

De controle van een gerealiseerde lining in detail besproken. Rioolrenovatie: enkele nieuwe zienswijzen

Ir. R. Ceric en ing. J. Kuit
e-mail: rudi@headengineering.nl, jacob.kuit@grontmij.nl

Trefwoorden: Liner, testmethodes, beslisboom

In dit artikel wordt de toetsing en de controle van een gerealiseerde lining besproken. Daarbij worden aan de hand van een beslisboom, van zowel de eerste beproeving als een eventuele herbeproeving, de achter-eenvolgende testen besproken en toegelicht. Navolging van deze systematiek draagt er toe bij dat van graf naar fijn wordt gewerkt en dat overbodig testen wordt voorkomen.

Inleiding

Bij rioolrenovatieprojecten worden in toenemende mate leringen aangebracht. Het besef dat die lining aan kwaliteitseisen moet voldoen, is groeiende. Op het moment van dit schrijven is Kiwa bezig een BRL op te stellen met als uiteindelijk doel de kwaliteit beter te waarborgen.

Een van de belangrijkste factoren daarbij is de controle van de gerealiseerde lining. Doel van dit artikel is het inzichtelijk maken van de controle en inzicht te geven in de achtergronden.

Rioolrenovatie: enkele nieuwe zienswijzen

In drie uitgaven van Rioleringswetenschap zal een opeenvolgend drieluik van artikelen geschreven worden die als onderwerp hebben rioolrenovatie. De auteurs van deze artikelen zijn werkzaam bij verschillende bedrijven. Deze drie bedrijven werken regelmatig samen op het gebied van controle en analyse van gerealiseerde leringen.

In het voorgaande artikel, (In Rioleringswetenschap nr. 36 verscheen deel 1) is ingegaan op de controle van de uitharding van leringen, toegespitst op TM-DSC analyse bij UP harsen.

In het voorliggende artikel, (WT Afvalwater nr.1) de tweede in de reeks, wordt de volledige controle van de leringen onder de loop worden genomen. Daarbij worden de controles onderwerp voor onderwerp besproken en worden de achtergronden belicht.

In het derde artikel, (WT Afvalwater nr.2) zal worden ingegaan op materiaalafhankelijke rioolrenovatiebestekken. In deze bestekken zijn de eisen aan de leringen zo geformuleerd dat, door elke leverancier met de materiaaleigenschappen van zijn lining, zonder uitgebreide berekeningen, de bijbehorende wanddikte bepaald kan worden.

Zie verklarende woordenlijst.

De te stellen eisen

Globaal zijn de volgende eisen te stellen aan een lining:

- 1) De lining moet bestand zijn tegen het medium, dat door de buis getransporteerd wordt.
- 2) De lining moet zodanig aangebracht worden dat het medium kan worden getransporteerd en er door de aangebrachte lining geen extra vervuiling optreedt.
- 3) De lining moet voldoende mechanische stabiliteit hebben en voldoende zijn om de belasting die op de lining wordt uitgeoefend nu en in de toekomst te kunnen weerstaan.

De eerste eis betreft de chemische bestendigheid. Deze eis leidt tot een keuze van de hars en/of het lining systeem. Deze keuze wordt gemaakt tijdens het ontwerp, dus voordat de lining wordt aangebracht. Bij de controle van de gerealiseerde lining is in verband met de chemische resistentie de mate van uitharding van de hars aan de binnenzijde van de lining van belang. Het onderzoek naar de bepaling van de uithardingsgraad is in het artikel 'Het uithardingsgedrag bij onverzadigde polyesterharsen' in Rioleringswetenschap nr. 36 van december 2009 behandeld.

De tweede eis heeft betrekking op de plooivorming die kan optreden tijdens het aanbrengen van de kous. Enige plooivorming is inherent aan het productieproces en dus niet te voorkomen. De controle op de grootte van de plooivorming is onderdeel van de visuele inspectie bij oplevering, en zal verder niet in dit artikel worden besproken.

