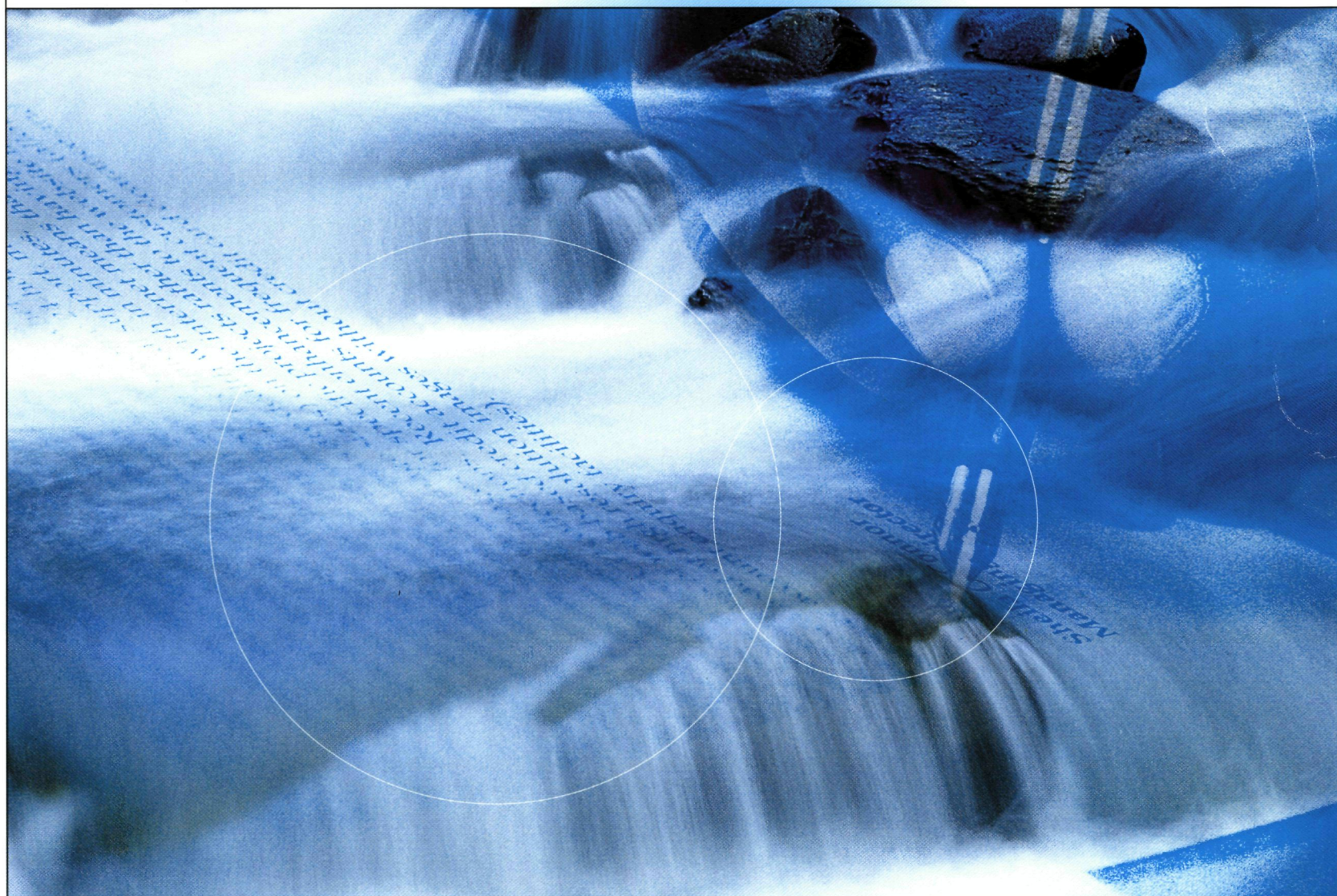


WBE leidingen van voor 1972

Onderzoek naar sterkte en gedrag van
WBE leidingkruisingen met een
diameter groter of gelijk aan 500 mm



Deel I



Gemeentewerken

Gemeente Rotterdam

Ingenieursbureau

8/
p. 17, 18.

WBE leidingen van voor 1972

**Onderzoek naar sterkte en gedrag van
WBE leidingkruisingen met een
diameter groter of gelijk aan 500 mm**

Projectcode	E3178
Datum	6 maart 2003
Rapportnr.	SP2001-022 Deel I van II
Versie	B
Opdrachtgever	Waterbedrijf Europoort Regio 3
Opsteller ir H.M. Ufkes	Paraaf Opsteller: <i>7/3/2003</i> 



Inhoudsopgave

1. Inleiding en doelstelling	3
2. Historie, samenvatting en conclusies	4
3. Toetsen leidingen	15
4. Locaties, tracés en lengteprofielen	17
5. Diameters, wanddiktes, ringstijfheid en opleghoek	17
6. Materiaalkwaliteit	17
7. Algemene uitgangspunten voor de berekeningen	17
8. Zettingsverloop	18
9. Bijlagen	19



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 alle kruisingen van de transportleidingen met een diameter ≥ 500 mm gemaakt door Waterbedrijf Europoort (WBE) in samenwerking met de betrokken waterschappen als beheerders van de waterkeringen. Door Provincie Zuid-Holland (PZH), als adviseur van de waterschappen, is gesteld dat, in analogie met de "Leidraad Toetsen op Veiligheid", uitgave augustus 1999 (LToV99) van de Technische Adviescommissie Waterkeringen (T.A.W.), eveneens alle andere kruisende en parallel liggende leidingen met waterstaatswerken gelegd voor 1972 met een diameter ≥ 500 mm zouden moeten worden getoetst aan de criteria gesteld in de LToV99. Er wordt daarbij van uitgegaan dat de leidingkruisingen die na 1972, het jaar van de eerste uitgave van de Pijpleidingcode (PC) Zuid-Holland, zijn aangelegd, liggen met een vergunning, waarvoor indertijd bij de vergunningaanvraag sterkteberekeningen zijn gemaakt, waarvan de resultaten zijn getoetst volgens de PC. Die leidingen voldoen op grond van die toetsing zonder meer aan de toetsing volgens de LToV99. De kruisingen met hoofdwaterkeringen, die aan de toetsing zijn onderworpen, zijn weergegeven in bijlage 1. Door de Provincie Zuid-Holland is deze toetsing uitgebreid met de toetsing van leidingen, die binnen de veiligheidszone van de overige waterkeringen, secundaire waterkeringen en boezemkaden, provinciale primaire en secundaire wegen, liggen en zijn aangelegd voor 1972.

