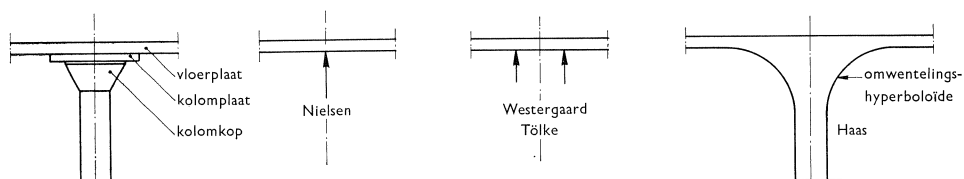


HET ONDERZOEK VAN PADDESTOELVLOEREN

In 1906 wordt in Amerika de eerste gewapend-betonpaddestoelvloer gebouwd. Bij een proefbelasting blijkt een gunstige krachtwerving, die met de op dat ogenblik beschikbare kennis onverklaarbaar is. Veel onderzoekers grijpen deze gelegenheid aan om het gedrag van dergelijke vloeren nader te bestuderen. Zoals met speurwerk dikwijls het geval is: men vindt in eerste instantie geen bevredigende verklaring, maar krijgt wel een inzicht in de moeilijkheden, die aan de oplossing van het probleem zijn verbonden.

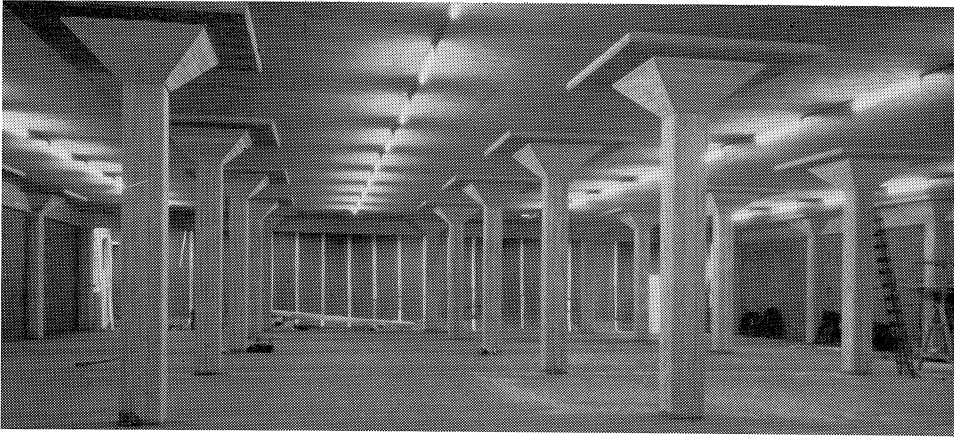
Het blijkt zeer moeilijk het ruimtelijke karakter van de constructie, dat in het bijzonder tot uiting komt in het gedrag en de functie van de kolomkop en -plaat, theoretisch toegankelijk te maken, zelfs indien het materiaal als homogeen, elastisch en isotroop wordt verondersteld. Bovendien blijkt de kennis van het materiaal gewapend beton, met zijn hiervan afwijkende eigenschappen, nog onvoldoende om theorie en experiment met elkander te doen overeenstemmen.

Grondleggers voor de berekening van de invloed van kolomkop en -plaat zijn WESTERGAARD en TÖLKE, die de oorspronkelijk door NIELSEN aangenomen puntvormige plaatondersteuning vervangen door een cirkelvormige ondersteuning, waarlangs de vloerplaat min of meer ingeklemd wordt gedacht. HAAS breidt de methode van TÖLKE uit door de vorm van de kolomkop in rekening te brengen, waarbij deze benaderd wordt door een omwentelingshyperboloïde.



Alle onderzoekers beperken zich echter tot het zgn. ideale gelijkmatig verdeeld belaste middenveld. Eveneens voor het ideale middenveld wordt het begrip momentensom ingevoerd, dat gebaseerd is op het statisch evenwicht (NICHOLS).

