

# DISCUSSIE OVER DE BEOORDELING VAN DE BETROUWBAARHEID VAN OP BUIGING BELASTE GEWAPEND BETONBALKEN

*Naar aanleiding van het artikel „De beoordeling van de betrouwbaarheid van op buiging belaste gewapend betonbalken” in W.G.S.-Mededelingen 1953, No. 3, ontvingen wij van Ir P. C. Kreyger de volgende opmerkingen, die we hier gaarne plaatsen. Een beantwoording laten wij daarna volgen.*

1. Onder Criterium I op pag. 64 (veiligheid tegen bezwijken) wordt opgemerkt dat in verband met ontoelaatbare vervormingen als uiterste staalspanning geldt voor QR 24 de vloeigrens ( $24 \text{ kg/mm}^2$ ) en voor hoogwaardig betonstaal de conventionele vloeigrens (0,2% blijvende rek).

Dat als uiterste grens het geval wordt genomen, waarbij de vervormingen ontoelaatbaar worden (*zonder* dat nog bezwijken optreedt) ben ik volkomen met U eens. Echter vraag ik me af of hierbij  $\sigma_v$  en  $\sigma_{0,2}$  equivalent zijn wat betreft  $U_w$  uitgangspunt. Immers even voor het bereiken van  $\sigma_v$  ( $\approx 24 \text{ kg/mm}^2$ ) in een met QR 24 bewapende betonbalk zijn reeds scheuren ter breedte van 0,2 à 0,4 mm aanwezig; wordt nu de vloeigrens bereikt en gaat het staal vloeien dan treedt een gapende scheur van meerdere mm op, terwijl direct daaropvolgend de balk bezwijkt.

In de meeste gevallen is van invloed der versteviging niets te merken en is het proces tussen optreden der gapende scheur en bezwijken der balk niet te remmen. Wordt bij hoogwaardig betonstaal de  $\sigma_{0,2}$  bereikt, dan treden eveneens scheuren van 0,2 à 0,4 mm op. Ook bij hogere spanningen treedt nu echter geen gapende scheur op, doch de goede hechting zorgt voor een scheurverdelende werking, zodat de scheurbreedte zeer langzaam groter wordt, tot bij een spanning van 99% der treksterkte het proces niet meer is te remmen en de balk bezwijkt door overschrijding der treksterkte. Bij QR 24 wordt de breuk dus inderdaad ingeleid door de vloeigrens van ca.  $24 \text{ kg/mm}^2$  volgens het criterium van ontoelaatbare vervorming (de gapende scheur). Bij hoogwaardig staal is de waarde der spanning die volgens equivalentie gelijke ontoelaatbare vervorming doet ontstaan echter ca. 99% der treksterkte.

Ik zou dan ook willen voorstellen om de veiligheid t.o.v. bezwijken (met inbegrip van ontoelaatbare vervorming) voor QR 24 te handhaven op de vloeigrens (ca.  $24 \text{ kg/mm}^2$ ), deze voor hoogwaardig betonstaal echter vast te stellen op 95% der treksterkte. In dit geval kan men inderdaad (eigenlijk pas bij 99% der treksterkte) spreken van equivalente spanningen welke voor een constructie nagenoeg dezelfde gevolgen hebben wat betreft het bezwijken met inbegrip der ontoelaatbare vervorming.

2. Op pag. 67 — 3e regel van boven — wordt gezegd, dat in de grafieken horizontaal is uitgezet het wapeningspercentage  $\mu$ . Dit kan m.i. verwarring geven, daar normaal onder  $\mu$  wordt verstaan:  $\mu = \frac{100 F_y}{bh}$ ; in dit geval wordt echter bedoeld  $\mu = \frac{100 F_y}{bh'}$ .
3. In grafiek 3 op pag. 68 staat  $M_{\text{breuk}} = \sigma_{yv} \cdot F_y \cdot e$ . Waar het hier hoogwaardig betonstaal betreft is de notatie  $\sigma_{yv}$  m.i. minder juist. Het normblad V 1031 vermeldt, dat de rekgrens kan worden aangeduid met  $\sigma_r$ ; bestaat echter behoefte om onderscheid te maken tussen normale vloeigrens en conventionele vloeigrens dan dient de normale vloeigrens te worden aangeduid met  $\sigma_v$  (welke dus voor QR 24  $\approx$  24 kg/mm<sup>2</sup> bedraagt) en de conventionele vloeigrens met  $\sigma_{0,2}$ . Deze laatste vloeigrens nu is in bovenbedoelde formule bedoeld.