Op 7 februari 2002 is versie A van dit onderhavige rapport SP2002-022 uitgekomen. Uit de oorspronkelijke vereenvoudigde toets weergegeven in het rapport bleek al dat de kruising van de $\varnothing_u$ 1272 mm TL24 met de primaire waterkering het Pernisse Hoofd de maatgevende kruising is. De meer uitgebreide berekeningen tot dan toe hebben zich dan ook geconcentreerd op de kruising van de TL24 met het Pernisse Hoofd. Naar aanleiding van de rapportage in versie A op 7 februari 2002 en het gevoerde overleg daarna zijn een aantal zaken nader onderzocht, nl.:

- De verdiscontering van de onzekerheidsfactor in de horizontale grondsteundruk bij de bepaling van de equivalente reroundingdruk voor de berekeningen, waarin rekening wordt gehouden met de plasticiteit van het buismateriaal. Deze berekeningen zijn gemaakt voor de kruising van de TL24 met het Pernisse Hoofd;
- Door TU Delft, prof. dr ir A. Bakker en ir N. Gresnicht zijn vlakke plaat trekproeven gedaan op materiaal dat vergelijkbaar is met, en uit dezelfde periode stamt als, het materiaal van de TL24 in de kruising met het Pernisse Hoofd. Dit om de plastische rekcapaciteit van het materiaal met en zonder lassen, en de mogelijke lasfouten te bepalen.
- Er zijn metingen gedaan in de $\varnothing_u$ 1272 mm TL24, ter plaatse van de kruising met het Pernisse Hoofd, ter bepaling van de aanwezige deflecties in de buis. Tevens is de geometrie van de leiding opnieuw ingemeten en is in een aantal doorsnede op een aantal punten over de omtrek de wanddikte gemeten.
- Daarnaast zijn in overleg met PZH de randvoorwaarden en de rekenmethode aangescherpt voor de toetsing van kruisingen van stalen leidingen met waterkeringen en wegen.

De bevindingen en resultaten van voornoemde vier punten zijn verwerkt in deze onderhavige versie B van het rapport, dat een uitbreiding is van de vorige versie A. Dit is gedaan om wille van de volledigheid en compactheid van de rapportage.



2. Historie, samenvatting en conclusies

De toetsing van de lage-druk leidingen met $\varnothing_n \geq 500$ 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 LToV99, katern 7, omschreven belastingen en randvoorwaarden, die in overleg met PZH zijn aangepast (bijlage 1). Deze spanningstoetsing is uitgevoerd met de formules uit de LToV99, die ondergebracht zijn in een spreadsheet in EXEL. Resultaten zijn weergegeven in bijlage 3 en geven aan dat de spanningen extreem hoog zijn.
3. Naar aanleiding van de resultaten van de onder punt 2 genoemde berekeningen, die tot extreem hoge spanningsniveaus leiden, 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. 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 grondbelasting.
De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in bijlage 4.
De resultaten tonen onder meer aan dat de formules in de LToV99, katern 7, die overeenkomen met de formules en constanten voor de vereenvoudigde berekening 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 gedrag van het leidingmateriaal als lineair elastisch is aangenomen. Voor de mijter-bochten zijn in de berekeningen vervangende gebogen bochten verdisconteerd met dezelfde spanningsconcentraties als in de mijter-bochten. 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 resultaten van deze berekeningen is weergegeven in bijlage 5.
De resultaten van de berekeningen tonen onder meer aan dat de kruising van de $\varnothing$ 1272/11 mm transportleiding TL24 met de primaire waterkering het Pernisse Hoofd, die in beheer is bij het Waterschap IJsselmonde, tot de grootste spanningen leidt en dus maatgevend is.
5. In deze fase is voor de $\varnothing$ 1272/11 mm kruisingen met de hoofdwaterkeringen 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 blijkt dat de kruising van de TL24 met het Pernisse Hoofd, 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 het Pernisse Hoofd 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 opgetreden 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 getracht het plastisch materiaalgedrag in de berekeningen voor de kruising van de TL24 met het Pernisse Hoofd te verdisconteren. De rekenfactoren, schadefactor zijn verdisconteerd. De reeds opgetreden zettingen zijn in de belastinggevallen verdisconteerd. De grondparameters zijn opnieuw bepaald, rekening houdend met de actuele dekking op de leiding (zie bijlage 9.1, grondparameters 10-okt-01). Overigens zijn dezelfde uitgangspunten en randvoorwaarden verdisconteerd als in de berekeningen voor deze kruising uitgevoerd in fase 6. De belastingssituaties onder inwendige druk en drukloos zijn berekend. Voor de toetsrekken is in deze berekeningen uitgegaan 1.5 % (later in de tijd blijkt uit de resultaten van trekproeven uitgevoerd door TU Delft op vergelijkbaar materiaal, bijlage 13, dat deze aanname ongunstig is). De drukloze situatie leidt daarbij tot een rekenkundig stabiliteitsprobleem in PLE als gevolg van het nog niet kunnen verdisconteren van de horizontale grondsteundruk in functie 5 van het programma PLE. Om deze reden zijn verder geen berekeningsresultaten van deze fase in het rapport opgenomen. De rekenkundige problematiek is besproken in het overleg op 23 oktober 2001, waarvan het verslag is opgenomen in bijlage 8.1.
8. In deze fase zijn de navolgende resultaten van overleg en aanpassingen verdisconteerd:
 - In het besprekingsverslag nr. 9, bijlage 8.1, is een bespreking van de resultaten van fase 7 en afspraken voor te nemen acties 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;
 - De vervangende bochtstralen in de berekening zijn aangepast op basis van het onderzoek uitgevoerd door r+k (bijlage 8.2) van equivalente stijfheid, $R = 4246 \text{ mm}$;
 - Voor de toetsrek is, conform NEN 3650 art. 10.7.3b, 0.5 % aangenomen;
 - 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 (bijlage 9.1) door de neutrale horizontale gronddruk te delen door de neutrale belasting.
 - Voor de drukloze belastingssituaties 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.
 - In overleg met PZH is de inwendige druk bepaald die qua rerounding tot dezelfde omtreksbuigspanningen leidt als de horizontale grondsteundruk, waarbij de horizontale grondsteundruk is vermenigvuldigd met dezelfde onzekerheidsfactor ($ozf = 1.1$) als die voor de neutrale grondbelasting. De bepaling van de equivalente reroundingsdruk is geschied door gebruik te maken van de tabel LAMBDA in functie 6.1 van PLE. Deze bepaling (bijlage 9.2) 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 de resulterende equivalente reroundingsdruk is de drukloze situatie benaderd. 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
RQ3P0DZ0 (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: $ozf \times f \times S = 1.0 \times 1.0 \times 1.33$ – Neutrale grondbelasting: $ozf \times f \times S = 1.1 \times 1.5 \times 1.33$ – Neutrale horizontale grondsteundruk ($LAMBDA_{\text{neutraal}}$) – Opleghoek $\beta = 120^\circ$
RQ3P0DZV (bijlage 9.3.2)	– Als RQ3P0DZ0; – Verkeersbelasting kl. 450 t.p.v. de Weg: $f \times S = 1.5 \times 1.33$
RQ300DZ0 (bijlage 9.3.3)	– Als RQ3P0DZ0; – drukloos; – Passieve horizontale grondsteundruk ($LAMBDA_{\text{passief}} = 0.85$)
RQ300DZV (bijlage 9.3.4)	– Als RQ300DZ0; – 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: $S_{v4 \text{ max}}/1.5 = 140 \%R_{eb}$

