

**TOETSING WBE LEIDINGKRUISINGEN MET
HOOFDWATERKERINGEN AANGELEGD VOOR 1972**

Tussenrapportage van het onderzoek naar de sterkte
en het gedrag van de WBE leidingkruisingen met een
diameter groter of gelijk aan 500 mm.

Rapportnr. : SP-2001-022

Projectcode : E3178
Datum : 7 februari 2002
Status/versie : A

Opdrachtgever:
Waterbedrijf Europoort

Ingenieursbureau

Opsteller:
ir. H.M. Ufkes

Paraaf:

Datum :

[Handwritten signature]
7/2/2002

INHOUDSOPGAVE

1. INLEIDING EN DOELSTELLING	3
2. HISTORIE VAN DE BEREKENINGSGANG EN SAMENVATTING	4
3. TOETSEN LEIDINGEN VOLGENS DE LTOV	11
4. LOCATIES, TRACÉS EN LENGTEPROFIELEN	11
5. DIAMETERS, WANDDIKTES, RINGSTIJFHEID EN OPLEGHOEK	12
6. MATERIAALKWALITEIT	12
7. ALGEMENE UITGANGSPUNTEN VOOR DE BEREKENINGEN	12
8. ZETTINGSVERLOOP	12
9. BIJLAGEN	14

1. INLEIDING EN DOELSTELLING

In het kader van de wet op de waterkeringen, die van kracht werd op 1 januari 1996, dienen de leidingen die een hoofdwaterkering kruisen of parallel aan de hoofdwaterkering binnen de veiligheidszone liggen te voldoen aan een veiligheidstoetsing, die onderdeel is van de toetsing van de hoofdwaterkering. Voor de transportleidingen van WBE is in dit kader in eerste instantie een inventarisatie van de kruisingen van de transportleidingen gemaakt door Waterbedrijf Europoort (WBE) in samenwerking met de betrokken waterschappen als beheerders van de waterkeringen. In overleg met Provincie Zuid-Holland (PZH), als adviseur van de waterschappen, is bepaald dat, in analogie met de "Leidraad Toetsen op Veiligheid" (LToV) van de T.A.W., alleen de leidingen gelegd voor 1972 met een diameter $D_n \geq 500$ mm zullen worden getoetst aan de criteria gesteld in de LToV. Er wordt daarbij van uitgegaan dat de leidingkruisingen die na 1972 zijn aangelegd, dit is het jaar van de eerste uitgave van de Pijpleidingcode (PC) Zuid-Holland, liggen met een vergunning, waarvoor indertijd bij de aanvraag sterkteberekeningen zijn gemaakt en getoetst zijn volgen de PC. Die leidingen voldoen op grond van die toetsing zonder meer aan de toetsing volgens de LToV. De kruisingen met hoofdwaterkeringen, die aan de toetsing zijn onderworpen, zijn weergegeven in bijlage 1

2. HISTORIE VAN DE BEREKENINGSGANG EN SAMENVATTING

De toetsing van de leidingen met $D_n \geq 500$ mm en gelegd voor 1972 kan in de volgende fasen worden onderverdeeld:

1. Doorsnedeberoeeningen van de leidingen. De resultaten zijn weergegeven in bijlage 2.
2. Toetsing van de leidingen met de in de LToV, katern 7, omschreven belastingen en randvoorwaarden, die in overleg met PZH zijn aangepast (bijlage 1). Deze spanningstoetsing is uitgevoerd met de formules uit de LToV, die ondergebracht zijn in een spreadsheet in EXEL. Resultaten zijn weergegeven in bijlage 3.
3. Naar aanleiding van de resultaten van de onder 2 genoemde berekeningen, die tot extreem hoge spanningsniveaus leidden, zijn op initiatief van WBE op basis van dezelfde set van belastingen en randvoorwaarden berekeningen middels het computerprogramma PLE, voor de rechte leidingen gemaakt. In de PLE-berekeningen zijn een drietal vormen van het zettingsverloop verdisconteerd nl. sinusvormig, driehoekig en sprongzetting. De lengte waarover het zettingsverschil optreedt is aangenomen op 2 x 20 m. Voorts zijn de belastingen en randvoorwaarden gelijk gehouden aan de berekeningen uitgevoerd in fase 2. Wel is in de PLE-berekeningen de passieve grondreactie verdisconteerd in plaats van de neutrale verticale grondreactie.
De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in bijlage 4.
De resultaten tonen onder meer aan dat de formules in de LToV, katern 7, die overeenkomen met de formules en constanten weergegeven in NEN 3651 en NEN 3652, niet correct zijn. Op grond hiervan is door WBE besloten om de nog te maken berekeningen uit te voeren met behulp van het computerprogramma PLE
4. Om de invloed van de geometrie op de resultaten van de berekeningen te onderkennen zijn na fase 3 met behulp van de revisietekeningen de configuraties van de betreffende kruisingen in PLE-berekeningen ondergebracht en zijn berekeningen gemaakt, waarin het leidingmateriaal als lineair elastisch is aangenomen. Voor de segmentbochten zijn in de berekeningen vervangende gebogen bochten verdisconteerd met dezelfde spanningsconcentraties als voor de segmentbochten. De vervangende bochtstraal is bepaald op basis van de formules weergegeven in de PC, pag. 110, waarbij uitgegaan is van de "widely spaced" bends. In deze berekeningen zijn geen rekenfactoren en geen schadefactoren verdisconteerd. De grondmechanische parameters zijn bepaald op grond van de veronderstelling dat de leidingen in de klei liggen, op grond hiervan is geen horizontale grondsteundruk in de berekeningen verdisconteerd. Het zettingsverschil van 500 mm is verondersteld op te treden tussen de teenlijnen van de betreffende waterkering. Een lijst met voorlopige resultaten is weergegeven in bijlage 5.

De resultaten van de berekeningen toonden onder meer aan dat de $\varnothing 1272/11$ mm kruising met de Ringdijk van Pernis, in beheer bij het Waterschap

IJsselmonde, tot de grootste spanningen leidde.

5. In deze fase is voor de $\varnothing$ 1272/11 mm kruisingen met de hoofdwaterringen de dikte van de samendrukbare lagen onderzocht en weergegeven in rapport 1999-131 van Ingenieursbureau van Gemeentewerken Rotterdam (bijlage 6). Met behulp hiervan zijn de zettingsverlopen voor een aantal van de in fase 4 berekende kruisingen aangepast en opnieuw berekend. De resultaten van deze berekeningen zijn eveneens weergegeven in bijlage 6. Ook uit deze berekeningsresultaten bleek dat de kruising met de Ringdijk van Pernis, in beheer bij het Waterschap IJsselmonde, tot de grootste spanningen leidt. Daarom is, in overleg met PZH, besloten om deze maatgevende kruising verder uit te werken.
6. In deze fase is de kruising van de TL24, $\varnothing$ 1272/11 mm, met de ringdijk van Pernis nader uitgewerkt. Hiertoe is door WBE een inmeting van de leiding uitgevoerd. De resultaten van de meting zijn vergeleken met de hoogteligging volgens de revisietekening. Het verschil tussen deze twee hoogtes is als zettingsverloop in de PLE-berekeningen ingevoerd. Door het Ingenieursbureau van Gemeentewerken Rotterdam is aanvullend grondonderzoek gedaan nabij de leiding in de kruising en met behulp van de resultaten zijn de grondparameters voor de leiding bepaald, uitgaande van de dekking op basis van de revisietekening (bijlage 7, grondparameters 02-apr-01). Tevens zijn de nog te verwachten zettingen langs de leiding bepaald. Voorts is het materiaalgedrag als lineair elastisch beschouwd. In de PLE-berekeningen zijn nog geen rekenfactoren, schadefactor, nog te verwachten zettingen en verkeersbelastingen verdisconteerd. Ter plaatse van het gedeelte van de leiding dat in het zand ligt is gerekend met de neutrale horizontale grondsteundruk. De resultaten van de berekeningen leidden nog niet tot acceptabele spanningsniveaus. Een overzicht van de resultaten is weergegeven in bijlage 7.
7. In deze fase is het plastisch materiaalgedrag in de berekeningen verdisconteerd met overigens dezelfde uitgangspunten en randvoorwaarden als in de berekeningen in fase 6, behalve de grondparameters. De grondparameters zijn opnieuw bepaald rekening houdend met de actuele dekking op de leiding (zie bijlage 9.1, grondparameters 10-okt-01). De situatie onder inwendige druk en drukloos zijn berekend. Waarbij de drukloze situatie tot een rekenkundig stabiliteitsprobleem in PLE leidde als gevolg van het nog niet kunnen verdisconteren van de horizontale grondsteundruk in functie 5 van het programma PLE.
In deze fase zijn de rekenfactoren, schadefactor en te verwachten zettingen in de berekeningen verdisconteerd. Tevens is in overleg met PZH de inwendige druk bepaald die qua rerounding tot dezelfde omtreksbuigspanningen leidt als de horizontale grondsteundruk. Deze bepaling is gemaakt op basis van doorsnede-berekeningen met de neutrale grondbelasting ter plaatse van de locatie waar de grootste spanningen optraden in de elastische berekeningen. Met deze druk is de drukloze situatie benaderd. Voor de toetsrekken is uitgegaan van $\epsilon_{\text{plast toel.}} = 1.5 \%$ op basis van de aanname dat het plastische rektraject voor de onderhavige staalsoort ongeveer 2 % zal bedragen en de schadefactor 0.75 is. In