Na de Tweede Wereldoorlog, dus ongeveer 40 jaar na het bouwen van de eerste paddestoelvloer is echter nog steeds geen bevredigende verklaring ge-

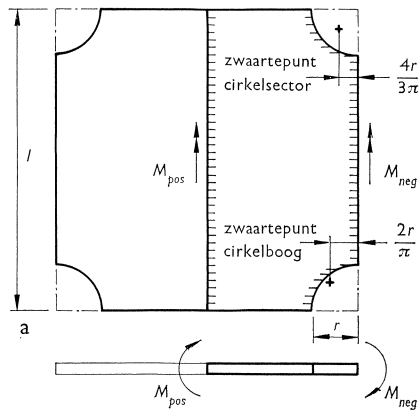


Paddestoelvloer met vierkante kolomkoppen en kolomplaten

Opbouw van de momentensom

Voor de momentensom (M_0) geldt:

$$\begin{aligned}
 M_0 &= M_{\text{pos}} + M_{\text{neg}} = \\
 &= \frac{1}{8} q l^3 \left[-1 \frac{8r}{\pi l} + \frac{8}{3} \left(\frac{r}{l} \right)^3 \right] \cong \\
 &\cong 0,125 q l^3 \left(1 - \frac{4}{3} \frac{r}{l} \right)^2
 \end{aligned}$$



vonden voor het bij beproeving gebleken gunstige gedrag van deze vloeren. Desondanks past men paddestoelvloeren in de praktijk in toenemende mate toe. In de voor de praktijk opgestelde richtlijnen heeft men de gunstige werking van de paddestoelvloer niet anders in rekening weten te brengen dan door de wet van het statisch evenwicht eenvoudigweg te negeren: de coëfficiënt 0,125 in de formule voor M_0 wordt in de Amerikaanse regels (voorschriften) gereduceerd tot 0,09. Het is wel duidelijk dat aldus de momentensom-methode tot resultaten leidt, die in strijd zijn met andere berekeningsmethoden (zoals b.v. de raamwerk-methode), waaraan wél het statisch evenwicht ten grondslag wordt gelegd.

In deze weinig bevredigende situatie neemt professor VREEDENBURGH in zijn functie van voorzitter van de Werkgroep Gewapend Beton- en Staalconstruc-

ties TNO het initiatief tot een brede aanpak van het probleem. Teneinde binnen het complex van factoren de kans van slagen van het te ondernemen speurwerk te begunstigen begint VREEDENBURGH met het uitschakelen van het materiaalprobleem, en laat een stalen model bouwen: het materiaal staal voldoet immers wel aan de premissen van de bestaande theorieën.

VREEDENBURGH realiseert zich uiteraard zeer goed, dat het experimentele onderzoek aan dit stalen model slechts een klein onderdeel vormt van een volledig speurwerkprogramma betreffende gewapend-betonpaddestoelvloeren. Parallel aan dit onderzoek verloopt onder zijn leiding in T.H.-verband een theoretisch onderzoek door STOKMAN, waarbij in het bijzonder de kolomkop en -plaat onderwerp van studie vormen. Voortgebouwd wordt op de methode van TÖLKE. Bovendien stimuleert hij het meer fundamentele en hoofdzakelijk experimentele onderzoek van het materiaal gewapend beton.

In 1953 worden de resultaten van het TNO-onderzoek aan het stalen model, en het theoretische T.H.-onderzoek in de binnen- en buitenlandse vakpers gepubliceerd [1953¹]. De juistheid van de theorie van HAAS voor het hyperbolische kolomkopprofiel wordt door de resultaten van het stalen model bevestigd; uit het theoretische T.H.-onderzoek blijkt de mogelijkheid een verband te leggen tussen een willekeurige kolomkop-vorm en een equivalente fictieve inklemmingsstraal.