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

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/ORA) 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 "Equivalentente Rerounding Druk" $ERD = 1.625 \text{ N/mm}^2$ ingevoerd.

De volgende berekeningen zijn gemaakt:

Berekening	Berekeningen met lineair-elastisch en plastisch leidingmateriaalgedrag; Belastingen en randvoorwaarden
PQ3P0000 (bijlage 9.4.1)	– Inwendige druk 16.25 bar $f \times S = 0.75 \times 1.33 = 1.00$
PQ3P0DZ0 (bijlage 9.4.2)	– Inwendige druk 16.25 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: $ozf \times f \times S = 1.0 \times 1.0 \times 1.33$ – 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 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: $ozf \times f \times S = 1.0 \times 1.0 \times 1.33$ – Te verwachten zettingsverschillen: $ozf \times f \times S = 1.0 \times 1.5 \times 1.33$ – Neutrale grondbelasting: $ozf \times f \times S = 1.1 \times 1.5 \times 1.33$ – Opleghoek $\beta = 120^\circ$
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 ERD 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 CEPSM 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)
PQ3P0DZ0 (bijlage 9.4.2)	51.2 (EL34)	54.0 (EL34)	73.6 (EL34)
PQ3P0DZV (bijlage 9.4.3)	51.2 (EL34)	54.0 (EL34)	73.6 (EL34)
PQ4P0DZ0 (bijlage 9.4.4)	60.0 (EL41)	61.0 (EL41)	84.7 (EL41)
PQ4P0DZV (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 tabel zijn in verband met de superpositie alleen de uniaxiale rekken weergegeven.



Berekening	eXS-M _{max} % CHKEPS		eFS-M _{max} % CHKEPS	
PQ3P0DZ0 EL34 gecorrigeerd (tabel PQ30MPLE) (bijlage 9.4.2)	47.4	(32.5°)	44.4	(167.5°)
	35.1	(140.0°)	7.8	(32.5°)
		(167.5°)	9.6	(140.0°)
PQ3P0DZV EL34 gecorrigeerd (tabel PQ3VMPLE) (bijlage 9.4.3)	47.4	(32.5°)	44.4	(167.5°)
		(140.0°)	7.8	(32.5°)
	35.1	(167.5°)	9.6	(140.0°)
PQ4P0DZ0 EL41 gecorrigeerd (tabel PQ4M-PL)	57.3	(92.5°)	51.7	(260.0°)
(bijlage 9.4.4)		(95.0°)		(262.5°)
	35.4	(260.0°)	28.0	(92.5°)
	36.9	(262.5°)	21.6	(95.0°)
PQ4P0DZV EL41 gecorrigeerd (tabel PQ4VMPLE) (bijlage 9.4.5)	57.3	(92.5°)	51.7	(262.5°)
		(95.0°)	28.0	(92.5°)
	36.9	(262.5°)	21.6	(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 % (NEN 3650, art. 10.7.3.b)

Conclusie aan het eind van fase 8 is: De maximale uniaxiale rekken, berekend met een equivalente reroundingdruk $ERD = 1.625 \text{ N/mm}^2$, voldoen aan het in NEN 3650, art. 10.7.3 gestelde rek criterium van 0.5 %

