

Perronoverkapping station D.P.

METINGEN AAN EEN SCHAALDAK TE ROTTERDAM

Inleiding

De Werkgroep Gewapend Beton- en Staalconstructies T.N.O. kreeg van Korteweg's Bouwmaatschappij te Breda de opdracht, enkele spannings- en doorbuigingsmetingen te verrichten aan de vlinderschaal, welke door genoemde bouwmaatschappij op het nieuwe station Rotterdam D.P. werd gebouwd.

De Werkgroep, die zich gedurende enkele jaren intensief bezig houdt met de bestudering van schalen, vond deze schaal een geschikt studieobject. Na overleg met de aannemer werd dan ook besloten, een uitgebreider meetprogramma aan te houden dan dat, wat oorspronkelijk was gepland. De „Commissie Uitvoering Research” (C.U.R.) van het Fonds voor Experimenteel Betononderzoek (Febo) ging er mee accoord, dat een gedeelte van de kosten van het onderzoek uit het Febo betaald zouden worden. De metingen en de resultaten ervan vormen een waardevolle bijdrage voor de onderwerpen, waarmede een tweetal commissies zich bezighouden.

Zodoende ontstond een zeer geslaagde samenwerking, zowel financieel als wetenschappelijk, tussen de volgende groepen:

- a. Korteweg's Bouwmaatschappij, Breda
- b. N.V. Spoorwegopbouw te Utrecht
- c. De Onderzoekingscommissie „Schalen” (Febo)
- d. De Onderzoekingscommissie „Metingen op de Bouwplaats” (Febo)
- e. De Technische Hogeschool, lab. „Experimenteel Spanningsonderzoek” van de afd. Weg- en Waterbouwkunde
- f. De Werkgroep Gewapend Beton- en Staalconstructies T.N.O.

De schaalconstructie (zie fig. 1).

De schaal, waaraan de metingen werden verricht, was opgelegd op twee kolommen, welke op een onderlinge afstand stonden van 13,55 h.o.h.

Buiten de kolommen was de overkapping in de lengterichting van het perron verlengd (uitkraging). Deze uitkragingen, die een lengte hadden van ca.

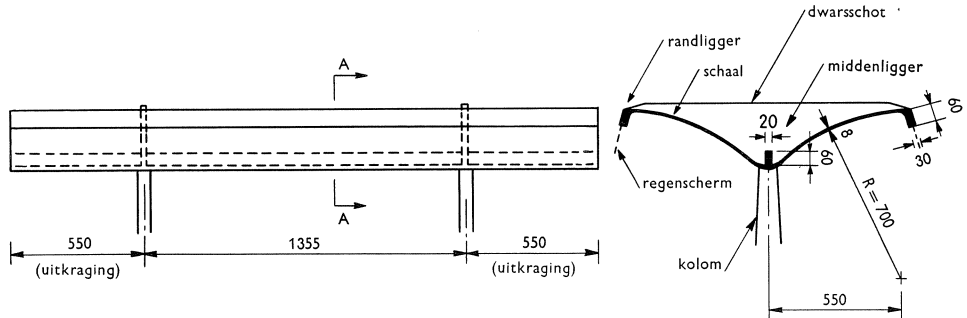


Fig. 1. Zijaanzicht van de overkapping en doorsnede A-A.

5,50 m, hadden tot gevolg, dat het gedeelte van de schaal, dat zich tussen de kolommen bevond, zich vrijwel gedroeg als een aan beide zijden volledig ingeklemde schaal.

De belastingen op de overkapping werden door de schaalconstructie, be-

staande uit twee randliggers (30×60 cm), een middenligger (20×60 cm) en daartussen de beide schaalhelften (dikte ca. 8 cm), overgebracht naar de dwarsverstijvingen, welke t.p.v. de kolommen waren aangebracht.

Tijdens de metingen waren de glazen regen- en windschermen nog niet gemonteerd.

Het eigenaardige dwarsprofiel van de schaalconstructie is de aanleiding geweest tot de betiteling van „vlinderschaal”.

