

DE WERKGROEP
GEWAPEND BETON- EN STAALCONSTRUCTIES
TAAK – INRICHTING – ARBEIDSVELD

Taak en werkwijze van de Werkgroep

De Werkgroep Gewapend Beton- en Staalconstructies, die tezamen met haar zusterwerkgroep voor Spannings- en Trillingsonderzoek overkoepeld wordt door de Commissie inzake het Onderzoek van Constructies (C.O.C.), is één van de ongeveer vijftientig instellingen of instituten, die vallen onder de Nijverheidsorganisatie T.N.O., die op haar beurt weer een deel is van de Nederlandse Centrale Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (T.N.O.).

Terwijl de werkzaamheden van de Werkgroep voor Spannings- en Trillingsonderzoek voornamelijk op het gebied van de Werktuigbouwkunde liggen, vormt de civiele techniek het terrein, waarop de Werkgroep Gewapend Beton- en Staalconstructies zich beweegt.

Het doel van deze Werkgroep kan in het kort worden geformuleerd als het mede bevorderen van de vooruitgang op het gebied van constructies in de civiele techniek.

Ook op dit veelal nog sterk traditioneel gebonden gebied komt het speurwerk meer en meer naar voren: zowel wat betreft de eigenschappen van de materialen, het krachterspel in en de vormgeving van constructies, als de wijzen van uitvoering (verwerking van de materialen, montage).

De ervaring speelt een grote rol en de vooruitgang wordt mede door de bouwpraktijk zelf bepaald, waar men tot steeds gedurfter constructies overgaat of nieuwe methoden toepast, om een grotere economie te bereiken. Maar de uitspraak van de Engelse ingenieur Tredgold (1831): „The stability of a building is inversely proportional to the science of the builder” zou men nu niet graag meer onderschrijven. De praktijk maakt immers steeds meer gebruik, niet alleen van haar eigen empirische kennis, maar ook van de resultaten van wetenschappelijk onderzoek.

De toepassingen en de uiteindelijke resultaten blijven aan de praktijk voorbehouden; betere grondslagen en voorwaarden hiertoe kunnen door het wetenschappelijk onderzoek worden geleverd. Zo kan het speurwerk ook zijn bijdrage tot de vooruitgang leveren. Financieel is het alleszins de moeite waard, — men denke slechts aan de enorme bedragen, die jaarlijks in bouwwerken worden geïnvesteerd — en het is dus niet te verwonderen dat overal ter wereld het wetenschappelijk onderzoek ook op dit gebied sterk is toegenomen.

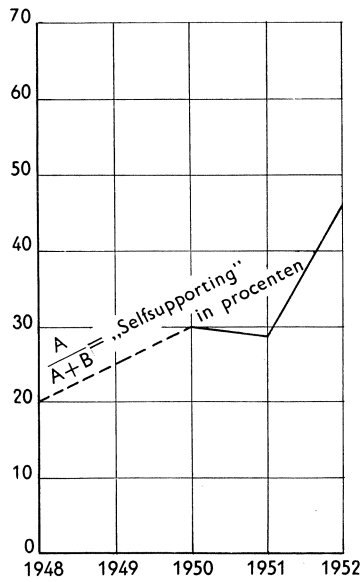
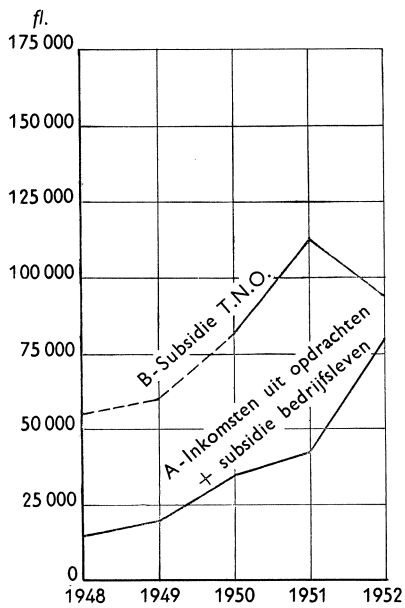
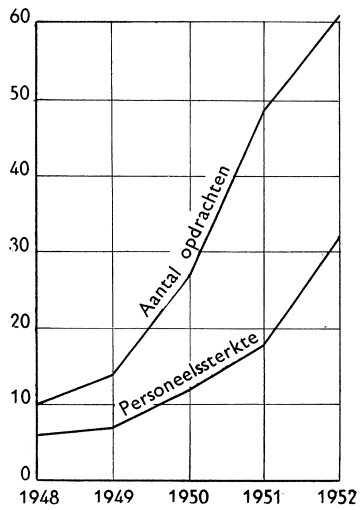
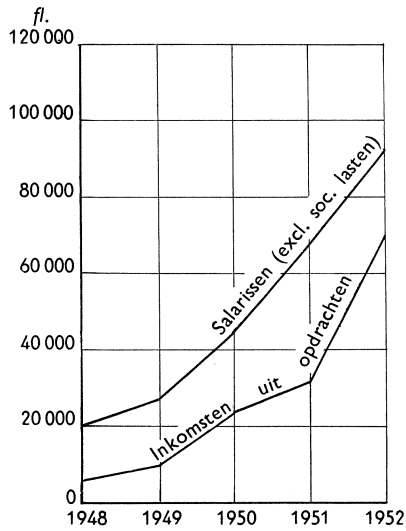
De Werkgroep nu beweegt zich, als onderdeel van de C.O.C. op het gebied van het onderzoek van constructies uit de civiele techniek en houdt zich dus vazig met ontwerp en berekening van constructies en met hun gedrag na boltooiing. De Toegepaste Mechanica vormt de basiswetenschap, terwijl het experiment een belangrijk hulpmiddel is.

Om het doel te verwezenlijken wordt een tweetal wegen bewandeld.

In de eerste plaats verricht de Werkgroep onderzoekingen aan en over constructies, die van algemeen belang zijn. Deze onderzoekingen, die onder het hoofd „Intern speurwerk” worden gerangschikt, kunnen zowel van theoretische als van experimentele aard zijn of ook beide aspecten bezitten. Het nut van deze onderzoekingen is niet direct aanwijsbaar. Resultaten van deze onderzoekingen komen tot uiting in berekeningsmethoden (b.v. voor schaal-daken of knoopplaten), in voorschriften (b.v. het onderzoek van paddestoel-vloeren of van kophoekklassen) en in algemene richtlijnen.

