermed v/c fastholdes, kan faas af fig. 12, der blot viser kurven for $k_c 28 = 600$ fra fig. 1 med paaskrevne værdier af cementindholdet for ens bearbejdelig vibreret beton med 140 kg v/m³ og haandstampet beton med 190 kg v/m³. For samme styrke ses besparelsen at andrage ca. 25 %.

Selv om det er almindeligt, at vibreringen anvendes efter sin hensigt, nemlig en formindskelse af vandindholdet, er det dog maaske paa sin plads her at paatale en ikke ualmindelig forkert anvendelse, nemlig vibrering af almindelig vaad beton, hvilket sker, dels fordi man har opdaget, at den saa flyder lettere, og dels fordi man maaske tror, at den bliver tættere. Dette er *absolut* forkasteligt, da ved visse almindelige blandingsforhold en saadan formindskelse af betonens indre friktion opstaar, at afblanding finder sted.

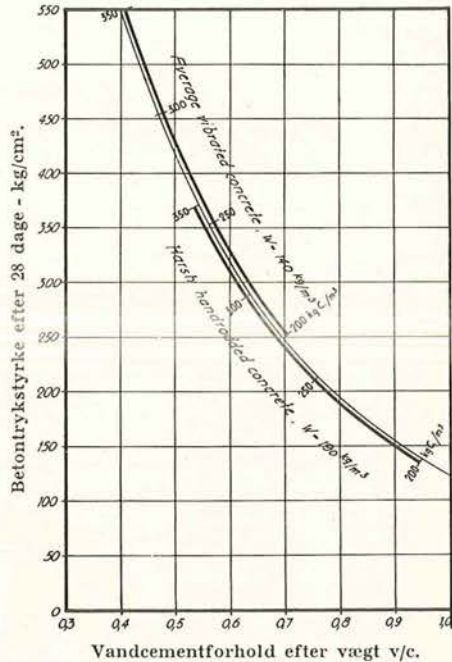


Fig. 12. Afhængighed mellem v/c og trykstyrke for vibreret beton af middelkonsistens og tør haandstampet beton. Paa kurverne er indskrevet det abs. cementindhold.

Naar man til givet vibreringsmateriel og givne ydre omstændigheder har fastlagt sin kornkurve, viser vibreringen sig, særlig for smaa cementindhold, noget mere følsom over for afvigelser fra denne, og det maa derfor i videst muligt omfang tilraades at veje støbematerialerne — i hvert fald sandet — for at opnaa saa konstante forhold som muligt.

Den kraftigere komprimering (og det mindre vandindhold), der opnaas ved vibreringen, giver sig naturligvis udtryk i en forøgelse af materialforbruget pr. m^3 færdig beton. Nøjagtige almen gyldige tal kan ikke gives her, da de afhænger bl. a. af cementindhold, kornkurve og -form, men for at give et indtryk af forholdene skal det dog siges, at man for en beton med $320 \text{ kg } c/m^3$ og max. kornstørrelse 20 mm har fundet en stigning i materialforbruget paa ca. 10 % for en reduktion af v/c fra 0,6 til 0,3. Vedrørende spørgsmaalets indflydelse paa betons økonomi skal jeg henvise til et følgende afsnit. ¹⁷⁾ ¹⁸⁾

Egenskaber hos den vibrerede beton.

Man har i lange tider troet, at den forbedring af betonens egenskaber, der kan opnaas ved anvendelse af vibrering udelukkende skyldes, at den muliggør arbejde med lavere v/c , det vil i hovedsagen sige formindskelse af det porevolumen, der efterlades af det fordampede vand. Nyere undersøgelser har imidlertid vist, at vibreringen som komprimeringsmetode ogsaa er haandstampningen overlegen derved, at det for to blandinger med samme v/c sædvanligvis ikke selv med intensiv haandstampning er muligt at opnaa f. ex. samme styrke som ved vibreringen.

Dette skyldes, at den rigtigt udførte vibrering ogsaa medfører en større reduktion af de luftporer, der findes i beton, og som stammer fra luftmellemmrummene i støbematerialer og cement. Som tidligere nævnt finder der da normalt ogsaa under vibreringen en kraftig luftbobling sted paa overfladen, der noget minder om den fra kogning kendte.

Hvor meget forskellen mellem styrken af vibreret og haandstampet beton med samme v/c andrager, er det ikke muligt at sige i almindelighed, men tal paa 10—20 % hører ikke til sjældenhederne. ¹⁹⁾

Opnaaelsen af denne luftuddrivning forudsætter imidlertid en efter betonens konsistens og kornstørrelse nogenlunde rigtigt afpasset amplitude, og der kendes eksempler paa, at en for stor amplitude, særlig ved anvendelse af forskallingsvibrering har haft den modsatte virkning af den tilsigtede, nemlig indpumpning af luft i betonen. Fænomenet opstaar kun ved for stor amplitude, naar betonen har svært ved at følge vibreringens takt, og der derfor paa grund af »faseforskudning« eller interferens opstaar mellemrum mellem f. ex. forskal-

lingen og betonen, der fyldes med luft, der ved den paafølgende lukning delvis presses ind i betonen.¹⁸⁾

Forholdet er nemt at iagttage og at gardere sig imod og betyder ingen praktisk begrænsning af vibreringens anvendelighed.

De egenskaber hos betonen, der forbedres ved vibreringens reduktion af porevolumenet, er i hovedsagen følgende:

Tryk- og trækstyrke

Adhæsion.

Tæthed med dertil knyttede egenskaber, saasom

vejrbestandighed,

slidstyrke,

frostsikkerhed,

bestandighed mod kemiske angreb

etc.

Svind.

Det vil paa dette sted føre for vidt at gennemgaa forholdene for alle disse egenskaber, og jeg skal derfor angaaende trykstyrken nøjes med at henvise til fig. 1 og 2 samt tilføje, at trækstyrken ved vibreringen forøges noget mere end trykstyrken, antagelig paa grund af materialernes bedre sammenkiling. Adhæsiionsstyrken er nogenlunde proportional med trykstyrken. Angaaende tæthed tjener følgende tal for vandgennemtrængelighed efter Norton & Plettas metode til oplysning:

v/c	=	0.4	vandgennemgang	0.008	l/m ² /time
»	0.5	»	0.010	»	»
»	0.6	»	0.020	»	»
»	0.7	»	0.060	»	»

og angaaende svindet henvises til fig. 13. Heraf vil endvidere fremgaa den heldige virkning af den reduktion af cementindholdet, som vibreringen ogsaa muliggør. For flere detaljer henvises til den specielle faglitteratur.

Angaaende spørgsmaalet om, hvorvidt vibreringen tilsikrer fuldstændig homogenitet, skal siges, at bortset fra de tidligere omtalte tilfælde af afblanding, der udelukkende skyldes misforstået anvendelse af vibreringen, mener de fleste forskere ikke at kunne konstatere paa-viselige forskelligheder, saasom lagdeling eller stenfattige mørtelansamlinger f. ex. der, hvor en nedstikningsvibrator har været. Til belysning af forholdet ses fig. 14, der stammer fra forsøg, hvor man mener at have konstateret mørteloverskud paa nedstikningsstederne (a), og hvoraf det i hvert fald fremgaaer, at det ikke drejer sig om

uregelmæssigheder af større betydning.¹⁴⁾

Materiel til betonvibrering.

Det materiel, der i øjeblikket anvendes til vibreringens praktiske udførelse, deler sig i 4 hovedgrupper:

Pervibratorer (nedstikningsvibratorer, stavvibratorer),

Forskallingsvibratorer,

Overfladevibratorer og

Svømmevibratorer.

Inden vi gaar over til disse typeres forskelligartede anvendelse skal meddeles følgende om den maskinelle konstruktion.

Pervibratorerne kan deles i 2 typer:

- 1) med motor og vibrator sammenbyggede,
- 2) med motor og vibrator hver for sig og forbundet ved en højelig aksel.

Type 1 bygges baade for trykluft og elektricitet. De elektriske af denne art findes kun i de meget store to-mandsbetjente vibratorer,

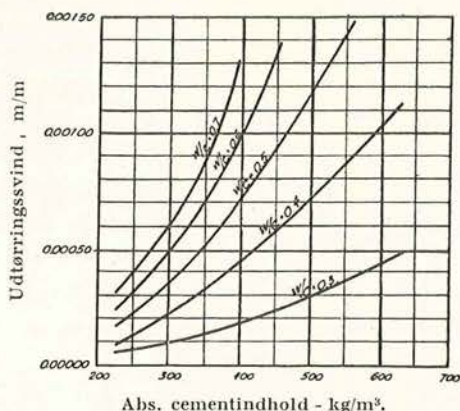


Fig. 13. Afhængighed mellem abs. cementindhold, v/c og udtørningssvind. Ved udregning af det abs. vandindhold vil det ses, at et givet svind svarer til et konstant vandindhold.

der endnu ikke anvendes herhjemme. Ved trykluftdriften (se fig. 15) anvendes ogsaa roterende excentrik, der drives af en trykluftturbine med udblæsning ovenfor betonen som vist paa figuren ca. 1—2 m fra motoren.

Type 2 bygges for elektricitet og benzindrift og de væsentligste oplysninger fremgaar af fig. 16. Adskillelsen af motor og vibrator medfører en for manøvreringen behagelig vægtreduktion af vibratoren, men drift og vedligeholdelse af den bøjelige aksel med indtil 8—10.000 omdrejninger pr.

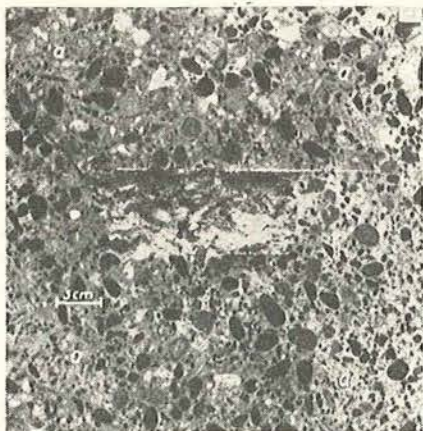


Fig. 14. Tværsnit af jernbetonsøjle, der i de fire hjørner (mærket a) har været pervibreret.¹⁴⁾

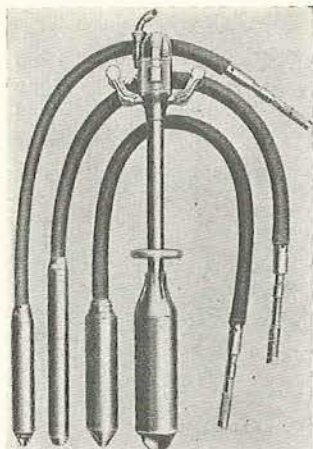


Fig. 15. Trykluft pervibratører med 3", 3½", 4" og 6" diameter.

minut medfører paa den anden side ofte vanskeligheder. Det ligger derfor nær at overveje udførelsen af en udveksling i selve vibratoren, saaledes at akslen kan nøjes med f. ex. 2.000 omdrejninger, men set fra et mekanisk og vægtmæssigt standpunkt er en saadan konstruktion kun lykkedes tilfredsstillende for een fabrik (svensk).

Forskallingsvibratørene fremstilles til trykluft og elektricitet. Blandt de trykluft-drevne findes typer med roterende excentrik; men typer, hvor rystelsen frembringes af et stempel, der gaar frem og tilbage i en staaecylinder (fig. 17) (ligesom ved en dampmaskine), er de almindeligste. Blandt de elektriske findes paa markedet kun de roterende, men der eksperimenteres p. t. her i landet med fremstilling af en elektrisk stempelvibrator.

Overfladevibratører findes næsten udelukkende med motor og vibrator i eet, monteret paa en plade, der overfører svingningerne til betonen, og herhjemme hovedsagelig til elektrisk drift. Fig. 18 giver en idé om størrelsen af saadanne maskiner til vejbygning.

Svømmevibratører udgør en mellemting mellem overfladevibratører og pervibratører (se fig. 19). Svømmevibratørene bestaar inderst inde af en almindelig roterende vibrator og er til forskel fra pervibratoren kun omgivet af en saa stor jernkappe, at apparatets samlede vægtfylde netop er mindre end betonens, hvorved den altsaa til enhver tid vil flyde i betonoverfladen.

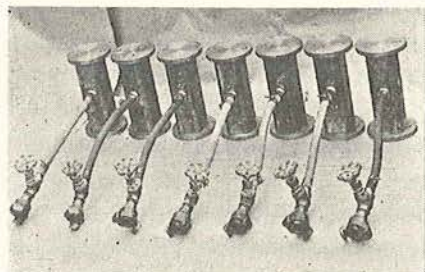


Fig. 17. Dobbeltvirkende trykluft forskallingsvibratører.

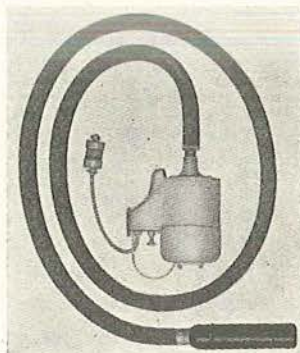


Fig. 16. Elektrisk pervibrator.

Arbejdets praktiske udførelse.

Husbygningskonstruktioner.

Fremgangsmaaden ved udstøbning i de forskellige konstruktionsdele, hvoraf en jernbetonkonstruktion almindeligvis be-

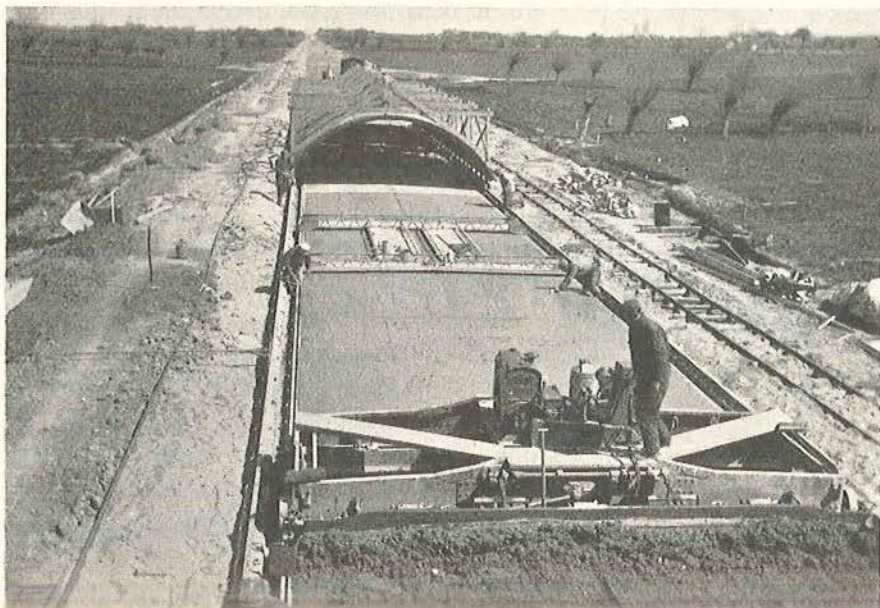


Fig. 18. 1 Forgrunden 6 m elektrisk overflade vej-vibrations-maskine.

staar, er noget varierende og skal derfor nedenfor behandles for hver del for sig.

Udstobning i plader og bjælker.

Til husbygning anvendes smaa overfladevibratører, der slæbes paa overfladen (se fig. 20), medens de fra vejbygningen kendte større vibrationsbjælker normalt ikke kan komme paa tale, da de stiller uøkonomisk store krav til forskallingen.

Støbningen paabegyndes bedst i et hjørne med en passende betonbunke, som man lader vibratoren bearbejde, til den er flydt ud og sunket sammen til den ønskede tykkelse. Over »fronten« af den først bearbejdede beton anbringes nu den næste, der behandles paa samme maade og saa fremdeles i koncentriske ringe om begyndelsespunktet, idet man gaar metodisk frem efter en bestemt plan og i en bestemt retning for at sikre, at intet bliver glemt ved vibreringen og intet bliver overvibreret.

Forudsat at armeringen er solidt sammenbundet, maa det tilraades i saa vidt omfang som muligt at berøre jernene med vibratorerne og saaledes nyttiggøre disse til vibreringens forplantning. Herved opnaas ogsaa sikkerhed for, at ellers vanskeligt tilgængelige kroge bag og under jernene er fyldt. Ved udragende jern fra tidligere støbte konstruktionselementer bør dog udvises nogen forsigtighed.



Fig. 19. Svømmevibrator med 20 cm diameter.

Det er af betydning, at der stadig paa fronten tilføres saa rigelig beton, at tykkelsen her er mindst lig den for den færdige plade, idet den allerede færdigbehandlede beton bag fronten ellers nemt flyder ud, eller løsner sig ved væggene. Der maa endvidere sørges for, at frontens bevægelse altid foregaar ud ad radierne for en cirkel med centrum i begyndeshjørnet, saa det eventuelt overflødige vand stadig skydes foran og ikke samler sig bagved, endelig maa selve vibreringen ikke foregaa lige i randen af den udlagte beton, idet faren for afblanding derved bliver særlig stor. Støbningen maa ikke foregaa fra mere end eet centrum ad gangen, da dette nemt medfører uorden i den metodiske behandling og indespærring af det omtalte vand. Med nogen øvelse kan man med denne fremgangsmaade frembringe en saa god afretning af overfladen, at en ret tilfredsstillende afretning kan foretages med det forhaandenværende mørteloverskud.

Udstøbning i lodrette konstruktioner, tykkelse > 15 cm.

Betonen udlægges i lag paa 40—60 cm's højde, der færdigvibreres hver for sig (se fig. 21). Indenfor hvert lag er fremgangsmaaden den samme som ovenfor under plader angivet. Vibratoren føres i hvert lag *straks saa langt ned som muligt* — og holdes roligt der, til al beton indenfor dens aktionsradius er færdigvibreret. Herefter trækkes den *langsomt* op — hvis det gaar for hurtigt, efterlader den let et hulrum i betonen (se fig. 22). — og flyttes til næste nedstikningssted.

I henhold til det ovenfor om genvibrering sagte bør der nok iagttages nogen forsigtighed med hensyn til vibratorens berøring med jern, der stikker op af allerede afbundne — men endnu ikke hærnedede — konstruktioner.



Fig. 20. Lille overfladevibrator.

I svære konstruktioner med ret stor afstand mellem eventuel armering kan med fordel anvendes svømmevibratoren. Disse vibratoren udlægges paa bunden af konstruktionen i et antal, der svarer til deres aktionsradius, inden støbningen paabegyndes. Med en passende justering af vibratorens vægtfylde vil den herefter under støbningen lang-

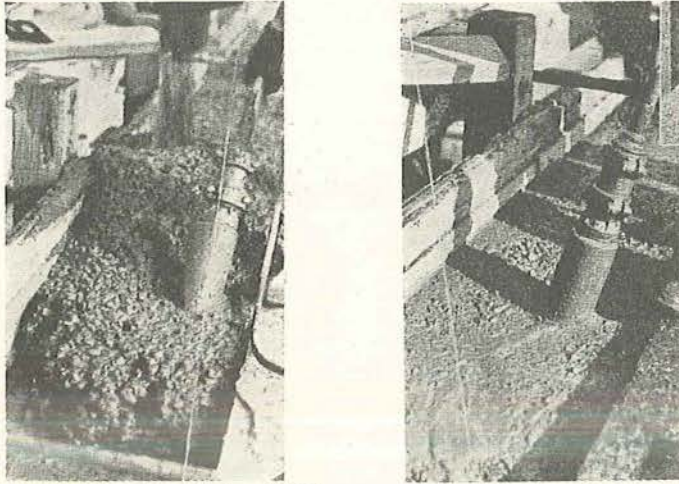


Fig. 21. Vibrering af beton i tykke vægge. Til venstre: Vibreringen paabegyndes, til højre: Vibreringen tilendebragt.

somt stige opad med en hastighed, der netop svarer til komprimeringens fremadskriden, idet den vil være ovenover det til enhver tid flydende, men uden trang til at stige op gennem endnu ikke levende beton.

Metoden indeholder altsaa en udmærket sikkerhed for, at alt bliver gennemvibreret, og det er kun beklageligt, at de ydre forhold saa sjældent tillader dens anvendelse.

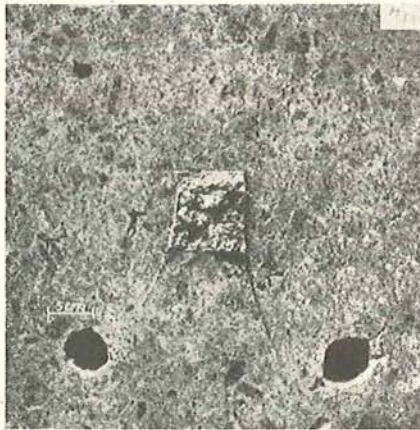


Fig. 22. Tværsnit af betonsøjle pervibreret i hjørnerne. Der ses tydelige huller fra for hurtig optrækning af vibratoren.¹⁴⁾

Udstøbning i lodrette konstruktioner, tykkelse ≤ 15 cm.

Selv med ringe armering egner disse konstruktioner sig kun daarligt for pervibrering paa grund af deres snæverhed, der uforholdsmæssigt vanskeliggør haandteringen af vibratoren. Almindeligvis vil det endvidere være vanskeligt at opnaa nogen økonomisk fordel ved at vibrere saadanne tynde konstruktioner, idet deres dimen-

sioner (der ofte er bestemt af andre grunde end de styrkemæssige) ikke vil kunne reduceres nævneværdigt. I specielle tilfælde — hvor f. ex. vandtæthed har betydning — stiller sagen sig anderledes, og her vil man med held kunne anvende vibrering af formen.

Den detaljerede fremgangsmaade med hensyn til, hvor tæt vibratorerne skal sidde, hvornaar og hvorlænge der skal vibreres hvert sted samt befæstelsen paa formen er det umuligt her at gøre almindeligt rede for, og jeg maa derfor henvise til speciallitteraturen.¹⁷⁾

De nærmere detaljer hænger endvidere nøje sammen med forskallingens specielle udformning, som vil blive nærmere omtalt af civilingeniør Halfdan-Nielsen i et følgende foredrag, og jeg indskrænker mig derfor til at henvise til fig. 23.^{20) 21) 22)}

Grovbetonkonstruktioner.

Ved massive bygværker, som f. ex. maskinfundamenter, dæmnings etc., hvor stor styrke ikke er paakrævet, vil det være økonomisk

fordelagtigt at anvende lille abs. cementindhold, stor største kornstørrelse (indtil 15-25 cm) samt lille abs. vandindhold og til komprimering af en saadan beton, hvor haandarbejde intet vilde magte, er vibreringen simpelthen uundværlig.

Der anvendes til saadant arbejde særlige, meget kraftige pervibratører.

Vejbygning.

Til vejbygning har man til dato næsten udelukkende anvendt overfladevibrering efter noget forskellige principper ved maskinel- og haandfremføring.

Med haandbetjente vibratører er fremgangsmaaden den, at vibrationsbjælken sættes paa den tørre udlagte beton i en række konsekutive stillinger (evt. under et let tryk med haanden) og i hver af disse vibreres færdig, inden den flyttes, (se fig. 24).

Betonen har herefter som regel en bølget, ujævn overflade, evt. med lunker hist og her. Det manglende tilfyldes løst herovenpaa, hvorefter den endelige afretning foretages ved langsomt at slæbe vi-

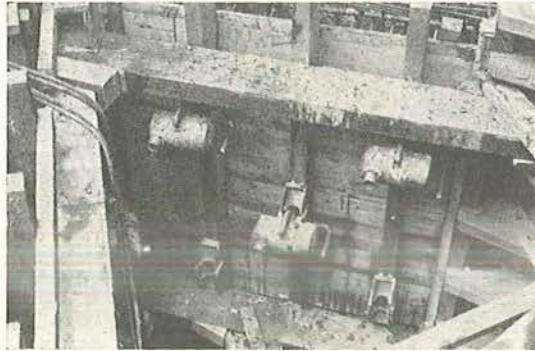


Fig. 23. Elektriske forskallingsvibratører paa Waterloo-Bridge. Forneden bemærkes holderne til vibratorerne, der har været anvendt ved vibrering af det underliggende lag.



Fig. 24. Overfladevibrering af cyklesti. Stadium I.

bratoren sidelæns i en stilling, der er vinkelret paa de første, (se fig. 25). Planhed og ensartet tykkelse sikres af langs randen udlagt sideforskalling, der kan være meget primitiv.

Ved maskinfremdrevne vibratorbjælker tilsigter man normalt kun een overgang, og denne maa da i hastighed afpasses efter betonens tykkelse og konsistens for at tilsikre fuldstændig sammenvibrering.



Fig. 25. Overfladevibrering af cyklesti, Stadium II.

For at opnaa saa stort berøringsareal som muligt, og for altid at have et tilstrækkeligt overskud af beton til, at alle hulheder fyldes, er det af stor vigtighed altid at have en rigelig vold af beton foran vibratoren.

Vibratorens niveau dirigeres ogsaa her af sideforskallingen, der dog maa være væsentlig kraftigere for at bære maskinen og evt. ogsaa den forankørende betonspreder eller blandemaskine.

Da sideformene absorberer en del af vibratorens energi, og det er særlig vigtigt, at betonen netop langs randene er saa stærk som muligt, er det almindeligt inden afretningen at give randene en særlig for-komprimering, enten med pervibratoren (fig. 26) eller særlige smaa overfladevibrato-rer.

Ved større tykkelse end ca. 10 cm er det ved anvendelse af haand-bjælker sædvanligt at komprimere betonen i 2 lag, da disse paa grund af jordens kraftige dæmpning ikke kan slaa igennem en større tyk-kelse. For maskindrevne



Fig. 26. Vibrering af vejkanter med pervibrator.

vibratorbjælker, der som regel er væsentlig kraftigere, kan den tykkel-se, der kan komprimeres i eet lag, forøges til ca. 20 cm.

For at undgaa den forsinkelse, der følger med bearbejdelsen i 2 lag, er særlig amerikanerne i de sidste aar begyndt at forsøge nye typer, der bevæger pervibratoren frem midt nede i betonen, hvilket giver større tag i betonen. Afretningen foretages umiddelbart bag disse vibratoren med en lavfrekvent skabelon.

Betonvarefremstilling.

Et af de felter, hvor vibreringen først blev anvendt til beton-komprimering, var ved fremstillingen af færdigvarer, saasom rør, fliser etc., men i almindelighed er dette emne for specielt til at blive behandlet her, og jeg skal derfor nøjes med at sige, at mindre beton-varer fremstilles paa et rystebord, medens større ting vibreres ved anvendelse af forskallingsvibratoren.

Foruden betonpæle, som jo i princippet er en færdigvare — og hvor-til pervibrering er glimrende egnet — men som ikke ellers ved kom-primeringen viser forhold, der er forskellige fra de tidligere omtalte, skal jeg lige omtale, at viberingen (sammen med damp-hærdning) er en uundværlig hjælper ved fremstilling af færdigstøbte forspændte

jernbetonbjælker, idet der herved kan opnaas saa store styrker og kort afforskallingstid, at det er muligt at naa til en økonomisk fremstilling. Disse bjælker vil blive nærmere omtalt i et senere foredrag af dr. techn. Chr. Ostenfeld.

Vibreringens økonomi.

Almindeligvis vil det i tillæg til den forbedrede kvalitet ogsaa være muligt at opnaa en *besparelse* ved komprimering af beton med vibring.

Denne fremkommer imidlertid som differens mellem de forøgede komprimeringsomkostninger og det ekstra forbrug af støbematerialer paa den ene side og det mindre cementindhold eller større styrke samt arbejdslønbesparelsen paa den anden side, og det bliver nødvendigt at se lidt nærmere paa begge dele.

Angaaende afskrivning paa materiellet er det svært at give gode raad, da hver virksomhed følger sine regler, men det maa, særlig i begyndelsen, tilraades at være meget forsigtig, og over 500 arbejdstimer for en ukendt rotationsvibrator bør man næppe skønne. Eftersyn og reparation vil i dette tidsrum med forsigtighed kunne skønnes til ca. 50 % af nyværdien, og endelig kan brændstoffet for mellemtyperne beregnes af en motorkraft paa 1—2 HK.

Paa papiret vil de elektriske vibratoren vise sig de tryklufftdrevne langt overlegne i økonomi, og naar de sidste alligevel ogsaa anvendes, skyldes det deres større robusthed, særlig overfor fugtighed, samt den som regel ubegrundede skræk for faren ved elektrisk materiel, der dog med 65 volt kun er meget ringe.

Den betonmængde, en vibrator kan vibrere pr. time, afhænger selvsagt meget af de ydre forhold og kan kun opgives med følgende tilnærmede tal.

Massive dæmninger	12—30 m ³ /time/stk.
Fundamenter	8—15 — —
Alm. husbygning	3—8 — —

Som minimum vil en vibrator i almindelig husbygning saaledes kunne komprimere ca. $500 \cdot 3 = 1.500$ m³ i sin levetid, hvorved de samlede maskinomkostninger pr. m³ med førkrigstidspriser andrager højst 3.00 kr/m³.

Det ekstra forbrug af materialer kan (som tidligere nævnt), beløbe sig til smaa 10 %. Med førkrigspriser vil dette blive ca. 2,50—3.00 kr/m³, hvis merforbruget regnes fordelt over alle materialer. Da det imidlertid er sædvane at specificere cementmængden pr. færdig m³ beton, falder forøgelsen kun paa tilslagsmaterialerne, og inden-

for disse hovedsagelig paa stenene, saaledes at prisforøgelsen kommer til at andrage 1—1,50 kr/m³.

Besparselsen i arbejdsløn er meget omdiskuteret. Amerikanske entreprenører regner, at de sparer 3 af hver 5 mand, der er beskæftiget med *selve* fordelings- og komprimeringsarbejdet, hvortil dog skal bemærkes, at de 2 mand er specialarbejdere med noget højere løn, saaledes at besparelsen af denne del af lønnen kun i penge andrager 30—40 %, hvad der under vore forhold vil svare til ca. 1—2 kr/m³.

Ses der imidlertid bort fra denne besparelse, der er noget afhængig af omstændighederne og fuldstændig afhængig af entreprenørens erfaring, faas der altsaa med runde tal en merbekostning for komprimeringen paa indtil 5 kr/m³ eller ca. 15—20 % af materialeprisen.

Da den ved vibreringen opnaaede styrkeforøgelse som tidligere nævnt (fig. 1) andrager mindst 30 %, ses der altsaa at kunne opnaas en meget betydelig besparelse, kun forudsat, at der gives ingeniørerne frie hænder og tilladelse til at anvende de tilsvarende højere tilladelige spændinger.

I betragtning af den ved vibreringen ogsaa opnaaede forøgelse af tætheden, samt det tidligere om den automatiske sikkerhed vedrørende homogeniteten sagte, kan der ikke ses at være nogen betænkeligheder i saa henseende.

SLUTNING

De bestræbelser, der i de senere aar er udfoldet med hensyn til fremstillingen af bedre beton, er ikke alene knyttet til komprimeringsmetoderne, og omend det maaske ligger noget uden for emnet, vil jeg dog for fuldstændighedens skyld kort resumere en del af de nyere erfaringer.

Blanding af beton sker vel ingen steder ved blot nogenlunde betydelige arbejder med haanden mere, men der er alligevel grund til at understrege, at for at maskinblanding skal være paalidelig — d.v.s. give en homogen beton — er lang blandetid nødvendig, og med de almindelige typer er det traditionelle ene minut, der endda ofte knappes af, loyrlig lidt. Det bør snarere være mindst 2

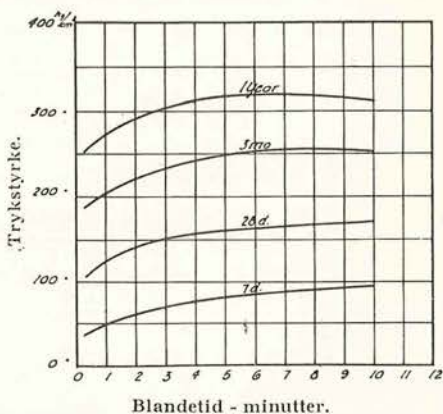


Fig. 27. Afhængighed mellem trykstyrke ved forskellige aldre og blandetiden. Prøver, der kun var blandet 15 sek., viste en variation i trykstyrke paa 30 % fra midelværdien, imens prøver blandet i 2 min. varierede mindre end 10 %.

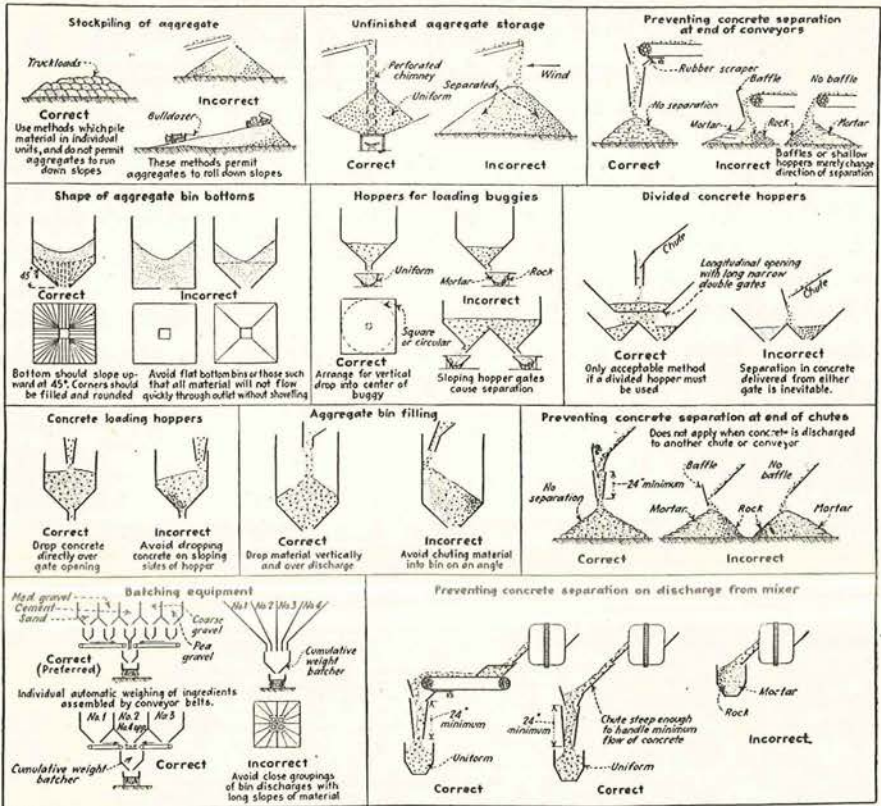


Fig. 28. Amerikanske regler for transport af støbematerialer, der modvirker afblanding.

minutter (fig. 27). Der syndes ofte alvorligt paa arbejdspladsen ved ekstra tilsætning af vand efter blandingen — særlig ved anvendelsen af færdigblandet beton — og dette er fuldstændigt ødelæggende med hensyn til betonens homogenitet.

Til blandingen af den tørre beton, de nyere komprimeringsmetoder kan haandtere, er de sædvanlige frifaldsblandere ikke egnede, og det maa meget tilraades at gaa over til anvendelse af tvangsblandere.

Afmaaling af støbematerialerne skal med hensyn til vand og cement selvfølgelig ske efter vægt, hvilket for vandet vil sige justerede (automatiske) maalekar og for cementen i almindelighed anvendelse af hele poser. For støbematerialernes vedkommende kan stenene som regel maales efter rumfang, medens det næsten altid af hensyn til sandets store volumenforandringer under fugtighed maa anbefales at veje dette.

Transporten af støbematerialer og beton maa foretages med omhyggelig hensyntagen til faren for afblanding. Som det fremgaar af

fig. 28 maa de tørre støbematerialer aldrig transporteres, saaledes at tyngdekraften kan adskille de forskellige størrelser, og med hensyn til selve betonen er transport i skraa render absolut forkastelig for de almindelige blandingsforhold (cementindhold).

Hvis der ikke er taget ganske særlige forholdsregler — som f. ex. ved levering af færdigblandet beton, hvor tromlen roterer under kørslen — maa det i det hele taget fraraades at transportere betonen for langt i almindelige transportmidler, og betonen bør ikke omhældes oftere end højst nødvendigt.

Til specielle formaal er pumpning af beton en særdeles velegnet transportmetode over afstande paa indtil 2—300 m, og selve pumpningen bevirker en god komprimering af betonen. For at presse betonen gennem rørene kræves dog en ret plastisk beton med stort cement- og sandindhold, hvorfor metoden ikke er ret anvendelig sammen med vibrering etc.

Et endnu mere specielt transporttilfælde er sprøjtepuds af cementmørtel, hvormed der i de senere aar er opnaaet fortrinlige resultater.

Efterbehandling af betonen i form af omhyggelig vaad-lagring er i de senere aar viet en langt større interesse end før, og at dette ikke er uberettiget, turde fremgaa af fig. 29, der viser styrken som funktion af den tid, i hvilken betonen har været vaad-lagret.

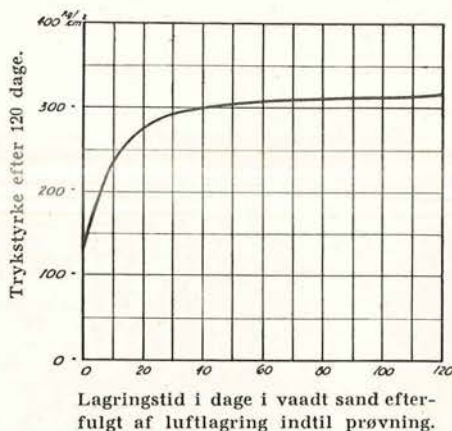


Fig. 29. Afhængighed mellem trykstyrken og varigheden af vaad-lagring.

