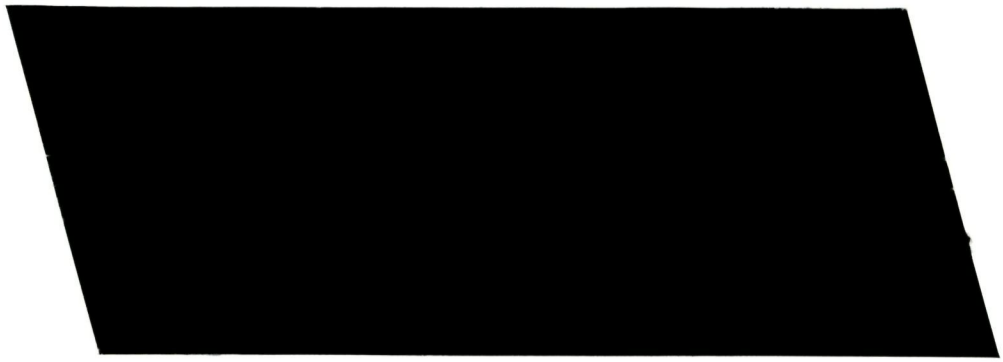
Grontmij



Duinwaterbedrijf Zuid-Holland

RWT Bergambacht - Wassenaar

Notitie inzake de scheurwijdteberekening voor beton-buizen met stalen kern in axiale- en tangentiële richting

De Bilt, januari 1994

Grontmij

ROUTING	NAAM	PARAAF + DATUM
Opgesteld	B.J.N. van Deijck	12/1/94
Gecontroleerd	J. Kuit	19/1/94
Geautoriseerd	D.J. de Bijl	18/1/94
Gedistribueerd (bewaking actie)	D.J. de Bijl	18/1/94

DISTRIBUTIE	ACTIE	AFRONDEN VOOR D.D.
R. van Groeningen (DZH)	Acc.:	

IDENTIFICATIE NR	STATUS
00-00011-4-1	definitief

Inhoudsopgave

1 Algemeen 1
1.1 Inleiding 1
1.2 Berekende buizen 1
1.3 Achtergronden berekening 1

2 Materiaalconstanten 2
2.1 Algemeen 2
2.2 Beton 2
2.3 Staal 3

3 M-N-K diagram in axiale richting 4
3.1 Algemeen 4
3.2 Punt M_{cr-1} 5
3.3 Punt M_{cr-2} 6
3.4 Punt M_{sy2} 7
3.5 Punt M_{sy1} 8
3.6 Punt M_u 8

4 M-N-K diagram in tangentiële richting 9
4.1 Algemeen 9
4.2 Punt M_{cr-1} 9
4.3 Punt M_{cr-2} 10
4.4 Overgangsgebied van $N = 0$ bij $M \neq 0$ naar $N \neq 0$ en $M \approx 0$ 11
4.5 Punt M_{sy2} 14
4.6 Punt M_{sy1} 14
4.7 Punt M_u 14

5 Scheurwijdteberekening 15
5.1 Gebruik van het M-N-K diagram in axiale richting 15
5.2 Gebruik van het M-N-K diagram in tangentiële richting 15
5.3 Berekening van de scheurwijdte 15
5.4 Staafdiameter 16
5.5 T - δ relatie 17

6 Resultaten scheurwijdteberekeningen 19
6.1 Inleiding 19
6.2 Tabellen voor de axiale richting 19
6.3 Tabellen voor de tangentiële richting 20

7 Geraadpleegde literatuur 21

Bijlagen
A Tabellen scheurwijdte buis Betonson
B Tabellen scheurwijdte buizen Socea type 7317 en 7509
C Tabellen scheurwijdte buis Socea type 7563

1 Algemeen

1.1 Inleiding

Bij de aanleg van de 2e Bergambachtleiding wordt gebruik gemaakt van betonbuizen met plaatstalen kern voor de kruising van de leiding met watergangen, dijken, wegen enz.. Bij deze buizen kan scheurvorming optreden in zowel axiale- als tangentiële richting. Voor dit buistype stelt de Pijpleidingcode als criterium een toelaatbare scheurwijdte van 0,2 mm aan de buitenzijde van de buis. Op verzoek van het Duinwaterbedrijf Zuid-Holland is door Grontmij een berekeningsmethode opgezet voor het bepalen van de scheurwijdte in een betonbuis met plaatstalen kern. De notitie heeft betrekking op de berekening van de scheurwijdte in zowel de axiale- als de tangentiële richting.

1.2 Berekende buizen

Bij de aanleg van de 2e Bergambachtleiding worden verschillende typen betonbuizen met stalen kern toegepast. Voor de volgende buizen zijn scheurwijdteberekeningen uitgevoerd:

- Arkel (S) buis van Betonson met een inwendige diameter van 1600 mm en een wanddikte van 160 mm volgens specificatie d.d. 06-06-1993;
- Socea buis, plan nummer 7317, met een inwendige diameter van 1590 mm, een wanddikte van 140 mm en een spiraal wapening ϕ12-56,5 (A_s=2000 mm^2);
- Socea buis, plan nummer 7509, met een inwendige diameter van 1590 mm, een wanddikte van 140 mm en een spiraal wapening ϕ12-37,7 (A_s=3000 mm^2);
- Socea buis, plan nummer 7563, met een inwendige diameter van 1800 mm, een wanddikte van 150 mm en een spiraal wapening ϕ12-37,7 (A_s=3000 mm^2).

1.3 Achtergronden berekening

Voor de berekening van de scheurwijdte wordt uitgegaan van het model van een ligger belast op buiging met trekband, zoals beschreven in het boek "Theorie en Praktijk van het gewapend Beton" van Prof. dr. ir. A.S.G Bruggeling [1].

De berekening verloopt als volgt:

- berekenen van de materiaalconstanten;
- berekenen van het M-N-Kappa diagram;
- berekenen van de rek in de uiterste staalvezel bij het optredende gebruiksmoment;
- berekenen van de karakteristieke scheurwijdte m.b.v. de berekende rek.

In de volgende hoofdstukken worden de bovengenoemde punten nader toegelicht.

2 Materiaalconstanten

2.1 Algemeen

De gehanteerde scheurwijdtetheorie gaat uit van de materiaalconstanten voor de korte duur. De tijdsafhankelijke effecten worden in rekening gebracht door een toeslag Δw.

In de paragrafen 2.2 en 2.3 worden de toegepaste materiaalconstanten van de betonbuizen met plaatstalen kern nader toegelicht.

2.2 Beton

In tabel 1 zijn de gebruikte formules gegeven voor het bepalen van de treksterkte, waarbij voor f_{cc} de B-waarde van het beton moet worden aangehouden.

TABEL 1 - TREKSTERKTE BETON.

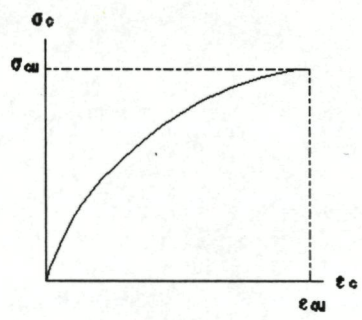
	korte duur
5 %	$f_{ct,o} = 0{,}87(1+0{,}05f_{cc})$
gem.	$f_{ctm,o} = 1{,}26(1+0{,}05f_{cc})$
95 %	$f_{ctk0.95,o} = 1{,}65(1+0{,}05f_{cc})$

Daar de belasting op de leiding nagenoeg 100 % langdurig is, wordt in dit geval (veiligheidshalve) gerekend met de langeduur waarde voor σ_{cr-2}. Gerekend wordt dus met $\sigma_{cr-2} = 0{,}60\ f_{ctm,o}$ (i.p.v. $\sigma_{cr-2} = 0{,}75\ f_{ctm,o}$) en $E_{c,o}$.

De elasticiteitsmodulus wordt bepaald volgens:

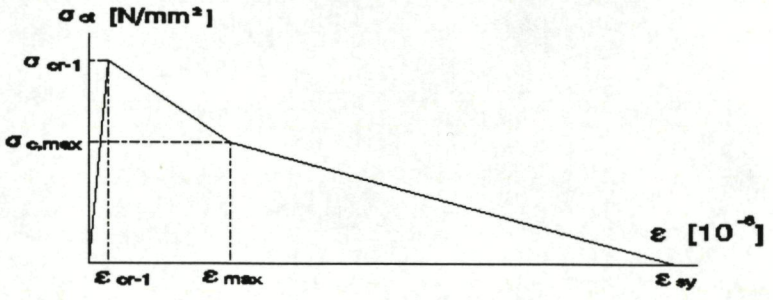
$$E_{c,o} = 10^4 \ln(0{,}7f_{cc})$$

Voor beton onder druk wordt het parabolisch verlopende σ_c-ε_c diagram gebruikt (zie figuur 1).



FIGUUR 1 - Het σ_c-ε_c diagram voor beton onder druk.

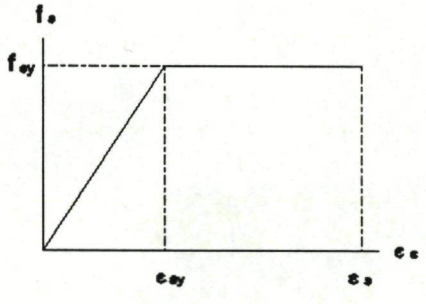
Voor het beton onder trek wordt gebruik gemaakt van het fictieve σ_c-ε_c diagram (zie figuur 2). Dit diagram kan worden bepaald volgens het "uitgesmeerde scheuren model".



FIGUUR 2 - Fictief σ_c - ε_c diagram voor beton onder trek.

2.3 Staal

De vloeigrens f_{sy} wordt opgegeven evenals de elasticiteitsmodulus E_s. Met deze waarden is het knikpunt van het bi-lineaire σ_{sy} - ε_{sy} diagram te bepalen (zie figuur 3).



FIGUUR 3 - Het σ_{sy} - ε_{sy} diagram voor het staal.

3 M-N-K diagram in axiale richting

3.1 Algemeen

Het M-N-K diagram wordt alleen gebruikt ten behoeve van de scheurwijdte berekening. De gehanteerde materiaalconstanten zijn dan ook overeenkomstig die van de scheurwijdte berekening (zie ook hoofdstuk 2).

De doorsnede van de buis is geschematiseerd als aangegeven in figuur 4 en onderverdeeld in stroken met een hoogte van 1 mm.

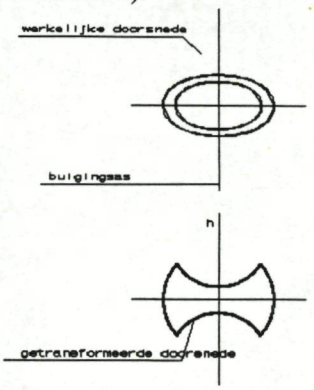


FIG 4 - Getransformeerde doorsnede.

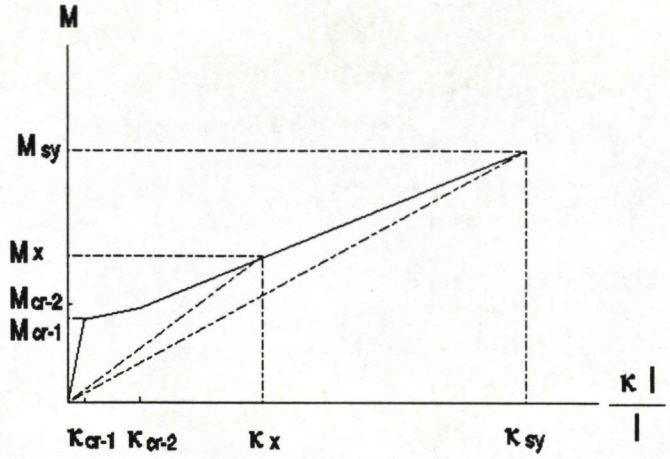
Bij een aangenomen kromming worden per strookje de rekken, spanningen en krachten bepaald. Uit de voorwaarde van horizontaal evenwicht kan de hoogte van de betondrukzone worden bepaald, waarna het bijbehorende moment kan worden berekend. De aldus gevonden punten van het diagram worden door rechte lijnen verbonden.

Het M-N-K diagram wordt gekenmerkt door een aantal karakteristieke punten:

M_{cr-1} - K_{cr-1},	moment waarbij de eerste scheur optreedt, het begin van het onvoltooide scheurpatroon;
M_{cr-2} - K_{cr-2},	moment waarbij de doorsnede volledig gescheurd wordt verondersteld (voltooid scheurpatroon);
M_{sy-2} - K_{sy-2},	moment waarbij de plaatstalen kern aan trekzijde begint te vloeien;
M_{sy-1} - K_{sy-1},	moment waarbij de plaatstalen kern aan drukzijde begint te vloeien;
M_u - K_u,	bezwijkmoment waarbij de maximale betonstuik ε'_b=0.0035 wordt bereikt.

Daar de buizen worden gedimensioneerd met als voorwaarde het niet vloeien van het staal van de kern, dus altijd $M_x < M_{sy2}$, heeft de aanname van lineair-elastisch betongedrag tot aan het punt M_{sy2} voor de bepaling van de κ in het gebruiksstadium geen invloed. Voor elk willekeurig moment kan nu de kromming worden berekend en daarmee de stijfheid (Kappa=M/EI_{cs}), de rek (ε) en spanning (σ) in het staal. In figuur 5 is een M-N-K diagram getekend tot aan het punt M_{sy2}.

De toelaatbare rekenwaarde voor het moment en het traagheidsmoment, berekend volgens de afleiding in het compendium "Geo-Tubo Mechanica" [2] komt goed overeen met de waarde, die met het M-N-K diagram voor M_{sy2} wordt berekend.



FIGUUR 5 - M-N-K diagram.

De geometrie van de buis wordt met de volgende parameters vastgelegd:
- uitwendige diameter (d_u);
- inwendige diameter (d_i);
- dikte van de stalen kern (t_k);
- dekking op de stalen kern aan de binnenzijde (c_{d2});
- diameter (ϕ) en de spoed van de spiraalwapening;
- dekking op de spiraalwapening (c_{d1}).

