

Recreatiehal met fuséedak bij zwembad, BPM, Pernis

HETFUSÉEDAK

door ir F. J. W. van Eck en ir J. F. Bish

Algemeen

Een constructie, welke speciaal voor daken hier te lande meer en meer toepassing vindt, is die, welke gebruik maakt van „fusées ceramiques". Nieuw is dit materiaal geenszins; het was een geliefd constructiemiddel van de Byzanthijnen (500 v. Chr.), die fusées veelvuldig toepasten o.a. bij de bouw van de San Vitale te Ravenna. De door hen gebruikte fusées waren schroefsgewijze gegroefd, in tegenstelling tot de heden ten dage toegepaste fusées, welke in

lengterichting van groeven zijn voorzien. De fusées, vervaardigd van Limburgse klei, hebben de vorm van een holle cylinder, waarvan het ene uiteinde trechtervormig toeloopt, waardoor deze hals in de volgende cylinder past. De fusées zijn 35 cm lang en hebben een wanddikte van 1 cm. De buitendiameter van de dwarsdoorsnede bedraagt 8 cm. Als omhullend materiaal wordt beton of klinkerisoliet gebezigd. Boven een overspanning van 1.0 m wordt de constructie steeds gewapend en wel met Ø 6-18, zowel aan de boven- als aan de

onderzijde tot en met een overspanning van 15 m en met Ø 8-18 eveneens aan boven- en onderzijde voor grotere overspanningen (zie tek. 1). De wapening wordt verspringend tussen de fusées gelegd. Bij overspanningen groter dan 15 m past men wel 2 en zonodig 3 lagen fusées toe. De gebruikelijke schaaldikte voor 1, 2 en 3 lagen bedraagt resp. 11, 18 en 25 cm.

Ten einde de horizontale spatkrachten op te nemen wordt op bepaalde afstanden een stalen trekstang toegepast.



Het aanbrengen van een fusée-dak

Voor de constructie van een fusée-dak kan worden gebruik gemaakt van verrolbare houten of stalen, mallen, welke gesteld worden d.m.v. krikjes of constructils.

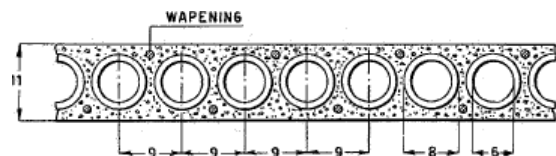
Om de onderzijde van de schaal volkomen glad en strak te krijgen, kan men voor de mal bijv. boardplaten van 4 mm toepassen, hoewel 1-duims geschaafd en geplougd hout ook zeer goed voldoet. Afhankelijk van de weersomstandigheden en het te gebruiken cement kunnen bij een dak zonder wapening in het algemeen na één nacht opstijven en na het aanspannen van de trekstangen, de krikjes worden gelost. De mal zakt dan op zgn. mosterdpotjes, waarover men de bekisting kan weggrollen. Een dak met wapening mag niet eerder gelost worden dan na 36 uur. Op de gestelde mal hecht men, nadat de mal is bestreken met een ontkistingsmiddel, een panlat op een afstand van

