

ARCHIEFEXEMPLAAR

centrum voor onderzoek waterkeringen

Betonbuizen
sterkteberekening in dwarsrichting
S-79.040

ARCHIEFEXEMPLAAR

Centrum voor Onderzoek Waterkeringen
ing. A. van Apeldoorn
november 1981

Betonbuizen

Berekening in dwarsrichting.

<u>Inhoud</u>	<u>Blz.</u>
Symbolen	
I. Algemeen	1
II. Voorgespannen betonbuizen	3
II-1. Bepaling van de karakteristieke staalspanning	3
II-2. Bepaling van de breukmomenten en normaalkrachten	5
II-3. Bepaling van de grenstoestanden met betrekking tot de buigtrekspanning en scheurvorming in de voorgedrukte trekzone	9
II-4. Bepaling van de toelaatbare druk	10
II-4a. Met gebruikmaking van de breukmomenten en normaalkrachten	10
II-4b. Met het oog op de grenstoestanden met betrekking tot de buigtrekspanning en scheurvorming in de voorgedrukte trekzone	10
II-5. Voorbeeld relatieve sterkteberekening voorgespannen betonbuizen.	12
II-6. Voorbeeld sterkteberekening voorgespannen betonbuizen in het kruisende leidinggedeelte.	14
III. Plaatstalen kernbuizen.	16
III-1. Bepaling van de breukmomenten en normaalkrachten	16
III-2. Controleberekening bij gegeven gebruikswaarden, voor M en N.	17
III-3. Bepaling van alle toelaatbare belastingscombinaties.	18
III-3.1. Inleiding	18
III-3.2. Bepaling van de belastingscombinaties waarbij in de onderscheiden wapeningen de vloeigrens wordt overschreden.	19
III-3.3. Bepaling van breukmomenten en normaalkrachten indien de drukzone groter is dan de wanddikte.	25
III-4. Voorbeeld berekening van alle toelaatbare belastingscombinaties.	26
IV. Gewapend betonbuizen	27

(vervolg) inhoud

Bijlage 1 Bepaling van het gebruikspunt voor ronde betonbuizen

Bijlage 2a en 2b - Coëfficiënten voor de bepaling van de momenten uit Le calcul des tuyaux.

Bijlage 3 Gedetailleerde grafische voorstelling van de breukmomenten en normaalkrachten alsmede van de momenten en normaalkrachten waarbij de onderscheiden wapeningen gaan vloeien behorend bij de als voorbeeld berekende plaatstalen kernbuis.

Bijlage 4 Grafische voorstelling van de toelaatbare belastingscombinaties behorende bij de als voorbeeld berekende plaatstalen kernbuis.

Appendix 1 Programma "voerspan breuk".

2 Programma "voerspan scheurvorming".

3 Programma "plaatstalen kern 1 en 2".

4 Door anderen gebruikte methode voor de berekening van voerspanbuizen.

Voorwoord

In de adviseringspraktijk van het COW bleek dat voor de berekening van voorgespannen betonbuizen, buizen van gewapend beton en betonbuizen met plaatstalen kern in de praktijk verscheidene berekeningsmethoden worden toegepast. Sommige van deze methoden waren duidelijk fout, resulterend in hetzij onveilige, hetzij overdreven veilige oplossingen. Andere methoden waren moeilijk te controleren, inconsequent in de toepassing van de basistheoriën of boden geen volledige oplossing.

Deze situatie noopte tot het zoeken naar een adequate berekeningsmethode voor deze buistypen. Een pasklaar recept bleek in de literatuur niet voorhanden, zodat besloten werd zelf een goed te hanteren rekenmethode uit te werken.

Een onderzoek naar soorten en kwaliteiten van wapenings- c.q. voorspanstaal en beton valt buiten het kader van dit rapport. Ten aanzien van de productiewijze van voorgespannen betonbuizen kan gesteld worden dat afhankelijk hiervan de deklaag al dan niet onder voorspanning wordt gebracht en dus al dan niet meegerekend moet worden in de totale hoogte van de betondoorsnede.

De mogelijkheid om proeven te doen teneinde de gevonden rekenmethode te verifiëren ontbrak helaas.

De in dit rapport gebruikte eenheden zijn Newtons en millimeters tenzij anders aangegeven. De inwendige buisdruk wordt aangegeven in bar, ($1 \text{ bar} \cong 10 \text{ kPa} \cong 0,1 \text{ N/mm}^2$).

SYMBOLLEN

A_a	oppervlakte van de doorsnede van de hoofdtrekwapening van betonstaal.
A'_a	oppervlakte van de doorsnede van de hoofddrukwapening van betonstaal.
A_b	oppervlakte van de bruto betondoorsnede (dus inclusief de doorsnede die door de wapening wordt ingenomen).
A_p	oppervlakte van de doorsnede van voorspanstaal.
B	aanduiding voor de kwaliteit van beton.
D_i	inwendige buisdiameter
d	afstand van het zwaartepunt van de hoofdtrekwapening tot de uiterste, meest getrokken of minst gedrukte vezel.
d'	afstand van het zwaartepunt van de hoofddrukwapening tot de uiterste, meest gedrukte vezel.
E_a	elasticiteitsmodulus van betonstaal en profielstaal.
E_b	elasticiteitsmodulus van beton bij trek.
E_p	elasticiteitsmodulus van voorspanstaal.
f_{ak}	karakteristieke treksterkte van betonstaal.
f_a	rekenwaarde voor de treksterkte van betonstaal.
f'_{ak}	karakteristieke druksterkte van betonstaal.
f'_a	rekenwaarde voor de druksterkte van betonstaal.
f_{bk}	karakteristieke treksterkte van beton.
f_b	rekenwaarde voor de treksterkte van beton.
f'_{bk}	karakteristieke druksterkte van beton.
f'_b	rekenwaarde voor de druksterkte van beton.
h	nuttige hoogte van de betondoorsnede.
h_t	totale hoogte van de betondoorsnede.
L	buislengte.
M	buigend moment.
M_u	uiterst opneembare buigend moment (vloeimoment).
N	normaalkracht
N_u	uiterst opneembare normaalkracht (breukbelasting).
P	voorspankracht
p	inwendige druk in de buis.
q	eigen gewicht per m^2 buiswand.
R	gemiddelde buisstraal.
t	wanddikte van de buis, voor betonbuizen $t = h_t$

δ	volumegewicht van de buisinhoud.
ϵ_p	specifieke vervorming van voorspanstaal.
ϵ_a	specifieke vervorming van staal.
ϵ_{kr}	specifieke vervorming t.g.v. normaal- en voorspankracht.
ϵ'_b	specifieke vervorming van beton.
ϵ'_u	maximale betonstuik.
ϵ'_{prop}	proportionaliteitsgrens beton (druk).
σ	normaalspanning.
$\sigma_{p,0}$	aanvangsspanning in voorspanstaal.
$\sigma_{p,1}$	spanning in voorspanstaal na enkele weken.
$\sigma_{p,\infty}$	werkspanning in voorspanstaal.
$\Delta\sigma_{p,ev}$	spanningsvermindering in voorspanstaal t.g.v. elastische verkorting van het beton.
$\Delta\sigma_{p,relax}$	spanningsvermindering in voorspanstaal t.g.v. relaxatie van het voorspanstaal.
$\Delta\sigma_{pr,t}$	spanningsvermindering in voorspanstaal t.g.v. krimp van het beton.
$\Delta\sigma_{p\phi,t}$	spanningsvermindering in voorspanstaal t.g.v. kruip van het beton.
$\Delta\sigma'_{br,t}$	vermindering van de betonspanning t.g.v. krimp van het beton.
$\Delta\sigma'_{b\phi,t}$	vermindering van de betonspanning t.g.v. kruip van het beton.
index b	voor beton.
index a	voor gewoon betonstaal.
index p	voor voorspanstaal.

I. Algemeen

Een ingegraven buisleiding is onderworpen aan verscheidene belastingen die uiteindelijk resulteren in een moment, een normaalkracht en een dwarskracht in elk punt van de buisdoorsnede.

De invloed van de dwarskracht is gering en wordt dan ook verwaarloosd. Ter plaatse van de momenten extrema heeft deze verwaarlozing zelfs niet de geringste onnauwkeurigheid ten gevolge, de dwarskrachten zijn hier immers gelijk nul.

De grootte alsmede de werkrichting van de momenten en normaalkrachten zal verschillen voor verschillende punten van de doorsnede. Veelal zullen extrema gevonden worden ter plaatse van de onderkant, c.q. de zijanten van de buis.

Het moment en de normaalkracht in een bepaalde doorsnede geven samen een punt in een grafiek waarin op de x-as normaalkrachten en op de y-as momenten zijn uitgezet.

Indien het moment en de normaalkracht bepaald zijn in de gebruikstoestand, dus aan de hand van de te verwachten belastingen, wordt het gevonden punt in de grafiek het "gebruikspunt" genoemd.

Analoog aan de bepaling van het gebruikspunt kunnen "bezwijkspunten" en veilige "gebruikspunten" worden bepaald. De bepaling van de voor deze punten te gebruiken momenten en normaalkrachten wordt behandeld in de paragrafen II-2, II-4a en in hoofdstuk III. De bepaling van het gebruikspunt valt buiten het bestek van dit rapport. Hiervoor wordt verwezen naar de literatuur.

Teneinde het volgen van de in II-5, II-6 en III-4 gegeven voorbeelden te vergemakkelijken is een summiere omschrijving van de bepaling van het gebruikspunt voor ronde betonbuizen gegeven in bijlage 1, met de daarbij behorende tabellen op bijl. 2a en 2b. Indien het criterium scheurvorming moet worden toegepast, hetgeen uit het oogpunt van waterkeringsbelang het geval is bij berekeningen anders dan voor relatieve sterkte* moet de buis ook aan dit criterium worden getoetst. Een uitzondering hierop vormen de gewapend beton- en plaatstalen kernbuizen met verzinkte wapening.

* zie voor het begrip relatieve sterkte de TAW leidraden voor constructie en beheer van vloeistof, respectievelijk gasleidingen, in op en nabij waterkeringen (§ 3.5.2.2.).

Voor de voorgespannen betonbuis wordt dit onderwerp behandeld in paragraaf II-3.

Gezien de complexiteit van het probleem en de geringe toepassingsmogelijkheden van niet verzinkte gewapend beton of plaatstalen kernbuizen in waterkeringen is afgezien van de opname van een berekeningswijze voor scheurvorming bij deze buizen.

II. Voorgespannen betonbuizen

II-1. Bepaling van de karakteristieke staalspanning

In deze paragraaf wordt gebruik gemaakt van een vrij grove benadering van de kruip van het beton. Bovendien wordt ervan uitgegaan dat de waarden van $\Delta\sigma_{p, \text{relax.}}$ en $\Delta\sigma_{p, \infty}$ door de fabrikant van de buizen wordt opgegeven.

Voor een meer exacte bepaling van de betreffende waarden wordt verwezen naar de VB 1974.

Onder invloed van de aanvangsvoorspanning $\sigma_{p,0}$ treedt een elastische verkorting van het beton op.

$$\sigma'_{b} = \frac{A_p \cdot \sigma_{p,0}}{A_b}$$

$$\epsilon'_{b} = \frac{A_p \cdot \sigma_{p,0}}{A_b} \cdot \frac{1}{E'_b}$$

$$\epsilon'_{b} = \epsilon'_p$$

Tengevolge van de elastische verkorting van het beton vermindert de spanning in het voorspanstaal met $\Delta\sigma_{p, \text{ev}}$

$$\frac{\Delta\sigma_{p, \text{ev}}}{E_p} = \epsilon'_p = \frac{A_p \cdot \sigma_{p,0}}{A_b} \cdot \frac{1}{E'_b}$$

$$\Delta\sigma_{p, \text{ev}} = \frac{E_p}{E'_b} \cdot \frac{A_p \cdot \sigma_{p,0}}{A_b}$$

De staalspanning wordt door de elastische verkorting van het beton:

$$\sigma_p = \sigma_{p,0} - \Delta\sigma_{p, \text{ev}}$$

Deze spanning vermindert afhankelijk van de tijd door:

$\Delta\sigma_{p, \text{relax}}$ = relaxatie van het staal.

$\Delta\sigma'_{p, r, t}$ = krimp beton

$\Delta\sigma'_{p, \phi, t}$ = kruip beton

De spanning op t_{∞} wordt hierdoor:

$$\sigma_{p,\infty} = \sigma_{p,0} - \Delta\sigma_{p,ev} - \Delta\sigma_{p,relax} - \Delta\sigma_{pr,\infty} - \Delta\sigma_{p\phi,\infty}$$

aangenomen wordt dat de spanningsvermindering als gevolg van kruip van het beton tweemaal zo groot is als die als gevolg van de elastische verkorting van het beton:

$$\Delta\sigma_{p\phi,\infty} = 2 \cdot \sigma_{p,ev}$$

dus:

$$\Delta\sigma_{p\phi,\infty} = 2 \cdot \frac{E_p}{E'_b} \cdot \frac{A_p \cdot \sigma_{p,0}}{A_b}$$

$$\sigma_{p,\infty} = \sigma_{p,0} \left(1 - \frac{3E_p \cdot A_p}{E'_b \cdot A_b} \right) - \Delta\sigma_{p,relax} - \Delta\sigma_{pr,\infty}$$

De karakteristieke staalspanning na enkele weken uitgaande van:

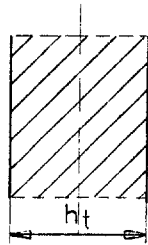
$$\begin{aligned} \Delta\sigma_{p,relax,1} &= \frac{1}{2} \Delta\sigma_{p,relax} \\ \Delta\sigma_{pr,1} &= \frac{1}{2} \Delta\sigma_{pr,\infty} \\ \Delta\sigma_{p\phi,1} &= \frac{1}{2} \Delta\sigma_{p\phi,\infty} \end{aligned} \quad \text{bedraagt:}$$

$$\sigma_{p,1} = \sigma_{p,0} \left(1 - \frac{2E_p \cdot A_p}{E'_b \cdot A_b} \right) - \frac{1}{2} \Delta\sigma_{p,relax} - \frac{1}{2} \Delta\sigma_{pr,\infty}$$

Veiligheidshalve dient deze staalspanning te worden aangehouden bij berekeningen ten behoeve van de relatieve sterkte.

II-2. Bepaling van de breukmomenten en normaalkrachten

Deze momenten en normaalkrachten worden bepaald bij bezwijken op betonstuik. Er wordt uitgegaan van een centrisch aangrijpen van de voorspankracht over de doorsnede.



Verklaring van enkele aanduidingen:

P = voorspankracht = $\sigma_{p,1} \times A_p$ (in berekening t.b.v. relatieve sterkte) of $\sigma_{p,\infty} \times A_p$ (in de berekening van de leidingkruising zelf) [N/m'] betondrukspanning -

N = uitwendige normaalkracht, die hier wordt aangenomen de uiterst opneembare normaalkracht te zijn (N_u) [N/m'] trek +

$\sigma'_u = f'_b$ = rekenwaarde voor de betondruksterkte [N/mm^2] druk -

σ_{kr} = spanning t.g.v. normaal- en voorspankracht [N/mm^2]

N'_b = normaalkracht voor het vormen van het buigend moment [N/m']

ϵ'_{prop} = proportionaliteitsgrens beton (druk) = 2,5‰

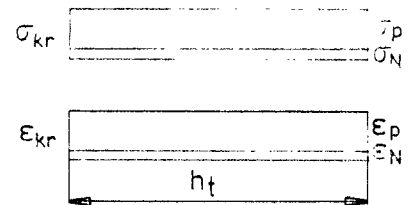
ϵ'_u = vervorming bij betonstuik = 3,5‰ = 0,0035

De lengte van het beschouwde buisdeel is 1000 mm.

Bereken $N + P$

$$\text{Bereken } \sigma_N + \sigma_p = \frac{N + P}{A_b} = \sigma_{kr}$$

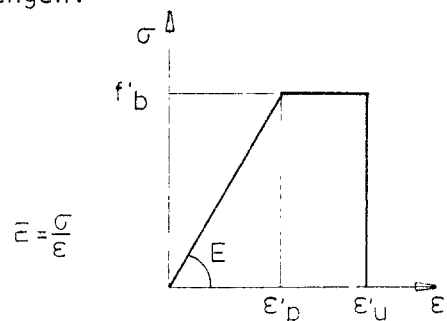
$$\text{Bereken } \epsilon_N + \epsilon_p = \frac{(N + P)}{A_b \cdot f'_b / 2,5 \cdot 10^{-3}} = \epsilon_{kr}$$



* Overwogen is de verandering van de voorspanning t.g.v. de inwendige druk (p) in rekening te brengen.

Dit gaat als volgt:

$$\text{Bepaal } \sigma_p = \frac{p \cdot D_i}{2(A_b + \frac{E_p}{E_b} \cdot A_p)}$$

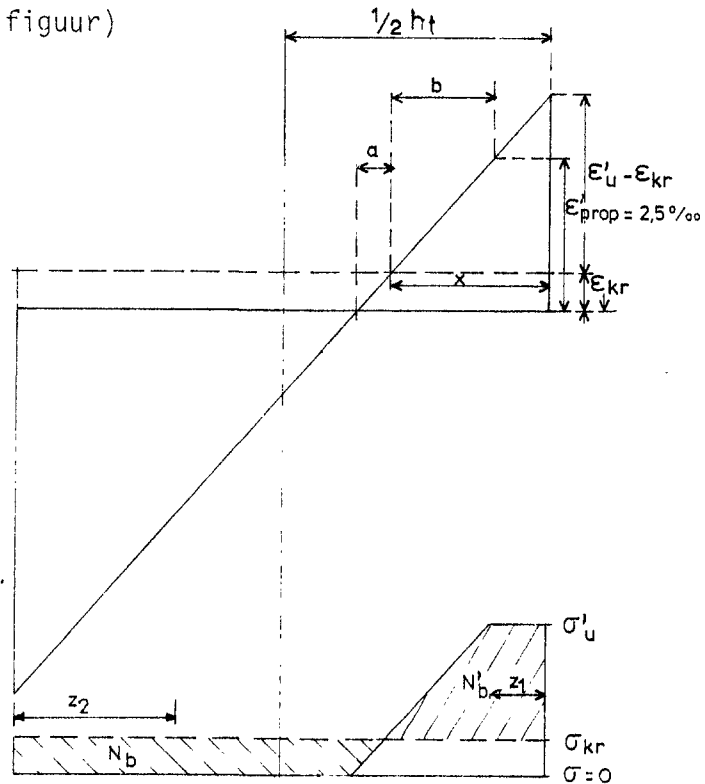


Bepaal $\epsilon_p = \frac{\sigma_p}{E_b}$, bereken reductie t.g.v. p: $\epsilon_p \times E_p \times A_p = \Delta P$

Bereken P gereduceerd t.g.v. p: P reductie = $P - \Delta P$, waarbij in de verdere berekening dan deze gereduceerde P gebruikt zou moeten worden i.p.v. P. De invloed is zeer klein, 0,1 à 1%, in het rekenprogramma is dit dan ook niet opgenomen.