De berekeningen

De spanningen in het schaallichaam werden volgens de tot nu toe gebruikelijke berekeningswijze, door de Werkgroep bepaald. Enige resultaten van deze berekening, waarbij de ondersteuningsconstructie (ko-

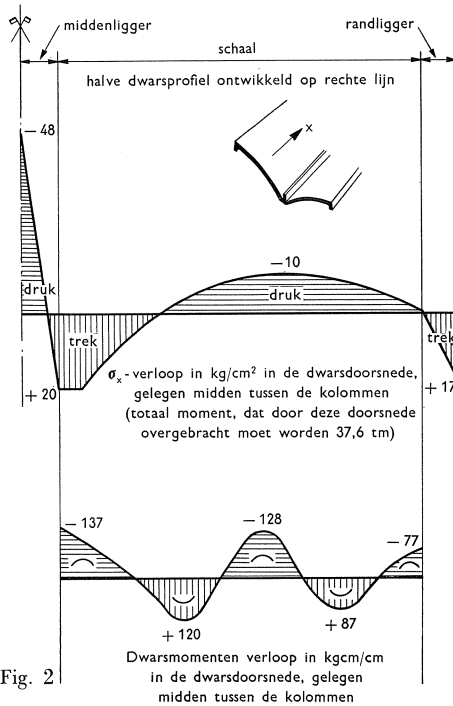


Fig. 2

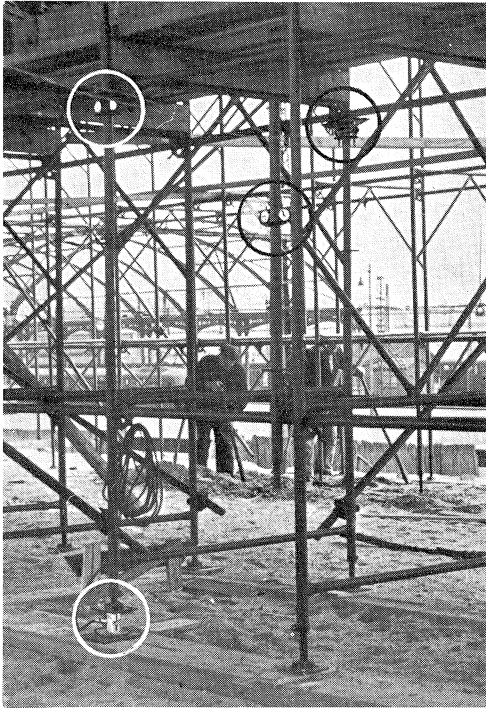


Fig. 4. Doorbuigingsmeter.

Fig. 3. Meting aan het steigerwerk.
Drukdoos en rekmeters
(meethorloges).

lommen met dwarsschot) vormvast werd aangenomen, zijn in fig. 2 aangegeven. De grafieken gelden voor een totale belasting (inclusief eigen gewicht) van 300 kg/m^2 .

Aangenomen kan worden, dat de σ_x -spanningen t.p.v. een steunpunt tweemaal zo groot zijn en tegengesteld van teken, als die t.p.v. het veldmidden.

De metingen

Bij reeds eerder verrichte metingen aan schaaldaken was het vermoeden ontstaan, dat op het ogenblik van ontkisten het merendeel van de spanningen reeds in de schaal aanwezig is.

Als mogelijke oorzaak werd het krimpen van een houten bekistingssteiger aangegeven. Hoewel bij de vlinderschaal een stalen steigerwerk werd toegepast, werd het toch wenselijk geacht de *spanningen in de steiger* te bepalen in de periode van het storten tot het ontkisten. Op verschillende plaatsen werden daartoe rekmeters op de stijlen van het steigerwerk geplaatst, terwijl bovendien enkele drukdozen werden aangebracht (zie fig. 3).