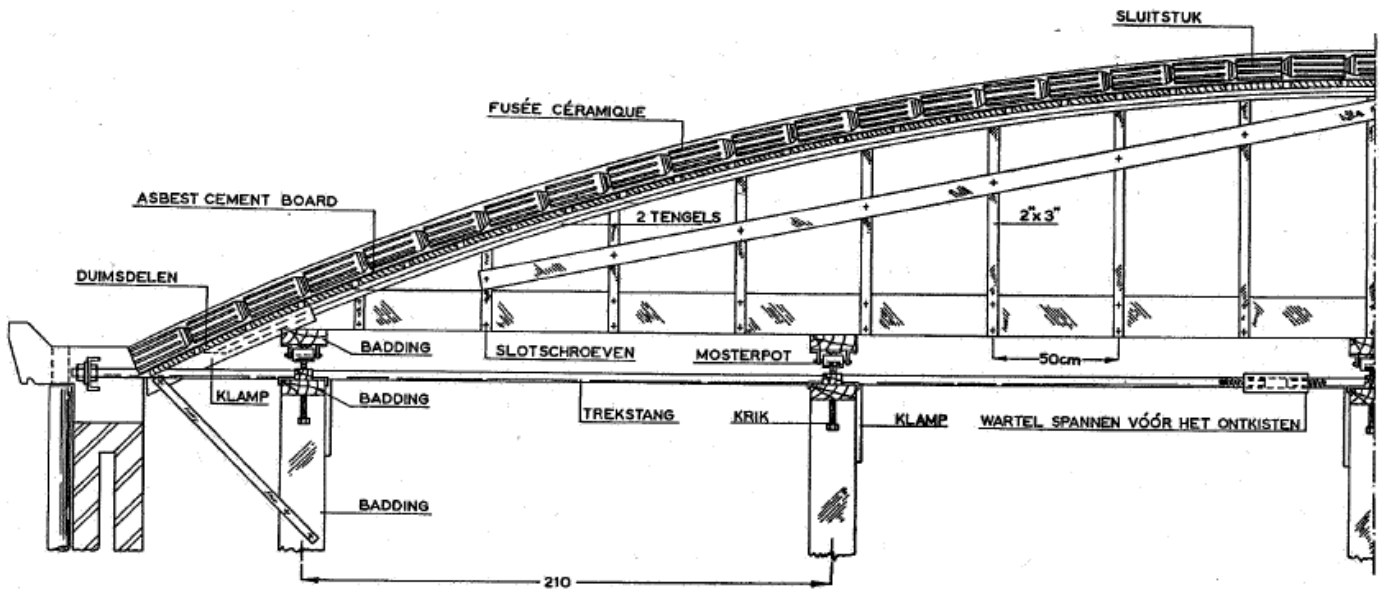
doorgaans 6 rijen fusées, dwz. 54 cm, vanaf het reeds gereed zijnde deel. Op de mal stort men nu een vrij natte laag specie ter dikte van genoemde lat. De fusées worden na goed nat gemaakt te zijn 1 cm in de specie gedrukt en tegelijk een kwartslag in de richting van de naastliggende gedraaid, zodat elke fusée goed is aangewerkt. Men werkt van beide zijden van het dak naar boven. Hier worden de bijeenkomende halzen van de fusées verbonden door een onthalsde fusée, een zgn. mofstuk, welke verspringend in de rij tussen-gestulpt wordt (zie foto 6). Zodra de 6 rijen fusées tot aan de panlat zijn gelegd,

worden ze onder de rei afgewerkt met specie van dezelfde mengverhouding. Het ene einde van de rei is voorzien van een glijblokje, dat over het reeds eerder afgestreken gedeelte glijdt; aan het andere einde is haaks een geleider bevestigd ter dikte van het dak, welke geleider over de mal schuift (zie foto 7). Uiteraard dient het dak na voldoende binding goed vochtig gehouden te worden.

Het aanbrengen van daklichten in fusée-daken is zeer wel mogelijk en is zelfs zeer eenvoudig, wanneer men de daklichten aanbrengt in de richting, waarin de fusées gelegd zijn.

tek. 1
doorsnede van
fusée-dak met
wapening





tek. 2a. houten bekisting - dwarsdoorsnede

Eigenschappen

Een fusée-dakconstructie is zelfdragend door haar gebogen vorm. Spanten, gordingen, enz. zijn dus overbodig, hetgeen een aesthetische aanblik garandeert. Wel worden de optredende horizontale krachten veelal door trekstangen opgenomen, waardoor aan het bovenstaande weer enige afbreuk dreigt te worden gedaan; hoe de trekstangen daarentegen kunnen worden ingeschakeld ter verfraaiing van de constructie toont foto 3.

Afgezien hiervan kan door een goede afwerking van het beton aan de onderzijde van de constructie, bijv. door be-

sputting met vermiculite of perlite-luchtbeton, een zeer artistiek plafond en ruimteaanzien worden verkregen, hetgeen een afzonderlijke plafondconstructie overbodig maakt. Op deze wijze gaat er geen ruimte verloren voor plafond, terwijl bij eenzelfde plafondhoogte een besparing wordt verkregen t.a.v. de aangrenzende muren; het fusée-dak geeft dus een voordelig bouwvolume.