Bepaal: $a = \frac{\epsilon_{kr}}{\epsilon'_u - \epsilon_{kr}} \cdot x$ (zie figuur)

Bepaal: $b = \frac{0,0025 - \epsilon_{kr}}{0,0035 - \epsilon_{kr}} \cdot x$



We kunnen nu schrijven:

$$|N'_b| = (x - \frac{1}{2}b) |\sigma'_u - \sigma_{kr}| \cdot 1000$$

$$|N_b| = (h_t - x - \frac{1}{2}a) |\sigma_{kr}| \cdot 1000$$

$$\text{stel } |N'_b| = |N_b|$$

deel buiswand belast door M en N

Los x op.

Bereken met de verkregen x: a, b, N'_b en N_b

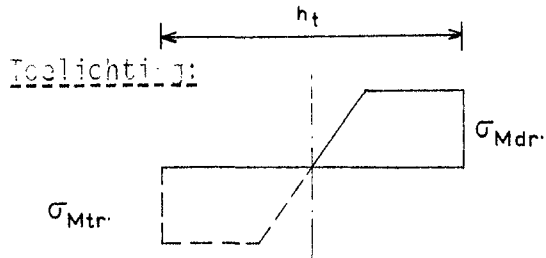
$$\text{Bereken: } z_1 = \frac{x^2 - b x + 1/3 b^2}{2x - b}$$

$$\text{Bereken: } z_2 = \frac{(h_t - x)^2 - a (h_t - x) + 1/3 a^2}{2(h_t - x) - a}$$

$$\text{Bereken: } M = |N'_b| \frac{(\frac{1}{2}h_t - z_1)}{1000} + |N_b| \frac{(\frac{1}{2}h_t - z_2)}{1000}$$

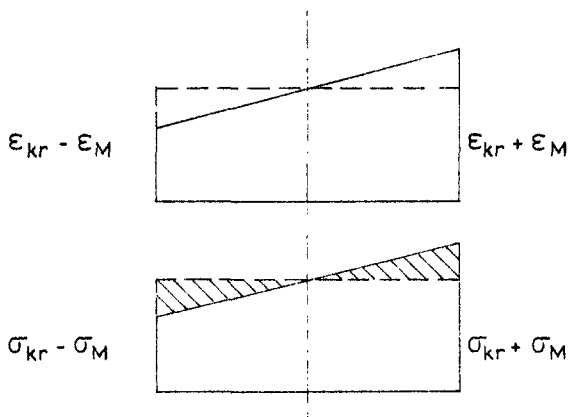
Indien $\epsilon_{kr} > 2,5\%$, dient de berekening te worden aangepast.

Het aldus berekende moment is het breukmoment M_u bij de aangenomen breuknormaalkracht N_u .



Spanningsdiagram t.g.v. een relatief groot moment.

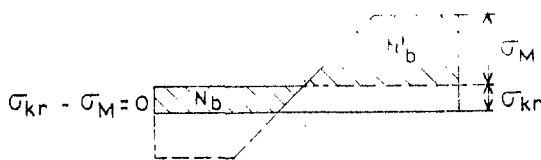
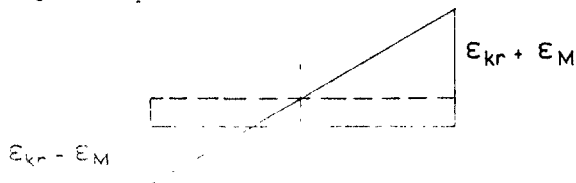
$\sigma_{Mtrek} = 0$, dus geen evenwicht, dus bezwijken. In combinatie met een normaalkracht (druk) kan wel een moment worden opgenomen.



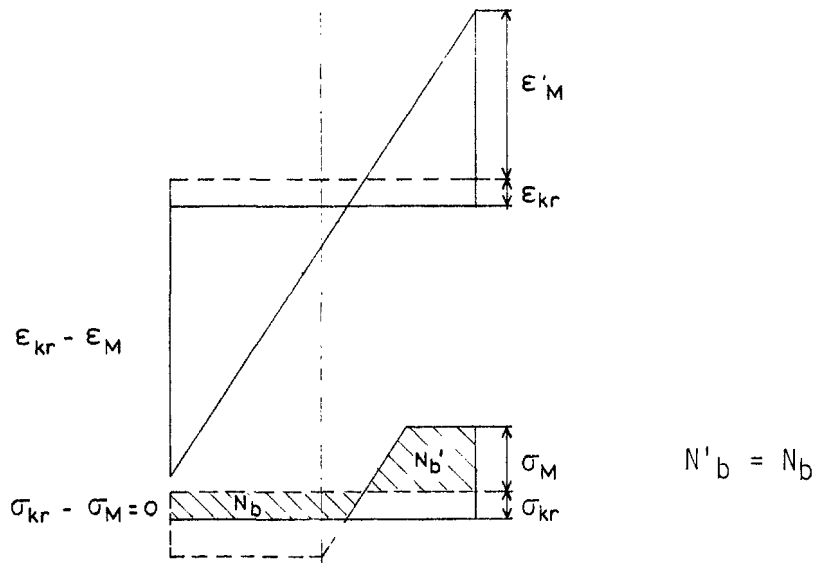
Vervormingsdiagram t.g.v. een relatief klein moment gevoegd bij een relatief grote normaalkracht (voorspankracht + normaalkracht).

Spanningsdiagram t.g.v. een relatief klein moment gevoegd bij een relatief grote normaalkracht (voorspankracht + normaalkracht).

Bij een groter moment wordt dit:



$N_b \neq N'_b \rightarrow N \neq 0$ → Moment kan niet opgenomen worden →
Evenwichtsituatie zoeken.



In het extreme geval wordt ϵ'_U bereikt (bezwijken op betonstuik).

In overeenstemming met art. F 503.1.1 van de VB 1974 worden de trekspanningen hierbij uitsluitend opgenomen door het staal.

Voor de bepaling van de breukmomenten en normaalkrachten is een programma geschreven "Voorspan breuk", te gebruiken op een HP 97 of HP 67, zie appendix 1.

II-3. Bepaling van de grenstoestanden met betrekking tot de buig-trekspanning en scheurvorming in de voorgedrukte trekzone

Met het oog op deze grenstoestand moet bij de berekening zoals die gegeven is in II-2 worden nagegaan of $\epsilon_b \leq \frac{0,5f_b}{E_b}$, waarin

$$\epsilon_b = \frac{h_t - x - a}{x + a} \cdot \epsilon'_u$$

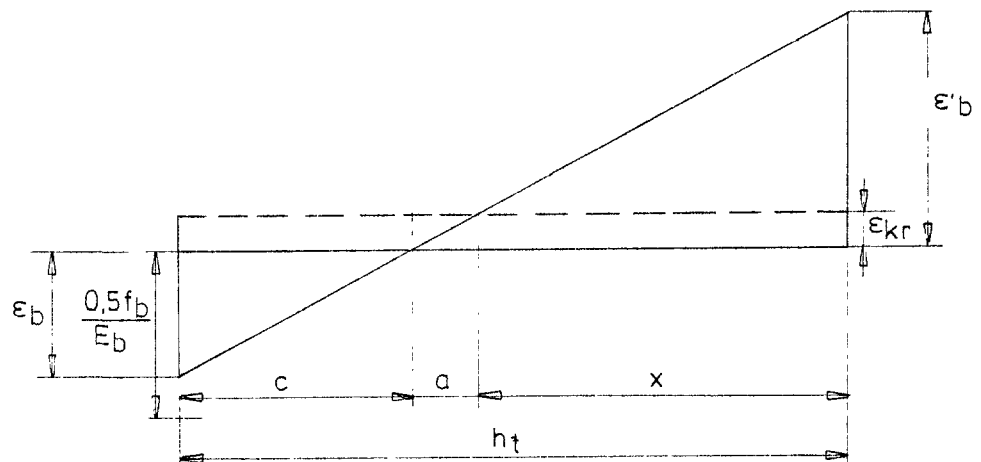
Dit is identiek met $x \geq \frac{h_t}{1 + \frac{0,5f_b}{\epsilon'_u E_b}} - a$.

Indien $x < \frac{h_t}{1 + \frac{0,5f_b}{\epsilon'_u E_b}} - a$ moet de berekening worden overgedaan

met een waarde ϵ lager dan ϵ'_u .

Dit wordt herhaald tot dat:

$$x = \frac{h_t}{1 + \frac{0,5f_b}{\epsilon'_b \cdot E_b}} - a$$



Deze beperking komt voort uit art. F401.4 van de VB 1974. Aangehouden is hierbij $\sigma_b \leq 0,5 f_b$ en $E_b = E'_b$

Voor de beoordeling ten aanzien van de hiergenoemde grenstoestanden is een programma ("voorspan scheurvorming") geschreven, te gebruiken op een HP 97 of een HP 67, zie appendix 2.

Als nauwkeurigheid voor de bepaling van $\epsilon_b = \frac{0,5 f_b}{E_b}$ is een afwijking van 5% van $\frac{0,5 f_b}{E_b}$ toelaatbaar geacht m.a.w.

$$\left| \frac{h_t - x - a}{x + a} \cdot \epsilon'_b - \frac{0,5 f_b}{E_b} \right| \leq 0,05 \cdot \frac{0,5 f_b}{E_b}$$

II-4. Bepaling van de toelaatbare druk

II-4a. Met gebruikmaking van de breukmomenten en normaalkrachten

De opzet van de berekening is dat bij een gegeven inwendige druk en bovenbelasting gecontroleerd wordt of het uit deze bovenbelasting resulterende moment geen overschrijding van de veiligheid t.o.v. betonstuik ten gevolge heeft.

Het is echter ook mogelijk om na te gaan welke druk i.v.m. breuk toelaatbaar is bij een gegeven moment en bij een gegeven bovenbelasting, door het proberenderwijs invoeren van verschillende normaalkrachten.

Eerst wordt het gebruikspunt bepaald, d.w.z. een bij het gebruik optredend moment M (uit bovenbelasting, eigen gewicht en vulling) en een bij het gebruik optredende normaalkracht N (idem + inwendige druk)(zie I).

Door vermenigvuldiging met een belastingsfactor (1,7) wordt een punt verkregen dat direct kan worden vergeleken met het breukpunt.

De aldus verkregen (breuk) normaalkracht wordt gebruikt voor de bepaling van een uiterst breukmoment (zie II-2). Dit breukmoment dient groter dan of gelijk te zijn aan het hiervoor genoemde gebruiksmoment maal de belastingsfactor (1,7).

II-4b. Met het oog op de grenstoestanden met betrekking tot de buigtrekspanning en scheurvorming in de voorgedrukte trekzone

De opzet van de berekening is dat bij een gegeven inwendige druk en bovenbelasting gecontroleerd wordt of het uit deze bovenbelasting resulterende moment geen overschrijding van de genoemde grenstoestanden ten gevolge heeft. Door het proberenderwijs invoeren van verschillende normaalkrachten kan bij een gegeven moment echter ook nagegaan worden welke druk in dit opzicht toelaatbaar is bij een gegeven bovenbelasting.

Zie ook I, II-2 en II-3.

Ook hier wordt eerst het gebruikpunt bepaald, vermenigvuldiging met een belastingsfactor blijft echter achterwege. De gevonden normaalkracht wordt gebruikt voor de bepaling van een uiterst toelaatbaar (met het oog op deze grenstoestanden) moment (zie II-2 en II-3). Dit toelaatbare moment dient groter te zijn dan of gelijk aan het eerdergenoemde gebruiksmoment.

II-5. Voorbeeld bepaling ontwerpdruk in kruising van voorgespannen betonbuizen i.v.m. relatieve sterkte.

Gegevens: Arkelbuis

$$\begin{aligned}
 D_i &= 1000 \text{ mm} && \text{opleghoek } 2\gamma = 60^\circ \\
 h_t &= 54 \text{ mm (kernbuis)} && \text{belastinghoek } 2\omega = 180^\circ \\
 h_t \text{ totaal} &= 79 \text{ mm} && \text{Bovenbelasting: } 16700 \text{ N/m}^2 \\
 &&& \text{D.w.z. } Q = 16700 \times 1,158 = 19340 \text{ N/m}' \\
 R &= 539,5 \text{ mm} \\
 L &= 1000 \text{ mm} \\
 A_b &= 1000 \times 54 = 54000 \text{ mm}^2 \text{ (afhankelijk van productiewijze} \\
 &&& \text{hele doorsnede of kernbuis, in dit} \\
 &&& \text{geval Arkel: kernbuis).} \\
 q &= 1980 \text{ N/m}^2 \text{ (eigen gewicht).} \\
 \text{Spiraaldraad } Q_p \text{ 160 - glad - } \phi 4 \text{ mm - 32,3 mm} &&& A_p = 389 \text{ mm}^2/\text{m}'
 \end{aligned}$$

$$\epsilon_{\text{kruip}} = 2 \times \text{elastische vormverandering.}$$

$$\left. \begin{aligned}
 \epsilon_{\text{krimp}} &= 2 \times 10^{-4} \\
 E_p &= 2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned} \right\} \Delta\sigma_{pr,\infty} = 40 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma_{p,\text{relax}} = 60 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Wikkelspanning spiraal voorspanstaal: } \sigma_{p,0} = 1100 \text{ N/mm}^2.$$

$$\text{B 60 betonkwaliteit, dus } E'_b = 0,44 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2:$$

$$f'_b = 48 \text{ N/mm}^2$$

$$f_b = 2,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{p,1} = \sigma_{p,0} \left(1 - \frac{2E_p \cdot A_p}{E'_b \cdot A_b} \right) - \frac{1}{2} \Delta\sigma_{p,\text{relax}} - \frac{1}{2} \Delta\sigma_{\phi,\infty}$$

$$= 1100 \left(1 - \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 389}{0,44 \cdot 10^5 \cdot 54000} \right) - \frac{1}{2} \cdot 60 - \frac{1}{2} \cdot 40 = 978 \text{ N/mm}^2$$

Dus de voor de berekening aan te houden voorspankracht bedraagt:

$$\sigma_{p,1} \times A_p = 978 \times 389 = -380428 \text{ N/m}' \text{ (drukkracht).}$$

Het gebruikspunt is:

Moment bodem (Le calcul des tuyaux - zie bijlage IIa en IIb).

$$\text{grond} : 0,188 \text{ QR} = 0,188 \times 19340 \times 0,5395 = 1962 \text{ Nm/m'}$$

$$\text{water} : 0,42 \delta R^3 = 0,42 \times 10000 \times 0,5395^3 = 660 \text{ Nm/m'}$$

$$\text{e.g.} : 0,841 \text{ qR}^2 = 0,841 \times 1980 \times 0,5395^2 = 480 \text{ Nm/m'}$$

$$3102 \text{ Nm/m'}$$

$$N_{\text{bovenbel.}} = 0,04 \times Q = 0,04 \times 19340 = - 773,6 \text{ (Druk)}$$

$$N_{\text{eigengew.}} = qR\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3} \sin^2 \gamma\right) = 1980 \times 0,5398 \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3} \sin^2 30^\circ\right) = - 445,3 \text{ (Druk)}$$

$$N_{\text{vulling}} = \frac{\delta R^2}{2} (5/2 + 1/3 \sin^2 \gamma) = \frac{10000 \times 0,5395^2}{2} (5/2 + 1/3 \sin^2 30^\circ)$$

$$= +3759,5 \text{ (trek)}$$

$$+2540,6 \text{ (Trek)}$$

Dus: $N = +2540 \text{ N/m'}$ en $M = 3102 \text{ Nm/m'}$.

Hierbij is nog geen rekening gehouden met de inwendige druk, daar deze juist bepaald moet worden. Neem aan dat deze druk b.v. 3 bar bedraagt, dit geeft een normaalkracht van (zie bijlage 1).

$$N = + 50.p. D_i = + 50.3.1000 = + 150000 \text{ N/m' (trek)}$$

Opgeteld bij de reeds aanwezige normaalkracht geeft dit + 152540 N/m'.

Het moment wordt niet beïnvloed door de inwendige druk zodat het gebruikspunt wordt:

$$N = + 152540 \text{ N/m'} \quad M = 3102 \text{ Nm/m'}$$

Vermenigvuldigen met 1,7 geeft:

$$N_u = + 259320 \text{ N/m'} \quad M_u = 5273 \text{ Nm/m'}$$

Invoeren van $N_u = + 259320$ in het voor deze methode geschreven programma geeft een M_u van 3101 Nm/m'. Bij deze N_u resulteert een te lage M_u , probeer dus een minder grote trekkracht, b.v. $N = + 150.000$, dit geeft een $M_u = 5612$. Dit is iets

te veel, probeer dus een grotere trekkracht (of: kleinere drukkracht) enz., totdat uiteindelijk gevonden wordt:

$$N_u = + 165500 \text{ N/m}' \quad M_u = 5272 \text{ Nm/m}' \approx 5273 \text{ Nm /m}'$$

dan is N in de gebruikstoestand:

$$N = \frac{N_u}{1,7} = 97353 \text{ N/m}' .$$

dan is N t.g.v. de inwendige druk:

$$N_p = N - 2540 = 97353 - 2540 = 94813 \text{ N/m}'$$

dan is dus de toelaatbare druk in gebruikstoestand:

$$p = \frac{N_p}{D_i \cdot 50} = \frac{94813}{1000 \cdot 50} = 1,9 \text{ bar} .$$

Resultierend:

$$p_{\text{breuk}} = 1,7 \cdot 1,9 = 3,2 \text{ bar} .$$

$$p_{\text{gebruik}} = 1,9 \text{ bar} .$$

$$p_{\text{ontwerp kruising}} = 1,9 \cdot 1,2 = \underline{\underline{2,3}} \text{ bar} . (\text{relatieve sterkte})$$

II-6. Voorbeeld sterkteberekening voorgespannen betonbuizen in een kruisend leidinggedeelte

Hier wordt dezelfde buis als in voorgaande paragraaf beschouwd, hoewel dan natuurlijk vaststaat dat er een lagere gebruiksdruk uit voortkomt, voor de gegevens zie dus II-5.

$$\sigma_{p,\infty} = \sigma_{p,0} \left(1 - \frac{3E_p \cdot A_p}{E'_b \cdot A_b}\right) - \Delta\sigma_{p,\text{relax}} - \Delta\sigma_{p,r,\infty}$$

$$= 1100 \left(1 - \frac{3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 389}{0,44 \cdot 10^5 \cdot 54000}\right) - 60 - 40 = 892 \text{ N/mm}^2$$

Dus de voor de berekening aan te houden voorspankracht bedraagt:

$$\sigma_{p,\infty} \cdot A_p = 892 \cdot 389 = -346966 \text{ N/m}' \text{ (drukkracht)}$$

$$N = +2540 \text{ N/m}'$$

$$M = 3102 \text{ Nm/m}'$$

Veronderstel een inwendige druk van 3 bar, en vermenigvuldig met 1,7, zodat

$$N = +259320 \text{ N/m}' \quad M = 5273 \text{ Nm/m}'.$$

} zie II-5

Op gelijke wijze als behandeld in II-5 wordt dan gevonden:

$$N_u = +132000 \text{ N/m}' \quad M_u = 5273 \text{ Nm/m}'$$

waaruit volgt: $p_{\text{breuk}} = 2,6 \text{ bar}$.