Mede gelet op 2) zou wellicht een tabel met de gebruikte notaties aan het begin van elk artikel verhelderend kunnen werken.

4. Op pag. 69 wordt tabellarisch een aantal onderzoekers genoemd en bij elk opgegeven tot welke toelaatbare scheurbreedte men is gekomen. Gaarne zou ik de publicaties vernemen waaruit deze scheurbreedten zijn overgenomen.
5. Betreffende de theorie der omhullende (pag. 66 en 70, 2e en 3e alinea) wordt dus, als ik het goed begrijp, gesteld dat bij rondstaal de omhulling bij de vloeigrens verbroken wordt, dus bij een  $\varepsilon$  die op dat ogenblik toeneemt van ca. 1,5‰ tot ca. 3‰. Bij hoogwaardig staal zal (pag. 70, 3e alinea) door het ontbreken der natuurlijke vloeigrens de omhulling veel later breken. Nemen we voor QRn 42 eens een spanning van 5000 kg/cm<sup>2</sup> aan, dan bedraagt hier de  $\varepsilon$  ca. 3‰; dan blijkt de veronderstelling (gelet op het voorgaande) niet onredelijk, dat in dit geval bij ca. 95% der treksterkte de omhulling zal worden verbroken. Deze opvatting zou dus mijn opmerking no. 1 steunen, dat t.o.v. bezwijken (met inbegrip van ontoelaatbare vervormingen) moet worden uitgegaan van equivalente spanningen i.c.  $\sigma_v$  bij QR 24 t.o.v. 95% der treksterkte bij hoogwaardig betonstaal.

Indien echter de theorie der omhullende waar zou zijn, hoe zit het dan met de scheurvorming? In welk opzicht zijn deze scheuren dan gevaarlijk? De scheuren zouden immers slechts tot de omhulling der staaf doorgaan en uit dien hoofde zou er geen corrosie-gevaar aanwezig zijn; in dit geval is dus de veiligheid t.o.v. bezwijken altijd maatgevend en is het begrip toelaatbare scheurbreedte een fictie geworden, daar bij deze spanningen (veiligheid t.o.v. bezwijken ca. 2) de omhulling altijd aanwezig zou zijn.

Gaarne zou ik dan ook een nadere uitleg vernemen betreffende het verband tussen de theorie der omhullende en de toelaatbare scheurbreedte.

6. Betreffende Criterium 3, minimum grenswapeningspercentage, wordt gezegd dat dit niet beneden 0,3% zal moeten liggen. Beschouwen we echter de fig. 2 en 3 dan blijken de minimum wapeningspercentages te zijn:

	voor QR 24	voor QRn 42
bij $\sigma_{bt} = 38,6 \text{ kg/cm}^2$ <sup>1)</sup>	0,26%	0,13%
bij $\sigma_{bt} = 60 \text{ kg/cm}^2$ <sup>2)</sup>	0,40%	0,20%

Gezien deze werkelijke cijfers zou het m.i. beter zijn voor beide staal-soorten verschillende minimum wapeningspercentages vast te stellen, b.v.: 0,3% voor QR 24 en 0,15% voor QRn 42 of 0,3% voor QRn 42 maar dan 0,56% voor QR 24. In elk geval zodanig, dat voor beide staalsoorten een gelijke veiligheid aanwezig is t.o.v. het samenvallen van breukmoment en moment waarbij de eerste scheur optreedt. Daar (b.v. voor vloeren) de min. wapening QR 24 volgens vele Bouw- en Woningtoezichten  $\varnothing 8 - 20$  bedraagt, of bij een vloer van 10 cm een wapeningspercentage van  $\frac{2,51}{860} = 0,29\%$ , zal m.i. het beste met de praktijk overeenkomende zijn 0,3% voor QR 24 en 0,15% voor QRn 42.