Met deze grotendeels aesthetische voordelen paren de fusée-daken een constructief grote sterkte aan een laag eigen gewicht. De constructie is duurzaam en bovendien goedkoop. Een belangrijke eigenschap is ook nog

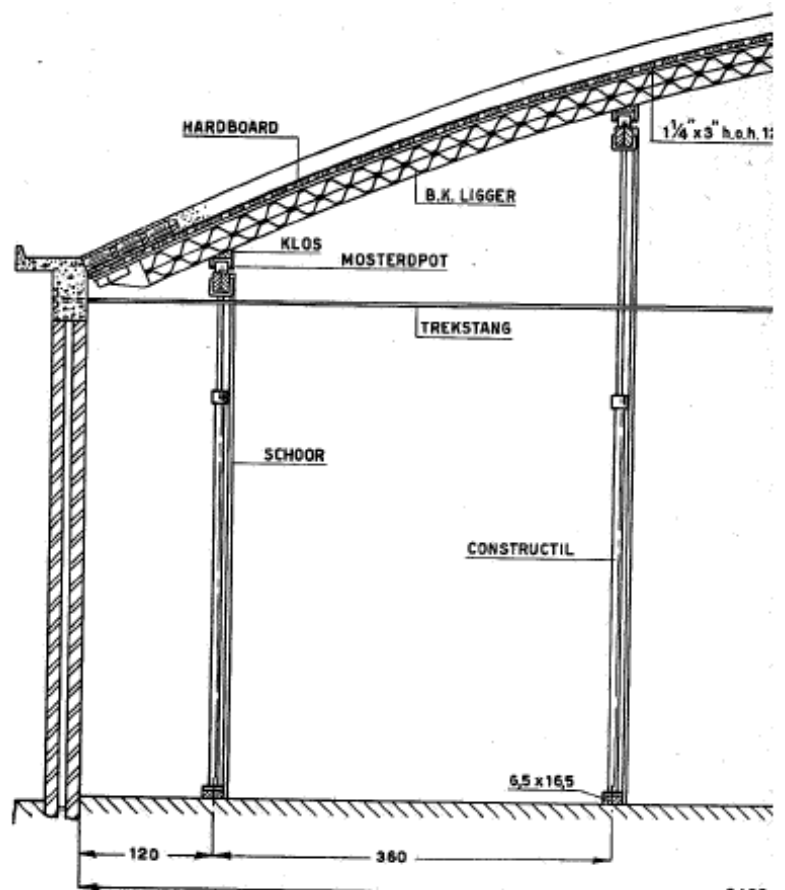
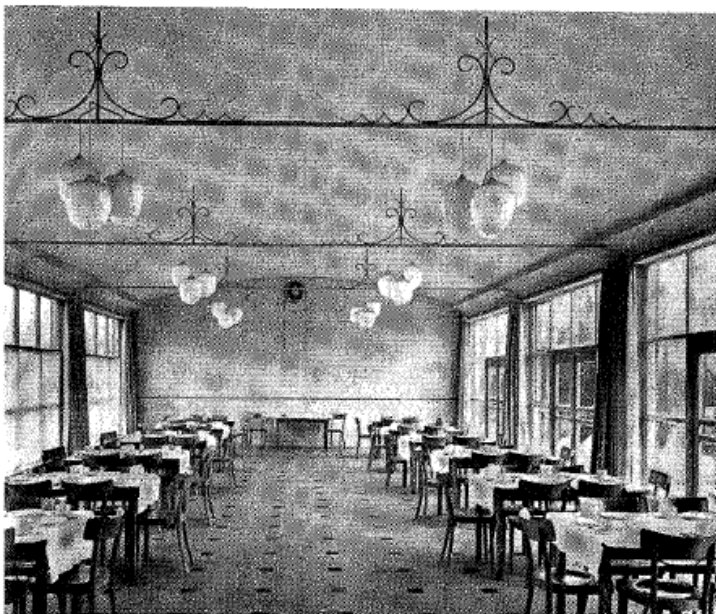
de goede isolerende werking t.a.v. temperatuursverschillen, om welke reden de fusées op grote schaal door de Franse regering zijn toegepast bij de bouw van militaire objecten in Noord-Afrika.