Selv om der endnu findes en række uopklarede gaader baade vedrørende den teoretiske betonsammensætning og den praktiske behandling af betonen, er det dog forhaabentlig af det foregaaende klart, at det sidste 10-aar paa en lang række punkter har bragt betoneforskningen afgørende fremad, og det er sikkert ikke uberettiget at forvente, at naar den nuværende erfaring plus den, der — hvis verdensforholdene tillader det — kan forudses at tilkomme i den nærmeste fremtid, er blevet afklaret, sat i system og gjort almindelig bekendt, vil der kunne forventes en meget betydelig almindelig forbedring af

betonkvaliteten og særlig i homogeniteten, hvilket sidste igen vil bane vejen for en nedsættelse af den del af sikkerhedsgraden, der dækker mangelfuld udførelse, og som i øjeblikket for beton er lidet smigrende stor.

LITTERATURFORTEGNELSE

- 1) Beitrag zur Ermittlung der für zweckmässiges Schleudern massgebenden Faktoren. R. Zollinger. Zement, Berlin 1941. Pag. 573 og 591.
- 2) Schleuderbetonmaste für Bahn-Fahrleitungen. P. Abeles. Beton und Eisen, Berlin 1935. Pag. 233.
- 3) Geschleuderte Beton- und Eisenbetonrohre. E. Marquardt. Die Bautechnik. Berlin, 16-9-1930, H. 40 Pag. 587.
- 4) Eisenbeton-Schleuderrohre Bauart Vianini. M. Ros. Schweizer. Bauzeitung. Band 93. 22. Juni 1929, H. 95, S. 303.
- 5) Die Vianini Rohre. Bericht No. 106. Eidg. Materialprüfungsanstalt, Zürich. Januar 1937.
- 6) Fabrikation af specielle jernbetonrør. Knud Rasmussen. Den tekniske forenings tidsskrift. København 1936, side 49.
- 7) Vacuum concrete. W. F. Lockhardt. Proc. A. C. I., Detroit, U.S.A. 1938, Vol. 34, p. 305.
- 8) Concrete treated by vacuum compression. Construction methods, New York, November 1936, pag. 33.
- 9) Pre-cast concrete in Holland. (N. V. Schokbeton, Zwijndrecht, Holland). Concrete and constructional engineering. London 1937, pag. 473.
- 10) Anweisung für den Bau von Betonfahrbahndecken. Amtliche Ausgabe, Berlin 1939.
- 11a) Die Leistungen beim Betonfahrbahndeckenbau auf den Reichsautobahnen. G. Garbotz u. E. Klein. Band 8. Forschungsarbeiten aus dem Strassenwesen. Berlin 1938.
- 11b) Vergleichende Untersuchungen bei der ganz- und halbseitigen Herstellung von Betonfahrbahndecken. B. v. Glisczynski. Band 22. Forschungsarbeiten aus dem Strassenwesen, Berlin 1939.
- 12) Nyere amerikanske og engelske erfaringer vedrørende vibreret beton. I & II. Niels M. Plum. Ingeniøren, København 1939, Side B. 89 og 1940 Side B. 57.
- 13) Investigation on the vibration of concrete. Interim reports nos. I & II F. G. Thomas. Journl. Inst. C. E., London, March 1937, page 435 and April 1938, page 553.
- 14) Versuche über das Verdichten von Beton durch Innenrütteln und über die Eigenschaften des gerüttelten Betons. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. Heft 96. Bericht erstattet von O. Graf und F. Kaufmann. Berlin 1941.
- 15) Étude de la vibration du béton. L. M. Mary. Annales des ponts et chaussées. Paris, mars 1936, pag. 338.
- 16) A portable apparatus for measuring vibration in fresh concrete. G. E. Pigman, F. B. Hornibrook and J. S. Rogers. Research paper R. P. 1101. Journal of research of the National Bureau of Standards. Vol. 20. Washington D. C. May 1938, page 707.

- 17) Manuel du béton vibré. Th. Makchéeff. Paris 1939. (Léon Eyrolles). (Se anmeldelse i Ingeniøren 1940, side B. 142).
- 18) Les derniers progrès dans la vibration et pervibration du béton. Th. Makchéeff. Travaux, Paris, Mai 1940. Pag. 141.
- 19) Compaction of mortar cubes by vibration. A. J. Newport. Building research station. Garston, Herts, England. Paper No. 25. I.A.T.M. London Congress 1937.
- 20) Recommendations for placing concrete by vibration. A. E. Lindau & H. L. Flodin. Proc.A.C.I., Detroit, U.S.A. 1936, Vol. 32, page 445.
- 21) Report of committees on methods of handling and placing concrete: Symposium on vibration of pavement concrete. Proc. 7th annual meeting. Highway Research Board U.S.A. December 1937.
- 22) Högvärdig betong genom vibrering. Svenska Cementföreningen. Malmö, Stockholm 1941 (med omfattende litteraturfortegnelse).

DISKUSSION

refereret ved Civilingeniør, Dr. techn. *Erik V. Meyer*.

Diskussionsindlederen, Civilingeniør *H. Dührkop*, indledede Diskussionen, idet han anførte, at det var mærkeligt at tænke paa, at en lille Menneskealder er gaaet af den Tid, hvor Betonen har været anvendt som Byggemateriale, uden at man har bekymret sig synderligt om dens Udstøbning og Bearbejdning paa Byggepladsen, og at først de aller seneste Aar har bragt Forslag til maskinel Betonbehandling for Dagens Lys saadan, at det i Dag — i 1942 — ved et Kursus i moderne Betonteknik er paa sin Plads at faa indlagt et Foredrag, som det man lige havde hørt. Men saadan var det, og Civilingeniør Plum havde givet et udmærket Overblik over, hvor langt Teknikken var naaet paa dette Omraade, og hvad der kan opnaas ved at anvende den.

Vidste man det ikke i Forvejen, saa var det med al Tydelighed fremgaaet af saavel det, man hørte i Gaar, som af det Civilingeniør Plum i Dag havde sagt, at Vand er et skadeligt Stof i Betonen, og at man roligt kan anvende Bearbejdningsmetoder, der tilsigter at mindske Mængden af dette skadelige Vand, uden at der foreløbigt er Udsigt til, at Mængderne kommer under det, der er nødvendigt for Betonens kemiske Processer.

De Metoder, der er i Anvendelse, kan deles i to, (1) de, der anvendes ved Fabriksfremstilling af Betonvarer og (2) de, der anvendes paa Byggepladsen, og her er Forholdene saadan, at Betonvarefabrikkerne nærmest er tvunget til at bruge dem, medens man paa Byggepladserne herhjemme hidtil med stort Held er kommet udenom dem, og det var derfor frugtbarest, om Diskussionen kunde komme til at dreje sig om Vibrering af Byggepladsbeton.

Civilingeniør Dührkop havde kun nogle faa Indvendinger at gøre mod det, der var fremsat.

Ved Omtalen af, hvad der kunde vindes ved Vibrering, sagde Foredragsholderen, at der kunde opnaas Styrketilvækster paa ca. 100 % i Middeltal og

mindst 30 %. Dette var efter Civilingeniør Dührkops Mening alt for optimistisk, og Fejltagelsen skyldtes de anvendte Kurver for Styrkens Afhængighed af Vand-Cement-Forholdet. Disse Kurver er baseret paa Abrams Lov om, at Vand-Cement-Forholdet er afgørende for Styrken, men det er ikke rigtigt for de stiveste Betoner, der kan vibreres, idet de indeholder saa meget Luft i Forhold til Vandmængden, at der ikke, som Abrams gør, kan ses bort fra det. Her maa Loven om Kitmasse-tætheden $S^c = K \times T_k^n$ anvendes. Direkte Forsøg viser ofte Trykstyrkestigninger paa indtil 20—30 %, og Stigningen er vistnok større for Trykstyrken end for Bøjningsstyrken.

Naar Foredragsholderen havde fortalt, at man med lidt Forundring har konstateret, at en givet Beton kunde blive stærkere ved Vibrering end ved Haandstampning, hang det ogsaa sammen med, at Abrams Lov og ikke Loven om Kitmasse-tætheden var lagt til Grund for Bedømmelsen.

Med Hensyn til Vibratorer var der vist ikke Tvivl om, at de, der sænkes ned i Betonen, er de virkningsfuldeste, og Civilingeniør Dührkop fandt Grund til at nævne, at vi har en dansk Maskine, der bearbejder Vejbeton efter dette Princip. Han havde nogle Billeder af denne Maskine — fotograferet i 1936 — og de viste meget malende, hvad der kan opnaas ved Vibrering. (Fig. 1 og 2).

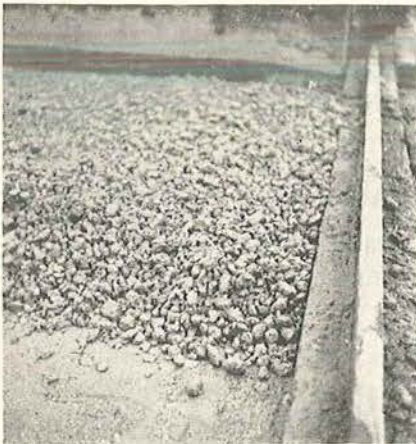


Fig. 1. Beton med Synkning 0 cm udlagt i Vejkassen.

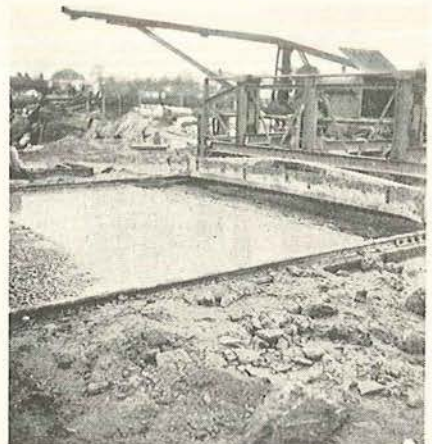


Fig. 2. Samme Beton efter Behandling med den danske Vibrator-Vejmaskine.

Om Svingningernes Frekvens og Amplitude fremførtes, at Kornenes Frekvens er desto større, jo mindre Kornene er og jo større Gnidningsmodstanden er, og at Vibreringens Virkning er størst, naar Kornenes og Vibratorens Frekvens nærmer sig hinanden. Det vil sige, at langsomme og kraftige Vibrationer vil have størst Virkning paa store Korn og hurtige paa smaa Korn. Dette rejser Spørgsmaalet om en diskontinuert Vibrerings Betydning. Det er direkte eftervist ved Forsøg, at en Vibrator med meget stor Energi i første Øjeblik fremkalder en betydelig Forøgelse af Lejrings-tætheden men senere formindsker denne, og at denne Formindskelse kan undgaas, hvis man hurtigt begynder at nedsætte Amplituden og øge Frekvensen. Derved kan en stor Lejrings-tæthed opnaas paa en Tid, der kun er 10 % af, hvad fortsat svag Vibrering kræver.

Det fremførtes, at Cementkornene sikkert ikke paavirkes nævneværdigt med de Frekvenser, man nu kan opnaa, og at det vel er muligt, at man kan naa til ogsaa at vibrere dem og maaske bringe dem saa tæt sammen, at kapillære Kræfter binder dem og bevirker en øjeblikkelig Hærdning.

Iøvrigt var Civilingeniør Dührkop enig med Civilingeniør Plum i hans Syn paa Vibreringens Virkning, og der var altsaa ikke yderligere Grundlag for Diskussion, men dog var der endnu et Spørgsmaal, som manglede Svar, et Spørgsmaal, som kunde rettes til Forsamlingen. Hvorfor bruges Vibrering ikke almindeligt paa danske Byggepladser? Har man ikke Tillid til, at Metoden medfører Forbedringer, har man ikke Brug for Forbedringer, er det Normernes Bestemmelser, der virker hæmmende, eller er man ved Beregning af Omkostningerne kommet til afskrækkende Resultater. Der maatte være mange til Stede, som havde været ude for Problemet og som kunde give Svar.

Civilingeniør, Dr. techn. *Erik V. Meyer* spurgte Foredragsholderen, om der kunde angives Metoder til Fremstilling af Prøvelegemer, som i Styrke svarede til den vibrerede Beton i Bygværket. Med Hensyn til Grusmaterialet til centrifugeret Beton var han forbavset over, at man skulde kræve absolut samme Kornvægtfylde, idet Kornstørrelsen maatte have en stor Indflydelse, ellers maatte Cementkornene med Vægtfylde 3,1 mod Gruskornenes c. 2,6 jo slynges helt ud, hvad de ikke gjorde.

Civilingeniør *Jørgen Paulsen* havde paa et Besøg i Sverige hos A/S Vibrobetong beset Byggepladser baade i Stockholm og Göteborg, hvor der arbejdedes med vibreret Beton. Besøget havde været en Skuffelse, da man intet Steds brugte Beton, der var stivere end den, der herhjemme blev brugt ved almindelig haandstampet Beton. Overingeniør Chatillon-Winbergh i Stockholms Bygningsnævn havde paa Forespørgsel udtalt, at Betonarbejder i Almindelighed udførtes saa daarligt, at man ikke heller for vibreret Beton kunde slække paa Kravene til Cementindhold eller sætte de tilladelige Spændinger op.

Entreprenør, Civilingeniør *Kaj Hauer* vilde svare paa Diskussionsindlederens Spørgsmaal. Det var et Samvittighedsspørgsmaal, om man brugte Vibration eller ej. Teoretikerne ved nu saa meget om Beton, og Praktikerne maa føre Erfaringerne fra Laboratorierne videre til Byggepladsen — men paa en større Byggeplads var det faktisk ugørligt at føre den tilstrækkelige Kontrol. Vi vidste, at der skulde saa lidt Vand som muligt før Udstøbningen og saa meget som muligt bagefter, men hvorledes hindre Folkene i at hælde Vand i Blandemaskinen? Naar man overvejede Vibrering, var det for at spare Cement, og man haabede paa, at det alligevel blev godt. Formvibrering var vist ikke virksom. Civilingeniør Hauer mente ikke, at de Besparelser, der blev fundet i Amerika og England, havde nogen Relation til danske Forhold. Vi har for mange Priskuranter — hver Gang nye Materialer eller Metoder dukker frem, sættes Priserne i Vejret. For Vibrering tages 50 Øre til 1,00 Kr. ekstra pr. m³.

Entreprenør, Civilingeniør *Preben Vinding* meddelte, at hans Firma ved nogle af Vejlaboratoriet udførte Forsøg med Prøvelegemer fra en Betonkørebane, komprimeret med deres Pervibratormaskine, havde fundet lige store Styrker for Terninger skaaret ud i Knivenes Baner og mellem Banerne. Mærkeligt nok havde de første været lidt stærkere end de sidste, men Forskellen laa indenfor Forsøgsunøjagtigheden. Civilingeniør Vinding fremhæ-

vede, at der krævedes Omhu og Øvelse for at udføre god Vibrering, og i hans Firma arbejdedes der derfor ved Vibreringsarbejder kun i Dagløn og ikke i Akkord. Der var kun faa øvede Folk paa dette Omraade. De Vanskeligheder, man har med vibreret Beton, er antagelig Begyndelsesvanskeligheder.

Civilingeniør *Otto Husted*, Stadsingeniørens Direktorat, København, meddelte, at Kommunen havde udført en Del Arbejder ved Vibrering i den senere Tid. Arbejdet havde været udført i Akkord. Man havde blandt andet udført Kloakarbejder i 5 m Dybde. Den store Spredning fordyrer Arbejdet, og man maa betale ekstra for at bringe Betonen ned. Der er ikke betalt ekstra til Akkorden for Benyttelse af Vibrator.

Kommunen havde fremstillet Rør med 1 m³ Beton pr. Stk. ved Vibrering. Det drejede sig om et stort Antal og den hurtige Afformning havde betydet en virkelig Besparelse, idet Formudgiften var ca. 12.000 Kr. mod ellers 50—60.000 Kr. Der kunde støbes 2 Rør i hver Form om Dagen, saaledes at man var oppe paa 4—5 Gange normal Støbehastighed.

Civilingeniør *Kaj Hauer* tilføjede, at Prisen sikkert var en af de alvorligste Hindringer for Vibreringens Anvendelse. Til det, han før havde sagt, kom, at Forskallingen skulde være mere solid — man maatte sikkert regne med omtrent 50 % flere Formclamps, hvad der betød en betydelig Merudgift.

Foredragsholderen, Civilingeniør *Niels M. Plum* afsluttede med følgende Bemærkninger:

Til Civilingeniør *Dührkop*, at han var klar over, at de nævnte Styrketilvækster paa 100 % i Middeltal var noget rigelige, men at han da ogsaa i sin Opstilling over Økonomien ved Vibreringen havde regnet med den mindste Værdi, nemlig 30 %.

Til Dr. *Meyer*, at de givne Oplysninger om Vigtigheden af konstant Vægtfylde for Tilslagsmaterialerne ved Fremstilling af centrifugerede Rør stammede fra Højgaard & Schultz' Rørfabrik, hvor man meget stærkt havde pointeret dette Forhold, og endvidere, at Forholdene nok ikke var umiddelbart tilgængelige for et Ræsonnement som det af Dr. Meyer fremførte, idet det jo ikke var teoretisk indlysende, at f. Eks. Armeringen blev nøjagtigt centreret i Formen, hvilket Praksis viste var Tilfældet.

Overingeniør, cand. polyt. *Knud Rasmussen* oplyste dog, at det først og fremmest var de meget lette Sten, der voldte Kvaler, og at man maatte undgaa væsentlige Variationer i Vægtfylden, saaledes at man faktisk havde foretrukket Skærver for at undgaa saadanne Variationer.

Angaaende Fremstilling af Prøvelegemer af vibreret Beton meddelte Civilingeniør *Plum*, at Christiani & Nielsen anvendte et Rystebord, hvis Acceleration var afpasset efter en almindelig Pervibrator til Fremstilling af Prøvelegemer, men at der selvfølgelig krævedes nogen Erfaring for at overføre Resultaterne herfra til Praksis.

Til Civilingeniør *Jørgen Paulsen*: Naar Erfaringerne i Sverige med den vibrerede Beton paa de Byggepladser, han havde set, havde været daarlige, maatte det skyldes dels Ukendskab til Arbejdsmetoderne og dels forkert Anvendelse af Vibreringen, som der allerede var gjort opmærksom paa i Foredraget, og Foredragsholderen havde da heller ikke ved egne Studiebesøg i Sverige fundet Forholdene saa daarlige som af Civilingeniør Paulsen nævnt*).

*) Dr. Meyer har senere over for Kursusudvalget oplyst, at Forholdet nu er ændret derhen i Sverige, at man for stivere Beton, der er vibreret, tillader ca. 10 pCt. større baade Træk og Forskydningsspændinger end for almindelig Støbebeton.

Til Civilingeniør *Kaj Hauer*, at dennes Bemærkninger om Fremstilling af daarlig Beton i Praksis mere maatte adresseres til den almindelige Beton end til den vibrerede Beton, og at det var hans Overbevisning i Lighed med den Udvikling, man havde iagttaget f. Eks. i Amerika, at Vibreringen af sig selv vilde blive populær. — Angaaende den Usikkerhed med Hensyn til den praktiske Udførelse, der bestod i den enkelte Arbejders Vilje til at sørge for fuldstændig Vibrering hvert Sted, inden han gik videre, bemærkede Foredragsholderen, at dette kunde imødegaas f. Eks. ved en Metode, som han havde set paa en større Arbejdsplads i Udlandet, hvor der paa en stor Tavle paa Arbejdspladsen førtes fortløbende Regnskab med Styrkerne, der opnaaedes af hvert enkelt Sjak, og som havde vist sig at være en fortrinlig Basis for Sjakkene til at holde Justits imellem sig med Hensyn til Kvaliteten. —

Civilingeniør Plum gav Civilingeniør Hauer Ret i, at Forskallingsvibrato-rer kun var til Anvendelse for ret specielle Formaal, og dette fremgik da ogsaa af Foredraget. Derimod kunde han ikke indrømme, at der var Tale om nogen større Prisforøgelse paa Forskallingen, idet det hovedsagelig drejede sig om soigneret Udførelse af alle Detailler. Den hurtige Afforskalling vilde endda ofte føre til Besparelser i Forskallingsomkostningerne.

Med Hensyn til det rejste Spørgsmaal, om hvorvidt den danske Pris-kurant vilde umuliggøre Besparelser i Arbejdslønnen bemærkede Foredragsholderen, at dette jo en Overgang nok kunde blive Tilfældet, og at han netop ogsaa i Foredraget ved Udregningen af Økonomien havde set bort fra denne Besparelse. Paa den anden Side mente han, at hvis Vibreringen virkelig var billigere, hvad man jo i Begyndelsen kunde konstatere ved at arbejde i Timeløn, vilde Udviklingen sikkert her, ligesom i andre Lande, i det lange Løb føre til en Besparelse.

Til Civilingeniør *Vinding*, at han var enig med ham i, at de Vanskeligheder, man i Øjeblikket iagttog, kun var Fødselsvanskeligheder.

ARMERING AF JERNBETONKONSTRUKTIONER

Af Civilingeniør, Dr. techn. Chr. Ostenfeld.

1. Indledning.
2. Oversigt over Armeringsjern.
3. Jernbetonnormerne.
4. Konstruktionernes Revneseikkerhed.
5. Svejning af Armering i Jernkonstruktioner.
6. Melankonstruktioner (stiv Armering).
7. Konstruktioner med forspændt Armering.
 - A. Bearbejdet Referat af: E. Freyssinet: Une Revolution dans les Techniques du beton.
 - B. Tyske Forsøg med Freyssinet's Bjælker: Ways og Freytags Meddelelser, Empergers Forslag.
 - C. Nærmere Undersøgelse af forspændte Bjælker: (Freyssinet's Metode) Taleksempel.
 - D. Strengbeton.
 - E. Tyske Metoder til Udførelse af forspændte Bjælker: Dischingers Forslag. Finsterwalders Forslag.
 - F. Slutning.

1. Indledning.

Under de nuværende Forhold her i Landet er det en utaknemmelig Opgave at skulle beskæftige sig med Armering af Jernbetonkonstruktioner. Det vilde være mere aktuelt at fortælle om uarmerede Konstruktioner, som jo er et stort Problem i Dag.

Men vi maa i det følgende forudsætte de normale Forhold fra før

STAAL-SORT.	UDSEENDE FREMSTILLING.	BRUGGRÆNSE FLYDGRÆNSE BRUDFORLÆSE	ELASTICITETS-KOEFFICIENT NEDBØJNING AF JERNBETONBJÆLKER.	REVNESIKKERHED ADHESION JERN-BETON.	DYNAMISKE FORHOLD.	TILLADELIG SPÆNDING I STAAL (Istæt af Ebnst Bygningskommission)	PRAKTISKE ANVENDELSE TÆK-TÆK-BØJNING SVEJNING-KROGE etc FORVEKSLING MED ANDET JERN.	OMTRENTLIG BESPARELSE I FORH. TIL ANDRE STAAL 37.	GIENGSE DIMENSIONER I HER I LANDET.
STAAL 37.	Ø Staal Vølset.	37-4400 24-2800 20 %	21·10 ⁶ 1/37	For 60-80 kg/cm ² ulstrækkelig (betonet Tærsvit n=6 å. 8) god.	Stor Sikkerhed.	1300 kg/cm ² (Efter nye Normer).	Al Jernbeton. Godt tøjbart kroges. Kan forveksles.	—	—
STAAL 52.	do do	5200 30-3600 18 %	21·10 ⁶ 1/52 (1/53)	Mindre god end v. St 37, p. 6 af tidligere Beregningsspænding god.	Staal 37 er, blødere.	1/25-1800 kg/cm ² (Se Normerne).	Al Jernbeton, navnlig i strøbe og bjelkekonstruktioner. Vanskeligere at svejse og kroge. Kan til forveksles m. St 37.	ca 15 %	—
ISTEG-STAAL **)	Snoet m. fastholdte Ender. Kalottrækning.	ca. 5000 ca. 4000,1 14-16 %	17·10 ⁶ 1/31 (1/24)	Talrige fine Rækker (Noget bedre end v. St 37). Roth 25% stærre end v. St 37.	Ved Træk: Stærre Sikkerhed end v. St 37. Stærre Diformationsarb.	15-1200-1000 kg/cm ² (Se Krigsnormer a. 1800 & 1800).	Træk og Bøjning ikke Træk og Bøjning. Svejses ikke. Kroges (Istæt hørende). Forveksles ikke.	ca 10-15 %	ca 5-22 mm (12-300 cm ²)
VINDEL-STAAL **)	Firkløvet Tærsvit (Brillvalst stålt).	ca. 5-6000 ca. 4000 15-24 %	21·10 ⁶ 1/31 (1/37)	Betere end v. St 37. Vesentlig bedre end St 37.	Stor Sikkerhed	1800 kg/cm ² (Se Krigsnormer a. 1800 b 1800).	Træk-Træk-Bøjning. Svejses vanskeligt, kroges (Istæt hørende). Forveksles ikke.	ca 10-15 %	1/2 8-35 m. (134-600 cm ²)
STAAL-VÆV **)	Kalottrækning Staaltraad. Elektrisk svejst i trykningskølle.	ca. 5-6000 (45-5500) ca. 5-8 %	20·10 ⁶ 1/31 (1/37)	Mindre god end v. St 37 (Nå) Stærre Rækker end v. St 37, dog Træjærn gunstige.	Høgenlunde.	800 å 2000 kg/cm ² (2000 ?) (Foreldet) a. 1800 Forsøg afventes.	(Tryk) Træk-Bøjning. Svejsning? stærkt at bukke. Stød v. Overløp. (Vægsn Stødt. 20 cm pr. Træjærns.) Forveksles ikke.	ca. ?	Maskeridde 5-6 å 20-20cm. Kvadrat tværsnit 25-3mm F. pr. l. m. i overfl. ning 10-25cm ² Vægt pr m ² (å. R.) 46-4 kg.

** Isteg-Grænse 5 ved 0.4 % Forlængelse.

** Forsøg paa Laboratoriet for Bygningsstatik.

Fig. 1.

MELCHIOR & VOLTELEN

INGENIØRER & ENTREPRENØRER

HOVEDKONTOR: TRONDHJEMSGADE 12 . KØBENHAVN . TELF. C. 12401



Udvidelse af Vanløse Station for Nærtrafikken udført for D. S. B.

BETONJERN
BETON-STAALVÆV
CEMENT

fra



SOPHUS BERENDSEN & S

Telefon C. 8500 . V. Farimagsgade 41 . København V

Dansk Andels
Cementfabrik

Nørresundby

Tlf. 1003-1920 . Stat 25 . Telegr.: Andels cement



Krigens Begyndelse og søge at faa en Oversigt over, hvilke Konstruktionsmuligheder der raades over, naar al Slags Armering staar til ens Raadighed.

2. Oversigt over Armeringsjern.

I hosstaaende Skema Fig. 1 er givet en Oversigt over de her i Landet anvendte Staalsorter, deres Egenskaber og Anvendelighed til Armering af Jernbetonkonstruktioner. Ved det haarde Staal (Staal 44 og Staal 52), samt ved Specialstaalene (Isteg, Vindelstaal og Staalvæv) har man som Sammenligningsgrundlag benyttet det almindelige Staal 37, hvis Egenskaber og Anvendelse jo kan betragtes som bekendt i enhver Henseende. Skemaet gennemgaas nærmere.

Med Specialstaalene er der udført Forsøg paa Laboratoriet for Bygningsstatik (Prof. Chr. Nøkkentved). Endvidere har Laboratoriet for Byggeteknik (Prof. E. Suenson) udført Forsøg over Staalsortens Indflydelse paa Jernbetonbjælkens Styrke og Deformationer.*

3. Jernbetonnormerne.

I Jernbetonnormerne af 1930 er haardt Staal og Specialstaalene behandlet noget stedmoderligt. I Normernes Paragraf 33: Jernets Kvalitet, anføres følgende: »Jernet skal, naar ikke andet forlanges eller tillades, være blødt Staal, der svarer til Normalbetingelserne i det Land, hvor det er fremstillet. Ønskes der brugt en anden Jernsort, maa der, forinden Tilladelse gives, opgives og garanteres Minimumsværdier ikke blot af Brudspænding og Brudforlængelse, men ogsaa af Flydespænding. Produktet af Brudspænding (i kg/cm^2) og Brudforlængelse (i %) skal mindst være 74.000 og Brudforlængelsen mindst 10 %. Prøvestængerne maa ikke være afdrejede, men skal have deres naturlige Overflade.«

Som tilladelig Trækspænding for Staal 37 er som bekendt fastsat 1200 kg/cm^2 , og for Jern med garanteret Flydespænding σ_F (se Paragraf 33) tillades en Trækspænding $r_j = 24,5 \sqrt{\sigma_F}$.

Under Krigen er midlertidig tilladt noget højere Spændinger:

	a	b
	I Plader og Hulstensdæk uden Overplade	I andre Konstruktionsdele (Buer, Bjælker m.v.)
Normalt Handelsjern med Trækbrudstyrke mindst 3700 kg/cm^2	$r_j = 1200 \text{ kg/cm}^2$	$r_j = 1400 \text{ kg/cm}^2$
Andet Jern med $\sigma_F \leq 3600 \text{ kg/cm}^2$	$r_j = \frac{1}{2} \sigma_F - 200 \text{ kg/cm}^2$	$r_j = \frac{1}{2} \sigma_F \text{ kg/cm}^2$
Isteg-, Vindeljern o. l. med $\sigma_F \geq 3600 \text{ kg/cm}^2$	$r_j = 1600 \text{ kg/cm}^2$	$r_j = 1800 \text{ kg/cm}^2$

* Ing. vidensk. Skrifter 1940, Nr. 3.

For Plader kan dog anvendes de i Kolonne b angivne tilladelige Jernspændinger, naar den tilladelige Betonspænding r_b samtidig reduceres med 10 %.

Det ses, at man her (1940) har givet Specialstaalene bedre Anvendelsesmuligheder.

Dansk Ingeniørforening har for 1 Aars Tid siden nedsat 6 Udvalg til Udarbejdelse af nye Bygningsnormer. Et af disse Udvalg arbejder med nye Jernbetonnormer, og Udvalgets Formand, Professor *Nøkkentved*, har meddelt mig, at det paagældende Normforslag indeholder følgende Bestemmelser:

»Naar Staalet købes fra Værk, og særlig naar det fremstilles til et bestemt Bygværk, bør man træffe Aftale om en mindste Værdi for nedre Flydegrænse. Under alle Omstændigheder bør Prøvningen af Staalet foregaa saaledes, at nedre Flydegrænse bestemmes. Denne bør som Regel været ca. 65 % af Trækbrudstyrken.

Produktet af Trækbrudstyrke i kg/cm^2 og Brudforlængelse i % paa Maalelængde 11,3 F (d. v. s. 10 Gange Diameteren for Rundjern) bør for blødt Staal andrage mindst 74.000 og Brudforlængelsen mindst 10 %. Hvis disse Fordringer undtagelsesvis ikke er opfyldt, maa der træffes særlige Bestemmelser i hvert enkelt Tilfælde. Ligeledes bør der træffes særlige Bestemmelser om de Fordringer, der skal stilles, naar der anvendes haardt Staal til Armeringen.«

Den tilladelige Paavirkning sættes i Normforslaget for Staal 37 til 1300 kg/cm^2 , altsaa en væsentlig Forøgelse fra tidligere. Endvidere sættes den tilladelige Trækspænding for Staal med bestemt Flydegrænse til

$$r_j = \frac{1}{2} \sigma_F \text{ for } 2400 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_F < 3600 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{og } r_j = 1800 + \frac{1}{4} (\sigma_F - 3600) \text{ for } \sigma_F > 3600 \text{ kg/cm}^2$$

og der tilføjes endvidere:

»Til vigtigere Konstruktioner bør anvendes Staal med garanteret eller paavist Flydegrænse.

For ugendørs Konstruktioner og Konstruktioner, der er særlig udsat for Fugtighed o.l., bør der, saafremt der bruges Staal med $r_j > 1300 \text{ kg/cm}^2$, foretages særlig Undersøgelse og eventuelt træffes praktiske Foranstaltninger for at sikre mod Revnedannelse.«

Det ses (smlg. Skemaet), at Normerne fra 1930 gør det vanskeligt for haardt Staal og Specialstaal at tilfredsstille Betingelserne i Normernes Paragraf 33, ligesom den tilladelige Spænding efter disse Normer kun ufuldstændigt tillader at udnytte Staalets højere Flydegrænse. Paa disse Punkter stiller de nye Normforslag sig væsentlig mere imødekommende, idet det kort og godt fastsættes, at man bør foretage omhyggelig Undersøgelse med nye Staal-sorter, og herefter kan

man inden for Grænsen 1800 kg/cm^2 fuldt udnytte den højere Flydegrænse. Ovenfor denne Grænse gaar altsaa det nye Normforslag frem med nogen Forsigtighed.

I det følgende vil man særlig fremdrage de særlige Spørgsmaal, som ved kommende dansk Praksis kan forventes at faa Betydning:

Armering med haardt Staal — Revnesikkerhed,
Svejsning af Armering, bl. a. haardt Staal,
Melan-Konstruktioner til Hus- og Brobygning,
Konstruktioner med forspændt Armering efter tyske og franske Metoder.

Man skal ikke beskæftige sig med det almindelige Lærebogsstof eller den almindelige Udførelsespraksis, som maa forudsættes bekendt for Tilhørerne ved dette Kursus. Man skal navnlig beskæftige sig med, hvad der opnaas ved Anvendelse af særlig Armering, hvilke Problemer der opstaar, og hvilke Konstruktionsmuligheder der fremkommer; dette belyses ved Eksempler.

4. Konstruktionernes Revnesikkerhed.

En Betonkonstruktion armeres — stort set — for at den kan optage Trækspændinger, anderledes udtrykt, for at man kan undgaa Revner i Konstruktionen.

Naar en konstruktiv Opgave foreligger, maa Valget af Specialarmoring motiveres ved, at der opnaas tekniske eller økonomiske Fordele. Valget af Staal er dog ikke et isoleret Spørgsmaal, idet det hænger nøje sammen med Kravet til Betonens Kvalitet. Kvalitets-Staal og Kvalitets-Beton maa nødvendigvis følges ad.

Desværre vil, ved normale Konstruktioner, Betonens Revner sætte en Grænse for Anvendelse af haardt Staal. Jernets Elasticitetskoefficient er omtrent ens for alle Staalarter, og Betonens Revnesikkerhed vil ikke tillade en økonomisk Udnyttelse af haardt Staal.

Man har for strakt Beton Brudforlængelsen lig ca. $0,20 \text{ mm/m}$, medens Forlængelsen for Trækspændingen 15 kg/cm^2 ($= \frac{1}{2} \sigma_{\text{Brud}}$) kun er lig ca. $0,10 \text{ mm/m}$.

For Staalet, med $E = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ er Forlængelsen

ved $\sigma = 1200 \text{ kg/cm}^2$ lig $0,57 \text{ mm/m}$,

ved $\sigma = 1800 \text{ kg/cm}^2$ lig $0,85 \text{ mm/m}$.

Ved Specialstaalet med $E = 1,7 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ er Forlængelsen

ved $\sigma = 1800 \text{ kg/cm}^2$ lig $1,05 \text{ mm/m}$.

Erfaringen viser, at *Maximumsgrænsen* er

$\sigma_{\text{till}} = 1800 \text{ kg/cm}^2$.

Denne Grænse naas kun ved særlig Omhyggelighed og særlige Forholdsregler.

Som Eksempel paa en Undersøgelse af Revnespændingen i en større Betonkonstruktion skal vises et Skema fra Tarphagebroen, en Jernbetonbjælkebro med 30—40—30 m Spændvidde. Denne Bros tre Hoveddrager er armeret med Staal 52 (Rundjern 50 mm) med de paa Skemaet, Fig. 1, angivne Egenskaber. Betonen har en Brudspænding bestemt ved 28 Dages Prøvehjælker af 450 kg/cm². Tilladelig Paavirkning 81 kg/cm². Armeringen i Pladetværhjelker med mere er almindeligt Staal 37 med tilladelig Paavirkning 1200 kg/cm². Hoveddragerens Dimensioner og Armering ses øverst i Fig. 2. (Se Planchen bag i Bogen).

Efter Udregning af de bøjende Momenter i Dragerens forskellige Punkter ses videre paa Fig. 3 en Undersøgelse af de optrædende Beton- og Jernspændinger i Dragerens Tværsnit.

Først er vist Spændingsdiagrammerne, udregnet paa Basis af de ved Dimensioneringen anvendte Forudsætninger (revnet Betontværsnit, $n = 15$). Man ser, at Punkt 2 i Yderfaget samt Punkterne 5, 6, 7 og 8 ved Mellempillen er de stærkest paavirkede Tværsnit. Ved disse Spændingsdiagrammer er der regnet med Brudstadiet. Imidlertid har man ønsket at danne sig et Begreb om de ved Broens Brug virkeligt optrædende Betonspændinger, navnlig Trækspændingerne. Disse er derfor udregnet i de to Tabeller nederst paa Planen, gældende for Dragerens Underside og for dennes Overside. Disse Betontrækspændinger er ud-

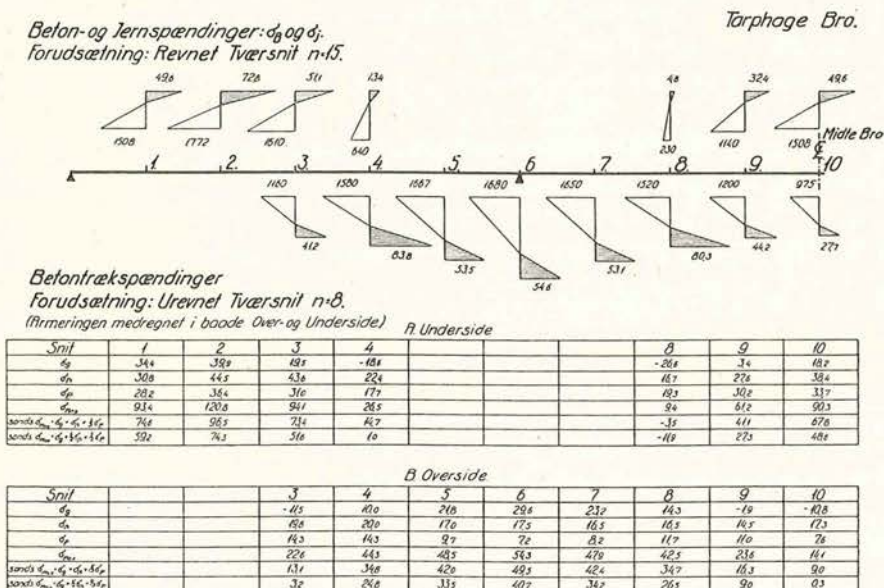


Fig. 3.

regnet paa den Maade, at man har forudsat urevnet Tværsnit og $n = 8$. Armeringen er medregnet baade i Over- og Undersiden. I Tabellen er angivet Trækspændingerne adskilt for Egenvægt og bevægelig Belastning. I 4. Linie i Tabellen fremkommer saaledes den maximale Betontrækspænding. Det ses, at denne er særlig stor i Undersiden af Yderfaget samt i Punkt 10 forned, medens den i Oversiden paa intel Punkt overstiger 54 kg/cm^2 , takket være Brobanepladen og dens Armering. Disse maximale Spændinger vil imidlertid aldrig optræde i Praxis. I Tabellens 2 nederste Linier har man derfor udregnet en »sandsynlig Maximumspænding«, der skulde fremkomme ved Egenvægts-spændingen + Halvdelen eller Trediedelen af Spændingen hidrørende fra den bevægelige Belastning. Paa denne Maade kommer man ned paa Betontrækspændinger, der kun i Punkt 1 og 2 væsentlig overstiger 50 kg/cm^2 .