7. Naar aanleiding van Criterium 3 en 4 (pag. 71, 72) zou ik er op willen wijzen, dat de waarschuwing tegen breuk niet alleen in de scheurvorming is te vinden, doch vooral ook in de doorbuiging. Wordt grafisch het verband tussen optredende scheurbreedte en doorbuiging uitgezet, dan blijkt dit bij hoogwaardig staal een continu verloop te geven: langzaam toenemende doorbuiging geeft zeer langzaam toenemende scheurbreedte. Dit continue karakter blijft zo tot een doorbuiging van ca.  $1/100 \times$  de overspanning en een scheurbreedte van ca. 1 mm optreedt. Bij QR 24 zien we echter een discontinue karakter vanaf een doorbuiging van ca.  $1/500$  der overspanning en ca. 0,2 mm scheurbreedte. Op dat ogenblik treedt nl. bij vele balken reeds breuk op doordat de versteviging van het staal na de vloeigrens niet tot uiting komt. In die gevallen, waarin inderdaad versteviging optreedt kan nog een verdere doorbuiging tot ca.  $1/200 l$  worden bereikt, waarbij echter het proces niet meer is te remmen en de scheurbreedte reeds meerdere mm bedraagt.

Zien we dus bij QR 24 geen of nagenoeg geen waarschuwing tegen breuk, bij hoogwaardig staal zal deze in de eerste plaats kunnen blijken uit de doorbuiging daar deze wellicht eerder opvalt dan kleine scheurtjes.

<sup>1)</sup> Behorende bij het gemeten scheurmoment  $M_s/bh^2 = 5,2$ .

<sup>2)</sup> Het bij deze buigtreksterkte behorende scheurmoment is als volgt bepaald:

$$M_s \text{ (bij } \sigma_{bt} = 60 \text{ kg/cm}^2) = \frac{60}{38,6} \cdot M_s \text{ (bij } \sigma_{bt} = 36 \text{ kg/cm}^2) = 8,1 bh^2.$$

## BEANTWOORDING

### Ad. 1

In het algemeen wordt bezwijken van een op buiging belaste balk met een wapening van normaal rondstaal (QR 24) bij de lage en normale wapeningspercentages ingeleid door het vloeien van het staal (2400 kg/cm<sup>2</sup>). Bij balken, gewapend met staalsoorten, welke geen uitgesproken vloeigrens bezitten, zal de staalspanning echter op kunnen lopen tot een waarde, gelegen dicht bij de treksterkte. Deze staalspanning is dus — qua breuk — equivalent met de vloeispanning van rondstaal.

Hoeveel % van de treksterkte bij deze hoogwaardige staalsoorten voor de staalspanning moet worden ingevoerd is niet zonder meer te zeggen. De grootte zal sterk afhangen van het  $\sigma - \varepsilon$  diagram van het staal, de eigenschappen van het beton, alsmede van het wapeningspercentage.

Door Chambaud<sup>1)</sup> is een tabel samengesteld, waaruit de bij bezwijken optredende staalrek kan worden bepaald.

$300 \frac{\mu}{\sigma_{K\ 90}}$ in kg/cm <sup>2</sup>	4 à 3	3 à 2	2 à 1,5	1,5 à 1	1 à 0,75	0,75 à 0,50	0,50 à 0,25
X in mm	1	2	3	6	8	10	12

In deze tabel is:  $\mu =$  wapeningspercentage  $\left( = \frac{100 F_y}{bh'} \right)$

$\sigma_{K\ 90} =$  kubussterkte na 90 dagen

$$(\sigma_{K\ 28} = 0,83 \sigma_{K\ 90})$$

X = de blijvende vormverandering van het staal in mm over een staaf­ lengte  $l = \sqrt{66,67 F_y}$ , waarin  $F_y =$  staaldoorsnede.

Is de staalrek bekend, dan kan uit het  $\sigma - \varepsilon$  diagram van het staal de bijbehorende staalspanning worden afgelezen. Uit de tabel is duidelijk te zien, dat voor een constante diameter de verlenging per eenheid van staaf­ lengte, dus ook de staalspanning, afneemt naarmate het wapeningspercentage stijgt. Dit is het gevolg van het feit, dat de betondrukzone steeds meer maat­ gevend wordt. Bij stijgende betondrukspanning neemt de staalrek, dus de staalspanning, toe, wat volgt uit horizontaal evenwicht en vervormingen.