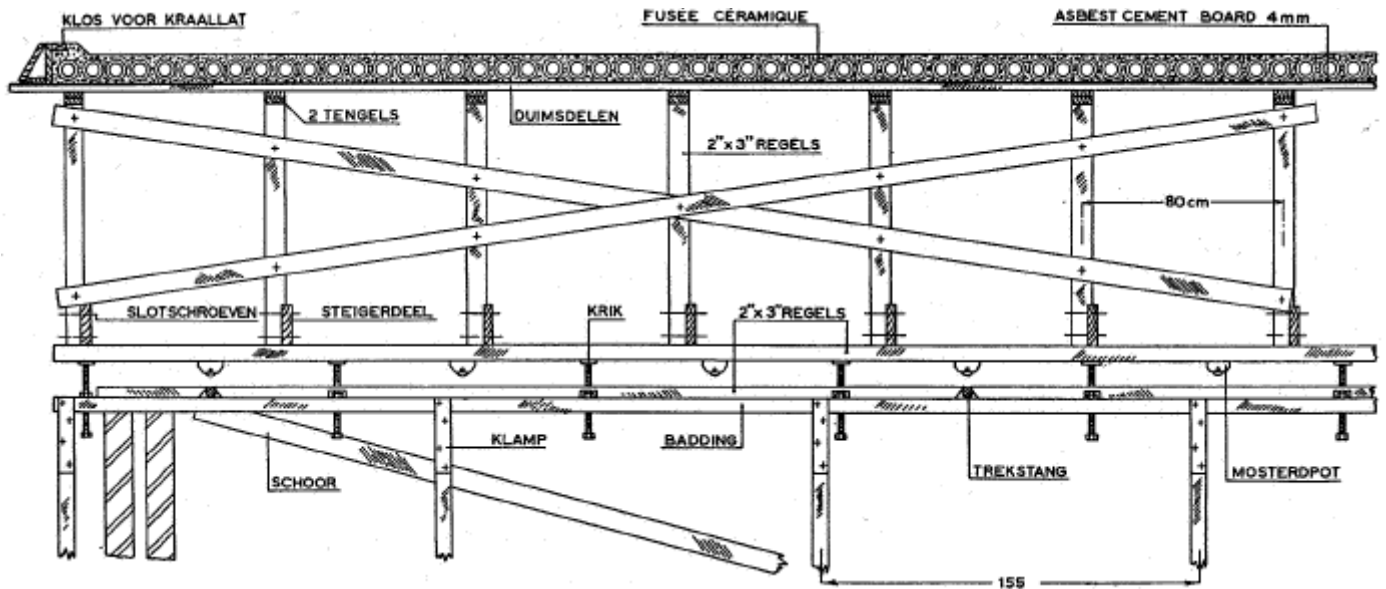
Proeven gedaan door Prof. Rôts te Zürich tonen aan, dat wanden bestaande uit fusées een thermische isolatie bezitten, welke 30 tot 40% beter is dan die voor geheel betonnen wanden van dezelfde dikte.

Een wand ter dikte van 25 cm, bestaande uit 3 lagen fusées, is (naar uit de proeven blijkt) equivalent met een 30 cm dikke holle baksteenwand of een

tek. 4a-b. doorsneden van stalen bekisting ►

foto 3. cantine voor de Ned. Persil Mij trekstangen tevens voor lampophanging gebezigd





tek. 2b. houten bekisting - langsdoorsnede over hoogste punt

massieve baksteenmuur met een dikte van 42 cm. De door T.N.O. opgegeven k -waarde bedraagt voor een dakconstructie, bestaande uit 1 laag fusées gelegd in klinkeisoliet: $1,34 \text{ kgcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ bij een gemiddelde materiaalt temperatuur van 48°C . Daar in het algemeen de gemiddelde temperatuur van het materiaal hieronder ligt, zal bovenstaande k -waarde eveneens lager worden.

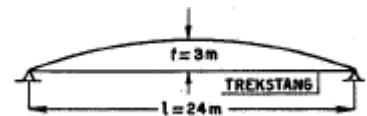
De acoustische isolatie, nagenoeg gelijk aan die van een volle wand van dezelfde dikte, varieert van 43 tot 48 decibel voor een wand bestaande uit 1 resp. 3 lagen fusées.