De verschillende punten van het M-N-K diagram worden in de volgende paragrafen nader toegelicht.

3.2 Punt M_{cr-1}

Dit is het punt waar de eerste scheur optreedt.

Het scheurmoment van de buis is:

$$M_{cr-1} = \sigma_{cr-1} I_{cs}/(d_u/2)$$

waarin:

σ_{cr-1}, de treksterkte waarbij de eerste scheur ontstaat.

De waarde σ_{cr-1} is te bepalen uit:

$\sigma_{cr-2} = 1{,}2\ \sigma_{cr-1}$;

$\sigma_{cr-2} = 0{,}60\ f_{ctm,o} \Rightarrow \sigma_{cr-1} = (0{,}60/1{,}2)\ f_{ctm,o} = 0.50\ f_{ctm,o}$.

Bij aanwezigheid van een normaalkracht (druk = - en trek = +) wordt de waarde van σ_{cr-1}:

$$\sigma_{cr-1} = \sigma_{cr-1} - \sigma_c$$

waarin:

$\sigma_c = N/A_{cs}$ de spanning in het beton t.g.v. de normaalkracht;
A_{cs} de oppervlakte van de buis.

Wanneer de trekspanning t.g.v. van de normaalkracht groter wordt dan σ_{cr-1} dan wordt σ_{cr-1} gelijk aan nul gesteld.

Met de gegevens van de buis is het traagheidsmoment van de ongescheurde doorsnede I_{cs} te berekenen en daarmee de kromming:

$$\kappa_{cr-1} = \frac{M_{cr-1}}{(E_c I_{cs})}$$

3.3 Punt M_{cr-2}

Dit is het punt, waarbij de laatste scheur optreedt. Vanaf dit moment is er sprake van een voltooid scheurenpatroon.

Voor het punt M_{cr-2} geldt $M_{cr-2} \approx 1{,}2\ M_{cr-1}$.

De bijbehorende rek kan worden berekend met:

$$\sigma_{s,cr} = \sigma_{cr-2}\ (1/\omega + n)$$

waarin:

$\sigma_{cr-2} = 1{,}2\ \sigma_{cr-1}$
ω het wapeningspercentage
$n = E_{c,o}/E_s$

Voor omega (ω) moet, volgens het trekband-model het effectieve wapeningspercentage ω_{eff} worden aangehouden:

$$\omega_{eff} = A_s/(\alpha b(h-d)) \qquad \text{(zie [3])}$$

Voor α=2,5 (zie [4]) geeft dit:

$$\omega_{eff} = A_s/(2{,}5b(h-d)) \text{ of } \omega_{eff} = A_s/(h_{eff}b) = A_s/A_{b,eff}$$

met:

$h_{eff} = 2{,}5(h-d) = 2{,}5((d_u-d_i)/2-t_k/2-c_{d2})$
A_s oppervlakte van de plaatstalen kern over de hoogte h_{eff};
$A_{b,eff}$ opppervlakte van het beton over de hoogte h_{eff}.

De waarde h_{eff} ligt hiermee vast en over deze hoogte kan de beton- en staaloppervlakte worden bepaald.

Vervolgens wordt de rek bepaald:

$$\varepsilon_{max} = \frac{\sigma_{s,cr}}{E_s} \times \frac{2/3 \times (1-N) + n \times \omega}{(1 + n \times \omega)}$$

De fictieve betontreksterkte bij de rek ε_{max} voor het uitgesmeerde scheurenpatroon volgt nu uit :

$$N_{cr-2} = \sigma_{s,cr} \omega_{eff} A_c = \sigma_c A_c + \varepsilon_{max} E_s \omega_{eff} A_c$$

hieruit volgt:

$$\sigma_{c,max} = \frac{\sigma_{s,cr} \times \omega \times A_c - \varepsilon_{max} \times E_s \times \omega \times A_c}{A_c} = \frac{\omega \times A_c \times (\sigma_{s,cr} - \varepsilon_{max} \times E_s)}{A_c}$$

met behulp van de punten σ_{cr-1} en $\sigma_{c,max}$ kan nu een fictief sigma-epsilon diagram voor beton onder trek worden geconstrueerd (zie figuur 2), waarmee het tensioning stiffening effect kan worden meegenomen in de berekening.

Door nu als voorwaarde te stellen dat de staalrek gelijk is aan ε_{max} kan uit de voorwaarde van horizontaal evenwicht de hoogte van de betondrukzone h_x worden bepaald en daarmee ε'_c.

De kromming wordt dan:

$$\kappa_{cr-2} = \frac{\varepsilon'_c}{h_x} = \frac{M_{cr-2}}{(EI)_{cs,r}}$$

3.4 Punt M_{sy2}

Dit is het punt, waarop de kern aan de trekzijde begint te vloeien, dus :

$$\varepsilon_{sy2} = f_{sy2}/E_s$$

Door nu als voorwaarde te stellen dat de staalrek gelijk is aan ε_{sy2} kan uit de voorwaarde van horizontaal evenwicht de hoogte van de betondrukzone h_x worden bepaald en daarmee ε'_c.

De kromming is dan:

$$\kappa_{sy2} = \frac{\varepsilon'_c}{h_x} = \frac{M_{sy2}}{(EI)_{cs,r}}$$

3.5 Punt M_{sy1}

Dit is het punt, waarop de kern aan de drukzijde begint te vloeien, dus:

$$\varepsilon_{sy1} = f_{sy1}/E_s$$

Door nu als voorwaarde te stellen dat de staalrek gelijk is aan ε_{sy1} kan uit de voorwaarde van horizontaal evenwicht de hoogte van de betondrukzone h_x worden bepaald en daarmee ε'_c.

De kromming is dan:

$$\kappa_{sy1} = \frac{\varepsilon'_c}{h_x} = \frac{M_{sy1}}{(EI)_{cs,r}}$$

3.6 Punt M_u

Dit is het punt, waarop de maximale betonstuik ε'_c=0.0035 wordt bereikt. Door nu als voorwaarde te stellen dat de betonstuik gelijk is aan ε'_c = 0.0035 kan uit de voorwaarde van horizontaal evenwicht de hoogte van de betondrukzone h_x worden bepaald.

De kromming is dan:

$$\kappa_u = \frac{\varepsilon'_c}{h_x} = \frac{M_u}{(EI)_{cs,r}}$$

4 M-N-K diagram in tangentiële richting

4.1 Algemeen

Ook bij de berekening van de scheurwijdte in tangentiële richting wordt gebruik gemaakt van het M-N-K diagram. De gehanteerde materiaalconstanten zijn vermeld in hoofdstuk 2.

De doorsnede van de buis in tangentiële richting is de buiswand en deze heeft een rechthoekige doorsnede.

Bij een aangenomen kromming worden de rekken, spanningen en krachten bepaald. Uit de voorwaarde van horizontaal evenwicht kan de hoogte van de betondrukzone worden bepaald, waarna het bijbehorende moment kan worden berekend. De aldus gevonden punten van het diagram worden door een rechte lijnen verbonden

Voor de karakteristieke punten, waaruit het M-N-K diagram is opgebouwd, wordt verwezen naar paragraaf 3.1 en figuur 5.

Daar de buizen worden gedimensioneerd met als voorwaarde dat het staal van de kern niet vloeit, dus altijd $M_x < M_{sy2}$, heeft de aanname van lineair-elastisch betongedrag tot aan het punt M_{sy2} voor de bepaling van de κ in het gebruiksstadium geen invloed. Voor elk willekeurig moment kan nu de kromming worden berekend en daarmee de stijfheid (Kappa=M/EI_{cs}), de rek (ε) en spanning (σ) in het staal.

De geometrie van de doorsnede wordt met de volgende parameters vastgelegd:

- hoogte ($h = (d_u - d_i)/2$);
- breedte ($b = 1000$ mm);
- oppervlakte van de stalen kern (A_{s2}) per 1000 mm;
- dekking op de stalen kern aan de binnenzijde (c_{d2});
- oppervlakte van de spiraalwapening (A_{s1}) per 1000 mm;
- dekking op de spiraalwapening aan de buitenzijde (c_{d1}).

De verschillende punten van het M-N-K diagram worden in de volgende paragrafen nader toegelicht.

4.2 Punt M_{cr-1}

Dit is het punt waar de eerste scheur optreedt.

Het scheurmoment van de doorsnede is:

$$M_{cr-1} = \sigma_{cr,fl} W_{cs,2}$$

waarin:

$\sigma_{cr,fl}$ = de buigtreksterkte waarbij de eerste scheur ontstaat;
$W_{cs,2}$ = het weerstandsmoment van de samengestelde ongescheurde doorsnede ten opzichte van de ondervezel.

De waarde $\sigma_{cr,fl}$ is te bepalen uit:

$$\sigma_{cr,fl} = (0.8+0.4h^{-0.6})\ \sigma_{cr}$$

$$\sigma_{cr} = \sigma_{cr-1} = 0.62\ f_{ctm,o}$$

Bij een niet symmetrisch gewapende doorsnede valt de neutralelijn niet meer samen met de hartlijn van de doorsnede. Daar de normaalkracht N_y aangrijpt in het hart van de doorsnede ontstaat een kleine excentriciteit t.o.v. de neutralelijn, hetgeen resulteert in een momentje ΔM.

De spanningen in een samengestelde ongescheurde doorsnede ten gevolge van N_y en ΔM worden dan:

$$\sigma_c = N_y/A_{cs} \pm \Delta M/W_{cs}$$

waarin:

A_{cs}	de oppervlakte van de buis;
W_{cs}	het weerstandsmoment van de samengestelde ongescheurde doorsnede.

De waarde van $\sigma_{cr,fl}$ wordt met deze waarde gecorrigeerd voor de berekening van M_{cr-1}:

$$\sigma_{cr,fl} = \sigma_{cr,fl} - \sigma_c$$

Wanneer $\sigma_c > \sigma_{cr,fl}$ dan wordt $\sigma_{cr,fl}$ gelijk aan nul gesteld.

Met de gegevens van de doorsnede is het traagheidsmoment I_{cs} en het weerstandsmoment W_{cs} van de ongescheurde doorsnede te berekenen en daarmee de kromming:

$$\kappa_{cr-1} = \frac{M_{cr-1}}{(E_c I_{cs})}$$

4.3 Punt M_{cr-2}

Dit is het punt, waarbij de laatste scheur optreedt. Vanaf dit moment is er sprake van een voltooid scheurenpatroon.

Voor het punt M_{cr-2} geldt $M_{cr-2} \approx 1{,}2\ M_{cr-1}$.

De bijbehorende rek kan worden berekend met:

$$\sigma_{s,cr} = \sigma_{cr-2}\ (1/\omega_{eff}+n)$$

waarin:

$$\sigma_{cr-2} = 1{,}2\ \sigma_{cr-1}$$

Voor omega (ω) moet, volgens het trekband-model het effectieve wapeningspercentage ω_{eff} worden aangehouden:

$$\omega_{eff} = A_s/"A_c"$$

waarin:

A_s oppervlakte wapening in verborgen trekband;
$"A_c"$ betonoppervlakte verborgen trekband;

met:

$$+"A_c" = \frac{M_{cr-1}}{0.9d\sigma_{cr-1}} - nA_s$$

Vervolgens wordt de rek bepaald:

$$\varepsilon_{max} = \frac{\sigma_{s,cr}}{E_s} \times \frac{2/3 \times (1-N) + n \times \omega_{eff}}{(1 + n \times \omega_{eff})}$$

De fictieve betontreksterkte bij de rek ε_{max} voor het uitgesmeerde scheurenpatroon volgt nu uit :

$$N_{cr-2} = \sigma_{s,cr}\omega_{eff}"A_c" = \sigma_c"A_c" + \varepsilon_{max}E_s\omega_{eff}"A_c"$$

hieruit volgt:

$$\sigma_{c,max} = \frac{\sigma_{s,cr} \times \omega_{eff} \times "A_c" - \varepsilon_{max} \times E_s \times \omega_{eff} \times "A_c"}{+"A_c"} = \omega_{eff} \times (\sigma_{s,cr} - \varepsilon_{max} \times E_s)$$

Met behulp van de punten σ_{cr-1} en $\sigma_{c,max}$ kan nu een fictief sigma-epsilon diagram voor beton onder trek worden geconstrueerd (zie figuur 2), waarmee het tensioning stiffening effect kan worden meegenomen in de berekening.

Door nu als voorwaarde te stellen dat de staalrek gelijk is aan ε_{max} kan uit de voorwaarde van horizontaal evenwicht de hoogte van de betondrukzone h_x worden bepaald en daarmee ε'_c.

De kromming wordt dan:

$$\kappa_{cr-2} = \frac{\varepsilon'_c}{h_x} = \frac{M_{cr-2}}{(EI)_{cs,I}}$$

4.4 Overgangsgebied van N = 0 bij M ≠ 0 naar N ≠ 0 en M ≈ 0

De theorie van de scheurwijdteberekening is opgezet voor het geval zuivere buiging en het geval zuivere trek bij symmetrische wapening. Bij een grote trekkracht wordt $\sigma_{cr,fl}$ gelijk aan nul en is de doorsnede al volledig gescheurd en komt M_{cr-1} niet voor. De doorsnede wordt dan meer op trek belast dan op buiging, zodat moet worden overgegaan op de berekening voor zuivere trek.

Tevens wordt bij grote normaal(trek)kracht M_{cr-1} steeds kleiner en daarmee de waarde voor "A_c". Dit resulteert weer een hoge waarde voor ω_{eff}. Er is daarom een overgang nodig van het geval zuivere buiging naar het geval zuivere trek voor het bepalen van het te hanteren wapeningspercentage.