In de tweede plaats geeft de Werkgroep desgewenst adviezen aan de praktijk. Deze adviezen, die onder het hoofd „Externe opdrachten” worden gerangschikt, kunnen ook zowel van theoretische als van experimentele aard zijn. De opdrachtgevers kunnen behoren tot Rijks- of Provinciale Waterstaat, gemeentelijke instellingen als Openbare Werken of Bouw- en Woningtoezicht, raadgevende ingenieurs, bouw bureau's van grote industrieën, aannemers, fabrikanten van speciale bouwsystemen enz. Het nut van deze adviezen is uiteraard veel directer. In vele gevallen worden berekeningsmethoden aangegeven of uitgevoerd waardoor voorgestelde constructies mogelijk worden of een nauwkeuriger beeld van de optredende krachtsverdeling wordt verkregen. In andere gevallen worden metingen verricht aan constructies of gedeelten daarvan, zowel in het laboratorium als op de bouwplaats. Enkele voorbeelden van direct nut uit deze laatste categorie zijn de volgende:

1. Bij metingen aan boogconstructies bleek, dat bij grote horizontale krachten, werkend op de geboorteblokken van de boog, de verplaatsing van deze blokken slechts zeer klein was. De krachten konden blijkbaar gemakkelijk worden opgenomen door de paalfundering, de wrijving van het geboorteblok op de grond en de passieve gronddruk op de zijkant van het blok. Van deze wetenschap kon gebruik worden gemaakt bij de bouw van soortgelijke boogconstructies, zodat toen de trekkabels tussen de geboorteblokken reeds konden worden vóórgespannen voordat de bogen zelf gestort waren. De vloer kon toen dus eerst worden afgewerkt, zodat het mogelijk was op deze vloer een verrijdbare bekisting te plaatsen, waarop de bogen konden worden gestort. Met deze wijze van uitvoering werd een tijdsbesparing van zes weken verkregen.
2. Bij de meting aan een shed-schaal bleek de samenwerking tussen het beton en het staal in de schaal zodanig te zijn, dat hogere spanningen konden worden toegelaten. Bij de overige schalen, die nog niet gestort waren, kon daardoor met aanzienlijk minder wapening worden volstaan. De totale



OVERZICHT VAN DE JAREN 1948 ... 1952

hoeveelheid wapeningsstaal in de schalen werd daardoor teruggebracht van 70 ton op 50 ton, een besparing dus van ongeveer 30%.

3. Bij de metingen aan een kraanbaan bleken de spanningen in het maatgevende en gecompliceerde constructiedeel zodanig te zijn, dat het toelaatbaar was het laadvermogen van de kraan te verdubbelen, zonder extra voorzieningen te treffen, die anders een belangrijke hoeveelheid staal zouden hebben gevraagd.

Inrichting en Samenstelling van de Werkgroep

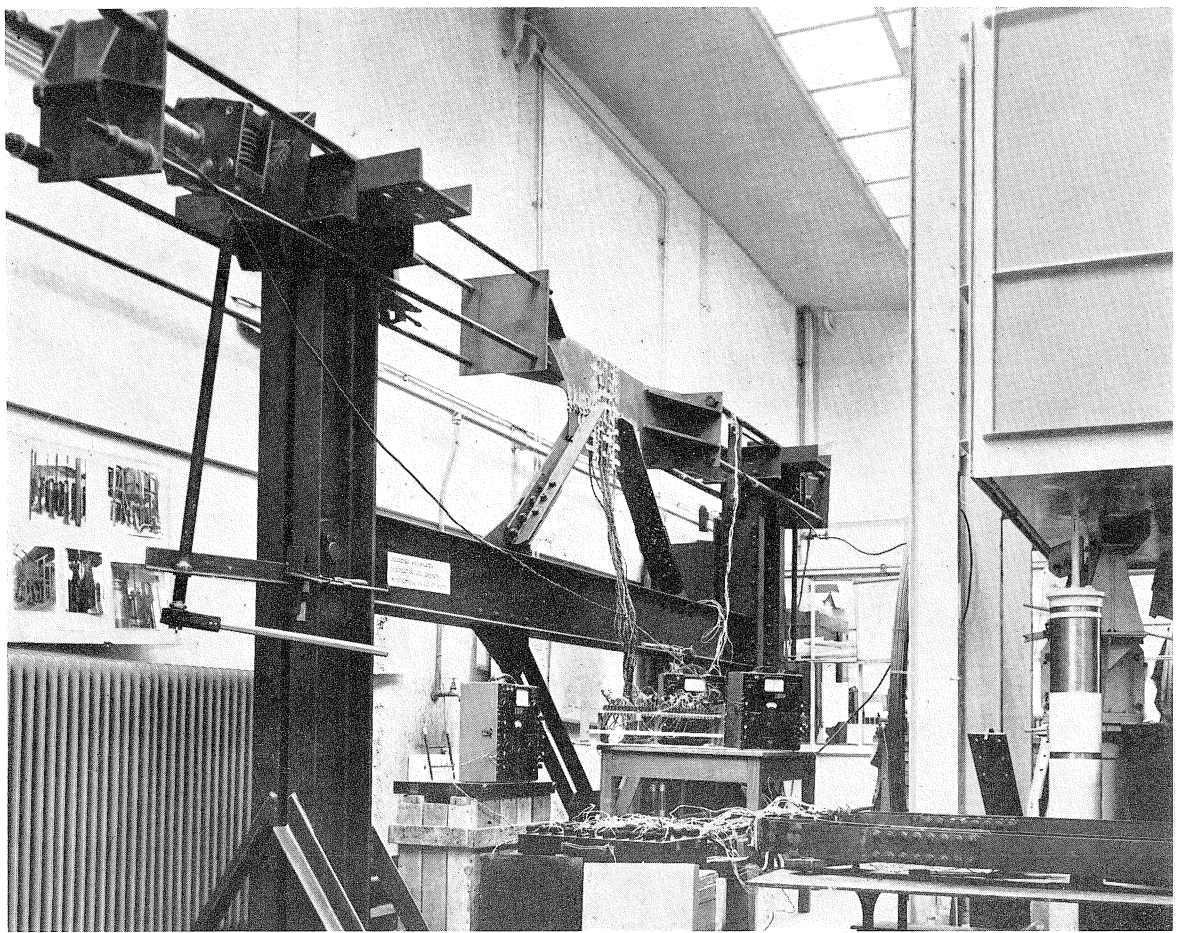
De Werkgroep dateert eigenlijk van 1941.¹⁾ Na een bescheiden begin, — nog in 1948 bestond zij slechts uit 6 personen, — heeft zij zich na 1948 sterk uitgebreid. Zij staat thans onder leiding van Prof. Ir. C. G. J. Vreedenburgh en bestaat voorts uit 5 ingenieurs, 7 middelbaar technici, 4 tekenaars en rekenaars, 4 hulpkrachten en 11 tijdelijk student-assistenten, die echter gedeeltelijk slechts halve dagen werken.

De studenten, die van verschillende studiejaar zijn, vormen uiteraard een meer wisselende bezetting. De jongeren onder hen verrichten eenvoudige werkzaamheden als het uitvoeren van metingen. Zij, die het candidaatsexamen bezitten (het merendeel thans), werken aan één van de vele interne onderzoeken, die voor hen dan tevens geheel of gedeeltelijk het afstudeer-onderwerp vormen in de theoretisch-experimentele richting van de afdeling der Weg- en Waterbouwkunde van de Technische Hogeschool. Zo kunnen deze laatsten hun werkzaamheden bij de Werkgroep volledig dienstbaar maken aan hun studie, wat een gelukkige combinatie kan worden genoemd.

Voor het contact met de praktijk wordt de Werkgroep bijgestaan door een Commissie van Overleg, waarin de verschillende facetten van overheidsdiensten en bedrijfsleven zo goed mogelijk vertegenwoordigd zijn. Deze Commissie bestaat thans uit de volgende leden:

Ir. C. F. van Bergen	(vroeger Rijkswaterstaat, Directie Bruggen, Bestuur van de Betonvereniging)
Ir. O. B. Blomsma	(N.V. Werkspoor, Amsterdam)
Ir. J. J. P. Cattel	(Stoomwezen)
Prof. Dr. C. A. Lobry de Bruyn	(Bouwmaterialeninstituut T.N.O.)
Ir. Th. W. Mundt	(vroeger Dienst van Weg- en Werken van de Nederlandse Spoorwegen)
Ir. B. Peiser	(N.V. Holl. Betonmij.)
Ir. W. J. Prior	(N.V. Betondak, Arkel)
Ir. N. J. Rengers	(Gem. Bouw- en Woningtoezicht, Den Haag)
H. J. Roelfsema	(N.V. de Vries-Robbé, Gorinchem)
Ir. J. Schreuders	(N.V. Ned. Electrolasmij., Leiden)
Ir. A. van Walraven	(Vereniging van Nederlandse gemeenten)

¹⁾ Zie : Ten geleide.