<sup>1)</sup> Rapport préliminaire No. 2 van het Comité Européen du Béton.

In de W.G.S. - Mededelingen 1953 - no. 3 is voor de bepaling van het bezwijkmoment voor de staalsoorten QR 24 de vloeigrens en voor de hoogwaardige staalsoorten de conventionele vloeigrens ingevoerd. Dit laatste lijkt in verband met het voorgaande niet logisch. De lagere staalspanning is echter ingevoerd met de bedoeling de vervormingen te beperken. Deze methode wordt o.a. gevolgd door de Duitse en Oostenrijkse onderzoekers en is in de W.G.S.-Mededelingen 1954 no. 3 op pag. 80 als *kritieke toestand A* aangeduid.

Voor de betonstuik wordt dan veelal 2‰ en voor de staalrek 2 of 5‰ aangehouden. Dikwijls neemt men ook aan, dat door het beperken van de betonstuik en staalrek ook de scheurvorming binnen de grenzen van het toelaatbare blijft. Dit laatste achten wij niet mogelijk, daar breuk van geheel andere factoren afhankelijk is dan de scheurvorming; tussen breuk en scheurvorming bestaat o.i. geen correlatie. Het voortschrijden van de ontwikkeling heeft er echter toe geleid het begrip breuk nogmaals te analyseren (zie W.G.S.-Mededelingen 1954 no. 3). Men komt dan tot de conclusie, dat onder breuk primair *het bezwijken* van de constructie moet worden verstaan, welke mening ook in Frankrijk wordt gedeeld. Slechts op deze wijze kan in het huidige stadium het experiment aan de berekening gekoppeld worden. Het ogenblik, waarop de constructie als onbruikbaar moet worden beschouwd zal in het algemeen slechts weinig van het bezwijkmoment afwijken en kan mogelijk op eenvoudige wijze in de veiligheidscoëfficiënt worden verwerkt.

Ongetwijfeld geven hoogwaardige geprofileerde staalsoorten een betere waarschuwing tegen breuk. Dit begrip is echter niet in de tegenwoordige voorschriften in te passen. Bij een juiste samenstelling van de voorschriften zou een betere waarschuwing tegen breuk tot een lagere veiligheidscoëfficiënt moeten leiden.

#### *Ad. 2*

Inderdaad is met het wapeningspercentage  $\mu$  bedoeld:  $\mu = \frac{100 F_y}{bh'}$ . Het is echter in tegenstelling tot de mening van ir Kreyger gebruikelijk, dat het wapeningspercentage betrokken wordt op de *nuttige hoogte*. Immers bij de huidige berekeningswijzen van constructies (*n*-methode en *n*-vrije methode) wordt voor alle normale gevallen steeds van een volledig gescheurde doorsnede uitgegaan.

Door het wapeningspercentage te betrekken op de werkelijke hoogte zou als extra variabele de dekking ingevoerd moeten worden, welke waarde voor de berekening van het toelaatbare- en breukmoment geheel overbodig is. Het betrekken van het wapeningspercentage op de nuttige hoogte geschiedt dus hoofdzakelijk met het oogmerk de formules voor het toelaatbare- en breukmoment zo eenvoudig mogelijk te houden.

*Ad. 3*

Met  $\sigma_{yv}$  is bedoeld de (conventionele) vloeigrens. Wij zijn het geheel met de inzender eens, dat een tabel met de gebruikte notaties verhelderend had kunnen werken. (zie hiervoor pag 127.)

*Ad. 4*

Een lijst van de literatuur, waaruit de gegevens omtrent de toelaatbare scheurwijdte zijn geput, laten wij hier volgen:

Prof. O. Graf: Ueber die Bedingungen für die Grösze der zulässigen Anstrengungen von Eiseneinlagen in Eisenbetonplatten und Eisenbetonbalken. Beton und Eisen Jg. 34 H. 9.

E.M.P.A. Bericht 141 en 162.

Saliger: Fortschritte im Stahlbeton. Wenen, 1950.

Chambaud: Théorie élasto-plastique de la flexion dans les poutres en béton armé. Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publiques. No. 101, — 1949.