En regningsmæssig Betontrækspænding paa 50 kg/cm^2 er som bekendt meget almindelig i talrige store Bjælker i Husbygning og lignende, og den maa antages at give en passende Revnesikkerhed, ogsaa for udendørs Konstruktioner, uanset at Betonens Trækstyrke næppe ligger stort højere end $25\text{--}35 \text{ kg/cm}^2$. Ved Tarphagebroens Yderfag vil der iøvrigt være en Reservesikkerhed paa Grund af Broens ret store Skævhed, og det vil derfor være fuldt forsvarligt at antage, at de nederst i Tabellen angivne sandsynlige Trækspændinger i Yderfagene vil kunne divideres med f. Eks. 1,5, hvorved man paa alle Punkter kommer ned under 50 kg/cm^2 Revnespænding i den strakte Beton.

Den omhyggelige Analyse af disse Revnespændinger er angivet her for at vise, at det i Virkeligheden er disse Revnespændinger, der sætter en Grænse for, hvor langt man kan gaa ved Projekteringen af Jernbetonbjælkebroer med stor Spændvidde.

Dersom der opstaar større Revner, vil Inertimomenterne aftage noget paa det paagældende Sted, og herved vil atter ved statisk ubestemte Systemer Momentfordelingen forrykkes (i ugunstig Retning). Det vil her have stor Interesse at foretage Forsøg — Maalinger — paa udførte Bygværker. Det har ikke været muligt at konstatere Revner ved Tarphagebroen, og den valgte Konstruktion maa derfor siges at være fuldt forsvarlig.

Iøvrigt er der anbragt en Armering af Istegjern $\varnothing 5 \text{ m/m}$, $a = 10 \text{ cm}$ i Ydersiden af Hoveddragerne. Disse Jern spiller ingen Rolle i beregningsmæssig Henseende, men er kun anbragt som en Revnearmering lige under Betonoverfladen.

Istegstaal og Vindeljern egner sig særlig godt til Armering af Beholdere og lignende Konstruktioner, hvor Revnesikkerheden er af særlig Betydning. Det kan derfor siges, at man med disse Specialstaal har

opnaaet en virkelig Forbedring af Betonens praktiske Revnesikkerhed. Derimod er den regningsmæssige Revnesikkerhed næppe forbedret ved disse Specialstaa i Forhold til Revnesikkerheden ved Staal 37, dette paa Grund af Specialstaaenes højere Paavirkning og den deraf følgende større Revne-Trækspænding i Betonen.

For Fuldstændigheds Skyld skal her kun erindres om, at trykkede Konstruktioner undertiden forsynes med en særlig Armering: Støbejernsarmering eller Spiralarmering.

I Jernbetonnormerne er der redegjort for (se Paragrafferne 20, 21 og 22), hvad man opnaar ved disse særlige Forholdsregler, som jo ikke er særlig økonomiske, men som anvendes, naar det for et givet Søjletryk gælder om at fremstille en særlig slank Søjle. Ved enkelte andre Konstruktioner, der er trykkede i alle Retninger, søger man i Almindelighed at armere Betonen noget overalt. Dette gælder saaledes for Eks. ved moderne Skalkonstruktioner, hvor Armeringen i og for sig paa adskillige Punkter kunde siges at være overflødig.

Ved Jernbetonkonstruktioner i Vandbygning er Revnesikkerheden af særlig Betydning. I Dansk Ingeniørforenings Normer for Vandbygnings-Konstruktioner (1937) er det fastsat i Paragraf 22 c, at det dækkende Betonlag uden paa Jernet skal være mellem 2 og 5 cm tykt, medens man ellers foreskriver et dækkende Betonlag paa 1 cm i indendørs Konstruktioner, 2 cm i udendørs Konstruktioner og 3 cm i udendørs Brobjælker, Brobuer, Brosøjler og Kranskinnebrugere (Jernbetonnormernes Paragraf 38).

5. Svejning af Armering i Jernbetonkonstruktioner*).

Svejning af Armeringsjern er efterhaanden blevet almindeligere, baade ved Husbygning og Brobygning, dog kun ved større Konstruktioner ved sværere Jerndiametre. I en større Artikel i »Ingeniøren, Bygningsteknik« af 4/1 1941 er der givet en Oversigt over Spørgsmaalet.

Fordele og Mangler ved Svejningen:

Ved større Jerndimensioner (større end 30 mm) bliver et almindeligt Stød med Considère-Kroge saa tungt, at alene Besparelsen i Jern ved at svejse Stødet kan betale denne Svejning. Men naar de krogede Stød fjernes, kan Betondimensionerne reduceres væsentligt, og dette faar en afgørende økonomisk Betydning ved Konstruktioner med stor Spændvidde (navnlig ved Broer), idet Egenvægten og derved Momenterne reduceres væsentligt.

Samtidig vil Udstøbningen af Betonen lettes, da man ikke længere

*) Se »Svejning af Armering af Jernbetonkonstruktioner af W. Jønson og Chr. Ostenfeld, »Ingeniøren, Bygningsteknik« af 4/1 1941.

generes af de mange Kroge og Ophobningen af Jern. Denne lettere Udstøbning kan udnyttes til at reducere Vand-Cementfaktoren, saaledes at Betonen faar større Brudstyrke, eller maaske snarere saaledes, at Brudstyrken bibeholdes, men Cementforbruget nedsættes noget.

Ved Svejsning opnaar man samtidig, at Armeringen bliver meget stiv, og dette vil igen sige, at den ikke saa let forskubber sig i Forhold til Forskallingen.

Den væsentligste Mangel ved Svejsning er Faren for daarligt Arbejde. Denne Fare kan dog formindskes væsentligt ved kun at benytte dygtige og øvede Svejsere, som med passende Mellemrum maa prøves. Der kan ligeledes opnaas meget ved at tilrettelægge Arbejdet saaledes, at Svejsarbejdet lettes mest muligt. Dette kan ske baade ved en rigtig Tildannelse af Armeringsjernene, ved rigtigt Valg af Elektrode og ved en rigtig Arbejdsstilling. Under Arbejdets Udførelse maa der føres en meget effektiv Kontrol med, at Svejsningen virkelig bliver udført som krævet, og endelig bør der, naar Arbejdet er afsluttet, ved Hjælp af Røntgenstraaler, foretages en Gennemlysning af Svejsesømmene.

Iagttages disse Forholdsregler, vil det svejste Stød faa samme Brudstyrke som Grundmaterialet, og der vil da være al mulig Grund til at benytte de baade tekniske og økonomiske Fordele, som Svejsningen af Armeringsjern frembyder.

Svejsningen har i Udlandet været anvendt adskillige Steder. Naar det drejer sig om alm. Staal 37, volder Svejsningen i og for sig ikke større Vanskelighed; man skal kun træffe Bestemmelse om, hvorledes Svejsningen bedst udføres (se Fig. 4). Den bedste Udførelsesform er en V-Søm eller en X-Søm. Ved større Jerndiametre vil man naturligt vælge X-Sømmen, som er den billigste og kræver mindst Elektrodemateriale. Ved den praktiske Udførelse af Svejsningen maa man træffe særlige Foranstaltninger, som der er gjort Rede for i den nævnte Artikel. Det gælder jo om at sørge for, at Jernet ikke kaster sig, og at der ikke optræder lokale Varmespændinger ved Svejsstedet. Endvidere bør man kontrollere Svejsningen ved Røntgenfotografering. Dersom Svejsningen udføres rigtigt, vil det næppe være betænkeligt at tillade, at Staalet udnyttes fuldtud (med fuld tilladelig Paavirkning uden Svækkelse paa Svejsstedet). I denne Forbindelse nævnes, at man bør sørge for at fortsætte Stødene i de svejsede Hovedjern. Her ved forøges Konstruktionens Sikkerhed væsentligt.

Naar Svejsningen tilrettelægges rigtigt ved et større Jernbetonarbejde med sværere Jern, vil det normalt være at foretrække baade af tekniske og økonomiske Grunde at støde Jernet ved Svejsning i Stedet for ved Kroge eller ved Muffer. I meget svære Bjælker, f. Eks. ved Brobygning, er det tit uigennemførligt at komme til en fuldt

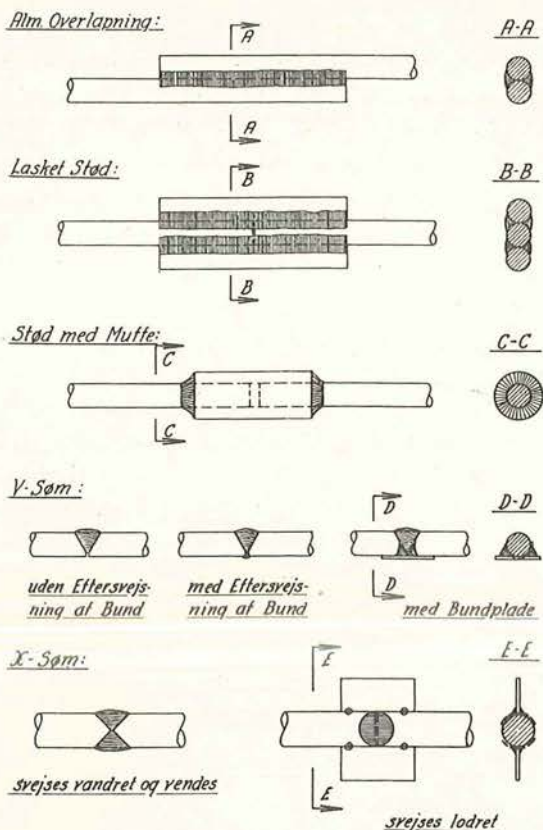


Fig. 4.

forsvarlig Konstruktion uden Anvendelse af svejse Stød.

Man er ogsaa kommet ind paa at svejse hele Bjælkearmingen—Hovedjern, Overjern og Bøjler—sammen til et stift Skelet, der som et samlet Hele nedlægges i Formen. (F. Eks. ved Waterloo broen i London).

Dersom Hovedjernene er udført i haardt Staal, f. Eks. Staal 52, er Svejsningen betydelig vanskeligere at gennemføre, idet haardt Staal er mindre svejsbart end blødt Staal. Imidlertid kan det dog med Fordel lade sig gøre (se ovennævnte Artikel). Ved Tarpbage broen, der som nævnt er armeret med

Staal 52 (ϕ 50 mm), blev der udført omhyggelige Forsøg for at fastlægge Svejsningens Udførelsesform og -maade, og det viste sig ved det praktiske Arbejde paa Arbejdspladsen, at Vanskelighederne forholdsvis let lod sig overvinde.

6. Melan-Konstruktioner (stiv Armering).

Ved visse særlige Opgaver har man gennem mange Aar udført Jernbetonkonstruktioner med stiv Armering af Profiljern. Selv om Melan-Konstruktionerne altsaa ikke er nogen ny Opfindelse, vil de dog fremtidig stadig faa stor Betydning, og de »blandede Konstruktioner« med baade stiv Armering og Rundjærnsarmering er egnede til Løsning af mange Særopgaver. Melan-Konstruktionerne er angivet af Professor Dr. ing. h.c. *Joseph Melan*, der døde den 6/2 1941, altsaa netop i Dag for 1 Aar siden, i den høje Alder af 88 Aar. Melan var Wiener og Professor ved den tyske tekniske Højskole i Prag i mange Aar.

Allerede i Jernbetonens første Aar fandt Melan paa at konstruere

Jernbetonbroer med stiv Armering, og saaledes var »Melan-Konstruktionerne« opfundet. Han var i mange Aar i nært Samarbejde med det udførende Firma *Pittel & Brausewetter*, der arbejdede i det gamle Østrig-Ungarn, og som efter hans Projekter fra Halvfemserne til Verdenskrigen udførte ca. 20 Melan-Broer. Allerede i Halvfemserne virkede Østrigeren *Fr. V. Emperger* i Amerikas forenede Stater med Bygning af Broer efter Melan-Systemet (Emperger lever endnu som en meget gammel Mand. Han har i »Beton und Eisen« af 5. April 1941 skrevet en Nekrolog over Melan).

De fleste ældre Melan-Broer blev iøvrigt bygget i Østrig-Ungarn samt i Schweiz (bl. a. Broen over Grande Eau ved La Planches).

Siden da er der udført mange Melan-Konstruktioner eller Afarter deraf, baade i Husbygning og i Brobygning. Tanken at benytte et stift Jernskelet, der bærer Forskallingen, som Armering af Konstruktionerne, er i mange Tilfælde af stor økonomisk Værdi. De store Træstilladser er ofte en vanskelig og risikabel Sag. Hvilken Løsning, der er fordelagtigst, maa afgøres i hvert Tilfælde for sig. Det afhænger dels af Jernpriser og Arbejdslønninger paa Stedet, dels af Naturforholdene, samt naturligtvis af selve Arbejdsmetoden ved Bygværkets Udførelse.

I Begyndelsen udførtes Melan-Konstruktioner selv ved ret smaa Objekter. Senere er Melan-Konstruktionerne væsentligst blevet anvendt ved store Objekter ved Naturforhold, der var særlig ugunstige for Bygning af Stillads.

Melan-Konstruktionerne har bidraget overordentligt til at fremme Jernbetonbroernes Konkurrenceevne over for Staalbroerne. Her skal erindres om de talrige Broer af blandet Konstruktion (f. Eks. Jernbetonbuer med omstøbte Staaltrækbaand og analoge Kombinationer), som er kommet til Udførelse i de sidste 20 Aar. Som Eksempel herpaa kan nævnes *Christiani & Nielsens* mange lette Brotyper, som f. Eks. i Sverige har fundet udstrakt Anvendelse. Tanken om den stive Melan-Armering har været yderst frugtbringende for Jernbetonkonstruktionerne, og Melans Principper er siden blevet suppleret paa mange Maader. Bl. a. er man gennem nu afdøde Professor *Spangenberg*, München, kommet ind paa at anvende Forbelastning under forskellige Former for at opnaa en bedre Udnyttelse af det indstøbte Profiljern, og herigennem har man kunnet naa væsentlig videre end før med Hensyn til Økonomi, Spændvidder m. m.

Her i Landet har Melan-Konstruktionerne gennem nogle Aar fundet en Del Anvendelse ved Husbygningen, navnlig ved særlig høje Fabriksbygninger, saaledes har *A. I. Moe* arbejdet meget med Melan-Konstruktionernes Anvendelse ved Elektricitetsværkerne og i Forbin-

delse hermed opstillet en interessant Beregning (Dimensioneringsmetode) af Melan-Konstruktioner.

Endvidere er Staaletbygninger i enkelte Tilfælde blevet behandlet helt eller delvis som Melan-Konstruktioner, saaledes at Staaletets Betonomstøbning medregnes statisk.

I Brobygning har Melan-Konstruktionerne herhjemme, saavidt vides kun været anvendt i større Stil ved den under Udførelse værende

Aggersund.

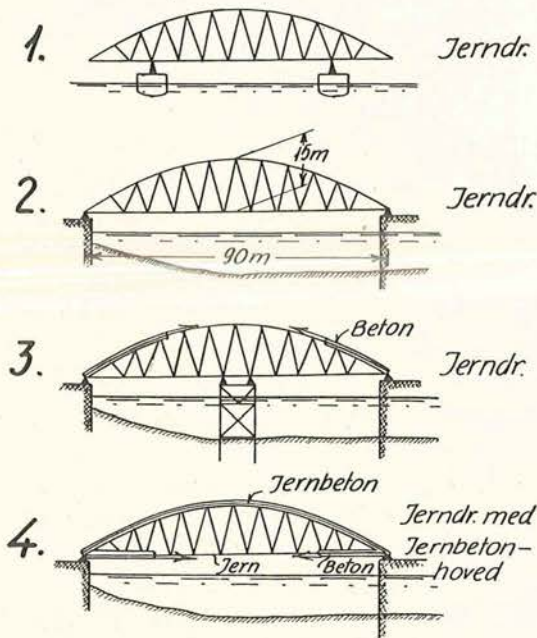


Fig. 5.

Aggersundbro. Jernskelettet benyttes her i Forbindelse med en Stilladspille midt i Brofaget til at muliggøre Udførelsen af en Jernbetonbro (eller Bro af blandet Art?), idet en egentlig Stilladsbygning ved Limfjordens bløde Bundfundhold vilde være økonomisk uigennemførlig.

De to ens faste Brofag (Fig. 5) er formede som Gitterdrager med cirkelformet Hoved og retlinet Fod. Pilhøjden er 15 m, Knudepunktsafstanden ca. 8 m og Afstanden mellem Hoveddragermidterne 7,4 m. De er udført helt i Jernbeton. Fremgangsmaaden er følgende:

Først sammenbygges (paa Aalborg Skibsværft) et stift

Jernskelet med samme Form som den endelige Bro. Dog samles øvre Vinddrager af Jernbetonstænger støbt i Forvejen. Dette »Broskelet« sejles paa Pramme fra Aalborg til Aggersund og monteres paa Pillerne med 90 m Spændvidde. Staalet i Skelettet vejer 200 Tøns pr. Brofag. Endvidere anvendes ca. 40 Tøns Interimskonstruktioner af Staal, navnlig til Afstivning af Diagonaler samt til Indsættelse af 2 Tværafstivninger i Brofagets Midte.

Inden Brofagets Montering rammes paa 10—12 m Vanddybde en Stilladspille paa Træpæle i Brofagets Midte. Stilladspillen belastes med Sand. Ved Brofagets Montering sørger man for, at Broskelettet netop ikke rører ved Stilladspillen. Efter Opsætning af Forskalling og

Indlæggelse af Rundjærnsarmering støbes de 2 Buer i Brofaget, idet Broskellets heraf følgende Nedbøjning i Midten bevirker, at Stilladspillen kommer til at bære med ved Støbningsen af Buernes Beton.

I denne Tilstand virker det monterede Brofag altsaa som en kontinuerlig Gitterbjælke af Staal paa en Mellemunderstøtning og 2 Endeunderstøtninger. Efter

Buernes Hærdning kan Stilladspillen fjernes, og Brofaget bærer atter paa 90 m Spændvidde, denne Gang med en Overflange af Jernbeton. Herefter støbes Brobanen paa sædvanlig Maade samt foretages Omstøbning af Hoveddragerens Diagonaler. Dragerfoden omstøbes til sidst.

Konstruktionen tilsigter at opnaa Minimum af Staalforbrug for de faste Bropartier. Hertil kommer, at Jernbetonbroen kræver langt mindre Vedligeholdelse end en Staalbro, hvilket navnlig har Betydning efter Erfaringen fra de barske Forhold, der hersker ved Limfjorden.

Vi skal se lidt nærmere paa et Par karakteristiske Melankonstruktioner i Broer:

1) En af Tværbjælkerne i Brobanen (se Fig. 6). Spændvidden er 7,4 m. Afstanden til Nabotværbjælken 3,8 m. I hosstaaende Fig. 6 er vist Tværbjælakens 3 forskellige Belastningsstadier og de tilhørende Spændinger i Beton, Profiljern og Rund-

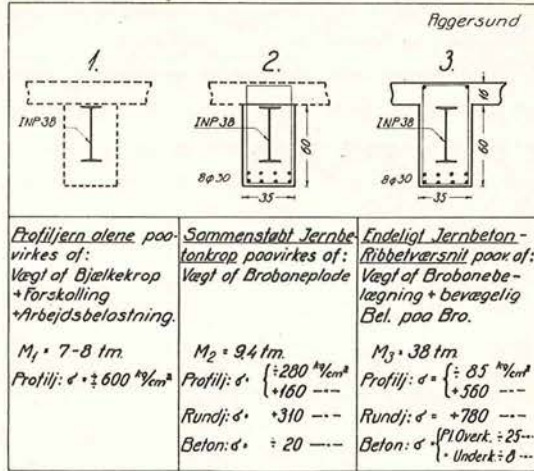


Fig. 6.

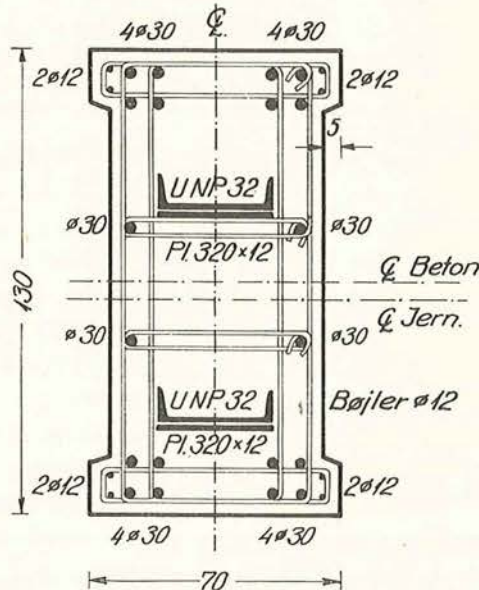


Fig. 7.

jern. Den nærmere Eftervisning af Bjælkens Sikkerhed mod Brud skal man ikke komme ind paa her.

2) Dragerhovedets (Buens) Tværsnit ses i Fig. 7.

Det vil føre for vidt at redegøre for de forskellige Belastningsstadier.

Tværsnittene er følgende:

Profiljernsareal	228 cm ² = 2,8 %	} af Betonarealet
Rundjernsareal	140 cm ² = 1,8 %	
Betonareal	ca. 8000 cm ²	

7. Konstruktioner med forspændt Armering.

A. Bearbejdet Referat af: E. Freyssinet: *Une Revolution dans les Techniques du Beton, Paris 1936.* (115 Sider).

Avant-propos. Freyssinet har gennem mange Aar arbejdet paa at bedre Betonens Materialegenskaber og herved skabe nye Konstruktionsmuligheder. Hangarerne i Orly, Broen ved Plougastel m. fl. er isolerede Tilfælde — Sær-Konstruktioner realiserede ved sædvanlig Udførelsesmetode, forsaavidt angaar Betonen. Disse gamle Metoder er »elendige og primitive«.

Betonfremstillingen bør være en Fabrikation af høj Standard, ganske ligesom Fremstillingen af Staal med ganske bestemt Egenskaber (Legeringer).

1. *Partie. Termodynamisk Teori for Cements Deformationer (Fysik).* Teorien omfatter alle finkornede Stoffer — pulverformede eller faste — indeholdende et Net af fine Kanaler, der kan fyldes med en Vædske (eller med en Luftart). »pseudo-solides«. — Til denne Gruppe hører — alle naturlige Jordarter — og Sten, samt de kunstige Byggematerialer.
2. *Partie. Teori for Cementens (og Betonens) Hærdning og Tæthed.* Opnaaelse af »øjeblikkelig« Hærdning ved Tryk og Varme (100°). Porerne er ikke helt fyldt med Vand ved normal Støbning; derfor kun partiel og langsomt tiltagende Hærdning (α: Styrke). Teoretisk Grænse for Hærdningen udregnes.
3. *Partie. Praktiske Anvendelser.*
 1. *Vanskeligheder ved Udnyttelsen af Staal med høj Flydegrænse.* Ved en given Konstruktion afhænger Udgiften til Armeringsjernet af Forholdet:

$$\frac{\text{Staalpris pr. kg}}{\sigma_{\text{till}}}, \text{ d.v.s. af } \alpha_F = \frac{\text{Staalpris pr. kg}}{\sigma_F = \text{Flydegrænse}}$$

Alm. Staal 37 har $\sigma_F = 2400 \text{ kg/cm}^2$;

sættes Staalprisen f. Eks. til 230 Kr./ton, faas $\alpha_{24} = \frac{230}{2400}$,

Værkerne kan levere Staal med $\sigma_B = 10.000 \text{ kg/cm}^2$

$$\sigma_F = 8.000 \text{ kg/cm}^2$$

endda, ved større Ordrer $\sigma_B = 12.000 \text{ kg/cm}^2$

og ved Siliciumstaal $\sigma_B = 16.000 \text{ kg/cm}^2$

Priserne for det haarde Staal er ikke meget højere, maaske ca. 30-50 pCt. højere end for Staal 37.

Tarphagebroens Staal 52: $\sigma_F = 3600$, Pris 295 Kr./ton.

$$\alpha_{36} = \alpha_{24} \times \frac{295}{230} \times \frac{2400}{3600} = \underline{\alpha_{24} \times 0,85}$$

Ved haardt Staal, f. Eks. $\sigma_F = 8000$, er

$$\alpha_{80} = \alpha_{24} \times 1,5 \times \frac{2400}{8000} = \underline{\alpha_{24} \times 0,45}$$

Hertil kommer, at Bjælkens Egenvægt aftager stærkt.

2. Vanskeligheder ved Udnyttelsen af Beton med høj Styrke.

Støbematerialerne (Stenene) har ofte ved Trykstyrke 1000—1500 kg/cm^2 f. Eks. er Trykstyrken af Granit ca. 1200 kg/cm^2 .

$$\text{Forholdet: } \frac{\text{Prisen pr. m}^3 \text{ Beton}}{\text{Trykstyrken af Betonen}}$$

kan forbedres ligesom α ovenfor.

3. Teoretiske Betingelser for fuld Udnyttelse af Beton og Staal med høj Styrke. Forspænding.

Man maa sørge for,

at holde Jernets Forlængelser indenfor de sædvanlige Grænser ved Staal 37,

at holde Betonens Trækforlængelser langt indenfor Betonens Træk-Brudforlængelse.

Man maa derfor benytte Jernet til at skabe en »Forspænding«, d.v.s. en Spændingstilstand med modsatte Fortegn af den, som bevægelig Belastning vil frembringe; d.v.s.: Tryk i Trækzonen forned. — Træk i Trykzonen foroven.

Jernet strækkes, inden Betonen støbes.

$$\left. \begin{array}{l} \sigma \text{ fra Forspænding og} \\ \sigma \text{ fra Egenvægt} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{modvirker hinanden.} \\ \text{Svindet modvirkes.} \end{array}$$

4. Nødv. at arbejde med høje Forspændinger og stærk (kompakt) Beton.

For alm. Beton vil Forkortelsen hidrørende fra Svind og Krybning være ca. 3 mm pr. m, hvortil svarer et »Spændingsfald« i de forspændte Jern paa $\sigma = 2,1 \times 10^6 \times 0,003 = 6000 \text{ kg/cm}^2$. For meget kompakt Beton er dette »Spændingsfald« kun 1000 — 3000 kg/cm^2 .

Freyssinet plejer at anvende Forspændinger lig Halvdelen å to Trediedele af Staalets Flydegrænse (8000 kg/cm^2), altsaa omkring 4—5000 kg/cm^2 .

5. Ændring af bøjede Bjælkens Spændingstilstand paa Grund af Forspændingerne.

Deformationerne afhænger af Inertimomentet, som er meget større (4—5 \times) ved forspændte Bjælker end ved alm. Spændingstilstand.

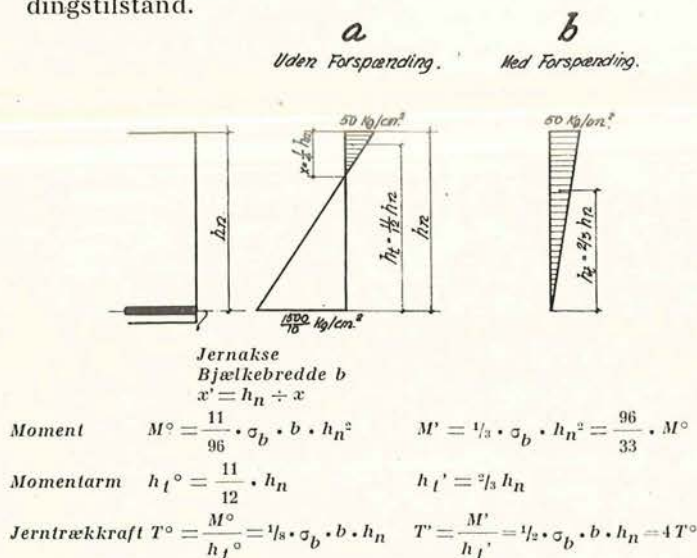


Fig. 8.

I Fig. 8 ses Spændingsdiagrammet for en bøjede Bjælke; Momentet frembringer f. Eks. Spændingerne 50 og 1500 kg/cm^2 i Beton og Jern, og man har, med $n = 10$ og med de sædvanlige Betegnelser:

$x = \frac{1}{4} h_n$; dette ses af Formlerne:

$\frac{1}{2} b x^2 = n \times F_j \times x'$; sættes $x = \frac{1}{4} h_n$ faas: $n F_j = \frac{1}{24} \times b \times h_n$.

$n = 10$ giver $\frac{\sigma_j}{\sigma_b} = 10 \times \frac{x'}{x} = 30$; er $\sigma_b = 50 \text{ kg/cm}^2$ faas: $\sigma_j = 1500 \text{ kg/cm}^2$

Ved Anvendelse af Forspænding i Jernet flyttes den neutrale Akse f. Eks. ned til Jernet; den frykkede Betonzones Højde er nu = h_n .

Momentet er i det første (= sædv.) Tilfælde uden Forspænding:

$$M_o = \frac{1}{2} \sigma_b \times b \times x \times h_l, \text{ hvor } h_l = \frac{11}{12} h_n, \text{ altsaa}$$

$$M_o = \frac{1}{2} \sigma_b \times b \times \frac{1}{4} h_n \times \frac{11}{12} h_n = \frac{11}{96} \times \sigma_b \times b h_n^2,$$

medens man i Tilfælde 2 — Forspænding — har:

$$M^1 = \frac{1}{2} \sigma_b \times b \times x \times h_l, \text{ hvor } x = h_n \text{ og } h_l = \frac{2}{3} h_n, \text{ altsaa}$$

$$M^1 = \frac{1}{2} \sigma_b \times b \times h_n \times \frac{2}{3} h_n = \frac{1}{3} \sigma_b \times b h_n^2 = \frac{96}{33} \times M_o$$

I Fig. 8 er ligeledes angivet Jern-Trækraften; det ses, at der kræves en 4 Gange saa stor Jerntrækraft for at optage et $\frac{96}{33} \sim$ ca. 3 Gange saa stort Moment.

For at optage *samme* Moment i de to Tilfælde kræves altsaa en ca. $\frac{1}{3}$ Gange saa stor Trækraft. Sættes Jernspændingen til 4000 kg/cm² (ved Forspænding) mod 1500 kg/cm² (uden Forspænding) faas

$$F_{\text{forsp.}} = \frac{3}{4} \times \frac{1500}{4000} \times F_o = \frac{1}{2} \times F_o$$

6. Forskydning.

Forspændingen medfører en meget væsentlig Fordel med Hensyn til Forskydningsspændingerne. Vi betragter i Fig. 9 et lille

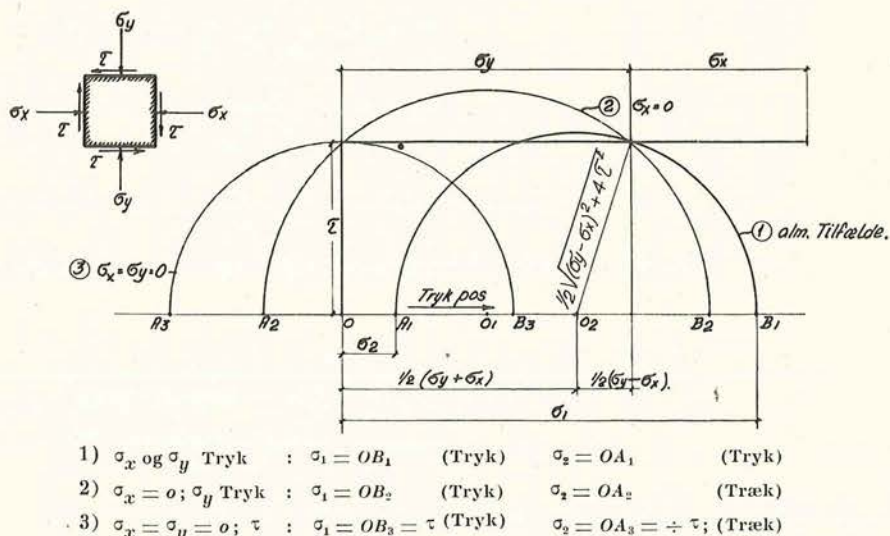


Fig. 9.

Bjælkeelement paavirket af Spændingen σ_x , σ_y og τ . Hovedspændingerne findes af Formlen:

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_1 \\ \sigma_2 \end{array} \right\} = \frac{1}{2} (\sigma_y + \sigma_x) + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_y - \sigma_x)^2 + 4\tau^2};$$

heraf udledes Konstruktionen af Mohr's Cirkel, som giver et elegant Overblik over Spændingstilstanden:

Cirkelen 1 gælder for det Tilfælde, at σ_x og σ_y begge er Tryk; her er begge Hovedspændinger Tryk.

Cirkelen 2 svarer til $\sigma_x = 0$, σ_y Tryk; her er den ene Hovedspænding et (lille) Træk.

Cirkelen 3 viser ren Forskydning $\sigma_x = \sigma_y = 0$, $\sigma_1 = -\sigma_2 = \tau$. Er specielt $\sigma_x = \sigma_y = \tau$, vil Cirkelen tangere τ -Linien; man har da rent Tryk; $\sigma_1 = 2\tau$, eller $\tau_{max} = \frac{1}{2} \sigma_1$, σ : tilladelig Forskydningsspændinger lig den halve till. Trykspænding.

I Fig. 10 ses de samme Forhold belyst ved Land's Cirkel.

7. *Varighedsforsøg* med 12 m lange Bjælker viste, at forspændte Bjælker gav langt bedre Modstandsevne overfor dynamiske Paavirkninger end Bjælker med sædvanlig Armering.

8. *Alm. Betingelser for den praktiske Udnyttelse af Forspændingen.*

Det kunstige Træk i Jernene maa iværksættes paa en økonomisk Maade.

9. I Forbindelse med med 8. er det nødvendigt, at Betonen hærder meget hurtigt; Betonen vibreres, trykkes med højt Tryk (20 kg/cm²) og opvarmes til ca. 100° (med Damp). Paa denne Maade hærder Betonen paa 2—5 Timer. Varmeforbruget ikke stort: ca. 10—

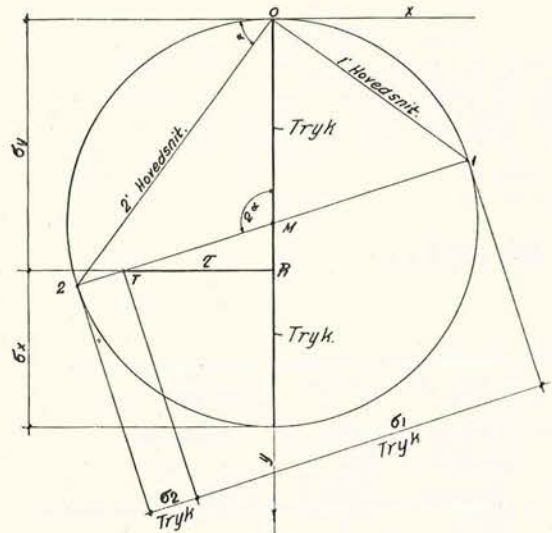


Fig. 10.

20.000 cal. pr. 1 m³ Beton. Udgiften til Opvarmning nogle faa frs. pr. m³.

10. *Fremskaffelse af haardt Staal.*

I Frankrig faas ikke haardt Staal til en billig Pris! Forf. anvender derfor »fils machine«, med $\sigma_B = 10.000 \text{ kg/cm}^2$, dette faas i Tromler med indtil 16 m/m Diameter. Prisen er kun lidt højere end ved alm. St. 37. Men Flydegrænsen er meget variabel. Fr. har konstrueret en Maskine, der strækker Traaden meget billigt. Traadene svejses til lange Længder.

11. *Anvendelse.* Fr. har anvendt sine Metoder ved Havnebanegaarden i Le Havre. Dette Arbejde omtales udførligt, paa ca. 20 Sider (Side 78—97).

B. *Tyske Forsøg med Freyssinet's Bjælker.*

Firmaet *Wayss & Freitag* har i 1940 offentliggjort en Del Erfaringer om Firmaets 5-aarige Erfaringer med forspændte Dragere, udført efter *Freyssinet's* Metode^{*)}. Det meddeles her, at der allerede er leveret 1600 lb.m. saadanne Dragere, beregnet for Momenter fra 250—420 tm. 5000 lb.m. Dragere er endvidere i Arbejde. Det drejer sig f. Eks. om Dragere til Fabriksbyggeri, (med op til 26 m Spændvidde), der oplægges ligesom almindelige Jernbjælker.