9. In deze fase, uitgevoerd na het verschijnen van versie A van dit rapport, zijn na overleg (besprekingsverslagen 11, bijlage 11, en volgende) de navolgende aanpassingen verdisconteerd:
- In de herberekeningen voor de bepaling van de ERD, in deze fase, is rekening gehouden met de betreffende onzekerheidsfactor voor de horizontale grondsteundruk ($ozf_{hgsd} = 1,2$), waarbij de berekende waarde wordt gedeeld door ozf_{hgsd} . De horizontale grondsteundruk is een reactie van de grond op het gedrag van de leiding in de grond, dat resulteert in o.m. de horizontale deflectie van de leidingdoorsnede en daardoor, afhankelijk van de grondstijfheid, opbouw van de horizontale grondsteundruk.
 - Omdat de horizontale grondsteundruk een reactie is op het gedrag van de leiding in de grond, worden in de berekeningen voor de bepaling van de ERD geen belastingfactor en geen schadefactor in de te verdisconteren horizontale grondsteundruk meegenomen.
 - De bovengrens van de te verdisconteren horizontale grondsteundruk wordt bepaald door:
neutrale horizontale grondsteundruk (NHGSD) +
horizontale grondsteundruk, die met behulp van de IOWA formule (NEN 3650, bijlage C3.3.2) kan worden berekend.
 - In het voorgaande overleg is gesteld dat de bovengrens van de, met behulp van de IOWA-formule, berekende passieve horizontale grondsteundruk wordt bepaald door als bovengrens voor $\delta_v/2$ de waarde $2x\delta_E$ in de formule in te voeren. Voor de berekening is in de formule gebruikgemaakt van de KLH-waarde weergegeven in de lijst met grondmechanische parameters (bijlage 9.1). De KLH-waarde wordt daarbij gedeeld door de onzekerheidsfactor $ozf_{hgsd} = 1.2$.

+ terugrekening

Met behulp van PLE is een parameterstudie uitgevoerd, waarin met lineair elastisch



materiaalgedrag en geen vervangende bochtstralen is rekening gehouden. Door stapsgewijs de, op boven beschreven wijze, berekende IOWA grondsteundruk + de neutrale horizontale grondsteundruk in te voeren in de berekeningen, zijn ter plaatse van de maximaal belaste doorsnede de horizontale deflectie en de ringspanningen bepaald. Deze treden op als gevolg van de grondbelasting en de grondreacties. Tevens zijn in een aantal berekeningen, door variatie van de inwendige druk, de bijbehorende horizontale deflecties en de ringspanningen als gevolg van de grondbelasting en de grondreacties ter plaatse van dezelfde doorsnede bepaald (bijlage 10). In dezelfde berekening (bijlage 10) 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. De waarde hiervoor varieert van 1.9 tot 3.6 langs het beschouwde leidinggedeelte. De gebruikte horizontale grondsteundrukfactor, ingevoerd in de tabel LAMBDA in PLE in voorgaande sterkteberekeningen RQ300DZ0 en RQ300DZV, ligt ruimschoots onder de maximaal mogelijke passieve horizontale gronddruk factoren, tussen 1.9 en 3.6, zoals blijkt in bijlage 10.

Één van de aspecten die uit de berekeningen bleek was dat het maximaal belaste element ter plaatse van de bovenbocht in de kruising is gesitueerd. In de sterkteberekeningen, genoemd onder fase 8, voor de kruising is rekening gehouden met een vervangende bochtstraal van $R = 4246$ mm. Het element met de grootste spanningen en deflecties is gelokaliseerd in de bovenbocht in de kruising. Een groot deel van de horizontale deflectie ter plaatse van deze bovenbocht wordt veroorzaakt door het buigend moment in de leiding als gevolg van het ingevoerde zettingsverloop en het daaruit voortvloeiende buigend moment en de laterale grondreactie. Om deze reden is de parameterstudie naar de ERD uitgevoerd met knikken in plaats van vervangende bochten in het rekenmodel. Wel is er rekening gehouden met de geometrisch niet-lineaire optie en de OVAL-optie in PLE. De berekeningen zijn gemaakt zonder en met de belastingfactoren conform NEN 3650, tabel 8. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Berekening Equivalente Rerounding Druk (ERD)				
Element 31, Knik, OVAL-optie, lineair elastisch, belastingfactoren op belastingen, behalve inwendige druk				
Berekening	inw.druk	hor.grond steundruk	W-Ground	SFI/ORA
	N/mm ²	N/mm	mm	N/mm ²
C240DZF0 geen hor.grondsteundruk	0	0	99.5	1191
C240DZF1 neutrale hor. grondsteundruk	0	21.9	78.2	985
C240DZF2	0	41.4	65.6	860
C240DZF3	0	60.8	53.8	742
C240DZF4	0	80.3	41.7	632
C240DZF5	0	100.4	30.9	523
C240DZF6	0	119.8	19.8	421
C240DZF7	0	139.3	9.2	320
C24PDZFA	0.25	0		609
C24PDZFB	0.50	0		438
C24PDZFC	0.75	0		346

De met behulp van de IOWA-formule berekende waarde van de horizontale grondsteundruk is met stappen van 10% van die waarde verdisconteerd tot 60% van de totale waarde die berekend is op grond van de dekking voor de locaties 1 t/m 9. De berekende totaalwaarde is weergegeven in bijlage 10. Voor EL31 op afstand 37,50 m vanaf het mangat bedraagt de geïnterpoleerde δ_E -waarde: $\delta_E = 34$ mm = W-GROUND. De bij deze waarde voor W-GROUND behorende geïnterpoleerde SFI/ORA waarde bedraagt:

$$SFI/ORA_{EL31} = ((34-30.9)/(41.7-30.9)) \times (632-523) + 523 = 554 \text{ N/mm}^2.$$



De rerounding factor bedraagt dan:

$$f_{req} = 554/1191 = 0.465$$

Door middel van "trial and error" wordt de ERD gevonden van:

$$ERD = 0.325 \text{ N/mm}^2$$

Op grond van het overleg in bespreking nr. 11 op 08-02-2002 (bijlage 11), waaruit naar voren komt dat de IOWA-steundruk verdubbeld zou kunnen worden, is de interpolatie δ -waarde gehalveerd. De geïnterpoleerde SFI/ORA waarde, die daarbij behoort, bedraagt:

$$SFI/ORA_{EL31} = ((17-9.2)/(19.8-9.2)) \times (421-320) + 320 = 394 \text{ N/mm}^2$$

De rerounding factor bedraagt dan:

$$f_{req} = 394/1191 = 0.331$$

Door middel van "trial and error" wordt de ERD gevonden van:

$$ERD = 0.6 \text{ N/mm}^2$$

Met deze waarde zijn de sterkteberekeningen voor de drukloze toestand opnieuw gemaakt.