Voor het geval zuivere buiging geldt M ≠ 0 en N = 0:

$$M_{cr-1} = \sigma_{cr,fl} W_{cs}$$

en

$$+''A_c'' = \frac{M_{cr-1}}{0.9d\sigma_{cr-1}} - nA_s = \frac{N_{cr}}{\sigma_{cr-1}} - nA_s$$

met:

$N_{cr} = M_{cr}/z_{cr}$
A_s = wapening t.p.v. de trekband.
$\omega_{eff} = A_s/''A_c''$

De spanning in de wapening in de scheur direct na het optreden van de scheur is:

$$\sigma_{s,cr} = \sigma_{cr-2} (1/\omega_{eff}+n)$$

Voor het geval zuivere trek geldt M = 0 en N ≠ 0:

$$N_{cr-1} = A_c \sigma_{cr-1}(1+n\omega)$$

hieruit kan worden afgeleid dat:

$$A_c = \frac{N_{cr}}{\sigma_{cr-1}} - nA_{s,tot}$$

waarin:

$A_{s,tot} = A_{s1} + A_{s2}$
$\omega = A_{s,tot}/A_c$

De spanning in de wapening in de scheur direct na het optreden van de scheur is:

$$\sigma_{s,cr} = \sigma_{cr-2} (1/\omega+n)$$

Hiermee is $\sigma_{s,cr}$ een functie van $1/\omega$ of A_c/A_s en liggen de grenzen voor $\sigma_{s,cr}$ vast voor beide scheurwijdte modellen.

Zoals reeds vermeld hoeft de wapening niet symmetrisch te zijn. Door nu het wapeningspercentage te berekenen op basis van de ligging van de neutrale lijn van de ongescheurde doorsnede kan voor het geval N ≠ 0 en M = 0 voor beide zijden van de doorsnede een wapeningspercentage worden bepaald.

Dit betekent dat in feite het symmetrische trekstaaf model twee maal wordt toegepast, zodat geldt voor:

- de buitenzijde met de spiraalwapening (A_{s1})
  $A_{c1} = (h-z)b$
  $\omega_1 = A_{s1}/A_{c1}$
  $N_{cr-1,1} = 2A_{c1}\sigma_{cr-1}(1+n\omega_1)$

- de binnenzijde met de kernwapening (A_{s2})
  $A_{c2} = zb$
  $\omega_2 = A_{s2}/A_{c2}$
  $N_{cr-1,2} = 2A_{c2}\sigma_{cr-1}(1+n\omega_2)$

waarin:

h = hoogte van de doorsnede
b = breedte van de doorsnede
z = is de afstand van de neutrale lijn gerekend vanaf de binnenzijde;
A_{s1} = wapening aan de buitenzijde (spiraal);
A_{s2} = wapening aan de binnenzijde (kern).

De overgang van het ene model naar het andere wordt nu gemaakt door de beton oppervlakte A_{c1} of A_{c2}, afhankelijk van de normaal(trek)kracht N_y te laten toenemen van "A_c" bij het geval zuivere buiging naar A_c bij het geval zuivere trek. Het totale verschil tussen A_c en "A_c" is ΔA_c.

De toename δA_c van "A_c" naar A_c tussen $0 < N_y < N_{cr-1}$ kan nu berekend worden volgens:

$$\frac{N_{cr-1}-N_y}{N_{cr-1}} = \frac{\Delta A_c - \delta A_c}{\Delta A_c}$$

waaruit volgt

$$\delta A_c = \Delta A_c \{1 - \frac{N_{cr-1}-N_y}{N_{cr-1}}\}$$

De waarde voor A_c is dan gelijk aan:

$$A_c = "A_c" + \delta A_c$$

Met deze waarde wordt het wapeningspercentage en $\sigma_{s,cr}$ uitgerekend en vervolgens de scheurwijdte w_{cr} (zie hoofdstuk 5).

4.5 Punt M_{sy2}

Dit is het punt, waarop de kern aan de trekzijde begint te vloeien, dus :

$$\varepsilon_{sy2} = f_{sy2}/E_s$$

Door nu als voorwaarde te stellen dat de staalrek gelijk is aan ε_{sy2} kan uit de voorwaarde van horizontaal evenwicht de hoogte van de betondrukzone h_x worden bepaald en daarmee ε'_c.

De kromming is dan:

$$\kappa_{sy2} = \frac{\varepsilon'_c}{h_x} = \frac{M_{sy2}}{(EI)_{cs,r}}$$

4.6 Punt M_{sy1}

Dit is het punt, waarop de kern aan de drukzijde begint te vloeien, dus:

$$\varepsilon_{sy1} = f_{sy1}/E_s$$

Door nu als voorwaarde te stellen dat de staalrek gelijk is aan ε_{sy1} kan uit de voorwaarde van horizontaal evenwicht de hoogte van de betondrukzone h_x worden bepaald en daarmee ε'_c.

De kromming is dan:

$$\kappa_{sy1} = \frac{\varepsilon'_c}{h_x} = \frac{M_{sy1}}{(EI)_{cs,r}}$$

4.7 Punt M_u

Dit is het punt, waarop de maximale betonstuik ε'_c=0.0035 wordt bereikt.
Door nu als voorwaarde te stellen dat de betonstuik gelijk is aan $\varepsilon'_c = 0.0035$ kan uit de voorwaarde van horizontaal evenwicht de hoogte van de betondrukzone h_x worden bepaald.

De kromming is dan:

$$\kappa_u = \frac{\varepsilon'_c}{h_x} = \frac{M_u}{(EI)_{cs,r}}$$

5 Scheurwijdteberekening

5.1 Gebruik van het M-N-K diagram in axiale richting

Met het gevonden M-N-K diagram kan nu bij elk willekeurig moment M_x de waarde van κ_x worden bepaald. Het diagram kan echter ook als M-Epsilon diagram worden gebruikt, want voor ieder knikpunt in het diagram is zowel κ als de bijbehorende ε bekend. De waarde ε_x kan dan direct worden bepaald (de punten van het M - Epsilon diagram worden weer d.m.v. rechte lijnen verbonden).

Voor de gebruikte materiaalconstanten wordt verwezen naar het gestelde in hoofdstuk 2.

5.2 Gebruik van het M-N-K diagram in tangentiële richting

Met de gevonden punten M_{cr-1}, M_{cr-2} en M_{sy2} liggen de grenzen voor de scheurwijdte berekening vast. Het gevonden M-N-K diagram is gebaseerd op de materiaalconstanten, die gelden voor de berekening van het gedrag van de constructie. De spanning in de spiraalwapening en stalen kern wordt echter berekend met behulp van het M-N-K diagram, dat gebaseerd is op de materiaalconstanten voor de berekening van de sterkte van de constructie.

Voor het berekenen ven de scheurwijdte in het gedeelte $M_{cr-2} \leq M_x \leq M_{sy2}$ wordt de rek in het staal ε_x bepaald uit:

$$\varepsilon_x = \varepsilon_{max} - \frac{\sigma_s - \sigma_{s.cr}}{\sigma_{sy2} - \sigma_{s,cr}} \times (\varepsilon_{sy2} - \varepsilon_{max})$$

5.3 Berekening van de scheurwijdte

De gemiddelde scheurafstand bedraagt voor het punt M_{cr-2} :

$$\Delta l_{gem} = 0{,}75\ l_{cr}$$

en de gemiddelde scheurwijdte :

$$w_{cr} = 2 \times \left(\frac{1+N}{2} \times \frac{\phi_k}{4} \times \frac{1}{C \times E_s} \times \frac{\sigma_{s,cr}^2}{(1+n) \times \omega}\right)^{\left(\frac{1}{(1+N)}\right)}$$

waarin:

$$C = c(f_{cc}+4)$$

De factoren N en c hebben betrekking op de aanhechtings karakteristiek van het betonstaal met het beton (zie paragraaf 5.5).

De gemiddelde scheurwijdte w_{cr} wordt gecorrigeerd met een factor 0,75, die de verhouding weergeeft tussen proeven en berekening (zie CUR-rapport 91-6 [3]).

De vergroting van de scheurwijdte door tijdsafhankelijke effecten wordt verdisconteerd met Δw en is gelijk aan:

$$\Delta w = (w_{cr}/\varepsilon_{max})\ \Delta\varepsilon_w$$

waarin:

- zeer vochtig : RV 90 á 95 % $\Rightarrow$ $\Delta\varepsilon_w = 0$
- buitenlucht : RV 70 á 80 % $\Rightarrow$ $\Delta\varepsilon_w = 120 \times 10^{-6}$
- droge lucht : RV 40 á 50 % $\Rightarrow$ $\Delta\varepsilon_w = 160 \times 10^{-6}$

Voor buizen kan gesteld worden, dat deze zich in een zeer vochtige omgeving bevinden. Het tijdsafhankelijke deel wordt dan ook op gesteld op $\Delta w = 0$.

De bij het moment M_x en ε_x behorende gemiddelde scheurwijdte w_x volgt uit:

$$w_x = 0{,}75\ w_{cr}\ (\varepsilon_x/\varepsilon_{max}) + \Delta w$$

Voor de verschillende takken van het M-N-K diagram geldt dan:

- $M_x \leq M_{cr\text{-}1}$
  doorsnede niet gescheurd $\Rightarrow w_x = 0$;

- $M_{cr\text{-}1} \leq M_x \leq M_{cr\text{-}2}$
  onvoltooid scheurpatroon $\Rightarrow w_x = 0{,}75\ w_{cr} + \Delta w$;

- $M_x \geq M_{cr\text{-}2}$
  voltooid scheurpatroon $\Rightarrow w_x = 0{,}75\ w_{cr}\ (\varepsilon_x/\varepsilon_{max}) + \Delta w$

De maximale scheurwijdte bedraagt 2 maal en de karakteristieke (95 % bovengrens) scheurwijdte 1,7 maal de gemiddelde scheurwijdte zodat:

$$w_{x,max} = 2\ w_x$$

$$w_{x,kar} = 1{,}7\ w_x$$

5.4 Staafdiameter

In de formule van de scheurwijdte komt de staafdiameter voor. De plaatstalen kern moet voor de berekening worden vertaald naar een fictieve staafdiameter. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de verhouding inhoud/oppervlakte van de kern.

Voor de kern wordt per eenheid van lengte gevonden:

$$V = \frac{1}{4} \pi (d^2_u - d^2_i)$$

$$A = \pi (d_u + d_i)$$

De verhouding V/A bedraagt voor de kern:

$$V/A = \frac{1}{4} (d_u - d_i)$$

Voor een staaf geldt:

$$V = \frac{1}{4} \pi \phi^2_k$$

$$A = \pi \phi$$

De verhouding V/A voor de staaf bedraagt dan:

$$V/A = \frac{1}{4} \phi_k$$

Hieruit volgt dat:

$$\phi_k = (d_u - d_i) = 2\ t_k$$

of wel de fictieve staafdiameter is gelijk aan tweemaal de dikte van de kern.

5.5 T - δ relatie

Van grote invloed op de scheurwijdte berekening is de overdrachtslengte l_{st}, welke kan worden berekend met methoden die gebaseerd zijn op de zogenaamde τ - δ relatie.

De τ - δ relatie kan worden benaderd met de formule:

$$\tau_{cs} = C\ \delta^N$$

waarin:

$$C = c(f_{cc}+4)$$

De factor C is afhankelijk van de betonkwaliteit en de factor c. De factoren c en N zijn afhankelijk van:

- de ligging van de staaf in de doorsnede;
- de dekking op de staaf als deze kleiner is dan 2 á 3 ϕ_k;
- het type staaf (glad of geribd).

Voor glad staal worden in de literatuur geen waarden gegeven voor N en c. Nagenoeg alle gegevens hebben betrekking op geribd staal (de meest voorkomende staalsoort in gewapend beton).

In het CUR-rapport 106 [5] zijn naast de resultaten van trekproeven voor geribd staal ook een beperkt aantal waarden gegeven voor glad- en voorspanstaal. Uit deze waarden is af te leiden dat $N \approx 0{,}14$ en $c \approx 0{,}11$. Deze waarden worden gevonden voor zowel glad- als voorspanstaal.

In het college dictaat g28 "Temperatuurseffecten in betonconstructies" [6] worden de volgende waarden genoemd, die zijn weergegeven in tabel 2.

TABEL 2 - WAARDEN VOOR DE FACTOR c EN N.

Soort staal	Staaf gegevens	Factor c	Factor N
Betonstaal geribd	staven algemeen	0,38	0,18
Betonstaal geribd	bovenstaven	0,32	0,28
Voorspanstaal	draden of staven glad	0,06	0,10

Enkele opmerkingen ten aanzien van de waarden voor N en c:

- de waarde N = 0,10 en c = 0.06 resulteren in grotere scheurwijdten en zijn duidelijk ongunstiger dan die volgend uit CUR-rapport 106;

- de scheurwijdten berekend met N = 0,14 en c= 0,11 komen redelijk overeen met de scheurwijdten die volgens Eurocode 2 worden berekend voor glad staal. Bij hogere wapeningspercentages worden iets geringere scheurwijdten gevonden.

Gezien het bovenstaande wordt voor glad staal uitgegaan van N = 0.10 en c = 0,06, totdat eventueel nieuwe gegevens beschikbaar komen.

Voor de spiraalwapening is gehanteerd N = 0.18 en c = 0.38.

De uitgevoerde berekeningen in tangentiële richting geven waarden voor de scheurwijdte, die beduidend kleiner zijn dan de waarden berekend volgens de rekenregels gegeven in de VB 74/84 [7]. De verschillen worden veroorzaakt de relatief hoge wapeningspercentages, die in de betonbuis met stalen kern aanwezig zijn. Bij deze hoge wapeningspercentages is de berekeningswijze volgens de VB 74/84 te weinig gedifferentieerd.

6 Resultaten scheurwijdteberekeningen

6.1 Inleiding

Met de theorie, zoals uiteengezet in de voorafgaande hoofdstukken, zijn voor de diverse buistypen scheurwijdteberekeningen uitgevoerd. De resultaten zijn vertaald naar tabellen, waarmee de scheurwijdte in zowel axiale- als tangentiële richting bij verschillende combinaties van moment en normaalkracht kan worden afgelezen.