$$p_{\text{gebruik}} = 1,5 \text{ bar}.$$

Nu moet nog gecontroleerd worden of het criterium scheurvorming wellicht maatgevend is. De berekening verloopt op dezelfde wijze als de voorgaande berekeningen maar dan met het daartoe speciaal geschreven programma en met een N en M in gebruikstoestand, dus: voorspankracht $P = -346966 \text{ N/m}'$.

gebruiksmoment $M = 3102 \text{ Nm/m}'$

gebruiks normaalkracht $N = +152540 \text{ N/m}'$

Na enig rekenen wordt gevonden

$$N = +200000 \text{ N/m}', \quad M = 3106 \text{ Nm/m}'$$

$$N_p = 200000 - 2540 = 197460 \text{ N/m}'.$$

$$p_{\text{scheurvorming}} = \frac{N_p}{1000 \cdot 50} = 3,9 \text{ bar}.$$

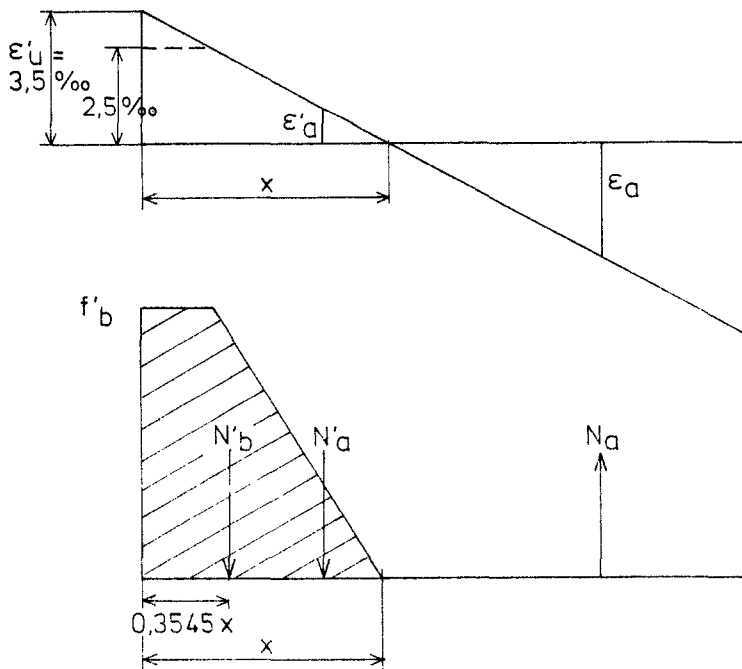
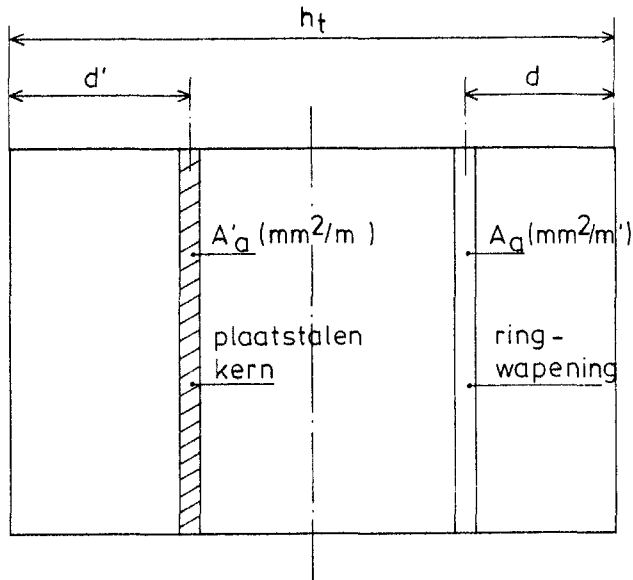
In dit geval is deze grenstoestand dus niet maatgevend.

III. Plaatstalen kernbuizen

III-1. Bepaling van de breukmomenten en normaalkrachten

De uitwerking wordt gegeven voor het geval dat de plaatstalen kern aan de drukzijde ligt (zijkant buis).

De berekening voor het geval dat de plaatstalen kern aan de trekzijde (onderkant buis) ligt, verloopt op analoge wijze.



Neem in de bezwijkfase een vervormingsverloop aan en daarmee dus een aanname voor x tussen 0 en h_t .

Bereken bij deze x :

$$\epsilon'_a = \frac{\epsilon'_u (x-d')}{x}$$

$$\epsilon_a = \frac{\epsilon'_u (h_t-x-d)}{x}$$

Met hantering van het σ - ϵ diagram voor beton van fig. A-7 uit de VB 74 wordt dit:

$$\epsilon'_a = 0,0035 \frac{(x-d')}{x}$$

$$\epsilon_a = 0,0035 \frac{(h_t-x-d)}{x}$$

$$\text{Dan is: } \sigma'_a = \varepsilon'_a \cdot E_a,$$

$$\sigma_a = \varepsilon_a \cdot E_a$$

De maximaal aan te houden waarden voor σ'_a en σ_a zijn de vloeispanningen van de respectievelijke wapeningen.

$$\text{Bereken nu: } N_a = \sigma_a \cdot A_a$$

$$N'_a = \sigma'_a \cdot A'_a$$

$$N'_b = f'_b \cdot 642,9 \times \quad (\text{per m' buis})$$

De som van de inwendige en uitwendige normaalkrachten moet gelijk zijn aan nul, dus: $N'_u = - (N_a + N'_a + N'_b)$.

De momenten t.o.v. $x = \frac{1}{2}h_t$ zijn:

$$M \text{ t.g.v. } N_a = N_a \cdot (\frac{1}{2} h_t - d)$$

$$M \text{ t.g.v. } N'_a = N'_a \cdot (\frac{1}{2} h_t - d')$$

$$M \text{ t.g.v. } N'_b = N'_b (\frac{1}{2} h_t - 0,3545 x)$$

De som van de inwendige en uitwendige momenten moet gelijk zijn aan nul, dus:

$$M'_u = - (M \text{ t.g.v. } N_a + M \text{ t.g.v. } N'_a + M \text{ t.g.v. } N'_b)$$

Indien $\sigma'_a > 420 \text{ N/mm}^2$ dient volgens de VB 1974, art. 301.2.2 te worden aangehouden: $\sigma'_a = 420 \text{ N/mm}^2$.

Indien $N_a + N'_a + N'_b > 0,1 A_b f'_{bk}$ dient f'_b vermenigvuldigd te worden met 0,75.

Indien $x > h_t$ dient de berekening te worden aangepast (zie III.3.3.).

III-2. Controleberekening bij gegeven gebruikswaarden, voor M en N

De berekening verloopt als volgt:

Vermenigvuldig de gebruikswaarden voor M en N met de veiligheidsfactor (1,7).

Voer de berekening zoals omschreven in III-1 uit voor enkele waarden van x.

Maak gebruik van een vrij grote stapgrootte voor x. Geef de resultaten in een grafiek waarin op de horizontale as de breuknormaalkrachten en op de verticale as de breukmomenten worden uitgezet. Verbind de aldus gevonden "breukpunten" door rechte lijnen. Teken het met de veiligheidsfactor vermenigvuldigde gebruikspunt in op de grafiek. Verfijn ter plaatse van dit gebruikspunt de grafiek door enige tussen-

waarden voor x door te rekenen. Indien het met de veiligheidsfactor vermenigvuldigde gebruikspunt binnen de lijnen van de grafiek valt, is de betreffende belastingscombinatie toelaatbaar.

De berekening zal moeten worden uitgevoerd zowel voor de zijkant als voor de onderkant van de buis. Hierbij zal sprake zijn van twee verschillende gebruikspunten en zullen trek- en drukwapening van plaats verwisselen.

III-3. Bepaling van alle toelaatbare belastingscombinaties

III-3.1. Inleiding

De berekening verloopt in hoofdlijnen als volgt:

Voer de berekening zoals omschreven in III-1 uit voor opeenvolgende waarden van x . Gebruik een kleine stapgrootte voor x , afhankelijk van de gewenste nauwkeurigheid.

De berekening wordt uitgevoerd voor waarden van x tussen 0 en $3,5 h_t$. De berekening wordt uitgevoerd voor de plaatstalen kern aan de drukzijde zowel als aan de trekzijde.

De resultaten van deze berekeningen kunnen worden weergegeven in één grafiek waarin op de horizontale as de breuknormaal-krachten en op de verticale as de breukmomenten worden uitgezet. Op deze wijze wordt een gesloten figuur gevormd dat het gebied aangeeft waarbinnen de betonstuik van de uiterste vezel kleiner is dan 3,5%.

Het is mogelijk om binnen dit gebied aan te geven bij welke belastingscombinaties vloeien van de onderscheiden wapeningen optreedt.

Een overzicht van alle toelaatbare belastingscombinaties kan worden verkregen door het genoemde gebied te verkleinen met een veiligheidsfactor (1,7 t.o.v. betonstuik). Overwogen kan worden te eisen dat er ook altijd een bepaalde veiligheid (b.v. 1,5) moet worden gehandhaafd t.o.v. het vloeien van de onderscheiden wapeningen.

In dit hoofdstuk wordt in detail besproken hoe men een volledig "bezwijkfiguur" voor een bepaalde buiswand kan construeren.

In de figuren zullen een aantal knikpunten voorkomen; het is aan te bevelen eerst deze knikpunten te bepalen en vervolgens een aantal tussenliggende waarden te berekenen.

De knikpunten zullen optreden wanneer de onderscheiden wapeningen gaan vloeien en ook wanneer de drukzone groter wordt dan de wanddikte ($x > h_t$), immers, de drukfiguur zal dan geen trapezium meer zijn doch een afgeknot trapezium en uiteindelijk een rechthoek.

III-3.2. Bepaling van de belastingscombinaties waarbij in de onderscheiden wapeningen de vloeigrens wordt overschreden

Ten aanzien van het vloeien van de onderscheiden wapeningen kunnen zich de volgende gevallen voordoen:

1. vloeien van de kern op druk.
2. vloeien van de ring op trek.
3. vloeien van de kern op trek.
4. vloeien van de ring op druk.

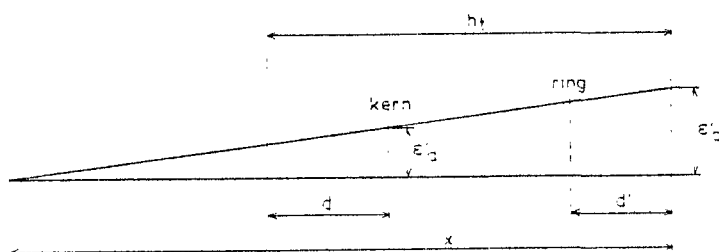
Al deze gevallen doen zich voor in beide berekeningsgangen, dus zowel voor de berekening waarbij de plaatstalen kern aan de drukzijde is aangenomen als die waarbij de plaatstalen kern aan de trekzijde is gedacht. In het totaal levert het vloeien van de onderscheiden wapeningen dus 8 knikpunten op in de te berekenen lijn voor betonstuik gelijk 3,5‰.

Deze 8 punten worden paarsgewijs verbonden door 4 lijnen die de gebieden aangeven binnen de "bezwijkfiguur" waarin de onderscheiden vloeispanningen worden overschreden.

De berekening van deze 8 punten en de verbindende lijnen verloopt als volgt:

A. Plaatstalen kern trekzijde

1. Vloeien van de kern op druk



$$\epsilon'_b : \epsilon'_a = x : \{x - (h_t - d)\} \rightarrow$$
$$x = \frac{h_t - d}{1 - \frac{\epsilon'_a}{\epsilon'_b}}$$

Voor een punt op de lijn van maximale betonstuik is

$$\epsilon'_b = \epsilon'_u = 0,0035.$$

Bij vloeien van de kern geldt: $\epsilon'_a = \frac{f'_a}{E_a}$

Dan volgt x uit: $x = \frac{h_t - d}{1 - f'_a / 0,0035 \cdot E_a}$

Dit is dus de hoogte van de drukzone waarbij de kern begint te vloeien op druk indien $\epsilon'_b = \epsilon'_u = 3,5\%$.

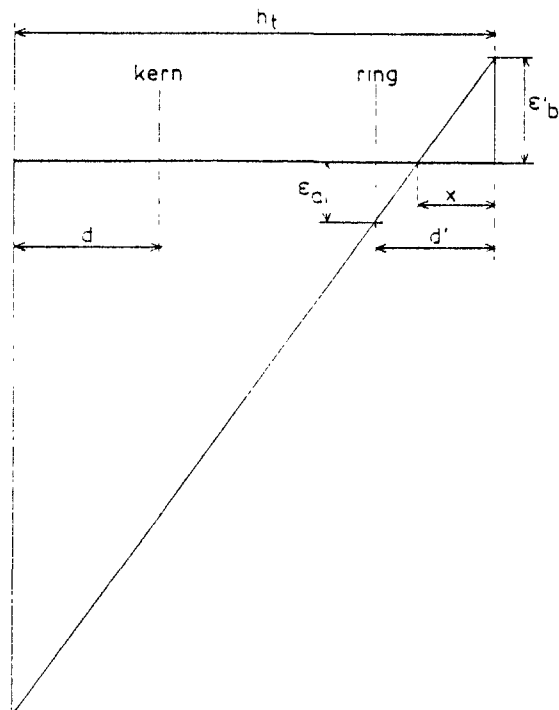
Door nu de bij deze waarde van x behorende M_u en N_u te bepalen volgens de in III-1 omschreven methode

wordt een knikpunt gevonden van de lijn voor maximale betonstuik.

Door x uit te rekenen voor een aantal waarden van $\epsilon'_b < \epsilon'_u$ en daarbij de bijbehorende M en N te bepalen verkrijgt men een aantal punten van de lijn die belastingscombinaties aangeeft waarbij juist vloeien van de kern op druk optreedt.

Opgemerkt wordt dat hier in overeenstemming met de VB 1974 verondersteld is dat $f'_a = \sigma_e = \sigma_{0,2}$ waarbij $f'_a \leq 420 \text{ N/mm}^2$.

2. Vloeien van de ring op trek



$$\epsilon'_b : \epsilon'_a = x : (d' - x) \rightarrow$$

$$x = \frac{d'}{1 + \epsilon'_a / \epsilon'_b}$$

Voor een punt van de lijn van maximale betonstuik is

$$\epsilon'_b = \epsilon'_u = 0,0035.$$

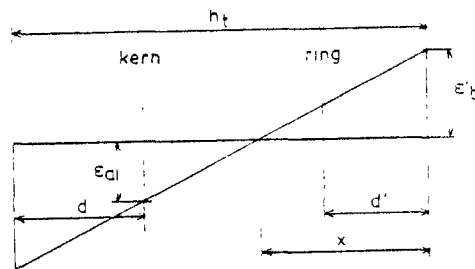
Bij vloeien van de ring geldt: $\epsilon_a = \frac{f_a}{E_a}$

Dan geldt: $x = \frac{d'}{1 + f_a / 0,0035 \cdot E_a}$

Door nu de bij deze waarde van x behorende M_u en N_u te bepalen volgens de in III-1 omschreven methode wordt een knikpunt gevonden van de lijn voor maximale betonstuik.

Door x uit te rekenen voor een aantal waarden van $\epsilon'_b < \epsilon'_u$ en daarbij de bijbehorende M en N te bepalen, verkrijgt men een aantal punten van de lijn die belastingscombinaties aangeeft waarbij juist vloeien van de ring op trek optreedt.

3. Vloeien van de kern op trek



$$\epsilon'_b : \epsilon_a = x : (h_t - d - x) \rightarrow$$

$$x = \frac{h_t - d}{1 + \epsilon_a / \epsilon'_b}$$

Voor een punt van de lijn van maximale betonstuik is

$$\epsilon'_b = \epsilon'_u = 0,0035.$$

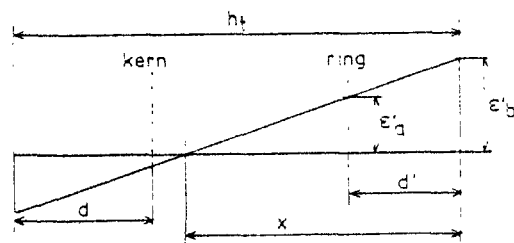
Bij vloeien van de kern geldt: $\epsilon_a = \frac{f_a}{E_a}$

Dan geldt: $x = \frac{h_t - d}{1 + f_a / 0,0035 \cdot E_a}$

Door nu de bij deze waarde van x behorende M_u en N_u te bepalen volgens de in III-1 omschreven methode wordt een knikpunt gevonden van de lijn voor maximale betonstuik.

Door x uit te rekenen voor een aantal waarden van $\epsilon'_b < \epsilon'_u$ en daarbij de bijbehorende M en N te bepalen verkrijgt men een aantal punten van de lijn die belastingcombinaties aangeeft waarbij juist vloeien van de kern op trek optreedt.

4. Vloeien van de ring op druk



$$\epsilon'_b : \epsilon'_a = x : (x - d') \rightarrow$$

$$x = \frac{d'}{1 - \epsilon'_a / \epsilon'_b}$$

Voor een punt van de lijn van maximale betonstuik is

$$\epsilon'_b = \epsilon'_u = 0,0035.$$

Bij vloeien van de ring geldt: $\epsilon'_a = \frac{f'_a}{E_a}$

$$\text{Dan geldt: } x = \frac{d'}{1 - f'_a / 0,0035 \cdot E_a}$$

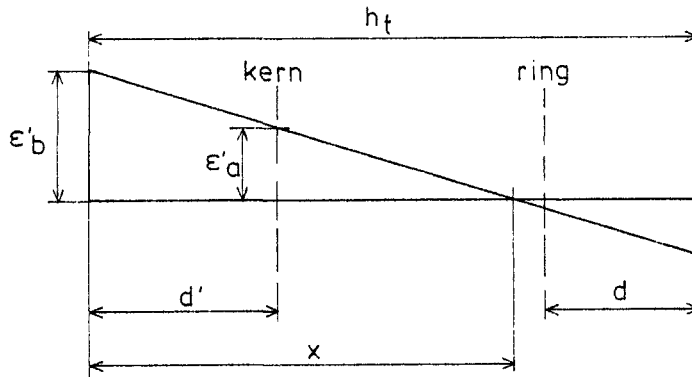
Door nu de bij deze waarde van x behorende M_u en N_u te bepalen volgens de in III-1 omschreven methode wordt een knikpunt gevonden van de lijn voor maximale betonstuik.

Door x uit te rekenen voor een aantal waarden van $\epsilon'_b < \epsilon'_u$ en daarbij de bijbehorende M en N te bepalen verkrijgt men een aantal punten van de lijn die belastingcombinaties aangeeft waarbij juist vloeien van de ring op druk optreedt.

Opgemerkt wordt dat hier in overeenstemming met de VB 1974 verondersteld is dat $f'_a = \sigma_e = 0,2$ waarbij $f'_a \leq 420 \text{ N/mm}^2$.