Het derde criterium, het voldoen aan de benodigde mechanische eigenschappen van de lining, is een van de belangrijkste redenen van de controles. De dimensionering van de liner vindt in Nederland plaats met behulp van de Duitse norm ATV M 127 deel 2. Bij die methode wordt rekening gehouden met de draagkracht van het bestaande riool. De dimensionering van de lining wordt getoetst op voldoende veiligheid tegen instabiliteit (implosie) en voldoende veiligheid tegen bezwijken (scheuren) van de lining. Dit vertaalt zich in te stellen eisen aan de elasticiteitsmodulus (E-modulus, E), de buigtreksterkte (σ_b) en de minimale wanddikte (t). Voor alle typen linings geldt dat de E-modulus en de buigtreksterkte onder constante belasting in loop van de tijd afnemen. Dit maakt het noodzakelijk de lining te dimensioneren op basis van de langeduur eigenschappen. Voor een meer gedetailleerde uitleg van de dimensionering zie het volgende artikel in deze reeks.

Het vaststellen van de langeduur materiaaleigenschappen. De mechanische eigenschappen

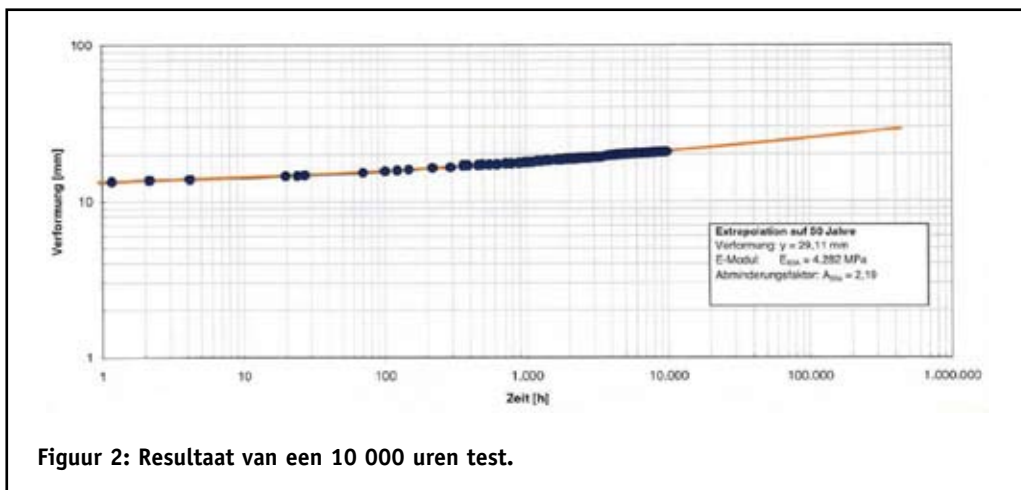
Bij de dimensionering van een liner speelt de E-modulus een doorslaggevende rol. Zoals eerder aangegeven neemt bij liners de E-modulus onder constante belasting in de tijd af. Dit gedrag wordt 'kruip' genoemd. Nagenoeg alle materialen vertonen kruipverschijnselen, kunststoffen echter in extreme mate. Bij liners wordt de kruip beïnvloed door het type hars en de hars-drager verhouding. De kruip van een liner wordt bepaald aan de hand van een langeduur (10.000 uur) kruiptest. De 10 000 uur test is gestandaardiseerd in NEN EN 761 en ook aangegeven in NEN EN 13566-4. In een laboratorium wordt



Figuur 1:
Opstelling 10.000
uren test.

een ring in een proefopstelling op een kruinbelasting belast met een gestandariseerde kracht gedurende 10.000 uur.

Op een aantal tijdstippen wordt de verplaatsing gemeten. De vervorming in de loop van de tijd wordt op een dubbel logaritmische schaal uitgezet, zie figuur 2, er ontstaat een nagenoeg rechte lijn. Door de vervormingslijn tot 50 jaar te extrapoleren, kan de kruipfactor na 50 jaar vastgesteld worden. Alle gerenomeerde leveranciers/installateurs beschikken over deze 10.000 uur test. De test maakt deel uit van het toelatingsonderzoek van de liner. De test kan als referentie gebruikt worden bij het beoordelen van de liners. Op basis van de geextrapoleerde vervormingen na 50 jaar wordt de kruipfactor $k = E_{50} / E_0$ berekend. In het voorbeeld van figuur 2 is de kruipfactor $k = 1 / 2.19 = 0.45$



Figuur 2: Resultaat van een 10 000 uren test.