De *doorbuigingen* van de schaal werden geobserveerd vanaf het storten tot ca. 2 weken na het ontkisten (zie fig. 4). Op de schaalconstructie werden t.p.v. het veldmidden en nabij de oplegging op diverse plaatsen *beton-rekmeters* en *krommingsmeters* aangebracht. (zie fig. 5, 6 en 8). Deze meetinstrumenten, die met gips op het beton bevestigd worden, konden pas aangebracht worden, nadat

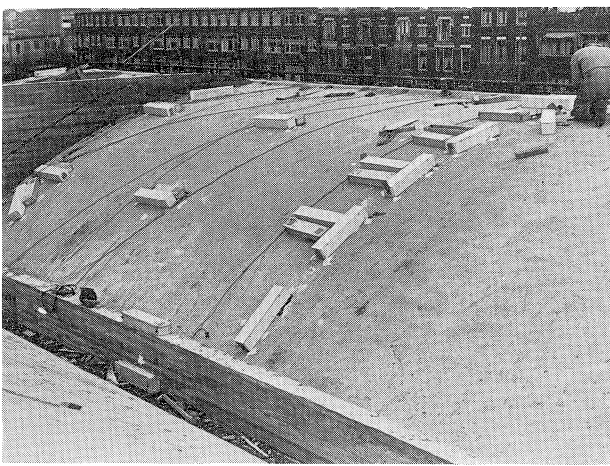


Fig. 5. Overzicht meetpunten.

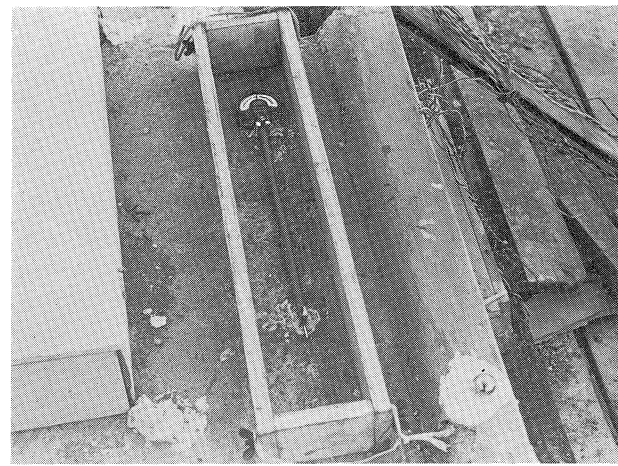


Fig. 6. Betonrekmeter.

het beton voldoende verhard was. Veertien dagen na het begin van het betonstorten werden de eerste metingen met genoemde meetinstrumenten verricht. Ten einde ook over de eerste veertien dagen een indruk van de spanningen in de schaal te kunnen verkrijgen werden verschillende wapeningsstaven van *weerstandstekstrookjes* voorzien en ingebetonneerd. (zie foto 9).

Op dummie-platen, die, onder dezelfde omstandigheden, gelijk met de schaal werden gestort en die dezelfde dikte en wapening hadden als een gedeelte van de schaal, werden eveneens beton-rekmeters, krommingsmeters en weerstandstekstrookjes aangebracht. De dummieplaten waren zodanig opgelegd, dat bij temperatuursvariaties een vrijwel onbelemmerde vervorming mogelijk was, waardoor de temperatuurs-*spanningen* vrijwel gelijk aan nul bleven. Zouden, onder invloed van temperatuursvariaties, de *actieve* instrumenten op de schaal dezelfde uitslag vertonen als de overeenkomstige instrumenten op de dummie-platen, dan waren de temperatuurs-*spanningen* in de schaal eveneens vrijwel nul. Bij ongelijke aflezingen tussen actief instrument en dummie was het verschil een maat voor de temperatuursspanningen in de schaal.

Gedurende ca. twee weken na het ontkisten werden op deze wijze de spanningsvariaties in de schaal als gevolg van temperatuurswisselingen bepaald.

Bij de boven omschreven metingen, die zich over totaal vier weken uitstrekten, zijn de gemeten vervormingen een gevolg van verschillende factoren, zoals zetting van het steigerwerk, krimp en kruip van het beton, temperatuursinvloeden, ontkisten, nulpuntsdrijf van het meetinstrument enz. Aangezien enige invloeden gelijktijdig werken is het over het algemeen moeilijk bij een dergelijke meting op lange termijn de verschillende invloeden te scheiden. Het resultaat is een minder nauwkeurige uitkomst. Daarom werd besloten de spanningen t.g.v. de *belasting* nauwkeuriger te bepalen door metingen te verrichten tijdens een, gedurende korte tijd aanwezige, proefbelasting. Alle andere factoren werden daardoor zo veel mogelijk geëlimineerd, terwijl bovendien de proefbelasting in de nacht tijdens een periode van vrijwel constante temperatuur, werd uitgevoerd. De belasting, die werd aangebracht d.m.v. zandzakken, bestond uit een „lijnlast” van totaal 8,6 ton t.p.v. het veldmidden

(zie fig. 7). De belastingverdeling in dwarsrichting stemde vrijwel overeen met de verdeling van het eigen gewicht van de schaal. Zodoende was een vergelijking met de theoretisch bepaalde spanningen eenvoudiger.