Hoewel deze ERD eigenlijk alleen geldt voor EL31 worden de herberekeningen voor de drukloze situatie toch met deze druk $ERD = 0.6 \text{ N/mm}^2$ voor het gehele onderhavige leidinggedeelte uitgevoerd.

Berekening	Belastingen en randvoorwaarden
QQ3P0000 (bijlage 12.1)	– Inwendige druk 6.0 bar "f" x S = 0.75 x 1.33 = 1.00
QQ3P0DZ0 (bijlage 12.2)	– Inwendige druk 6.0 bar "f" x S = 0.75 x 1.33 = 1.00 – Eigen gewicht: f x S = 1.5 x 1.33 – Zettingsverschillen tot nu toe: ozf x f x S = 1.0 x 1.0 x 1.33 – Neutrale grondbelasting: ozf x f x S = 1.1 x 1.5 x 1.33 – Opleghoek $\beta = 120^\circ$
QQ3P0DZV (bijlage 12.3)	– Als QQ3P0DZ0; – Verkeersbelasting kl. 450 t.p.v. de Weg: f x S = 1.5 x 1.33
QQ4P0DZ0 (bijlage 12.4)	– Inwendige druk 6.0 bar f x S = 0.75 x 1.33 = 1.00 – Eigen gewicht: f x S = 1.5 x 1.33 – Zettingsverschillen tot nu toe: ozf x f x S = 1.0 x 1.0 x 1.33 – Te verwachten zettingsverschillen: ozf x f x S = 1.3 x 1.5 x 1.33 – Neutrale grondbelasting: ozf x f x S = 1.1 x 1.5 x 1.33 – Opleghoek $\beta = 120^\circ$
QQ4P0DZV (bijlage 12.5)	– Als QQ4P0DZ0; – Verkeersbelasting kl. 450 t.p.v. de Weg: f x S = 1.5 x 1.33

De berekeningsresultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Berekening	eXS-M _{max} % CHKEPS	eFS-M _{max} % CHKEPS	eEqS-M _{max} % CHKEPS
QQ3P0000 (bijlage 12.1)	1.5 (EL34) 1.4 (EL41)	3.8 (EL33)	3.4 (EL33)
QQ3P0DZ0 (bijlage 12.2)	73.0 (EL34)	302.5 (EL33)	308.8 (EL33)
QQ3P0DZV (bijlage 12.3)	73.0 (EL34)	302.5 (EL33)	308.8 (EL33)
QQ4P0DZ0 (bijlage 12.4)	76.9 (EL41)	292.2 (EL33)	299.0 (EL33)
QQ4P0DZV (bijlage 12.5)	76.9 (EL41)	292.4 (EL33)	299.1 (EL33)

De maximale waarden treden op in de vervangende bochten boven in de waterkering. EL33 en EL34 zijn 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 of nauwelijks zichtbaar verschil op als gevolg van de verkeersbelasting.

In de volgende tabel zijn voor de elementen EL33, EL34 en EL41 de gecorrigeerde maximale uniaxiale waarden weergegeven. In de onderstaande tabel zijn door het ontbreken van een adequaat theorema de gecorrigeerde equivalente rekken niet weergegeven.

Berekening	eXS-M _{max} % CHKEPS	eFS-M _{max} % CHKEPS
QQ3P0DZ0	71.5 (EL34)	298.7 (EL33)
QQ3P0DZV	71.5 (EL34)	298.7 (EL33)
QQ4P0DZ0	75.5 (EL41)	288.4 (EL33)
QQ4P0DZV	75.5 (EL41)	288.6 (EL33)

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

$$eXS-M_{max} = 75.5 \%CHKEPS$$

$$eFS-M_{max} = 298.7 \%CHKEPS$$

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

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

Conclusie:

De berekende maximale axiale rekken voldoen aan het in NEN 3650, art. 10.7.3 gestelde rekriterium van 0.5 % en de berekende maximale tangentiële rekken voldoen niet aan het in NEN 3650, art. 10.7.3 gestelde rekriterium van 0.5 %

Berekende horizontale deflecties

Resultaten van de herberekeningen met de equivalente rerounding druk van ERD = 6.0 bar.

Berekening	W-GROUND Horizontaal EL33	Totale Horizontale deflectie (W+WD)/D EL33	
		%	mm
QQ3P0DZ0 (bijlage 12.2, tabel RLDSPCL)	10.2	6.13	78.0
QQ3P0DZV (bijlage 12.3, tabel RLDSPCL)	10.2	6.13	78.0
QQ4P0DZ0 (bijlage 12.4, tabel RLDSPCL)	9.8	5.97	73.6
QQ4P0DZV (bijlage 12.5, tabel RLDSPCL)	9.8	5.97	73.6

Ter illustratie van de invloed van de grootte van de ERD op de grootte van de horizontale deflectie zijn hieronder eveneens de resultaten weergegeven van de oorspronkelijke berekeningen (uit fase 8) met de equivalente rerounding druk van ERD = 16.5 bar.