In de tabellen kunnen de volgende gebieden worden onderscheiden:

- de scheurwijdte is gelijk aan nul. Dit betekent dat bij de gegeven combinatie van moment en normaalkracht de buis ongescheurd is, dus $M_x \leq M_{cr\text{-}1}$;
- de scheurwijdte is constant. Dit is gebied waarin het scheurpatroon zich ontwikkeld, dus $M_{cr\text{-}1} \leq M_x \leq M_{cr\text{-}2}$;
- de scheurwijdte neemt constant toe. Dit betekent dat bij de gegeven combinatie van moment en normaalkracht een voltooid scheurenpatroon aanwezig, waarbij de wijdte van de scheuren toeneemt bij verdere toename van het moment in de buis, dus $M_{cr\text{-}2} \leq M_x \leq M_{sy2}$. In het gearceerde gedeelte van dit gebied is de scheurwijdte groter dan 0,2 mm.

De tabellen zijn opgenomen in de bijlagen A, B en C.

6.2 Tabellen voor de axiale richting

De tabellen zijn vervaardigd voor diverse combinaties van een normaalkracht en een moment in axiale richting, waarbij een drukkracht negatief is. Daar de doorsnede symmetrisch is, kan voor zowel positieve- als negatieve momenten van dezelfde tabel gebruik gemaakt worden.

De volgende tabellen zijn gemaakt:

- tabel 3/4 Arkel (S) buis van Betonson met een inwendige diameter van 1600 mm en een wanddikte van 160 mm volgens specificatie d.d. 06-06-1993 (zie bijlage A);
- tabel 7/8 Socea buis, plan nummer 7317 en 7509, met een inwendige diameter van 1590 mm, een wanddikte van 140 mm en een kern met een dikte van 6 mm (zie bijlage B);
- tabel 13/14 Socea buis, plan nummers 7563, met een inwendige diameter van 1800 mm, een wanddikte van 150 mm en een kern met een dikte van 6 mm (zie bijlage C).

6.3 Tabellen voor de tangentiële richting

De tabellen zijn vervaardigd voor de onderstaande combinaties van normaalkracht en moment:

- drukkracht met positief moment;
- drukkracht met negatief moment;
- trekkracht met positief moment;
- trekkracht met negatief moment.

De gehanteerde tekenafspraak is:

- drukkracht is negatief;
- trekkracht is positief;
- negatief moment geeft trek aan de buitenzijde (spiraal);
- positief moment geeft trek aan de binnenzijde (kern).

De volgende tabellen zijn gemaakt:

- tabel 5/6 Arkel (S) buis van Betonson met een inwendige diameter van 1600 mm en een wanddikte van 160 mm volgens specificatie d.d. 06-06-1993 (zie bijlage A);
- tabel 9/10 Socea buis, plan nummer 7317, met een inwendige diameter van 1590 mm, een wanddikte van 140 mm en een spiraal wapening ϕ12-56,5 $\Rightarrow$ A_s=2000 mm^2 (zie bijlage B);
- tabel 11/12 Socea buis, plan nummer 7509, met een inwendige diameter van 1590 mm, een wanddikte van 140 mm en een spiraal wapening ϕ12-37,7 $\Rightarrow$ A_s=3000 mm^2 (zie bijlage B);
- tabel 15/16 Socea buis, plan nummer 7563, met een inwendige diameter van 1800 mm, een wanddikte van 150 mm en een spiraal wapening ϕ12-37,7 $\Rightarrow$ A_s=3000 mm^2 (zie bijlage C).

7 Geraadpleegde literatuur

1. A.S.G. Bruggeling.
Theorie en praktijk van het gewapend beton.
Stichting Professor Bakkerfonds

2. Compendium Geo-Tubomechanica, deel II.
Provinciale Waterstaat in Zuid-Holland.

3. Rationele scheurwijdtebeheersing in elementen van gewapend beton.
CUR-STW rapport no. 91-6.
CUR, Gouda.

4. Eurocode No. 2.
Design of Concrete Structures. Part 1 : General Rules and Rules for Buildings.
Revised Final Draft December 1989.

5. Beton onder stootbelasting. Treksterkte en aanhechting.
CUR rapport no. 106.
CUR, Gouda.

6. J. Brakel en K. van Breugel.
Temperatuureffecten in betonconstructies.
Technische Universiteit Delft.

7. Voorschriften Beton VB 1974/1984.
NEN 3880.
Nederlands Normalisatie Instituut.

Bijlage A
Tabellen scheurwijdte buis Betonson

Betreft:		d.d. 21-4-1992	Off./Prod.nr.
	ϕ 1600 D.Z.H.	par. E.H.	10.1482

ALGEMENE GEGEVENS

Algemene norm. : NEN 7101

Wapening : langsstaven 16 ϕ 8 FeB500HK
spiraal ϕ 10 - 50 mm. FeB500HK
krimpwapening ϕ 4 # 150 mm. FeB500HK

Betondekking : 30 mm.$^{+10-10}$

Kwaliteit stalen kern : St. 52.3 vlg. DIN 17100 of gelijkwaardig

Kwaliteit overige stalen delen (zie details) : St. 37.2 vlg. DIN 17100 of gelijkwaardig

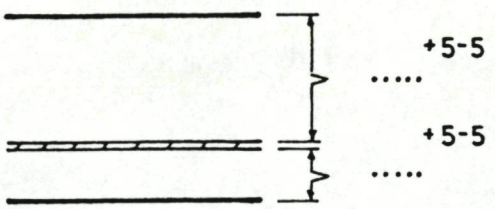
Cementsoort : portlandcement klasse C

Betonkwaliteit : B45

Tolerantie's : buislengte : +10 -10

inwendige diameter : +12 -12

wanddikte



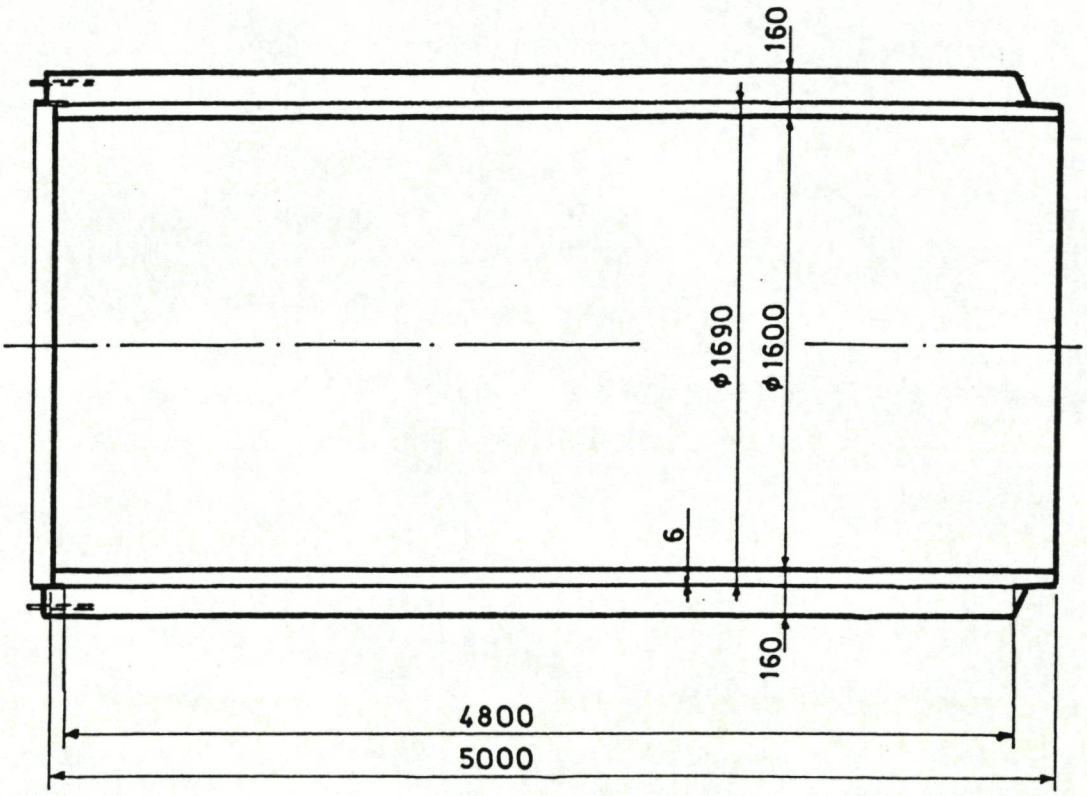
omtrek stalen kern : +12-12

Opmerkingen : Bij de mangatstukken t.p.v. het mangat geen langsnaad in de stalen kern.

Betreft:	ϕ1600 D.Z.H.	d.d. 21_4_1992	Off./Prod.nr.
		par. E.H.	10.1482

arkelbuis met plaatstalen kern

lasmof _ lasspie

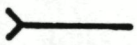


lasmof

lasspie

buismerk	gewicht
21	11675 KG.

symbool



betonson

TABEL 3 ARKEL (S) BUIS MET INWENDIGE DIAMETER 1600 MM.
DRUK IN AXIALE RICHTING.

Moment	Scheurwijdte in mm bij een normaalkracht N in kN van :										
kNm	0	-100	-200	-300	-400	-500	-600	-700	-800	-900	-1000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1000	0.057	0.057	0.057	0.057	0	0	0	0	0	0	0
1200	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0	0
1400	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057
1600	0.063	0.059	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057
1800	0.077	0.073	0.069	0.065	0.062	0.059	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057
2000	0.091	0.087	0.083	0.079	0.076	0.072	0.068	0.065	0.062	0.058	0.057
2200	0.105	0.101	0.097	0.093	0.090	0.086	0.082	0.079	0.076	0.072	0.069
2400	0.119	0.115	0.111	0.107	0.104	0.100	0.096	0.093	0.089	0.086	0.083
2600	0.133	0.129	0.125	0.121	0.118	0.114	0.110	0.107	0.103	0.100	0.096
2800	0.147	0.143	0.139	0.135	0.132	0.128	0.124	0.121	0.117	0.114	0.110
3000	0.161	0.157	0.153	0.149	0.146	0.142	0.138	0.135	0.131	0.127	0.124
3200	0.175	0.171	0.167	0.163	0.160	0.156	0.152	0.149	0.145	0.141	0.138
3400	0.189	0.185	0.181	0.177	0.174	0.170	0.166	0.163	0.159	0.155	0.152
3600	0.202	0.199	0.195	0.191	0.188	0.184	0.180	0.177	0.172	0.169	0.165
3800	0.216	0.213	0.209	0.205	0.202	0.198	0.194	0.191	0.186	0.183	0.179
4000	0.230	0.227	0.223	0.219	0.216	0.212	0.208	0.205	0.200	0.197	0.193
4200	0.244	0.241	0.237	0.233	0.230	0.226	0.222	0.218	0.214	0.210	0.207
4400	0.258	0.255	0.251	0.247	0.244	0.240	0.236	0.232	0.228	0.224	0.220
4600	0.272	0.269	0.265	0.261	0.258	0.254	0.250	0.246	0.242	0.238	0.234
4800	0.286	0.283	0.279	0.275	0.272	0.268	0.264	0.260	0.255	0.252	0.248
5000	0.300	0.297	0.293	0.289	0.285	0.282	0.278	0.274	0.269	0.266	0.262
5200	0.314	0.311	0.307	0.303	0.299	0.296	0.292	0.288	0.283	0.279	0.276
5400	0.328	0.324	0.321	0.317	0.313	0.310	0.306	0.302	0.297	0.293	0.289
5600	0.342	0.338	0.335	0.331	0.327	0.324	0.320	0.316	0.311	0.307	0.303
5800	0.356	0.352	0.349	0.345	0.341	0.337	0.334	0.330	0.324	0.321	0.317
6000		0.366	0.363	0.359	0.355	0.351	0.348	0.344	0.338	0.335	0.331
6200						0.365	0.362	0.358	0.352	0.348	0.345
6400									0.366	0.362	0.358

TABEL 4 ARKEL (S) BUIS MET INWENDIGE DIAMETER 1600 MM.
TREK IN AXIALE RICHTING.

Moment	Scheurwijdte in mm bij een normaalkracht N in kN van :										
kNm	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
600	0	0	0	0	0	0	0	0.057	0.057	0.057	0.057
800	0	0	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057
1000	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.059
1200	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.058	0.061	0.066	0.070	0.073
1400	0.057	0.057	0.057	0.060	0.064	0.068	0.072	0.076	0.080	0.084	0.088
1600	0.063	0.067	0.070	0.074	0.078	0.082	0.086	0.090	0.094	0.098	0.102
1800	0.077	0.081	0.084	0.088	0.092	0.096	0.100	0.104	0.108	0.112	0.116
2000	0.091	0.095	0.098	0.102	0.106	0.110	0.114	0.118	0.122	0.126	0.130
2200	0.105	0.109	0.112	0.116	0.120	0.124	0.128	0.132	0.136	0.140	0.144
2400	0.119	0.123	0.126	0.130	0.134	0.138	0.142	0.146	0.150	0.154	0.158
2600	0.133	0.137	0.140	0.144	0.148	0.152	0.156	0.160	0.164	0.168	0.172
2800	0.147	0.151	0.154	0.158	0.162	0.166	0.170	0.174	0.178	0.182	0.186
3000	0.161	0.164	0.169	0.172	0.176	0.180	0.184	0.188	0.192	0.196	0.200
3200	0.175	0.178	0.183	0.186	0.190	0.194	0.198	0.202	0.206	0.210	0.214
3400	0.189	0.192	0.197	0.200	0.204	0.208	0.212	0.216	0.220	0.224	0.228
3600	0.202	0.206	0.211	0.214	0.218	0.222	0.226	0.230	0.234	0.238	0.242
3800	0.216	0.220	0.225	0.228	0.232	0.236	0.240	0.244	0.248	0.252	0.256
4000	0.230	0.234	0.239	0.243	0.246	0.250	0.254	0.259	0.262	0.266	0.270
4200	0.244	0.248	0.253	0.257	0.260	0.264	0.268	0.273	0.276	0.280	0.284
4400	0.258	0.262	0.267	0.271	0.274	0.278	0.282	0.287	0.291	0.294	0.298
4600	0.272	0.276	0.281	0.285	0.288	0.292	0.296	0.301	0.305	0.308	0.312
4800	0.286	0.290	0.295	0.299	0.302	0.306	0.310	0.315	0.319	0.322	0.326
5000	0.300	0.304	0.309	0.313	0.316	0.320	0.324	0.329	0.333	0.336	0.340
5200	0.314	0.318	0.323	0.327	0.331	0.334	0.338	0.343	0.347	0.350	0.354
5400	0.328	0.332	0.337	0.341	0.345	0.348	0.352	0.357	0.361	0.365	
5600	0.342	0.346	0.351	0.355	0.359	0.362	0.366				
5800	0.356	0.360									
6000											
6200											
6400											

TABEL 5 ARKEL (S) BUIS MET INWENDIGE DIAMETER 1600 MM.