Afb. 1 Meting m.b.v. rekstrookjes aan een model van een knoopplaat van een vakwerkbrug.
Rechts een gedeelte van het model van de paddestoelvloer.
Op de voorgrond een gebogen I-profiel.

Met deze Commissie worden, eens in de twee maanden, de werkzaamheden van de Werkgroep besproken, terwijl ook de begroting eens per jaar aan de orde wordt gesteld.

De *financiële middelen* waarover de Werkgroep beschikt zijn in de eerste plaats afkomstig uit de subsidie, welke telkenjare door het Rijk aan de Centrale Organisatie T.N.O. wordt verleend en die over de verschillende instituten wordt verdeeld. In de tweede plaats zijn ze afkomstig van bijdragen uit het bedrijfsleven. Met deze middelen worden de interne onderzoeken en de kapitaalsuitgaven van de Werkgroep gefinancierd. In de derde plaats beschikt de Werkgroep rechtstreeks over eigen inkomsten, verkregen uit de opdrachten. Het aantal van deze opdrachten is de laatste jaren sterk gestegen, zodat de inkomsten hiervan thans ongeveer 40% van de totale begroting uitmaken. (Zie de grafieken op blz. 5).

Het vorige jaar is een nieuwe situatie ontstaan door de oprichting van het Fonds voor Experimenteel Beton-onderzoek (Febo), waarvoor de middelen worden verkregen door de beschikbaarstelling van een bedrag van 5 ct per ton in Nederland verkochte cement en een gift van de Beton-aannemersbond.

Hieruit kan de research van dringende problemen op betongebied althans gedeeltelijk worden gefinancierd. Organisatie en werkwijze van dit fonds zijn in de voordrachten van Dr. Ir. A. M. Haas en Ir. R. C. Ophorst op 22 April 1952 voor de Betonvereniging uiteengezet („Beton” no. 7 van 1952 en „De Ingenieur” no. 37 van 1952).

In totaal zijn er nu een veertiental onderzoekingen gaande, voor elk waarvan een Onderzoekingscommissie is gevormd. In zeven van deze Commissies is de Werkgroep o.m. door een secretaris-vooronderzoeker vertegenwoordigd t.w.

1. O.C. A₁ Schaaldaken.
2. O.C. A₂ Plasticiteitsleer voor gewapend beton.
3. O.C. A₃ Eindverankeringen bij voorgespannen beton.
4. O.C. A₄ Belastingsspreiding in platen en balkroosters.
5. O.C. C₃ Beugels in kolommen.
6. O.C. C₄ Brandveiligheid voorgespannen betonconstructies.
7. O.C. D₂ Metingen op de bouwplaats.

In de gevallen 4, 5 en 7 zijn de werkzaamheden nog in het stadium van het voor-onderzoek. In de gevallen 1, 2, 3 en 6 is dit afgesloten en is een voorstel voor een onderzoek-programma bij de Commissie van Advies voor Research (C.A.R.) ingediend en in de gevallen 1 en 2 is bij de Werkgroep het eigenlijke onderzoek begonnen.

Deze onderzoekingen blijven sterk op de praktijk gericht, maar het is verheugend dat het onderzoek van deze problemen, die toch van algemeen belang zijn, nu geheel of gedeeltelijk rechtstreeks door de praktijk wordt gefinancierd. Een aanzienlijk deel van het interne speurwerk van de Werkgroep, dat tot voor kort door het Rijk werd gefinancierd gaat hiermede over naar de externe opdrachten, waardoor de financiële positie van de werkgroep wordt verbeterd, terwijl op sommige gebieden uitbreiding van het speurwerk kan plaatsvinden.

Er zijn plannen in voorbereiding om ook voor het onderzoek van staalconstructies (ev. metaalconstructies) tot een dergelijk speurwerk-fonds te komen. Want ofschoon de eigenschappen van staal beter bekend zijn dan die van beton en staal zich idealer gedraagt, bestaan ook daarvoor nog vele onopgeloste problemen zoals b.v. op het gebied van dynamische belastingen, vermoeidheidsverschijnselen, lasspanningen, plooiverschijnselen in dunwandige profielen, de berekening van constructies op uiterste draagkracht, enz.

Huisvesting en apparatuur

De Werkgroep is sinds 1949 gehuisvest in het Prins Bernhardgebouw van het T.N.O.-complex aan de Lange Kleiweg tussen Rijswijk en Delft, tezamen met het Bouwmaterialen-instituut, het Metaal-instituut en het Corrosie-instituut, waarmee veel wordt samengewerkt.

Zij beschikt hier over een aantal kamers en een gedeelte van de beproevings-

hal, waar de modellen van paddestoelvloer, plaatbrug onder geconcentreerde belasting, knoopplaten in vakwerkbruggen (afb. 1), gebogen I ligger en een schaaldakmodel zijn opgesteld en waar de overige experimentele onderzoeken, voor zover het geen metingen op de bouwplaats betreft, plaats vinden.