Berekening	W-GROUND Horizontaal EL34	Totale Horizontale deflectie (W+WD)/D EL34	
		%	mm
PQ3P0DZ0 (bijlage 9.4.2, tabel RLDSPCL)	4.0	3.05	38.8
PQ3P0DZV (bijlage 9.4.3, tabel RLDSPCL)	4.0	3.05	38.8
PQ4P0DZ0 (bijlage 9.4.4, tabel RLDSPCL)	3.8	2.94	37.4
PQ4P0DZV (bijlage 9.4.5, tabel RLDSPCL)	3.8	2.94	37.4



10. In deze fase zijn bij TU Delft, Laboratorium voor Technische Materiaalwetenschappen, proeven gedaan ter bepaling van de rekapaciteit van leidingmateriaal, dat door WBE werd gebruikt in dezelfde periode als waarin de kruising van de TL24 met het Pernisse Hoofd is aangelegd. Hierbij is zowel het gedrag van het moedermateriaal als het gedrag van de langs- en rondlassen onderzocht¹. Tevens werd, om de invloed van mogelijke lasfouten te kunnen onderkennen, in en nabij de las in de proefstukken, middels een vonkmethode, een kerf aangebracht, die veel groter was dan de toelaatbare lasfout bij de beoordeling. De resultaten van de proeven zijn weergegeven in het rapport (bijlage 13):

Bepaling van de rekapaciteit van oud leidingmateriaal
Veiligheidstoetsing van een 1272 x 11 mm stalen leidingkruising
met de waterkering in het Pernisse hoofd, welke is aangelegd in
1967 en vervaardigd uit St37.2.

Door:

TU-Delft, Laboratorium voor Technische Materiaalwetenschappen
TU-Delft, Civiele Techniek en Geowetenschappen.

Datum: 27 januari 2003

De conclusies en aanbevelingen uit het rapport geven aan:

- $\epsilon_{\text{breuk}} \geq 13 \%$;
- breuk is in alle gevallen opgetreden buiten de invloedssfeer van de kerven in of nabij de lassen, zodat verwacht kan worden dat eventuele lasfouten geen invloed zullen hebben op de sterkte van de constructie;
- In het rapport wordt gesteld dat 2% elastische- + plastische rek, de plastische rekgrens voor het optreden van versteviging voor de onderhavige staalsoorten, als veilige ondergrens van de elastische- + plastisch rekapaciteit kan worden aangenomen.

Op grond van de conclusies en aanbevelingen in het TU-Delft rapport wordt voor de toetsing van de berekende rekken als veilig criterium $\text{CHKEPS}_{\text{proef}} = 2 \%$ aangenomen. Omrekening van de berekende rekken weergegeven onder punt 9 van dit hoofdstuk leveren dan de volgende te toetsen rekpercentages ten opzichte van deze 2 % op:

Berekening	eXS-M _{max} % CHKEPS _{proef}	eFS-M _{max} % CHKEPS _{proef}
QQ3P0DZ0	$71.5 \times 0.5/2 = 17.9$ (EL34)	$298.7 \times 0.5/2 = 74.7$ (EL33)
QQ3P0DZV	$71.5 \times 0.5/2 = 17.9$ (EL34)	$298.7 \times 0.5/2 = 74.7$ (EL33)
QQ4P0DZ0	$75.5 \times 0.5/2 = 18.9$ (EL41)	$288.4 \times 0.5/2 = 72.1$ (EL33)
QQ4P0DZV	$75.5 \times 0.5/2 = 18.9$ (EL41)	$288.6 \times 0.5/2 = 72.2$ (EL33)

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

$$\text{eXS-M}_{\text{max}} = 18.9 \% \text{CHKEPS}$$

$$\text{eFS-M}_{\text{max}} = 72.2 \% \text{CHKEPS}$$

Conclusie:

In relatie tot de onder fase 9 beschreven berekeningen kan worden gesteld dat de toetsingsrek voor dit materiaal $\text{CHKEPS}_{\text{proef}}$ tenminste 2.0 % bedraagt. Met als gevolg dat de resultaten van de berekeningen, hiervoor beschreven in fase 9 voldoen aan het criterium en dus kan gesteld worden dat de kruising voldoet aan de veiligheidseisen.

11. In deze fase zijn in opdracht van WBE door Van Den Heuvel aannemingsbedrijf b.v. metingen in en buiten de leiding uitgevoerd. Hiertoe is de leiding gedurende een aantal dagen buiten gebruik genomen. De betreffende sectie van de leiding is leeg gepompt. Binnen de leiding zijn metingen

¹ De onderzochte las is afkomstig uit een veldstrekking en is, gezien het uiterlijk, niet radiografisch onderzocht



van een aantal doorsneden, "plakken" genoemd in het rapport, gedaan om de onrondheid en de mate van deflectie te kunnen bepalen. De gemeten doorsneden liggen in de nabijheid van de mijter-bochten ter plaatse van de kruising. De meetresultaten zijn weergegeven in het rapport (bijlage 14):

Meetverslag

T.b.v.

Inwendig meetwerk aan de transportleiding TL24.00 nabij het Pernisse Hoofd te Pernis in de Gemeente Rotterdam.

T.b.v.

Vaststellen inwendige geometrie

De plaatsen van de onrondheidsmetingen, plakken 1 t/m 10, zijn weergegeven op tekening 02.2.043 van het meetverslag (bijlage 14). Ook zijn op een tiental andere meetlocaties wanddikte metingen uitgevoerd. Deze meetlocaties zijn eveneens weergegeven op de tekening. De resultaten van de onrondheidsmetingen en de bewerking, die op de meetresultaten is uitgevoerd, zijn weergegeven in het rapport.

De wanddikte metingen weergegeven in het meetverslag leveren een gemiddelde wanddikte $t = 11.0$ mm op.

Het voornaamste resultaat van de metingen in relatie tot de uitgevoerde berekeningen, inclusief onzekerheidsfactoren, veiligheidsfactoren en schadefactor, is de af te leiden deflectie van de leidingdoorsnede. Uit de tabel in hoofdstuk 3.3 van het meetverslag kunnen de volgende waarden worden afgeleid:

Uit de metingen afgeleide deflecties						
Plaknummer	gemiddelde inwendige diameter	gemiddelde uitwendige diameter D_u	kleinste inwendige diameter	negatieve deflectie	grootste inwendige diameter	positieve deflectie
	(mm)	(mm)	(mm)	(% D_u)	(mm)	(% D_u)
1	1250	1272	1230	-1,57	1268	1,42
2	1252	1274	1224	-2,20	1274	1,73
3	1252	1274	1224	-2,20	1274	1,73
4	1248	1270	1226	-1,73	1266	1,42
5	1250	1272	1238	-0,94	1266	1,26
6	1258	1280	1248	-0,78	1270	0,94
7	1258	1280	1248	-0,78	1268	0,78
8	1250	1272	1220	-2,36	1272	1,73
9	1248	1270	1224	-1,89	1268	1,57
10	1250	1272	1232	-1,42	1268	1,42