De meet-resultaten

a. Metingen aan de steiger

Ter plaatse van de middenbalk en de randbalken waren stalen steigers aangebracht. De schaalhelften werden gedragen door bekistingliggers, die op de genoemde steigers waren opgelegd.

In fig. 10 is het verloop van de kracht in de steiger als functie van de tijd schetsmatig weergegeven. Daarbij is, gezien het verschil in gedrag, een splitsing gemaakt tussen het steigerwerk t.p.v. de randbalken en de ondersteuningsconstructie t.p.v. de middenligger.

T.p.v. de middenligger blijkt de spanning in het steigerwerk na 14 dagen vrijwel geheel afgenomen te zijn tot de spanning, die voor het betonstorten aanwezig was. Bij de randliggers neemt de spanning slechts af met ca. 20%. De middenligger met een gedeelte van de aansluitende schaalhelften moet dus in de verhardingsperiode al het merendeel van zijn eigen gewicht zijn gaan dragen. De beide opleggingen van de schaal moeten daarbij al een gedeelte van de kracht in het steigerwerk overgenomen hebben. De randliggers met de naaste omgeving bleven voor het grootste gedeelte op de bekisting rusten. In de verhardingsperiode bleek ook de temperatuur invloed te hebben op de kracht in de steiger (in fig. 10 niet aangegeven). Bij een temperatuurstijging (zon!) nam n.l. de kracht in de steigers nabij de einden van het overstek toe, terwijl op de steigers, gelegen tussen de kolommen, de kracht afnam. Door de warmere bovenzijde van de constructie wilde de overkapping zich in het midden oplichten en steunde daarbij aan het einde van het overstek op de bekisting.

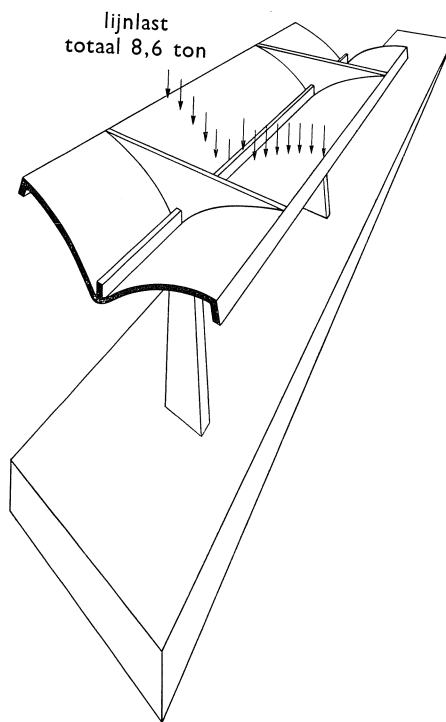
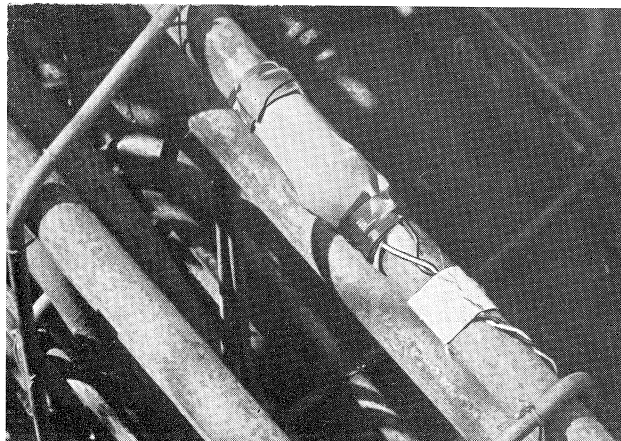


Fig. 7. Schema proefbelasting.