POSITIEF MOMENT IN TANGENTIELE RICHTING

Scheurwijdte in mm bij een normaalkracht N in kN van :									Moment	Scheurwijdte in mm bij een normaalkracht N in kN van :										
-900	-800	-700	-600	-500	-400	-300	-200	-100	kNm	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.025	0.029	0.035	0.042	0.050
0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0.021	0.029	0.039	0.050	0.061	0.073	0.085	0.099
0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0.019	0.021	0.027	0.033	0.043	0.053	0.065	0.077	0.089	0.102
0	0	0	0	0	0	0	0	0.018	30	0.021	0.025	0.031	0.037	0.043	0.050	0.058	0.069	0.081	0.093	0.107
0	0	0	0	0	0	0.019	0.023	0.026	40	0.030	0.035	0.040	0.047	0.053	0.061	0.069	0.077	0.086	0.098	0.111
0	0	0	0	0.018	0.022	0.029	0.032	0.035	50	0.039	0.044	0.050	0.057	0.064	0.071	0.079	0.088	0.097	0.107	0.118
0	0.018	0.019	0.018	0.027	0.031	0.038	0.041	0.045	60	0.048	0.054	0.060	0.067	0.074	0.082	0.090	0.099	0.108	0.118	0.129
0.021	0.024	0.028	0.023	0.036	0.040	0.047	0.051	0.054	70	0.057	0.063	0.070	0.077	0.084	0.092	0.101	0.110	0.120	0.130	0.140
0.029	0.033	0.037	0.032	0.045	0.049	0.057	0.060	0.063	80	0.066	0.073	0.080	0.087	0.095	0.103	0.112	0.121	0.131	0.141	0.152
0.038	0.042	0.046	0.041	0.054	0.058	0.066	0.069	0.072	90	0.076	0.082	0.090	0.097	0.105	0.114	0.123	0.132	0.142	0.153	0.164
0.047	0.051	0.055	0.059	0.063	0.067	0.076	0.079	0.082	100	0.085	0.092	0.099	0.107	0.116	0.125	0.134	0.144	0.154	0.165	0.176
0.056	0.060	0.064	0.068	0.072	0.076	0.085	0.088	0.091	110	0.094	0.101	0.109	0.117	0.126	0.135	0.145	0.155	0.166	0.177	0.188
0.065	0.069	0.073	0.077	0.081	0.085	0.094	0.097	0.100	120	0.103	0.111	0.119	0.128	0.137	0.146	0.156	0.166	0.177	0.189	0.201
0.074	0.078	0.082	0.086	0.090	0.094	0.104	0.106	0.109	130	0.112	0.120	0.129	0.138	0.147	0.157	0.167	0.178	0.189	0.201	0.213
0.083	0.087	0.091	0.095	0.099	0.103	0.113	0.116	0.119	140	0.122	0.130	0.139	0.148	0.158	0.168	0.178	0.189	0.201	0.213	0.225
0.092	0.096	0.100	0.104	0.108	0.112	0.123	0.125	0.128	150	0.131	0.139	0.149	0.158	0.168	0.179	0.189	0.201	0.212	0.225	
0.102	0.106	0.110	0.114	0.118	0.122	0.132	0.134	0.137	160	0.140	0.149	0.158	0.168	0.179	0.189	0.200	0.212	0.228		
0.112	0.116	0.120	0.124	0.128	0.132	0.140	0.143	0.146	170	0.149	0.158	0.168	0.178	0.189	0.200	0.214				
0.122	0.126	0.130	0.134	0.137	0.141	0.149	0.152	0.155	180	0.158	0.167	0.178	0.192	0.199						
0.132	0.137	0.139	0.143	0.147	0.151	0.157	0.160	0.163	190	0.166	0.178									
0.140	0.144	0.149	0.153	0.157	0.162	0.165	0.170		200											

TABEL 6 ARKEL (S) BUIS MET INWENDIGE DIAMETER 1600 MM.

NEGATIEF MOMENT IN TANGENTIELE RICHTING.

Scheurwijdte in mm bij een normaalkracht N in kN van :									Moment	Scheurwijdte in mm bij een normaalkracht N in kN van :										
-900	-800	-700	-600	-500	-400	-300	-200	-100	kNm	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.044	0.054	0.069	0.086	0.102
0	0	0	0	0	0	0	0	0	-10	0	0	0	0.040	0.041	0.051	0.065	0.080	0.096	0.112	0.122
0	0	0	0	0	0	0	0	0	-20	0	0.036	0.044	0.057	0.070	0.081	0.096	0.112	0.129	0.146	0.159
0	0	0	0	0	0	0	0	0.035	-30	0.043	0.057	0.073	0.087	0.101	0.111	0.127	0.144	0.162	0.181	0.198
0	0	0	0	0	0.035	0.038	0.048	0.058	-40	0.069	0.084	0.099	0.117	0.132	0.141	0.159	0.177	0.196	0.214	0.207
0	0	0.035	0.035	0.043	0.053	0.063	0.073	0.084	-50	0.095	0.110	0.126	0.144	0.163	0.172	0.190	0.207	0.210	0.214	
0.035	0.039	0.049	0.058	0.068	0.078	0.088	0.098	0.109	-60	0.121	0.136	0.152	0.169	0.188	0.199	0.203	0.207			
0.054	0.063	0.073	0.082	0.092	0.103	0.113	0.124	0.135	-70	0.147	0.163	0.179	0.191	0.195	0.199					
0.078	0.087	0.097	0.107	0.117	0.128	0.138	0.149	0.161	-80	0.173	0.183	0.187								
0.101	0.111	0.121	0.131	0.142	0.153	0.163	0.179	0.179	-90	0.179										
0.125	0.135	0.145	0.155	0.166	0.179	0.179			-100											
0.149	0.159	0.169	0.179						-110											
0.172									-120											

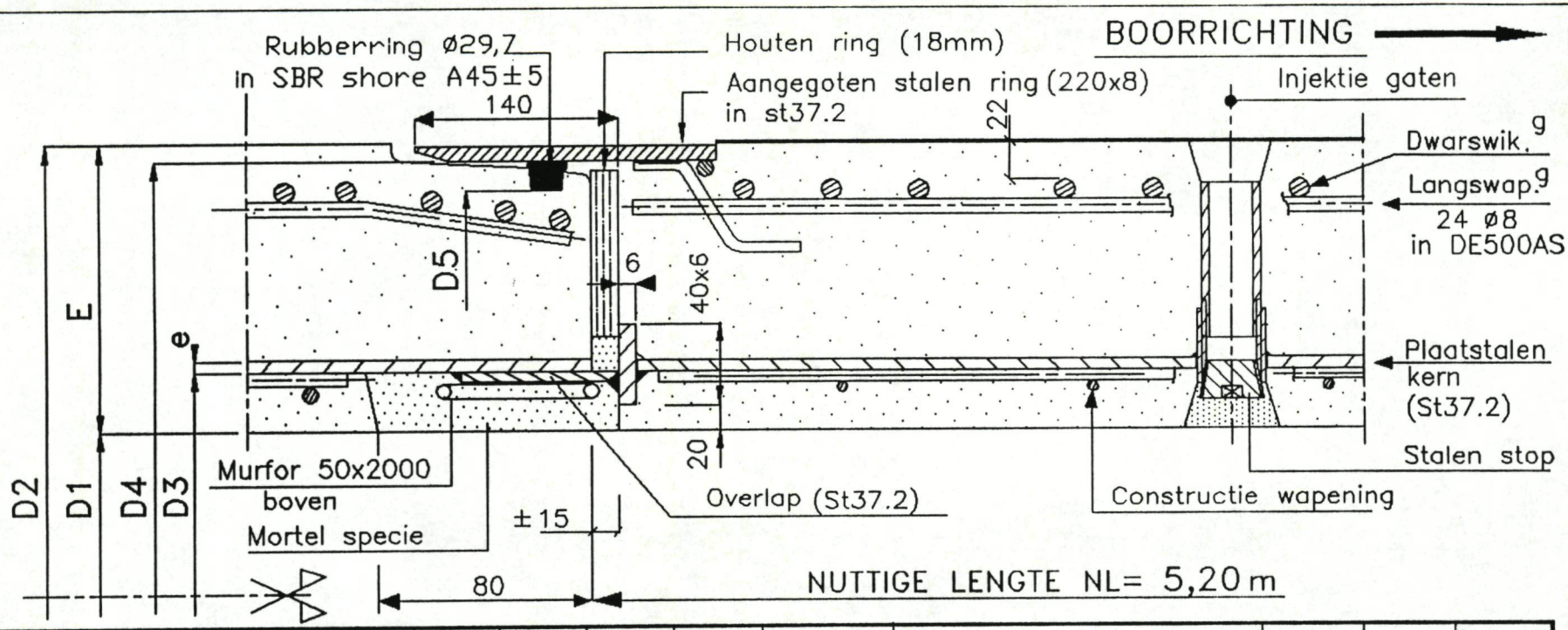
Bijlage B
Tabellen scheurwijdte buizen Socea type 7317 en 7509

TABEL 7 SOCEA BUIS MET INWENDIGE DIAMETER 1590 MM.
DRUK IN AXIALE RICHTING.

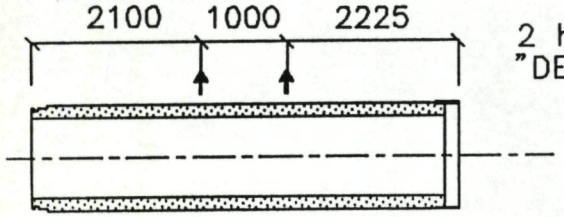
Moment	Scheurwijdte in mm bij een normaalkracht N in kN van :										
kNm	0	-100	-200	-300	-400	-500	-600	-700	-800	-900	-1000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
800	0.044	0.044	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1000	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0	0	0	0
1200	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044
1400	0.052	0.048	0.045	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044
1600	0.064	0.061	0.058	0.055	0.051	0.048	0.045	0.044	0.044	0.044	0.044
1800	0.077	0.074	0.071	0.068	0.064	0.061	0.058	0.055	0.051	0.049	0.045
2000	0.090	0.087	0.083	0.080	0.077	0.074	0.070	0.068	0.064	0.061	0.058
2200	0.103	0.100	0.096	0.093	0.090	0.086	0.083	0.080	0.077	0.074	0.070
2400	0.116	0.113	0.109	0.106	0.103	0.099	0.096	0.093	0.090	0.087	0.083
2600	0.129	0.126	0.122	0.119	0.115	0.112	0.109	0.106	0.102	0.099	0.096
2800	0.142	0.139	0.135	0.131	0.128	0.125	0.122	0.118	0.115	0.112	0.108
3000	0.154	0.151	0.148	0.144	0.141	0.137	0.134	0.131	0.128	0.125	0.121
3200	0.167	0.164	0.161	0.157	0.154	0.150	0.147	0.144	0.141	0.137	0.134
3400	0.180	0.177	0.173	0.170	0.167	0.163	0.160	0.156	0.153	0.150	0.147
3600	0.193	0.190	0.186	0.182	0.180	0.176	0.173	0.169	0.166	0.162	0.159
3800	0.206	0.203	0.199	0.195	0.192	0.188	0.186	0.182	0.179	0.175	0.172
4000			0.212	0.208	0.205	0.201	0.198	0.194	0.192	0.188	0.185
4200							0.211	0.207	0.204	0.200	0.198
4400											0.210

TABEL 8 SOCEA BUIS MET INWENDIGE DIAMETER 1590 MM.
TREK IN AXIALE RICHTING.