De gemiddelde negatieve deflectie voor de "benedenbocht" bedraagt:

$$\delta_{y \text{ gem. neg. beneden}} = -1.73 \% D_u \text{ (plakken 1 t/m 5)}$$

De gemiddelde positieve deflectie voor de "benedenbocht" bedraagt:

$$\delta_{y \text{ gem. pos. beneden}} = +1.51 \% D_u \text{ (plakken 1 t/m 5)}$$

De gemiddelde negatieve deflectie voor de "bovenbocht" bedraagt:

$$\delta_{y \text{ gem. neg. boven}} = -1.45 \% D_u \text{ (plakken 6 t/m 10)}$$

De gemiddelde positieve deflectie voor de "bovenbocht" bedraagt:

$$\delta_{y \text{ gem. pos. boven}} = +1.29 \% D_u \text{ (plakken 6 t/m 10)}$$

Deze waarden worden vergeleken met de waarden uit de berekeningen.

Uit de berekeningen, inclusief onzekerheidsfactoren, veiligheidsfactoren en schadefactor, resulteren de volgende extreme waarden voor de deflectie



Berekening	W+WD/D _{extr} benedenbocht %D _u	W+WD/D _{extr} bovenbocht %D _u
QQ3P0DZ0 (bijlage 12.2)	1.63	6.13

Om te onderzoeken wat de invloed is van de onzekerheidsfactoren, veiligheidsfactoren en schadefactor op het berekeningsresultaat en daarmee op de discrepantie tussen de berekeningsresultaten en de meetresultaten is een herberekening gemaakt voor dit belastinggeval, waarin de onzekerheidsfactoren, veiligheidsfactoren en schadefactor op 1.0 zijn gesteld. De resultaten zijn:

Berekening	W+WD/D _{extr} benedenbocht %D _u	W+WD/D _{extr} bovenbocht %D _u
ME3P0DZ0 (bijlage 15)	1.20	3.72

Voor de benedenbocht liggen de gemeten waarden tussen de berekende waarden met en zonder factoren in. Voor de bovenbocht, die maatgevend is in de berekeningen, ligt er een factor $3.72/1.45 = 2.57$ tussen de berekende waarden en de gemeten waarden.

Conclusie:

Hieruit blijkt dat voor de maatgevende locatie de berekening zonder onzekerheidsfactoren, belastingfactoren en schadefactor een ongunstige benadering is. De berekening, aldus gemaakt, levert deflecties, die voor de maatgevende locatie een factor 2.57 groter zijn dan de gemeten waarde.

Reciproque waarde van de schadefactor keer de belastingfactor bedraagt:

$$S \times f = 1.33 \times 1.5 = 2.0$$

Hieruit blijkt dat de berekeningsresultaten aan de wel zeer veilige kant zijn.

12. Uit de bevindingen weergegeven in de voorgaande punten, met name de punten 9 t/m 11, kan geconcludeerd worden:
De kruising van de TL24 met de primaire waterkering het Pernisse Hoofd voldoet aan de veiligheidscriteria gesteld in de LToV99!
13. Gedurende de loop van het project is de afspraak gemaakt, dat wanneer de maatgevende kruising uit de oorspronkelijke vereenvoudigde toets zou voldoen dan geconcludeerd zou worden dat de overige kruisingen, die eveneens aan de oorspronkelijke toets waren onderworpen, geen verdere toetsingen meer zouden behoeven te ondergaan en dat aangenomen kan worden dat deze kruisingen eveneens voldoen aan de veiligheidscriteria gesteld in de LToV99!

prim. w.k.



3. Toetsen leidingen

In de Leidraad Toetsing op Veiligheid, uitgave augustus 1999 (LToV99), hoofdstuk 2 wordt de veiligheidsbeoordeling van een dijkkringgebied, op basis van wettelijke normen, behandeld. In LToV99, katern 7, paragraaf 3.4 wordt de toetsingswijze voor leidingen, in het kader van de veiligheidsbeoordeling, aangegeven². Deze beoordeling geldt zowel voor kruisende leidingen als voor parallel liggende leidingen in de veiligheidszone of in het dijklichaam.

Voor de onderhavige stalen leiding kruisingen van WBE zijn in de fasen 1 en 2 de formules en rekenmodellen gevolgd zoals aangegeven in LToV99, katern 7, paragraaf 3.4.3.

In de daarop volgende fasen is het zogenaamde herkansingstraject c van LToV99, 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 t/m 11 zijn de berekeningen gemaakt met behulp van PLE waarin naast het lineaire ook het plastische materiaalgedrag in beschouwing is genomen.

Parallel aan de activiteiten van de punten 10 en 11 van hoofdstuk 2 is er in samenwerking met en door PZH op basis van het lopende onderhavige onderzoek een aanpassing van de vereenvoudigde toetsingsmethode voor lage-druk leidingen voor de revisie van de LToV99 opgesteld. De reden hiervoor was met name de tangentiële spanningsniveaus resulterend uit de formule voor S_{by} (bijlage 4). Oorzaak van de hoge spanningsniveaus was de bepaling van de indirect overgedragen bovenbelasting Q_d , door middel van de formule en parameter A_z weergegeven in NEN 3651, art 6.3.2b.

Daarnaast is het onderzoek uitgebreid naar de invloed van mijter-bochten op de hoogte van de spanningen. In de beschouwingen over de mijter-bochten is gebruik gemaakt van de resultaten van door raadgevend ingenieurbureau r+k verricht literatuur onderzoek. Onderdeel hiervan zijn de resultaten van het vroegere zogenoemde TGSL onderzoek naar deze typen bochten.