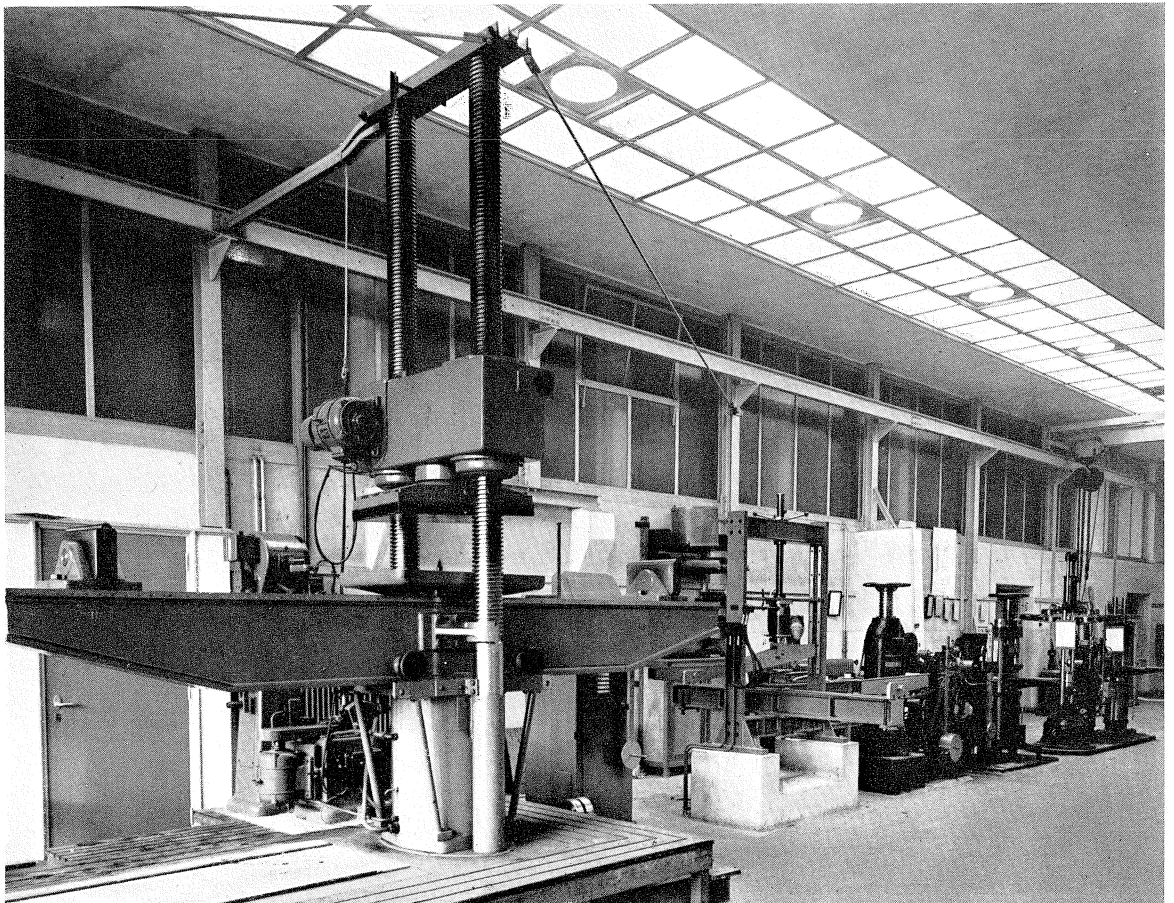
Hierbij wordt dankbaar gebruik gemaakt van de apparatuur van het laboratorium voor Kennis en Onderzoek van Bouwstoffen van de Technische Hogeschool, die ook in deze hal is opgesteld. Dit laboratorium bezit o.m. een universele bank voor het beproeven van constructiedelen op trek, druk of buiging, met een capaciteit van 10 ton, een universele bank met een capaciteit van 50 ton, twee druk- en buigbanken met een capaciteit van 60 ton, een drukbank tot 200 ton en een druk- en buigbank tot 500 ton. Bij deze laatste kunnen balken met een overspanning tot 4.00 m worden beproefd, met een belasting tot 50 ton (afb. 2).

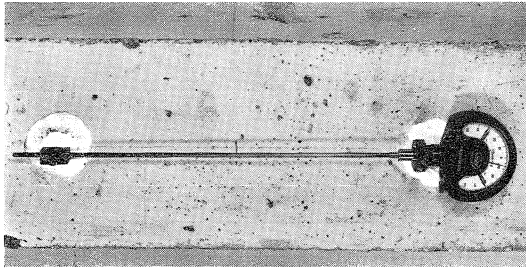
Voor het experimentele onderzoek, zowel in het laboratorium als op de bouwplaats beschikt de Werkgroep o.m. over de volgende apparatuur:

Vijzels voor het uitoefenen van krachten met een capaciteit van 5, 15, 25 en 100 ton.

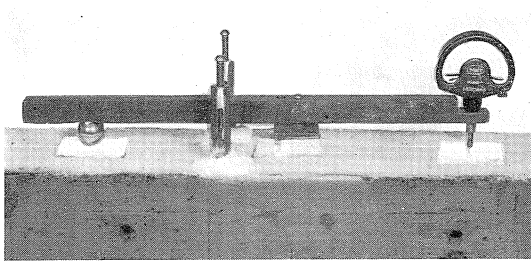
Dynamometers (druk- of trekdozen), waarmee met behulp van weerstandsrekstrookjes de grootte van uitgeoefende krachten (belastingen) kan worden

Afb 2 Overzicht van de apparatuur van de T.H.
Op de voorgrond de 500-tons pers.

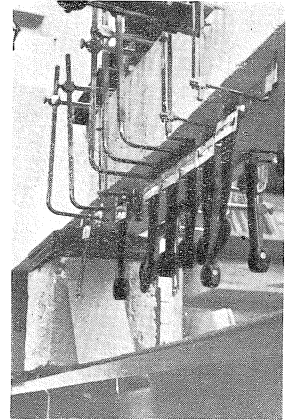




Afb. 3 Rekmeting op beton m.b.v. een meethorloge.



Afb. 4 Krommingsmeter op beton.



Afb. 5 Rekmeting aan een betonbalkje m.b.v. Huggenberger-rekmeters.

gemeten, met een capaciteit van 2, 5, 10, 20 en 40 ton voor de drukdozen en van 2 ton voor de trekdozen.

Voor het meten van verplaatsingen c.q. doorbuigingen beschikt men over een vijftigtal meethorloges met een nauwkeurigheid van 0,01 mm en een bereik van 10 mm, een vijftigtal meethorloges met een nauwkeurigheid van 0,001 mm en een bereik van 0,1 mm, benevens nog enkele speciale meethorloges.

Met deze horloges worden op beton ook rekken (spanningen) gemeten, door de afstandsverandering te bepalen tussen twee blokjes, die op het beton zijn vastgezet m.b.v. gips, waarbij het meethorloge in het ene blokje wordt vastgezet en de stift van het horloge wordt verbonden aan een staafje dat aan het andere blokje wordt bevestigd (afb. 3).

Ook kunnen met behulp van speciaal daarvoor geconstrueerde instrumenten, waarin deze meethorloges zijn verwerkt, krommingen (momenten) rechtstreeks worden gemeten (afb. 4).

Voor het meten van rekken (spanningen) beschikt men voorts over de mechanische Huggenberger-rekmeters (een 16-tal) en Berrymeters (2-tal) en de capacitieve rekmeters (een 20-tal) (afb. 5). Beide categorieën zijn zowel op staal als op beton bruikbaar.

Voorts wordt een veelvuldig gebruik gemaakt van de elektrische weerstandsrekstrookjes (afb. 6), waarvan de huidige typen voorlopig eigenlijk alleen goed

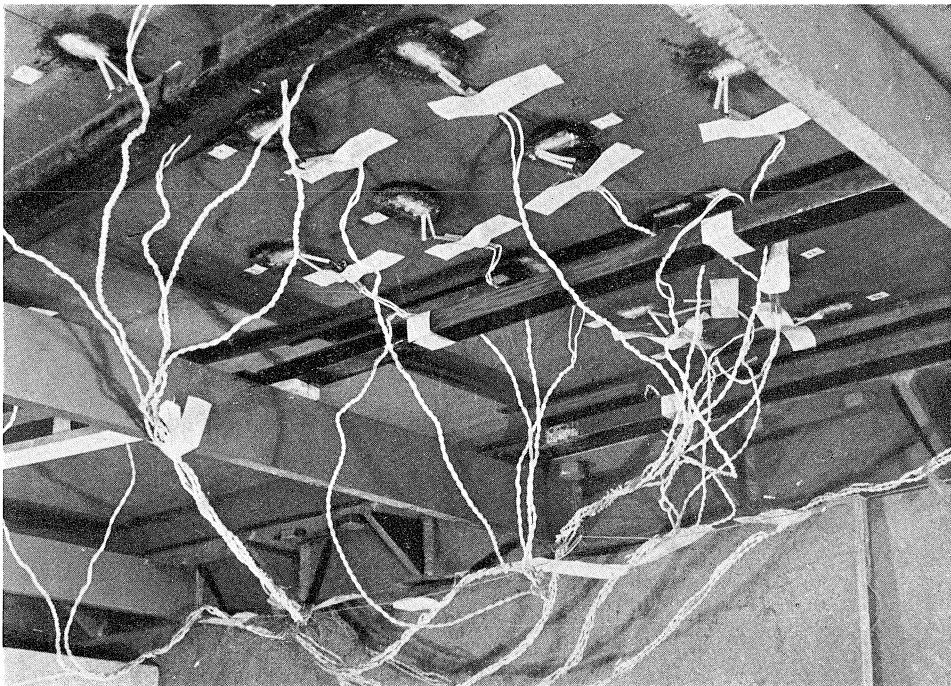
op staal, dus ook op het wapeningsstaal in beton, bruikbaar zijn. Voor het meten met rekstrookjes beschikt men over de gebruikelijke hulpapparatuur als meetkasten en omschakelkasten (4 resp. 3 stuks).