bijlage 8 is een bespreking van de resultaten in het besprekingsverslag nr. 9 weergegeven. Tevens zijn in dit verslag afspraken weergegeven die gemaakt zijn ten aanzien van de aanpassing van de uitgangspunten voor de berekeningen om tot een aangescherpte benadering te komen.

8. In deze fase zijn de navolgende aanpassingen verdisconteerd (zie ook bijlage 8):
- De vervangende bochtstralen in de berekening zijn aangepast op basis van equivalente stijfheid, $R = 4246 \text{ mm}$;
 - De toetsrek is conform NEN 3650 op 0.5 % gesteld;
 - De schadefactor, $S = 0.75$, is als reciproque waarde in de belastingfactoren verdisconteerd;
 - De neutrale horizontale grondsteundruk is in de berekeningen met lineair elastisch leidingmateriaalgedrag, waarbij de leiding onder inwendige druk staat, verdisconteerd De vermenigvuldigingsfactor ($LAMBDA_{\text{neutraal}}$) van verticale gronddruk naar horizontale gronddruk is bepaald uit de grondmechanische parameters door de neutrale horizontale gronddruk te delen door de neutrale belasting.
 - Voor de drukloze belastingsituaties is iteratief een vermenigvuldigingsfactor $LAMBDA_{\text{passief}} = 0.85$ bepaald, waarbij het deflectiepatroon van de maximaal belaste doorsnede nog juist resulteert in een buitenwaarts gerichte horizontale deflectie.
 - Op basis van $LAMBDA_{\text{passief}} = 0.85$ is iteratief uit een aantal lineair elastische berekeningen een inwendige druk berekend, die middels de rerounding ter plaatse van het maximale buigend moment dezelfde maximale omtreksbuigspanningen oplevert als de horizontale grondsteundruk. Deze druk bleek 1.625 N/mm^2 te zijn (zie bijlage 9.2).

In eerste instantie zijn met bovengenoemde aangepaste gegevens de volgende berekeningen met lineair elastisch leidingmateriaalgedrag gemaakt:

Berekening	Berekeningen met lineair elastisch leidingmateriaalgedrag; belastingen en randvoorwaarden
RQ3PODZO (bijlage 9.3.1)	- Inwendige druk 5 bar $f \times S = 1.39 \times 1.33$ - Eigen gewicht: $f \times S = 1.5 \times 1.33$ - Zettingsverschillen tot nu toe: $ozf \times f \times S = 1.0 \times 1.5 \times 1.33$ - Neutrale grondbelasting: $ozf \times f \times S = 1.1 \times 1.5 \times 1.33$ - Neutrale horizontale grondsteundruk ($LAMBDA_{\text{neutraal}}$) - Opleghoek $\beta = 120^\circ$
RQ3PODZV (bijlage 9.3.2)	- Als RQ3PODZO; - Verkeersbelasting kl. 450 t.p.v. de Weg: $f \times S = 1.5 \times 1.33$
RQ300DZO (bijlage 9.3.3)	- Als RQ3PODZO; - drukloos; - Passieve horizontale grondsteundruk ($LAMBDA_{\text{passief}} = 0.85$)
RQ300DZV (bijlage 9.3.4)	- Als RQ300DZO; - Verkeersbelasting kl. 450 t.p.v. de Weg: $f \times S = 1.5 \times 1.33$

Uit de resultaten van deze berekeningen blijkt dat de spanningen maximaal zijn ter plaatse van de verticale bocht boven in het lengteprofiel gelegen ter plaatse van de weg. De invloed van de verkeersbelasting is daarbij minimaal.