Firmaet har ladet udføre overordentlig grundige Forsøg med 2 Dragere med 18,5 m Spændvidde. Forsøgenes Formaal var at undersøge:

- 1) Hvor stor er Elasticitetskoefficienten for de elastiske Deformationer?
- 2) Hvor stor er Revnesikkerheden?
- 3) Hvor stor er Brudsikkerheden, og hvorledes gaar det med Drageren, naar den først er revnet?
- 4) Er den valgte Margin paa 1500 kg/cm² til Fald i Forspændingen, grundet paa Betonens Svind og Krybning, tilstrækkelig Sikkerhed mod Revner?

De 2 Dragere blev prøvet, den ene i Frankfurt, den anden i Dresden, af 2 Laboratorier.

Dragertværsnittene ses i Fig. 11. Forspændingen var 5500 kg/cm², medens man som før nævnt ved Beregningen kun regnede med 4000 kg/cm².

*) Se B.u.E. 5/6-40.

Den praktiske Udførelse af Bjælkerne svarede nøje til *Freyssinet's* Angivelser.

Resultaterne var følgende:

ad 1) Elasticitetskoefficienten findes paa sædvanlig Maade ved Hjælp af Nedbøjningerne. Den laa mellem 3—400.000 kg/cm² for en Alder af indtil 4 Maaneder. Der regnes herefter med $E=300.000$ kg/cm² som Grundlag for Bestemmelsen af Formforandringer og Spændinger, altsaa $n=7$.

ad 2) Den virksomme Forspænding var 4800—5000 kg/cm². Der er ingen Grund til at vente, at den nævnte Forspændings Margin paa 1500 kg/cm² overskrides eller blot naas; dersom Belastningen nærmer sig Brud, optræder Revner, svarende til Hovedtrækspændingerne, ligesom i andre Jernbetonbjælker.

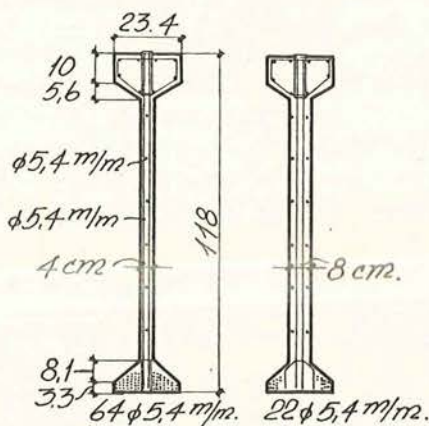


Fig. 11.

ad 3) Brud indtraf i begge Bjælker, naar Staalets Spænding var ca. 8—9000 kg/cm² (heraf Forspænding 4800 kg/cm² efter Spændingsfaldet). Betonens Trykspænding var 380—450 kg/cm². Disse Brudværdier for Beton og Jern passer forbavsende nøjagtigt med de Brudværdier, man fik ved de tilsvarende Ledsageforsøg med Beton- og Jernmaterialet.

ad 4) Som ovenfor antydet fandt man et Spændingsfald, der var ringere end de forudsatte 1500 kg/cm². Man fandt højst 5—700 kg/cm² selv efter længere Tids Forløb. Valget af 1500 kg/cm² skulde da være paa den sikre Side. Iøvrigt fremgik det af Forsøgene, at Dragerens Krop af de tidligere anførte Grunde ikke skal dimensioneres for Forskydning eller armeres derfor, men kun for Tryk (Trykhovedspændingen er bestemmende).

Som en Modifikation af *Freyssinet's* Forspændingsmetode har *Emperger* arbejdet med en Kombination af almindelig Armering og for-

spændt Armering af haardt Staal.*) *Emperger* foreslaar, at man armerer med dels en Hovedarmering med till. Spænding 1800—2000 kg/cm², dels en Tillægsarmering, der forspændes. Paa denne Maade kan man spare 20—30 % af Jernmængden og mildne eller helt undgaa Betontrækspændingerne. Tillægsarmeringen udføres af ganske tynd Jertraad. (Ca. 2 mm Diameter). *Emperger* angiver forskellige praktiske Systemer til Forspændingens Udførelse og behandler de økonomiske Forhold i denne Forbindelse.

C. Nærmere Undersøgelser af forspændte Bjælker. (Freyssinet's Metode). Taleeksempel.

Som et praktisk Taleeksempel til at belyse Anvendelsen af saadanne forspændte Dragere vælges en Bro, som er udført 1939—1940 af de tyske Rigsautobaner Syd for Hannover.*) Fig. 12 viser Broens

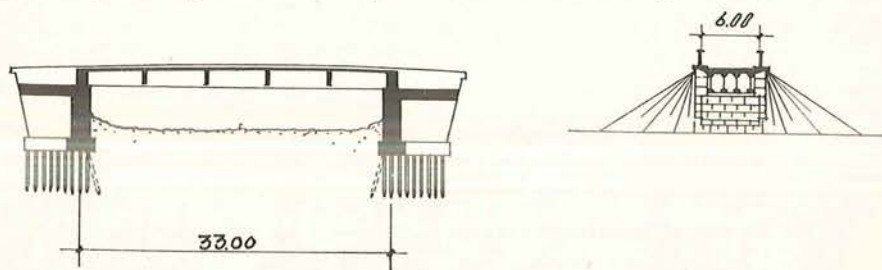


Fig. 12.

Hovedlinier. Spændvidden er 33 m, Bredden mellem Rækværkerne 6,0 m. Broen er udført med 4 forspændte Hoveddragere med en Brobaneplade over. Der findes 4 Tværbjælker foruden Endetværbjælkerne. Hoveddragerne udføres efter Freyssinet's Forspændingsmetode. Inden Broens Bygning blev der udført de ovenfor omtalte Forsøg. Angaaende Forsøgene henvises endvidere til nedennævnte Artikel.***) Maalene paa Broens Hoveddragere ses i Fig. 13.

Dragerhøjden er ca. $\frac{1}{20}$ af Spændvidden. Armeringen ses ligeledes i Fig. Armeringen var Manganstaalet med Brudstyrke 9800 kg/cm² samt 12 % Brudforlængelse. Armeringen blev forspændt ved Montagen med 5500 kg/cm². Heraf forudsattes 1500 kg/cm² at forsvinde igen ved Betonens Krybning, saaledes at der i hvert Fald skulde blive 4000 kg/cm² som permanent Forspænding. I hosstaaende Figur 13 er vist Dragerens Spændingstilstand ved de forskellige Belastninger, som der

*) Se die Bautechnik 31/5—40 samt

Fr. v. Emperger: Stahlbeton mit vorgespantten Zulagen aus höherwertigem Stahl. Berlin 1939.

**) se P. Müller: Brücken der Reichautobahn aus Spannbeton. Die Bautechnik 10/3 1939.

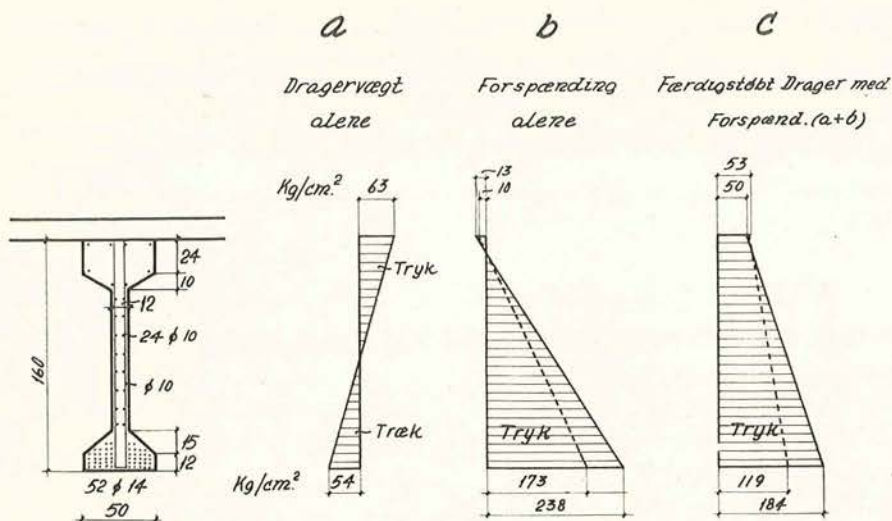


Fig. 13.

bliver Tale om. For Dragernes Egenvægt alene (0,9 ts pr. m) optræder de i Fig. 13 a viste Spændinger.

Fra Forspændingen 5500 kg/cm² fremkommer de i b viste Spændinger. Spændingerne a og b tilsammen giver det i c viste Spændingsdiagram. I de samme Diagrammer er vist de reducerede Spændinger, fremkommet ved, at der af ovennævnte Grund kun kan regnes med en effektiv permanent Forspænding paa 4000 kg/cm² (se de punkterede Linier ved b og c).

Efter Dragernes Oplægning paa Pillerne støbes Betonpladen (ca. 18 cm tyk). Denne bevirker de i Fig. 13 d viste Spændinger, hvoraf ved Sammenlægning med de ovenfor nævnte faas de viste Spændinger e for fuld hvilende Belastning. Man mangler saaledes nu kun bevægelig Belastnings Bidrag til Spændingerne. Man maa herved regne med T-Tværsnittet, bestaaende af de 4 Dragere med paastøbt Brobaneplade. Dette Tværsnit faar for den bevægelige Belastning de i Fig. 13 f viste Spændinger, og man faar saaledes for total Belastning med den effektive Forspænding 4000 kg/cm² de i g viste endelige Spændinger. Det ses, at der hersker Tryk overalt i Tværsnittet.

Forskydningsspændingerne.

Dersom Dragerens Armering er konstant i hele Længden, vil Forspændingen fremkalde et konstant Moment i hele Dragerens Længde. Som Følge deraf vil Forspændingen ingen Forskydningsspændinger fremkalde: $dM/dx=0$. I Praksis vil man variere Armeringen efter Længden, svarende til den virkelige Moment-Fordeling, hvorfor der

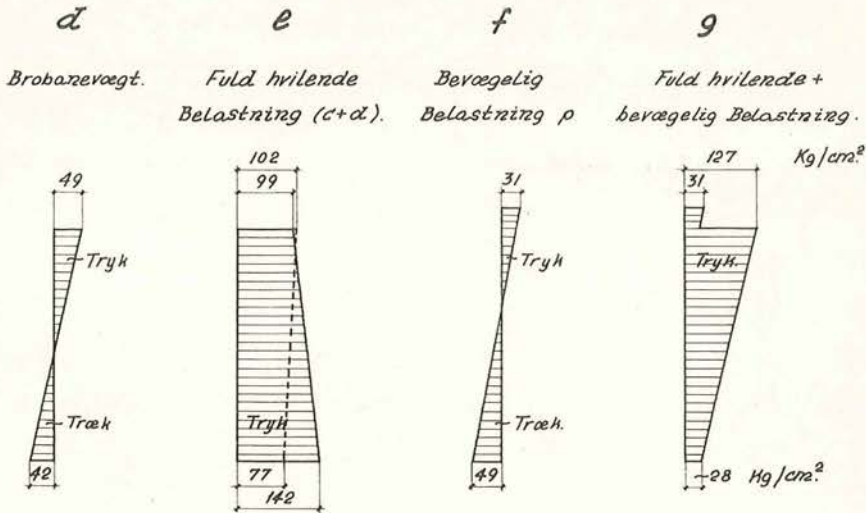


Fig. 13.

ogsaa fremkaldes Forskydningsspændinger, naar den saaledes fordelte Armering forspændes inden Støbningen.

Ved den foreliggende Bro vil man i det nævnte T-Tværsnit fra hvilende + bevægelig Belastning faa en Forskydningsspænding paa 26,6 kg/cm², udregnet paa sædvanlig Maade.

I Fig. 14 a er vist et Stykke af Dragereen paavirket af:

- Momentet M_1 fra lodret Belastning
- Momentet $M_2 = N \times 48,5$ fra Forspændingen
- og Normaltrykket N fra Forspændingen.

Ved Betragtning af et Dragerelement Fig. 14 b faas paa sædvanlig Maade:

$$Hdx + N_x = N_x + \frac{dN_x}{dx} \times dx, \quad H = \frac{dN_x}{dx}; \quad N_x = \int \frac{e_1}{y} dF$$

$$\text{og idet } N_x = \int \frac{e_1}{y} \left(\frac{M_1}{I} \times \eta_1 - \frac{M_2}{I} \times \eta_2 + \frac{N}{F} \right) \times dF =$$

$$\frac{M_1}{I} \times S_y - \frac{M_2}{I} \times S_y + N \times \frac{F_1}{F},$$

$$\text{faas ved Differentiation } H = \frac{dN_x}{dx} = \frac{S_y}{I} \times \frac{dM_1}{dx} - \frac{S_y}{I} \times \frac{dM_2}{dx} + \frac{F_1}{F} \times \frac{dN}{dx}$$

$$= \frac{S_y}{I} \times Q - \frac{S_y}{I} \times 48,5 \times \frac{dN}{dx} + \frac{dN}{dx} \times \frac{F_1}{F}$$

Naar man indsætter Talværdierne, faas som før nævnt Forskydningsspændingen = 26,6 kg/cm² fra Momentet M_1 . Fra Momentet M_2

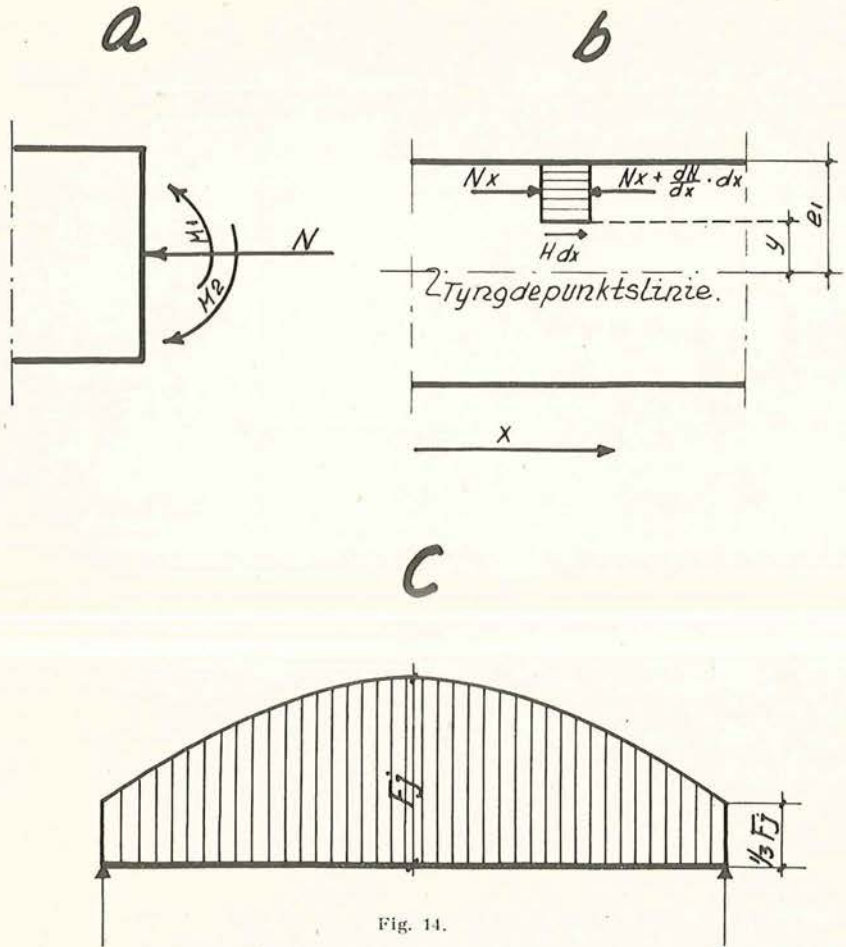


Fig. 14.

faas $\div 13,5 \text{ kg/cm}^2$, medens man fra Normalkraften N faar $\tau = 18,4 \text{ kg/cm}^2$. Man faar altsaa:

Resulterende Maximum-Forskydningsspænding $= 26,6 \div 13,5 + 18,4 = 31,5 \text{ kg/cm}^2$.

Der er herved forudsat, at Jerntværsnittet varierer som vist paa Fig. 14 c. Fig. fremstiller altsaa samtidig Variationen af Trykkene fra Forspændingen.

Vi vil til sidst betragte Spændingstilstanden i Drageren nær ved Lejet (se Fig. 15). Den vandrette Normalspænding σ_x dels fra Forspændingen, dels fra den ydre Belastning skønnes at være ca. 22 kg/cm^2 .

Fra de forspændte Bøjler frembringes et lodret Normaltryk paa Elementet $\sigma_y = 62,5 \text{ kg/cm}^2$.

Ved Land's Cirkel findes let Hovedspændingerne 80 og 5 kg/cm^2 , der begge er Tryk, og hvis Retning ses i Fig. 15.

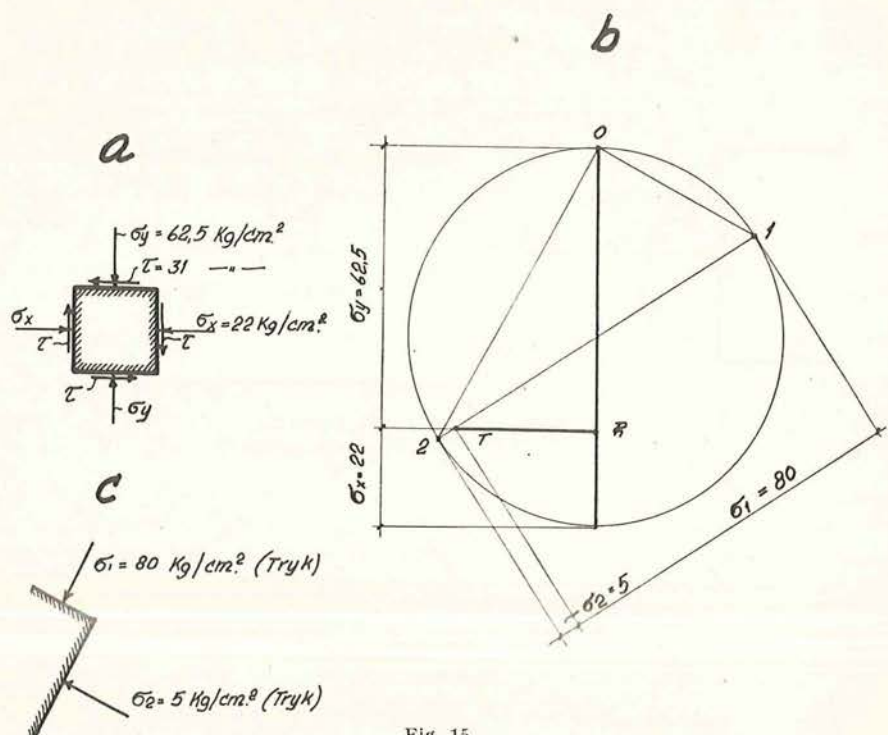


Fig. 15.

D. Strengbeton.

Som en speciel Forspændingsmetode skal nævnes den saakaldte *Strengbeton* (opfundet af *Hoyer*). Til Armering anvendes 1—2 mm Traad med Brudstyrke ca. 28.000 kg/cm² og Flydegrænse ca. 24.000 kg/cm².

Den till. Spænding kan herefter sættes til ca. 12.000 kg/cm². Ved Forspændingen anvendes som tidligere omtalt en Margin paa 1500 kg/cm² til at optage Betonens Svind og Krybning. Tilbage bliver saaledes 10.500 kg/cm².

Forankringslængden for saa tynd Traad er kun faa cm, og der anvendes hverken Kroge eller Hager. Fremstillingen af Betonbjælker efter denne Metode kan sættes i System paa en ganske fiks Maade. Udførte Forsøg synes at vise, at de fremstillede Betonbjælker er fuldt tilfredsstillende, dog anser *Johansen* Trækspændingerne i Bjælkehovederne for lovlig store, helt op til 50 kg/cm², og han mener derfor, at Hovedet maa anses for svækket.*)

De till. Forskydningsspændinger ligger ved disse Bjælker højt, lige-

*) Se K. W. Johansen: Bygningsstat. Medd. Aarg. 11, Hefte 2.

som ved *Freyssinet's* Bjælker (till. Forskydningsspænding = Halvdele af Betonens Brudspænding).

Civiling. K. *Hindhede* har overtaget Udnyttelsesretten for Danmark af denne Strengbeton.

E. Tyske Metoder til Udførelse af forspændte Bjælker.

Medens den af *Freyssinet* og hans Efterfølgere valgte Form for forspændte Jernbetonbjælker bibeholder Jernbetonens monolitiske Karakter, idet den forspændte Armering indstøbes i Betontværsnittet, har man fra tysk Side (*Dischinger og Finsterwalder*) arbejdet med en anden Udførelsesform, der adskiller sig fra *Freyssinet's* derved, at den forspændte Armering tages ud af Betontværsnittet. Fig. 16 a viser Metoden. En simpel understøttet Bjælke af Beton med nogen Armering af almindeligt Staal »forspændes« ved Hjælp af et Sprængværk af haardt Staal, der anbringes udenfor Betontværsnittet mellem Bjælkerne i Broen. Sprængværket udføres enten af Rund- eller Fladjern som en frit liggende Konstruktion, der ved Bjælkens Ender føres gennem Rør i Betonen og iøvrigt fastgøres til Broen ved staaletøbte Lejer. Jernkonstruktionen kan iøvrigt beskyttes ved Maling, Tjæring el. lign.

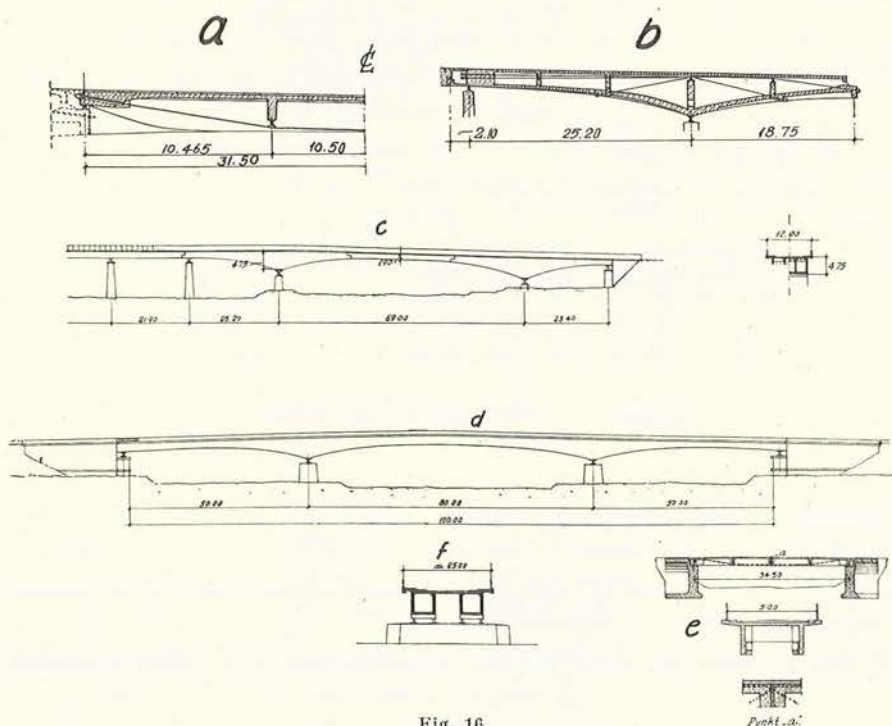


Fig. 16.

Dischinger anfører som Støtte for sin Metode, at hans forspændte Jern (Sprængværket) kan tilpasses efter Dragernes Momentkurver, og han har ladet sin Fremgangsmaade patentere. Fig. 16 b viser, hvorledes Forspændingen kan udføres for en kontinuerlig Bjælke.

Den første Bro efter dette System er udført i Aue ved Dresden for en Bro over en stor Banegaard (se Fig. 16 c). Største Spændvidde er 69 m. Den er udført som en kontinuerlig Bjælke over 3 Fag med 2 Charnierer i Midteraabningen. Sprængværket for den ophængte Drager, hvis Spændvidde er 31,5 m, bestaar af 30 \emptyset 70 mm = 1154 cm² af St. 52, der ved Enderne fastholdes af Skruemøtrikker. Da Broens Tværsnit har 4 Hoveddragere, kan der i hvert Mellemrum mellem disse ligge 10 \emptyset 70 mm.

Den største Spænding i Trækbaandet overskrider ikke 2000 kg/cm². Heraf benyttes ca. 300 kg/cm² til Optagelse af Spændinger fra bevægelig Belastning og Temperatur. Resten 1700 kg/cm², svarende til ca. 2000 ts., kunde saaledes benyttes til Forspændingen. Det fremgaar uden videre heraf, at Konstruktionen fordrer et ret stort Jernforbrug. Det vilde være fristende at gaa noget nærmere ind paa Konstruktionen og Udførelsen af denne Bro, men man maa her nøjes med at henvise til Tidsskrifterne.

Iøvrigt skitserer Dischinger, at Princippet vil kunne anvendes paa mange andre Broformer, Buebroer, Hængebroer m. m., og han har i en længere Artikel*) skitseret Forslag til Broer med 100—200 m Spændvidde, udført efter hans System.

Det er Meningen at bygge en stor Bro for Rigsautobanerne efter Dischingers System med Spændvidder 50, 80 og 50 m, se Fig. 16 d. Denne Bro skulde forspændes med Kabler. Der skulde da ved største bevægelige Belastning ikke optræde nævneværdige Trækspændinger i Betonen**).

Jernforbruget opgives til 190 kg/m² Grundflade af Broen.

Finsterwalder har angivet en Variant af Dischinger's Metode. Han tager sit Udgangspunkt***) i forskellige tidligere udførte forspændte Trækbaand ved Flyvehaller o. lign.

*) Schönberg und Fichtner: Die Adolf Hitlerbrücke in Aue. Die Bau-technik 24/3—39.

Dischinger: Entwicklung und Fortschritte im Eisenbetonbau. Neues Bauen im Eisenbeton. Zementverlag 1938.

***) Se B. u. E. 20/4—41.

****) U. Finsterwalder: Die Anwendung von Hochwertigem Stahl im Eisenbeton. (Abhandlungen fra den Internat. For. for Brobygning 1937/38, Side 123).

Ved store Flyvehaller har man over Porten udført en Portdrager med 50 m Spændvidde og med forspændt Armering. Ved Konkurrencen 1930 til Dreirosenbrücke i Basel fremsatte Finsterwalder et Forslag med forspændte Trækbaand, liggende lige under Brobanen i en Bjælkebro med 50, 100 og 50 m Spændvidde. I Midten af det store Fag fandtes 1 Charnier.

Finsterwalder fremsætter endelig et Forslag til en ny Dragerform for Bjælkebroer; Bjælke med Midtercharnier og frit liggende Armering. En saadan Bro er udført af Rigsautobanerne i Nærheden af Hannover, Overføring af Mühlenweg, se Fig. 16 e*). Broen kan kaldes en Bjælkebro med selvvirkende Forspænding. Den er udført af Finsterwalder's Firma Dyckehoff & Widmann. Spændvidden er 34,5 m. Der findes 2 Hoveddragere for den kun 5 m brede Bro. Trækbaandet bestaar af 6 ø 65 mm Diameter i St. 52 for hver Hoveddrager. Broen minder om en Slags omvendt 3-Charnierskue, der blot maa lide af den Mangel, at Stivheden er ringe. Saaledes kan nævnes, at den er støbt med 27 cm Overhøjde i Midten. Efter Afforskallingen var Overhøjden endnu 13 cm.

Ved fuld bevægelig Belastning regnes at optræde en Nedbøjning paa 3 cm = 1:1000 af Spændvidden, hvilket jo for Jernbeton er betydeligt. Finsterwalders Konstruktion medfører et ret stort Jernforbrug.

Ved de tyske Rigsautobaner er der fornylig udført en Bro for selve Atovejen, bestaaende af 2 Brofag med hver 24 m Spændvidde**). Broen er en Tvillingbro med $2 \times 13\frac{1}{2}$ m Bredde, se Tværsnittet i Fig. 16 f.

Hvert af Brofagene havde et Midtercharnier ligesom i Fig. 15 e, og Konstruktionen var i alt væsentligt som ovenfor omtalt. For fuld bevægelig Belastning var de maalte Nedbøjninger ca. 1:1350 af Spændvidden, altsaa betydelige. Det angives af Rigsautobanerne, at Broens Jernforbrug var 94 kg/m² Grundflade, hvilket skulde betyde en Besparelse paa ca. 25 % i Forhold til Jernforbruget ved en almindelig Jernbetonbro, udført som kontinuerlig Bjælke over 2 Fag.

Staalet var St. 52 for Sprængværket, med till. Spænding: 2100 kg/cm².

*) Se P. Müller: Brücken der Reichsautobahn aus Spannbeton. Die Bautechnik 10/3—39.

***) W. Passer: Reichsautobahnbrücke mit unterspannten Balken (Bauart Finsterwalder) die Bautechnik 28/6—40.

F. Slutning.

De ovenfor nævnte Forslag til forspændte Konstruktioner, er alle af saa ny Dato, at man næppe endnu kan forudsige, i hvilken Retning Udviklingen vil gaa.

Man maa afvente, hvorledes de udførte Broer vil forholde sig i Praxis, og man maa imødesee videre Udførelsesmetoder og Kombinationer. Navnlig den praktiske Udførelse trænger til at afklares. I denne Forbindelse maa man med Interesse afvente, hvorledes Økonomien viser sig at være.

Der er imidlertid næppe Tvivl om, at de ovenfor behandlede nye Tanker vil vise sig at være meget frugtbringende, ikke blot ved Bjælkebroer, men ogsaa ved andre Broformer, samt i Husbygningen.

De forspændte Konstruktioner aabner saaledes meget vide Perspektiver.

DISKUSSION

refereret ved Civilingeniør *H. Dührkop*.

Diskussionsindlederen, Civilingeniøren *Johs. Christensen*:

Dr. *Ostenfeld* har i sit Foredrag givet en udmærket Oversigt over de forskellige Armeringsstaalsorter og deres Stilling i Byggenormerne og fremført nogle meget interessante Eksempler paa moderne Armeringsmetoder. I disse Eksempler, som alle refererede sig til specielle Konstruktioner og Udførelsesmetoder, har Doktoren indgaaende behandlet Spørgsmaalet om Revnefare, Svejsning og forspændt Armering. Jeg vil, udover nogle enkelte Bemærkninger hertil, gerne fremdrage nogle Eksempler fra mere dagligdags Konstruktioner.

Først nogle Bemærkninger angaaende Armeringsstaal.

Almindeligt blødt Staal fra store Værker har i adskillige Lande, deriblandt Frankrig, en Trækstyrke indtil 4.200—4.400 kg/cm².

»Staal 44« omtalte Dr. *Ostenfeld* ikke; det er et overordentligt anvendt Staal, som jeg ikke vil medregne til Kategorien haardt Staal men snarere betragte som en lidt bedre Kvalitet af almindeligt blødt Staal. »Staal 44« kunde før Krigen faas i Frankrig for en ganske lille Overpris, ca. 5 %; dets tilladelige Spænding var 1400 kg/cm², det anvendtes almindeligt ved offentlige Arbejder, og var ofte foreskrevet i Betingelserne.

Specialstaal med Trækstyrke over 5000 kg/cm² har jo i mange Aar været anvendt som Knudejern eller lignende, det nye i den Anvendelse, saadant Staal har faaet i den sidste halve Snes Aar, er blot, at det anvendes som glat Rundjern. For saadanne Staalsorter finder jeg den franske Betegnelse »acier demi-dur« bedre end Betegnelsen »haardt Staal«. De danske Jernbetonnormers Betingelser for Anvendelsen af Specialstaal har, som Dr. *Ostenfeld* ogsaa nævnte, været unødvendigt strenge; for nylig har der fundet en Lempelse Sted, hvad Isteg-Jernet angaar, men dette er jo et noget

andet Materiale. Da halvhaardt Staal maa antages at have en stor Fremtid for sig, er det glædeligt, at de nye Byggenormer synes at give det den Plads, det fortjener.

»Staalvæv« vil maaske ogsaa efter de nye Normers Indførelse faa et større Anvendelsesomraade, hidtil har det jo herhjemme hovedsagelig været anvendt i Vejbygningen. Jeg kan dog nævne, at det ogsaa som Armering i den indvendige Betonkappe har fundet Anvendelse ved Fabrikation af »Bonnarør«.

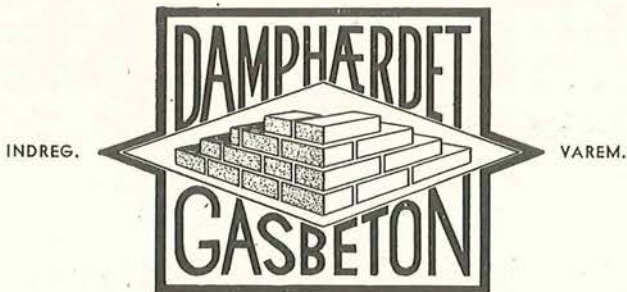
Isteg-Jernet, som nu er almindelig kendt herhjemme, er et interessant Eksempel paa, hvad man ved Opfindsomhed kan faa ud af almindeligt Handelsjern, men den Idé at forbedre Armeringsjern, ved at paavirke det til Flydning, har dog været praktiseret, før Isteg-Jernet blev opfundet. Ved Bygning af en Hængebro i Jernbeton i Nordfrankrig for snart 20 Aar siden anvendte Freyssinet »Staal 44« til Bærekablet, som var af Jernbeton med omtrent kvadratisk Tværsnit og armeret med ca. 90 Rundjern 16 m/m, der laa ganske tæt og jævnt fordelt over Tværsnittet. For at forøge Revnesikkerheden blev Staalet, som var leveret i meget lange Længder, strakt indtil Flydegrænsen, og den tilladelige Spænding fastsattes til ca. Halvdelen af denne. Princippet var altsaa det samme, som nu anvendes ved Isteg-Jern, blot uden Snoning. Selv om denne Fremgangsmaade ikke har dannet Skole, viser den dog, hvorledes opfindsomme Ingeniører klarer sig i en snæver Vending med forhaandenværende Materialer.

Med Hensyn til Isteg-Jernet vil jeg gerne rejse Spørgsmaalet angaaende Forankringslængde og Kroge ved Anvendelse af dette Jern. Jeg har ofte paa Billeder set Kroge af Dimensioner som almindelige Considerske Kroge. De teoretiske Beragninger, som har ført til Formen af den Considerske Krøg, kan jo ikke være gældende for Isteg-Jern. For dette Jern maatte det vel være tilstrækkeligt med en Hage eller maaske slet ingen Ting, i hvert Fald for de almindeligt anvendte Dimensioner. I »Beton und Eisen«, Nr. 13, 1928, har Professor Saliger skrevet en Artikel om Isteg-Jernet, vistnok en af de første, som har været fremme. Af et Fotografi ser man, at de til Forsøgene anvendte Isteg-Jern kun havde en ganske lille Krøg, der ikke engang svarede til Længden af en Halvcirkel. En saadan Krøg synes at kunne undværes.

Dernæst nogle Bemærkninger om Betonens Trækrevner.

Dr. *Ostenfeld* gav i sit Foredrag nogle interessante Oplysninger om de ret store Betontrækspændinger, man faar i Jernbetondragere med stor Spændvidde, dog maa jeg sige, at Motiverne for Reduktionerne i nogen Grad synes bestemt af, at man ønskede at naa et bestemt Resultat. Det er et Spørgsmaal, om 50 kg/cm^2 er en øvre Grænse for, hvad man tør gaa til. Jeg kan nævne, at i Lafayette-Broen over Banegaardsterrænet ved Gare de l'Est i Paris, der er udført som en Jernbeton-Gitterdrager med stor Spændvidde, ligger Armeringen i Gitterstængerne saa tæt, at der under Udstøbningen knapt var Plads til Betonen, og Betontrækspændingerne er her overordentlig store. Jeg har engang set Broen efter, og der synes ikke nogen Steder at være fremkommet alt for skadelige Revnedannelser. Heller ikke ved den før nævnte Hængebro har jeg hørt om Revnedannelser, og den teoretiske Betontrækspænding i begge Broer er antagelig væsentlig højere end 50 kg/cm^2 og formentlig ogsaa højere end Dr. *Ostenfelds* »rigtige« Spændinger. Franske Ingeniører synes dog i mange Tilfælde at have taget

ISOLERENDE BYGNINGSSTEN



INDREG.

VAREM.

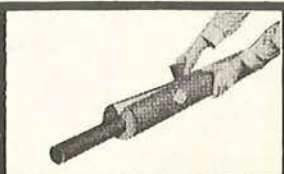
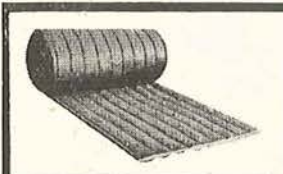
Til bærende Ydermure, bærende Skillerum, lette Skillerum, udvendig og indvendig Isolering af Jernbeton, Udfyldningsmur i Jern- og Jernbetonskeletbygninger m. m.

Bygningskommissionerne i København, Frederiksberg, Gentofte, Gladsaxe og Københavns Oplandskommuner, samt i de fleste af Landets større Provinsbyer tillader Anvendelse af Damphærdet Gasbeton til Een- og Toetages-Huse som bærende Ydermure, bærende Skillerum og lette Skillerum. Desuden er Gasbeton i stor Udstrækning tilladt til større Bygninger som: Udfyldningsmur, udvendig og indvendig Isolering, Skillerum, armerede Tagplader m. m.