B. Plaatstalen kern drukzijde

1. Vloeien van de kern op druk

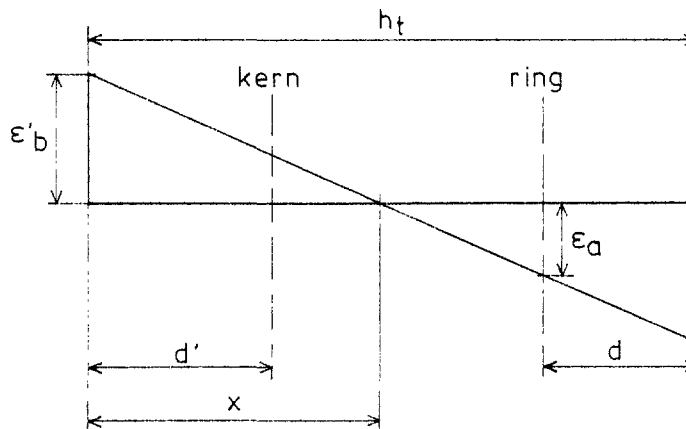


$$\epsilon'_b : \epsilon'_a = x : (x - d') \rightarrow$$

$$x = \frac{d'}{1 - \epsilon'_a / \epsilon'_b}$$

Verder is de berekening analoog aan die van geval A-4, let echter op, d en d' verwisselden van plaats en voor f'_a zal een andere waarde moeten worden ingevuld.

2. Vloeien van de ring op trek

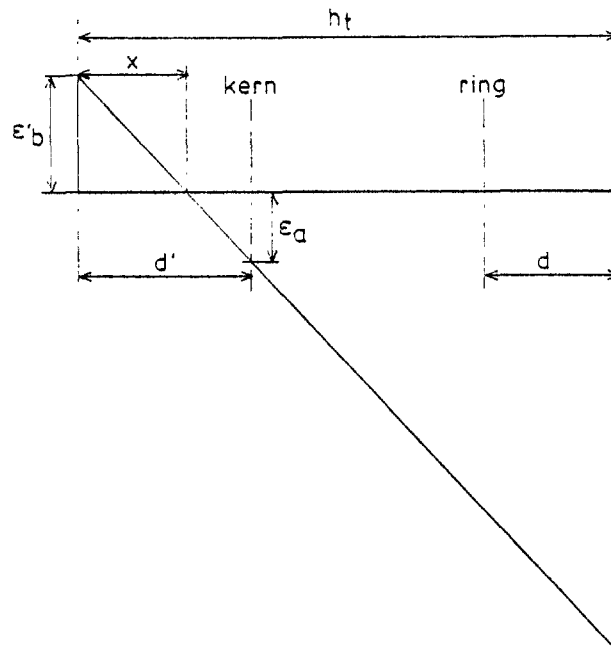


$$\epsilon'_b : \epsilon_a = x : (h_t - d - x) \rightarrow$$

$$x = \frac{h_t - d}{1 + \epsilon_a / \epsilon'_b}$$

Verder is de berekening analoog aan die van geval A-3, let echter op, d en d' verwisselden van plaats en voor f_a zal een ander waarde moeten worden ingevuld.

3. Vloeien van de kern op trek

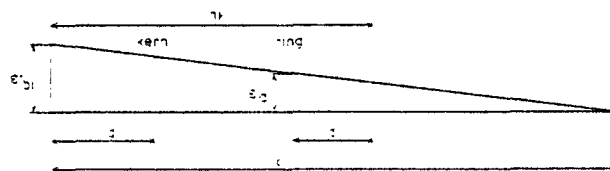


$$\epsilon'_b : \epsilon_a = x : (d' - x) \rightarrow$$

$$x = \frac{d'}{1 + \epsilon_a / \epsilon'_b}$$

Verder is de berekening analoog aan die van geval A-2, let echter op, d en d' verwisselden van plaats en voor f'_a zal een andere waarde moeten worden ingevuld.

4. Vloeien van de ring op druk



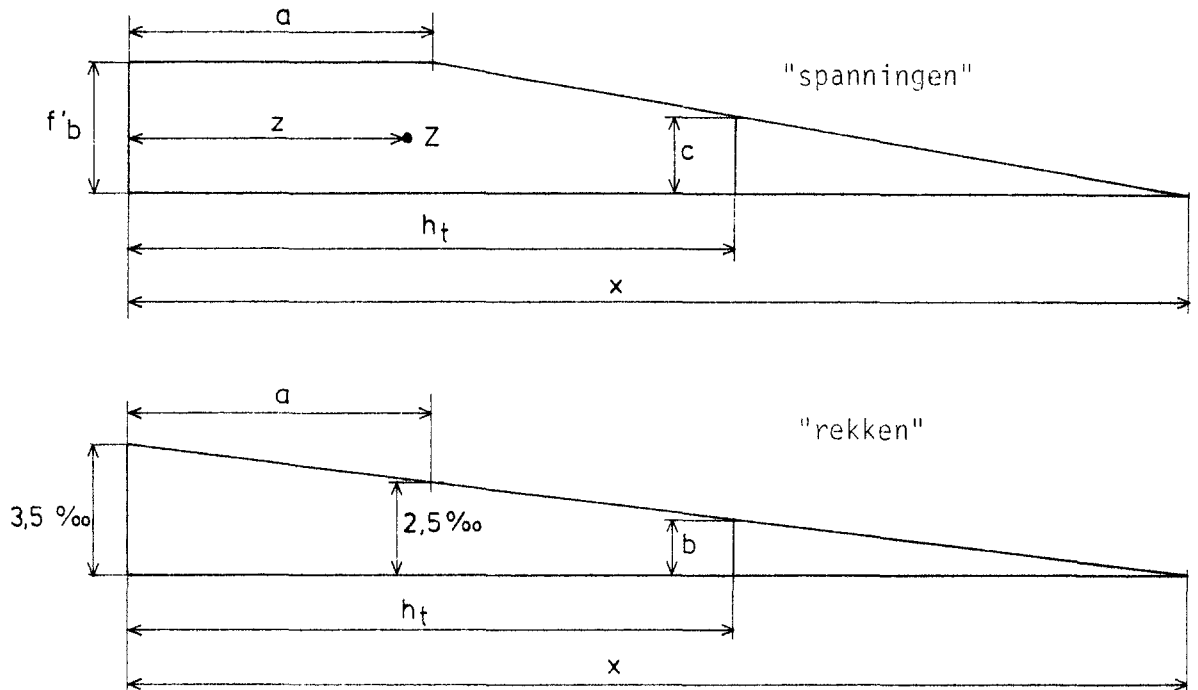
$$\epsilon'_b : \epsilon'_a = x : \{ x - (h_t - d) \} \rightarrow$$

$$x = \frac{h_t - d}{1 - \epsilon'_a / \epsilon'_b}$$

Verder is de berekening analoog aan die van geval A-1, let echter op, d en d' verwisselden van plaats en voor f'_a zal een andere waarde moeten worden ingevuld.

III-3.3. Bepaling van breukmomenten en normaalkrachten indien de drukzone groter is dan de wanddikte.

In dit geval verandert de vorm van het betondruk figuur. Zowel het oppervlak van de figuur als de plaats van het zwaartepunt verandert hierdoor, hetgeen betekent dat N'_b en M t.g.v. N'_b beide veranderen.



Met behulp van bovenstaande figuren is af te leiden dat.

$$3,5 : x = 2,5 : (x-a) \rightarrow a = x/3,5.$$

$$3,5 : x = b : (x-h_t) \rightarrow b = 3,5‰(1-h_t/x)$$

$$c = \frac{3,5}{2,5} (1-h_t/x) f'_b = 1,4 (1-h_t/x) f'_b$$

$$z = \left[227,9x^2 - 700 \cdot \frac{(x-h_t)^2}{x} \cdot \left(\frac{2h_t + x}{3} \right) \right] : \left[642,9x - \frac{(x-h_t)^2}{x} \cdot 700 \right]$$

De formule voor het oppervlak, c.q. de betondrukkracht wordt afgeleid uit:

$$N'_b = \left\{ f'_b \cdot a + \frac{1}{2} (f'_b + c) (h_t - a) \right\} 1000$$

en luidt:

$$N'_b = \frac{f'_b}{3,5} \left(4,9 h_t - 2,45 \frac{h_t^2}{x} - 0,2 x \right) 1000$$

De formule voor het moment volgt uit

$$M \text{ t.g.v. } N'_b = N'_b \cdot (\frac{1}{2} h_t - z)$$

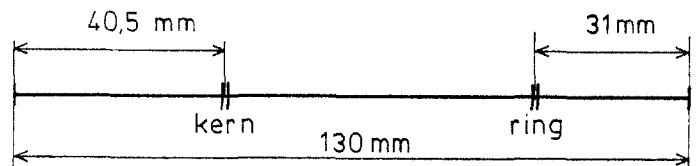
en luidt:

$$M_{\text{tgv}} N'_b = N'_b \cdot \left\{ \frac{1}{2} h_t - \left[\frac{227,9x^2 - 700 \cdot \frac{(x-h_t)^2}{x} \cdot \left(\frac{2h_t + x}{3}\right)}{642,9x - \frac{(x-h_t)^2}{x} \cdot 700} \right] \right\}$$

III-4. Voorbeeld berekening van alle toelaatbare belastingscombinaties.

De berekening is uitgevoerd voor de volgende buiswand:

- $h_t = 130 \text{ mm}$
- opp.ring = $1131 \text{ mm}^2/\text{m}'$
- opp.kern = $5000 \text{ mm}^2/\text{m}'$
- $f_a \text{ ring} = 500 \text{ N/mm}^2$
- $f'_a \text{ ring} = 420 \text{ N/mm}^2$
- $f_a \text{ kern} = 220 \text{ N/mm}^2$
- $f'_a \text{ kern} = 220 \text{ N/mm}^2$
- $f'_{bk} = 42 \text{ N/mm}^2$
- $d' (=d) \text{ ring} = 31 \text{ mm}$
- $d' (=d) \text{ kern} = 40,5 \text{ mm}$



dwarsdoorsnede buiswand

De berekening is uitgevoerd met behulp van twee daartoe geschreven programma's voor een HP 97 of HP 67.

De resultaten zijn in detail weergegeven op bijlage nr. 3 .

Een weergave van de resultaten zoals die gebruikt kan worden bij de praktische beoordeling van de toelaatbaarheid van een bepaalde belastingscombinatie voor deze buiswand is gegeven op bijlage nr. 4.

Deze beoordeling geschiedt eenvoudig door na te gaan of het bijvoorbeeld volgens bijlage 1 bepaalde gebruikspunt binnen het als veilig aangegeven gebied ligt.

IV. Gewapend betonbuizen

De berekening van deze buizen kan op dezelfde wijze worden uitgevoerd als de berekening van plaatstalen kernbuizen met dien verstande dat het oppervlak van de plaatstalen kern gelijk nul is.

Literatuurlijst

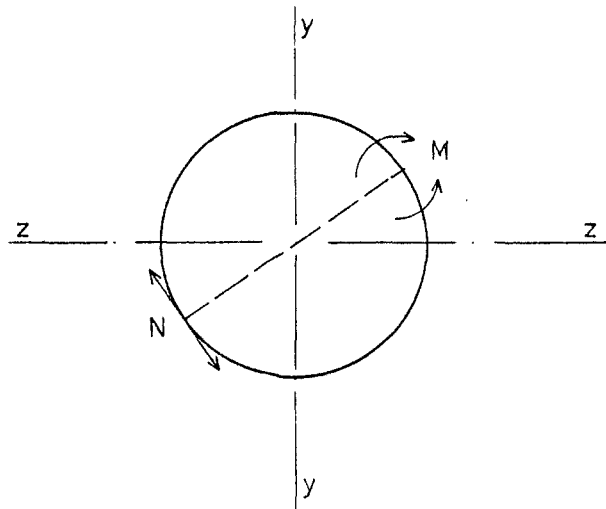
A. Guerrin/G. Daniel - Le calcul des tuyaux en béton armé et non armé.

Pijpleidingcode 1972, Provinciale Waterstaat in Zuid-Holland.
Leidraden voor beheer van gas + vloeistofleidingen, TAW.

NEN 3861 - Voorschriften beton VB 1974, deel A.

NEN 3866 - Voorschriften beton VB 1974, deel F.

I-1. Bepaling van het gebruikspunt voor ronde betonbuizen



Moment: M is positief indien de vezels aan de binnenzijde van de buis gerekt en die aan de buitenzijde van de buis gedrukt worden.

Normaalkracht: N is positief, indien de vezels van de buiswand in tangentiële richting op trek belast worden.

Bepaling van momenten en normaalkrachten t.g.v. de bovenbelasting, het eigen gewicht en de vulling met behulp van b.v. "Le calcul des tuyaux".

Hierin zijn de benodigde coëfficiënten voor de momenten in tabelvorm gegeven (bijlage IIa en IIb) terwijl voor de normaalkrachten formules worden gegeven.

Voor de normaalkracht t.p.v. de onderkant buis luiden deze formules als volgt:

t.g.v. het eigen gewicht: $N = q \cdot R \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3} \sin^2 \gamma \right)$ (drukkraft).

t.g.v. de vulling: $N = \frac{\delta R^2}{2} (5/2 + 1/3 \sin^2 \gamma)$ (trekkracht).

t.g.v. de bovenbelasting: $N = \frac{Q}{2\pi} \{ 1/3 (\sin^2 \omega - \sin^2 \gamma) \}$
(indien $\omega > \gamma$ drukkracht)

waarin: γ = halve opleghoek

ω = halve belastingshoek

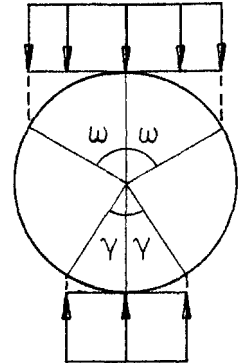
q = gewicht per m^2 buiswand (N/m^2)

Q = bovenbelasting per m' buis (N/m')

R = gemiddelde straal buis (m)

δ = volume-gewicht van de buisinhoud (N/m^3)

N = normaalkracht per m' buis (N/m')



Indien de invloed van eigen gewicht en vulling niet apart in rekening wordt gebracht kan gebruik worden gemaakt van de coëfficiënten volgens Spangler (zie pijpleiding code).

Bepaling van de normaalkracht per strekkende meter buiswand t.g.v. de inwendige druk met de formule

$$N_p = \frac{0,1.p.D_i.L}{2} = 50.p.D_i$$

waar p = inwendige druk (bar)

D_i = inwendige diameter buis (mm)

t = wanddikte (mm)

L = lengte beschouwde buisdeel (mm) = 1000 mm

N_p = normaalkracht per m' buis (N/m').

De totale momenten en normaalkrachten worden verkregen door sommatie van de aldus berekende waarden.

Titre: Le calcul des tuyaux en béton armé et non armé, par A. Guerrin et G. Daniel.

Cas de charge	Poids propre	Réactions radiales (cas de plain)	Réactions radiales (cas de plain) la génératrice supérieure	Réactions radiales sur un arc de 90°
Sans surcharge	$M_c = 0,201 qR^2$ $M_r = -0,141 qR^2$ $M_s = 0,150 qR^2$	$M_c = 0,250 \delta R^3$ $M_r = -0,171 \delta R^3$ $M_s = 0,150 \delta R^3$	$M_c = 0,315 QR$ $M_r = -0,182 QR$ $M_s = 0,313 QR$	$M_c = 0,257 pR^2$ ou $0,175 \gamma R^3$ $M_r = -0,223 pR^2$ ou $-0,160 \gamma R^3$ $M_s = 0,431 pR^2$ ou $0,324 \gamma R^3$
2 longrines à 45° de la base Réactions verticales 6	$M_c = 0,475 qR^2$ $M_r = -0,300 qR^2$ $M_s = 0,375 qR^2$	$M_c = 0,253 \delta R^3$ $M_r = -0,300 \delta R^3$ $M_s = 0,438 \delta R^3$		
2 longrines à 90° de la base Réactions verticales 1			$M_c = 0,311 QR$ $M_r = -0,179 QR$ $M_s = 0,312 QR$	$M_c = 0,141 pR^2$ ou $0,175 \gamma R^3$ $M_r = -0,223 pR^2$ ou $-0,160 \gamma R^3$ $M_s = 0,210 pR^2$ ou $0,159 \gamma R^3$
2 longrines à 45° de la base Réactions radiales 2	$M_c = 0,401 qR^2$ $M_r = -0,269 qR^2$ $M_s = 0,311 qR^2$	$M_c = 0,221 \delta R^3$ $M_r = -0,273 \delta R^3$ $M_s = 0,311 \delta R^3$		
2 longrines à 90° de la base Réactions radiales 7	$M_c = 0,410 qR^2$ $M_r = -0,268 qR^2$ $M_s = 0,316 qR^2$	$M_c = 0,225 \delta R^3$ $M_r = -0,269 \delta R^3$ $M_s = 0,316 \delta R^3$		
Appui 90° Réactions radiales 4	$M_c = -0,450 qR^2$ $M_r = 0,525 qR^2$	$M_c = -0,231 \delta R^3$ $M_s = 0,263 \delta R^3$		
Appui 90° 16 Réactions radiales	$M_c = 0,410 qR^2$ $M_r = -0,470 qR^2$ $M_s = 0,573 qR^2$	$M_c = 0,221 \delta R^3$ $M_r = -0,273 \delta R^3$ $M_s = 0,297 \delta R^3$		
Appui 120° Réactions verticales 1	$M_c = 0,381 qR^2$ $M_r = -0,259 qR^2$ $M_s = 0,419 qR^2$	$M_c = 0,191 \delta R^3$ $M_r = -0,223 \delta R^3$ $M_s = 0,200 \delta R^3$	$M_c = 0,310 QR$ $M_r = -0,182 QR$ $M_s = 0,313 QR$	$M_c = 0,227 pR^2$ ou $0,160 \gamma R^3$ $M_r = -0,223 pR^2$ ou $-0,160 \gamma R^3$ $M_s = 0,211 pR^2$ ou $0,159 \gamma R^3$
Appui 180° Réactions verticales 1	$M_c = 0,345 qR^2$ $M_r = -0,193 qR^2$ $M_s = 0,441 qR^2$	$M_c = 0,173 \delta R^3$ $M_r = -0,200 \delta R^3$ $M_s = 0,220 \delta R^3$	$M_c = 0,293 QR$ $M_r = -0,160 QR$ $M_s = 0,193 QR$	$M_c = 0,221 pR^2$ ou $0,160 \gamma R^3$ $M_r = -0,193 pR^2$ ou $-0,140 \gamma R^3$ $M_s = 0,137 pR^2$ ou $0,100 \gamma R^3$
Appui continu	$M_c = 0,274 qR^2$ $M_r = -0,200 qR^2$ $M_s = 0,311 qR^2$	$M_c = 0,185 \delta R^3$ $M_r = -0,200 \delta R^3$ $M_s = 0,185 \delta R^3$	$M_c = 0,213 QR$ $M_r = -0,171 QR$ $M_s = 0,213 QR$	$M_c = 0,113 pR^2$ ou $0,100 \gamma R^3$ $M_r = -0,171 pR^2$ ou $-0,100 \gamma R^3$ $M_s = 0,151 pR^2$ ou $0,100 \gamma R^3$
Appui d'encastrement	$M_c = 0,243 qR^2$ $M_r = 0,011 qR^2$ $M_s = 0,109 qR^2$	$M_c = 0,202 \delta R^3$ $M_r = -0,023 \delta R^3$ $M_s = 0,055 \delta R^3$	$M_c = 0,152 QR$ $M_r = -0,058 QR$ $M_s = 0,109 QR$	$M_c = 0,051 pR^2$ ou $0,100 \gamma R^3$ $M_r = 0,057 pR^2$ ou $-0,011 \gamma R^3$ $M_s = 0,112 pR^2$ ou $0,055 \gamma R^3$
2 longrines à 45° de la base Réactions verticales	$M_c = 0,263 qR^2$ $M_r = -0,309 qR^2$ $M_s = 0,309 qR^2$	$M_c = 0,132 \delta R^3$ $M_r = -0,154 \delta R^3$ $M_s = 0,154 \delta R^3$		
2 longrines à 45° de la base Réactions radiales	$M_c = 0,179 qR^2$ $M_r = -0,157 qR^2$ $M_s = 0,441 qR^2$	$M_c = 0,065 \delta R^3$ $M_r = -0,073 \delta R^3$ $M_s = 0,329 \delta R^3$		
2 longrines à 45° de la base Réactions 8	$M_c = 0,120 qR^2$ $M_r = -0,233 qR^2$ $M_s = 0,463 qR^2$	$M_c = 0,059 \delta R^3$ $M_r = -0,117 \delta R^3$ $M_s = 0,242 \delta R^3$		
2 longrines aux extrémités du diamètre horizontal	$M_c = 0,071 qR^2$ $M_r = -0,033 qR^2$ $M_s = 0$	$M_c = 0,036 \delta R^3$ $M_r = -0,045 \delta R^3$ $M_s = 0$	$M_c = 0,250 QR$ $M_r = -0,115 QR$ $M_s = -0,091 QR$	$M_c = 0,161 pR^2$ ou $0,114 \gamma R^3$ $M_r = -0,133 pR^2$ ou $-0,094 \gamma R^3$ $M_s = -0,109 pR^2$ ou $-0,077 \gamma R^3$
Résultante verticale 13	$2 \pi R q$	$\pi R^2 \delta$	Q	$p R \sqrt{2}$ ou Q