Statische berekening

Bij volledige belasting van de dakconstructie, welke de vorm heeft van een paraboolboog, zullen geen momenten optreden. De boog is slechts onderworpen aan een normaalkracht en dient dus op knik te worden berekend. Bij éézijdige belasting zullen wel momenten optreden; hierbij komt een extra moment t.g.v. het feit, dat de optredende normaalkracht met een geringe excentriciteit werkt, die gelijk is aan de initiale doorbuiging door de eerstgenoemde momenten veroorzaakt. Aan de hand van een concreet geval, zal de statische berekening nader worden gezien.

Het te beschouwen dak is opgebouwd uit 2 lagen fusées en heeft een dikte van 20 cm. De wapening bedraagt $\varnothing 8-18$ aan boven- en onderzijde van het dak. De belastingen zijn:
 e.g. dak = 290 kg/m^2 ,
 e.g. dakbedekking = 15 kg/m^2 ,
 e.g. plafond = 25 kg/m^2
 alsmede een toevallige belasting van 100 kg/m^2 .
 De theoretische overspanning /bedraagt 24 m; de pijl van de parabool f is 3 m.

tek. 5



a. Volledige belasting

De horizontale trekkracht volgt uit de formule $H = \frac{1}{8} \cdot q \cdot \frac{l^2}{f}$ en bedraagt per strook van 1,00 m breedte 10 320 kg. De hieruit voortvloeiende drukspanning $\sigma_d = 7,7 \text{ kg/cm}^2$. Een knikberekening volgens de door Timoshenko gegeven formule voor een cirkelboog (de benadering die hier gemaakt wordt t.a.v. de paraboolboog is gering):

$$q_{crit.} = \frac{E.I}{R} \cdot \left(\frac{\pi^2}{a^2} - 1 \right), \text{ waarbij:}$$

$$E.I = 120 \cdot 10^8 \text{ kgcm}^2$$

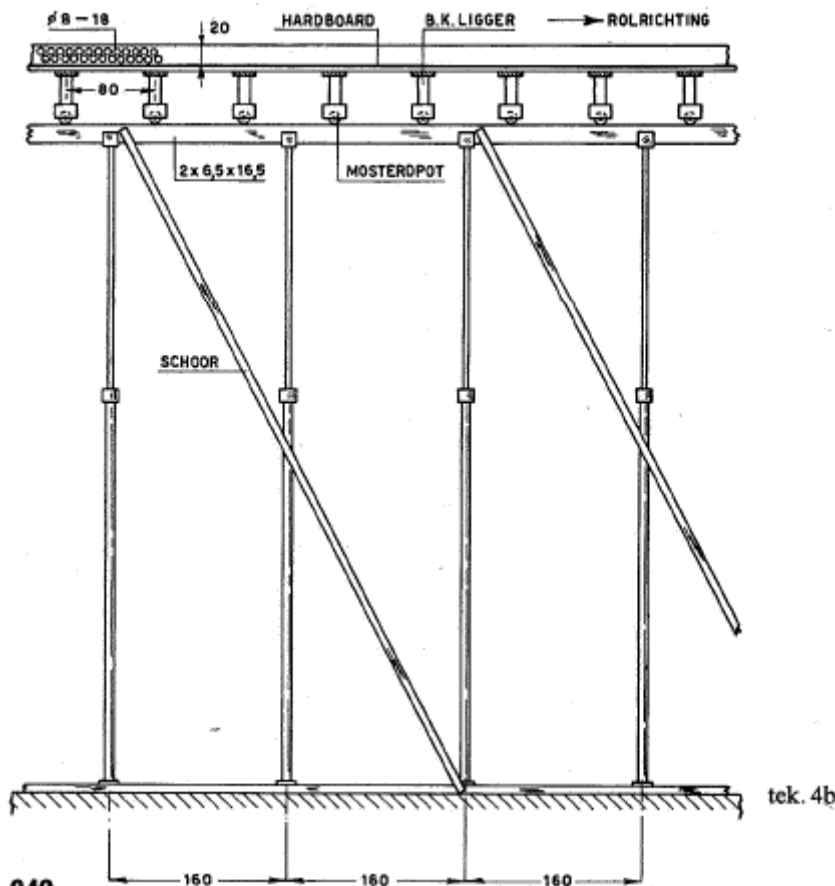
$$R = \frac{\frac{1}{2} l}{\sin \alpha} \text{ en}$$

$$\text{tg } \frac{1}{2} \alpha = \frac{2f}{l}$$

levert als veiligheidscoëfficiënt $n = 6,8$. Rechtstreekse berekening volgens de formule van Euler, waarbij de normaalkracht in de boog t.p.v. de oplegging als knikkraft wordt ingevoerd en de halve boog als kniklengte, levert een veiligheidscoëfficiënt $n = 6,7$.