Rekvirer Brochurer hos

DANSK GASBETON AKTIESELSKAB

Vester Farimagsgade 31 (Ingeniørhuset) . Telefon Central 9575 (3 Ledninger)



UORGANISK

HØJISOLERENDE

Isolation mod:

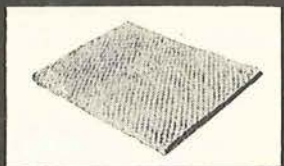
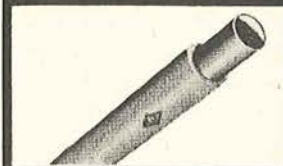
KULDE

VARME

ILD

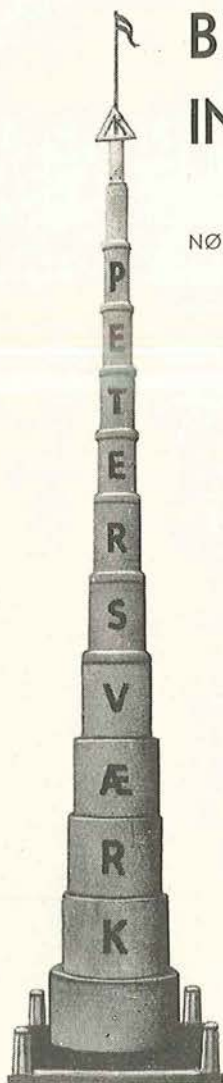
og

LYD



PETERSVÆRK BETONVARE- INDUSTRI

NØRRÉSUNDBY . TELEFON 1055 (fri Notering)



MUFFERØR

LANDBRUGSRØR

MONIERRØR

FORTOVFLISER

KANTSTEN

BETON-BROSTEN

alt efter Dansk Ingeniørforenings Normer

VIBRERING

spiller en fremtrædende Rolle i Fabrikationen, hvorved det er os muligt for de fleste Værers Vedkommende at levere disse i en Overkvalitet

ret overfladisk paa Spørgsmaalet om Revpe-
faren og anvendt overordentlig spinkle Beton-
dimensioner i Forhold til Armeringen, hvad
Foredragsholderen jo ogsaa nævnte.

Dernæst vil jeg gerne ved ét Eksempel un-
derstrege, at man ofte af gammel Vane anven-
der Konstruktioner, som er i høj Grad irratio-
nelle. Jernbetonfundamenter for Søjler udføres
almindeligt som en kvadratisk eller rektangu-
lær Plade med en Krydsarmering i Bunden.
En saadan Plades Tykkelse er ret stor i For-
hold til Udkragningen og vil aldrig statisk
kunne virke som en Plade. Der forekommer en
Kuppelvirkning, og Ringarmering, altsaa en
Bevikling, maa derfor være bedre end Kryds-
armering, hvad ogsaa adskillige Ingeniører har været inde paa. Paa Fig. 1
er vist en Plade, brudbelastet med en Enkeltkraft paa Midten, og Revnernes
Forløb viser jo tydeligt, hvor Armeringen burde ligge. Pladen er et Led i en
Forsøgsrække, hvor man prøvede saavel uarmerede Plader som Plader ar-
meret med et Kvadratnet i Bunden, og dette Kvadratnet forøgede ikke nævne-
værdigt Pladernes Styrke.



Fig. 1.

Jeg vil ogsaa understrege, at Bevikling og »Frettering« med spinkelt
Rundjern er en Form for Armering, der burde benyttes i langt højere
Grad herhjemme. Ogsaa paa dette Omraade vil jeg tro, at vore Normer er
alt for strenge, idet de Regler, som er grundlæggende for Beviklingens
Beregning, er fra ældre Tid, hvor den fremstillede Beton var af langt
ringere Kvalitet. En rigtigt udført Bevikling gør Betonen sejg og plastisk,
og jeg kunde tænke mig, at Bevikling
med Isteg-Jern og halvhaardt Staal vilde
give gode Resultater. Jeg har i Flæng
valgt et Par Billeder af beviklet og »fret-
teret« Jernbeton. Det første — Fig. 2 —
viser Buearmeringen i Broen ved la
Roche-Guyon, hvor den tilladelige Spæn-
ding gennem Bevikling blev sat op
fra 90 kg/cm² for almindelig Jernbeton
til 125 kg/cm². Broen har en Spænd-
vidde paa 161 m, saa denne Forøgelse
af Betonspændingen bevirkede en me-
get kraftig Nedskæring af Buens Dimen-
sioner. Det andet Billede — Fig. 3 —
viser et Beton-Vuggeleje til en Bro, be-
regnet til 165 ts. Der udførtes Forsøg
med et saadant Leje, og Brudbelastnin-
gen var ca. 700 ts. I det Betontværsnit,
gennem hvilket Belastningen overførtes
til Lejeklodsen, var Paavirkningen 2980
kg/cm². Armeringen af Lejeklodsen var
her en Bevikling med 14 m/m Rund-
jern i 2½ cm Afstand. Betonfladerne

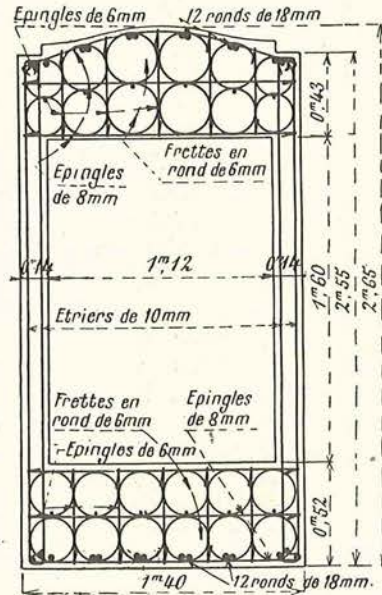


Fig. 2.

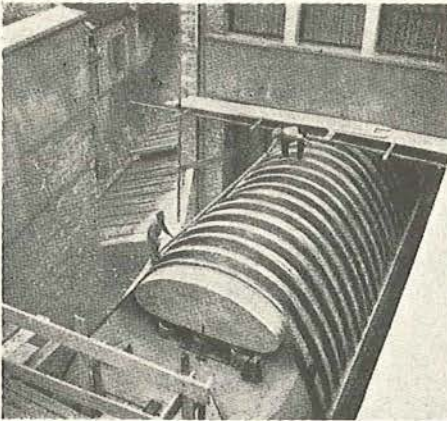


Fig. 5.

dog næppe, paa Grund af det store Jernforbrug samt Vanskelighederne ved Fremstillingen af en krybningsfri Beton, finde Anvendelse paa Omraader, hvor man kan klare sig med almindelige Armeringsanordninger. Strengbetonen synes mig derimod at have en betydelig Fremtid for sig, da den er vel anvendelig til færdigstøbte Bjælker og Plader for Husbygningskonstruktioner. I Sverige har man med Statstilskud bygget en større Fabrik for Fremstilling af Strengbetonen, den er vist allerede i Drift nu. Herhjemme ser man vel ikke Strengbetonen paa Markedet, før Krigen er forbi, da det specielle Staal, som skal anvendes, næppe kan fremskaffes i Øjeblikket.

Om Svejsning af Armeringsjern vil jeg blot nævne, at man har to Anvendelsesomraader, nemlig Sammensvejsning af Længdearmeringens enkelte Jern til lange Længder, saaledes som Dr. Ostfeld gav et Eksempel paa, samt Sammensvejsning af Længdejernene med Bøjler eller Fordelingsjern til stive Net som f. Eks. Staalvæv. I første Tilfælde anvendes elektrisk eller Autogen-Svejsning, medens man i andet Tilfælde ogsaa kan anvende Modstandssvejsning, dog praktisk taget kun paa Fabrik, og for at denne Svejsemetode skal lykkes, maa Jernet være saa godt som uden Rust. Anvendelsen af Sammensvejsning af Armeringsjernene til stive Gittersystemer, der i visse Tilfælde bruges til at bære Forskallingen, fører os lige over i Melankonstruktionerne, som Dr. Ostfeld omtalte.

Jeg skal slutte med en kort Omtale af selve Armeringsudførelsen. Det er overordentlig vigtigt, at Jernføringen i en Jernbetonkonstruktion bliver saa god som mulig. Beregningen af det nødvendige Trækjern er jo nok nogenlunde rigtig, men man har jo trods alt ikke noget klart Billede af, hvor Spændingen i Virkeligheden optræder i et Jernet, indstøbt i Beton. Naar

ring er jo heller ikke ny, men anvendt af forskellige Firmaer f. Eks. ved Buekonstruktioners Trækstænger og Hængestænger. Jeg kan i denne Forbindelse ogsaa omtale en projekteret Jernbetonbeholder for varmt Vand til Reykjaviks nye Varmeanlæg, hvor man udnytter Varmen til at skabe Trykspændinger i Betonen. Beholderen udføres dobbeltvægget, og Ydervæggen varmeisoleres fra Indervæggen. Ved Varmeudvidelsen kommer der saaledes Trykspændinger i Indervæggen og Træk i Ydervæggen.

De specielle af Dr. Ostfeld angivne Metoder til Forspænding vil

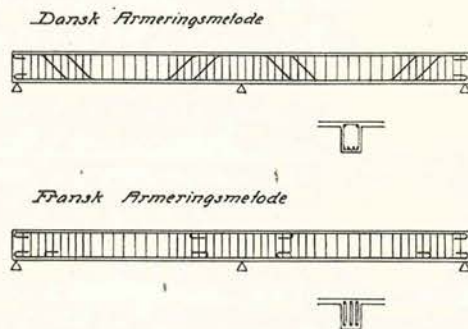


Fig. 6.

man i Danmark skal armere en Bjælke, udføres Armeringen næsten altid som vist øverst paa Fig. 6. Det er dog et stort Spørgsmaal, om man altid bør bære sig saadan ad. Nederst paa Figuren er vist den samme Bjælke, armeret efter fransk Praksis. En interessant Analyse af de to Metoder fremkom for en Del Aar siden i »Beton und Eisen«. Ved den franske Metode anvendes saa at sige ikke Skraajern, men derimod et stort Antal Bøjler (Haarnaale) lukkede om et Over- og et Underjern. Dette tillader at samle hele Armeringen i plane Pakker, som kan fremstilles paa en Fabrik langt fra Byggestedet og tilkøres og lægges paa Plads i et Minimum af Tid. Metoden er saaledes særlig fordelagtig i Byer, hvor man har vanskeligt ved at faa Plads til Jerntildannelsen; Jernforbruget er en lille Smule større end ved den danske Metode.

Naar Byggeriet efter Krigen igen tager Fart, kan man vel paaregne en Industrialisering maaske ligefrem en »Taylorisering« af dette. Man vil da med Fordel kunne anvende den franske Metode, der paa en Fabrik eller velindrettet Plads tillader en hurtig og billig Fremstilling af Armeringen ved Hjælp af moderne Bukkemaskiner, eventuelt Svejseaggregater, og selve Armeringsoplægningen paa Byggepladsen vil kun tage meget kort Tid.

Vil man her i Landet anvende nye Metoder for Armering af Jernbetonkonstruktioner, har man hidindtil været hæmmet af (1) vore Normer, (2) Vanskeligheden ved til den rigtige Pris at fremskaffe Specialjernet, samt (3) Priskuranten, som er afpasset efter normalt forekommende Armeringsarbejde uden Brug af Maskiner. Man er dog opmærksom paa, at noget nyt er ved at trænge sig frem, og Dr. Ostfeld har gennem sit instruktive Foredrag belyst en Del af dette nye og har fra Tarpbage- og Aggersundbroen vist smukke Eksempler paa rationel Udnyttelse af foreliggende Materialer og Muligheder.

Civilingeniør *Kjær*: Dr. Ostfeld omtalte ikke Kløckner Staal. Hvorledes er dette Staal egnet til Armering.

Foredragsholderen, Civilingeniør, Dr. techn. *Chr. Ostfeld*: Jeg har med Glæde hørt paa Civilingeniør Johannes Christensens Diskussionsindledning og hans Oplysninger om fransk Jernbetonpraksis, hvorfra der altid har været Inspiration at hente, idet jo saa at sige alle Nydannelser indenfor Jernbetonen — undtagen Skalkonstruktioner — er kommet fra Frankrig. At vi bør anvende Bevikling i højere Grad, end vi gør, er utvivlsomt rigtigt, fordi det øger Betonens Brudbelastning.

Ingénieur *Kjærs* Spørgsmaal om Kløckner Staal kan jeg ikke besvare, da jeg ikke kender tilstrækkeligt til Forsøg med dette Materiale.

Mødelederen, Kommuneingeniør, cand. polyt. *J. A. Chr. Rastrup* bragte til Slut Foredragsholderen og Diskussionsindlederen en Tak.

FORSKALLING

Af Overingeniør, cand. polyt. R. Halfdan-Nielsen.

Forskallingen omfatter de interimistiske, men saare nødvendige Foranstaltninger, der gaar forud for Jernets og Betonens Anbringelse paa sin Plads i Bygværket. Den skal give Betonkonstruktionen sin rigtige Form og fastholde den paa sin Plads, indtil den har opnaaet saa stor Styrke, at den med rimelig Sikkerhed kan bære sig selv. Naar det Tidsrum er naaet, har Forskallingen løst sin Opgave og fjernes; jo færre Spor den efterlader des bedre.

Det, at Forskallingen er en Interims-Konstruktion, der forsvinder sammen med Materiel og Værktøj, gør, at man undertiden ikke vurderer den helt rigtigt, maaske hverken konstruktivt eller økonomisk. Selv om dette Forhold hverken er nyt eller moderne, er det dog nok værd at holde in mente ved en Diskussion om Forskallingsproblemet.

Det, at der vises Forskallingen tilbørligt Hensyn, hvad angaar det *konstruktive*, d. v. s. at Forskallingen tilpasses rent teknisk og styrkemæssigt efter de foreliggende Krav, er af allerstørste Betydning, først og fremmest fordi en for svag eller utilstrækkeligt afstivet Forskalling, enten medfører, at hele Historien mislykkes, eller i bedste Fald, at den færdige Konstruktion kommer til at staa som en Skamstøtte over den skete Forsømmelse i Form af skæve og bulede Vægge, eller Bjælker, der hænger med Maven, som om de er overanstrengte. Dette Syn kan der ikke rettes paa, og selv om Konstruktionen godt kan have den fornødne Styrke trods Buler og Skævheder, kan vi sikkert nemt blive enige om, at det er et stygt Syn, som en Ingeniør nødtigt vil lægge Navn til. Saa kan man næsten bedre finde sig i at opdage, at der er kommet et Jern for lidt et eller andet Sted, naar bare Bjælken eller Pladen holder med en ikke for stærkt reduceret Sikkerhed. Den Fejl er der ingen, der skal gaa og ærgre sig over. Dette være dog ikke sagt som en Opfordring til fortrinsvis at begaa Armeringsfejl, hvis der endelig skal fejles.

Med Hensyn til det *økonomiske*, da stiller Forholdet sig saaledes:

Jernet og Betonen bliver vist megen og berettiget Opmærksomhed under Projekteringen, dels naturligvis for at man kan sikre sig den rette Styrke, men ogsaa for gennem Valg af Typer at finde en økonomisk Løsning. Men Forskallingen, det midlertidige Element, tages næppe altid med paa Raad, naar Beregningerne af Bygværket finder Sted. Den optræder ofte først som et Problem, naar Entreprenøren skal udregne sit Tilbud. Og paa det Stadium faar den ikke altid detailleret Opmærksomhed; før Licitationen er overstaaet, og man ved, om man faar Arbejdet, er der jo Grænser for hvor megen Tid, der kan ofres derpaa. Hyppigt kommer Prisbedømmelsen i Overslaget sikkert til at bero paa et Erfaringsskøn. Og dog spiller Forskallingen en stor Rolle i Jernbetonens Økonomi. Entreprenøren ved det, og skal han udføre Arbejdet, staar han sig altid ved at give Spørgsmaalet fuld Opmærksomhed. Nogle faa Eksempler fra udførte Arbejder vil vise Forholdet.

Eks. 1. En Fabriksbygning fra 1933.	Kr.
Beton	14.000
Jern	7.000
Forme	17.000 (45 %)
Eks. 2. Fabriksbygning fra 1934.	
Beton	18.000
Jern	21.000
Forme	30.000 (43 %)
Eks. 3. Forretningsbygning fra 1935.	
Beton	135.000
Jern	225.000
Forme	105.000 (23 %)
Eks. 4. Forretnings- og Beboelsesbygning fra 1939.	
Beton	56.000
Jern	80.000
Forme	84.000 (38 %)
Eks. 5. Sportshal.	
Beton	70 pr. m ³
Jern	60
Forme	140 (52 %)

Denne Oversigt viser, at Udgifterne til Forskalling i fire af de fem nævnte Eksempler udgør den største Post af de tre: Beton, Jern og Forskalling. Forholdene vil selvsagt variere for forskellige Typer af Arbejde, idet Antallet af m² Forskalling pr. m³ Beton er stærkt va-

rierende. Ved Eksempel 1 var Beton beliggende højt over Terrain, og der krævedes mange og lange Stolper. Ved Eksempel 2 var der Tale om mange tynde Vægge. Ved Eksempel 3 var Jernet uforholdsmæssigt dyrt, dels paa Grund af Konstruktionens Art og dels fordi, der var Tale om et Tidspunkt, hvor Jernprisen var noget forskudt i Forhold til Cement- og Træpriser. Endelig er Eksempel 5 hentet fra en meget dyr Type Konstruktion, hvor smaa Mængder af Beton skulde spredes over et stort Areal og i betydelig Højde.

Eksemplerne er iøvrigt valgt ret tilfældigt, idet der først og fremmest har været set paa, at det var regulære Jernbetonarbejder. Og de viser jo med al ønskelig Tydelighed Forskallingsens økonomiske Betydning og understreger, at den har Krav paa tilbørlig Hensyntagen ved Udformningen.

Vi skal derefter se nærmere paa forskellige Typer af Forskalling. Ved et Forsøg paa Klassificering støder vi dog straks paa Vanskeligheder, dels fordi Jernbetonkonstruktioner jo i Form kan varieres i snart sagt det uendelige, og dels fordi Forskallingsopgaven til det enkelte Arbejde kan løses paa flere forskellige Maader. Med Konstruktionernes Art som Udgangspunkt vil vi for Oversigtens Skyld anføre følgende Inddeling:

1. Huse med flere helt eller delvis ens Etager og Mulighed for Genanvendelse af Formene.
2. Silobygninger, Vandbeholdere o. l. med overvejende lodrette Vægge ofte i stor Højde.
3. Fabriks- og Sportshaller o. l. med store Rum: Store Spændvidder og højt til Loftet.
4. Brobygningsarbejder med stærkt varierende Konstruktioner dog ofte af svær Type.
5. Færdigstøbte Artikler, hvor Formene anvendes mange Gange og maa udføres med Henblik paa Sildtage.

Nu er det jo ikke Opgaven her at beskrive Alverdens forskellige Maader at forskalle paa. Det er min Hensigt at vælge enkelte Eksempler fra Byggepladser, hvor et særligt Problem har faaet en særlig Løsning, uden at jeg derfor vil fastholde, at det i hvert enkelt Tilfælde var den bedste og billigste Løsning, men det var i alt Fald et Forsøg paa at naa frem i den rigtige Retning. Og jeg vil derigennem yderligere understrege Betydningen af at gøre Forskallingsproblemet til Genstand for Overvejelse ved hvert Arbejde. Det vil utvivlsomt lønne sig.

Husbygning: Der er paa dette Omraade opstaaet en nogenlunde ensartet Praksis. En almindelig Etageadskillelse kræver et vist Antal Stolper, hvorover der forskalles op for Bjælker og Plader, saa her er ikke saa megen Spillerum for Fantasi og Opfindsomhed, — ikke før man begynder at spekulere paa Anvendelse af andet Materiale end det sædvanlige Træ, eller ønsker at angive Brug af særlige Forskallings-elementer, og der skal derfor paa dette Omraade kun omtales enkelte af de senere fremkomne Metoder, der jo sædvanligt patenteres.

Lamelforskalling: Lamelforskallingen er konstrueret af Civilingeniør Smedegaard. Det er en Jernforskalling, der anvendes til Etage-

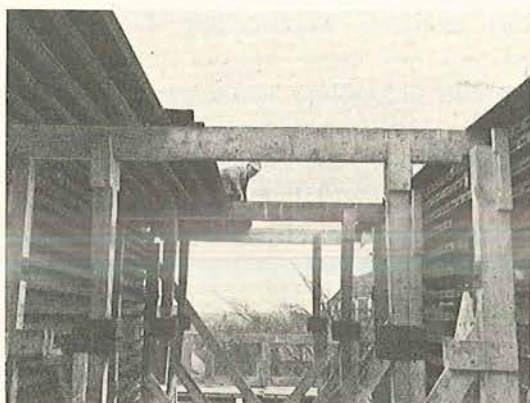


Fig. 1.

adskillelser og Vægge, konstrueret for fortsat Genanvendelse af Standardelementer. Det enkelte Element bestaar af en 2 mm tyk Jernplade bukket i Z-Form. Den ene Flig er 5 cm, den anden 25 cm bred, og Kropshøjden er 8 cm. Længden er normalt omkring 2 m. Som det fremgaar af Fig. 1 lægges Profilerne løst op paa en Understøtning

af Træbjælker og Stolper. Da Elementerne kan anbringes med større eller mindre Overlæg saavel paa tværs som paa langs, kan Rum af vilkaarlig Størrelse dækkes med Standardelementer uden særlig Tildannelse. Ved Væggene hænger Z-Profilene paa Stolperne, idet den smalle Flange er forsynet med en Række aflange Huller. Ogsaa Rideplanker og Stolper er udført af Standard-Elementer, der kan forlænges og forkortes efter Behov. En foreliggende Oversigt angiver, at ca. 150.000 m² Etageadskillelse og Vægge paa større Arbejder herhjemme har været udført med denne Forskalling, og det er Hensigten at anvende den til ca. 50.000 m² paa det nye Raadhus paa Frederiksberg. Med Hensyn til yderligere Detailler, Prisforhold m. m. henvises til en Artikel i »Ingeniøren« Nr. 29, Aargang 48.

Formetadæk. Opfinderen er Civilingeniør J. Brandt. Systemet er meget detailleret beskrevet i C. t. O.'s Betonteknik Nr. 2—6. Aargang, hvortil der henvises. Billederne illustrerer Systemet. I al Korthed gaar det ud paa at anvende en Forskalling, der oplægges i færdige Elementer, og som indgaar i den færdige Etageadskillelse, hvor den iøvrigt sparer en væsentlig Del af den Beton, der ellers ligger i Trækzonen.

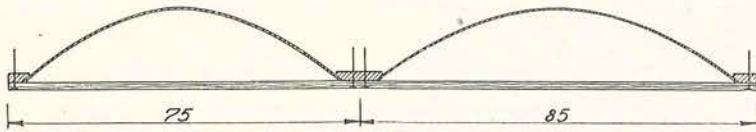


Fig. 2.



Fig. 3.

Herved spares yderligere Egenvægt og Armering. Systemet anvendes til baade enkelt og til krydsarmerede Plader. Det enkelte Element, som kan fremstilles i Værksted eller paa Arbejdsplads, bestaar som vist i Fig. 2—4 af Løftforskallingsbrædder samlet med svalehaleformede Lister og paasat nogle Finerplader, der ved Opspænding mellem Listerne bibringes Bueform. Sømmene, der sammenholder Forskalling og Lister, stikker et Stykke igennem Listerne og forankrer Elementet til Betonen. Naar Stolper og Strøer er fjernet, kan der røres og pudses paa Forskallingsbrædderne.

I den nævnte Artikel er gjort Rede for Prisforholdene og Systemets Isolationsevne m. m.

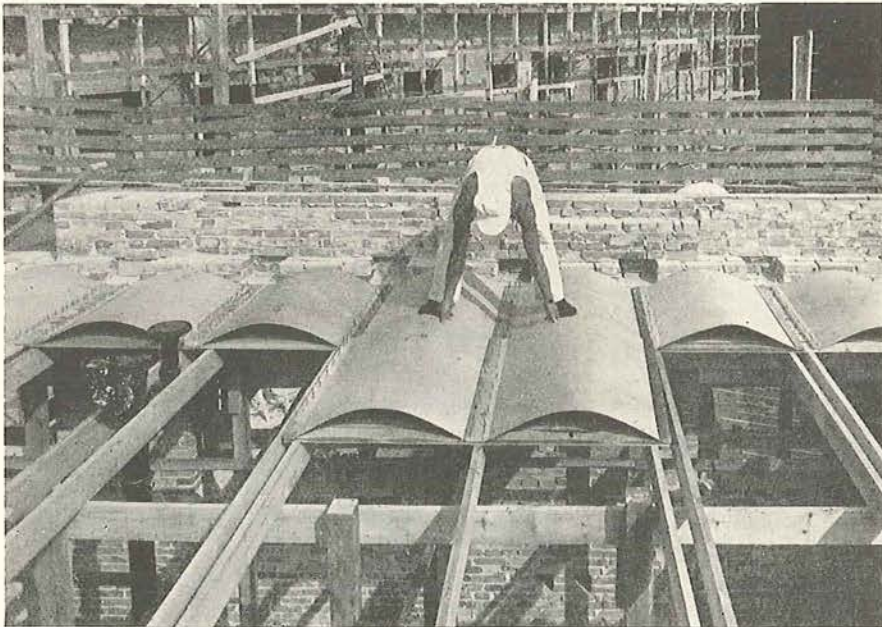


Fig. 4.

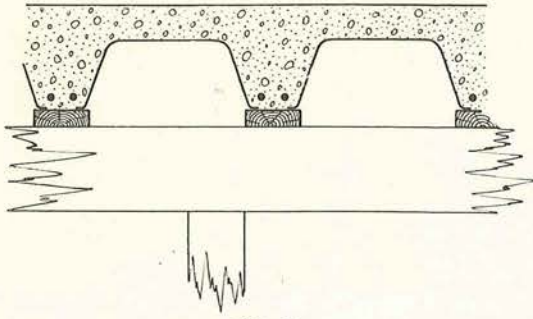


Fig. 5.

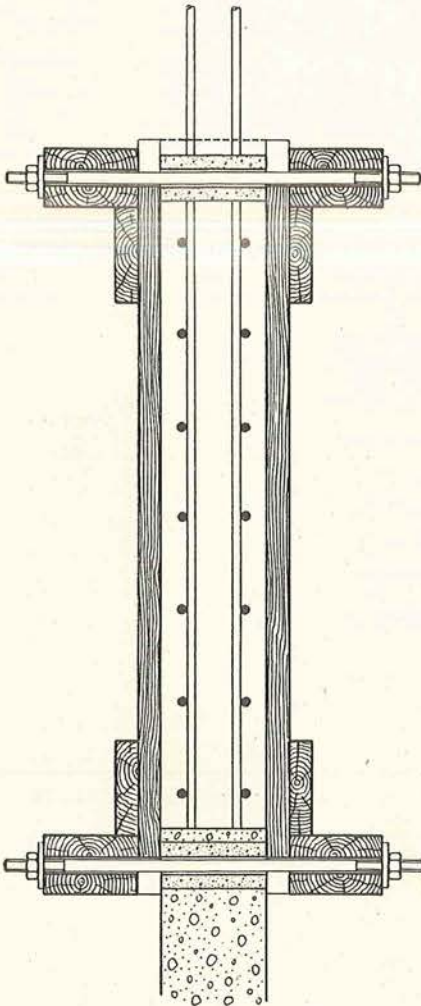


Fig. 6.

Amerikanske Staalforme Dæk. Det er naturligt, at staalproducerende Lande i højere Grad finder Jern konkurrencedygtigt til Forskallings Formaal end vi herhjemme. I 1923 stødte jeg i Amerika paa Anvendelse af en Type Dækforskalling, der delvis minder om Formetadækket.

Der anvendes ganske tynde omvendt trugformede Blikplader, enten af smaabølget Plade, der bliver siddende, eller af glatte og i saa Fald sværere Plader, der fjernes og genanvendes.

Plywood. Under et Besøg i U. S. A. i 1937 havde jeg flere Gange Lejlighed til at se, at Amerikanerne i udstrakt Grad var gaaet ind for Brug af Krydsfinerplader i varierende Størrelse og Tykkelse i Stedet for Brædder. De paastod, at det var særdeles bekvemt i Brugen, og at de kunde genanvendes et stort Antal Gange. Herhjemme findes Venesta Shuttaply, en tyndere Finerplade, der bruges til Udforing af Forme for at skaffe en Overflade frem, der ligner, hvad man opnaar ved Støbning mod Jernforme.

Pladerne er overfladebehandlet med en Vædske, der beskytter dem mod Støbevandet, og de kan genanvendes et stort Antal Gange.

Siloer: Bygningen karakteriseres ved sin Inddeling i Celler gennem tynde høje Vægge. Ved større Anlæg anvendes almindeligt *Glideforme*, der jo har været i Anvendelse i en snart lang Aarrække. Saa jeg skal ikke beskrive dem nærmere, der fin-

des en udmærket og detaljeret Artikel i *E. N. R.* 1925 Side 786. Systemet gaar, som sikkert de fleste bekendt, ud paa at bygge en ca. 1,2 m høj Forskalling, der omfatter alle Cellevæggene, og som under Arbejdet skrues langsomt i Vejret, saa saavel Støbning som Armering er en uafbrudt Foreteelse. Hele Forskallingen med samt Arbejdsplatform hænger paa 25 mm lodrette Armeringsjern, der efterhaanden forsvinder i Betonen. Under gunstige Forhold kan Siloen vokse med 3 m i Døgnet. Dette betyder, at Formene genanvendes til 2,5 Støbehøjder pr. 24 Timer, og at det enkelte Vægelement kun er forskallet i 10 Timer.

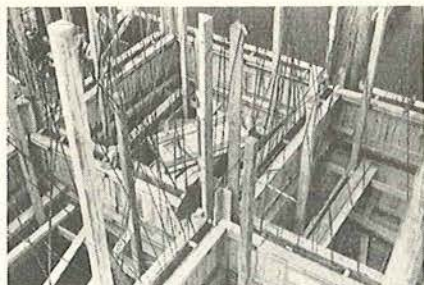


Fig. 7.

Flageforskalling. Til mindre Siloer med 12—15 m Højde, som er almindelige herhjemme, kan anvendes en Metode, der er en Mellemting mellem almindelig Forskalling og Glideforme. Den ligner sidstnævnte i, at der anvendes en Forskallingshøjde paa ca. 1 m over hele Bygningens Grundareal, og den flyttes ogsaa op efterhaanden, men ikke kontinuerligt. Der støbes op i Formhøjde, som derefter en eller to Dage senere løftes sin egen Højde.

Fig. 6 viser Formen i Gennemsnit. De lodret stillede Brædder er samlet med Revler. Foroven og forneden findes Strøer af dobbelte Brædder, hvorigennem trækkes Bolte. Nederste Ende af Formen spændes haardt sammen om forrige Opstøbning, foroven spændes paa en Beton-Hulklods. Der støbes til Overkant Form, og efter Afbinding flyttes Formen op, idet øvre Bolt løsnes, og nederste Bolt og Strøer fjernes og genopsættes foroven paa de løftede Flager. Fig. 7 viser

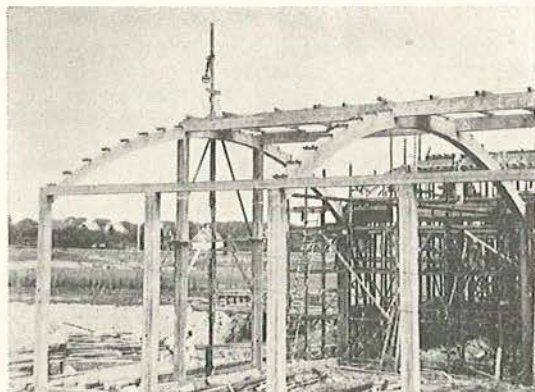


Fig. 8.

Formene i Brug. I Hjørnerne ses lodrette Ledere, der har til Opgave at styre Formene lodret op og samtidig muliggøre en lettere Løsning af Flagerne.

Haller.

Vi er her ved en Type Bygninger, hvor ofte Melankonstruktioner har været anvendt, idet de meget store Højder til

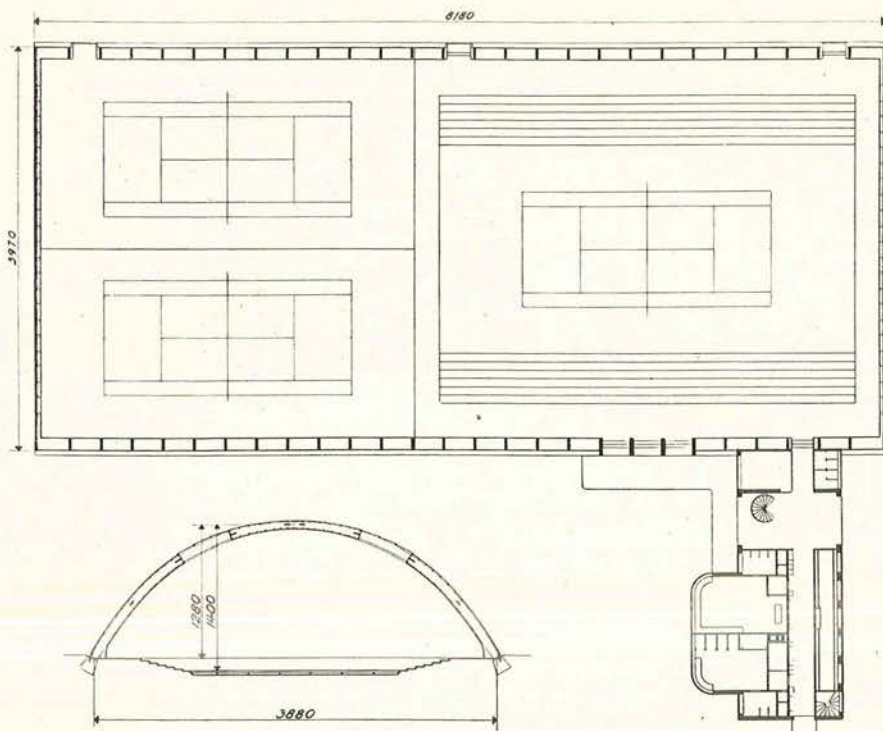


Fig. 9. Tennishal paa Hartmannsvej.

Loft — som f. Eks. ved Kraftstationer — har gjort det ønskeligt at indskrænke Forskallingen til Flager ophængt i Melankonstruktionerne, saa ikke hele Rummet fyldes med Stolper og Afstivning, hvad der hindrer andet Arbejde i at foregaa, før Taget er støbt og afforskallet. Ved andre Typer af Haller er ofte kun Søjler og Tagets Spærfag udført af Beton. Fig. 8 viser et Eksempel paa en Sportshal. Det ses tydeligt,

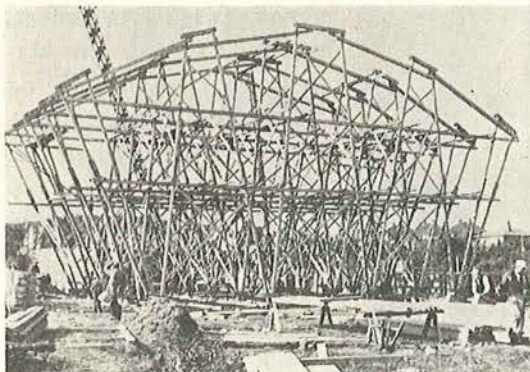


Fig. 10.

at smaa Mængder af Beton er spredt over et stort Areal og for Størstedelen højt beliggende. Forskalling og specielt Stillads for denne Type af Konstruktioner er meget dyr.

Som Eksempel paa et Forsøgpaa at billiggøre en saadan Konstruktion skal lidt nærmere omtales H. I. K.'s Tennishal paa Hart-

mannsvej. Der skulde her fremstilles en Hal, der kunde rumme 2 Tennisbaner og en Opvisningsbane med Tilskuerpladser. Det faldt i Entreprenørens Lod baade at projektere og udføre Hallen, og den er et Eksempel paa, at Stilladsarbejde, forhaandenværende Materiel o. s. v. blev taget i

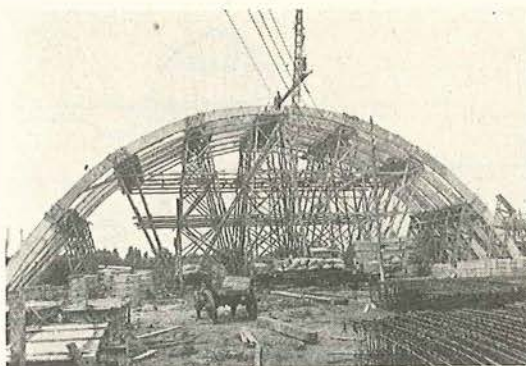


Fig. 11.