Valette: zie Chambaud.

Lossier: zie Chambaud.

Probst: Mitteilungen aus dem Materialprüfungsamt. Berlin Grosz-Lichtenfelde West. 1907.

Rengers: Der Einfluss der Rissbreite auf den Angriff durch Rost. Beton und Eisen, Jg. 34 H. 10.

Honingmann: Witterungseinflüsse und ihre Raffung im Kurzversuch an Schleuderbetonmaststücken. Beton und Eisen. Jg. 34 H. 19.

*Opmerking.*

Rengers geeft bij zijn corrosieproeven geen slotconclusie omtrent de toelaatbare scheurbreedte. Wel zegt hij, dat de staaf bij scheur 4, zijnde 0,3 tot 1,0 mm, na bloothakken enige lichte roestvorming vertoonde. Wij hebben daarom 0,3 als uiterste grens aangenomen. Andere onderzoekers, o.a. Hajnal-Kónyi (zie The Structural Engineer, September 1943) hebben de proeven van Rengers op dezelfde wijze geïnterpreteerd.

*Ad. 5*

Bij een balk, gewapend met rondstaaf QR 24 zal bij de normale laboratoriumproef in de meeste gevallen een duidelijk verschil tussen theorie en proef bestaan, welk verschil wordt toegeschreven aan het meewerken van de betontrekzone, gelegen in de onmiddellijke nabijheid van de wapeningsstaaf. Zoals in W.G.S.-Mededelingen 1953 no. 3 reeds is medegedeeld treedt genoemd verschil niet altijd op, zoals b.v. bij het zeer langzaam opvoeren der

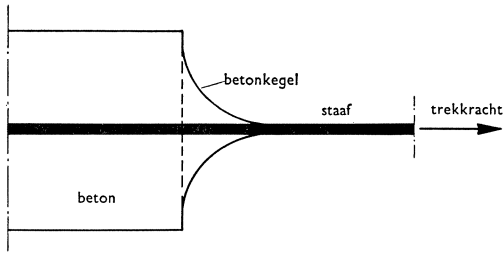


Fig. 1. Meettekken van een betonlaag om de staaf volgens proeven van Emperger.

belasting. Ook bij vaak herhaalde belasting is het verschijnsel niet geconstateerd. Bij langdurige of dynamische belasting zal mogelijk door toename van de scheurwijdte

en afname van de treksterkte het tot de treksterkte belaste beton van de omhullende bezwijken. Het verband tussen de optredende scheurwijdte of staalspanning en het ogenblik waarop de omhullende wordt verbroken is niet bekend. Wel werd bij proeven, door T.N.O. verricht aan een aantal gelijksoortige balken, de tendenz gevonden, dat het verschil in breukbelasting tussen experiment en theorie groter was, naarmate de scheuren kleiner waren.

Emperger<sup>1)</sup> heeft door een proef aangetoond, dat indien een staaf uit een betonelement wordt getrokken met de staaf een kegelvormige betonlaag wordt meegetrokken (zie fig. 1). Bij een scheur zullen dus óf de beide betonkegels aaneensluiten tot een omhullende (fig. 2) of de scheurwijdte t.p.v. de staaf (Bloszlegung des Stahles) zal kleiner zijn dan aan de buitenzijde van de constructie (fig. 3).

<sup>1)</sup> Dr. F. von Emperger. Die Rissfrage bei hohen Stahlspannungen und die zulässige Bloszlegung des Stahles. Mitt. über Versuche vom Oesterr. Eisenbeton Ausschusz H 16. 1953.

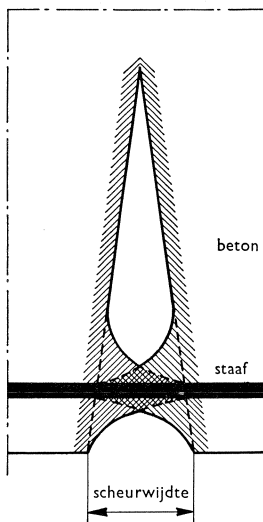


Fig. 2. Ontstaan van de omhullende door aansluiting van de in fig. 1 aangegeven kegels.