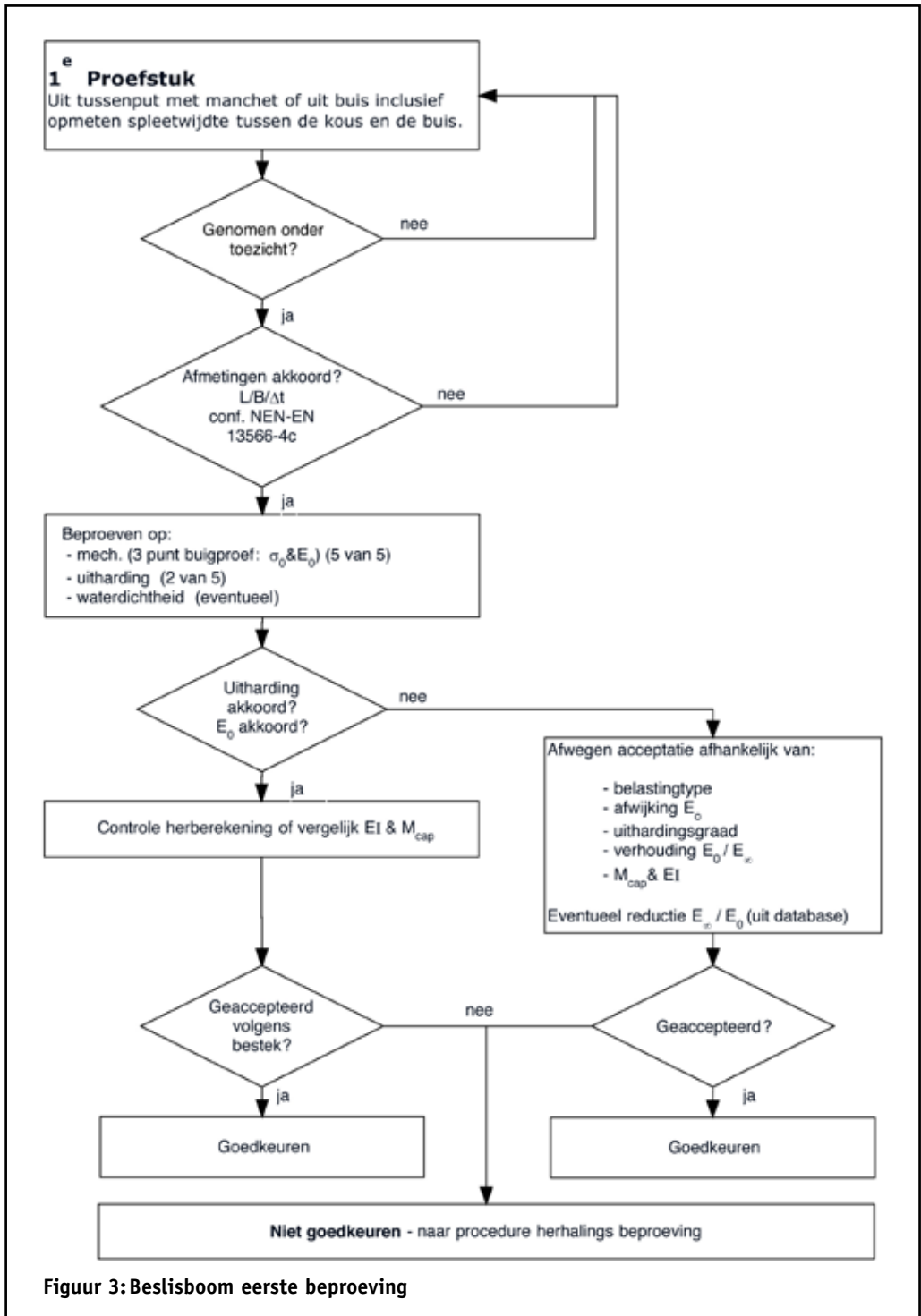
De waterdichtheid

Een van de eisen van een liner betreft de waterdichtheid. De standaardtest voor de controle op waterdichtheid is die volgens de Duitse APS richtlijn. Daarbij wordt de 'inliner' doorsneden en wordt het proefstuk op waterdichtheid bij een overdruk van 0.50 bar getest. De 'inliner' wordt geacht niet aanwezig te zijn. Inmiddels is de kwaliteit van de verwevenheid van de 'inliner' met de rest van de liner zodanig, dat het weglaten daarvan overtrokken is. Het is om die reden beter om bij de toelatingstesten van de liner de waterdichtheid aan te tonen, nadat het proefstuk onderworpen is aan een slijtagetest. Is de 'inliner' ook na de slijtage test intact, dan is controle op waterdichtheid van een gerealiseerde liner overbodig. Temeer omdat tot op heden meestal is dat de inlaten niet waterdicht worden afgewerkt, met als gevolg achterloopsheid van lekwater tussen de liner en de gerenoveerde buis via de aangeboorde inlaten.

De controle van een gerealiseerde liner

Bij een renovatie is een lining ontworpen conform de gestelde eisen en vervolgens aangebracht. Na realisatie moet worden aangetoond dat de gerealiseerde liner inderdaad voldoet aan deze eisen. Daarvoor is een aantal onderzoeken nodig. Bij de onderzoeken is het raadzaam om van grof naar fijn te werken. De volgende principes worden gehanteerd:

- De eerste beproeving vindt plaats door c.q. namens de opdrachtgever en op kosten van de opdrachtgever. Wordt niet aan de gestelde eisen voldaan dan wordt de lining afgekeurd.
- Bij afkeuring kan de aannemer verzoeken om vervolgonderzoek. Dit tweede onderzoek vindt eveneens plaats door c.q. namens de opdrachtgever maar op kosten van de aannemer. De kosten van dit onderzoek moeten bekend zijn voor de aanbesteding, zodat de aannemer weet wat te verwachten als niet wordt voldaan aan de eisen. Dit onderzoek is, afhankelijk van de beproevingsresultaten, omvangrijker dan het eerste onderzoek.