De maximale vergelijkspanningen in de bocht bedragen:

–Onder druk: $S_{v4 \max}/1.5 = 140 \% R_{eb}$
–Drukloos: $S_{v4 \max}/1.5 = 198 \% R_{eb}$

Na de berekeningen met lineair elastisch leidingmateriaalgedrag zijn berekeningen gemaakt rekening houdend met het plastische leidingmateriaalgedrag. In de berekeningen is een toetswaarde voor de elastische + plastische rek van CHKEPS = 0.5 % ingevoerd.

In de berekeningen met behulp van PLE, waarin het plastische leidingmateriaalgedrag wordt verdisconteerd, zijn gedurende de iteratieve berekeningen voor de drukloze toestand dermate grote deflecties berekend dat de grenswaarde voor de deflectie van de doorsnede wordt overschreden. Op grond hiervan is een toets in het programma ingebouwd waardoor het programma stopt met rekenen. De oorzaak voor de grote deflectie is het ontbreken in het rekenmodel van de horizontale passieve grondsteundruk, die als gevolg van de deflectie van de doorsnede naast de leiding ontstaat, waardoor de deflecties beperkt worden. In de berekeningen, waarin de ontwerpdruk is verdisconteerd, worden de deflecties van de doorsnede beperkt door het ontstaan van het rerounding effect als gevolg van de inwendige druk. De ingevoerde ontwerpdruk in de berekeningen is kennelijk in staat om de ringvormige doorsnede van de leiding zodanig te verstijven dat er geen instabiliteit van doorsneden in de berekeningen met inwendige druk optreedt.

In overleg (zie bijlage 8, verslag bespreking nr. 9) is besloten om een druk in de berekeningen te verdisconteren die, door de bijbehorende rerounding, dezelfde omtreksbuigspanningen (SFI/ORI) oplevert als de passieve horizontale grondsteundruk, die kan ontstaan. De bovengrens voor de horizontale grondsteundruk is hierbij de neutrale horizontale grondsteundruk vermeerderd met de grondsteundruk berekend met behulp van de IOWA-formule (NEN 3650, bijlage C3.3.2).

Voor de berekening van de drukloze toestand van de leiding is als equivalent voor de passieve horizontale grondsteundruk de bovengenoemde druk $p = 1.625 \text{ N/mm}^2$ ingevoerd. De volgende berekeningen zijn gemaakt:

Berekening	Belastingen en randvoorwaarden
PQ3P0000 (bijlage 9.4.1)	– Inwendige druk $16.25 \text{ bar "f" } \times S = 0.75 \times 1.33 = 1.00$
PQ3P0DZ0 (bijlage 9.4.2)	– Inwendige druk $16.25 \text{ bar "f" } \times S = 0.75 \times 1.33 = 1.00$ – Eigen gewicht: $f \times S = 1.5 \times 1.33$ – Zettingsverschillen tot nu toe: $ozf \times f \times S = 1.0 \times 1.5 \times 1.33$ – Neutrale grondbelasting: $ozf \times f \times S = 1.1 \times 1.5 \times 1.33$ – Opleghoek $\beta = 120^\circ$
PQ3P0DZV (bijlage 9.4.3)	– Als PQ3P0DZ0; – Verkeersbelasting kl. 450 t.p.v. de Weg: $f \times S = 1.5 \times 1.33$
PQ4P0DZ0 (bijlage 9.4.4)	– Inwendige druk $16.25 \text{ bar } f \times S = 0.75 \times 1.33 = 1.00$ – Eigen gewicht: $f \times S = 1.5 \times 1.33$ – Zettingsverschillen tot nu toe: $ozf \times f \times S = 1.0 \times 1.5 \times 1.33$ – Te verwachten zettingsverschillen: $ozf \times f \times S = 1.5 \times 1.5 \times 1.33$ – Neutrale grondbelasting: $ozf \times f \times S = 1.1 \times 1.5 \times 1.33$ – Opleghoek $\beta = 120^\circ$
PQ4P0DZV (bijlage 9.4.5)	– Als PQ4P0DZ0; – Verkeersbelasting kl. 450 t.p.v. de Weg: $f \times S = 1.5 \times 1.33$