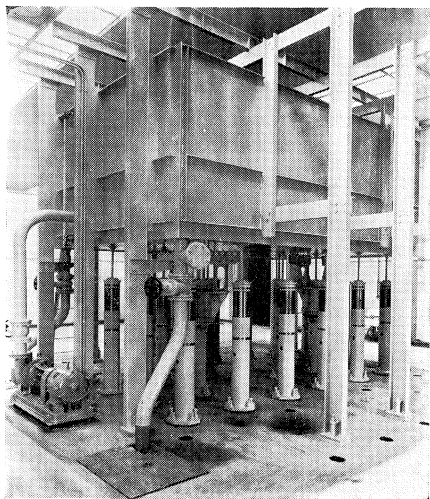
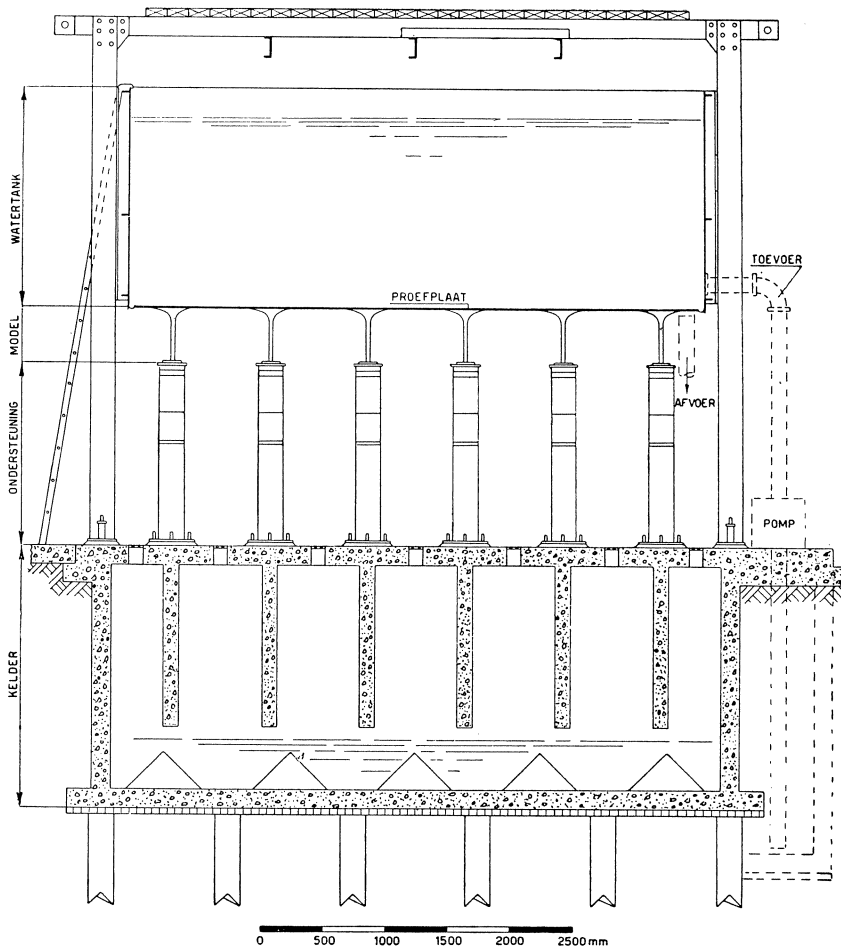
Thans kunnen ook andere velden dan het ideale middenveld in studie worden genomen; hoopgevende verdere resultaten leiden tot in omvang groeiende belangstelling; ook het aantal voorstanders voor een voortgezet onderzoek neemt toe.

Het specifiek op de materiaaleigenschappen van gewapend beton gerichte onderzoek geeft aanwijzingen die het 'gunstige' gedrag van de vloer, geconstateerd bij de proefbelastingen, verklaren: bij deze belastingproeven, uitgevoerd in het gebruiksstadium, zijn de metingen blijkbaar onjuist geïnterpreteerd (verwaarlozing der betontrekspanningen), hetgeen de conclusie van 'gunstigheid' van het gedrag in de hand werkte.

Bij beproeving zich uitstrekkend tot het breukstadium blijkt, volkomen aanvaardbaar, juist wel degelijk een gunstige momentverdelende werking op te treden, ten gevolge van de plastische vervormingen. Dit verschijnsel is algemeen te constateren bij statisch onbepaalde constructies en niet beperkt tot paddestoelvloerconstructies.

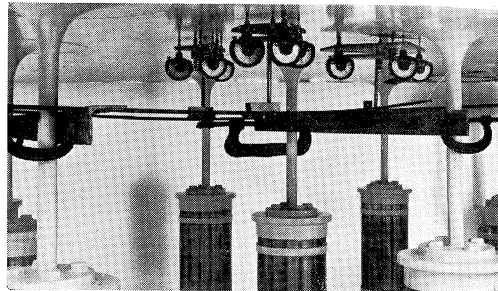
Ten tijde van de herziening van de gewapend-betonvoorschriften van 1950 was het juist beschreven onderzoek nog niet ver genoeg gevorderd om de basis te kunnen verschaffen voor richtlijnen op dit gebied. In de Nederlandse G.B.V. van 1950 zijn zodoende de (onlogische) Amerikaanse voorschriften overgenomen.