b. Eenzijdige belasting

De totale volledige belasting bedraagt in dit geval 330 kg/m^2 en de éézijdige be-



tek. 4b



foto 6. het leggen van de fusées met verspringend mofstuk in het midden

lastig 100 kg/m^2 . Het max. moment, dat optreedt op $l/4$ bedraagt dan:

$$M_{max} = M_0 + P \cdot p \cdot \frac{l^2}{8A} \text{ waarin:}$$

P = de in de doorsnede optredende normaalkracht,

P_E = de knikkraft van Euler, en

Δ_0 = de initiale uitbuiging t.g.v. M_0 .

$$M_0 = \frac{1}{64} \cdot q \cdot l^2 = 900 \text{ kgm, terwijn voor}$$

de factor n kan worden geschreven

n = de veiligheidsfactor tegen knik is.

Δ_0 is onder aanneming van een sinusvormig verloop van het moment gelijk $l/2$

aan M_0 in een doorsnede op $l/2$. Na uitwerking vindt men voor: $M_{max} = 900 + 114 = 1014 \text{ kgm}$. De drukkracht geeft in dit geval dus een toeneming van het moment van 13%. De bij dit moment optredende extreme spanningen, zijn $24,7 \text{ kg/cm}^2$ (druk) en $10,7 \text{ kg/cm}^2$ (trek) onder aanneming dat het „beton“ trekspanningen kan opnemen. Bij verwaarlozing van de „beton“-trekzone vindt men als extreme spanningen $28,7 \text{ kg/cm}^2$ druk in het „beton“ en 490 kg/cm^2 trek in de wapening.

Slotbeschouwing

De kwestie van de veiligheidscoëfficiënt speelt een belangrijke rol in de economie van de fusée-dakconstructie. Prof. Ros komt bij de onder zijn leiding verrichte proeven tot de volgende eisen t.a.v. de veiligheid:
 minimale veiligheidscoëfficiënt tegen scheurvorming 1,5 en
 minimale veiligheidscoëfficiënt tegen breuk 3,0.

bedraagt. In verband met minder zorgvuldige uitvoering acht men het echter wenselijk aan de veilige kant te blijven. Bij grote overspanningen zou men de knikveiligheid door het aanbrengen van hangers kunnen vergroten. Het zou aanbeveling verdienen door proeven na te gaan, in hoeverre de knikveiligheid van de boog bij een dergelijke constructie wordt vergroot.

tek. 7



Daar in het algemeen, voordat het kritieke stadium in de boog zal optreden, de vloeispanning in de trekstang zal zijn bereikt en door de grote rekken, welke bij deze spanning optreden, geen uitsluitel wordt verkregen omtrent de werkelijke veiligheid van de boog, zou men om een juist beeld te kunnen krijgen, de spatkrachten in de geboorten door vaste steunpunten dienen op te laten nemen en onafhankelijk hiervan een spanning van 2400 kg/cm^2 in de trekstang moeten introduceren. Ook indien geen hangers worden toegepast, zou men op een dergelijke wijze de veiligheidscoëfficiënt van de constructie dienen te bepalen. De trekstang zou in dat geval kunnen vervallen. Eerst dan zou men, uitgaande van de verhouding van de uit de berekening volgende kritieke belasting en de laagste uit een groot aantal proeven gevonden kritieke belasting, de veiligheid van de gehele constructie kunnen vaststellen. Het is eigenlijk onlogisch voor de boog een veiligheidscoëfficiënt te eisen, welke groter is dan $1/4$ X de hierboven genoemde verhouding, daar bij een grotere veiligheid van de boog de constructie op de zwalste schakel, i.e. dan de trekstang, zal bezwijken.

foto 8. het afwerken onder de rei