De berekening PQ3P0000 is gemaakt om de rekken, resulterend uit de daarop volgende berekeningen, te kunnen corrigeren, omdat in die berekeningen door de inwendige druk een deel van de rekken resulteren uit de druk die de rerounding moet leveren ter compensatie van de horizontale grondsteundruk. Correctie van de rekken uit de berekeningen met de belastingen in de nul-druk situaties, door er de rekken die door de "druk" worden veroorzaakt van af te trekken, gaat voorbij aan het in hoge mate niet lineaire karakter van materiaal, geometrie en grondgedrag. Uit de berekeningen resulteren de volgende maximale rekken uit de tabel CEPSP als percentage van de toetsrek CHKEPS = 0.5 %.

Berekening	eXS-M _{max} % CHKEPS	eFS-M _{max} % CHKEPS	eEqS-M _{max} % CHKEPS
PQ3P0000 (bijlage 9.4.1)	3.6 (EL34) 2.9 (EL41)	8.7 (EL34) 8.6 (EL41)	7.7 (EL34) 7.5 (EL41)
PQ3PODZO (bijlage 9.4.2)	51.2 (EL34)	54.0 (EL34)	73.6 (EL34)
PQ3PODZV (bijlage 9.4.3)	51.2 (EL34)	54.0 (EL34)	73.6 (EL34)
PQ4PODZO (bijlage 9.4.4)	60.0 (EL41)	61.0 (EL41)	84.7 (EL41)
PQ4PODZV (bijlage 9.4.5)	60.0 (EL41)	61.0 (EL41)	84.7 (EL41)

De maximale waarden treden op in de vervangende bochten boven in de waterkering. EL34 is gelokaliseerd in de verticale bocht en EL41 in de horizontale bocht. De maximale rekken eXS-M, eFS-M en eEqS-M worden veroorzaakt door de "spannings"concentratie factoren in de bochten en daardoor treedt er geen zichtbaar verschil op als gevolg van de verkeersbelasting.

In de volgende tabel zijn voor de elementen EL34 en EL41 de gecorrigeerde maximale uniaxiale waarden met de bijbehorende hoekaanduiding over de omtrek weergegeven. In de onderstaande tabel zijn door het ontbreken van een adequaat theorema de equivalente rekken niet weergegeven.

Berekening	eXS-M _{max} % CHKEPS	eFS-M _{max} % CHKEPS
PQ3PODZO EL34 gecorrigeerd (tabel PQ30MPLE) (bijlage 9.4.2)	47.4 (32.5°) (140.0°) 35.1 (167.5°)	44.4 (167.5°) 7.8 (32.5°) 9.6 (140.0°)
PQ3PODZV EL34 gecorrigeerd (tabel PQ3VMPLE) (bijlage 9.4.3)	47.4 (32.5°) (140.0°) 35.1 (167.5°)	44.4 (167.5°) 7.8 (32.5°) 9.6 (140.0°)
PQ4PODZO EL41 gecorrigeerd (tabel PQ4M-PLP) (bijlage 9.4.4)	57.3 (92.5°) (95.0°) 35.4 (260.0°) 36.9 (262.5°)	51.7 (260.0°) (262.5°) 28.0 (92.5°) 21.6 (95.0°)
PQ4PODZV	57.3 (92.5°)	51.7 (262.5°)

EL41 gecorrigeerd (tabel PQ4VMPLE) bijlage 9.4.5)	36.9	(95.0°) (262.5°)	28.0	(92.5°) (95.0°)
--	------	---------------------	------	--------------------

De resulterende maximale uniaxiale rekken uit de berekeningen, gevonden op de boven beschreven manier bedragen:

$$eXS-M_{\max} = 57.3 \%CHKEPS$$

$$eFS-M_{\max} = 51.7 \%CHKEPS$$

In de berekeningen is als maximaal toelaatbare elastische + plastische rek ingevoerd:

$$CHKEPS = 0.5 \% \text{ (NEN 3650, art. 10.7.3.b)}$$

Conclusie:

De berekende maximale uniaxiale rekken voldoen aan het in NEN 3650, art. 10.7.3 gestelde rek criterium van 0.5 %

9. In deze fase zijn de navolgende aanpassingen verdisconteerd:

- In bijlage 10.1 zijn de resultaten weergegeven van de berekening van de maximaal toelaatbare horizontale grondsteundruk, waarbij de som van de neutrale horizontale gronddruk (bijlage 9.1) en de maximaal toelaatbare horizontale grondsteundruk, berekend met behulp van de IOWA-formule op basis van de toelaatbare δ_E , zijn gedeeld door de onzekerheidsfactor:
 $ozf_{NHGD+IOWA} = 1.2$. In dezelfde berekening (bijlage 10.1) is eveneens de toelaatbare omrekeningsfactor van verticale neutrale gronddruk, inclusief onzekerheidsfactor $ozf_{NB} = 1.1$ en inclusief belastingfactor $f_{NB} = 1.5$ naar de bovengenoemde toelaatbare horizontale grondsteundruk weergegeven. Voor het beschouwde leidinggedeelte blijkt de factor $0.85 \times 1.5 \times 1.1 \times 1.2 = 1.7$ hier ruimschoots onder te liggen;

3. TOETSEN LEIDINGEN VOLGENS DE LTOV

In de LTOV, hoofdstuk 2 wordt de veiligheidsbeoordeling van een dijkkringgebied, op basis van wettelijke normen, behandeld. In katern 7, hoofdstuk 3.4 van de LTOV wordt de toetsingswijze voor leidingen, in het kader van de veiligheidsbeoordeling, aangegeven. Deze beoordeling geldt zowel voor kruisende leidingen als voor parallel liggende leidingen in de veiligheidszone of in het dijklichaam.

Voor de onderhavige stalen leidingkruisingen zijn in de fasen 1 en 2 de formules en rekenmodellen gevolgd zoals aangegeven in LTOV, katern 7, paragraaf 3.4.3.

In de daarop volgende fasen is het zogenaamde herkansingstraject c van LTOV, katern 7, paragraaf 3.4.2 gevolgd, waarbij ook NEN 3650 en NEN 3651 zijn gebruikt. De berekeningen zijn in de fasen 3 t/m 6 gemaakt met behulp van het computerprogramma PLE, waarbij het gedrag van het leidingmateriaal als lineair elastisch is beschouwd. In fasen 7 en 8 zijn de berekeningen gemaakt met behulp van PLE waarin naast het lineaire ook het plastische materiaalgedrag in beschouwing is genomen.

4. LOCATIES, TRACÉS EN LENGTEPROFIELEN

Door WBE in samenwerking met de betreffende waterschappen is een inventarisatie gemaakt van leidingen gelegen binnen de veiligheidszone van hoofd- en secundaire waterkeringen, boezemkaden en provinciale (vaar)wegen. Uit deze inventarisatie zijn in eerste instantie de kruisingen gelicht die de volgende kenmerken hebben:

- Gelegd voor 1972;
- Nominale diameter ≥ 500 mm;
- Kruising met hoofd- of secundaire waterkering.

In tweede instantie zijn alleen de kruisingen met hoofdwaterkeringen beschouwd. Één en ander is in overeenstemming met de criteria voor te toetsen kruisingen genoemd in de LTOV. De locaties van de betreffende kruisingen zijn weergegeven op de kaart in bijlage 1.

In de eerste, tweede en derde fase van de toetsing is voor de tracés en lengteprofielen van de kruisingen uitgegaan van een rechte leiding.

In de vierde en de daarop volgende fasen zijn de configuraties van de leidingkruisingen ingevoerd op basis van de bij WBE beschikbare revisietekeningen.