Het overleg over de toetsing, initieel met de LToV99 formules, daarna met de vereenvoudigde PLE berekeningen, de resultaten van de uitgebreide PLE berekeningen en het voornoemde literatuur onderzoek heeft geresulteerd in een door PZH opgestelde set nieuwe formules voor de revisie van de LToV in 2002 en de lopende revisie van de NEN 3650 serie 2003. De uitgave van de revisies van deze normen en richtlijnen wordt verwacht in de loop van 2003.

Alle kruisingen zijn hierna opnieuw geïnventariseerd. De resulterende kruisingen die daarvoor in aanmerking komen zijn daarna met behulp van de set nieuwe formules opnieuw getoetst (bijlage 16). De resultaten zijn daarna besproken, besprekingsverslag nr. 12 (bijlage 17) en daarbij is afgesproken dat de invloed van de mijter-bochten in de berekening verdisconteerd zou moeten worden. Door PZH zijn de formules opnieuw aangepast in een nieuwe set aangepaste formules, waarin ook de invloed van de mijter-bochten is opgenomen (bijlage 18).

Om de door PZH aangepaste formules te toetsen op bruikbaarheid is in overleg, bespreking nr 13 (bijlage 19), besloten om berekeningen te maken voor een fictieve kruising met mijter-bochten van $2\alpha = 18^\circ$. De geometrie van de fictieve kruising is weergegeven in bijlage 20.

Op 16 augustus 2002 is door WBE een brief aan de voorzitter van de Studiegroep Pijpleidingen gestuurd (bijlage 21) met daarin de stand van zaken ten aanzien van het project tot dan toe en de nog te verwachten acties. Bij deze brief zijn een tweetal bijlagen gevoegd met in de eerste bijlage een overzicht van acties, planning, aandachtspunten en in de tweede bijlage een opsomming van de activiteiten tot dan toe in chronologische volgorde.

² De, in de LToV99, voorgeschreven toetsingsformules, randvoorwaarden en belastingen voor de berekening zijn zonder overleg en instemming van de lage-druk leidingeigenaren opgesteld.



Met behulp van de nieuwe formules en met PLE en de uitgangspunten en randvoorwaarden, zoals die ook initieel zijn gesteld, zijn berekeningen gemaakt voor de fictieve kruising. De resultaten zijn weergegeven in bijlage 20. Deze resultaten zijn besproken, besprekingsverslag 14 (bijlage 22) en daarna zijn de berekeningen nog enigszins aangepast (bijlage 22).

Voorlopige conclusie:

Op basis van de berekeningen aan de fictieve kruising kan geen eenduidige conclusie over de bruikbaarheid van de aangepaste set formules worden getrokken.



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. De locaties van de betreffende kruisingen zijn weergegeven op de kaart in bijlage 1.

L ? LTV '99

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 fases 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):

508?

Diameter	wanddikte	Ringstijfheid	Opleghoek
(mm)	(mm)	(kN/m ²)	(°)
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 zijn de volgende uitgangspunten verdisconteerd:

- Gronddekking: $H = 1.00$ m;
- (toevallige) Verkeersbelasting: VKB = klasse 450 VOSB 1995;
- Equivalente dekking VKB: $H_{eq} = 1.15$ m;
- Horizontale grondsteundrukfactor drukloos: $\lambda = 0.5$;
- Inwendige druk: $p_d = 5$ bar;
- Zettingsverschil: $ZZ = 500$ 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 PLE is in eerste instantie uitgegaan van een verloop van het zettingsverschil $ZZ = 500$ mm over een lengte van 2×20 m. Met behulp van de zogenaamde tentatieve formule, zoals die wordt weergegeven in de PLE, 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.:

- 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 LToV99 met $L = 2 \times 20$ m voor het zettingsverloop voor de verschillende diameters;
4. Overzicht resultaten eenvoudige rekenmodellen volgens LToV99 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 LToV99 voor een aantal $\varnothing 1272$ mm leidingkruisingen zonder rekenfactoren, zonder schadefactor en zonder verkeersbelasting;
7. Resultaten meting TL24 ter plaatse van de kruising met het Pernisse Hoofd.
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 RQ3P0DZ0;
 - 9.3.2 Berekeningsresultaten RQ3P0DZV;
 - 9.3.3 Berekeningsresultaten RQ300DZ0;
 - 9.3.4 Berekeningsresultaten RQ300DZV;
 - 9.4 Berekeningen met lineair elastisch en plastisch materiaalgedrag:
 - 9.4.1 Berekeningsresultaten PQ3P0000;
 - 9.4.2 Berekeningsresultaten PQ3P0DZ0;
 - 9.4.3 Berekeningsresultaten PQ3P0DZV;
 - 9.4.4 Berekeningsresultaten PQ4P0DZ0;
 - 9.4.5 Berekeningsresultaten PQ4P0DZV.
10. Berekening bovengrens IOWA TL24 Pernis
11. Verslag bespreking nr. 11
12. Berekeningsuitvoer
 - 12.1 Berekening QQ3P0000
 - 12.2 Berekening QQ3P0DZ0
 - 12.3 Berekening QQ3P0DZV
 - 12.4 Berekening QQ4P0DZ0
 - 12.5 Berekening QQ4P0DZV
13. Rapport TU Delft:
Bepaling van de rekapaciteit van oud leidingmateriaal
datum: 27 januari 2003
14. Meetverslag van Van den Heuvel, aannemingsbedrijf b.v.
15. Berekeningsuitvoer ME3P0DZ0, zonder factoren.
16. Notitie van IGWR d.d. 8 mei 2002
17. Verslag bespreking nr. 12
18. Notitie van PZH d.d. 02-06-09, betreffende nieuwe vereenvoudigde berekening
19. Verslag bespreking nr. 13
20. Toetsing fictieve kruising
21. Brief van WBE d.d. 16 augustus 2003 aan de voorzitter van de Studiegroep Pijpleidingen
22. Verslag bespreking nr. 13, Notitie van IGWR d.d. 10 oktober 2002, Berekeningsuitvoer fictieve kruising