In een volgende mededeling zullen deze meetinstrumenten, hun eigenschappen en mogelijkheden van toepassing, nader worden besproken.

Voor het overige wordt de apparatuur vaak voor elke beproeving afzonderlijk vervaardigd en aan speciale omstandigheden aangepast. Zo wordt in het laboratorium vaak een belasting uitgeoefend door het aandraaien van moeren op lange schroefstangen, waardoor één of meerdere balken vaster tegen het te beproeven constructie-element, b.v. een bouwplaat, worden gedrukt. Men kan daartussen dan nog een dynamometer plaatsen om de uitgeoefende belasting te meten.

Op de bouwplaats vragen de omstandigheden soms bijzondere improvisaties. Zo is reeds gebruik gemaakt van telefoon- en bel-systemen voor communicatie.

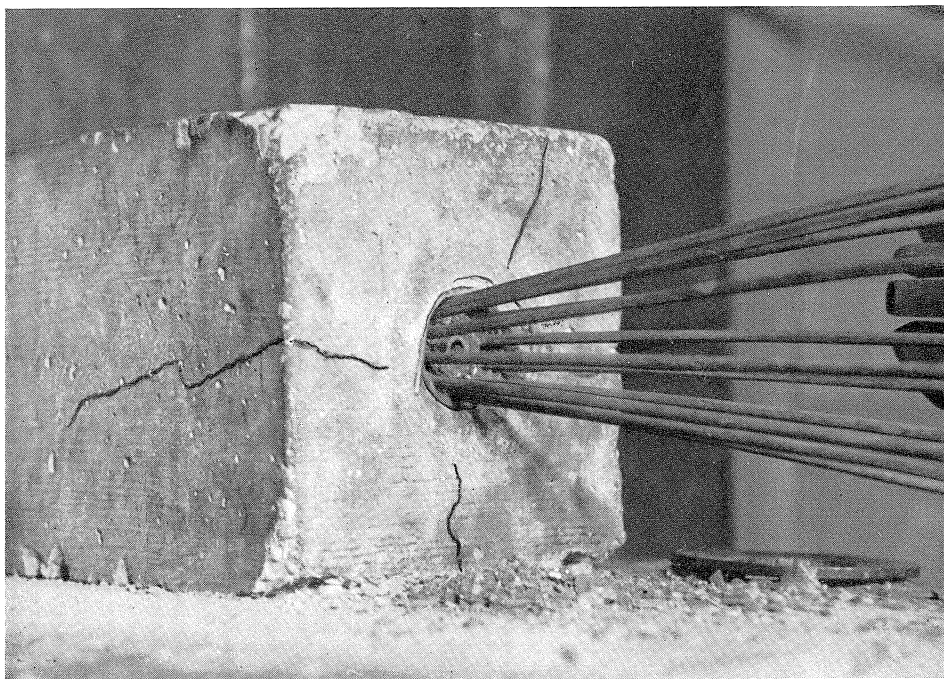
De omstandigheden, waaronder gemeten wordt, zijn speciaal op de bouwplaats dikwijls niet eenvoudig. Soms wordt in de nacht gemeten om hinderlijke temperatuursinvloeden uit te schakelen. Een andere maal werd 24 uur achtereen gemeten onder de lekkende bodem van een waterreservoir, terwijl eenmaal ook de stuurmanskunst een rol speelde bij metingen aan een brugpijler.



Afb. 6 Meting m.b.v. rekstrookjes aan een stalen model van een plaatbrug.

Soms moeten ook voorzorgsmaatregelen genomen worden tegen bijzondere gevaren, b.v. in de bunker op het T.N.O.-terrein, waarin 18 m lange draden onder zeer hoge spanning worden gebracht voor het bestuderen van de eindverankeringen in constructies van voorgespannen beton (afb. 7). Wanneer men zich realiseert dat de hoeveelheid energie die is opgezameld in een 12-tal draden \varnothing 5 mm, die door een kracht van 36 ton 13 cm zijn uitgerekt, overeenkomt met de potentiële energie van een gewicht van 10 ton met een valhoogte van 25 cm, kan men zich voorstellen dat de nodige veiligheidsmaatregelen zijn getroffen tegen het gevaar van springen van de draden, hetgeen regelmatig voorkomt.

De theoretische onderzoeken en ook het uitwerken van meetresultaten brengen veelal veel rekenwerk met zich. Om dit werk snel te kunnen volbrengen beschikt de Werkgroep thans over 4 vol-automatische elektrische rekenmachines, 1 half-automatische en 4 hand-rekenmachines. De vol-automatische rekenmachines hebben gemiddeld toerentallen van omstreeks 500 omwentelingen per minuut. Hiermee kunnen b.v. ongeveer 100 vermenigvuldigingen van 2 getallen van 10 cijfers per uur worden gemaakt. Niet alleen dat dergelijke machines een grote tijdsbesparing opleveren, maar men kan zelfs zeggen dat bepaalde berekeningen, van schaaldaken bijvoorbeeld, zonder deze machines niet wel doenlijk zouden zijn.



Afb. 7 Eindverankering in voorgespannen betonconstructie, volgens systeem Freyssinet. Radiale scheuren door potloodstrepen verduidelijkt.

Intern speurwerk

De interne onderzoeken omvatten de laatste vijf jaren vele onderwerpen van uiteenlopende aard. In hetgeen volgt zullen de voornaamste in het kort worden omschreven. Verscheidene van deze onderzoeken zijn nog gaande. Voor zover zij zijn beëindigd, zijn zij in rapporten vastgelegd of in tijdschrift-artikelen beschreven. Hiernaar zal dan worden verwezen. De rapporten zijn bij de Werkgroep verkrijgbaar.