Betragtning allerede ved Konstruktionernes Udformning. Resultatet blev, at Taget i den 38×81 m store Hal skulde bæres af 3-Charniersbuer med en Faginddeling paa 3 m. Buerne blev fremstillet færdigstøbt i særlige Forme paa Jorden, hver Bue delt op i 8 Stykker forsynet med udkragede Jern til Stødene. Ogsaa 8 langsgaaende Afstivningsbjælker støbtes paa tilsvarende Maade paa Jorden. Fig. 10 viser Buestillads for 5 Fag sammenbygget til en Enhed, og viser med al Tydelighed, at det er meget spinkelt og enkelt sammenlignet med et Stillads, hvor Betonbuerne skal bæres i »vaad« Tilstand. En Kran

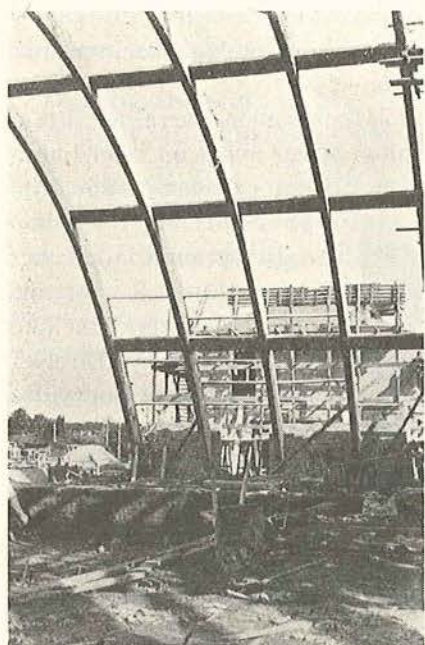


Fig. 12.

med 26 m Udlægger beherskede hele det Areal, der omfattedes af Stilladset for de fem Fag og kunde anbringe Buestykker og Bjælker paa Plads. Sammenstøbning af Knudepunkter udførtes med Velocement for at opnaa en hurtig Frigørelse af Stilladset. Fig. 11 viser Stilladset bærende de sammenstøbte Buer. Fig. 12 viser, at ogsaa ved dette Arbejde skulde en relativ lille Betonmængde anbringes over stort Areal og i stor Højde, saa man skønner, at en normal Udførelse vilde have været kostbar. De besparende Momenter var ved den valgte Fremgangsmaade: Enkelt Stillads, der med stor Lethed førtes frem til Genanvendelse, billige Forme til Fremstilling af Buer og Bjælker. Arme-

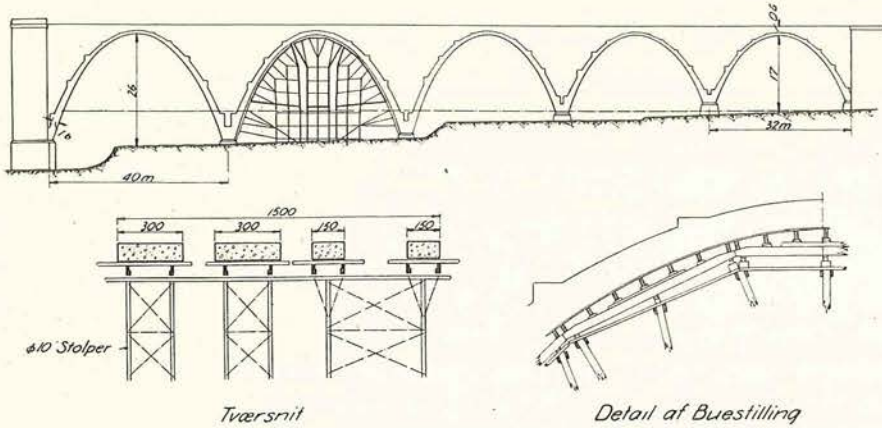


Fig. 13.

ring og Støbning paa Terrain af over 90 % af Jernbetonen. Modsvarende disse Besparelser, er Montering af de færdigstøbte Elementer med tilhørende Udgifter til Kran og Sammenstøbning af Knudepunkter.

Ved det paagældende Arbejde spiller Tiden en stor Rolle, og ogsaa her var Metoden formaalstjenlig. Stilladsbygning og Fremstilling af Buer kunde paabegyndes samtidig med Pæleramning og Jordarbejde. De 26 Buer blev monteret og sammenstøbt paa 54 Dage.

Broarbejder. Ud af Mulighedernes Mangfoldighed skal her omtales 3 Eksempler.

Buefag ved Lillebæltsbroen. Det drejer sig her om et Eksempel paa Stilladsarbejde for svære Konstruktioner.

Paa Fig. 13 er angivet, hvorledes paa Jyllandssiden Terrainet skræner ned mod Kystlinien, medens Brobanen stiger svagt op mod Landpilen. De fem Buer varierer derfor baade i Højde og Spændvidde. Paa

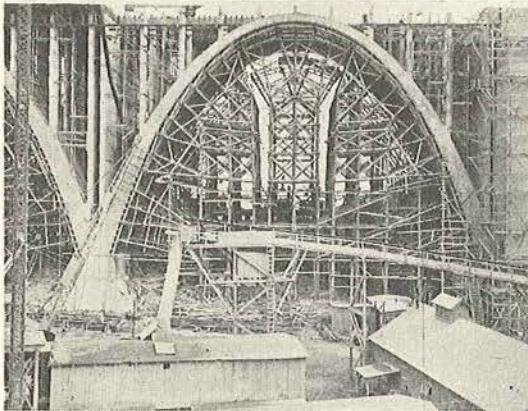


Fig. 14.

Fynssiden er Forholdene tilsvarende, men her findes kun 3 Buefag.

Det Rumfang mellem Bueunderside og Terrain, som her skal udfyldes med bærende Stilladser, udgør for de 8 Buefag ialt ca. 60.000 m³, og det er øjensynligt, at en selv mindre Besparelse pr. m³ her kan blive til et større Beløb. Tanken om et Standard Stillads indret-

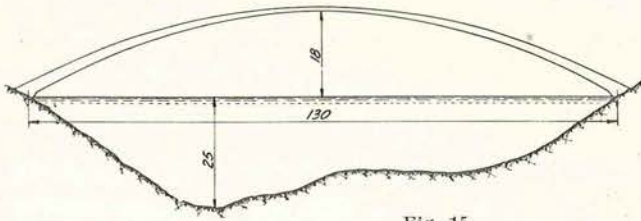
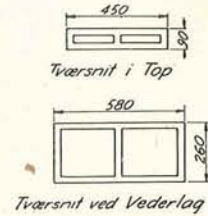


Fig. 15.



tet til Genanvendelse i større Sektioner ligger her lige for. Men de varierende Spændvidder og Pilhøjder, er tilsyneladende i Modstrid med denne Løsning. Det viste sig imidlertid, at naar man indtegnede en Linie gennem Terrain for den mindste Bue og parallelt med Brobanen afskar denne Buesektioner, der var saa nær ens, at der over Linien kunde angives Stilladsformer, der var genanvendelig for alle 8 Buefag. Det Rumfang, der omfattedes heraf, udgjorde $\frac{2}{3}$ af de omtalte 60.000 m³. Resten maatte saa udfyldes med Stillads, der tilpasses hvert enkelt Fag. Der blev udført Standard Stillads for 2 Buefag, og dette blev saaledes anvendt 4 Gange.

Af Tegningen fremgaar det, at hvert Buestillads bestaar af 3×3 Elementer, idet hvert af de to Jernbanespor havde sit Stillads og Vejbanens to Buer et fælles Stillads. Hvert enkelt Element blev efter Af-forskalling trukket sidelæns ud, ført over langs til næste Buefag og atter ført ind paa i Forvejen opstillede nedre Stilladser.

Nøjagtig Justering til hver enkelt Bue skete ved Justering af de paa Tegningen viste Bueforme, der var indrettet med Kilesæt.

Til Stilladset, der var ret svært — Hovedstolperne var 10" Rundtømmer — anvendtes i udstrakt Grad Gitterkløer ved Knudepunkterne. Paa Fig. 14 ses tydeligt Stilladsets Opdeling i Elementer.

Färgsundbroen paa Aalandsøerne.

Som det fremgaar af Fig. 15 drejer det sig her om Stillads for en Buebro med 130 m Spændvidde over et Farvand med 25 m Dybde til fast Grund. Stilladset over D.V. er der for saa vidt intet særligt at bemærke om, men de bæ-

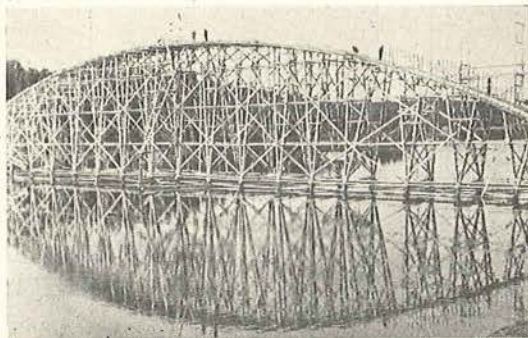


Fig. 16.

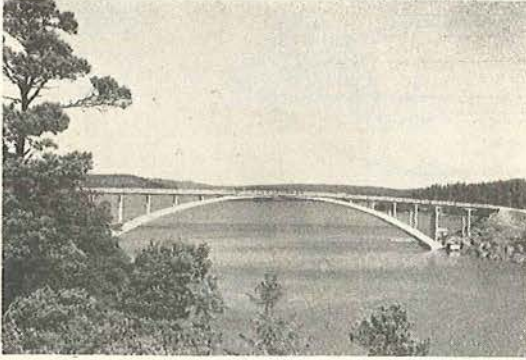


Fig. 17.

rende Pæle under D.V. gav Anledning til en Del Overvejelse. Man mente ikke at kunne stole paa Kraftoverføring fra Træpælespids til en eventuelt skraanende Klippe; Jordlagene over Klippegrunden var meget bløde. Der anvendtes derfor sammensatte Pæle, der foruden bestod af Jernprofiler, for hvilke det lykkedes at skaffe Bæreevne.

Buebroen har kasseformet Tværsnit, og Stilladset blev beregnet til at skulle bære Bundpladen i dette Profil; ved den videre Ud støbning skulde saa Bundpladen hjælpe til at bære den forøgede Belastning.

Overføringsanlæg ved Kvistgaard.

Opgaven var en Forskalling for en 68 m lang »Tunnel« over En-

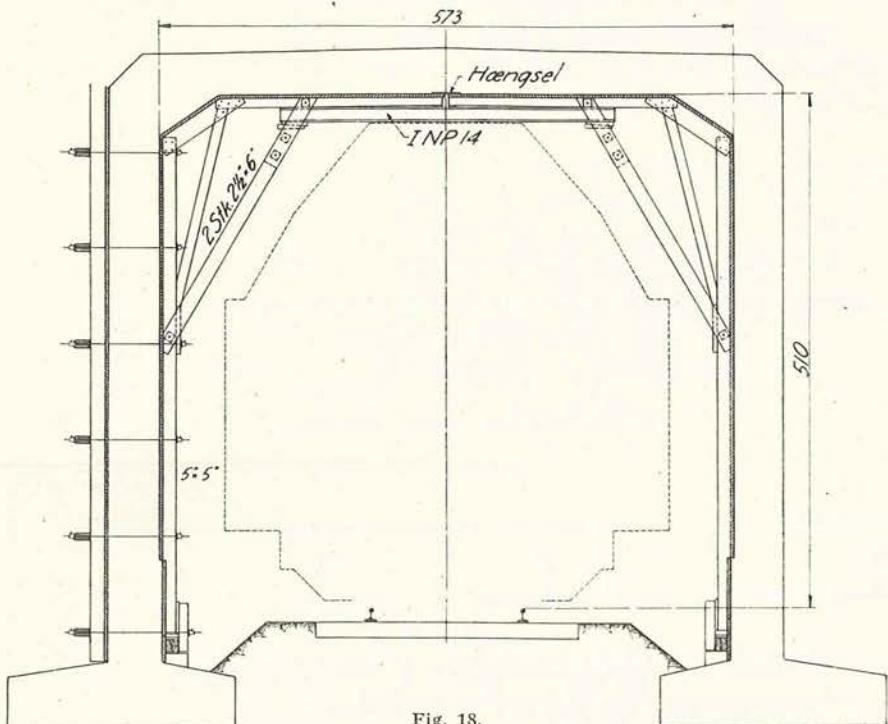


Fig. 18.

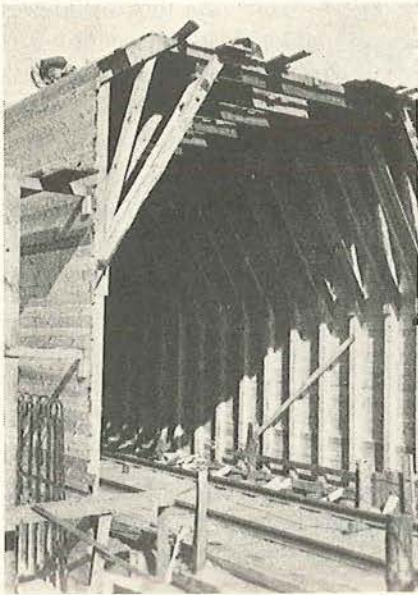


Fig. 19.

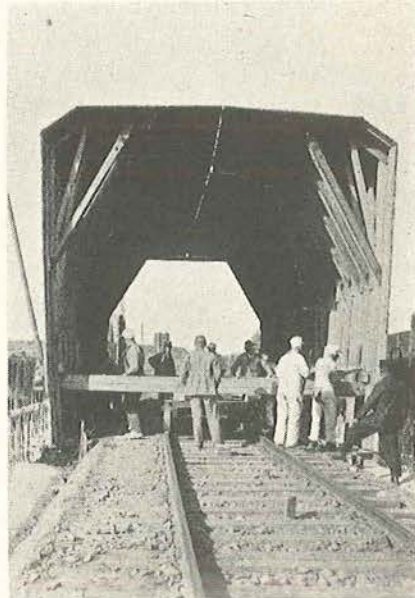


Fig. 20.

keltspor i Drift. Fig. 18 viser den anvendte Løsning. Der byggedes to 17 m lange Elementer af 5×5 " Stolper og Brædder med smaa Sprængværker i Hjørnerne. Midt i Dækforskallingen fandtes en gennemgaende Fuge, idet de to Halvdele her kun holdtes sammen af nogle tynde Fladjernslasker, der kunde fungere som Hængsler. Ved Afforskalling blev de korte Jernbjælker, der under Støbningen støtter Omraadet langs Fugen, fjernet, og de lodrette Vægge blev trukket lidt sammen forneden. Herved drejede hver Halvdel sig fri af Betonen med Fugen som Omdrejningsakse. Hele Formen sænkedes lidt og sættes af paa et Par Undervogne og kunde saa køres frem og genopstilles indenfor et Toginterval. Fig. 19 og 20 viser en Sektion henholdsvis opstillet og under Transport.

Færdigstøbte Artikler.

Som tidligere nævnt drejer det sig her om at fremstille Forme, der tager særligt Hensyn til Slidtagespørgsmaalet og til en bekvem Afforskalling og Genopstilling. Ved almindeligt Cementstøbegøds spiller Formens Pris næppe nogen større Rolle i Sammenligning med en bekvem Brugsmetode, idet Formen kan afskrives paa saa stort et Antal Støbninger, at Indflydelsen paa Prisen for det enkelte Stykke er beskedent.

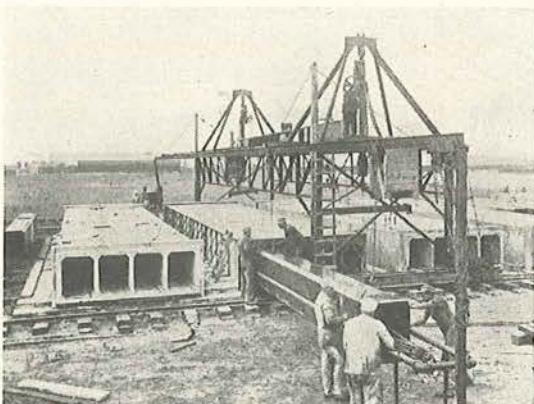


Fig. 21.

Der skal her omtales et enkelt Eksempel:

Undersøisk Kloak i Øresund.

Der skulde ved dette Arbejde fremstilles 100 Stk. 15 m lange Betonrør af rektangulært Tværsnit opdelt i 4 Kamre à 90×65 cm. Ydre Vægge var 10 cm og indre Vægge 8 cm tykke. Begge Ender af Rørene skulde udformes

som dobbelte Muffer. Til Formaalet blev fremstillet 2 Sæt Jernforme. Til hvert Rør anvendtes 4 Kerner, 2 Sideforme og 2 Endestykker, alt bygget af Jernplader. Paa en med Jernblik beklædt Støbeplatform opstilledes Armeringen som vist paa Fig. 22, hvorefter Kernestykker og Resten af Formene placeredes. Udtagning af Kernestykkerne krævede særlige Foranstaltninger. De var sammenboltet paa Midten, saa een Halvdel kunde trækkes ud til hver sin Side. Ved Drejning af 2 Aksler ved Endeformene kunde Kernestykkerne bringes til at trække sig lidt sammen, saa der blev et Slip paa ca. 3 mm hele Vejen rundt. Paa Fig. 21 ses, hvorledes Kernestykket herefter trækkes ud hængende paa en Portalkran, der dels kunde transportere Formene og dels søsætte de 40 ts tunge Kloakrør.

Normerne.

Til Slut skal siges et Par Ord om Normernes Stilling til Forskalling. De nugældende Normer behandler den ret generelt. Der siges, at Formene skal være passende stive, og kunde staa for de forskellige Belastninger, de udsættes for. Paa sin Vis er dette hensigtsmæssigt, fordi det giver Plads for frit Valg blandt mange Løsninger. Der er jo nye Normer under Udarbejdelse, og der

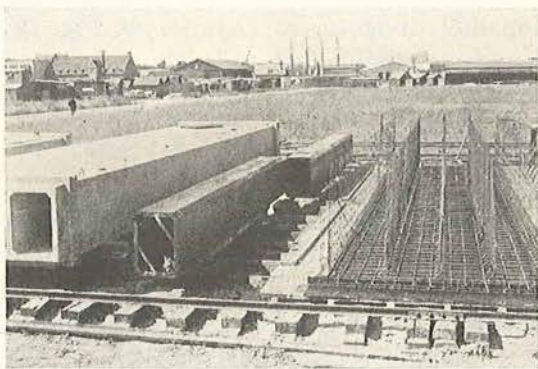


Fig. 22.

vil her sikkert komme Forslag om f. Eks. for tilladelige Spændingers Vedkommende at henvise til, hvad de ligeledes nye Trænormer fordrer for Stilladser og Interimsbroer af Træ. Regler for Afforskallings-tiden tænkes reguleret lidt o. s. v. Men ellers bibeholdes den almindelige Tone, og det synes jeg godt, naar Kravene trods dette er saadan, at en Forskalling udført efter dem er rigtig. Er der særlige Tilfælde, der kræver særlige Foranstaltninger, kan jo Bygherren til enhver Tid stille særlige Krav. Det har f. Eks. Statsbanerne gjort, fordi de saa hyppigt bygger Bro over Spor i Drift, og en svigtende Forskalling kan jo her være katastrofal. Saa det er rimeligt, man er streng. Men det koster naturligvis at indføre denne Strenghed, og man skal derfor ikke komme med den, uden at den virkelig er paakrævet. Personligt er det min Opfattelse, at almindelige Vejbroer kan udføres fuldt forsvarligt og akkurat paa Grundlag af de almindelige Normer. Det er forekommet, at en saadan mindre Bro har været udbudt, og Statsbanernes særlige Betingelser for Forme og Stilladser foreskrevet. Jeg tror ikke, det er nødvendigt for i et saadant Tilfælde at opnaa et godt Resultat, og det betyder som sagt ekstra Udgifter. Man maa derfor haabe, at det drejer sig om et isoleret Tilfælde.

DISKUSSION

refereret ved Civilingeniør *E. H. Sternow*.

Diskussionsindlederen, Overingeniør, cand. polyt. *Villiam Raaschou*: Da jeg havde faaet den ærefulde Opgave at skulle indlede Diskussionen efter Overingeniør Halfdan-Nielsens Foredrag om Forskalling, søgte jeg at forberede mig ved at kigge lidt paa Litteraturen og fandt da, at her var Forskallingen Betonteknikkens »enfant terrible«.

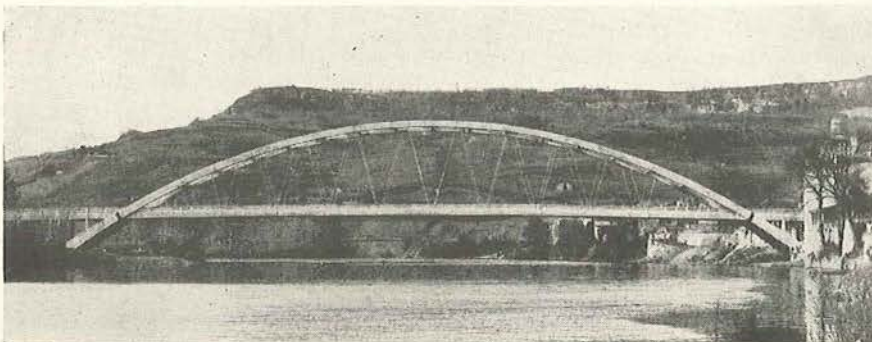


Fig. 1. Den færdige Bro.

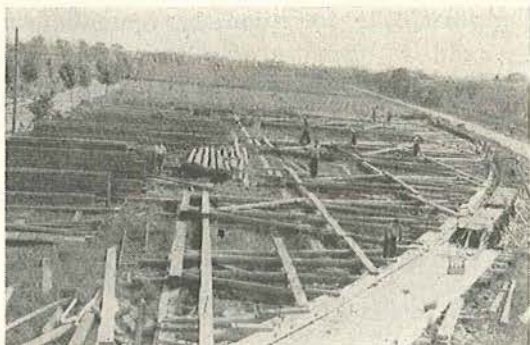


Fig. 2. Opsnoringsplads for Stillads, hvor ogsaa Kærnestykkerne støbes.

dens Konstruktionsudformning til Entreprenøren, og har saa denne fundet en fiks og økonomisk Løsning, har han ikke Lyst til at udbrede sig derover i Litteraturen — af Konkurrencehensyn.

Derfor maa jeg nu støtte mig paa egne Erfaringer og saa iøvrigt opfordre mine Kolleger til at komme frem med deres Erfaringer og Synspunkter.

Overingeniør Halfdan-Nielsens fortræffelige Foredrag, som paa en klar og overskuelig Maade gav os et Udsnit af Forskallingens Anvendelse paa de forskellige Byggeomraader, kan ikke give Anledning til Diskussion, men jeg vil gerne have Lov at vise Dem nogle Billeder, i hastig Gennemgang, som Supplement til Foredraget.

De ser først nogle Billeder af en Bro i Frankrig (Fig. 1—4 Vejbro ved Castel-moron)*). (Broen er af den Type, som Dr. Østenfeld i Gaar efterlyste som Christiani & Nielsens svenske Broer). Spændvidden er 120 m mellem Charnierer, ca. 140 m mellem Landpiller. Buerne har Tværsnit $1\text{ m} \times 1,2\text{ m}$ i Toppen, $1\text{ m} \times 1,5\text{ m}$ ved Charniererne — de er vindafstivet af et relativt let K-Gitter.

— Forskallingen med Stillads er karakteriseret derved, at det er udformet i nøje Sammenhæng med Udformningen af Støbemetoden for Buerne, hvorved opnaas, at det kun skal dimensioneres for ca. den halve Betonvægt plus den bevægelige Last, som hidrører fra Støbningens Udførelse. — Princippet for Støbningen er, at først

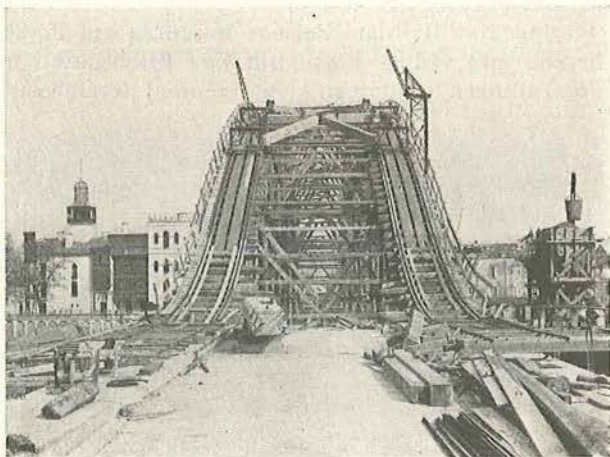


Fig. 3. Opkørselsbanerne for de færdigstøbte Kærnestykker m. m.

*) »Ingeniøren« 20/7-1935.

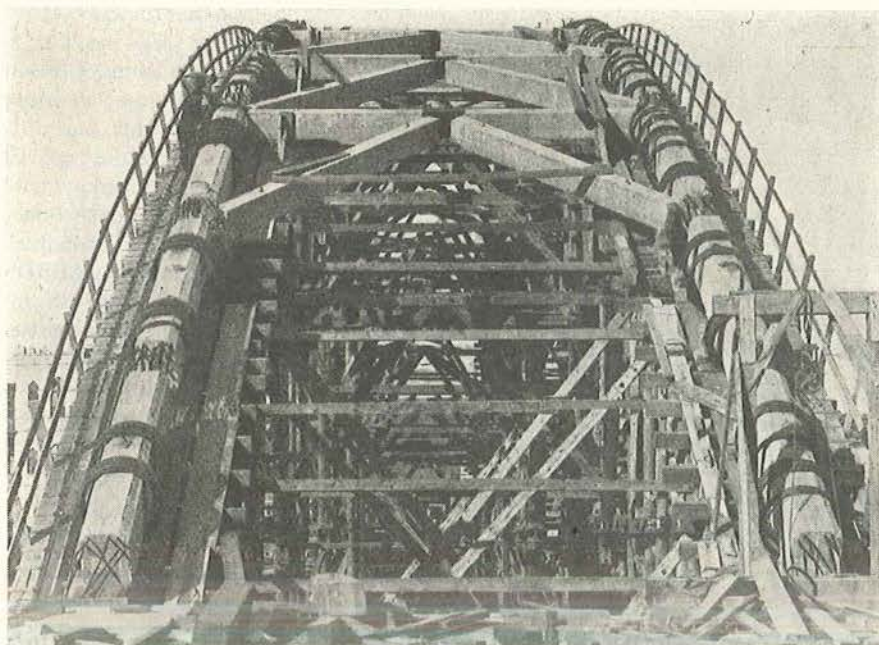


Fig. 4. Kærnestykker og Vindgitterstænger oplagte.

støbes en indre Kerne, som ved Hjælp af Dunkrafte indsat i Toppen gives en Forspænding paa 200 ts. — herved lettes Stilladset for Vægten af Kerne, der nu selv som Bue overfører sin egen Vægt til Landpillerne.



Fig. 5. En stor Del af Pieren færdig — den flytbare Arbejdsplads og Forskalling skimtes yderst til højre.

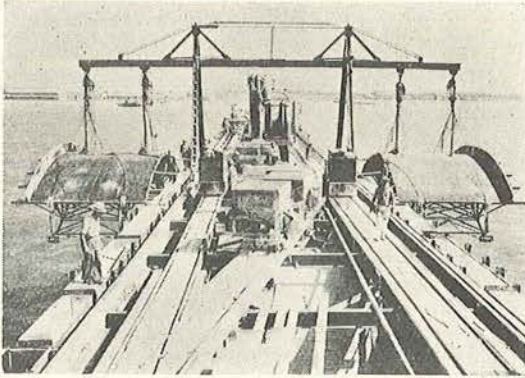


Fig. 7. Bueforskalling klar til at anbringes paany.

tes Forspændingen op til 400 t, og Hullet i Toppen lukkes med Beton af Alcement.

Overingeniør Halfdan-Nielsen viste et fikst Eksempel paa, hvormeget man kan gøre ud af sin Forskalling, naar det gælder Fabrikationen af Standard-elementer, d. v. s. naar Forskallingen skal være en Slidforskalling og man derfor har Fordel af Jernforskalling.

De næste Billeder viser dette Princip overført paa Byggepladser. Der blev

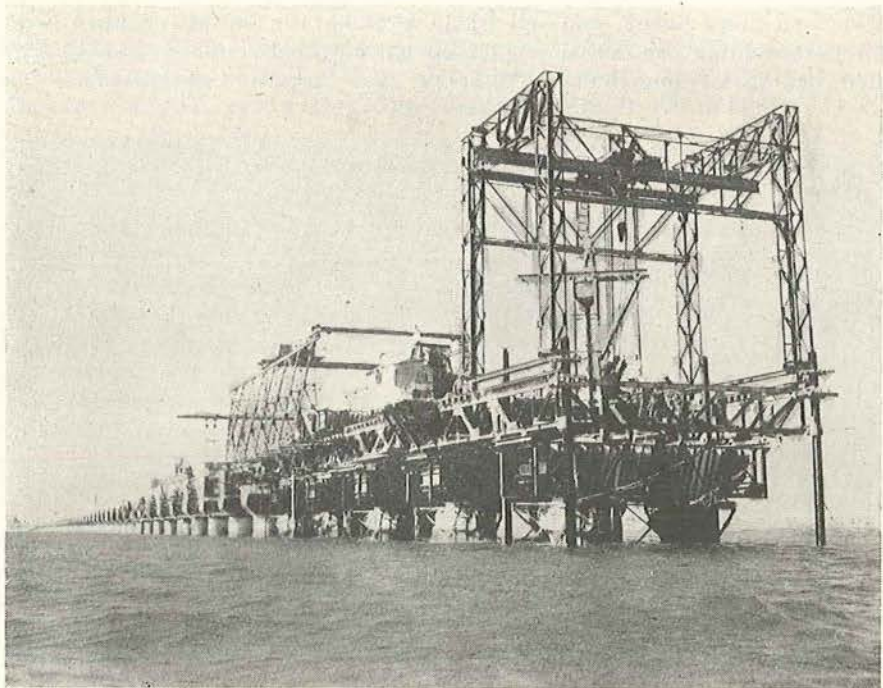


Fig. 6. Den flytbare Arbejdsplads.

i Amerika opført en 2 km lang Pier, som bestod af ca. 170 Buefag à 12 m Spændvidde*) (se Fig. 5—8).

Saa vel Piller som Bjælker og Buer forskalledes i Staalforme. Hele Arbejdspladsen var indrettet paa 2 sammenhængende Kørebroer udført i Jernkonstruktion, der ved Hjælp af to smaa Motorer kørte udad, og herfra foretoges Forskalling og Afforskalling, Støbning af Undervandsbeton i Pillerne samt al anden Beton i Bjælker, Buer og Sidemure.

De næste Billeder viser, hvordan ved Storstrømsbroen**) Forskallingen kombineredes med selve den flydende Arbejdspladsenhed, idet dennes nedre Del var udformet som Forskalling for Pillefod, og Afforskallingen skete ved Enhedens Flydevne (se Fig. 9—12).

De viste Par Eksempler vil formentlig give en Forstaaelse af, hvor omfattende Betydning, det har, at udforme Forskalling saa detaillert og omhyggeligt som muligt, og hvor mange morsomme konstruktive Opgaver Forskallingen byder paa.

Foredragsholderen omtalte Glideforme for Siloer — jeg skal i denne Forbindelse nævne, at i Siam og andre Steder er der bygget Skorstene i Staalglideforme efter Direktør for Thai Cement Co., Civilingeniør Friis Jespersens Patent — de har den Finesse, at Vægtykkelsen kan varieres kontinuerligt med Opglidningen.

For nylig er i Betonteknik angivet en fint udtænkt Detail

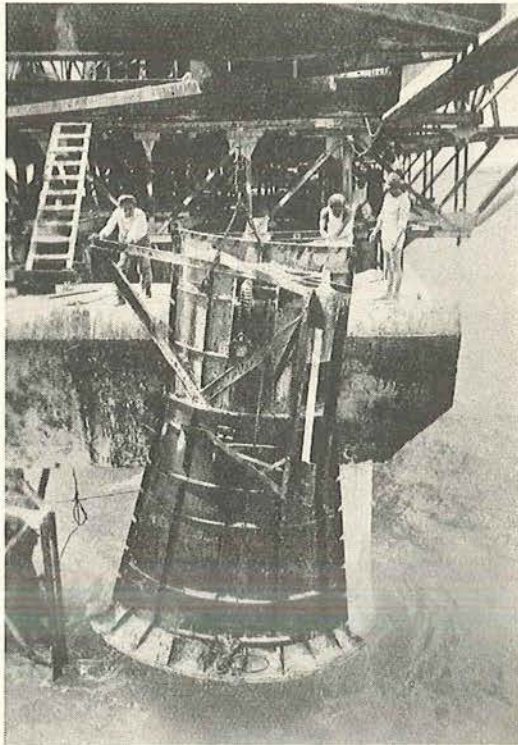


Fig. 8. Staalform for en Pille lige afforskallet.

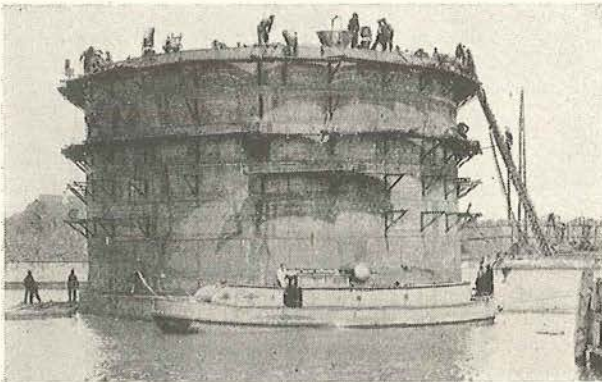


Fig. 9. En Arbejdspladsenhed.

*) Der Bauingenieur 8/9-1939.

**) »Ingeniøren« 2/10-1937.

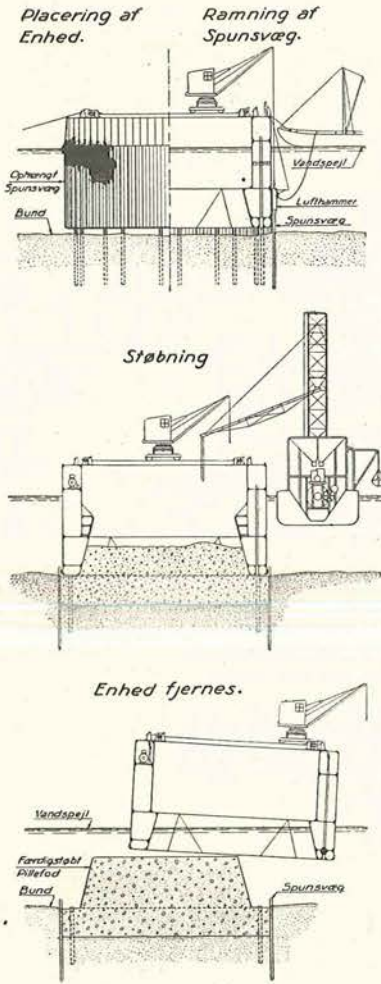


Fig. 10—12. Skematisk Billede af »Enheden«s Anvendelse som Støbform.

for Forskalling af de udkragede Betonfortove paa Ulvsundbroen, men herom vil maaske en af Firmaet A. Jespersen & Søns Ingeniører selv berette.

Civilingeniør *Jørgen Paulsen* gav nogle Oplysninger vedrørende Forskallingen til Ulvsundbroen. De fritbærende Buestillinger til selve Buerne blev flyttet ved Hjælp af Pramme. Forskallingen til Broens Tværbjælker blev udført som fritbærende, idet Formenes lodrette Sider virkede som Bjælker. Under Forudsætning af, at alle Brædderne virkede som et Hele, blev største Bøjningsspænding 30 kg/cm². Der var forinden Støbningen blevet gjort Forsøg med Sandfyldning.

Forskallingen til Broens 2,3 m udkragede Fortove (Fig. 13—15) blev monteret paa en Vogn med tværgaaende udkragede Træbjælker, hvori Forskallingen var op-hængt. Der var Forme til 40 m Bro ad Gangen, og en saadan Strækning kunde udføres paa ca. 2 Uger incl. Flytning af Forme, Armering og Støbning m. m.

Civilingeniør *O. Frandsen*, der havde været med til i Østen at opføre Skorstene med de i Foredraget omtalte patenterede Glideforme, forespurgte, ved hvilken Højde Foredragsholderen ansaa en saadan Foranstaltning for økonomisk, idet selve Glideformen var ret kostbar. Der rettedes Forespørgsel om, hvornaar det maatte være nødvendigt at anvende Overforskalling ved skraa Støbeflader saasom Skaller o. l.

Endvidere mente Taleren, at Anvendelse af Vibrering og andre Foranstaltning

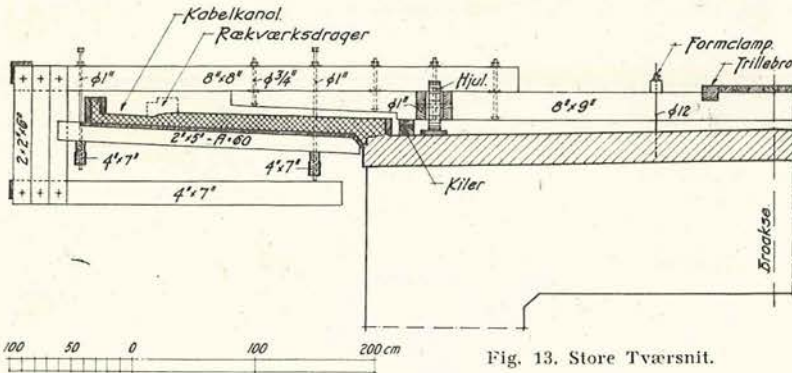


Fig. 13. Store Tværsnit.

ger til Forbedring af Betonens Kvalitet altid maatte give sig Udtryk i forøgede Udgifter for Bygherren paa Grund af de nødvendige Kontrolforanstaltninger.

Civilingeniør A. J. Moe mente, at der ofte fra den projekterende Ingeniørs Side var taget Hensyn til Forskallingens Udførelse f. Eks. ved Melankonstruktioner og Sportshaller. Iøvrigt var det den dygtige Entreprenørs Chance at konstruere en hensigtsmæssig Forskalling, saaledes at han ikke kunde staa sig ved, at Projektet til Forskallingen var fuldt udarbejdet fra den projekterende Ingeniørs Side.

Forholdet om længere Tid inden Afforskallingen spillede en stor Rolle med Hensyn til Betonens Krybning, idet denne vilde blive større ved tidlig Afforskalling.

Tidsfristen for Bygværkets Aflevering var af stor Betydning for Forskallingens Økonomi, idet Forskallingen ved længere Tidsfrist kunde anvendes flere Gange. Man saa ofte, at Entreprenørerne tog Forbehold overfor Tidsfristerne, hvilket ikke er rationelt, da ethvert Arbejde har sin Pris svarende til en given Tidsfrist.