Moment	Scheurwijdte in mm bij een normaalkracht N in kN van :										
kNm	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.044	0.044
600	0	0	0	0	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044
800	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.047
1000	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.046	0.049	0.053	0.057	0.060
1200	0.044	0.044	0.045	0.049	0.052	0.055	0.059	0.063	0.066	0.070	0.073
1400	0.052	0.055	0.058	0.062	0.065	0.068	0.072	0.076	0.079	0.083	0.086
1600	0.064	0.068	0.071	0.075	0.078	0.081	0.085	0.089	0.092	0.096	0.099
1800	0.077	0.081	0.084	0.088	0.091	0.094	0.098	0.102	0.105	0.109	0.113
2000	0.090	0.093	0.097	0.101	0.104	0.107	0.111	0.115	0.118	0.122	0.126
2200	0.103	0.106	0.110	0.114	0.117	0.120	0.124	0.128	0.131	0.135	0.139
2400	0.116	0.119	0.123	0.127	0.130	0.133	0.137	0.141	0.144	0.148	0.152
2600	0.129	0.132	0.136	0.140	0.143	0.146	0.150	0.154	0.157	0.161	0.165
2800	0.142	0.145	0.149	0.153	0.156	0.159	0.163	0.167	0.170	0.174	0.178
3000	0.154	0.158	0.162	0.166	0.169	0.172	0.176	0.180	0.183	0.187	0.191
3200	0.167	0.171	0.175	0.179	0.181	0.185	0.189	0.193	0.196	0.200	0.204
3400	0.180	0.184	0.188	0.192	0.194	0.198	0.202	0.206	0.209		
3600	0.193	0.197	0.201	0.205	0.207	0.211					
3800	0.206	0.210									
4000											
4200											
4400											



Nomi.dia. D1 mm	NL m	E mm	D2 mm	D3 mm	D4 mm	D5 mm	e mm	Overlap mm	Wapeningsnet Dwarsw. + Langsw.	Injektie gaten	Buis gew. T	Maxi Perskr. T
ø 1600	5,20	140	1870	1664	1845	1805	6	50x8 of 40x8	S= 20 cm²/m met draad ø 12mm in DE500BS	3ø1" à 180°	10	500
(ø 1590)												



2 hefankers
"DEHA 5ton

Zaak= BERGAMBACHTLEIDING

BOORBUIZEN IN GEWAPEND BETON MET AANGEGOTEN RING,
MET PLAATSTALEN KERN EN DUBBELE VOEGVERBINDING
ø 1600mm–Nuttige lengte=5,20m

SOCEA
Vaartstraat,126
B–2520–OELEGEM
Tel 03–4750008
Fax 03–4857877

INDEX	DATUM
D	20–12–1993

PLAN NR. 7317

irRB | HH | CD | D Overlap –Wapeningsnet

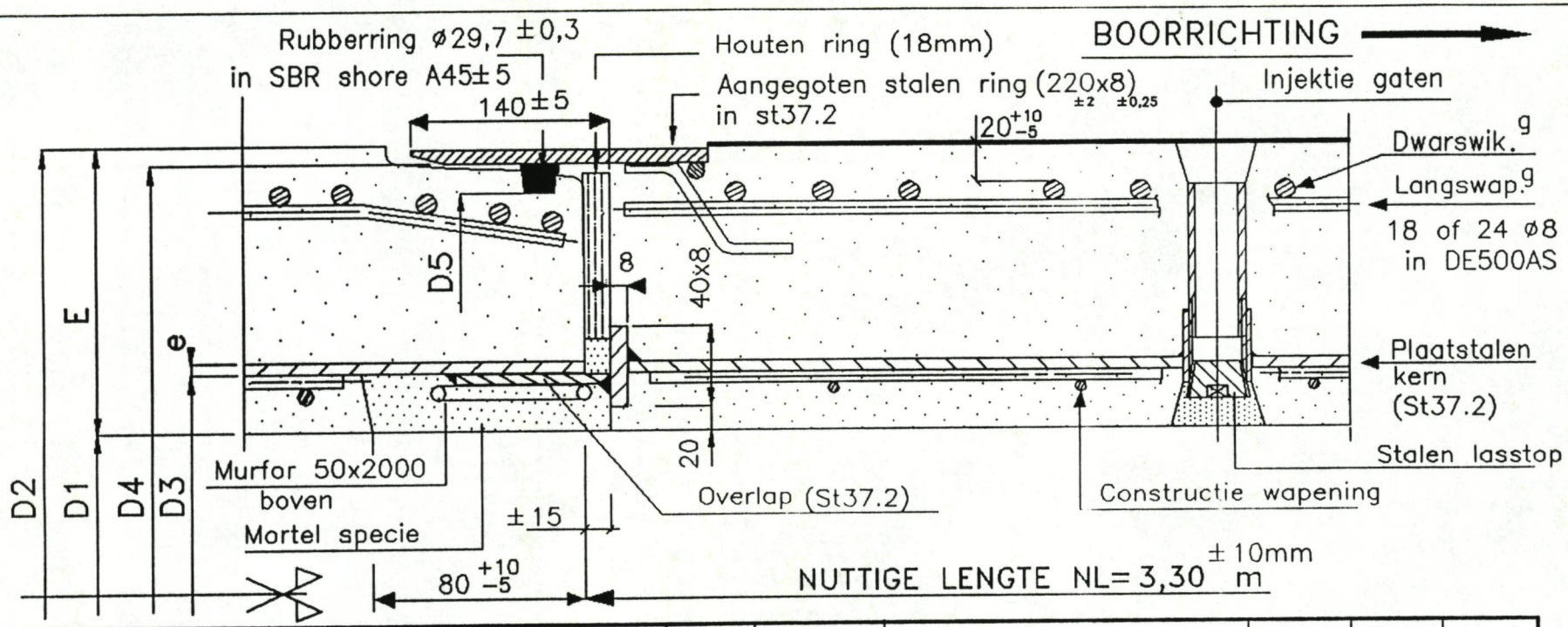
TABEL 9 SOCEA-BUIS, PLAN NUMMER 7317, MET DIAMETER 1590 - 1870 MM.

POSITIEF MOMENT IN TANGENTIELE RICHTING

Scheurwijdte in mm bij een normaalkracht N in kN van :									Moment	Scheurwijdte in mm bij een normaalkracht N in kN van :										
-900	-800	-700	-600	-500	-400	-300	-200	-100	kNm	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.021	0.024	0.030	0.037	0.045	0.053
0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0.017	0.018	0.024	0.031	0.037	0.045	0.052	0.060	0.069
0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0.014	0.017	0.022	0.028	0.035	0.042	0.050	0.058	0.066	0.076	0.085
0	0	0	0	0	0	0.014	0.015	0.018	30	0.021	0.027	0.032	0.039	0.045	0.053	0.061	0.070	0.080	0.089	0.099
0	0	0	0	0.014	0.017	0.020	0.024	0.027	40	0.030	0.036	0.042	0.049	0.056	0.064	0.072	0.082	0.091	0.102	0.113
0	0.014	0.017	0.020	0.023	0.026	0.029	0.032	0.036	50	0.039	0.045	0.052	0.059	0.067	0.075	0.084	0.093	0.103	0.114	0.125
0.020	0.023	0.026	0.029	0.032	0.035	0.038	0.041	0.045	60	0.048	0.055	0.062	0.069	0.078	0.086	0.096	0.105	0.116	0.127	0.138
0.029	0.032	0.035	0.038	0.041	0.044	0.047	0.050	0.054	70	0.057	0.064	0.072	0.080	0.088	0.098	0.107	0.117	0.128	0.139	0.151
0.038	0.041	0.044	0.047	0.050	0.053	0.056	0.059	0.063	80	0.066	0.074	0.082	0.090	0.099	0.109	0.119	0.129	0.141	0.146	
0.047	0.050	0.053	0.056	0.059	0.062	0.065	0.068	0.072	90	0.075	0.083	0.092	0.101	0.110	0.125	0.130	0.135			
0.056	0.059	0.062	0.065	0.068	0.071	0.074	0.077	0.081	100	0.084	0.093	0.102	0.114	0.119						
0.065	0.068	0.071	0.074	0.077	0.080	0.083	0.086	0.090	110	0.098	0.103	0.109								
0.075	0.077	0.080	0.083	0.086	0.089	0.092	0.098		120											
0.084	0.086	0.089	0.092	0.098					130											
0.092	0.095								140											

TABEL 10 SOCEA-BUIS, PLAN NUMMER 7317, MET DIAMETER 1590 - 1870 MM.
NEGATIEF MOMENT IN TANGENTIELE RICHTING

Scheurwijdte in mm bij een normaalkracht N in kN van :									Moment	Scheurwijdte in mm bij een normaalkracht N in kN van :										
-900	-800	-700	-600	-500	-400	-300	-200	-100	kNm	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.028	0.033	0.042	0.051	0.061
0	0	0	0	0	0	0	0	0	-10	0	0	0	0.024	0.030	0.039	0.047	0.056	0.066	0.076	0.087
0	0	0	0	0	0	0	0	0	-20	0.020	0.027	0.036	0.043	0.052	0.061	0.070	0.078	0.089	0.100	0.112
0	0	0	0	0	0.020	0.020	0.025	0.031	-30	0.037	0.045	0.054	0.064	0.073	0.083	0.093	0.100	0.112	0.124	0.136
0	0	0.020	0.021	0.026	0.032	0.037	0.043	0.048	-40	0.055	0.064	0.073	0.084	0.095	0.105	0.116	0.123	0.135	0.148	0.161
0.023	0.028	0.033	0.038	0.043	0.049	0.055	0.060	0.066	-50	0.072	0.082	0.092	0.103	0.114	0.128	0.139	0.146	0.159	0.172	0.187
0.039	0.044	0.050	0.055	0.060	0.066	0.072	0.078	0.084	-60	0.090	0.100	0.110	0.122	0.133	0.146	0.162	0.169	0.181	0.186	0.191
0.056	0.061	0.067	0.072	0.078	0.083	0.089	0.095	0.101	-70	0.108	0.118	0.129	0.141	0.152	0.167	0.172	0.177			
0.073	0.078	0.084	0.089	0.095	0.101	0.107	0.113	0.119	-80	0.125	0.136	0.148	0.158	0.162						
0.090	0.095	0.101	0.106	0.112	0.118	0.124	0.130	0.136	-90	0.143	0.148	0.153								
0.106	0.112	0.118	0.123	0.129	0.135	0.143	0.143		-100											
0.123	0.129	0.135	0.140						-110											



Nomi.dia. D1 mm	NL m	E mm	D2 mm	D3 mm	D4 mm	D5 mm	e mm	Overlap mm	Wapeningsnet Dwarswikkeling	Injektie gaten	Buis gew. T	Maxi Perskr. T
ø 1600	3,30	140	1870	1664	1845	1806	6	40x8	S= 30 cm²/m	2ø1"	6,2	500
1590 ±10	+10 −5	+15 −7	+11 −7	±4	±3 Ovalisatie 8mm	+3 −1	±0,25	of 50x8	spoed= 37,7 mm met draad ø 12 mm	à 180°		
(ø 1590) ±10	3,306 in bocht R400m							50x8	in DE500BS			

W=19 ±2,5mm

Zaak= DZH–Duinwaterleiding

BORING met straal 400m

BOORBUIZEN IN GEWAPEND BETON MET AANGEGOTEN RING,
MET PLAATSTALEN KERN EN DUBBELE VOEGVERBINDING
ø1600mm–Nuttige lengte=3,30m

SOCEA
Vaartstraat,126
B–2520–OELEGEM
Tel 03–4750008
Fax 03–4857877

INDEX	DATUM
D	20–12–1993

PLAN NR. 7509

irRB
HH
CD
D Overlap

TABEL 11 SOCEA-BUIS, PLAN NUMMER 7509, MET DIAMETER 1590 - 1870 MM.

POSITIEF MOMENT IN TANGENTIELE RICHTING

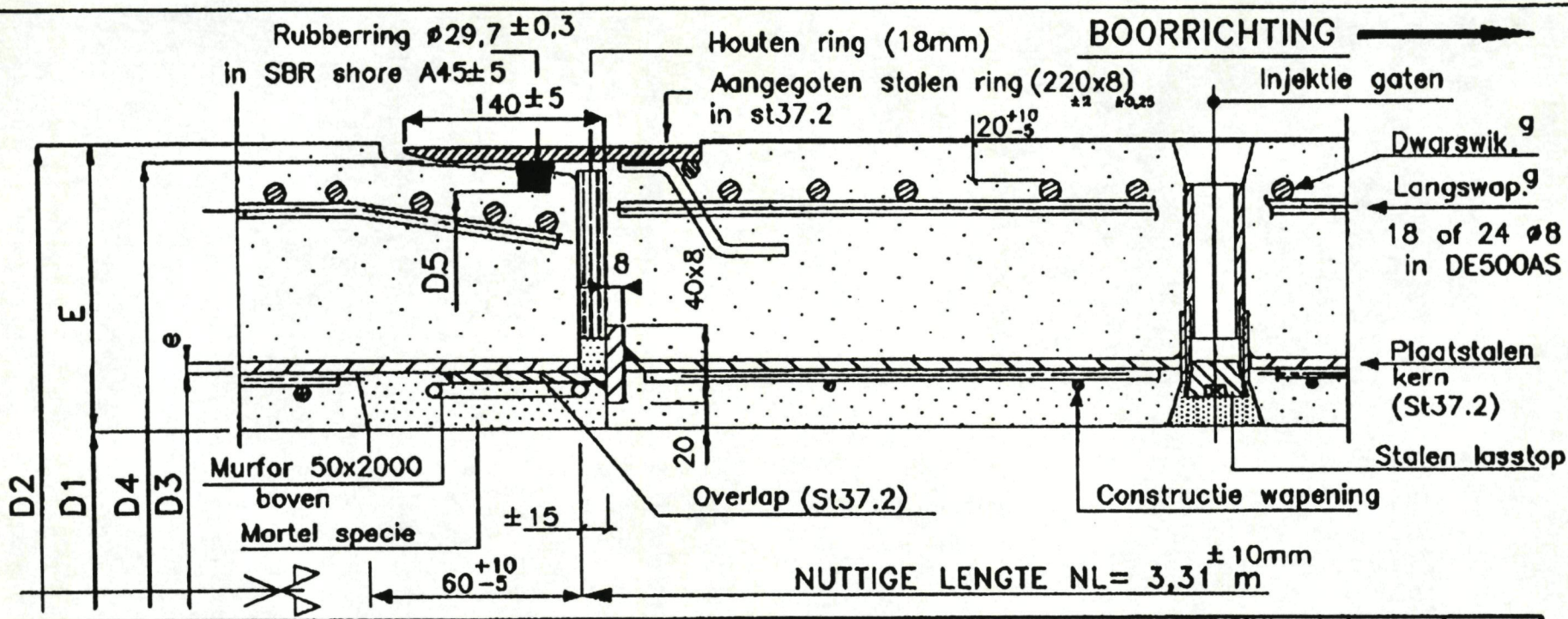
Scheurwijdte in mm bij een normaalkracht N in kN van :									Moment	Scheurwijdte in mm bij een normaalkracht N in kN van :										
-900	-800	-700	-600	-500	-400	-300	-200	-100	kNm	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.021	0.025	0.031	0.038	0.046	0.054
0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0.019	0.025	0.031	0.038	0.045	0.053	0.061	0.069
0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0.015	0.017	0.023	0.029	0.036	0.043	0.050	0.058	0.066	0.075	0.085
0	0	0	0	0	0	0	0.015	0.018	30	0.022	0.027	0.033	0.039	0.046	0.054	0.062	0.070	0.080	0.089	0.099
0	0	0	0	0.015	0.016	0.020	0.024	0.027	40	0.031	0.037	0.043	0.050	0.057	0.065	0.073	0.082	0.092	0.102	0.113
0	0.015	0.015	0.019	0.022	0.026	0.029	0.033	0.037	50	0.040	0.047	0.053	0.060	0.068	0.076	0.085	0.094	0.104	0.114	0.125
0.018	0.021	0.024	0.028	0.031	0.035	0.038	0.042	0.046	60	0.050	0.056	0.063	0.071	0.079	0.088	0.097	0.106	0.116	0.127	0.138
0.027	0.030	0.033	0.037	0.040	0.044	0.048	0.051	0.055	70	0.059	0.066	0.074	0.082	0.090	0.099	0.109	0.119	0.129	0.140	0.150
0.036	0.039	0.043	0.046	0.050	0.053	0.057	0.061	0.064	80	0.068	0.076	0.084	0.092	0.101	0.110	0.120	0.131	0.141	0.146	
0.045	0.048	0.052	0.055	0.059	0.062	0.066	0.070	0.074	90	0.078	0.085	0.094	0.103	0.112	0.126	0.131	0.136			
0.054	0.058	0.061	0.064	0.068	0.072	0.075	0.079	0.083	100	0.087	0.095	0.104	0.117	0.122						
0.064	0.067	0.070	0.074	0.077	0.081	0.085	0.088	0.092	110	0.096	0.107	0.112								
0.073	0.076	0.079	0.083	0.086	0.090	0.094	0.102	0.102	120	0.102										
0.082	0.085	0.089	0.092	0.096	0.102				130											
0.091	0.095	0.102							140											