Précisons les notations utilisées :

- M_c moment d'ovalisation à la clé;
- M_r moment au rein (les formules indiquées correspondent en général aux sections sur le diamètre horizontal; par conséquent elles ne donnent pas exactement le moment minimum);
- M_b moment à la base;
- M_e moment à l'encastrement;
- M_i moment au point d'impact d'une longrine;
- q poids de l'unité d'aire de paroi;
- p surcharge par unité d'aire horizontale;
- Q surcharge totale par mètre linéaire de conduite;
- R rayon moyen du tuyau;
- δ poids de l'unité de volume du liquide contenu;
- γ poids de l'unité de volume de terre;
- h_0 hauteur de terre au-dessus de la clé;
- P somme algébrique de toutes les composantes verticales (poids propre, liquide contenu, terre, surcharge, poussée hydrostatique s'il y a lieu) par mètre linéaire de tuyau;
- ρ angle du talus d'éboulement des terres;
- λ rapport $\frac{l}{c}$ de la distance des appuis (cas des appuis espacés) d'axe en axe à la longueur d'un appui.

Signification des indices du tableau :

- (1) Répartition horizontale uniforme.
- (2) Hypothèse imposée quelquefois par les Services Techniques de la Ville de Paris.
- (3) Réactions suivant la deuxième hypothèse de M. LAZARD (21): réaction radiale décroissant de la génératrice inférieure jusqu'aux bords de la base, proportionnelle à $ds \cos \alpha$, soit $kR \cos \alpha dz$.
- (4) Hypothèse considérée comme la plus proche de la réalité par le professeur Campus de Belgique.
- (5) Utile à connaître dans le cas d'appuis espacés.
- (6) Hypothèse considérée comme la meilleure pour l'action du remblai, dans le cas de pose en tranchée étroite, par M. LAZARD (21) d'après des expériences américaines.
- (7) Hypothèse considérée comme la meilleure pour l'action du remblai dans le cas de pose en tranchée large, par M. LAZARD (7) d'après des expériences américaines.
- (8) M. G. WUNSTRA, ingénieur hollandais, prend dans le cas des longrines la moyenne arithmétique des moments obtenus avec réactions verticales et avec réactions radiales.
- (9) Ces moments, indépendants du type d'appui, s'ajoutent algébriquement aux moments dus aux charges dans le cas d'appui continu sur génératrice.
- (10) Ces moments s'ajoutent algébriquement aux moments dus aux charges dans le cas d'appui continu du même type.

Titre: Le calcul des tuyaux en béton armé et non armé,
par A. Guerrin et G. Daniel.

Conditions de charge	Surcharge horizontale sur un arc de 60° 1	Surcharge verticale sur un arc de 180° 1	Action de la terre suivant la méthode au D ^r Stoltzenburg Talus P = 30° (terrain mou)
Sur la génératrice inférieure		$M_c = 0,289 p R^2$ ou $0,150 QR$ $M_r = -0,317 p R^2$ ou $-0,156 QR$ $M_s = 0,587 p R^2$ ou $0,294 QR$	$M_c = \gamma R^2 (0,153 h_0 - 0,052 R)$ $M_r = -\gamma R^2 (0,163 h_0 - 0,044 R)$ $M_s = \gamma R^2 (0,408 h_0 - 0,019 R)$
Arc de 45° Réactions verticales 1	$M_c = 0,317 p R^2$ $M_r = -0,314 p R^2$ $M_s = 0,431 p R^2$		
Arc de 60° Réactions verticales 1		$M_c = 0,225 p R^2$ ou $0,143 QR$ $M_r = -0,238 p R^2$ ou $-0,149 QR$ $M_s = 0,375 p R^2$ ou $0,196 QR$	$M_c = \gamma R^2 (0,142 h_0 - 0,053 R)$ $M_r = -\gamma R^2 (0,156 h_0 - 0,047 R)$ $M_s = \gamma R^2 (0,240 h_0 - 0,033 R)$
Arc de 75° Réactions verticales 1		$M_c = 0,274 p R^2$ ou $0,137 QR$ $M_r = -0,281 p R^2$ ou $-0,141 QR$ $M_s = 0,315 p R^2$ ou $0,158 QR$	
Arc de 90° Réactions radiales verticales 4		$M_r = -0,271 p R^2$ $M_s = 0,277 p R^2$	
Arc de 105° Réactions radiales verticales 16		$M_c = 0,270 p R^2$ $M_r = -0,275 p R^2$ $M_s = 0,294 p R^2$	
Arc de 120° Réactions radiales verticales 1		$M_c = 0,262 p R^2$ ou $0,131 QR$ $M_r = -0,275 p R^2$ ou $-0,133 QR$ $M_s = 0,275 p R^2$ ou $0,135 QR$	$M_c = \gamma R^2 (0,123 h_0 - 0,055 R)$ $M_r = -\gamma R^2 (0,133 h_0 - 0,049 R)$ $M_s = \gamma R^2 (0,150 h_0 - 0,041 R)$
Arc de 150° Réactions radiales verticales 1		$M_c = 0,250 p R^2$ ou $0,125 QR$ $M_r = -0,250 p R^2$ ou $-0,125 QR$ $M_s = 0,250 p R^2$ ou $0,125 QR$	$M_c = \gamma R^2 (0,114 h_0 - 0,054 R)$ $M_r = -\gamma R^2 (0,125 h_0 - 0,072 R)$ $M_s = \gamma R^2 (0,128 h_0 - 0,021 R)$
Arc de 90° Encastrement		$M_c = 0,154 p R^2$ $M_r = -0,137 p R^2$ $M_s = 0,304 p R^2$	
Encastrement		$M_c = 0,113 p R^2$ ou $0,057 QR$ $M_r = -0,118 p R^2$ ou $-0,058 QR$ $M_s = 0,230 p R^2$ ou $0,115 QR$	$M_c = \gamma R^2 (0,057 h_0 - 0,038 R)$ $M_r = -\gamma R^2 (0,052 h_0 - 0,066 R)$ $M_s = \gamma R^2 (0,070 h_0 - 0,025 R)$
Encastrement		$M_c = 0,247 p R^2$ ou $0,024 QR$ $M_r = -0,251 p R^2$ ou $-0,023 QR$ $M_s = 0,167 p R^2$ ou $0,054 QR$	$M_c = \gamma R^2 (0,014 h_0 - 0,065 R)$ $M_r = -\gamma R^2 (0,010 h_0 - 0,011 R)$ $M_s = \gamma R^2 (0,032 h_0 - 0,030 R)$
Appuis espacés sur la base réactions radiales		$M_c = 0,223 p R^2$ ou $0,112 QR$ $M_r = -0,225 p R^2$ ou $-0,113 QR$ $M_s = 0,135 p R^2$ ou $0,053 QR$ $M_i = 0,143 p R^2$	$M_c = \gamma R^2 (0,091 h_0 - 0,058 R)$ $M_r = -\gamma R^2 (0,104 h_0 - 0,053 R)$ $M_s = \gamma R^2 (0,035 h_0 - 0,051 R)$
Appuis espacés sur la base réactions radiales		$M_c = 0,181 p R^2$ $M_r = -0,175 p R^2$ $M_i = 0,220 p R^2$ $M_s = 0,032 p R^2$	
Appuis espacés sur la base réactions radiales		$M_r = 0,212 p R^2$ $M_i = -0,200 p R^2$ $M_s = 0,163 p R^2$ $M_s = 0,056 p R^2$	
Longrines à l'équateur sur appui continu		$M_c = 0,163 p R^2$ ou $0,082 QR$ $M_i = -0,149 p R^2$ ou $-0,075 QR$ $M_s = -0,125 p R^2$ ou $-0,063 QR$	
Longrines à l'équateur sur appui continu		$2 p R^2$ ou Q	$\gamma R (1,00 h_0 + 0,15 R)$

Précisons les notations utilisées :

M_c moment d'ovalisation à la clé;
 M_r moment au rein (les formules indiquées correspondent en général aux sections sur le diamètre horizontal; par conséquent elles ne donnent pas exactement le moment minimum);

M_i moment à la base;
 M_e moment à l'encastrement;
 M_s moment au point d'impact d'une longrine;

q poids de l'unité d'aire de paroi;

p surcharge par unité d'aire horizontale;

Q surcharge totale par mètre linéaire de conduite;

R rayon moyen du tuyau;

δ poids de l'unité de volume du liquide contenu;

γ poids de l'unité de volume de terre;

h_0 hauteur de terre au-dessus de la clé;

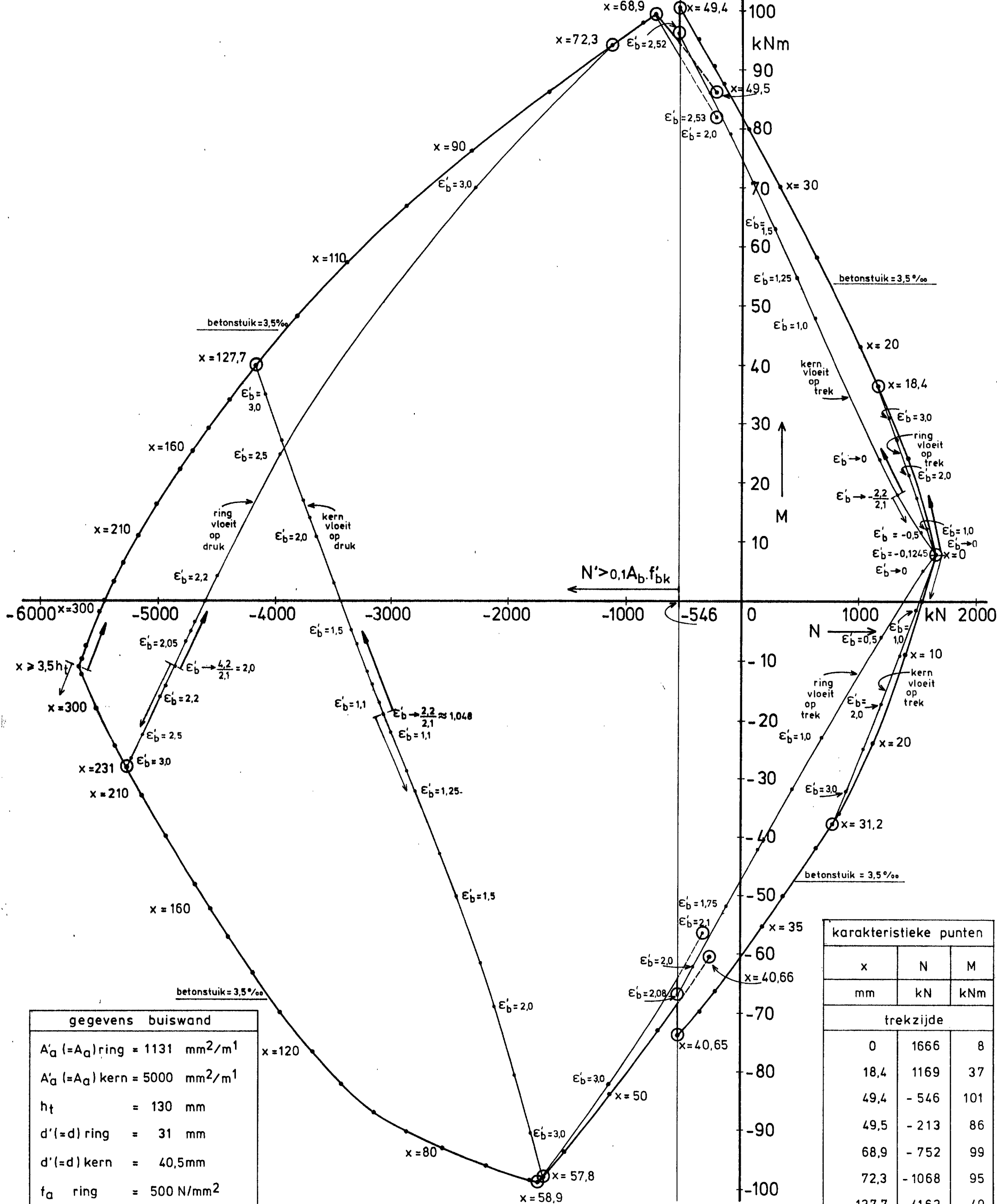
P somme algébrique de toutes les composantes verticales (poids propre, liquide contenu, terre, surcharge, poussée hydrostatique s'il y a lieu) par mètre linéaire de tuyau;

ρ angle du talus d'éboulement des terres;

λ rapport $\frac{l}{c}$ de la distance des appuis (cas des appuis espacés) d'axe en axe à la longueur d'un appui.

Signification des indices du tableau :

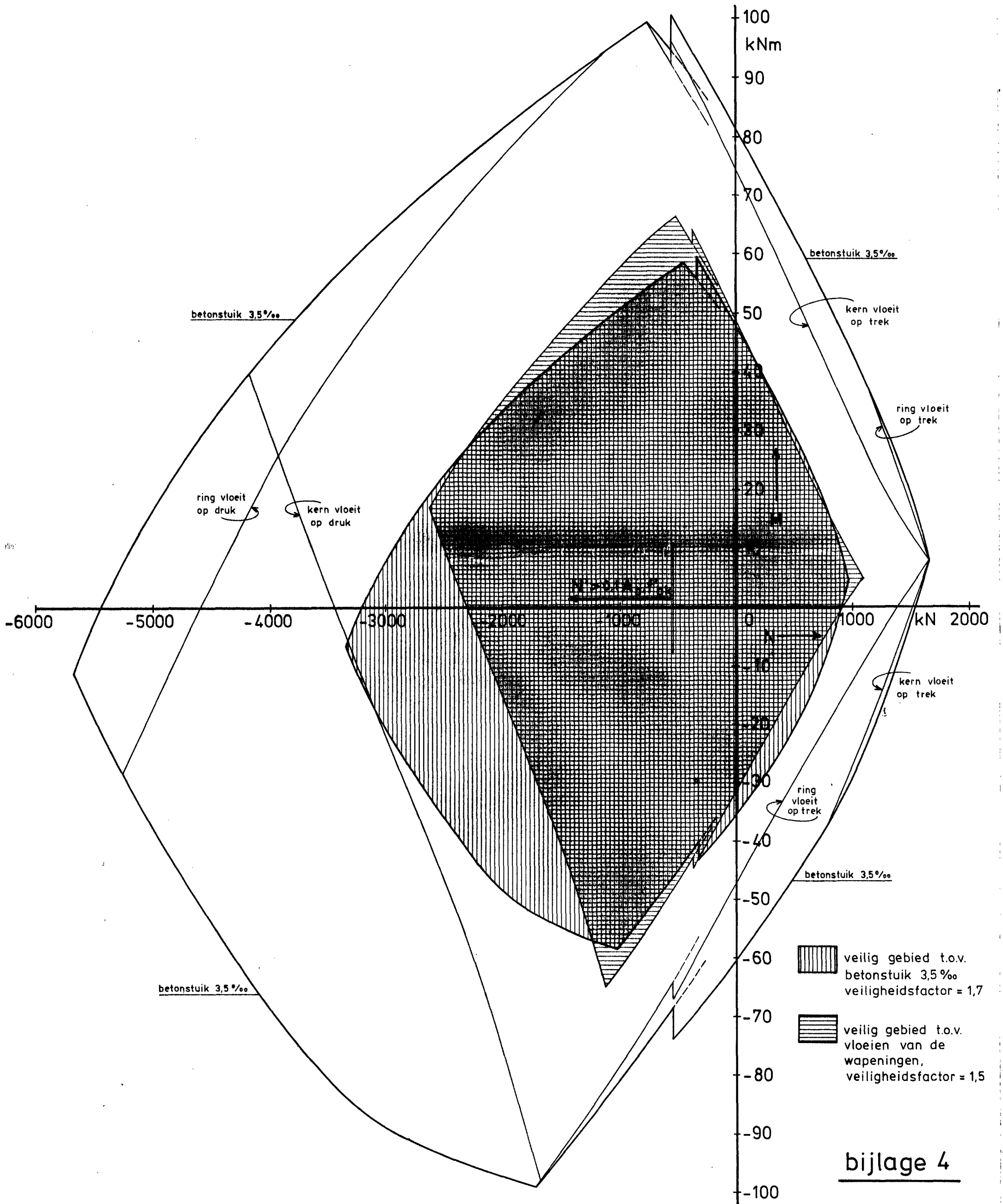
- (1) Répartition horizontale uniforme.
- (2) Hypothèse imposée quelquefois par les Services Techniques de la Ville de Paris.
- (3) Réactions suivant la deuxième hypothèse de M. LAZARD (21): réaction radiale décroissant de la génératrice inférieure jusqu'aux bords de la base, proportionnelle à $ds \cos \alpha$, soit $kR \cos \alpha dz$.
- (4) Hypothèse considérée comme la plus proche de la réalité par le professeur Campus de Belgique.
- (5) Utile à connaître dans le cas d'appuis espacés.
- (6) Hypothèse considérée comme la meilleure pour l'action du remblai, dans le cas de pose en tranchée étroite, par M. LAZARD (21) d'après des expériences américaines.
- (7) Hypothèse considérée comme la meilleure pour l'action du remblai dans le cas de pose en tranchée large, par M. LAZARD (7) d'après des expériences américaines.
- (8) M. G. WIJNSTRA, ingénieur hollandais, prend dans le cas des longrines la moyenne arithmétique des moments obtenus avec réactions verticales et avec réactions radiales.
- (9) Ces moments, indépendants du type d'appui, s'ajoutent algébriquement aux moments dus aux charges dans le cas d'appui continu sur génératrice.
- (10) Ces moments s'ajoutent algébriquement aux moments dus aux charges dans le cas d'appui continu du même type.