Civilingeniør A. R. Larsen efterlyste Oplysninger om Prisforskellen mellem kørende Stilladser og alm. »Skov af Stolper«. Taleren mente, at Arbej-

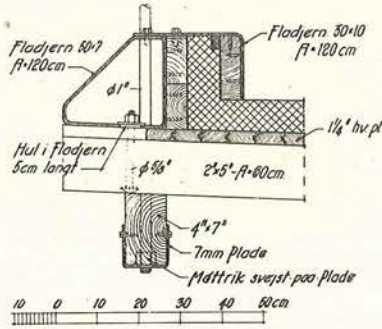


Fig. 14. Lille Tværnit.

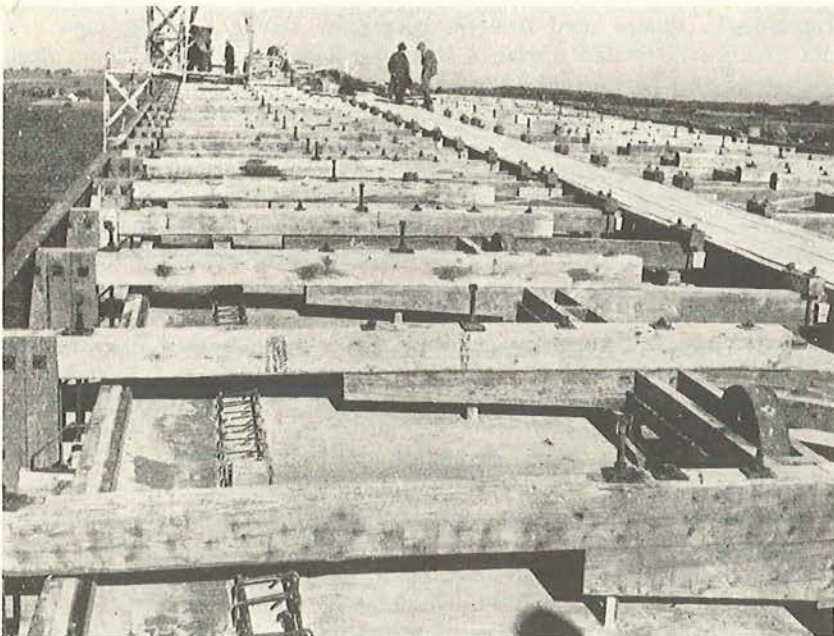


Fig. 15. Formophængning for udkragede Fortove.

derne i mange Tilfælde ved Fastsættelsen af Akkordpriserne for kørende Stilladser benyttede Prisen for de alm. Stolpestilladser som Udgangspunkt.

Der efterlystes Oplysninger om Details af store Broers Stilladser, nødvendig Overhøjde, Stød i Stolper og Økonomi ved Anvendelse af flyttelige Enheder, idet Bolte og Samlejern kostede mange Penge.

Til Slut meddelte Taleren nogle Oplysninger om Stilladset til den store Betonbuebro i Sverrig, der, da Betonstøbningen var naaet til Buens Top, den 9/4 1940 faldt ned, hvorved 18 Mand blev dræbt. Der blev i denne Anledning nedsat en Kommission, som dog endnu ikke har afgivet nogen Udtalelse.

Civilingeniør *Niels M. Plum* svarede Civilingeniør O. Frandsen, at det som Regel var Entreprenøren, der saa alle Udgifterne ved Foranstaltningerne til bedre Betonfremstilling, Vibrering o. l., medens Bygherren saa Besparelserne ved Mindreforbrug af Cement, mindre Dimensioner m. m.

Overingeniør, cand. polyt. *Knud Rasmussen* oplyste, at Standardforskalling af Staal bliver anvendt meget i Udlandet, hvor der endogsaa findes Specialfabrikker, der udelukkende beskæftiger sig hermed. Staalforskalling er dog meget dyr at anskaffe.

Ved Bygningen af Belvedere-Kloaken i 1925 anvendte Firmaet flyttelige Forme af Træ, der blev benyttet ca. 20—30 Gange og holdt sig godt.

Professor, Civilingeniør *Suenson* tilraadede at lade Støbeformen staa saa længe som muligt af Hensyn til Betonens Krybning og Svind samt at være paapasselig ved Samling af fabriksstøbte Dele; han havde f. Eks. fra Overdækning af Absalons Borg — Dækket blev baaret af fabriksstøbte Søjler — Erfaring for, at det var vanskeligt at faa Søjlerne til at staa saa nøjagtig i Flugt, som naar de støbtes paa Stedet.

Taleren forspurgte, om der forelaa Erfaringer vedrørende Svindrevner i Formeta-Dæk; Plader med hvælvet Underside havde Fordele, men eventuelle Svindrevner vilde opstaa i Hvælvingstoppen og kun der og derfor blive videre end jævne tykke Pladers.

Civilingeniør *H. Preetzmann* forespurgte, om Foredragsholderen kunde oplyse noget om Indflydelsen af Vibration paa Betonens Friktionsvinkel og paa Størrelsen og Retningen af dens Tryk mod Forskallingen, samt om Støbehastighedens Indflydelse paa dette Tryk.

Civilingeniør, Dr. techn. *Erik V. Meyer* havde set en Del Revner i Formeta-Dæk men mente, at Grunden kunde være, at der var for meget Ler i Gruset og at der var anvendt for vaad Støbning. Taleren havde set lignende Revner i almindelige Jernbetonkonstruktioner.

Ved en Forsøgsrække, der var udført i Forbindelse med Bygningskommissionen i København, var der ikke konstateret Revner i Formeta-Dæk men derimod nok i andre Konstruktioner udført paa almindelig Maade.

Professor, Civilingeniør *Suenson* mente dog, at det maatte være gunstigt for Revnedannelsen, at Konstruktionen havde konstant Tykkelse.

Civilingeniør, Dr. techn. *Erik V. Meyer* havde ogsaa ventet Revner ved Formeta-Dækket, men ved den omtalte Forsøgsrække blev der ikke konstateret saadanne.

Foredragsholderen, Overingeniør, cand. polyt. *Halfdan-Nielsen* svarede Civilingeniør O. Frandsen, at en økonomisk Grænse for Glideforskalling ikke paa Forhaand kan fastsættes, men han havde dog Erfaring for, at den ikke var økonomisk ved Silohøjde paa 13—14 m, hvorimod den havde vist

sig økonomisk ved et Arbejde paa 5 Siloer af 25 m Højde. Grænsen for Hældningen, inden det er nødvendigt at anvende Overforskalling, kan ikke opgives, da den meget afhænger af Betonens Konsistens.

Til Civilingeniør A. J. Moe bemærkedes, at Entreprenørerne for Tiden var nødt til at tage Forbehold om Tidsfristerne paa Grund af Vanskelighederne ved Fremskaffelse af Materialer.

Details af større Stilladser og Stød i Stolper var udeladt af Hensyn til den begrænsede Tid.

Vedrørende Tryk paa Forskallingen fra vibreret Beton anvendtes i Almindelighed de i Professor Suensons Jernbeton angivne Værdier, idet man dog maatte være særlig agtpaagivende. Det henstilledes, at der paa dette Omraade blev udført et saavel teoretisk som praktisk Forskningsarbejde.

Til Slut ønskede Foredragsholderen, at flere Ingeniører vilde meddele deres Erfaringer, saaledes at disse kan komme en større Kreds til Gode.

Mødelederen, Civilingeniør, Dr. techn. *Chr. Ostenfeld* bragte Foredragsholderen og Diskussionsdeltagerne en Tak.

BETONARBEJDETS UDFØRELSE

Af Civilingeniør *S. Friis Jespersen*.

Indledning.

Af vore vigtigste Byggematerialer indtager Beton den Særstilling, at den fremstilles og gives endelig Form paa Arbejdspladsen under de Vilkaar, som nu engang maa herske der, — og det er baade en Styrke og en Svaghed. En Styrke fordi det muliggør de mangfoldige Konstruktionsforme, som vi nu kender og forhaabentlig i Fremtiden kommer til at kende, og som gør Beton til et saa vidunderligt Materiale at arbejde med — og en Svaghed fordi der netop paa en Arbejdsplads saa let syndes mod de fundamentale Love for dens Fremstilling.

Tænker vi paa, under hvilken Kontrol f. Eks. Jern fremstilles fra Højovnen og til de færdige Profiler udvalses, saa maa vi vist erkende, at der er en ganske betragtelig Forskel paa den Ensartethed og Sikkerhed, hvormed dette Materiale fremstilles og den, hvormed den almindelige Beton til Jernbeton i Dag præsteres.

Forklaringen herpaa ligger naturligvis i, at Beton i Almindelighed maa fremstilles paa Arbejdsplads, og af højst varierende Materialer, og at en mere videnskabelig Kontrol saavel med disse Materialer som deres Sammensætning og Blandingen er vanskelig at faa udført paa en Arbejdsplads — vanskeligere end ved et Staalværk; men Vanskelighederne er dog ikke større, end at de for en stor Del kan overkommes, og der er her en Opgave, hvor Ingeniørerne maa gaa i Spidsen, og først naar vi er saa vidt, at Kendskabet til, hvorledes man med stor Sikkerhed fremstiller en Beton med opgivne Egenskaber, er almindeligt udbredt, da kan vi gøre os Haab om at naa videre og komme ind i en yderligere Udvikling.

I hvilken Retning en saadan Udvikling vil gaa, er jeg ikke i Stand til at sige, men jeg vil dog nævne, at baade Dr. Ostfeldts og Civilingeniør Plums Foredrag nok kan sætte Fantasien i Sving i saa Henseende.

Jeg ser det da som min Opgave i Dag at slaa til Lyd for en større

Sikkerhed paa vore Arbejdspladser i at fremstille Beton med givne Egenskaber, det som vi i Almindelighed, maaske med et noget misvisende Navn, kalder Kvalitetsbeton.

Jeg maa nu bede om Undskyldning for, at jeg i en kortere Tid kommer til at nævne mangt og meget, som sikkert er alle d'Herrer bekendt, og som ogsaa har været nævnt af Professor Suenson, men jeg mener, det er hensigtsmæssigt lige at rekapitulere de almindelige Krav til Betonmaterialerne og til det Blandingsforhold, der maa anvendes for at naa det ønskede Resultat.

Almindelige Bemærkninger til Betonmaterialer.

Af de Ingredienser, hvoraf Betonen sammensættes, er der her ikke megen Anledning til at komme ind paa

— Cementen, der leveres os som en Standardvare af stor Ensartethed. Minde om, at Cementen er den dyreste af Betonens Bestanddele, vil jeg dog. Med københavnske Priser af i Dag andrager Udgiften til Cement 65 à 70 % af den totale Materialeudgift til alm. Beton i Husbygningskonstruktioner, hvoraf man ser, at det nok er Umagen værd at beskæftige sig med, hvor lidt Cement man kan nøjes med at anvende for at opnaa det ønskede Resultat.

— Vandet skal jeg ogsaa forbigaa i Tavshed og kun minde om, at selv om det er saa billigt, at jeg ikke har medtaget det i de Priser, jeg lige nævnte, saa er dog ogsaa en Besparelse at hente ved at spare paa det mest muligt. (Mindre Vand, større Styrke, mindre Svind).

— Tilslagsmaterialerne Sand og Sten kunde der derimod være Grund til at hæfte sig lidt ved. De almindelige Krav til Sandets og Stenenes Kvalitet skal jeg ikke trætte Dem med at opremse, derimod er der Anledning til at fremhæve den Betydning, som en god Kornsammensætning har baade paa Styrke og Støbelighed.

Endvidere vil jeg minde om det bekendte Forhold, at Sandet udvider sig betydeligt paa Grund af Fugtighed. Medens tørt Sand omtrent vejer ca. 1450 kg/m³, saa vil blot 2 % Vandindhold formindske Rumvægten til ca. 1200 kg/m³.

Cement + Vand, Kitmassen, skal for at faa en tæt Beton kunne udfylde Hulrummene i Tilslagsmaterialerne, og det er derfor klart, at en Gradering af disse, med Minimum af Hulrum, vil kræve det mindste Cementforbrug og derfor være mest økonomisk.

Almindelige Bemærkninger angaaende Valg af Blandingsforhold.

Medens man relativt let kan afgøre, om forhaandenværende Betonmaterialer er egnede eller ikke til den Beton, man vil fremstille, er Fastlæggelsen af et Blandingsforhold et ulige vanskeligere Arbejde.

Jeg vil i det følgende udelukkende tænke paa Beton til almindelig Jernbeton paa Landjorden. Ved Fastlæggelsen af et Blandingsforhold er der da fire Hovedhensyn at tage, nemlig Hensynet til

1. Betonens Tæthed
2. » Bearbejdelighed
3. » Styrke
4. » Pris.

Kravet om Tæthed, der tilsikrer Rustbeskyttelse af Armeringen, er opfyldt, naar Hulrummene i Tilslagsmaterialerne med et passende Overskud er udfyldt af en Kitmasse (d. v. s. en Blanding af Cement og Vand), der i sig selv er tæt.

Kitmassen skal derfor være til Stede i Betonen i saadant Omfang, at Rumfanget af Kitmassen er lig Hulrummene i Tilslagsmaterialerne + et Overskud, der mindst skal være:

5 %	hvis	Betonen	vibreres	
10 %	»	»	stemples	maskinelt
20 %	»	»	»	for Haanden

Kitmassen skal endvidere for i sig selv at blive tæt have et Vandcementtal paa højst 0,65, naar der anvendes almindelig Portlandcement, og 0,8 naar der anvendes hurtigthærdende Cement.

Kravet om Bearbejdelighed varierer ofte indenfor de enkelte Af-snit af samme Bygværk. Skulde det vise sig, at den Betonblanding, der opfylder førnævnte Krav til Tæthed, bliver for stiv for Udstøbning, maa man anvende større Vandcementtal, hvis man da ikke allerede er gaaet til Grænsen for Tæthed, eller mere Kitmasse, d. v. s. større Fyldningsgrad.

Om det Blandingsforhold, man saaledes er kommet til ud fra Krav om Tæthed og Støbelighed, vil give Beton af den ønskede Styrke, kan man undersøge ved at anvende enten Feret's, Abrams-Grafts eller den af Professor Suenson nævnte Formel, ved Hjælp af hvilke man med Tilnærmelse kan regne sig til Betonens Styrke.

Disse Formler er imidlertid lidt tunge at arbejde med, og man kan derfor ogsaa med god Tilnærmelse gaa ud fra, at man ved Anvendelse af

Vandcementtal	0,3	kan	forvente	Brudstyrke	paa	600-650	kg/cm ²
»	0,4	»	»	»	»	500-550	»
»	0,5	»	»	»	»	400-450	»
»	0,6	»	»	»	»	320-380	»
»	0,7	»	»	»	»	260-320	»
»	0,8	»	»	»	»	210-270	»

Det sidste af de fire Hovedhensyn, nemlig Økonomien, kan man først og fremmest tage ved rigtigt Valg og Gradering af Tilslagsmaterialerne, og dernæst ved ikke at anvende større Mætningsgrad og lavere Vandcementtal end nødvendigt for Bearbejdning, Tæthed og Styrke.

Udbudsbetingelser.

Det kunde nu have sin Interesse at se paa, hvordan man som projekterende Ingeniør skal affatte sine Betingelser for Betonfremstilling, se paa, hvilke Krav man med Rimelighed kan og bør stille til Detaillerne ved Arbejdets Udførelse og til Bestemmelser om Kontrol under Arbejdets Gang.

I Virkeligheden er det en stor Kunst at skrive Betingelser, i hvert Fald naar man skal gøre det rigtigt. Det er endvidere et overmaade vigtigt Omraade af stor økonomisk Rækkevidde, idet disse Betingelser fastlægger hele Retsforholdet mellem Bygherre og Entreprenør og endelig er det et Felt, der, om det gribes rigtigt an, skulde have en Mulighed for at bringe den Tilstand — man kunde ogsaa sige Stilstand — som Betonstøbning har i Dag, paa Gled fremover i en Udvikling, og det er jo den Side af Sagen, der særligt interesserer os her i Øjeblikket.

Det gælder da her, som iøvrigt overalt, hvor man skriver Betingelser for en Leverance, om at gøre sine Specifikationer saa klare og nøjagtige som overhovedet muligt, saaledes at der hos de Mennesker, der maaske skal give Tilbud paa Grundlag af disse Betingelser og senere udføre Arbejdet i Overensstemmelse hermed, paa intet Tidspunkt kan opstaa Tvivl om, hvad det er, der skal leveres, og om de nærmere Omstændigheder iøvrigt ved Leverancen.

Jeg kunde tænke mig at formulere Betingelser for Betonarbejdet saaledes:

1. Betonen skal være tæt, hvorfor Vandcementtallet ikke maa være større end 0,65 og 0,8 henholdsvis for Portlandcement og hurtighærdende Cement, og Mætningsgraden mindst 105, 110 eller 120 eftersom Betonen henholdsvis vibreres, stemples maskinelt eller for Haanden.
2. Betonens Styrke skal efter 28 Døgn mindst være f. Eks. 300 kg/cm² eftervist ved Prøvejælker.

Hvis det nu ikke var, som det nu engang maa være med Beton, at man først 28 Døgn efter dens Støbning kan konstatere dens Styrke, og hvis alle, der giver sig af med at blande Beton, var saa dygtige og samvittighedsfulde, som man kunde ønske sig det, saa behøvede man

i og for sig ikke at skrive mere, idet man herved har karakteriseret den ønskede Vares Egenskaber entydigt.

Det er desværre nødvendigt at gøre ikke saa faa Tilføjelser for at kunne være nogenlunde sikker paa, at man faar det ønskede Resultat. Saaledes bør man stille bestemte Krav til Betonmaterialerne, Cement, Vand og Tilslagsmaterialer.

I Jernbetonnormerne er der givet visse Betingelser, som man ofte kan nøjes med at henvise til; i mange Tilfælde vil det sikkert være klogt at supplere disse Bestemmelser med nøjere Krav om

a. Korn sammensætning, saaledes at man forlanger bestemte Intervaller, indenfor hvilke Kornkurver for Sand, Sten og Sand + Sten skal ligge. Samtidigt maa man klarlægge, at Entreprenøren skal holde Kontrol med Korn sammensætningen, ikke alene ved den første Levering, men ogsaa under Arbejdets Gang ved nye Leverancer.

b. For Sandets Vedkommende maa man yderligere forlange Kontrol med Fugtighedsindholdet paa ethvert Tidspunkt, saaledes at man altid er klar over den totale Vandmængde i Blandingen, og

c. for at kunne holde Rede paa Mætningsgraden maa man endelig forlange Undersøgelse af Rumvægt og Middel-Kornvægtfylde af de sammenblandede Tilslagsstoffer.

Med Hensyn til Blandingsforhold bør man stille Entreprenøren frit. I høj Grad vejledende kan et Sæt Proportioneringskurver, udarbejdet af Dr. Meyer og offentliggjort sammen med en Redegørelse for Grundlaget, paa hvilket de er konstruerede, i C. T. O.s Betonteknik Nr. 3 Aargang III.

Disse Kurver er vist paa Fig. 1, og jeg skal nu angive, hvorledes de skal anvendes, hvis man staar overfor at skulle vælge et Blandingsforhold, der giver en tæt Beton med Styrke 300 kg/cm^2 .

Kurverne anvendes saaledes, som angivet ved de tykke Pile. Man følger den vandrette Linie for Stenmaterialernes Kornvægtfylde indtil Skæring med den Skraalinie, der angiver Stenmaterialernes Rumvægt, og fra dette Skæringspunkt gaar man lodret ned, til man skærer Kurven for den ønskede Mætningsgrad. Her aflæser man nu sit Hjælpetal. I det fremhævede Eksempel er Hjælpetallet ca. 32,2. De vandrette Hjælpetalslinier gaar paa selve Proportioneringskurven over i et vifteformet Liniebundt, hvor Hjælpetallene igen er anført. Man følger nu den Skraalinie, der svarer til Hjælpetallet, og paa denne Skraalinie kan aflæses alle de forskellige Blandingsforhold, Vandcementtal og Cementmængder, der med de foreliggende Stenmaterialer kan frembringe en Beton med netop den ønskede Mætningsgrad.

Det er illustrerende at følge Skraalinen tværs over Proportioneringsbladet:

Proportioneringskurver
for Beton

Stenmaterialer = Sand + Grus + Sten

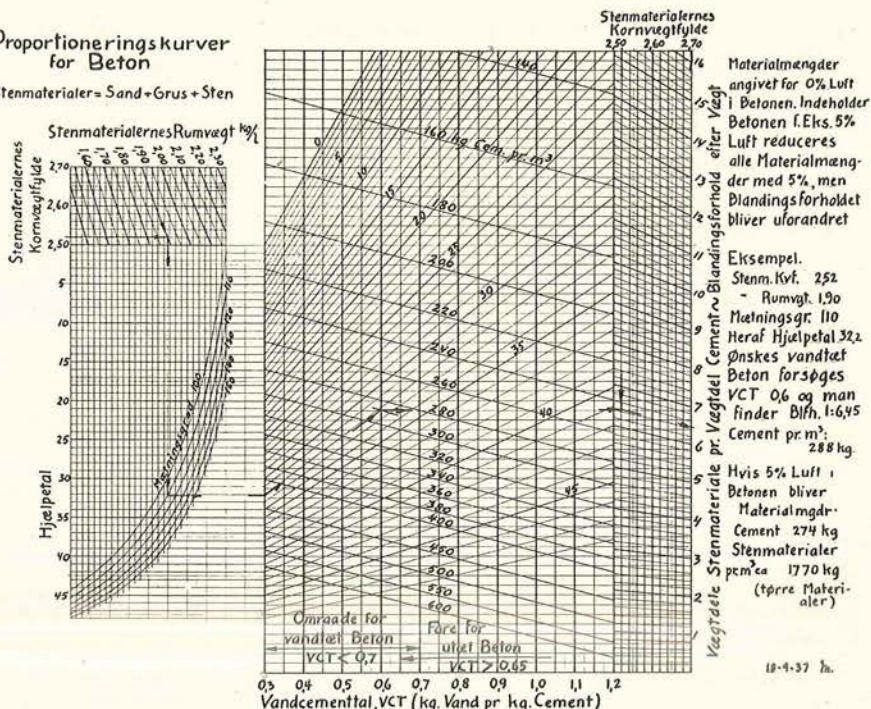


Fig. 1.

Ved Vandcementtal 0,3 er Cementmængden ca. 425 kg/m³

»	»	0,6	»	»	»	288	»
»	»	1	»	»	»	200	»

Cementmængden falder altsaa med stigende Vandcementtal, og samtidig stiger de Antal Vægtdele Stenmateriale, der kan anvendes pr. Vægtdel Cement, idet Blandingsforholdet læses ved fra det Punkt paa Skraalinen, hvor man er standset, at gaa ud til højre, indtil Skæring med den lodrette Linie svarende til Stenmaterialernes Kornvægtfylde.

Skal man nu fremstille tæt Beton, maa man imidlertid ikke uden nærmere Kendskab til Cementens Karakter komme højere end Vandcementtal 0,65 og skal helst bruge et noget lavere Vandcementtal. I det viste Eksempel er man standset ved Vandcementtallet 0,6 og finder her Blandingsforholdet 1:6,45 og Cementmængde pr. m³ 288 kg. Man forsøger derefter at fremstille en Blanding efter dette Blandingsforhold, og eftersom denne Blanding har en passende Konsistens, er Blandingsforholdet anvendeligt. Er Blandingen for stiv, kan man gaa videre ud ad Skraalinen og forhøje Vandcementtallet til 0,65 eventuelt 0,7. Ønsker man imidlertid at blive staaende ved Vandcementtallet 0,6, maa man bevæge sig ned ad Linien for Vandcementtal 0,6

og tilsætte mere Cement, hvorved Blandingsforholdet bliver »federe« og Mætningsgraden større. Ved at gaa væk fra den Linie, der svarer til ens Hjælpetal, forandrer man Mætningsgraden. Forudsætter man nu, at man har fundet en passende Konsistens, f. Eks. ved 320 kg/m^3 og et Blandingsforhold i det foreliggende Tilfælde 1:5,5, kan man finde Mætningsgraden ved at følge den Skraalinie, man nu ligger paa, tilbage, og man finder da, at man har Mætningsgraden 130. Med Vandcementtallet 0,6 skulde man, efter hvad jeg nævnte i Begyndelsen af mit Foredrag, have god Udsigt til at faa den ønskede Styrke af 300 kg/cm^2 og med dette Blandingsforhold:

1 kg Cement til 5,5 kg Tilslagsmaterialer
og med Vandcementtal 0,6

støber man nu mindst 4 Prøvelegemer, af hvilke to prøves efter 7 Døgns Forløb og to efter 28 Døgns Forløb. 7 Døgns Styrken skal mindst være 70 % af den forlangte Brudstyrke efter 28 Døgns Forløb. Viser det sig, at Betonen har den krævede Styrke, fastlægges Blandingsforholdet som det, der skal være gældende for de paagældende Materialer.

Blandingsforholdet angives som: 1 kg Cement til 5,5 kg Tilslagsmaterialer med Vandcementtal 0,6. Endvidere opgives Forholdet mellem Sand og Sten.

I sine Betingelser kunde man derfor angaaende Blandingsforhold passende skrive omtrent saaledes:

»For at paavise, at den Beton, Entreprenøren agter at anvende, har den forlangte Styrke, skal Entreprenøren senest 8 Dage forinden Betonstøbningen paabegyndes støbe Prøvelegemer af de godkendte Materialer. De to Prøvelegemer prøves efter 7 Døgns Forløb og de to efter 28 Døgns Forløb. 7 Døgns Styrken skal mindst være 70 % af 28 Døgns Styrken, og for ingen af Prøvelegemerne maa Styrken efter 28 Døgn være mindre end 300 kg/cm^2 .

Viser dette sig at være Tilfældet, fastlægges dette Blandingsforhold som det, der skal være gældende for de paagældende Materialer.«

Angaaende Proportioneringskurverne skal jeg tilføje, at de ogsaa kan bruges til at finde ud af de Materialmængder, der medgaar til 1 m^3 Beton.

I det med Pilene angivne Eksempel finder man pr. m^3 :

Cement	288 kg
Stenmaterialer $6,45 \times 288$...	1856 »
Vand	$0,6 \times 288$... 173 »

eller 2317 g/l.

2317 kg/m^3

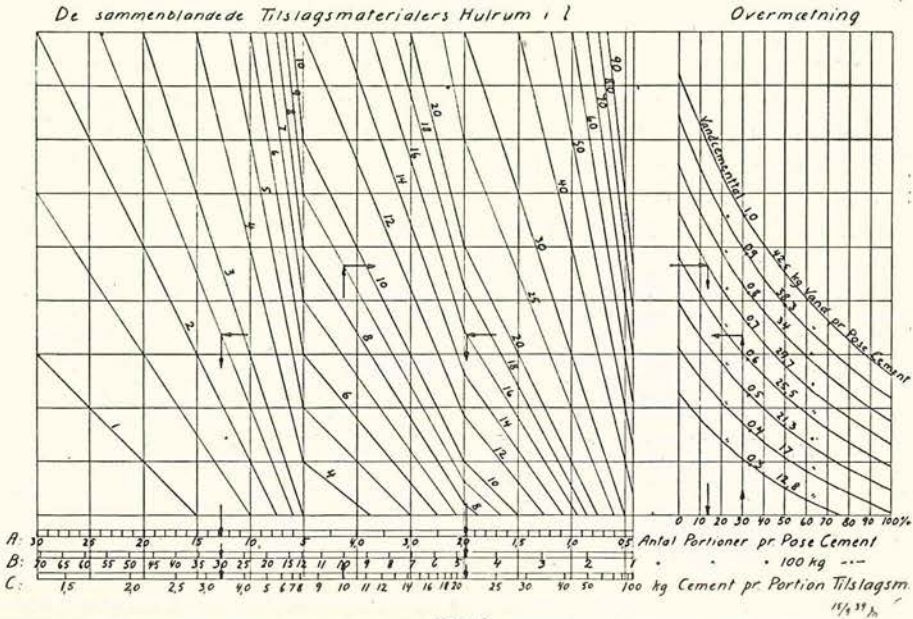


Fig. 2.

Findes Vægten nu at være f. Eks. 2175 g/l, er der altsaa

$$1000 \cdot \frac{2175}{2317} = 939 \text{ cm}^3$$

tæt Beton, medens Resten — 61 cm³ — er Luft. Blandingen indeholder altsaa 6,1 % Luft, og Materialmængderne kan reduceres med 6,1 %. Materialmængderne i Blandingen bliver derfor:

Cement pr. m³ ... 271 kg
Sand og Sten 1745 kg

Udmaaling af Blandingsforholdet forudsætter Vejning af Tilslagsmaterialerne; jeg skal om et Øjeblik komme nærmere ind herpaa, men vil dog forinden vise Dem et andet Sæt af Dr. Meyers Kurver, Fig. 2, som kan anvendes, hvor Udmaaling af Tilslagsmaterialerne foregaar efter Rumfang, — det Dr. Meyer her har kaldt »Portioner«. Man gaar ind i Diagrammet med Mætningsgrad, Vandcementtal og Hulrum pr. Portion sammenblandede Tilslagsmaterialer og aflæser da:

Antal Portioner Tilslagsmaterialer pr. Pose Cement eller
» » » » 100 kg » eller
kg Cement pr. Portion Tilslagsmateriale.

Jeg finder saavel dette som det forrige Kurvesæt meget praktiske i det daglige Arbejde paa en Arbejdsplads og vil gerne her gøre opmærksom paa deres Eksistens.

Vi er nu kommet saa vidt, at vi er blevet enige med Entreprenøren om, hvilket Blandingsforhold, der skal anvendes med de forhaanden-værende Materialer — og kan derefter gaa over til at se paa, hvad man skal forlange med Hensyn til Blandingsforholdets Udmaaling, en Operation der ogsaa er af afgørende Betydning for et ensartet Resultat.

Jeg tager ikke i Betænkning at slaa fast, at en blot nogenlunde ensartet Beton aldrig vil kunne opnaas ved Anvendelse af de nok saa kendte Metoder, hvor Tilslagsmaterialerne skovles i Trillebøre, hvor der ikke tages Hensyn til Sandets Rumfangsvariation ved Fugtighed, og hvor Vandet tilsættes efter Forgodtbefindende af den Mand, der passer Blandemaskinen.

Den Variation, man under disse Forhold faar i sine Prøvebjælker, berettiger til denne Paastand.

Der er vist derfor ikke andet for end ogsaa at give nøje Forskrifter for, hvordan man vil have sit Blandingsforhold udmaalt, eventuelt afvejet.

Forinden jeg gaar over til et Forslag i saa Henseende, vil jeg vise Dem nogle Billeder af Blandeanlæg, hvor man med passende Sikkerhed kan afmaale eller afveje sine Tilslagsmaterialer. Saadant Materiel forefindes almindeligt i hvert Tilfælde i Amerika, og jeg ser ikke, hvorfor tilsvarende Materiel ikke ogsaa skulde kunne vinde Indpas her i Landet.

Fig. 3 viser et saadant Anlæg.

Ved Hjælp af en Gribeskovl, monteret paa en Kran paa Lærfødder, bringes Tilslagsmaterialerne, Sten og Sand, op i en Silo, der med en Væg er delt i to Afdelinger, een for Sand og een for Sten. Har man flere Graderinger, kan Siloen være delt i et tilsvarende Antal Rum.

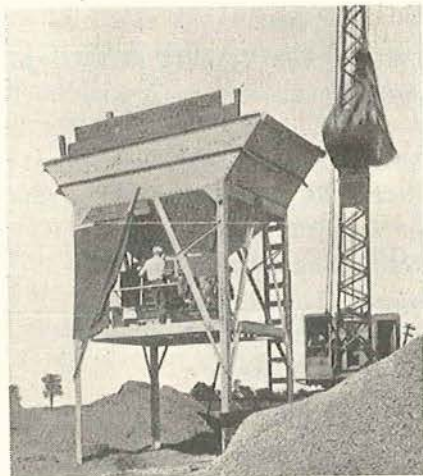


Fig. 3.

Ved Siloens Udløb er Maaleapparatet, her en Vejesilo, anbragt, og der er bygget en Platform for den Mand, der betjener Vægten. I dette Tilfælde foregaar Udtømmning fra Vægten i Automobile, der kan bakke ind under Tragtene paa Vejebeholderne, idet Anlægget her betjener en Blandemaskine ved et Vejanlæg, men man kan ogsaa indrette det saa-

ledes, at Vejebeholderne tømmer direkte ud i Blandemaskinen, der da er anbragt lige nedenunder Vægtene. Stativet, der bærer Siloanlægget, udføres almindeligt af Staal og er sammenboltet saaledes, at det let kan demonteres og flyttes.

Silovæggene er her af Plade, men de udføres ogsaa af Træ.

Til Afvejning kan man anvende Beholdere, der er beregnet til Afvejning af kun een Slags Materialer, altsaa enten Sand eller Sten. Saadanne Typer, hvoraf man ser et Eksempel paa Fig. 4, anvendes som Regel, hvor der anvendes

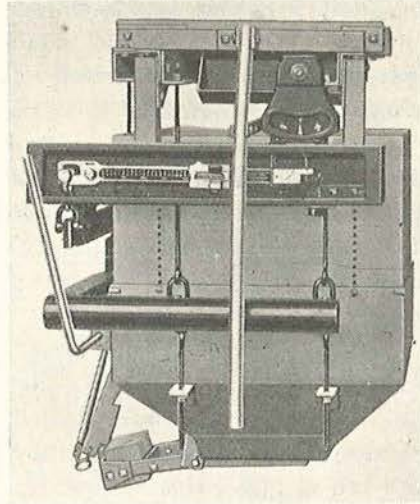


Fig. 4.

adskilte Materialesiloer; er Materialesiloen dobbelt, som paa Fig. 3, anvendes en dobbelt Type.

En saadan Vejesilo, der boltes tæt op til Bunden af Materialesiloen, bestaar af

- et tæt og hurtigt virkende Lukke, der betjenes ved Hjælp af et Haandtag,
- en Silo, der kan varieres i Størrelse, idet Underdelen kan skydes op udenom den øvre Del,
- en Balance, paa hvilken man kan indstille det Kvantum, man ønsker udvejet, samt
- et Lukke for Udtømning af det afvejede Kvantum Materiale.

Hele Apparatet er en Enhed, der forsendes og monteres samlet.

Naar man skal arbejde med denne Vægtsilo, stiller man først de forskydelige Vægt paa Balancen paa det Antal Kilo, man skal have, dernæst aabnes Lukket til Materialsiloen, og Sandet eller Stenene styrter ned i Vejesiloen. Naar der omtrent er kommet saa meget Materiale ned i Vejesiloen, som man skal have, begynder Viseren paa denne Registrator, der ved tom Silo staar paa Undervægt, at slaa ud og adviserer saaledes Betjeningen om, at nu har han snart det ønskede Kvantum i Vejesiloen. Han begynder derfor at lukke for Tilstrømmingen, og naar Balancen spiller ind, lukkes helt.

Dernæst tømmes Siloen ved at tage i Betjeningshaandtaget. Lukning sker automatisk, naar Haandgrebet slippes, og nu er Vejesiloen klar til næste Udvejning.

I Stedet for at veje sine Tilslagsstoffer kan man ogsaa med Udsigt

til godt Resultat afmaale dem, naar Maalebeholderne er saadan indrettet, at de udelukker Fejl i det afmaalte Kvantum.

Man ser paa Fig. 5 en Maalebeholder, der boltes tæt op til Materialsiloens Bund. Dens Volumen kan ændres og justeres, idet Underdelen er ophængt i Kæder, der holdes af Fløjtmøtriker.

Ved Betjeningen aabnes først for Lukket til Materialsiloen; dette Lukke er udført som et drejeligt Skydespjæld, der svinges ud til Siden ved at tage i Haandtaget. Naar Beholderen er helt fuld, tvinges Spjældet tilbage, idet det skærer sig igennem Materialerne, og

man har da en helt fuld Beholder, der tømmes ud ved at aabne Bundlukknet.

To saadanne Beholdere kan kombineres, saaledes at Spjældene betjenes samtidigt ved Fyldning og Tømning.

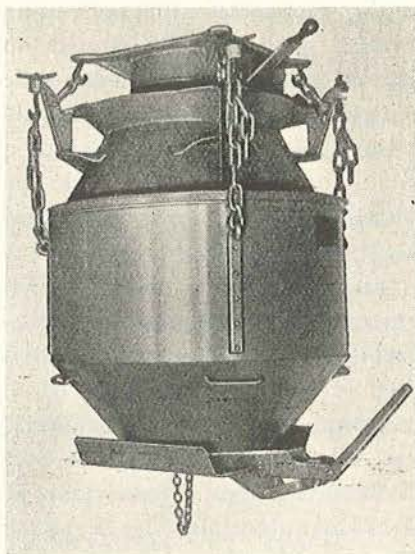


Fig. 5.

Foruden Tilslagsmaterialerne maa Vandet udmaales nøje.

Paa Fig. 6 ser man en Vandcisterne, der er forsynet med Overløb, der er indstilleligt, saaledes at man faar en sikker Afmaaling af Vandmængden. I de sidste Aar er der bl. a. af Coehring bragt Cisterner frem, der bringes til Udtømning ved,

at man starter en Hævertvirkning, altsaa den samme Tanke som ved en W. C.-Cisterne; naar Hæverten brydes, saa Luften kommer ind, standser Skylningen, og ved passende Anordninger kan man faa indstillet netop den Vandmængde, der ønskes. Disse Cisterner har ydermere den store Fordel, at de er hurtigt tømmende, og derfor bekvemme at arbejde med.

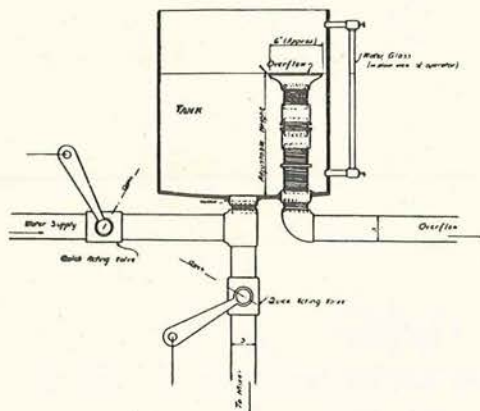


Fig. 6.