A. *Staalconstructies*

1. Berekening van een ligger over een oneindig aantal verende steunpunten, toegepast op de spoorweg-bovenbouw: bepaling van de invloedslijnen voor momenten en dwarskrachten in rail en raillassen bij statische belasting en de invloed van de stootwerking van een afgeplat wiel m.b.v. differentierekening — Rapport St I - 7 - 4020.
2. Knik van gekoppelde staven met lange koppelplaten en van plaatselijk zijdelings elastisch ondersteunde staven met verschuifbare einden. Tabellen en grafieken voor praktisch gebruik: „De Ingenieur”, 1949, no. 12 en 44, 1950, no. 2 en het Rapport Préliminaire van het Congrès van de A.I.P.C. Cambridge-Londen, 1952. De volledige afleiding m.b.v. differentierekening is te vinden in het rapport St I - 9 - 4022.
3. Berekening van kophoeklassen. Theoretische bepaling van de spanningen in het elastische stadium m.b.v. de spanningsfunctie van Airy, welke m.b.v. de relaxatiemethode werd opgelost. Proevenseries en toetsing van de breukhypotesen waarbij bleek, dat de theorie van Poncelet (Mariotte), waarbij de grootste rek maatgevend wordt gesteld, nog het best met de resultaten van de proeven overeenstemt, althans in het trekgebied.
4. Bepaling van de spanningen in de flenzen van een gebogen I-lijger, die door dwarsschotten is verstijfd en die onderworpen is aan een buigend moment. De metingen aan een verkleind model, die voor 't grootste deel al zijn uitgevoerd, gaven een aanzienlijk verschil met de uitkomsten van de hiervoor opgestelde theorie. Het bleek dat de membraanspanningen in de gebogen flenzen, die oorspronkelijk niet in rekening waren gebracht, een niet te verwaarlozen invloed hebben, zodat thans de theorie in herwerking is. Te zijner tijd zal een en ander in een rapport worden vastgelegd en in „De Ingenieur” worden gepubliceerd.
5. Bepaling van de dynamische factor bij botsing van een schip tegen een ducdalf, waarbij de massawerking en de vormverandering van het schip in beschouwing zijn genomen. Rapport St I - 12 - 4026.
6. Berekening van statisch onbepaalde constructies bij rustende belastingen, wanneer in het materiaal ook plastische vormveranderingen optreden. Rapport St I - 13 - 4027 I en II.

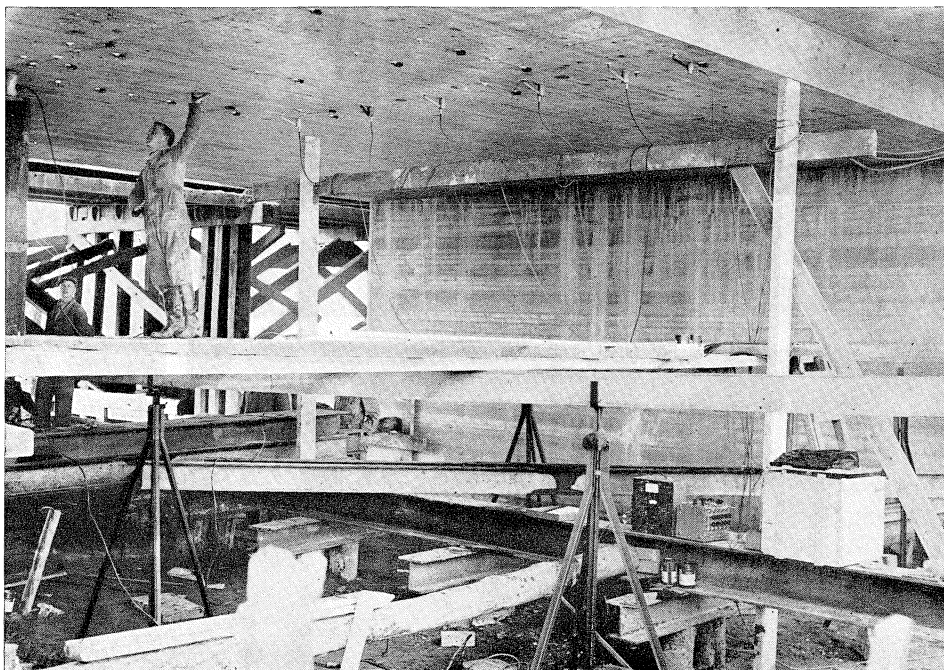
7. De berekening van enige vlakke spanningstoestanden met behulp van Fourierreeksen of de relaxatiemethode, waaronder als voornaamste de berekening van de spanningen in een knoopplaat van een vakwerkbrug. Voor de belangrijkste gevallen zijn enige rekenregels aangegeven. Rapport St I - 14 - 4029. Momenteel worden enige gevallen m.b.v. proeven geverifieerd. Te zijner tijd zullen deze resultaten ook worden gepubliceerd.
8. Winddruk op klapbruggen. Een experimenteel onderzoek, in samenwerking met het Nationaal Luchtvaart Laboratorium naar de grootte van de winddruk op beweegbare bruggen met horizontale draaiingsas bij verschillende invalshoeken van de wind en verschillende openingshoeken van de brug ter bepaling van het vermogen van het bewegingswerk. „De Ingenieur” 1949, no. 8 en 1950, no. 17.
9. Berekening van flankklassen. Theoretische bepaling van de spanningen in het elastisch stadium m.b.v. de spanningsfunctie van Airy, welke m.b.v. reeksen van Fourier wordt opgelost. Enkele experimenten. De resultaten zullen als conclusies en richtlijnen worden opgenomen in de lasvoorschriften van de HCNN (Hoofdcommissie voor de Normalisatie in Nederland). Rapport St I - 16 - 4033.
10. Studie van brugtrillingen, in het bijzonder bij zeer grote hangbruggen, waar de massa-reactie door eigen gewicht van groot belang is en het geheel een aanloopverschijnsel vertoont. Gezocht wordt naar een eenvoudige berekeningsmethode. Het geheel bevindt zich nog in ontwikkeling, zodat nog geen rapport is verschenen.
11. Studie van plooiverschijnselen, in het bijzonder de bepaling van de knikvastheid van een kokerstaaf, waarvan twee wangen (platen) een veel lagere plooiweerstand hebben dan de oorspronkelijke knikvastheid van de staaf. In samenwerking met Ir. R. J. Schor van de N.V. Werkspoor. Rapport St E - 25 - 4044.
12. Studie van vermoeidheidsverschijnselen bij staal, in samenwerking met het Metaalinstituut T.N.O., waarbij het verouderingsverschijnsel wordt gezien als een afname van het arbeidsvermogen van het materiaal. De experimenten zijn in volle gang.

B. *Betonconstructies*

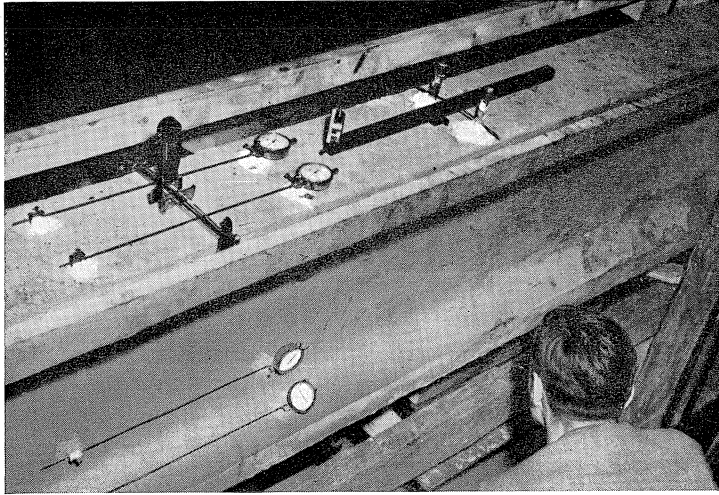
13. Het eerste grote speurwerk op dit gebied is het onderzoek van de krachtsverdeling in een stalen model, op één zevende van de ware grootte, van een paddestoelvloer geweest. Het onderzoek is, voor zover het gelijkmatige en geconcentreerde belastingen op de binnenvelden betreft, be-

eindigd; de resultaten zijn in een serie rapporten (10 stuks) neergelegd, waarvan het laatste de eigenlijke conclusies bevat. De theorie van Dr. Ir. A. M. Haas blijkt met de meetresultaten behoorlijk overeen te stemmen. Een samenvattende publicatie is verschenen in het Rapport Préliminair van het Congres van de A.I.P.C., Cambridge-Londen 1952, terwijl de lezing door Ir. J. G. Hageman op 21 October 1952 voor de Betonvereniging gehouden, te zijner tijd in „Beton”, bijgevoegd bij „De Ingenieur” zal worden gepubliceerd. Voorts is een theoretische verhandeling over de invloed van de kolomkop van de hand van Prof. Ir. C. G. J. Vreedenburgh en de assistent van het Delfts Hogeschoolfonds O. Stokman verschenen voor het achtste congres voor Theoretische en Toegepaste Mechanica in Istanbul in Augustus 1952. Het onderzoek van de paddestoelvloer zal, wat betreft bijzondere belastingen (schaakbord-, strookbelastingen) en de randvelden worden voortgezet.