gegevens buiswand	
$A'_a (=A_a)$ ring	$= 1131 \text{ mm}^2/\text{m}^1$
$A'_a (=A_a)$ kern	$= 5000 \text{ mm}^2/\text{m}^1$
h_t	$= 130 \text{ mm}$
$d' (=d)$ ring	$= 31 \text{ mm}$
$d' (=d)$ kern	$= 40,5 \text{ mm}$
f_a ring	$= 500 \text{ N}/\text{mm}^2$
f'_a ring	$= 420 \text{ N}/\text{mm}^2$
f_a kern	$= 220 \text{ N}/\text{mm}^2$
f'_a kern	$= 220 \text{ N}/\text{mm}^2$
f'_b	$= 42 \text{ N}/\text{mm}^2$
E_a	$= 2,1 \cdot 10^5 \text{ N}/\text{mm}^2$

↑ berekening
 plaatstalen kern
 trekzijde
 ↓ berekening
 plaatstalen kern
 drukzijde

karakteristieke punten		
x	N	M
mm	kN	kNm
trekzijde		
0	1666	8
18,4	1169	37
49,4	- 546	101
49,5	- 213	86
68,9	- 752	99
72,3	- 1068	95
127,7	- 4162	40
$x \geq 3,5 h_t$	- 5671	- 11
drukszijde		
0	1666	8
31,2	824	- 38
40,65	- 546	- 75
40,66	- 277	- 61
57,8	- 1705	- 98
58,9	- 1728	- 99
231	- 5279	- 28



bijlage 4

Programma "voorspan breuk"

In het programma wordt uitgaande van een gegeven breukmoment (bepaald uit bovenbelasting, eigen gewicht en vulling en door vermenigvuldiging met een belastingsfactor) de daarbij behorende uiterst opneembare normaalkracht bepaald. Uit deze normaalkracht kan na deling door de belastingsfactor de toelaatbare druk voor breuk worden berekend. Vergelijking van $\bar{p}_{\text{scheurvorming}}$ met \bar{p}_{breuk} geeft aan welke druk maatgevend is (zie "voorspan scheurvorming").

1. Invoergegevens (zie voor betekenis van de grootheden SYMBOLEN)

grootheid	dimensie	geheugen	waarde
h_t	mm	R ₁	
$p^1)$	N	R ₂	
f'_b	N/mm ²	R ₃	
ϵ'_{prop}		R ₄	0,0025
constante		R ₅	1000
ϵ'_u		R ₆	0,0035

2. Uitvoer

Lees het programmakaartje in.

(*) Start het programma door het inslaan van een gekozen normaalkracht N en druk vervolgens op de A-toets. De uitvoer wordt N, N'_b , M'_b , N_b , M_b , $M'_b + M_b$.

Ga voor een nieuwe berekening terug naar (*) indien $M'_b + M_b$ niet gelijk het gegeven breukmoment.

Maak N kleiner (resp. groter) indien $M'_b + M_b$ te klein (resp. te groot) is.

3. Enige opmerkingen betreffende het programma

Indien $\epsilon_{kr} > 0,0025$ dan stopt het programma nadat N geprint is. Wanneer dit gebeurt dan terug naar (*), met kleinere waarde voor N.

1) De voorspankracht wordt negatief ingevoerd (drukkracht).

Indien wordt ingevoerd $N = 0$ berekent het programma de breukmomenten voor het geval van zuivere buiging, dus zonder uitwendige normaalkrachten en met een inwendige druk $p = 0$.

Indien wordt ingevoerd $N < 0$ berekent het programma de breukmomenten eveneens voor het geval van zuivere buiging, waarbij dan de voorspankracht wordt vergroot met de waarde van N . Anders gezegd: Indien u wenst dat de buis dit moment nog juist kan verdragen, bij een inwendige druk $p = 0$ en zonder uitwendige normaalkrachten, zult u de voorspankracht met deze waarde moeten verhogen.

De normaalkrachten en momenten worden in N , resp. N_m gegeven.

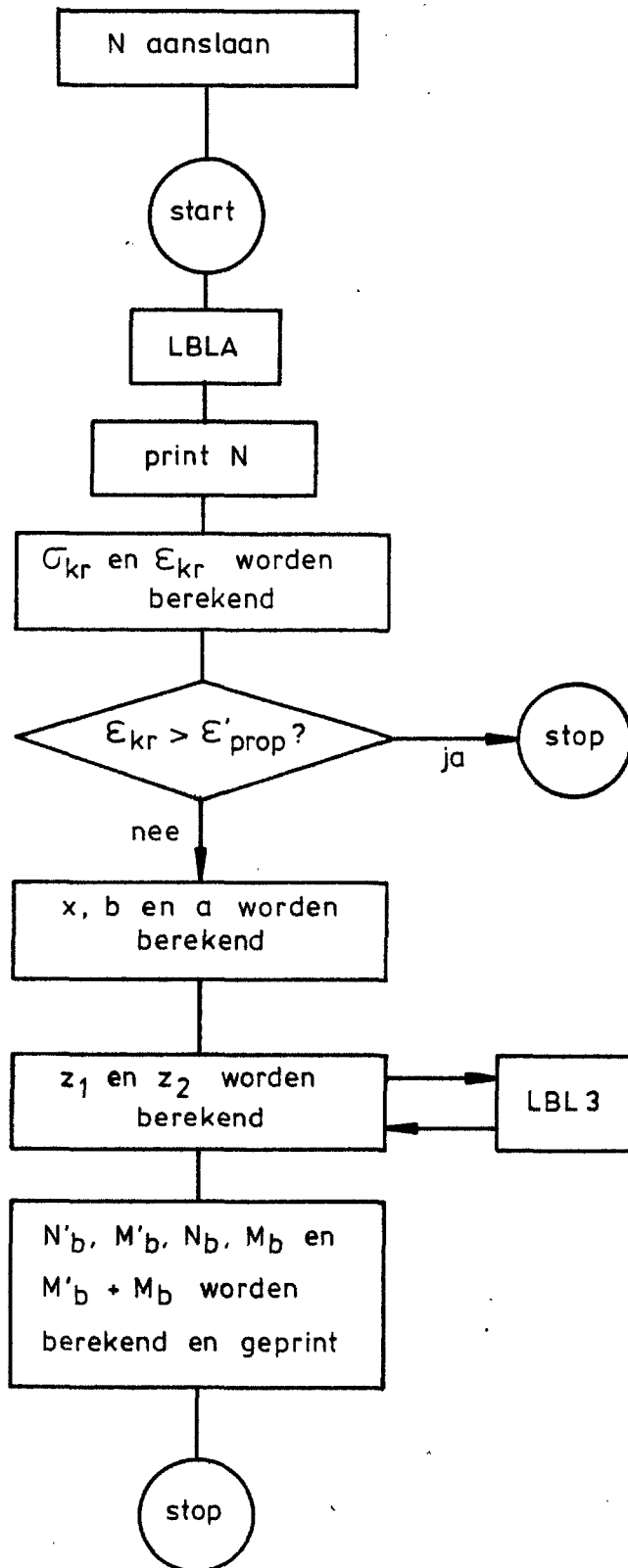
4. Het programma

001	*LBL0	056	STO0	110	*LBL3
002	PRTX	057	RCL1	113	RCL1
003	RCL2	058	RCL0	114	X ²
004	+	059	-	115	RCL1
005	RCL1	060	STO1	116	RCL0
006	÷	061	RCLA	117	X
007	RCL5	062	STOE	118	-
008	÷	063	0SE3	119	RCL0
009	AES	064	STO0	120	X ²
010	STO7	065	RCL0	121	3
011	RCL4	066	RCL0	122	÷
012	*	067	2	123	+
013	RCL3	068	÷	124	RCL1
014	÷	069	-	125	2
015	STO8	070	RCL7	126	*
016	RCL4	071	RCL3	127	RCL0
017	X ² Y	072	-	128	-
018	X ² Y ²	073	X	129	÷
019	R. 3	074	RCL5	130	RTN
020	RCL5	075	X	131	R/5
021	RCL0	076	PRTX		
022	-	077	RCL0		
023	STO9	078	RCL1		
024	RCL1	079	2		
025	RCL7	080	÷		
026	RCL9	081	-		
027	X	082	X		
028	X	083	RCL5		
029	RCL0	084	÷		
030	RCL4	085	PRTX		
031	2	086	STO1		
032	÷	087	RCL1		
033	-	088	RCL0		
034	÷	089	-		
035	RCL3	090	RCLA		
036	÷	091	2		
037	STO0	092	÷		
038	RCL4	093	-		
039	RCL0	094	RCL7		
040	-	095	X		
041	X	096	RCL5		
042	RCL9	097	X		
043	÷	098	PRTX		
044	STO6	099	RCL1		
045	RCL0	100	2		
046	RCL0	101	÷		
047	X	102	RCL0		
048	RCL9	103	-		
049	÷	104	X		
050	STO4	105	RCL5		
051	RCL0	106	÷		
052	STO1	107	PRTX		
053	RCL0	108	RCL1		
054	STOE	109	+		
055	0SE3	110	PRTX		
		111	RTN		



Registers

R ₀	x
R ₁	h_t
R ₂	P
R ₃	f'_b
R ₄	ϵ'_u prop
R ₅	1000
R ₆	ϵ'_u
R ₇	σ_{kr}
R ₈	ϵ_{kr}
R ₉	$\epsilon'_u - \epsilon_{kr}$

A	a	} zie fig. blz. 6
B	b	
C	z_1	
D	z_2	
E	b; a	
I	$x; h_t - x; M'_b$	



stroomschema "voorspan breuk"

 Centrum voor Onderzoek Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal -	Bijlage A.1.1.
				werknr S-79.040	

Programma "voorspan scheur"

In het programma wordt uitgaande van een gegeven gebruiksmoment (bepaald uit bovenbelasting, eigen gewicht en vulling) de daarbij behorende uiterst opneembare normaalkracht bepaald met als criterium scheurvorming. Uit deze gevonden normaalkracht kan de toelaatbare druk voor scheurvorming worden berekend. Vergelijking van \bar{p}_{breuk} met $\bar{p}_{\text{scheurvorming}}$ geeft aan welke druk maatgevend is. (zie "voorspan breuk").

1. Invoergegevens (zie voor de betekenis van de grootheden SYMBOLEN).

grootheid	dimensie	geheugen	waarde
h_t	mm	R ₁	
p ¹⁾	N	R ₂	
f'_b	N/mm ²	R ₃	
ϵ'_b prop		R ₄	0,0025
constante		R ₅	1000
Δ ²⁾		I	0,01
f_b	N/mm ²	R _{s9}	

2. Uitvoer

Lees het programmakaartje in.

(*) Start het programma d.m.v. het inslaan van de met het programma "voorspan breuk" berekende normaalkracht N en druk vervolgens op de A-toets. De uitvoer wordt N, ϵ'_b , $\epsilon'_b - \Delta$, $\epsilon'_b - 2\Delta$..., $\epsilon'_b + 9.0, 1.\Delta$, $\epsilon'_b + 8.0, 1.\Delta$..., ϵ'_b , x, N'_b, M'_b, N_b, M_b, M'_b + M_b.

ga voor een nieuwe berekening terug naar (*), indien $M'_b + M_b$ niet gelijk is aan een gegeven gebruiksmoment.

Maak Δ kleiner indien $M'_b + M_b$ te klein is. Indien $M'_b + M_b$ te groot is, is het criterium scheurvorming niet maatgevend.

- 1) De voorspankracht wordt negatief ingevoerd (drukkracht).
- 2) Δ is de stapgrootte voor de bepaling van een andere waarde van ϵ'_b .

3. Enige opmerkingen betreffende het programma

Indien $\varepsilon'_b = 2 \varepsilon_{kr}$ direct voldoet aan alle voorwaarden

tot en met $\frac{h_t - x - a}{x + a} \varepsilon'_b < \frac{0,5 f_b}{E_b}$ maar niet aan de conditie

$$0,05 \left\{ \frac{0,5 f_b}{E_b} \right\} \leq \left| \frac{0,5 f_b}{E_b} - \frac{h_t - x - a}{x + a} \cdot \varepsilon'_b \right|$$

dan komt het programma in een lus. De uitvoer wordt dan

ε'_b , $\varepsilon'_b + 9.0,1.\Delta$, $\varepsilon'_b + 9.0,01.\Delta$, $\varepsilon'_b + 9.0,001.\Delta$, etc.

Wanneer dit gebeurt dan programma onderbreken d.m.v.

het indrukken van de R/S-toets. Dit betekent dat

$\varepsilon_b < 0,95 \cdot \frac{0,5 f_b}{E_b}$ is en derhalve scheurvorming niet maatgevend is.

De normaalkrachten en momenten worden gegeven in N, resp.

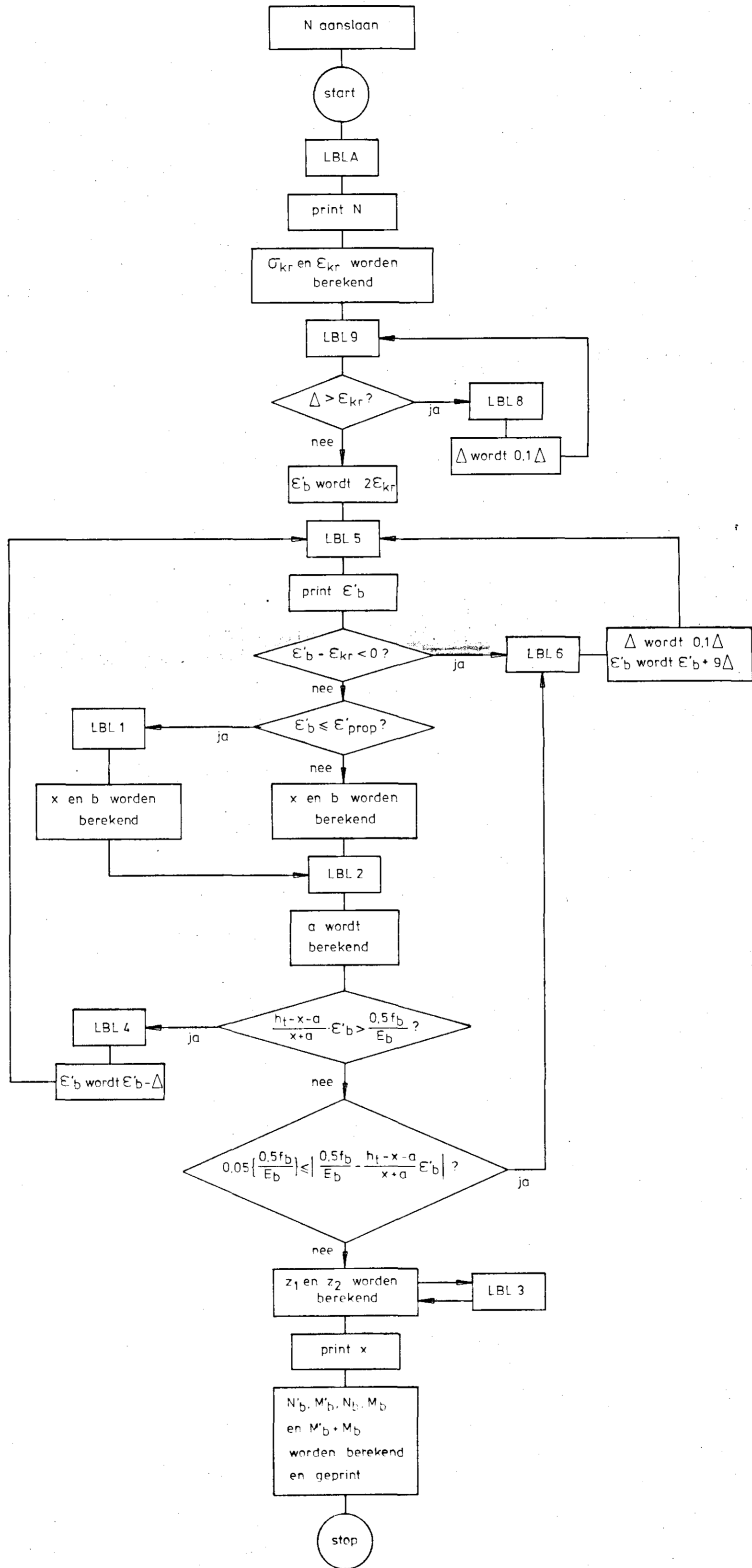
Nm.