TABEL 12 SOCEA-BUIS, PLAN NUMMER 7509, MET DIAMETER 1590 - 1870 MM

NEGATIEF MOMENT IN TANGENTIELE RICHTING

Scheurwijdte in mm bij een normaalkracht N in kN van :									Moment	Scheurwijdte in mm bij een normaalkracht N in kN van :										
-900	-800	-700	-600	-500	-400	-300	-200	-100	kNm	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.014	0.015	0.018	0.022	0.026
0	0	0	0	0	0	0	0	0	-10	0	0	0	0.012	0.014	0.017	0.021	0.026	0.030	0.034	0.039
0	0	0	0	0	0	0	0	0	-20	0.010	0.012	0.016	0.019	0.023	0.027	0.031	0.035	0.040	0.045	0.050
0	0	0	0	0	0.010	0.010	0.012	0.014	-30	0.016	0.020	0.024	0.028	0.032	0.036	0.041	0.045	0.050	0.055	0.060
0	0	0.010	0.010	0.012	0.015	0.017	0.019	0.022	-40	0.024	0.028	0.032	0.036	0.041	0.046	0.051	0.055	0.061	0.066	0.072
0.011	0.013	0.015	0.017	0.020	0.022	0.024	0.027	0.029	-50	0.032	0.036	0.040	0.045	0.049	0.055	0.060	0.066	0.071	0.077	0.083
0.018	0.020	0.023	0.025	0.027	0.029	0.032	0.034	0.037	-60	0.039	0.043	0.048	0.053	0.058	0.064	0.069	0.076	0.082	0.088	0.094
0.025	0.028	0.030	0.032	0.034	0.037	0.039	0.042	0.044	-70	0.047	0.051	0.056	0.061	0.067	0.072	0.078	0.085	0.092	0.099	0.106
0.033	0.035	0.037	0.040	0.042	0.044	0.047	0.049	0.052	-80	0.054	0.059	0.064	0.070	0.075	0.081	0.087	0.094	0.101	0.108	0.116
0.040	0.042	0.045	0.047	0.049	0.052	0.054	0.057	0.059	-90	0.062	0.067	0.072	0.078	0.084	0.090	0.097	0.103	0.110	0.117	0.125
0.048	0.050	0.052	0.054	0.057	0.059	0.062	0.064	0.067	-100	0.069	0.075	0.080	0.086	0.093	0.099	0.106	0.112	0.119	0.126	0.130
0.055	0.057	0.060	0.062	0.064	0.067	0.069	0.072	0.074	-110	0.077	0.082	0.089	0.095	0.101	0.108	0.116	0.119	0.123		
0.062	0.065	0.067	0.069	0.072	0.074	0.077	0.079	0.082	-120	0.084	0.090	0.097	0.105	0.108	0.112					
0.070	0.072	0.074	0.077	0.079	0.082	0.084	0.087	0.089	-130	0.092	0.097	0.101								
0.077	0.080	0.082	0.084	0.087	0.089	0.092	0.094		-140	0.094										
0.085	0.087	0.089	0.092	0.094					-150											

Bijlage C
Tabellen scheurwijdte buis Socea type 7563



Nomi.dia. D1 mm	NL m	E mm	D2 mm	D3 mm	D4 mm	D5 mm	e mm	Overlap mm	Wapeningsnet Dwarswikkeling	Injektie gaten	Buis gew. T	Maxi Perskr. T
ø1800 ±12	3,31 +10 -5	150 +15 -7	2100 +11 -7	1874 ±6	2072 ±3 Ovaliteit 6mm	2033 +3 -1	6 ±0,25	40x8 of 50x8	S= 30 cm²/m spoed= 37,7 mm met draad ø 12 mm in DE500BS	2ø1" à 180°	7,7	550
	3,316	in bocht R400m						50x8				

W=19,5 ±2,5mm

Zaak= DZH–Duinwaterleiding

BORING met straal 400m

BOORBUIZEN IN GEWAPEND BETON MET AANGEGOTEN RING, MET PLAATSTALEN KERN EN DUBBELE VOEGVERBINDING
ø1800mm–Nuttige lengte=3,31m

SOCEA
Vaartstraat, 126
B–2520–OELEGEM
Tel 03–4750008
Fax 03–4857877

INDEX	DATUM
A	4–8–1993

PLAN NR.

7563

TABEL 13 SOCEA BUIS MET INWENDIGE DIAMETER 1800 MM.
DRUK IN AXIALE RICHTING

Moment	Scheurwijdte in mm bij een normaalkracht N in kN van :										
kNm	0	-100	-200	-300	-400	-500	-600	-700	-800	-900	-1000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1200	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0	0	0	0	0	0
1400	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0	0
1600	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
1800	0.053	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
2000	0.064	0.061	0.058	0.055	0.052	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
2200	0.075	0.072	0.069	0.066	0.063	0.059	0.056	0.053	0.051	0.051	0.051
2400	0.086	0.083	0.080	0.077	0.074	0.070	0.067	0.064	0.061	0.057	0.055
2600	0.097	0.094	0.091	0.087	0.085	0.081	0.078	0.075	0.072	0.068	0.066
2800	0.108	0.105	0.102	0.098	0.095	0.092	0.089	0.086	0.083	0.079	0.076
3000	0.119	0.116	0.113	0.109	0.106	0.103	0.100	0.096	0.094	0.090	0.087
3200	0.130	0.127	0.124	0.120	0.117	0.114	0.111	0.107	0.105	0.101	0.098
3400	0.141	0.138	0.135	0.131	0.128	0.125	0.122	0.118	0.116	0.112	0.109
3600	0.152	0.149	0.146	0.142	0.139	0.136	0.133	0.129	0.127	0.123	0.120
3800	0.163	0.160	0.157	0.153	0.150	0.147	0.144	0.140	0.137	0.134	0.131
4000	0.174	.171	0.168	0.164	0.161	0.158	0.155	0.151	0.148	0.144	0.142
4200	0.185	0.182	0.179	0.175	0.172	0.169	0.166	0.162	0.159	0.155	0.153
4400	0.196	0.194	0.190	0.186	0.183	0.179	0.177	0.173	0.170	0.166	0.163
4600	0.207	0.205	0.201	0.197	0.194	0.190	0.188	0.184	0.181	0.177	0.174
4800	0.218	0.216	0.212	0.208	0.205	0.201	0.198	0.195	0.192	0.188	0.185
5000		0.227	0.223	0.219	0.216	0.212	0.209	0.205	0.203	0.199	0.196
5200					0.227	0.223	0.220	0.216	0.214	0.210	0.207
5400								0.227	0.225	0.220	0.218

TABEL 14 SOCEA BUIS MET INWENDIGE DIAMETER 1800 MM.
TREK IN AXIALE RICHTING

Moment	Scheurwijdte in mm bij een normaalkracht N in kN van :										
kNm	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.051
800	0	0	0	0	0	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
1000	0	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
1200	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.053
1400	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.054	0.057	0.061	0.064
1600	0.051	0.051	0.051	0.052	0.055	0.058	0.062	0.065	0.069	0.072	0.076
1800	0.053	0.056	0.059	0.063	0.066	0.069	0.073	0.076	0.080	0.083	0.087
2000	0.064	0.067	0.071	0.074	0.077	0.081	0.084	0.087	0.091	0.094	0.098
2200	0.075	0.078	0.082	0.085	0.088	0.092	0.095	0.099	0.102	0.105	0.109
2400	0.086	0.089	0.093	0.096	0.099	0.103	0.106	0.110	0.113	0.117	0.120
2600	0.097	0.100	0.104	0.107	0.110	0.114	0.118	0.121	0.124	0.128	0.131
2800	0.108	0.112	0.115	0.118	0.122	0.125	0.129	0.132	0.135	0.139	0.142
3000	0.119	0.123	0.126	0.129	0.133	0.136	0.140	0.143	0.146	0.150	0.154
3200	0.130	0.134	0.137	0.140	0.144	0.147	0.151	0.154	0.158	0.161	0.165
3400	0.141	0.145	0.148	0.151	0.155	0.158	0.162	0.166	0.169	0.172	0.176
3600	0.152	0.156	0.159	0.162	0.166	0.170	0.173	0.177	0.180	0.183	0.187
3800	0.163	0.167	0.170	0.173	0.177	0.181	0.184	0.188	0.191	0.195	0.198
4000	0.174	0.178	0.182	0.185	0.188	0.192	0.195	0.199	0.202	0.206	0.209
4200	0.185	0.189	0.193	0.196	0.199	0.203	0.207	0.210	0.213	0.217	0.221
4400	0.196	0.200	0.204	0.207	0.210	0.214	0.218	0.221	0.224	0.228	
4600	0.207	0.211	0.215	0.218	0.221	0.225					
4800	0.218	0.222	0.226								
5000											
5200											
5400											

TABEL 15 SOCEA BUIS, PLAN NUMMER 7563, MET DIAMETER 1800 - 2100 MM

POSITIEF MOMENT IN TANGENTIELE RICHTING

Scheurwijdte in mm bij een normaalkracht N in kN van :									Moment	Scheurwijdte in mm bij een normaalkracht N in kN van :										
-900	-800	-700	-600	-500	-400	-300	-200	-100	kNm	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.023	0.025	0.031	0.038	0.046	0.054
0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0.021	0.028	0.038	0.048	0.058	0.070	0.082	0.094
0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0.018	0.021	0.028	0.034	0.042	0.052	0.063	0.074	0.086	0.099
0	0	0	0	0	0	0	0	0.017	30	0.020	0.025	0.031	0.038	0.044	0.052	0.060	0.068	0.079	0.091	0.104
0	0	0	0	0	0.017	0.017	0.021	0.025	40	0.029	0.035	0.041	0.048	0.055	0.062	0.071	0.079	0.089	0.098	0.109
0	0	0	0.017	0.019	0.023	0.026	0.030	0.034	50	0.038	0.044	0.051	0.058	0.065	0.073	0.081	0.090	0.100	0.110	0.120
0.017	0.017	0.020	0.024	0.028	0.031	0.035	0.039	0.043	60	0.047	0.054	0.061	0.068	0.076	0.084	0.093	0.102	0.111	0.122	0.132
0.022	0.026	0.029	0.033	0.037	0.040	0.044	0.048	0.052	70	0.057	0.063	0.070	0.078	0.086	0.095	0.104	0.113	0.123	0.134	0.144
0.031	0.035	0.038	0.042	0.046	0.049	0.053	0.057	0.061	80	0.066	0.073	0.080	0.088	0.097	0.105	0.115	0.125	0.135	0.146	0.155
0.040	0.043	0.047	0.051	0.055	0.058	0.062	0.066	0.071	90	0.075	0.082	0.090	0.098	0.107	0.116	0.126	0.136	0.146		
0.049	0.052	0.056	0.060	0.064	0.068	0.071	0.075	0.080	100	0.084	0.092	0.100	0.109	0.118	0.127	0.138				
0.058	0.061	0.065	0.069	0.073	0.077	0.081	0.085	0.089	110	0.093	0.101	0.110	0.119	0.129						
0.067	0.070	0.074	0.078	0.082	0.086	0.090	0.094	0.098	120	0.102	0.116	0.120								
0.076	0.079	0.083	0.087	0.091	0.095	0.099	0.103	0.112	130	0.112										
0.085	0.088	0.092	0.096	0.100	0.104	0.112			140											
0.094	0.097	0.101	0.105	0.112					150											
0.103	0.106								160											

TABEL 16 SOCEA BUIS, PLAN NUMMER 7563, MET DIAMETER 1800 - 2100 MM.