5. DIAMETERS, WANDDIKTES, RINGSTIJFHEID EN OPLEGHOEK

Uit de gegevens van de kruisingen met hoofdwaterkeringen blijken de volgende grootheden (zie ook bijlage 1):

Diameter (mm)	wanddikte (mm)	Ringstijfheid (kN/m ²)	Opleghoek (o)
518	9	97	70
614	7	27	120
818	9	24	120
1020	10	17	120
1272	11	12	120
1426	13	14	120

6. MATERIAALKWALITEIT

Voor de materiaal kwaliteit wordt ervan uitgegaan dat het materiaal een vloeigrens R_{eb} heeft van:

$$R_{eb} = 240 \text{ N/mm}^2$$

7. ALGEMENE UITGANGSPUNTEN VOOR DE BEREKENINGEN

Voor de initiële berekeningen op basis van de formules in de LToV zijn de volgende uitgangspunten verdisconteerd:

- Gronddekking: $H = 1.00 \text{ m}$;
- (toevallige) Verkeersbelasting: $VKB = \text{klasse 450 VOSB 1995}$;
- Equivalente dekking VKB: $H_{eq} = 1.15 \text{ m}$;
- Horizontale grondsteundrukfactor drukloos: $\lambda = 0.5$;
- Inwendige druk: $p_d = 5 \text{ bar}$;
- Zettingsverschil: $ZZ = 500 \text{ mm}$;
- Neutrale grondbelasting Q_n in plaats van passieve grondreactie Q_p .

8. ZETTINGSVERLOOP

Voor de initiële berekeningen genoemd in fase 1, bijlage 2, is geen rekening gehouden met zettingsverschillen en zijn geen langsspanningen bepaald.

In de fasen 2 en 3, met behulp van de formules in de LToV en PLE is in eerste instantie uitgegaan van een verloop van het zettingsverschil $ZZ = 500 \text{ mm}$ over een lengte van $2 \times 20 \text{ m}$. Met behulp van de zogenaamde tentatieve formule, zoals die wordt weergegeven in de LToV, zijn de spanningen bepaald. Wat betreft de omtrekspanningen, als gevolg van de indirect overgedragen bovenbelasting, leidde dit tot dusdanig irreële hoge waarden, dat besloten is om met de dezelfde uitgangspunten, belastingen, en randvoorwaarden berekeningen te maken met

behulp van het computerprogramma PLE. In de PLE-berekeningen zijn de zettingsverlopen gevarieerd wat betreft de vorm nl.:

- sinusvormig verloop;
- driehoekvormig verloop;
- Sprongzakingsverloop.

Voor de lengte van de verlopen is steeds de waarde 2×20 m aangehouden

In fase 4, de kruisingen met $\varnothing_u = 1272$ mm, zijn de zettingsverlopen sinusvormig aangehouden met een maximum van 500 mm. De lengte L (bijlage 5), waarover de zettingsverschillen optreden, is aangenomen als liggende binnen buitenteen en binnenteen van de betreffende kruising.

In fase 5 is de dikte van het pakket samendrukbare lagen D_p ter plaatse van de kruisingen onderzocht (bijlage 6). De lengte L (bijlage 6), waarover de zettingsverschillen optreden, is aangenomen:

lengte uit fase 4 + aan weerszijden $1.5 \times D_p$

In fases 6 t/m 8 is als zettingsverloop voor de kruising van de TL24 met de hoofdwaterring nabij het Pernisse Hoofd het berekende hoogteverschil tussen de actuele hoogteligging van de leiding en de hoogteligging weergegeven op de revisietekeningen van de leiding die bij aanleg van de leiding zijn gemaakt.

In fases 7 en 8 zijn eveneens berekeningen gemaakt, waarin de nog te verwachten zettingen, die bepaald zijn op basis van het uitgevoerde grondonderzoek, zijn verdisconteerd.