4. Het programma

001	*LBLA	057	RCL0	113	RCL6	169	RCL9
002	PRTX	058	RCL6	114	2	170	÷
003	RCL2	059	x	115	÷	171	+
004	+	060	RCL5	116	-	172	÷
005	RCL1	061	÷	117	RCL7	173	STO8
006	÷	062	STOA	118	RCL3	174	STO8
007	RCL5	063	P#S	119	-	175	GT02
008	÷	064	RCL9	120	÷	176	*LBL3
009	ABS	065	P#S	121	RCL5	177	RCL1
010	STO7	066	.	122	x	178	X²
011	RCL4	067	5	123	PRTX	179	RCL1
012	x	068	x	124	RCL0	180	RCL6
013	RCL3	069	RCL4	125	RCL1	181	x
014	÷	070	x	126	2	182	-
015	STO8	071	RCL3	127	÷	183	RCL6
016	RCL1	072	÷	128	-	184	X²
017	*LBL9	073	RCL1	129	x	185	3
018	X>Y?	074	RCL0	130	RCL5	186	÷
019	GT08	075	RCLA	131	÷	187	+
020	RCL6	076	+	132	PRTX	188	RCL1
021	2	077	-	133	STO5	189	2
022	-	078	RCL6	134	RCL1	190	x
023	*LBL5	079	*	135	RCLA	191	RCL6
024	STO5	080	RCL0	136	2	192	-
025	PRTX	081	RCLA	137	÷	193	÷
026	RCL8	082	+	138	-	194	RTH
027	-	083	÷	139	RCL7	195	*LBL4
028	X<0?	084	X>Y?	140	÷	196	RCL6
029	STO6	085	GT04	141	RCL5	197	RCL1
030	STO5	086	X#Y	142	x	198	-
031	RCL4	087	STO5	143	PRTX	199	GT05
032	RCL6	088	-	144	RCL1	200	*LBL6
033	X#Y?	089	ABS	145	2	201	RCL1
034	GT01	090	RCL6	146	÷	202	.
035	RCL1	091	.	147	RCL0	203	1
036	RCL7	092	0	148	-	204	x
037	RCL5	093	5	149	x	205	STO1
038	x	094	x	150	RCL5	206	RCL6
039	x	095	X#Y?	151	÷	207	RCL1
040	RCL6	096	GT06	152	PRTX	208	9
041	RCL4	097	RCL0	153	RCL6	209	x
042	2	098	STO1	154	+	210	+
043	÷	099	RCL6	155	PRTX	211	SPC
044	-	100	STO5	156	.	212	GT05
045	÷	101	GSB3	157	0	213	*LBL8
046	RCL3	102	STOC	158	1	214	.
047	÷	103	RCL1	159	STO1	215	1
048	STO0	104	RCL0	160	RTH	216	x
049	RCL4	105	-	161	*LBL1	217	STO1
050	RCL6	106	STO1	162	RCL1	218	GT09
051	-	107	RCLA	163	2	219	RTH
052	x	108	STO5	164	x	220	R/S
053	RCL9	109	GSB3	165	RCL3		
054	÷	110	STOD	166	RCL7		
055	STO5	111	RCL0	167	÷		
056	*LBL2	112	PRTX	168	RCL6		

Registers (na programma uitvoer)

R ₀	x	
R ₁	h _t	
R ₂	P	
R ₃	f' _b	
R ₄	ε' _{prop}	
R ₅	1000	
R ₆	ε' _b	
R ₇	σ _{kr}	
R ₈	ε _{kr}	
R ₉	ε' _b - ε _{kr}	
R _{s9}	f _b	
A	a	} zie fig. blz. 6
B	b	
C	z ₁	
D	z ₂	
E	$\frac{0,5 f_b}{E_b}; b; a; M'_b$	
I	0,01; Δ; x; h _{t-x} ; 0,01	



Programma "plaatstalen kern 1" (zie hoofdstuk III-3.).

Dit programma is een hulpprogramma voor het programma "plaatstalen kern 2".

In dit programma wordt de hoogte van de drukzone (x) berekend voor de knikpunten in de lijnen die, bij verschillende belastingscombinaties, punten met een gelijke betonvervorming verbinden ($0 \text{ ‰} < \epsilon_b < 3,5 \text{ ‰}$). Deze knikpunten zijn het gevolg van vloeien op druk of trek van de onderscheiden wapeningen.

De berekende hoogten van de drukzone zijn ingeval de plaatstalen kern zich aan de trekzijde bevindt:

- x_1 : $x \leq x_1$ ring vloeit op trek;
 x_2 : $x \geq x_2$ ring vloeit op druk;
 x_3 : $x \leq x_3$ kern vloeit op trek;
 x_4 : $x \geq x_4$ kern vloeit op druk;

en in geval de plaatstalen kern zich aan de drukzijde bevindt:

- x_1 : $x \leq x_1$ kern vloeit op trek;
 x_2 : $x \geq x_2$ kern vloeit op druk;
 x_3 : $x \leq x_3$ ring vloeit op trek;
 x_4 : $x \geq x_4$ ring vloeit op druk.

Bij vloeien op druk is x ondermeer een functie van $\frac{1}{1 - \frac{f'_a}{\epsilon'_b E_a}} = \frac{1}{1 - \frac{f'_a}{\epsilon'_b}}$

In geval $\frac{f'_a}{\epsilon'_b E_a} = 1$ d.w.z. $\epsilon'_b = \epsilon'_a$ dan $x \rightarrow \infty$.

In geval $\frac{f'_a}{\epsilon'_b E_a} > 1$ d.w.z. $\epsilon'_b < \epsilon'_a$ dan x negatief.

In deze gevallen wordt voor x een fictieve constante aangenomen en wel 10^{10} (dit om rekentechnische redenen).

1. Invoergegevens (zie voor betekenis van de grootheden SYMBOLEN)

grootheid *)	dimensie	geheugen	waarde
d'	mm	R_5	
d	mm	R_6	
h_t	mm	R_7	
f'_a (max)	N/mm^2	A	420
f'_a	N/mm^2	D	
f_a	N/mm^2	E	
$\epsilon'_b \cdot E_a$ (variabel)	N/mm^2	C	$\epsilon'_b \cdot 2,1 \cdot 10^5$

2. Uitvoer

Lees het programmakaartje in.

Druk vervolgens op de A-toets. Dit geeft dan resp. x_1 , x_2 , x_3 en x_4 (in mm). Deze x worden in R_{s1} , R_{s2} , R_{s3} en R_{s4} opgeslagen.

*) Een accent betreft de wapening aan de drukzijde.

3. Het programma

001	*LBLA		
002	RCL5		
003	ST01	057	+
004	RCLD	058	÷
005	ST02	059	DSP4
006	GSB1	060	PRTX
007	P=S	061	RTN
008	ST01	062	*LBLB
009	P=S	063	1
010	RCLA	064	0
011	RCLD	065	10^
012	X>Y?	066	PRTX
013	X=Y	067	GT00
014	CHS	068	*LBLD
015	ST02	069	1
016	ABS	070	0
017	RCLC	071	10^
018	X≠Y?	072	PRTX
019	GT0E	073	GT0E
020	GSB1	074	RTN
021	*LBLC	075	R=S
022	P=S		
023	ST03		
024	P=S		
025	RCLT		
026	RCL6		
027	-		
028	ST01		
029	RCL5		
030	ST02		
031	GSB1		
032	P=S		
033	ST03		
034	P=S		
035	RCLA		
036	RCL2		
037	X>Y?		
038	X=Y		
039	CHS		
040	ST02		
041	ABS		
042	RCLC		
043	X≠Y?		
044	GT0D		
045	GSB1		
046	*LBLB		
047	P=S		
048	ST04		
049	P=S		
050	RTN		
051	*LBL1		
052	RCL1		
053	1		
054	RCL2		
055	RCLC		
056	÷		

Registers (na programma uitvoer)

R_1	d' ; $h_t - d$
R_2	f'_a ; f'_a of 420; f_a
R_5	d'
R_6	d
R_7	h_t
R_{s1}	x_1
R_{s2}	x_2
R_{s3}	x_3
R_{s4}	x_4
A	420
C	$\epsilon' b \cdot E_a$
D	f'_a
E	f_a

Programma "plaatstalen kern 2"

In dit programma worden normaalkrachten en breukmomenten berekend behorende bij een gegeven $\epsilon'_b > 0$ ‰ en een gegeven x . Voor het geval dat het gewenst is berekeningen uit te voeren voor $\epsilon'_b < 0$ ‰ wordt een handberekening gegeven. Zo kunnen b.v. ΣN en ΣM berekend worden in de volgens programma "plaatstalen kern 1" bepaalde knikpunten waarbij de in dit programma ingevoerde ϵ'_b en de daarbij uitgevoerde waarden voor x als invoer worden gebruikt. Een bijzonder geval hierbij is de berekening van ΣN en ΣM voor de knikpunten behorende bij een waarden van $\epsilon'_b = \epsilon'_u = 3,5$ ‰. Door deze punten getrokken lijnen geven globaal het gebied aan waarbinnen nog juist geen betonbreuk optreedt. Een fijnere begrenzing van dit gebied kan worden verkregen door bij dezelfde waarde voor ϵ'_b (= 3,5 ‰) een aantal tussenliggende, overigens willekeurige, waarden voor x in te voeren.

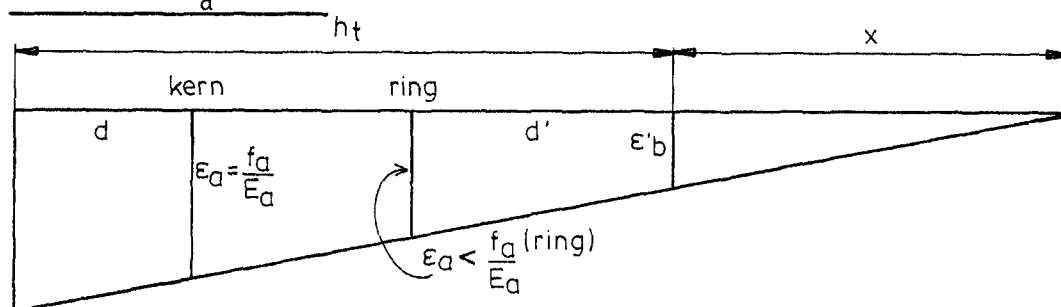
Door voor verscheidene waarden van $\epsilon'_b < \epsilon'_u$ de knikpunten te bepalen met het programma "plaatstalen kern 1" en voor deze punten ΣN en ΣM te bepalen met programma 2 kan het gebied worden afgebakend waarbinnen nog juist geen vloeien van de wapeningen optreedt.

Bij de berekening van ΣN en ΣM is rekening gehouden met de in III.1. gestelde eisen (f'_a maximaal 420 N/mm² en toepassing factor 0,75).

Handberekening voor $\epsilon'_b < 0^0/00$

Kern vloeit op trek (plaatstalen kern trekzijde)

$$0 < |\epsilon'_b| < \frac{f_a \text{ (kern)}}{E_a}$$



Om N_a (ring) te kunnen bepalen voor zekere ϵ'_b wordt eerst x bepaald uit het gegeven dat de kern vloeit. Met behulp van deze x wordt ϵ_a (ring) bepaald.

$$\frac{\epsilon'_b}{\epsilon_a \text{ (kern)}} = \frac{x}{x + h_t - d} \rightarrow x = \frac{d - h_t}{1 - \frac{\epsilon_a \text{ (kern)}}{\epsilon'_b}}$$

Substitutie van deze x in

$$\frac{\epsilon'_b}{\epsilon_a \text{ (ring)}} = \frac{x}{x + d'} \text{ geeft } \epsilon_a \text{ (ring)} = \epsilon'_b \cdot \frac{x + d'}{x}$$

$$N_a \text{ (ring)} = \epsilon_a \text{ (ring)} \cdot E_a \cdot A_a$$

$$N_a \text{ (kern)} = f_a \cdot A_a$$

Kern vloeit op trek (plaatstalen kern drukzijde)

$0 < |\epsilon'_b| \leq \epsilon$ met ϵ die ϵ'_b waarvoor geldt dat het de grootste

ϵ'_b is waarvoor de ring nog vloeit. Deze ϵ wordt als volgt bepaald.

Voor $\epsilon'_b = \epsilon$ geldt dus dat de kern vloeit en de ring nog net.

Dat betekent dat $\epsilon_a(\text{ring}) = \frac{f_a(\text{ring})}{E_a}$. Anderzijds geldt dat

$$\epsilon_a(\text{kern}) = \frac{f_a(\text{kern})}{E_a}.$$

Met behulp van deze gegevens wordt de x bepaald waarvoor dit geldt.

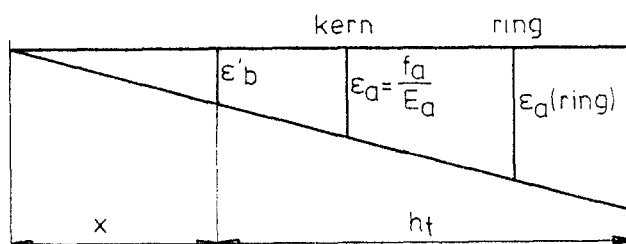
$$\frac{\epsilon_a(\text{kern})}{\epsilon_a(\text{ring})} = \frac{x + d'}{x + h_t - d} \longrightarrow x = \frac{d' \cdot \epsilon_a(\text{ring}) - (h_t - d) \epsilon_a(\text{kern})}{\epsilon_a(\text{kern}) - \epsilon_a(\text{ring})}$$

Verder geldt:

$$\frac{\epsilon'_b}{\epsilon_a(\text{kern})} = \frac{x}{x + d'}. \quad \text{Substitutie van de gevonden } x \text{ in deze}$$

formule geeft $\epsilon'_b = \epsilon$.

$$\epsilon'_b = \epsilon = \frac{x}{x + d'} \cdot \epsilon_a(\text{kern})$$

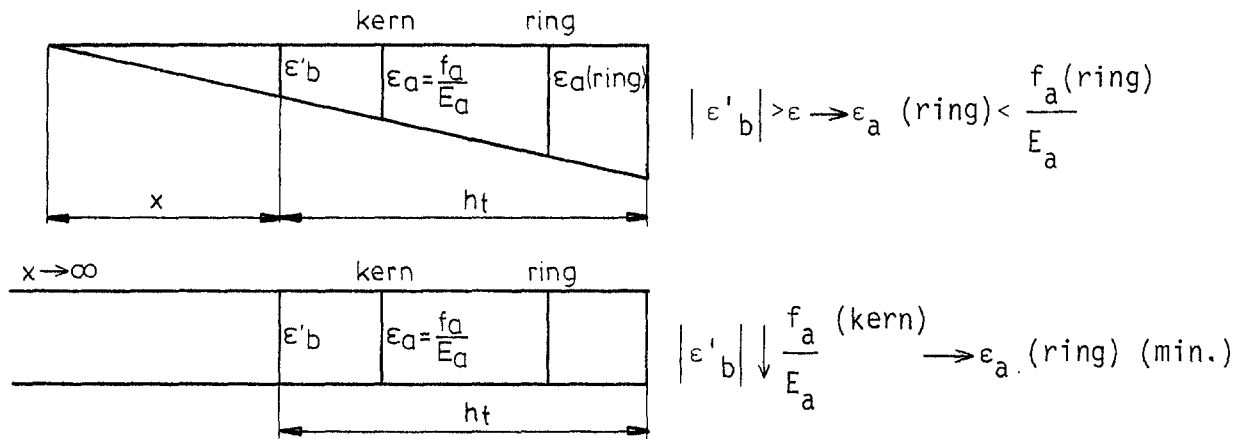


$$0 < |\epsilon'_b| \leq \epsilon \longrightarrow \epsilon_a(\text{ring}) \geq \frac{f_a(\text{ring})}{E_a}$$

$$N_a(\text{ring}) = f_a A_a$$

$$N_a(\text{kern}) = f_a A_a$$

$$\varepsilon < \left| \varepsilon'_b \right| < \frac{f_a \text{ (kern)}}{E_a}$$



Om N_a (ring) te kunnen bepalen voor zekere ε'_b wordt eerst x bepaald uit het gegeven dat de kern vloeit. Met behulp van deze x wordt dan ε_a (ring) bepaald.

$$\frac{\varepsilon'_b}{\varepsilon_a \text{ (kern)}} = \frac{x}{x+d} \rightarrow x = \frac{-d'}{1 - \frac{\varepsilon_a \text{ (kern)}}{\varepsilon'_b}}$$

Substitutie van deze x in

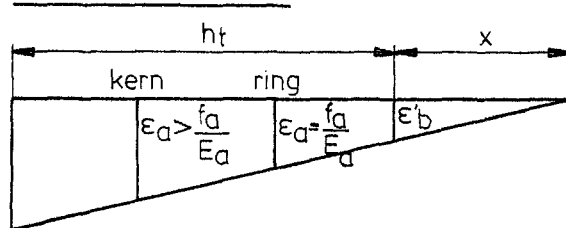
$$\frac{\varepsilon'_b}{\varepsilon_a \text{ (ring)}} = \frac{x}{x + h_t - d} \text{ geeft } \varepsilon_a \text{ (ring)} = \varepsilon'_b \cdot \frac{x + h_t - d}{x}$$

$$N_a \text{ (ring)} = \varepsilon_a \text{ (ring)} \cdot E_a \cdot A_a$$

$$N_a \text{ (kern)} = f_a \cdot A_a$$

Ring vloeit op trek (plaatstalen kern trekzijde)

$$0 < |\epsilon'_b| < \frac{f_a}{E_a} \text{ (ring)}$$



$$N_a \text{ (kern)} = f_a A_a$$

$$N_a \text{ (ring)} = f_a A_a$$

Ring vloeit op trek (plaatstalen kern drukzijde)

$0 < |\epsilon'_b| < \epsilon$ met ϵ die ϵ'_b waarvoor geldt dat de kern net

begint te vloeien. De ϵ wordt als volgt bepaald.

$$\text{Voor } \epsilon'_b = \epsilon \text{ geldt dat } \epsilon_a \text{ (kern)} = \frac{f_a}{E_a} \text{ en } \epsilon_a \text{ (ring)} = \frac{f_a}{E_a}$$

Met behulp van deze gegevens wordt de x bepaald waarvoor dit geldt.

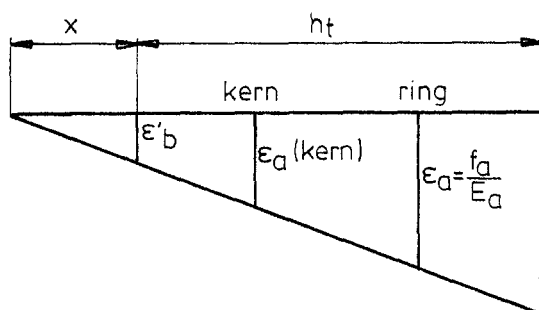
$$\frac{\epsilon_a \text{ (kern)}}{\epsilon_a \text{ (ring)}} = \frac{x + d'}{x + h_t - d} \rightarrow$$

$$x = \frac{d' \epsilon_a \text{ (ring)} - (h_t - d) \epsilon_a \text{ (kern)}}{\epsilon_a \text{ (kern)} - \epsilon_a \text{ (ring)}}$$

Verder geldt:

$$\frac{\epsilon'_b}{\epsilon_a \text{ (kern)}} = \frac{x}{x + d'}. \text{ Substitutie van de gevonden } x \text{ geeft dan}$$

$$\text{dat } \epsilon'_b = \epsilon = \frac{x}{x + d'} \cdot \epsilon_a \text{ (kern)}.$$



Om N_a (kern) te kunnen bepalen voor zekere ε'_b ($< \varepsilon$) wordt eerst x bepaald uit het gegeven dat de ring vloeit.