NEGATIEF MOMENT IN TANGENTIELE RICHTING

Scheurwijdte in mm bij een normaalkracht N in kN van :									Moment	Scheurwijdte in mm bij een normaalkracht N in kN van :										
-900	-800	-700	-600	-500	-400	-300	-200	-100	kNm	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.015	0.016	0.019	0.023	0.028
0	0	0	0	0	0	0	0	0	-10	0	0	0	0.013	0.017	0.023	0.028	0.340	0.041	0.047	0.054
0	0	0	0	0	0	0	0	0	-20	0	0.012	0.015	0.019	0.024	0.030	0.036	0.042	0.049	0.055	0.063
0	0	0	0	0	0	0	0.011	0.012	-30	0.015	0.018	0.022	0.027	0.032	0.037	0.043	0.050	0.057	0.064	0.071
0	0	0	0	0.011	0.012	0.014	0.017	0.020	-40	0.022	0.026	0.030	0.035	0.040	0.045	0.051	0.058	0.065	0.072	0.080
0	0.011	0.012	0.014	0.017	0.019	0.022	0.024	0.027	-50	0.030	0.034	0.038	0.043	0.048	0.053	0.059	0.066	0.073	0.080	0.088
0.014	0.016	0.019	0.021	0.024	0.026	0.029	0.031	0.034	-60	0.037	0.041	0.046	0.051	0.056	0.062	0.068	0.074	0.081	0.089	0.097
0.021	0.024	0.026	0.028	0.031	0.034	0.036	0.039	0.042	-70	0.044	0.049	0.054	0.059	0.065	0.070	0.076	0.083	0.090	0.097	0.106
0.028	0.031	0.033	0.036	0.038	0.041	0.043	0.046	0.049	-80	0.052	0.057	0.062	0.067	0.073	0.079	0.085	0.092	0.099	0.103	0.114
0.035	0.038	0.040	0.043	0.046	0.048	0.051	0.053	0.056	-90	0.059	0.064	0.070	0.075	0.081	0.087	0.094	0.101	0.108	0.115	0.123
0.043	0.045	0.048	0.050	0.053	0.055	0.058	0.061	0.064	-100	0.066	0.072	0.078	0.083	0.090	0.096	0.103	0.110	0.117	0.124	0.132
0.050	0.052	0.055	0.057	0.060	0.063	0.065	0.068	0.071	-110	0.074	0.079	0.085	0.092	0.098	0.105	0.111	0.119	0.126	0.133	0.136
0.057	0.060	0.062	0.065	0.067	0.070	0.073	0.075	0.078	-120	0.081	0.087	0.093	0.100	0.106	0.113	0.122	0.126	0.129		
0.064	0.067	0.069	0.072	0.075	0.077	0.080	0.083	0.086	-130	0.089	0.095	0.101	0.108	0.115	0.119					
0.071	0.074	0.077	0.079	0.082	0.085	0.087	0.090	0.093	-140	0.096	0.102	0.108	0.112							
0.079	0.081	0.084	0.086	0.089	0.092	0.095	0.097	0.101	-150	0.101										
0.086	0.088	0.091	0.094	0.096	0.099				-160											
0.093	0.096	0.098							-170											

Grontmij Groep

A 9066

Verantwoordelijk voor dit boek!
ir Bruggeman.

Rohrleitungen

Theorie und Praxis

9701.20.

Gemeinsam mit zahlreichen Fachleuten
bearbeitet und herausgegeben von

Dr.-Ing. S. Schwaigerer

Geschäftsführer der Thyssen Rohrleitungsbau GmbH Düsseldorf

Mit 802 Abbildungen

Springer-Verlag
Berlin/Heidelberg/New York
1967

schwimmen [*12*], Durchpressen [*15, 25*] usw. sind schon bei Bemessung und Herstellung der Rohre zu berücksichtigen.

Um schon beim Verlegen der Rohre die Gewähr für einwandfrei dichte Rohrstöße zu haben und um Abschnittsprüfungen zu sparen, werden vielfach mittels Fugenprüfgeräten die einzelnen Rohrstöße entsprechend dem Verlegefortschritt abgepreßt.

4.8 Prüfungen

4.8.1 Prüfungen im Werk

Zur Bestimmung der Rißlast und Bruchlast werden Scheiteldruckprüfungen vorgenommen. Die Prüfung erfolgt entsprechend DIN 4035, DIN 4036 und DIN 52150. Die Laststufe, bei welcher ein Riß von 0,2 mm Weite und gleichzeitig min. 300 mm Länge oder darüber auftritt, wird als *Rißlast* definiert. Die *Bruchlast* (Scheiteldruckfestigkeit) ist erreicht, wenn die Lastanzeige am Manometer bei fortwährendem Zusammendrücken der Rohre nicht mehr steigt.

Der Innendruckprüfung im Werk werden Stahlbetondruckrohre und Spannbetondruckrohre nach DIN 4036 unter Beachtung von DIN 50104 und DIN 50105 mit dem 1,6-fachen des Betriebsdruckes unterworfen, jedoch mindestens mit 2,0 kp/cm².

Während nach DIN 4036 von Stahlbetondruckrohren mindestens 0,5% der hergestellten Rohre im Werk auf Innendruck zu prüfen sind, ist es bei Spannbetondruckrohren üblich, jedes Rohr einer Schnellprüfung zu unterwerfen.

4.8.2 Grabendruckprüfung von Leitungen

Mit Rücksicht auf die Beweglichkeit der Stoßverbindungen von Druckrohren aus Stahlbeton und Spannbeton sind die Rohre bei der Prüfung besonders sorgfältig in ihrer Lage durch teilweises Andecken, Feststampfen usw. zu fixieren, wobei jedoch die Muffen zur Kontrolle eventueller Undichtigkeiten frei bleiben

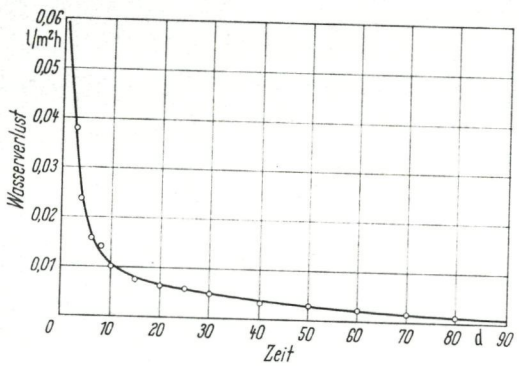


Abb. 4.8/1. Wasserverlust einer Leitung aus Spannbetondruckrohren bei der Grabendruckprüfung (NW 600, p = 14,4 kp/cm², Bauart Züblin)

müssen (DIN 4033). Die Höhe des Grabenprüfdrucks ist in den für die Grabendruckprüfung geltenden Richtlinien DIN 4037 mit dem 1,4-fachen des Betriebsdruckes festgelegt. Vor der eigentlichen Prüfung muß die Leitung eine von der Wanddicke der Rohre, Höhe des Betriebsdrucks und den Witterungsverhältnissen abhängige, ausreichend lange Zeit gefüllt stehen, um eine Wassersättigung der Rohrwandungen zu gewährleisten.

Bei Stahlbeton- und Spannbetondruckrohren wird grundsätzlich nicht der Druckabfall innerhalb eines bestimmten Zeitraumes gemessen, sondern die Wasserzugabe, wobei durch laufendes Nachpumpen der Grabenprüfdruck in der vorgeschriebenen Höhe gehalten und die Menge des nachgepumpten Wassers bestimmt wird. Als zulässige Wasserzugabe wird nach MARQUARDT [7] 0,15 Liter pro Quadratmeter benetzte Rohrinnenfläche und Stunde angegeben. Infolge der sogenannten Sinterung bzw. Selbstdichtung, d. h. der Bildung von Kalksilikatgelen, des Betons nimmt der Anfangswasserverlust laufend ab, wie z. B. **Abb. 4.8/1** [*14*] zeigt.

4.9 Ortbetonleitungen

Falls Schwierigkeiten beim Transport oder der Verlegung von vorgefertigten Rohren in ungünstigem Gelände bestehen, die Leitungsdurchmesser sehr groß sind oder örtliche Sand-, Kies- bzw. Gesteinsvorkommen als Zuschlagstoffe für die Betonherstellung benützt werden sollen, kommen an Ort betonierte Rohrleitungen aus Stahlbeton und Spannbeton in Betracht. Aus hydraulischen Gründen wird ebenfalls wie bei vorgefertigten Rohren der kreisförmige Querschnitt bevorzugt. Es wird dabei baustellenmäßig mit Holz- oder häufiger mit Metallschalungen gearbeitet, die bei offener Baugrube entweder mittels Portalkran, Bagger o. ä. versetzt werden oder aber beim Betonieren von Druckstollen auf einem Gerüst montiert selbst fahrbar sind.

Die schlaffe Bewehrung für Druckleitungen aus Stahlbeton kann sinngemäß wie unter Abschn. 4.2.1 beschrieben gefertigt werden. Für Druckleitungen aus Spannbeton wird für die Vorspannung in Quer- und Längsrichtung mit in Hülsen eingelegten Spanngliedern, die zur Herstellung des Verbunds nachträglich ausgepreßt werden, u. a. gearbeitet. Die Betonierung erfolgt mit den üblichen baustellenmäßigen Verfahren, wobei auf die Gleichmäßigkeit des Betons, die von der Witterung, der Zuverlässigkeit des eingesetzten Personals usw. beeinflußt werden kann, besonders zu achten ist. Ebenfalls muß der Anordnung von Betonierfugen (Betonieren auf Lücke) in Längsrichtung der Leitung, um dem Schwinden des Betons zu begegnen, Beachtung geschenkt werden, wie außerdem überhaupt eine genügend große Anzahl von Querfugen vorzusehen ist, die mit Fugenbändern aus Metall oder Kunststoff gedichtet werden können. Betonierfugen auf dem Rohrumfang der Leitung sollten tunlichst vermieden werden.

Für die Nachbehandlung sind ebenfalls Maßnahmen zu treffen, die ein vorzeitiges Austrocknen infolge Wind oder Sonnenbestrahlung verhindern, z. B. durch Abdecken mit Matten, Beregnung oder Aufsprühen eines bituminösen Nachbehandlungsfilms, welcher dem Beton das zum Abbinden notwendige Wasser erhält.

4.10 DIN-Vorschriften

		letzte Ausgabe
DIN 1045	Bestimmungen des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Teil A, Bestimmungen für Ausführung von Bauwerken aus Stahlbeton	November 1959
DIN 4032	Rohre und Formstücke aus Beton. Abmessungen, Herstell- und Gütebestimmungen, Prüfung. — Bl. 1	April 1959 (September 1960)
	Rohre und Formstücke aus Beton. Technische Lieferbedingungen. — Bl. 2	April 1959
	Richtlinien für die Beförderung. — Beiblatt	Juli 1939

DIN 4033	Entwässerungskanäle und -leitungen aus vorgefertigten Rohren. Richtlinien für die Ausführung	Mai 1963
DIN 4034	Schachtringe, Schachthälse, Auflagering aus Beton. Bedingungen für Lieferung und Prüfung	September 1954 (Juni 1962)
DIN 4035	Stahlbetonrohre. Bedingungen für die Lieferung und Prüfung.	Mai 1939
DIN 4036	Stahlbetondruckrohre. Bedingungen für die Lieferung und Prüfung	Mai 1939
DIN 4037	Stahlbetondruckrohre. Richtlinien für die Abnahme von Stahlbetondruckrohrleitungen	Mai 1939
DIN 4224	Bemessung im Stahlbetonbau	Dezember 1959
DIN 4227	Spannbeton. Richtlinien für Bemessung und Ausführung	Oktober 1953 (Mai 1960)
DIN 50104	Innendruckversuch für Hohlkörper beliebiger Form bis zu einem bestimmten Innendruck (Abdrückversuch).	Januar 1947
DIN 50105	Innendruckversuch für Hohlkörper beliebiger Form bis zur Zerstörung des Probestücks.	Januar 1947
DIN 52150	Prüfung von Rohren aus spröden Stoffen. Widerstandsfestigkeit gegen Scheiteldruck (Scheiteldruckfestigkeit)	Juni 1938 (März 1955)

Schrifttum

[1] Marquardt, E.: Rohrleitungen und geschlossene Kanäle, Handbuch für Eisenbetonbau, IX. Band, 2. Teil, 4. Kapitel, 4. Aufl. Berlin: Ernst & Sohn, 1934.

[2] Marquardt, E.: Beton- und Eisenbetonleitungen — ihre Belastung und Prüfung. Berlin: Ernst & Sohn, 1934.

[3] Voellmy, A.: Die Bruchsicherheit eingebetteter Rohre. Bericht Nr. 35 der Eigdenössischen Materialprüfungs- und Versuchsanstalt für Industrie, Bauwesen und Gewerbe. Schweizerischer Verband für die Materialprüfungen der Technik. Zürich und Leipzig: Buchdruckerei AG Gebr. Leemann & Co., 1937.

[4] Voellmy, A.: Eingebettete Rohre. Statische Untersuchung überschütteter Leitungen mit Berücksichtigung ihrer Elastizität, Zürich und Leipzig: Buchdruckerei AG. Gebr. Leemann & Co, 1937.

[5] Guerrin, A. und G. Daniel: Le calcul des tuyaux en béton armé et non armé. Paris: Editions Eyrolles, 1952.

[6] Marquardt, E.: Fortschritte in der Herstellung von Beton- und Stahlbetonrohren. Betonsteinzeitung H. 7 (1952) 251.

[7] Marquardt, E.: Fortschritte bei der Bemessung und Bauausführung von Beton- und Stahlbetonleitungen. Die Bauwirtschaft, H. 44 (1952) 1027, H. 45 (1952) 1051 und H. 46 (1952) 1076.

[8] Marquardt, E.: Fortschritte bei Stoßverbindungen von Beton- und Stahlbetonrohren. Betonsteinzeitung H. 12 (1952) 433.

[9] Guerrin, A. und G. Daniel: La fabrication et l'utilisation des tuyaux en béton armé et non armé. Paris: Editions Eyrolles. 1953.

[10] Girkman, K.: Flächentragwerke, Einführung in die Elastostatik der Scheiben, Platten, Schalen und Faltwerke. 3. Aufl., Wien: Springer 1954.

[11] Turazza, G.: Tubi in cemento armato di grande diametro. Roma: Tipografia Pio X. 1956.

[12] Hahn, V.: Abwasserdüker unter dem Neckar bei Heilbronn mit Schleuderbetonrohren. Die Bauwirtschaft H. 2 (1957) 38.

[13] Roske, K.: Die Bemessung der Beton- und Stahlbetonrohre als Rohrdurchlässe bei Verkehrswegen. Betonstein-Jahrbuch 1958, S. 157 Wiesbaden/Berlin: Bauverlag 1958.

[14] Lenz, D.: Schleuderbeton-Vorspannrohre. Betonsteinzeitung H. 11 (1958) 411.