Fig. 8. Krommingsmeter.

Fig. 9. Rekstrookjes op de wapening.



Uit het bovenstaande volgt, dat vóór het ontkisten in de schaalconstructie reeds spanningen aanwezig waren. Dit werd nog bevestigd door het feit, dat vóór het ontkisten in een randligger al een scheur over vrijwel de gehele hoogte van de balk aanwezig was ter plaatse van een doorgaande uitsparing in de balk, voor de bevestiging van de raamroeden. Deze uitsparingen zijn bij de volgende kapgedeelten achterwege gelaten.

b. *Doorbuigingsmetingen*

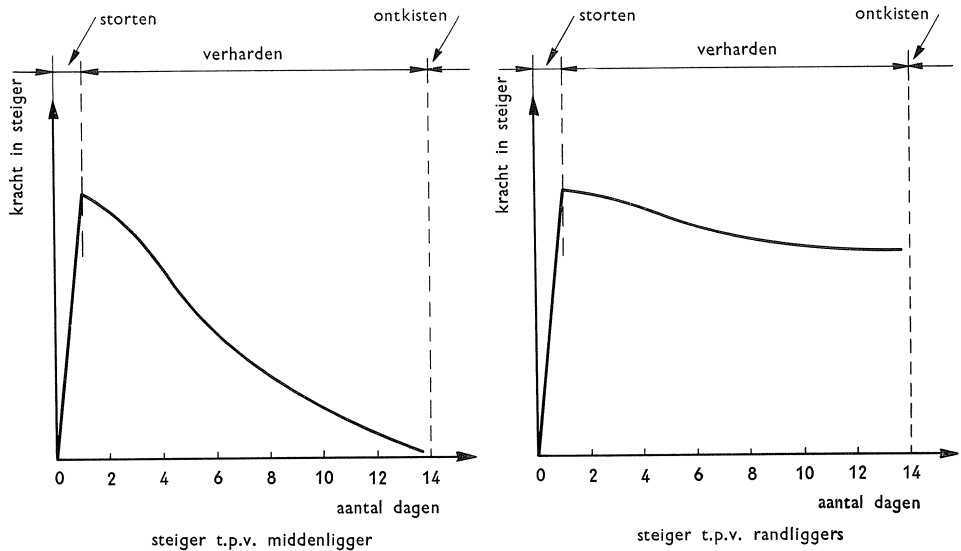
De resultaten van de metingen, verricht tijdens het storten, verharden en ontkisten zijn voor de randbalken en de middenligger in fig. 11 aangegeven. Ter wille van de duidelijkheid zijn de meetresultaten enigszins geïdealiiseerd weergegeven, met dien verstande, dat alleen de algemene tendenz, vrij van storende invloeden zoals temperatuur enz., is getekend.

Bestudering van de grafieken (fig. 11) leidt tot de volgende resultaten:

1. de middenligger heeft t.g.v. het ontkisten geen extra doorbuiging gekregen (er werd zelfs een zeer geringe stijging geconstateerd)
2. de randliggers daarentegen hebben tijdens het ontkisten wél een extra doorbuiging gekregen.
3. tijdens de verhardingsperiode is bij de middenligger vrijwel geen extra zetting opgetreden.

1. en 2. stemmen goed overeen met het onder a beschreven gedrag van de schaal in de verhardingsperiode. Uit 3. volgt, dat het afnemen van de kracht in het steigerwerk tijdens de verhardingsperiode waarschijnlijk niet het gevolg is van een zetting van het steigerwerk.

Fig. 10. Verloop van de krachten in de steigers.