Met behulp van deze x wordt dan ε_a (kern) bepaald.

$$\frac{\varepsilon'_b}{\varepsilon_a(\text{ring})} = \frac{x}{x + h_t - d} \rightarrow x = \frac{d - h_t}{1 - \frac{\varepsilon_a(\text{ring})}{\varepsilon'_b}}$$

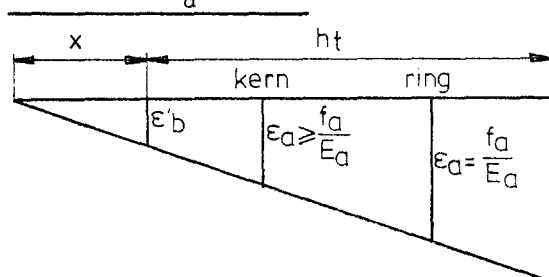
Substitutie van deze x in

$$\frac{\varepsilon'_b}{\varepsilon_a(\text{kern})} = \frac{x}{x + d'} \text{ geeft } \varepsilon_a(\text{kern}) = \frac{x + d'}{x} \cdot \varepsilon'_b$$

$$N_a(\text{kern}) = \varepsilon_a(\text{kern}) \cdot E_a \cdot A_a$$

$$N_a(\text{ring}) = f_a A_a.$$

$$\varepsilon < |\varepsilon'_b| < \frac{f_a(\text{ring})}{E_a} \quad (\text{identiek met } \varepsilon'_b = \varepsilon)$$



$$N_a(\text{kern}) = f_a A_a$$

$$N_a(\text{ring}) = f_a A_a$$

1. Invoergegevens (zie voor betekenis van de grootheden SYMBOLEN)

Er wordt onderscheid gemaakt tussen twee gebieden:

a. $2,5^0/00 < \epsilon'_b \leq 3,5^0/00$

b. $0^0/00 < \epsilon'_b \leq 2,5^0/00$.

grootheid ^{*)}	dimensie	geheugen	waarde
f'_b	N/mm^2	R_0	
$f(\epsilon'_b)$		R_3 (a)	$\frac{1+z^2+z}{3(1+z)}$ met $z = \frac{\epsilon'_b - 2,5}{\epsilon'_b}$ (ϵ'_b in $^0/00$)
constante		R_3 (b)	Voor $\epsilon'_b = \epsilon'_u$ is $R_3 = 0,3545$ $\frac{1}{3}$
$f(\epsilon'_b)$		R_4 (a)	$\frac{\epsilon'_b - 1,25}{\epsilon'_b} \cdot 1000$ (ϵ'_b in $^0/00$)
$f(\epsilon'_b)$		R_4 (b)	Voor $\epsilon'_b = \epsilon'_u$ is $R_4 = 642,9$ $\frac{\epsilon'_b}{5} \cdot 1000$ (ϵ'_b in $^0/00$)
d'	mm	R_5	
d	mm	R_6	
h_t	mm	R_7	
A'_a	mm^2/m'	R_8	
A_a	mm^2/m'	R_9	
x_1	mm	R_{s1}	} uit programma "plaatstalen kern 1".
x_2	mm	R_{s2}	
x_3	mm	R_{s3}	
x_4	mm	R_{s4}	
$0,1 \cdot h_t \cdot 1000 \cdot f'_b$	N	R_{s5}	
$f(\epsilon'_b)$		R_{s8}	$\frac{\epsilon'_b}{5} \cdot 1000$ (ϵ'_b in $^0/00$)
f'_a (max)	N/mm^2	A	420
constante		B	0,001
$\epsilon'_b \cdot E_a$	N/mm^2	C	$\epsilon'_b \cdot 2,1 \cdot 10^5$
f'_a	N/mm^2	D	
f_a	N/mm^2	E	

*) Een accent betreft de wapening aan de drukzijde.

2. Uitvoer

Lees het programmakaartje in.

Start het programma door het inslaan van een gekozen x en vervolgens de A-toets in te drukken.

Er zijn drie mogelijke uitvoeren waarbij dan nog gelet dient te worden aan welke zijde (druk- of trekzijde) de plaatstalen kern ligt in verband met de keuze van het teken van de momenten.

De uitvoer wordt dan

a: 9 stappen indien $\Sigma N > 0$.

b: 10 stappen indien $\Sigma N < 0$ en $|\Sigma N| \leq 0,1 \cdot h_t \cdot f'_b \cdot 1000$

c: 11 stappen in de overige gevallen.

grootheid	dimensie	a	b	c
x	mm	x	x	x
N'_a (of N_a) v. wapening aan drukzijde	N	x	x	x
N_a (of N'_a) v. wapening aan trekzijde	N	x	x	x
$ \Sigma N $	N		$x^1)$	x
N'_b	N	x	x	x
$0,75 N'_b$	N			x
ΣN	N	x	$x^1)$	x
M'_a (of M_a) v. wapening aan drukzijde	Nm	$x^2)$	$x^2)$	$x^2)$
M_a (of M'_a) v. wapening aan trekzijde	Nm	$x^2)$	$x^2)$	$x^2)$
M'_b	Nm	$x^2)$	$x^2)$	$x^2)$
ΣM	Nm	$x^2)$	$x^2)$	$x^2)$

1) gelijk maar tegengesteld.

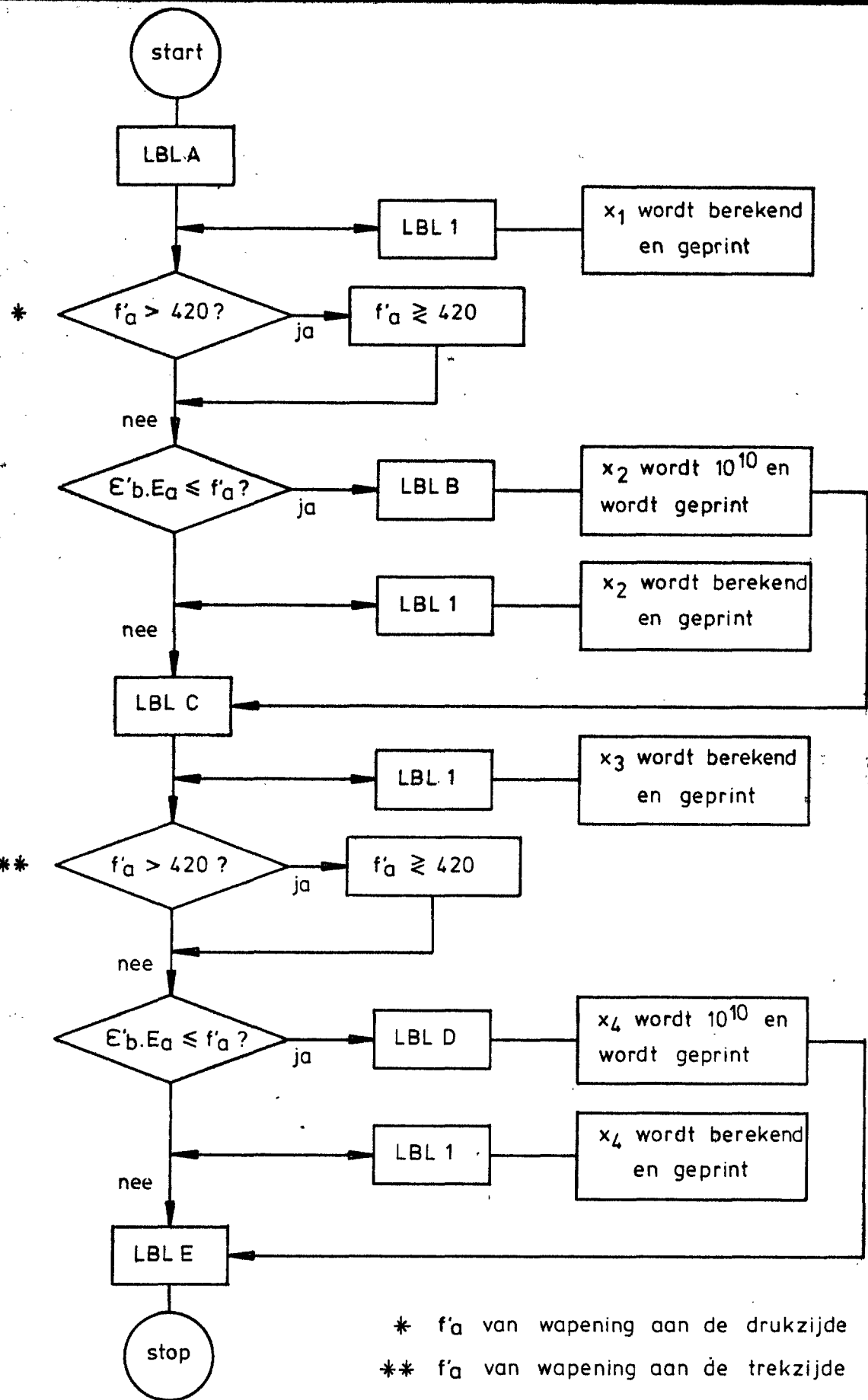
2) indien plaatstalen kern aan de trekzijde dan teken veranderen.

3. Het programma


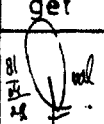
001	*LBLA			113	PRTX		169	RCLD
002	STOI	057	÷	114	RCL7		170	X>Y?
003	PRTX	058	P=9	115	2		171	X=Y
004	CF0	059	RCL8	116	÷		172	CHS
005	P=9	060	*	117	CHS		173	RCL8
006	RCL1	061	STO6	118	RCL6		174	*
007	X=Y	062	P=9	119	+		175	GT0B
008	X≠Y?	063	GSB5	120	RCL2		176	*LBL3
009	GT01	064	+	121	*		177	P=9
010	RCL2	065	P=9	122	RCLB		178	RCLC
011	P=9	066	STO7	123	*		179	RCL5
012	X≠Y?	067	P=9	124	STO2		180	*
013	GT02	068	*LBLD	125	PRTX		181	GT0C
014	RCL5	069	RCL0	126	RCL7		182	*LBL4
015	RCL1	070	*	127	RCL1		183	RCLA
016	-	071	P=9	128	X≠Y?		184	RCLC
017	RCL1	072	STO8	129	GT0A		185	X>Y?
018	÷	073	RCL5	130	X²		186	X=Y
019	RCLC	074	RCL0	131	RCL3		187	CHS
020	*	075	P=9	132	*		188	RCL9
021	RCL8	076	RCL1	133	RCL4		189	*
022	*	077	+	134	*		190	GT0C
023	*LBLB	078	RCL2	135	RCL7		191	*LBL5
024	STO1	079	-	136	2		192	RCL4
025	PRTX	080	P=9	137	*		193	RCL1
026	P=9	081	X>0?	138	RCL1		194	*
027	RCL3	082	GT0E	139	+		195	CHS
028	RCL1	083	ABS	140	3		196	F00
029	X≠Y?	084	PRTX	141	÷		197	RTN
030	GT03	085	X≠Y?	142	P=9		198	GT0D
031	RCL4	086	GT0E	143	RCL6		199	*LBL6
032	P=9	087	RCL0	144	*		200	RCL7
033	X≠Y?	088	PRTX	145	-		201	2
034	GT04	089	.	146	RCL7		202	÷
035	RCL7	090	7	147	P=9		203	RCL3
036	RCL1	091	5	148	÷		204	RCL1
037	-	092	*	149	RCL7		205	*
038	RCL6	093	STO0	150	2		206	-
039	-	094	*LBLC	151	÷		207	P=9
040	RCL1	095	RCL0	152	+		208	RCL0
041	÷	096	P=9	153	P=9		209	*
042	RCLC	097	PRTX	154	RCL0		210	RCLB
043	*	098	RCL1	155	*		211	*
044	RCL9	099	+	156	RCLF		212	STO0
045	*	100	RCL2	157	*		213	PRTX
046	*LBLC	101	+	158	STO0		214	*LBL6
047	STO2	102	PRTX	159	PRTX		215	RCL0
048	PRTX	103	RCL7	160	GT0B		216	P=9
049	RCL7	104	2	161	*LBL1		217	RCL1
050	RCL1	105	÷	162	P=9		218	+
051	X≠Y?	106	RCL5	163	RCLD		219	RCL2
052	GT05	107	-	164	RCL8		220	+
053	SF0	108	RCL1	165	*		221	PRTX
054	-	109	*	166	GT0B		222	R=9
055	X²	110	RCLB	167	*LBL2			
056	RCL1	111	*	168	RCLA			
057	.	112	P=9					

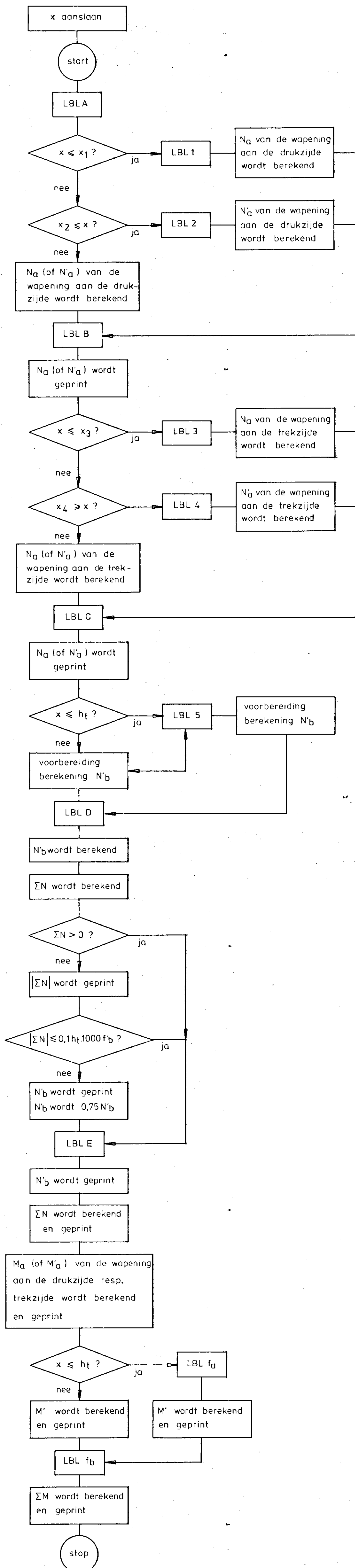
Registers

R ₀	f' _b
R ₁	N' _a (of N _a) v. wapening drukzijde ; M' _a (of M _a) v. wapening drukzijde.
R ₂	N _a (of N' _a) v. wapening trekzijde ; M _a (of M' _a) v. wapening trekzijde.
R ₃	zie invoergegevens.
R ₄	zie invoergegevens.
R ₅	d'
R ₆	d
R ₇	h _t
R ₈	A' _a
R ₉	A _a
R _{s0}	N' _b ; (0,75 N' _b) ; M' _b
R _{s1}	x ₁
R _{s2}	x ₂
R _{s3}	x ₃
R _{s4}	x ₄
R _{s5}	0,1.h _t .f' _b .1000
R _{s6}	$\frac{(h_t - x)^2}{x} \cdot \frac{\epsilon'_b}{5} \cdot 1000$
R _{s7}	(R _{s6} - R ₄ ·x)
R _{s8}	$\frac{\epsilon'_b}{5} \cdot 1000$
A	420
B	0,001
C	$\epsilon'_b \cdot 2,1 \cdot 10^5$
D	f' _a
E	f _a
I	x



stroomschema "plaatstalen kern 1"

 Centrum voor Onderzoek Waterkeringen	get	gew	gez	Schaal -	Bijlage A.3.1.
				werknr S-79.040	tek nr A4 - 81.024



stroomschema "plaatstalen kern 2"

bijlage A.3.2.

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

gem	get	gez

SCHAAL -

4Z

WERKNR. S-79.040
TEK. NR. 81 023

Door anderen gebruikte methoden voor de berekening van voorspanbuizen

Bepaald worden achtereenvolgens:

1. De karakteristieke proefdruk.
2. De proefdruk fabriek.
3. Het opneembare ovalisatiemoment.
4. De toelaatbare druk.

ad 1.

De karakteristieke proefdruk is de inwendige overdruk waarmee de aangebrachte voorspanning juist wordt opgeheven.

De karakteristieke proefdruk wordt bepaald voor een tijdstip enkele weken na vervaardiging van de buis (p_1) alsmede voor de uiteindelijke toestand (p_∞) en bedraagt respectievelijk

$$p_1 = \frac{2A_p \sigma_{p1}}{100 * D_i} \text{ en}$$

$$p_\infty = \frac{2A_p \sigma_{p\infty}}{100 * D_i}$$

ad 2.

De proefdruk fabriek wordt bepaald uit de karakteristieke proefdruk (p_1), rekening houdend met de invloed van het eigen gewicht en de vulling. Hiertoe wordt eerst het moment bepaald waardoor de buis ovaliseert:

$$M_{\text{eigen gew. + vulling}} = M_{e+v} = 0,641 qR^2 + 0,320 \delta R^3 \text{ (zie bijl. IIa).}$$

Met de aanname $\sigma_{\text{zuivere trek}} = 2/3 \sigma_{\text{buigtrek}}$ (hier twijfelachtig) wordt dit omgerekend tot een equivalente waterdruk.

$$P_{\text{equivalent}} = \frac{2 \cdot t \cdot 2/3 \sigma_{\text{buigtr.}}}{10 * D_i} = 2/3 \frac{2 \cdot t \cdot M_{e+v}}{10 * D_i \cdot W} = 2/3 \frac{2 \cdot t \cdot M_{e+v}}{10 * D_i \cdot 1/6 t^2}$$

$$= \frac{0,8 M_{e+v}}{D_i \cdot t}$$

De proefdruk fabriek is dan:

$$p_1 - p_{\text{equiv.}} = \frac{2 A_p \sigma_{p1}}{100 D_i} - \frac{0,8 M_{e+v}}{t \cdot D_i}$$

ad 3.

Het opneembare ovalisatiemoment wordt bij deze methode verkregen uit een lijn-lijn proefbelasting volgens de formule:

$$M_{\text{opn.}} = 1,5 qR^2 + 0,318 QR \text{ (zie bijl. IIa)}$$

waarin Q de lijnbelasting is, verkregen uit proeven verricht enkele weken na vervaardiging van de buis.

ad 4.

Voor het bepalen van de toelaatbare druk wordt het opneembare ovalisatiemoment verondersteld gelijkwaardig te zijn aan de proefdruk fabriek (beide geven het bezwijkpunt enkele weken na vervaardiging van de buis).

Dan is dus een willekeurig moment M (mits kleiner dan het breukmoment) te herleiden tot een equivalente druk met de volgende formule:

$$p_{\text{equivalent}} = \frac{M}{M_{\text{opn.}}} \left(\frac{2 A_p \sigma_{p1}}{100 D_i} - \frac{0,8 M_{e+v}}{t D_i} \right)$$

Bij gebrek aan gegevens betreffende $M_{\text{opn.}}$ wordt vaak voor het gehele moment direct gebruik gemaakt van de aanname $\sigma_{\text{zuivere trek}} = \frac{2}{3} \sigma_{\text{buigtrek}}$.

Dan wordt:

$$p_{\text{equivalent}} = \frac{0,8 M}{t D_i}$$

De totaal opneembare druk na enkele jaren is p_{∞} (zie ad 1.), voor het opnemen van het moment wordt hiervan gebruikt

$p_{\text{equivalent}}$, overblijft dus een opneembare druk:

$$p_{\text{opn.}} = p_{\infty} - p_{\text{equivalent}}$$

Hierbij wordt soms nog de druk opgeteld die kan worden opgenomen door de betontreksterkte.

Deze druk bedraagt:

$$p_{\text{trek}} = \frac{2f_b \left(A_b + \frac{E_p}{E_b} A_p \right)}{100 * D_i}$$

Voor de bepaling van de toelaatbare druk wordt de opneembare druk vermenigvuldigd met een veiligheidsfactor (2/3).

* De factor 10 voor de omrekening van N/mm^2 naar bar is hier verwerkt (eventueel tesamen met die voor omrekening van mm^2/m' naar mm^2/mm).