14. Een tweede groot object betreft het onderzoek naar de spanningsverdeling in platen onder geconcentreerde belastingen bij verschillende randvoorwaarden, waarvoor metingen hebben plaats gehad aan een stalen model (afb. 6). De resultaten zijn o.m. van belang voor het bepalen van de belastingsspreiding bij plaatbruggen, belast door grote wieldrukken. Een publicatie van de eerste meetresultaten heeft plaats gevonden in het



Afb. 8 Meting aan de onderzijde van een plaatbrug. Rekmetering m.b.v. meethorloges en capacitieve rekmeters.



Afb. 9
Meting aan voor-
gespannen balk:
Meethorloges,
Huggenberger - rek-
meters en krom-
mingsmeters.

Rapport Préliminair van het congres van de A.I.P.C., Cambridge-Londen 1952. De metingen zijn thans beëindigd, de resultaten zullen in rapporten worden vastgelegd. De interpretatie van de resultaten van deze metingen op platen van gewapend beton blijft voor de spanningen onder de geconcentreerde lasten een moeilijk punt, waarbij de vraag komt in hoeverre op de plasticiteit van het beton kan worden vertrouwd. Een meting aan een in aanbouw zijnde plaatbrug werd reeds uitgevoerd (afb. 8). Met deze problemen bemoeit zich nu de reeds vermelde Onderzoekingscommissie A₄ „Belastingsspreiding”, die het verdere onderzoek ter hand heeft genomen.

15. Het onderzoek van de berekening van betonconstructies volgens de plasticiteitstheorie heeft in eerste instantie geleid tot het Rapport BI - 8 - 2025, waarin voor een op buiging belaste gewapend betonnen balk bij toenemende belasting de verschillende stadia (betontrek- en drukzone elastisch, betontrekzone plastisch, resp. gescheurd, betondrukzone plastisch, staalspanning aan en boven de vloeigrens) werden nagerekend en het gevonden verband tussen buigend moment en hoekverdraaiing ($M-\alpha$ -diagram) met de resultaten van enkele proefbalkjes werd vergeleken. Sindsdien wordt het onderzoek voor een groot gedeelte uitgevoerd in opdracht van de Commissie voor Uitvoering van Research (C.U.R.) van het Febo en hebben uitgebreide proevenseries plaats gevonden (afb. 5). De invloed van de factor tijd (het kruipverschijnsel), die bij de meeste beschouwingen over de plasticiteitsleer vergeten wordt, maakt de problemen echter zeer gecompliceerd. Het is wellicht mogelijk dat een berekening volgens de gebruikelijke n -methode nog het best aan de verschijnselen op de lange duur beantwoordt. In overeenstemming hiermee

zou zijn dat een recent gebouwde brug in Duitsland is berekend met $n = 15$ (dus volgens de n -methode met een $E \cong 140.000 \text{ kg/cm}^2$) voor blijvende belasting als eigen gewicht en met $n = 6$ (dus $E \cong 350.000 \text{ kg/cm}^2$) voor de mobiele belasting.

16. Het onderzoek van voorgespannen beton, bepaalde zich tot nu toe tot het meten aan enkele balken te Emmen („Beton” 1 en 2, 1952 en „De Ingenieur” 1952, no. 4 en 7) en te Alphen aan de Rijn (zie voor één van deze metingen: „Beton” no. 6, 1952 en „De Ingenieur” 1952, no. 30) (afb. 9).

Voorts vindt in het laboratorium een experimenteel onderzoek plaats naar de slip, die kan optreden in de draden bij de verankeringsystemen van Freyssinet en Magnel en wordt de spanningsverdeling in de omgeving van de eindverankeringen theoretisch nader onderzocht (afb. 7). Deze onderzoekingen betreffende de eindverankeringen zullen ook in C.U.R.-verband worden voortgezet.

17. Het onderzoek van schaaldaken is begonnen met de berekening van vouw-schalen, dat zijn dus prismatische schalen. De berekening geschiedde volgens de methode, aangegeven door E. Gruber (Mémoires van de A.I.P.C. 1932, no. 1) die ook te vinden is in het leerboek „Flächentragwerke” van K. Girkmann. In het rapport BI - 10 - 2030 wordt een uitbreiding aan deze methode gegeven voor het geval de schaal aan de uiteinden niet vrij is opgelegd, en waarbij de sinusfuncties, waarin de belastingen en spanningen in de lengterichting van de schaal worden ontwikkeld, worden vervangen door e -functies. Verscheidene vouw-schalen zijn voor de praktijk berekend.

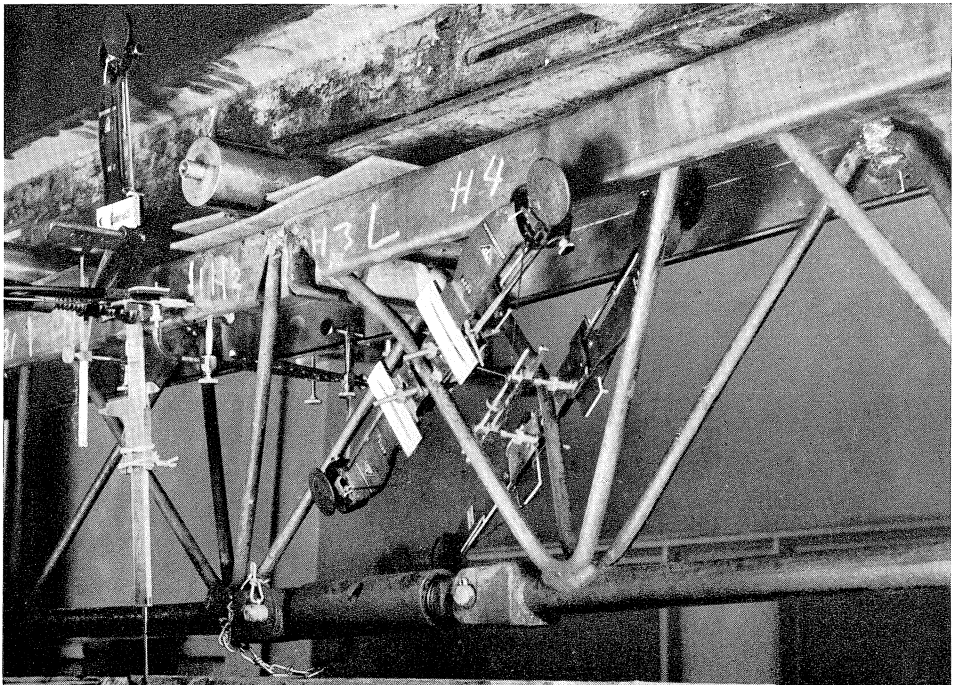
Sinds het patent op het bouwen van schaaldaken met continue dwarskromming is verlopen, worden ook van dit type belangrijk meer schalen gebouwd dan voorheen. De analytische rekenmethoden hiervoor zijn zeer gecompliceerd. Bij de Werkgroep is door Ir. W. J. van der Eb een eenvoudiger methode ontwikkeld (Rapport St I - 18 - 4038). Voor de praktijk zijn talloze schalen op deze wijze berekend. De methode is sindsdien echter nog belangrijk bekort en zal nu te zijner tijd worden gepubliceerd, tezamen met tabellen, waardoor nog aanmerkelijk op het rekenwerk kan worden bespaard.