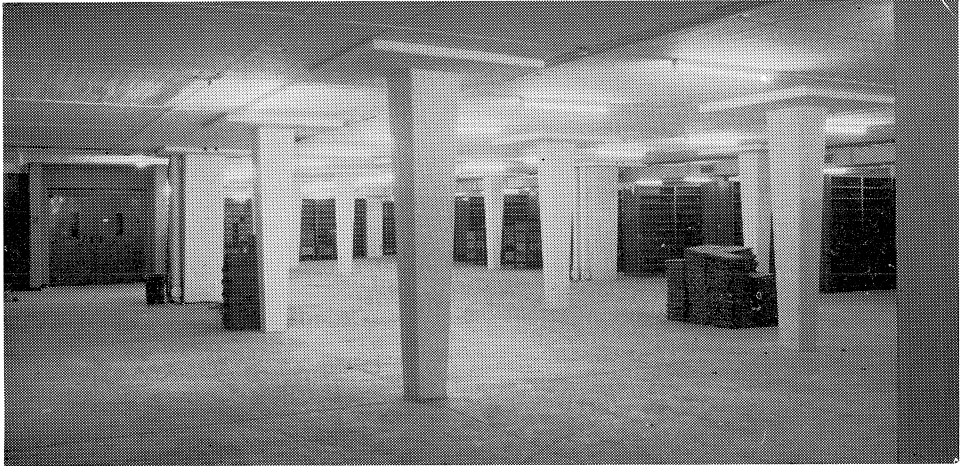
De praktische toepassing van paddestoelvloeren vindt niettemin voortgang. De kolomkoploze paddestoelvloer komt ten tonele, wat weer nieuwe problemen



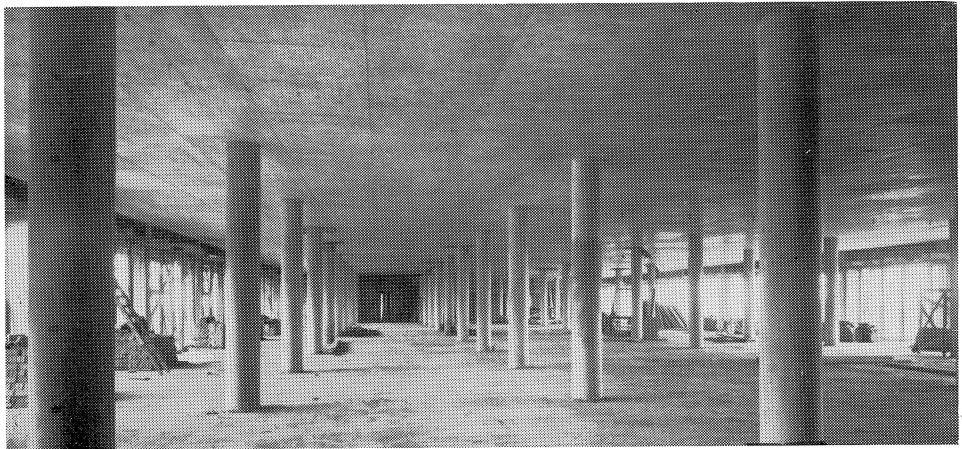
Schema van het stalen model van een paddestoelvloer. Belasting van de vloerplaat door water

De proefopstelling en een detail met meetapparatuur





Paddestoelvloer met vierkante kolomplaten

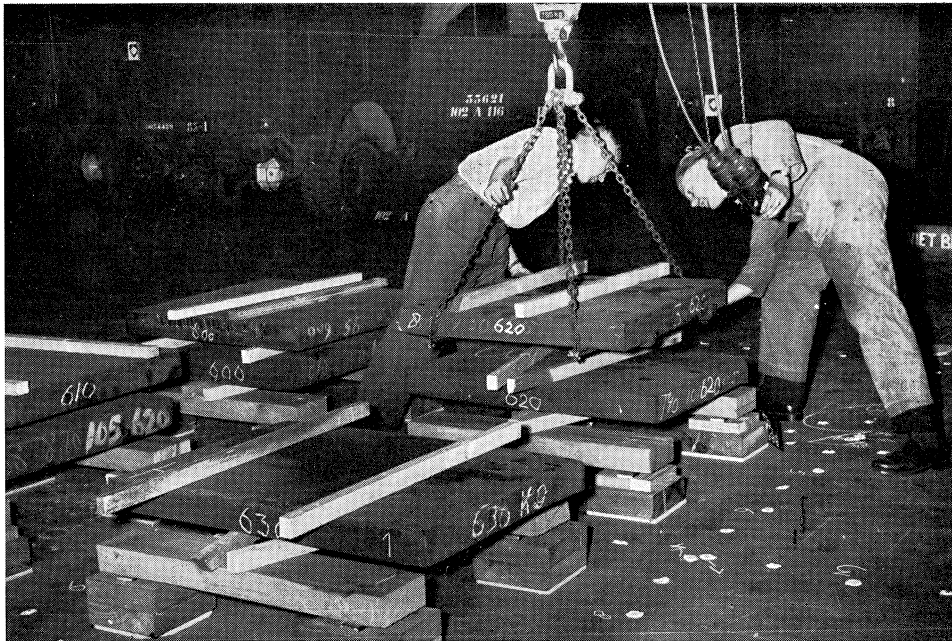


Vlakke plaatvloer („kolomkloze paddestoelvloer”)

aan de reeds bestaande toevoegt. Dank zij de methode van de fictieve inklemingsstraal blijken de hieruit volgende constructieve problemen voor theoretische oplossing toegankelijk.