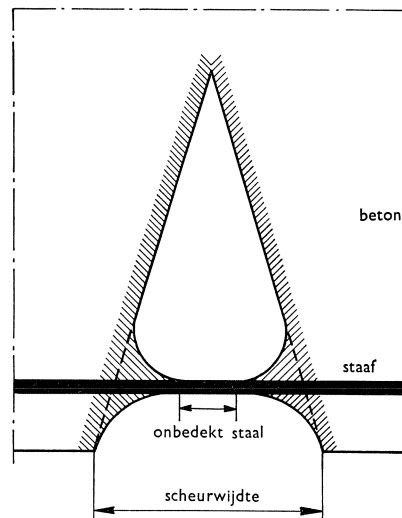


Fig. 3. Scheurwijdte ter plaatse van de staaf in vergelijking tot de scheurwijdte aan de oppervlakte.

Het gevaar voor aantasting door corrosie zal bij een bepaalde scheurwijdte dus waarschijnlijk in belangrijke mate van het gedrag van de betontrekzone bij de wapening afhangen.

Een uitgebreid onderzoek dat vooral meettechnisch moeilijk is uit te voeren, omdat vrijwel alles *in* de constructie moet worden gemeten, zou voor opheldering van bovenstaande punten nodig zijn.

Ad. 6

Het minimum grenswapeningspercentage d.i. het percentage, waarbij het scheurmoment gelijk is aan het bezwijkmoment volgt uit een eenvoudige berekening.

Is de buigtreksterkte, bepaald d.m.v. een driepuntsbuigproef aan een balkje, waarvan de overspanning twee maal de hoogte is, gelijk aan  $\sigma_{bt}$ , dan kan de buigtreksterkte, bepaald aan een vierpuntsbuigproef gelijk aan  $0,8 \sigma_{bt}$  gesteld worden. Dit verschil wordt veroorzaakt door de afronding van het trekspanningsverloop onder de puntlast (fig. 4).



Fig. 4. Trekspanningsverloop bij een driepunts- en een vierpuntsbuigproef.

Het scheurmoment  $M_s$  van een doorsnede bedraagt ten naaste bij:

$$M_s = \frac{1}{6} bh^2 \cdot 0,8 \sigma_{bt} \dots \dots \dots (1)$$

In deze formule is de wapening verwaarloosd, wat toelaatbaar is, gezien de kleine wapeningspercentages.

Het breukmoment  $M_{br}$  is, indien de inwendige hefboomsarm  $e$  gelijk aan  $0,9 h'$  wordt gesteld;

$$M_{br} = \sigma_y \cdot F_y \cdot e = \frac{\sigma_y \mu bh' \cdot 0,9 h'}{100} \dots \dots \dots (2)$$

( $\sigma_y$  is de bij bezwijken optredende staalspanning).

Gelijkstelling van (1) en (2) geeft met  $\frac{h'}{h} = 0,9$

$$\mu_{min} \geq 18 \frac{\sigma_{bt}}{\sigma_y} \dots \dots \dots (3a)$$



**Lijst van notaties.**

- $b$  = breedte
- $h$  = hoogte
- $h'$  = nuttige hoogte
- $F_y$  = staaldoorsnede
- $\mu = \frac{100 F_y}{bh'}$
- $e$  = inwendige hefboomsarm
- $\sigma_y$  = staalspanning
- $\sigma_v$  = vloeigrens
- $\sigma_r$  = rekgrens
- $\sigma_{0,2}$  = conventionele vloeigrens, 0,2% blijvende rek
- $\epsilon_y$  = specifieke rek van het staal
- $\sigma_{bt}$  = buigtreksterkte, bepaald uit driepuntsbuigproef
- $\sigma_k$  = kubussterkte
- $\sigma_p$  = prismasterkte
- $M_s$  = scheurmoment
- $M_{br}$  = bezwijkmoment
- $X$  = blijvende vormverandering staal in mm over een staaf lengte gelijk aan  $\sqrt{66,67 F_y}$

Substitutie van de in de tabellen van Ir Kreyger aangegeven getallen voor  $\sigma_{bt}$  en  $\sigma_y$  geeft een redelijk kloppende waarde voor  $\mu_{min}$ .

Volgens Saliger is  $\frac{\sigma_k}{\sigma_{bt}}$  gemiddeld 7 ( $\sigma_k =$  kubussterkte).