Vi skal nu vende tilbage til Betingelserne. Som De erindrer,

begyndte jeg med at give en Karakteristik af den Beton, der skulde leveres.

Dernæst blev der stillet visse Krav til Betonmaterialerne, og endelig blev der fastlagt et Blandingsforhold, efter at nogle Forsøg var udført med de valgte Materialer.

Man kan derefter gaa over til at give Regler for Blandingsforholdets Udmaaling. Jeg kunde f. Eks. tænke mig at skrive:

»De Mængder af Sand og Sten, der indgaar i hver Blanding, skal afmaales hver for sig ved Vejning.

De Mængder af Tilslagsmaterialer, der anvendes til hver Blanding, skal nøjagtigt svare til en eller flere Poser Cement à 42,5 kg. Mængder, der kræver Brøkdele af en eller flere Poser Cement, maa ikke anvendes.

Det Materiel, der anvendes, skal være saadan indrettet, at man paa en bekvem Maade kan ændre Vægtmængderne, eftersom Materialernes Rumvægt forandres ved Fugtighed.

Cementen tilsættes i hele Poser Cement à 42,5 kg.

Vejeanordningen skal være saadan indrettet:

- at Vægten let kan justeres,
- at eventuel Overvægt let kan fjernes fra de Beholdere, der rummer Tilslagsmaterialerne under Vejningen,
- at der foruden Balancen forefindes en grovere Registrator,
- at de Beholdere, der rummer Tilslagsmaterialerne, under Vejningen let kan varieres i Volumen,
- at alle Betjeningshaandtag skal være saadan anbragt, at de er indenfor bekvem Rækkevidde af den Mand, der passer Vægten, og at Skalaen og Registratoren skal være let synlig fra det Sted, hvor Betjeningen staar, naar Beholderen tømmes.

Vand skal tilsættes Blandingen fra en sikkert virkende og indstillelig Beholder, der nøje og hurtigt afgiver det Kvantum Vand, der er beregnet til hver Blanding.

Entreprenøren skal indrette et Arbejdsplads-Laboratorium nær Blandeanlægget og vedligeholde det til Brug for den Tilsynsførende. Den tilsynsførende skal have Lejlighed til at undersøge Tilslagsmaterialerne, inden de anvendes, saaledes at nødvendige Korrektioner i Blandingsforholdet kan blive foretaget og Vægtens og Vandcisternens Indstilling ændret i Overensstemmelse hermed.«

Nogen absolut Betingelse for at naa et godt Resultat, er det ikke at veje sine Tilslagsmaterialer; man kan ogsaa komme pænt igennem, dersom man anvender en Udmaaling efter Rumfang, men det maa

da være en absolut Betingelse, at Arrangementet er saadan indrettet, at der hverken kan komme for meget eller for lidt i hver Blanding. Endvidere maa Maalebeholderne være let indstillelige i Størrelse, og i det hele indrettede som f. Eks. paa en af de ovenanførte Figurer.

Nu vil man maaske sige, at dette var nogle skrappe Betingelser, man ikke med Rimelighed kan stille, at det vil blive for dyrt at faa dem gennemført, og maaske har man yderligere Kritik. Ja! det er unægtelig at gøre mere ud af det, end man i Reglen gør herhjemme; det maa indrømmes, — men det var jo ogsaa Meningen, at vi skulde se at blive dygtigere, og jeg tror ikke, man kan slaa meget af paa Fordringerne, hvis man vil naa det helt gode Resultat:

Sikkerhed i at fremstille Kvalitetsbeton.

Øg med Hensyn til Bekostningen, da vil jeg mene, at den Besparelse, der indvindes ved ikke at bruge mere Cement end netop fornødent til at opnaa det tilsigtede Resultat, for en stor Del, om ikke helt, vil dække de forøgede Udgifter til Materiel og Kontrol.

Stiller Betingelserne saaledes store nye Krav til Entreprenøren, stiller de ogsaa store — og nye — Krav til den Tilsynsførende, og det er der i denne Forbindelse ogsaa Anledning til at beskæftige sig lidt med.

Det bør saaledes være den Tilsynsførendes Pligt daglig at analysere Tilslagsmaterialerne, bestemme Kornkurver, Rumvægt, Kornvægtfylde og Fugtighedsindhold.

Paa Grundlag heraf udregnes Korrektioner i det fastlagte Blandingsforhold, og naar Korrektionerne er udregnet stilles om paa Vægtens Balance og Vandcisternen.

Slumpprøver, der bør foretages ofte i Dagens Løb, giver gode Fingerpeg om eventuelle Variationer i Tilslagsmaterialernes Fugtighed.

Hvis Tilslagsmaterialerne udmaales efter Rumfang stilles paa tilsvarende Maade om paa Maalebeholderne.

Der føres daglig Kontrol med, at Vejeanordningen er rigtig justeret, ved at hænge justerede Lodder paa Beholderne.

Der holdes Kontrol med det daglige Cementforbrug, der sammenlignes med den dagligt udstøbt m^3 Beton.

Endelig maa den Tilsynsførende forestaa Støbning af Prøvelegemer og overvaage disses Lagring, Vanding og senere Knusning.

Over alle disse Arbejder føres der dagligt Rapporter paa dertil indrettede Skemaer, og et Eksemplar tilstilles Entreprenøren.

Vi har nu forhaabentligt faaet Betonen vel sammensat; tilbage staar Blanding, Udstøbning og Behandling efter Støbningen.

Selve Blandingen, der naturligvis bør foregaa paa Maskine, er der vist ingen Grund til at komme nærmere ind paa.

Blandingen bør vare mindst 2 Min.

Om Udstøbningen vil jeg gerne sige dette, at man kan ikke være omhyggelig nok med at faa Betonen bearbejdet, saaledes at man faar en tæt Støbning og mest muligt af Luften uddrevet.

Hvad dette betyder, faar man et klart Billede af, naar man har Lejlighed til at hugge gammel Jernbeton op. Man ser da næsten altid, at der under vandrette Jern er Hulrum, der enten kan skyldes Luftblærer eller dette, at Betonen er sunket sammen.

Der er et Par andre rent praktiske Ting, jeg gerne vil gøre opmærksom paa.

For det første, Betydning af Vanding af Forskallingen, navnlig om Sommeren. Forsømmer man dette, eller vander man ikke intensivt, suger Træet Vand fra Betonen. Dette er i sig selv uheldigt, men det medfører ogsaa, at man faar alle Hjørner revet løse. Dette skyldes, at Træet, naar det opsuger Vand fra Betonen, udvider sig og saa paa de svage Steder i Hjørnerne river dem over, saaledes at Hjørnerne gaar af, naar der afforskalles. Dette er et typisk Sommerfænomen og et kedeligt Forhold, der yderst vanskeligt lader sig reparere.

Endvidere vil jeg gøre opmærksom paa, at man, naar man støber Søjler op til Underkant af Bjælkerne, og det gøres som bekendt ret almindeligt, da maa man absolut ikke slutte Støbningen under Bjælkebunden. I Stedet bør man støbe et Par Centimeter højere (ved at slaa et Par Lister paa Bunden af Bjælkeforskallingen), for derved at udelukke at der samler sig Slam, som man ikke let senere kan komme til at fjerne.

Om Behandling af Betonen efter Støbningen blot dette, at Vanding er yderst nødvendig og næppe kan overdrives, samt at Konstruktioner med stor Spændvidde bør understøttes væsentligt længere end ellers nødvendigt — 3 à 4 Maaneder — for at undgaa plastiske Deformationer.

Til Slut har man bedt mig om at komme ind paa Spørgsmaalet om hvorvidt dette, at alle Betonarbejder — i hvert Fald i København — udføres i Akkord, medfører Vanskeligheder.

Jeg er ret sikker paa, at jeg ikke er den Rette til at udtale mig herom, men skal dog gerne meddele mine Indtryk af disse Forhold.

Akkordlønningerne har naturligvis medført, at den haandværksmæssige Interesse, Arbejderne i gamle Dage nærrede for deres Fag, i nogen Maade er fortrængt af Interessen i at faa mest muligt ud af Akkorden.

Der er vist ingen Tvivl om, at det, Arbejderne først og fremmest interesserer sig for, er, hvad der kan opnaas i Timefortjeneste, og at Hensynet til en stor Timefortjeneste vejer tungere til end Hensynet til godt og samvittighedsfuldt Arbejde.

At vi under dette System faar saapas godt Arbejde udført, som vi ofte faar, er i og for sig bemærkelsesværdigt, og jeg kan ikke lade være med at fremhæve, at der vist i faa Lande findes saa dygtige Jernbetonspecialarbejdere, som dem vi efterhaanden har faaet en stor Stab af. Dette Forhold tjener i lige Maade Entreprenører og Arbejderne til Ære.

Naar vi nu ser paa dette Forhold i særlig Relation til Betonarbejde, saa er det uden videre klart, at et Sjak Betonarbejdere er meget interesseret i at faa det størst mulige Betonudbytte pr. Dag; dette medfører, at det er i Sjakkets fælles Interesse, at de Folk, der skovler Tilslagsmaterialer i Blandemaskinen, ikke sparer paa Vægten i Trillebørene; en, to à tre store Skovlfulde i hver Trillebør mere, end der strengt taget skulde være, eller maaske endnu mere, vil forøge Antallet af m³ Beton pr. Dag og forbedre Akkorden, og det er forstaaeligt, at disse Folk hænger i med Nidkærlighed i saa Henseende.

Indfører man her en Veje- eller Maalemetode som før omtalt, har man en af Kilderne til Fejl i Betonen elimineret.

Paa lignende Maade med Vandtilsætningen: jo mere Vand, jo større Betonudbytte og jo lettere Støbning. Det maa altsaa være Blandemaskinens Passers første Pligt ikke at spare paa Vandet for derved at forbedre Akkordfortjenesten. — Ogsaa her vil Indførelsen af en Cisterne, der ikke tillader individuelle Sympatier hos Betjeningen, eliminere en Fejlkilde.

Jeg er ikke blind for, at Akkordsystemet iøvrigt for begge Parter, Entreprenør og Arbejder, byder saa store og øjensynlige Fordele, at man vist ikke skal ønske sig væk derfra. — Det har givet Arbejderne en hel anden Stilling end før; de føler sig som Entreprenører selv og holder til en vis Grad Justits indenfor sine egne Rækker, saaledes at den mindre flittige eller den, paa hvem Hænderne nu engang ikke sidder saa godt paa Skafterne, ikke faar Adgang til de gode Akkorder eller de gode Sjak. —

Den Praksis, der har udviklet sig, at en Mand ikke kan afskediges, hvis han staar i en Akkord, er et stort Minus, og derfor maa Entreprenørerne passe vel paa fra Begyndelsen at faa Sjakket sammensat af Folk, han kender.

Mit Syn paa dette Spørgsmaal er da dette, at Akkordsystemet for Aflønning af Folkene skal man kun være glad ved, men man bør samtidig ved Betonarbejder indføre saadant Materiel, at Betjeningsfejl

udelukkes, og dernæst maa Entreprenøren udvise yderste Omhu ved Udvalgelsen af sine Arbejdere og kun engagere Folk til Betonarbejder, der er Specialister, og hvis Kvalifikationer han kender.

Dette sidste er iøvrigt ikke noget specielt for Betonarbejder; det gælder vist i alle Livets Forhold og saaledes ogsaa for den, der skal skrive Betingelser for andre.

For dem gælder det, efter mine Erfaringer, først og fremmest om at vælge de rigtige Folk at skrive Betingelser for, og har man gjort det — saa har man gjort det første og vigtigste Skridt til at faa godt Betonarbejde.

DISKUSSION

refereret ved Civilingeniør *Otto C. Christensen*.

Diskussionsindlederen, Civilingeniør *R. A. Larsen* indledte med at sige, at den Opgave, man i Dag skulde drøfte, var, hvorledes de teoretisk rigtige Fremgangsmaader for Betonstøbning kunde overføres til Byggepladsen i en praktisk og økonomisk gennemførlig Form og dernæst, hvorledes man kunde sikre sig, at Arbejdet blev rigtigt udført.

Det var uheldigt, at Støbematerialerne Sten og Grus havde forskellige Betegnelser i de forskellige Egne af Landet. Det, vi paa Sjælland kaldte Støbegrus, kaldtes i Jylland Sand, medens Jyderne ved Grus forstaaer en Blanding af Sand og Sten.

Brugen af Grus med en god Kornkurve var ønskelig, men kunde her i Byen kun gennemføres, saafremt man kunde formaa Leverandørerne til at levere de rette ensartede Materialer.

Som det nu var, svingede de leverede Grusmaterialer fra fineste Sand til groft Grus iblandet Perlesten og Ærtesten.

Her var en Opgave for Ingeniørforeningen at søge de bestaaende Forhold forbedrede.

I Udbudsbetingelserne var ofte forlangt et mindste Cementindhold og Minimumsstyrke af Beton. Med de sædvanlige Arbejdsmetoder voldte det som Regel ingen Besvær med dette Cementindhold at opnaa den forlangte Styrke.

Ved at forlange et bestemt største Vandcementtal vilde man tvinge Entreprenøren til at interessere sig for en god Kornkurve, og det vilde ogsaa overfor Arbejderne have Betydning, at Betingelserne angav en Grænse for Vandtilsætningen.

Ingeniør *Larsen* omtalte derefter Norsk Ingeniørforenings Normer af November 1939, hvor man delte Betonen i 2 Kategorier — I Beton fremstillet efter Normalblandingsforhold og II Beton efter fri Sammensætning.

Beton i Normalblandingsforhold er delt i 4 Kvaliteter, A, B, C og D med varierende Blandingsforhold (efter Maal), Vandcementtal og Styrke. Kvalitet A er stærkest og mest modstandsdygtig, Kvalitet C svagest.

Ved Beton efter fri Sammensætning kan man frit vælge mellem Blan-

dingsforholdet, men Vandcementtallet skal fastsættes af en offentlig anerkendt Materialprøveanstalt. Der skal foretages Forhaandsundersøgelser af Styrken og Materialerne skal vejes. Byggepladslederen skal være fortrolig med Betonblanding saavel praktisk som teoretisk, ligesom det skal være muligt for Tilsynet at udøve en effektiv Kontrol af Betonens Sammensætning paa Byggepladsen.

Under disse Forhold tillades 15 % højere Spændinger end normalt.

Civilingeniør Larsen mente, at de af Foredragsholderen omtalte Apparater til Vejning af Materialerne vilde være for dyre og besværlige og udtalte, at efter hans Skøn vilde Betonen paa en Byggeplads, hvor der skulde

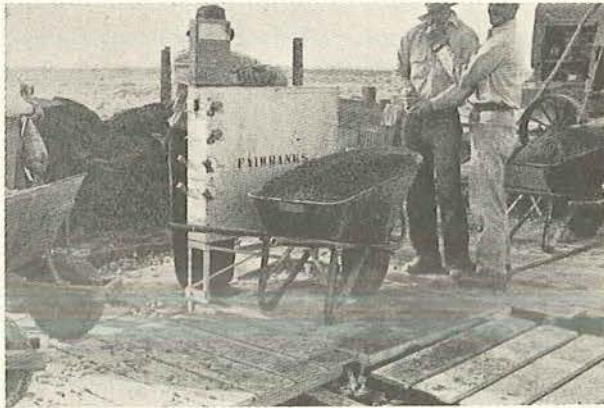


Fig. 1.

udstøbes 2000 m³ underkastet disse Maalemetoder blive ca. Kr. 7.— dyrere pr. m³ end normalt.

Der var forøvrigt mange Steder for knebne Pladsforhold til saadan et Anlæg, og danske Firmaer, der havde lignende Anlæg, havde kun haft ringe Mulighed for Anvendelse.

Maaling af Materialerne paa Byggepladsen var langt lettere at udføre end Vejning, og bestemte man samtidig Materialernes Fugtighedsindhold ved Inddampning, hvad enhver Formand kunde lære, fik man en fuldt ud tilfredsstillende Beton.

Maaling paa almindelig Bør var forkastelig, men man kunde anvende et Maalekar paa Ben med indstillelig øvre Kant.

Ved Blandingen af Betonen maatte man paase, at Blandetiden ikke var for ringe. 2 Minutter var formentlig passende for de almindelige Maskiner her i Landet, der blander med 25 Omdrejninger i Minuttet.

Vandtilsætningen burde ske automatisk, og det oplystes, at den af Foredragsholderen omtalte Vandmaaler med Hævertsystem kombineret med en Alarm for Blandetid kunde ventes paa Markedet her hjemme.

Ved Transport af Betonen fra Blandemaskine til Udstøbningssted vil Sten og Mørtel have Tilbøjelighed til at skilles ad.

Betonen skal derfor udlægges fra Bakke og maa ikke hældes direkte i Formen.

Til Sikring af en rigtig Gennemførelse af disse Krav og Kontrol af Maalekar etc. vil det være nødvendigt, at Entreprenøren har en kyndig

Formand, der ikke deltager i Akkorderne og som hele Dagen er paa Byggepladsen.

Efter Civilingeniør Larsens Erfaringer vil denne Mand let kunne indtjene sin Løn, og han er nødvendig, hvis man skal fremskaffe Kvalitetsbeton.

Civilingeniør *Niels M. Plum* udtalte, at Vejning af Sand var nødvendig paa Grund af Sandets store Volumenvariation ved varierende Fugtighed. Vejning af Materialerne kunde selv for smaa Byggepladser arrangeres bekvemt, som angivet i »Ingeniøren« 1940 Pag. B. 58 (Fig. 1).

Ved at indskyde et Wattmeter paa Blandemaskinen, kunde man optegne Energiforbruget grafisk og af dettes Variationer kontrollere 1) Blandingernes Antal, 2) Længde af Blandetid. 3) Betonens Konsistens (se Fig. 2).

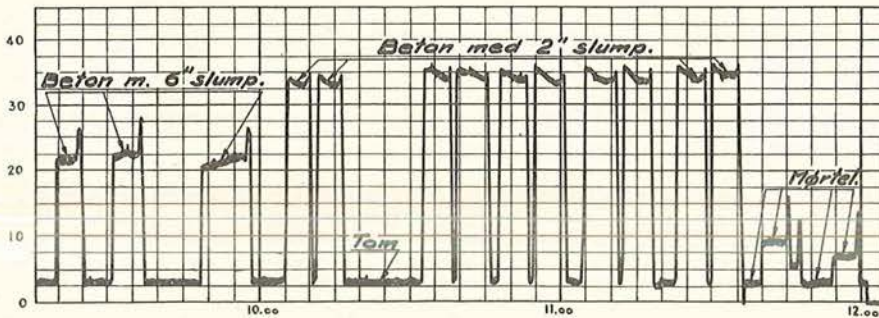


Fig. 2.

Civilingeniør Plum erkendte de af Foredragsholderen omtalte Diagrammers pædagogiske Betydning, men tvivlede paa deres generelle Anvendelighed. Fik man, i en Blanding bestemt af Diagrammet, for ringe Plasticitet, vilde det antagelig være rigtigere at vælge en anden Kornkurve end tilsætte mere Cement, og denne Mulighed fremgaar ikke af Diagrammerne.

Professor, Civilingeniør *Suenson* mente ikke, det var tilstrækkeligt at foreskrive en bestemt Betonstyrke, man burde samtidig kræve et bestemt Blandingsforhold. Det var pinligt for alle Parter, hvis man efter 28 Døgns Forløb konstaterede en for ringe Styrke, idet man af flere Grunde nødt vilde kræve Arbejdet gjort om.

Professoren var enig med Foredragsholderen i, at der bør føres en indgaaende Kontrol med Betonens Sammensætning og Fremstilling, men selv om en saadan føres, kan man næppe udelukke Tilfældigheder i en saadan Grad, at Sikkerhedsfaktoren kan reduceres meget stærkt.

Det vigtigste var at kontrollere Vand-Cement-Forholdet, og det var ikke gjort ved at have en Vandregulator paa Blandemaskinen; Regnvejr og andre Faktorer paavirker Grusets Vandindhold, saa Regulatoren maa indstilles paa vandfattigt Grus, og den fine Regulering af Konsistensen foretages af Maskinpasseren med en Vandspand.

Vil man forenkle Bygherrens Kontrol, kan man bruge Ahlers Vand-Cement-Vægt, der sikrer Forholdets Konstans. Valg af Grus, Blandingsforhold og Konsistens kan man da overlade til Entreprenøren og hans Arbejdere at blive enige om.

Endnu simplere vilde det være at sætte en Vandmaaler paa Ledningen til Blandemaskinen og lade Entreprenøren betale samme Pris for Vandet som for Cementen.

Det tætteste Grus er ikke det bedste, thi det er ikke Lejringsstæthedens i Maalekarret, men i Betonen, der bestemmer Kvaliteten. Et stort Sandindhold medfører stor Rumvægt, men ogsaa stort Vandbehov.

Foredragsholderens Ønske om at kunne købe Grus, hvis Kvalitet ikke varierer fra Dag til Dag, var naturlig og kunde formentlig opfyldes, uden at Betonen fordyredes.

Kurverne til Projektering af Betonens Sammensætning fjernede tilsyneladende alle Vanskeligheder, men de var baserede paa Grusets Rumvægt, og desuden maatte man inden Brugen vælge, om Overskuddet af Cementslam skulde være 0, 10 eller 20 %, og dette Valg krævede Forsøg.

Blanding efter Vægt bør foretrækkes, men en Fordømmelse af Blanding efter Maal vilde Professoren ikke tiltræde. Ved Brug af egnede Maalekar, specielt ved Brug af Inundator, kan Betonen blive tilfredsstillende ensartet.

Ikke Blandetiden, men Rotationernes Antal bestemte Blandingens Fuldkommenhed. Antallet burde vokse med Betonens Magerhed og Tørhed. Hvis Maskinen var god og Betonen cementrig, vilde plastisk Beton ofte kunne blandes tilfredsstillende i Løbet af 20 Rotationer, regnet fra det Øjeblik, da samtlige Materialer er fyldt i Maskinen, medens flydende Beton kunde nøjes med 15.

Civilingeniør, Dr. techn. *Erik V. Meyer* vilde gøre opmærksom paa, at selvom det var rigtig at afdække Betonen for at holde den fugtig, skulde man om Vinteren være varsom med at anvende Sand, idet det ved indtrædende Frost kunde give Anledning til Frostskade, da Sandet forhindrede Fordampning.

Til Civilingeniør Plum vilde Dr. Meyer sige, at ved Benyttelsen af de af Foredragsholderen omtalte Kurver var Kornkurven for Materialerne forinden fastlagt.

Fandt man da ved at prøve Betonen for ringe Bearbejdelse, maatte man tilsætte mere Cement. Det man skønnede var Overmætningsgraden, og med nogen Øvelse gik det let.

Til Civilingeniør Larsens Omtale af de norske Normer vilde han bemærke, at disse var det danske Normudvalg bekendte.

Til Civilingeniør Plums Omtale af Sandets Rumvægtsvariation bemærkede Doktor Meyer, at vel varierede den med Sandets Fugtighed, men indenfor de sædvanlige Fugtighedsgrader var Variationen ikke større, end man godt kunde tillade sig at maale Sandet i Stedet for at veje det. Selv de tyske Bestemmelser, der foreskrev en Vejning af Materialerne til Betonstøbning tillader indenfor et Fugtighedsindhold paa 3—6 % Anvendelse af Maalkar. Man skal i Praksis anvende Maalforhold, der er baseret paa Vægtforhold.

Civilingeniør *Kaj Hauer* erklærede sig enig med Foredragsholderen i, at det utvivlsomt var meget vanskeligt at skrive gode Betingelser. Imidlertid var der ogsaa en anden Vanskelighed for de projekterende Ingeniører nemlig at passe paa Byggepladserne, at Bestemmelserne nu ogsaa blev overholdt. Hyppigt sker det, at den tilsynsførende tolererer betydelig ringere Ydelser end foreskrevet. Da nu Arbejdet sædvanligvis bliver udbudt i Licitation,

havde den, der regnede at opfylde Betingelserne fuldtud kun ringe Chance for at faa Arbejdet overdraget, idet den mindre samvittighedsfulde, der løb Risikon og regnede med at Betingelserne nok ikke vilde blive krævet saa strengt overholdt, kunde tilbyde Arbejdet billigere. Man frister saaledes de bydende til at sløje af for at være konkurrencedygtige, hvilket naturligtvis fører til en Føringelse af Kvaliteten i Almindelighed. Endelig var ofte den korte Tid, Bygværket var lovet færdig paa, Aarsag til at man tolererede Fejl eller Forsømmelser, der burde være rettet. Man maatte endvidere være klar over, at Entreprenørerne havde meget forskellig Uddannelse, nogle var Ingeniører andre Murermestre og atter andre havde kun ringe Uddannelse. For ikke at stille de bedst uddannede daarligst maatte man forlange, at Kontrollen var effektiv.

Entreprenørerne kunde med den nugældende Praksis ikke fratage et Akkordsjak deres Akkord, før det havde arbejdet sig i Underskud, og da som Regel kun ved Fagforeningens Medvirken og dette tog som oftest meget af den kostbare Byggetid.

Civilingeniør *Barfod* mente, man burde have et Organ, der ved Forhandling med Grusleverandørerne kunde fremskaffe den rigtige Grus. Det kunde for Eksempel ikke være vanskeligt for Leverandøren af Sømaterialeer at fremskaffe den ønskede Art Sand. Sandsugeren maatte blot søge de rigtige Sandbanker.

Professor, Civilingeniør *Suenson* oplyste, at A/S Carl Nielsen havde Sandsugere, der ved særlige Skyllleanordninger sorterede Sandmaterialeerne paa Stedet, saaledes at de uønskede Kornstørrelser gik over Bord igen.

Overingeniør, cand. polyt. *Knud Rasmussen* anbefalede Trekantlister i Hjørner af Dragere, Søjler og Vægge som et effektivt Middel til Forhindring af Hjørnernes Ødelæggelse ved Afbrækning. Betonarbejder kan under de nuværende Forhold kun udføres i Akkord i Danmark, men egner sig bedst til Udførelse i Timeløn. Der er særlig to Vanskeligheder paa Byggepladsen, naar Arbejdet udføres i Akkord, nemlig Vandtilsætningen til Betonen og Efterbearbejdningen ved Udstøbningen.

Den første Vanskelighed kan i nogen Grad afhjælpes ved at anbringe en Vandmaaler paa Blandemaskinen — for begge Punkter gælder at et effektivt Tilsyn er aldeles nødvendigt.

Foredragsholderne, Civilingeniør *Friis Jespersen* fik derefter Ordet for at replicere.

Ensartede Betegnelser for Sand, Sten og Grus var under Udarbejdelse i Ingeniørforeningen.

Foreskrev man Betonens Cementindhold, var der ingen Besparelse ved at anvende nøjagtigere Metoder. Med Hensyn til de omtalte Vejeapparater, var det muligt, man kunde finde billigere og for vore Forhold bedre egnede Apparater. De viste Arrangementer var Foredragsholderen bekendt fra Amerika.

Civilingeniør *Friis Jespersen* erklærede sig uenig med Professor *Suenson* i, at man baade skulde foreskrive Styrke og mindste Cementindhold. Det, man ønskede, var en bestemt Styrke, og Betingelserne vilde være klarest ved kun at foreskrive denne. De ikke paa dette Punkt erfarne Entreprenører maatte Tilsynet hjælpe.

Var enig med Professor *Suenson* i, at det ikke alene er Tiden, men ogsaa Antal af Blandetromlens Rotationer, der er afgørende for Blandingen.

Gav Civilingeniør Hauer Ret i, at Betingelserne selvfølgelig skal overholdes, og at Tilsynet maa sørge herfor.

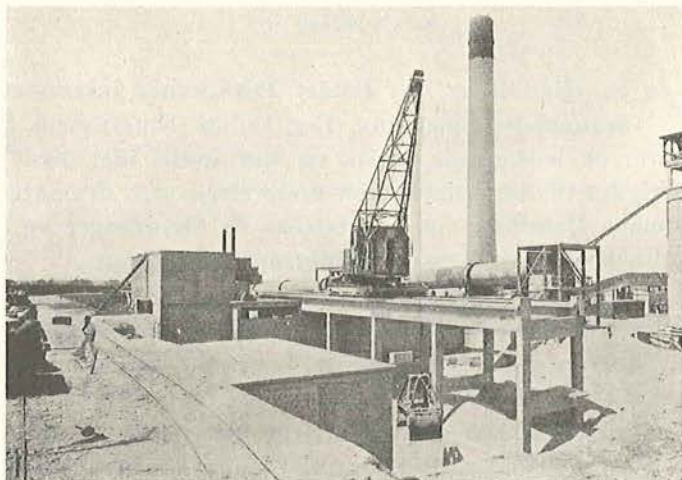
Mødelederen, Overingeniør, cand. polyt. *Knud Rasmussen* sluttede med at sige, at Civilingeniør Friis Jespersen havde fortalt os om de ideelle Forhold ved Betonarbejders Udførelse og Civilingeniør Larsen havde fremhævet Vanskelighederne ved deres Gennemførelse i Praksis. De nye Metoder kunde kun tænkes gennemført paa større Byggepladser, og det vilde nok tage nogen Tid, inden de gennemførtes her. Man maatte imidlertid være glad for at have faaet de ideelle Forhold fremført.

Mødelederen sluttede med at bringe en Tak til Foredragsholderen og Deltagerne i Diskussionen.

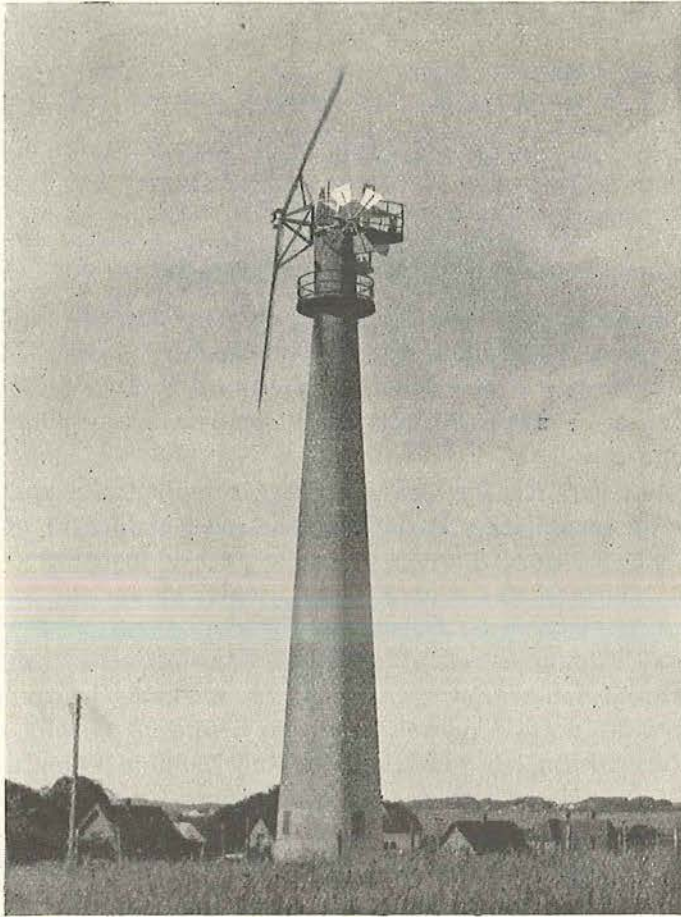
F. L. SMIDTH-FILMENE

Den dokumentariske Film er et Begreb, som allerede for Aar tilbage dukkede op i Udlandet, og som gennem den tekniske Udvikling, Filmsindustrien har gennemgaaet, parallelt med Underholdningsfilmene har opnaaet en sikker Position inden for de enkelte Landes Filmproduktion.

Først i de senere Aar har denne Filmstype vundet frem herhjemme, efter man af udenlandske Forbilleder har faaet et Indtryk af, hvilke store Muligheder netop Filmen giver for paa en instruktiv og samtidig underholdende Maade at give en Orientering om alle Slags Emner, i en Form, som er let tilgængelig for alle og enhver. Men en dokumentarisk Film er mere end en Række Filmsoptagelser kædet sammen i skønsom Række. For at opnaa sit Formaal, at bibringe Tilskueren et blivende Indtryk, udover selve Forevisningens Øjeblik, maa en dokumentarisk Film, lige saavel som en Underholdningsfilm, danne en afrundet Helhed, den maa bygges op efter samme Grundsætninger som en dramatisk Film. Ligeegyldigt hvor tørt og sagligt det behandlede Emne kan forekomme, maa man finde de Momenter frem, der kan



»Ordre Nr. 95,807«.



F. L. S. Aeromotor.

give Filmen en »Handling«, der fanger Tilskuernes Interesse og skaber en vis »dramatisk« Spænding. Her spiller Tonefilmens Speakerkommentarer og ledsagende Musik en stor Rolle, idet disse to Faktorer lagt rigtigt til Rette netop kan understrege den dramatiske Stigning i Filmens Handling, og understrege de Stemninger og Indtryk, Filmens Billeder har til Hensigt at bibringe Tilskueren.

Filmen »Ordre Nr. 95.807«, der blev optaget i Anledning af F. L. Smidth & Co.'s 60 Aars Jubilæum den 2. Januar 1942, har til Formaal at fortælle lidt om Firmaets Arbejde og Organisation, og derved afløse tidligere Tidens Jubilæumsskrifter.

F. L. Smidth & Co.'s væsentligste Arbejdsfelt i de forløbne 60 Aar har været Projektering og Bygning af Cementfabrikker Verden over og Leverance af Specialmaskiner hertil, og det var derfor naturligt,

som den røde Traad gennem Filmen at følge en Cementfabriks Tilblivelseshistorie, fra det første Spadestik tages, til Fabrikken producerer Cement. Man faar herved Lejlighed til at følge Arbejdsgangen inden for F. L. Smidth & Co.'s Hovedkontor i København, og Arbejdet paa Byggestedet og paa den færdige Fabrik. Og fra den enkelte Fabrik ledes man naturligt over til de mange Hundrede Fabrikker, Firmaet har anlagt, og til de Resultater, der er opnaaet igennem 60 Aar, og som kan sammenfattes i den Kendsgerning, at en Trediedel af den samlede Verdensproduktion af Cement produceres paa Maskiner, der er fremgaaet af dansk Teknik og Industri.

I en supplerende Film »Fola News« vistes en Række af de Opgaver, som F. L. Smidth & Co. og dets tilknyttede Virksomheder har taget op under de raadende vanskelige Forhold for at afhjælpe de voksende Forsyningsvanskeligheder med Brændsel og andre Raamaterialer og samtidig skabe fortsat Beskæftigelse for Virksomhedernes Funktionærer og Arbejdere.

Foruden at give en Orientering om en dansk Industrivirksomheds Arbejde og Virke herhjemme og ude i Verden, gav disse Film et godt Indtryk af de Muligheder, den dokumentariske Film besidder for at udbrede Kendskabet til dansk Ingeniørarbejde.

MØDETS AFSLUTNING

Efter Forevisningen af F. L. Smidth-Filmene inviterede »*De samvirkende Cementfabrikker*« Kursusdeltagerne paa Vin og Kransekage, hvorved Mødet fik en festlig Afslutning.

Civilingeniør V. *Sthyr*, der sammen med Dr. techn. *Erik V. Meyer* repræsenterede Cementfabrikkerne, rettede en Tak til Kursusudvalget for dettes Arbejde.

Udvalgets Formand, Civilingeniør *Jens Johansen* sluttede Mødet med at bringe en Tak til »*De samvirkende Cementfabrikker*« for den venlige Indbydelse, til Foredragsholderne, Diskussionsindlederne og de øvrige Deltagere i Diskussionerne, til F. L. Smidth & Co., der havde stillet Filmen til Raadighed, samt til Deltagerne for den store Tilslutning og den Interesse, hvormed man havde fulgt dette Kursus.

Hurtigere Afformning

Større Styrke

Forøget Vandtæthed

Fornuftig Økonomi

Fordelagtig selv i Kulde



VINDELJERN

(DRILLWULST-STAHl)

OLUF RØNBERG A/S

CENTRAL 7276 . KØBENHAVN

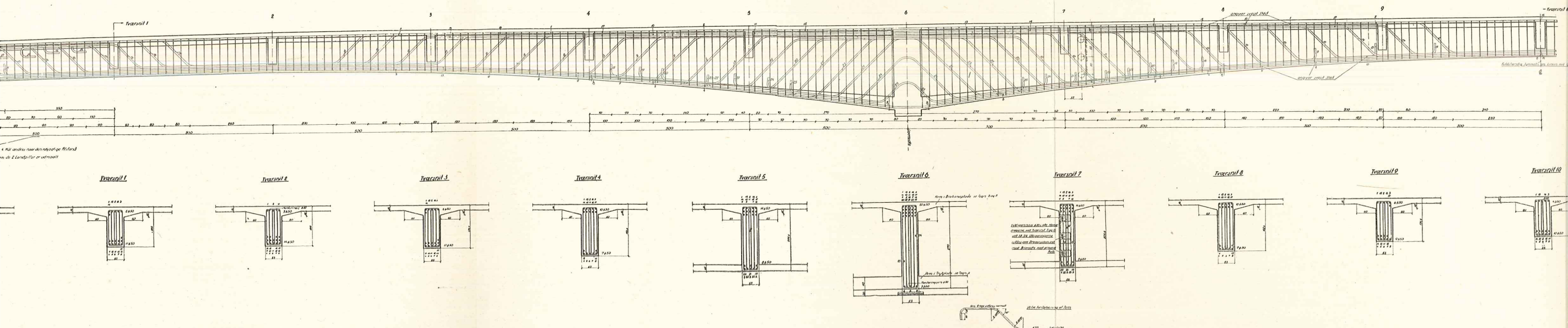


Fig. 2.