Het speurwerk in Nederland wordt meer en meer als nuttig en nodig erkend, en voor de stevige ondergrond ervan zorgt de toenemende financiële steun van de regering en het bedrijfsleven. Het werk in de laboratoria vindt in breedte en diepte regelmatig uitbreiding; nieuwe meetmethoden en modeltechnieken ontwikkelen zich hiermee gelijk op.

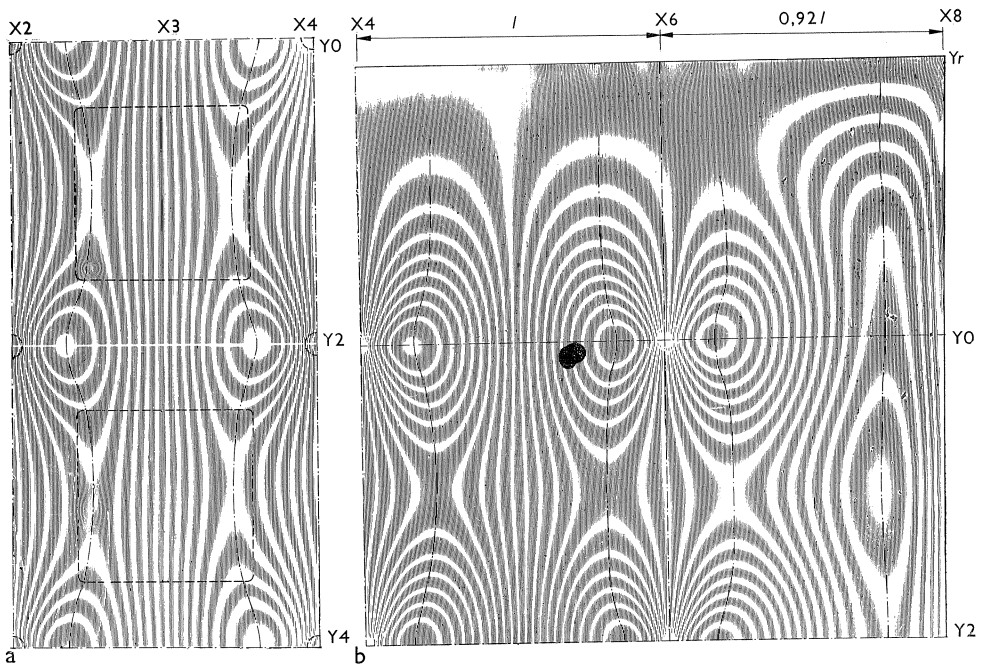
In 1958 krijgt C.U.R.-commissie A8 de opdracht het paddestoelvloer-onderzoek af te ronden en concept-richtlijnen op te stellen. In 1961 brengt deze



Proefbelasting (\pm 1952) van een paddestoelvloer (bovenzijde). Men lette op de meetpunten



Dezelfde proefbelasting; meting aan de onderzijde



Voorbeeld van moiré-figures bij een model van een paddestoelvloer

commissie een wijzigingsvoorstel betreffende de afdeling Paddestoelvroeren uit aan de G.B.V.-commissie. Dit voorstel, gebaseerd op wat de toegepaste mechanica leert, en aan talrijke proeven geverifieerd, wordt in 1962 in de Nederlandse Gewapend Beton Voorschriften verwerkt (G.B.V. 1962). Nog enige jaren wordt aan het paddestoelvloerenonderzoek voortgewerkt, ter afronding en vastlegging in rapporten. Thans kan het als afgesloten worden beschouwd.

Gezegd kan worden, dat thans – 60 jaar nadat de eerste paddestoelvloer werd gebouwd – de praktijk in het bezit is van regels op wetenschappelijk-verantwoorde basis, die met vertrouwen kunnen worden toegepast.

Aan dit resultaat liggen de vooruitziende blik van VREEDENBURGH en zijn stimulerende activiteiten ten grondslag. Hiervoor mag bouwend Nederland hem dankbaar zijn.

J. G. H.