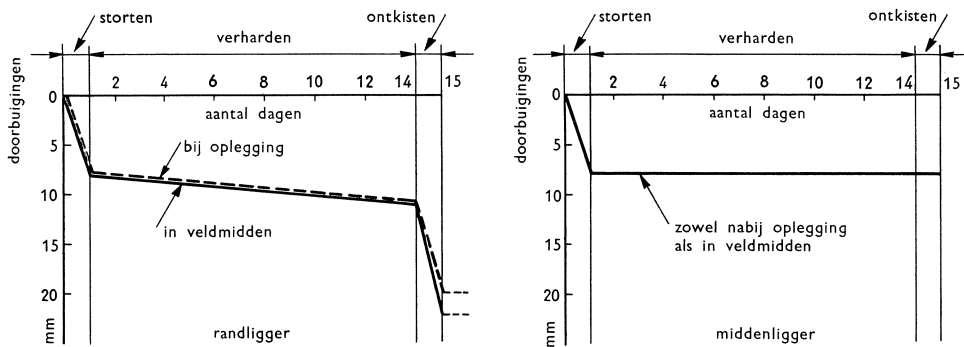


Fig. 11. Verloop van de doorbuigingen van midden- en randliggers

4. de randliggers hebben bij de dwarsverstijving een zakking gehad van 9 mm, terwijl in het veldmidden de zakking ca. 11 mm bedroeg.

Dit vierde resultaat betekent, dat men bij de berekening van schaaldaken steeds moet nagaan of aan de gebruikelijke aanname van een vormvaste oplegconstructie is voldaan.

Na het ontkisten bleek de temperatuur grote invloed te hebben op de doorbuigingen van de schaal.

Bij een temperatuurs-stijging, waarbij voornamelijk de bovenzijde van de schaal warmer werd, bleken de einden van het overstek te zakken, terwijl midden tussen de steunpunten een stijging waargenomen werd (zie ook onder a). Per °C temperatuursverschil van de lucht (gemeten in de schaduw) werden verplaatsingen van ca. 2 mm t.p.v. de randbalken aan het einde van het overstek geconstateerd; in het veldmidden bedroegen deze verplaatsingen ca. 1 mm per °C.

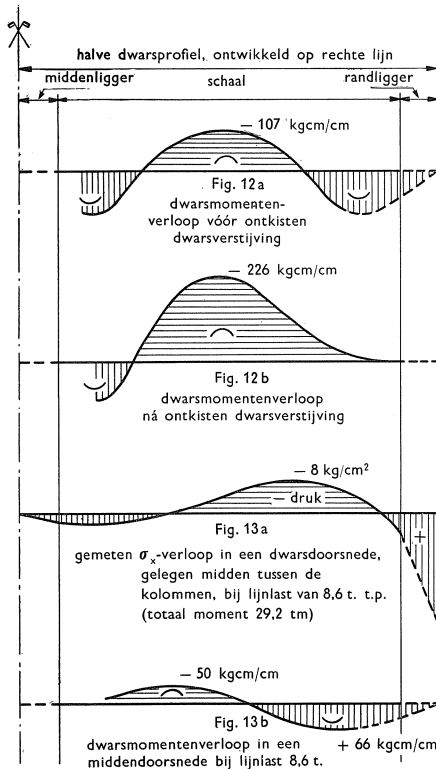
c. *Metingen met betonrekmeters, krommingsmeters en weerstandsrekstrookjes.*

De resultaten van de metingen met de ingebetonnerde weerstandsrekstrookjes waren van dien aard, dat het ontleneren van conclusies hieraan niet verantwoord werd geacht. Waarschijnlijk waren de rekstrookjes niet voldoende tegen vocht en tegen mechanische beschadigingen beschermd. Gegevens omtrent de spanningen, die in de schaal tijdens de verhardingsperiode waarschijnlijk ontstonden, ontbreken dus. Daardoor werd met de betonrekmeters en de krommingsmeters tijdens het ontkisten slechts een indruk verkregen van de spannings-*variatie* als gevolg van het ontkisten en kon geen uitsluitsel gegeven worden omtrent de werkelijk optredende spanningen. Daar tijdens de proefbelasting een beter beeld verkregen werd van de door een belasting optredende spanningen, kunnen metingen tijdens het ontkisten hier grotendeels buiten beschouwing blijven. Slechts één opvallend verschijnsel, waarop in de discussie wordt terug gekomen, zal vermeld worden.