(3a) gaat dan over in

$$\mu_{min} \geq 2,6 \frac{\sigma_k}{\sigma_y} \dots \dots \dots (3b)$$

Het minimum grenswapeningspercentage volgens de Oosterrijkse Voorschriften (Önorm B 4200 4 Teil) is bepaald met de formule

$$\mu_{min} \geq 2,8 \frac{\sigma_k}{\sigma_y} \dots \dots \dots (4)$$

Saliger vindt voor  $\mu_{min}$ .

$$\mu_{min} \geq 2,6 \frac{\sigma_p}{\sigma_y} (\sigma_p = \text{prismadruksterkte}) \dots \dots \dots (5a)$$

Stelt men  $\sigma_p = 0,8 \sigma_k$  dan gaat (5a) over in

$$\mu_{min} \geq 2,1 \frac{\sigma_k}{\sigma_y} \dots \dots \dots (5b)$$

Uit deze formules (3) blijkt, dat het minimum grenswapeningspercentage afneemt, bij toenamende staalspanning en toeneemt bij grotere buigtreksterkte resp. kubussterkte.

Volgens Prof. Gehler <sup>1)</sup> geldt:

$$\frac{M_s}{M_{br}} = \frac{1}{\left(\frac{\mu}{c}\right) + 1} \dots \dots \dots (6)$$

waarin  $c$  een constante voorstelt die voor QR 24 0,53 en voor hoogwaardig staal 0,28 bedraagt. De kubussterkte bedroeg ca. 178 kg/cm<sup>2</sup>.

Door de verhouding  $\frac{M_s}{M_{br}}$  in (6) gelijk 1 te stellen zou voor het minimum wapeningspercentage volgen  $\mu_{min} = 0$ . Deze waarde wijkt steeds af van de bovengenoemden. Waarschijnlijk vindt dit zijn oorzaak in het feit, dat Gehler vrijwel geen proeven heeft verricht met zeer kleine wapeningspercentages. De formules (3b), (4) en (5b) stemmen redelijk met elkaar overeen.

<sup>1)</sup> Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. Heft 100.

Voert men voor de staalspanning voor QR 24 2400 kg/cm<sup>2</sup> en voor QRn 42 4200 kg/cm<sup>2</sup> in dan wordt met vgl. (3b) de volgende tabel gevonden

	voor QR 24	voor QRn 42
$\sigma_k = 200 \text{ kg/cm}^2$	$\mu_{\min} = 0,22 \%$	0,12 %
$\sigma_k = 400 \text{ kg/cm}^2$	$\mu_{\min} = 0,44 \%$	0,24 %

Voor een gelijke druksterkte ligt dus het minimum grenswapeningspercentage voor QRn 42 inderdaad aanzienlijk hoger dan voor QR 24.

In werkelijkheid zal de staalspanning bij breuk echter in het algemeen voor beide staalsoorten aanzienlijk boven deze waarden uitkomen. Men beschouwe dit als extra veiligheid.

Uit de formules (3b), (4) en (5b) blijkt dat  $\mu_{\min}$  hoger wordt bij betere beton; het is echter moeilijk van te voren een redelijke schatting te maken van de sterkte na verloop van tijd. De bepaling van het minimum grenswapeningspercentage zal dus altijd een moeilijk punt blijven, tenzij men de waarde van  $\mu_{\min}$  vrij hoog stelt. Daar komt bij dat in de G.B.V. geen bepalingen over een minimumpercentage voorkomen. Over  $\mu_{\min}$  zal het laatste woord daarom nog wel niet gesproken zijn.

*Ad. 7*

Inderdaad kan de doorbuiging een waarschuwing tegen breuk zijn. Door de zeeg, die meestal wordt aangebracht is dit echter niet zo'n betrouwbare waarschuwing.

### **Errata.**

p. 95: De laatste zin van het, kleingedrukte, overzicht moet luiden:

*Een optimale waarde voor de laslengte blijkt tweemaal de stripbreedte te zijn.*

p. 99: Na de formule (3) en (6) moeten de uitdrukkingen voor  $\sigma_x$  en  $\sigma_y$  luiden:

en 100

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} \quad \sigma_y = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2}$$