Ook experimenteel onderzoek aan modellen van schaaldaken vindt plaats, terwijl tal van metingen zijn verricht aan uitgevoerde schaaldaken, zowel gewone als vouw-schalen, en meer zullen volgen. Een groot gedeelte van het onderzoekprogramma voor schaaldaken wordt nu ook door de C.U.R. gefinancierd.

18. Een belangrijk onderzoek heeft plaats gehad naar de relaxatiemethode, een berekeningsmethode, waarmee voorheen ontoegankelijke problemen,

bijvoorbeeld uit de twee-dimensionale spanningsleer, kunnen worden opgelost, analoog met de vereffeningsmethode van H. D. Cross voor balken en raamwerken. In een volgende mededeling zal deze methode uitvoerig worden behandeld.

19. Een klein onderzoek is er geweest naar het gedrag van een bimetaalstrip bij temperatuursverandering.
20. Een kort onderzoek, waarbij van de methoden van het vorige onderzoek gebruik is gemaakt, is er geweest naar het verloop van de aanhechtspanningen tussen beton en staal. Rapport BI - 5 - 2010.
21. Door de praktijk is verschillende malen gevraagd naar de krachtsverdeling in een gelijkmatig belaste rechthoekige plaat, die langs drie zijden ingeklemd en langs de vierde zijde geheel vrij is. Uitkomsten van een berekening voor verschillende afmetingen van de plaat zijn neergelegd in het rapport St I - 17 - 4034.
22. Uiteraard wordt bij de Werkgroep het nodige verricht voor het onderzoek van de diverse meetmethoden, zowel in het laboratorium als op de bouwplaats en zowel wat betreft de te gebruiken instrumenten als de interpretatie van de meetresultaten, die speciaal bij beton zeer veel moeilijkheden oplevert.



Afb 10 Beproeving van het draagvermogen van een bekistingsdrager. Meting met Huggenberger-rekmeters op de diagonalen.

Externe opdrachten

De externe opdrachten kunnen dus zowel van theoretische aard zijn, c.q. berekeningen inhouden, dan wel bestaan uit metingen aan constructies of constructie-elementen in het laboratorium of op de bouwplaats. Vaak zijn natuurlijk ook beide categoriën gecombineerd. Deze opdrachten hebben betrekking op de meest uiteenlopende onderwerpen en vallen derhalve eigenlijk niet in rubrieken onder te verdelen. In het volgende zal een korte opsomming worden gegeven zonder volledigheid na te streven.

Wat de staalconstructies betreft hielden ze o.m. in:

Berekeningen en metingen aan constructies als kranen en kraanbanen, onderwerpen als het plooiën van platen, de knik van kolommen (in het bijzonder soms het wringend knikken).

Opvallend was dat verreweg de meeste opdrachten uit de betonpraktijk kwamen.

De betonopdrachten betroffen o.m.:

Berekeningen van en somtijds metingen aan vouwschalen en gewone schaaldaken, een enkele maal met inbegrip van de ondersteunende portalen.

Berekeningen van en veelal metingen aan platen, als daken of vloeren, soms in de vorm van paddestoelvloeren, bodems of wanden.

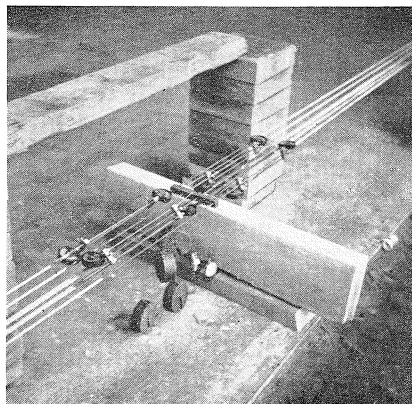
Berekeningen en/of metingen van liggers, palen en meerstoelen, spanten (al of niet voorgespannen), bogen, koepels, buizen (al of niet voorgespannen), schoorstenen, trappen en diverse bouwsystemen en bouwplaten (afb. 10 en 11).

Knikproblemen.

Trillingsverschijnselen in bruggen, gebouwen en in fundamenteën.

Verschijnselen als scheurvorming in torens, kelders, woonhuizen, koelhuizen, temperatuurspanningen en de invloed van kruip.

Deze opsomming dient slechts om enige indruk te geven. In volgende nummers zullen verschillende van de hier genoemde onderwerpen, voor zover van algemeen belang, nader worden behandeld.



Afb. 11 Rekmeting m.b.v. meethorloges op voorspandraden.

Uiteraard wordt, zowel wat de interne als de externe onderzoeken betreft, als er aanleiding toe is, samengewerkt met andere T.N.O.-instellingen als het Bouwmaterialeninstituut, het Corrosie-instituut en het Metaalinstituut.

Ook bestaat er een goede samenwerking met instellingen als het Laboratorium voor experimenteel spanningsonderzoek van de afdeling voor Weg- en Waterbouwkunde van de Technische Hogeschool en het Bruggenbureau van de Rijkswaterstaat (afb. 6 en 8).

Met de diensten van Bouw- en Woningtoezicht in enkele grote gemeenten bestaat een zeer goede verhouding.

Het laboratorium werd verscheidene malen bezocht door buitenlanders, zowel individuele bezoekers van over de gehele wereld (o.m. Canada, U.S.A., Zuid-Afrika, India, Australië, Japan) als groepen, zoals bijvoorbeeld in September 1952, de leden van de Réunion des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions.

Met verschillende Europese Instituten worden contacten onderhouden.

Elk werk stelt zijn speciale eisen. Maar in het bijzonder geldt dit toch wel voor spuurwerk.

Op enkele van de moeilijkheden bij buitenmetingen is reeds gewezen. In volgende mededelingen, als enige van deze metingen zullen worden beschreven, zal hier nader op worden teruggekomen.

Ook de theoretische kant heeft zijn moeilijkheden. Oplossingen voor problemen worden lang niet altijd achter een bureau bedacht. Onopgeloste problemen kunnen in de gedachtenwereld blijven hangen. Tegenslagen bij experimenten komen geregeld voor.

Een goede dosis optimisme en doorzettingsvermogen is voor spuurwerk daarom wel een vereiste. Ogenblikkelijke resultaten van het werk zijn somtijds niet te zien, maar dat spuurwerk altijd, hetzij direct, hetzij indirect, op de duur zijn rente dubbel en dwars opbrengt, kan wel als vaststaand worden aangenomen. Altijd doet men ervaring op, die bij een ander onderzoek ten goede kan komen. Daarom heeft dit werk zo'n bekoring, ook door de veelheid van problemen waarmede men in aanraking komt.

In een zich steeds verder ontwikkelende bouwtechniek zal dit spuurwerk dan ook in toenemende mate een vooraanstaande plaats innemen voor het verkrijgen van betere en economischer constructies.