Tijdens het ontkisten kwam n.l. een, achteraf beschouwd, belangrijk stadium voor, t.w. het stadium, waarbij de overkapping op de dwarsverstijvingen na, geheel ontkist was. Vóór het ontkisten van de dwarsverstijvingen werd een dwarsmomentenverloop gemeten, zoals in fig. 12a is aangegeven. Na het ontkisten had dit verloop zich gewijzigd in het verloop, dat in fig. 12b is aangegeven. Door het ontkisten van de dwarsverstijving sloeg het dwarsmoment nabij de randbalk dus van teken om. De gemeten waarde van -226 kgcm/cm is niet de werkelijke waarde van het dwarsmoment; omdat de reeds aanwezige momenten vóór het ontkisten niet gemeten werden, kon de werkelijke waarde niet bepaald worden. Ondanks deze tekortkoming kan echter wel gezegd worden, dat de werkelijke dwarsmomenten in absolute waarde groter moeten zijn geweest dan 113 kgcm/cm . Bedenkt men daarbij, dat het eigen gewicht ongeveer gelijk is aan de nuttige last, dan kunnen deze dwarsmomenten bij een nuttige belasting oplopen tot ten minste het dubbele, dus een waarde, die aanzienlijk hoger ligt dan zou volgen uit de theorie (zie fig. 2).

De spanningen en momenten, die t.g.v. de *proefbelasting* (lijnlast van $8,6 \text{ ton}$) in de overkapping ontstonden, zijn aangegeven in fig. 13. In de middenligger en het gedeelte van de schaal in de nabijheid ervan, bleken slechts geringe σ_x -spanningen op te treden, de randliggers daarentegen bleken veel grotere specifieke vervormingen te krijgen. Aangezien de ene randligger reeds vroegtijdig gescheurd was, zoals werd opgemerkt onder a, terwijl de andere randligger na het ontkisten scheurde, zijn in fig. 13 daar de met de gemiddelde rek overeenkomende betonspanningen, die in werkelijkheid echter niet optraden, met een stippellijn aangegeven.

Vergelijking van fig. 13 met fig. 2 leert ons, dat de gemeten σ_x -spanningen aanzienlijk afwijken van de theoretisch bepaalde spanningen. De aanvankelijke verklaring, dat dit verschil het gevolg zou zijn van de afwijking in de belasting (lijnlast t.o.v. gelijkmatige last) verviel, doordat uit aanvullende metingen, waarbij de lijn-



last op andere plaatsen werd aangebracht, bleek, dat het σ_x -verloop in een doorsnede vrijwel gelijkvormig aan het in fig. 13 geschetste verloop bleef. Uit de metingen tijdens de proefbelasting bleek, dat het verloop van de dwarsmomenten zeer gevoelig was voor plaatselijke storingen, zowel in de constructie (scheuren b.v.) als in de belasting (geconcentreerde lasten b.v.).

Het theoretische verloop van de dwarsmomenten, waarbij vier momentnulpunten optraden, kwam geenszins overeen met de meetresultaten.

De temperatuurs-*spanningen* in de schaal bleken tot een niet te verwaarlozen grootte te kunnen oplopen. Als een van de belangrijkste oorzaken van deze spanningen kan de zonbestraling genoemd worden. Door deze bestraling wordt n.l. slechts één schaalhelft verwarmd, terwijl de andere helft, doordat de zon een geringe invalshoek heeft t.o.v. het dakvlak, veel minder in temperatuur stijgt. De uitzetting van de ene helft van de schaal wordt dus belemmerd door het koelere gedeelte, met als gevolg temperatuurspanningen.

Hetzelfde treedt op bij de aansluiting van de schaal aan de randbalk. De uitzetting van de warmere schaal wordt vrijwel geheel belemmerd door de minder warme balk. Dit blijkt duidelijk uit de in fig. 14 aangegeven resultaten van de rekmeting op de schaal t.p.v. de aansluiting aan de randbalk. Aangegeven zijn de temperaturen, gemeten zowel boven als onder de overkapping, de aflezingen van de dummie-rekmeter en de aflezingen van de actieve rekmeter. Bij de actieve rekmeter blijken de rekverschillen t.g.v. de temperatuurswisselingen aanzienlijk kleiner te zijn dan die bij de dummie, hetgeen dus wijst op temperatuurspanningen.