9. BIJLAGEN

1. Lijst en tekening met de te toetsen kruisingen;
2. EXEL doorsnede-berekeningen verschillende diameters;
3. Overzicht resultaten eenvoudige rekenmodellen volgens LToV met $L = 2 \times 20$ m voor het zettingsverloop voor de verschillende diameters;
4. Overzicht resultaten eenvoudige rekenmodellen volgens LToV met $L = 2 \times 20$ m voor het zettingsverloop en vergelijkbare PLE-berekeningen voor de verschillende diameters;
5. Overzicht resultaten lineair elastische PLE-berekeningen van de $\varnothing 1272$ mm kruisingen met de bijbehorende leidingconfiguratie met L gelijk aan de afstand tussen binnen- en buitenteen van de waterkeringen;
6. Onderzoek dikte samendrukbare lagen en resultaten PLE berekeningen met L volgens de LToV voor een aantal $\varnothing 1272$ mm leidingkruisingen zonder rekenfactoren, zonder schadefactor en zonder verkeersbelasting;
7. Resultaten meting TL24 ter plaatse van de kruising met de ringdijk om Pernis. Grondonderzoek en resultaten leidingparameters en te verwachten zettingen ter plaatse van de kruising.
Berekening zonder rekenfactoren, schadefactor, verkeersbelasting en te verwachten zettingen;
8. Besprekingsverslag nr 9
9. bijlagen fases 6 t/m 8
 - 9.1 Tekening met de actuele hoogteligging van de TL24 ter plaatse van het Pernisse Hoofd. Grondparameters 10-okt-01;
 - 9.2 Berekening equivalente reroundingsdruk ter vervanging van de horizontale grondsteundruk;
 - 9.3 Berekeningen met lineair elastisch materiaalgedrag:
 - 9.3.1 Berekeningsresultaten RQ3PODZO;
 - 9.3.2 Berekeningsresultaten RQ3PODZV;
 - 9.3.3 Berekeningsresultaten RQ300DZO;
 - 9.3.4 Berekeningsresultaten RQ300DZV;
 - 9.4 Berekeningen met lineair elastisch en plastisch materiaalgedrag:
 - 9.4.1 Berekeningsresultaten PQ3P0000;
 - 9.4.2 Berekeningsresultaten PQ3PODZO;
 - 9.4.3 Berekeningsresultaten PQ3PODZV;
 - 9.4.4 Berekeningsresultaten PQ4PODZO;
 - 9.4.5 Berekeningsresultaten PQ4PODZV.
- 10 Berekening bovengrens IOWA TL24 Pernis

Bijlage 10

Berekening bovengrens IOWA TL24 Pernis

Berekening bovengrens IOWA TL24 Pernis bron grondgegevens bijlage 9.1 rap. SP2001-022									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tekening nr.	C-01.504	C-01.504	C-01.504	C-01.504	C-01.504	C-01.504	C-01.504	C-01.504	C-01.504
Afstand vanuit nulpunt (m)	-30,00	0,00	19,50	24,00	30,00	45,00	59,00	72,50	113,00
Uitw.Diameter leiding (mm)	1272	1272	1272	1272	1272	1272	1272	1272	1272
Uitvoeringsmethode	ingegraven	ingegraven	ingegraven	ingegraven	ingegraven	ingegraven	ingegraven	ingegraven	ingegraven
Verdichting	goed	goed	goed	goed	goed	goed	goed	goed	goed
Horizontale beddingsconstante (N/mm ³)	0,006	0,006	0,005	0,008	0,012	0,010	0,011	0,011	0,007
Dekking (mm)	2250	2250	2000	3200	2500	1750	2050	2200	2350
Steundrukhoek (gr)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
δ_E (mm)	36	36	32	52	40	28	33	35	38
IOWA _{max} (N/mm ²)	0,124	0,124	0,092	0,238	0,277	0,160	0,207	0,223	0,152
Neutrale horizontale gronddruk (NHGD) (N/mm ²)	0,021	0,021	0,020	0,032	0,026	0,021	0,023	0,024	0,029
IOWA _{max} + NHGD (N/mm ²)	0,145	0,145	0,112	0,270	0,303	0,181	0,230	0,247	0,181
Onzekerheidsfactor steundruk, $ozf_{NHGD+IOWA}$	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
(NHGD + IOWA _{max})/ $ozf_{NHGD+IOWA}$ (N/mm ²)	0,121	0,121	0,093	0,225	0,253	0,151	0,192	0,206	0,151
Verticale neutrale grondbelasting, NB (N/mm ²)	0,031	0,031	0,030	0,052	0,042	0,030	0,035	0,038	0,039
Onzekerheidsfactor NB, ozf_{NB}	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Belastingfactor NB, f_{NB}	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Verticale neutrale grondbelasting incl. rekenfactor en onzekerheidsfactor: $NB * ozf_{NB} * f_{NB}$ (N/mm ²)	<u>0,051</u>	0,051	0,050	0,086	0,069	0,050	0,058	0,063	0,064
LAMBDA = $NB * ozf_{NB} * f_{NB} / ((NHGD + IOWA_{max}) / ozf_{NHGD+IOWA})$	2,4	2,4	1,9	2,6	3,6	3,0	3,3	3,3	2,3