Nabij de dwarsverstijving waren de temperatuurs-*spanningen*, door de belemmering van de vervorming van de schaal ter plaatse, het grootst. De σ_x -spanningen varieerden in de meetperiode als gevolg van de temperatuurswisselingen met maximaal ca. 25 kg/cm², de dwarsmomenten met maximaal ca. 150 kgcm/cm.

Discussie

Getracht werd een verklaring te vinden voor het grote verschil tussen de

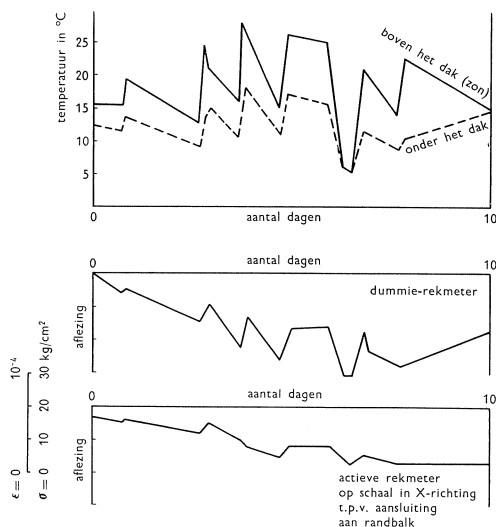


Fig. 14. Bepaling van temperatuurspanningen

resultaten, gevonden bij de proefbelasting, en de waarden voor σ_x en het dwarsmoment, gevonden langs theoretische weg.

Een voorlopig theoretisch onderzoek toonde aan, dat, indien de vrij grote zakkingen van de dwarsverstijvingen t.p.v. de randbalken in rekening worden gebracht, het spanningsbeeld daardoor geheel verandert. In overeenstemming met de metingen werd een verplaatsing van de σ_x -spanning van de middenligger naar de randligger gevonden. Men kan zich dit verschijnsel als volgt voorstellen: Door de slappe dwarsverstijvingen zal elk van de beide schaalhelften de neiging hebben te gaan draaien om een horizontale as in de x-richting, hetgeen een ontlastende invloed heeft op de middenligger (zie fig. 15).

De globale berekeningen hebben verder aangetoond, dat bij een slappe randbalk de dwarsmomenten nabij de randbalk van teken veranderen t.o.v. de momenten bij een stijvere randbalk, een verschijnsel, dat inderdaad geconstateerd werd tijdens het ontkisten van de dwarsverstijving (zie fig. 12 en 12a). De grote verschillen tussen theorie en proef aangaande het verloop van de dwarsmomenten (zie fig. 2 en fig. 13) moeten toegeschreven worden aan de grote gevoeligheid van de dwarsmomenten voor plaatselijke verstoringen.

Samenvatting en conclusies

1. Reeds kort na het betonstorten gaat de schaalconstructie al een gedeelte van zijn dragende functie van de bekisting overnemen. Indien met grotere tussenpozen wordt gestort heeft de volgorde en snelheid van storten invloed op de spanningsverdeling in de schaal.
2. Meestal wordt in de theorie de dwarsverstijving t.p.v. de oplegging als vormvast aangenomen. In het onderhavige geval bleek dit echter niet verantwoord te zijn. De spanningsverdeling in de schaal werd hierdoor in belangrijke mate verstoord.
3. De werkelijk optredende spanningen worden door veel meer factoren bepaald dan de, uit de gebruikelijke theorieën volgende spanningen. Vooral de temperatuur heeft grote invloed op de spanningsverdeling. Bij deze vlinderschaal werden σ_x -spanningen tot 25 kg/cm² en dwarsmomenten tot 150 kgcm/cm gemeten door de in een periode van 14 dagen (April '53) optredende temperatuurs-variëaties.
4. De dwarsmomenten blijken zeer gevoelig te zijn voor plaatselijke storingen en temperatuurswisselingen. In verband hiermede wordt geadviseerd steeds bij een schaal zowel een onder- als een bovenwapening t.b.v. de dwarsmomenten aan te brengen van b.v. $\varnothing 8$ —20 zoals hier is gebeurd.
5. De variatie in de doorbuigingen van de schaal t.g.v. een temperatuurswisseling lag in de orde van grootte van 2 mm/°C aan het einde van het overstek en 1 mm/°C midden tussen de kolommen.

Fig. 15.