Figuur 3: Beslisboom eerste beproeving

De onderzoeken en de bijbehorende vervolg acties zijn in een tweetal beslisbomen opgenomen. De onderdelen zullen onderwerp voor onderwerp worden besproken.

De eerste beproeving

Het verloop van de beproeving is weergegeven in het schema, zie figuur 3. De volgende onderdelen zullen worden besproken, vanwege de leesbaarheid zijn de onderwerpen genummerd:

- a) De locatie van het te nemen proefstuk.
- b) De eisen die aan het proefstuk gesteld moeten worden.
- c) De eisen die aan het transport van het proefstuk naar het laboratorium gesteld moeten worden.
- d) De onderzoeken die in het laboratorium plaatsvinden:
 - d1) De mechanische beproeving.
 - d2) Het onderzoek naar de uithardingsgraad.
 - d3) De korteduur E-modulus.
- e) De analyse van de beproevingsresultaten.

a) De locatie van het te nemen proefstuk

De eigenschappen van een gerealiseerde lining moeten worden onderzocht op basis van één proefstuk per inversie. Het is daarbij van belang dat het proefstuk representatief is voor de gerealiseerde lining. De optimale locatie voor het nemen van een proefstuk is uit de lining van de gerenoveerde buis. Een nadeel is echter dat de zojuist gerenoveerde buis weer beschadigd wordt. Deze beschadiging moet na het nemen van het proefstuk weer zodanig hersteld worden dat ook daar ter plaatse wordt voldaan aan de gestelde eisen. Second best is het nemen van een proefstuk uit een tussenput. Daarbij moeten dan wel de omstandigheden tijdens het aanbrengen van de lining zoveel mogelijk gelijk zijn aan die van in de buis. Daarvoor is een aantal maatregelen noodzakelijk:

- Het toepassen van een voldoende stijf manchet. De manchet heeft als doel de tegendruk tegen de lining tijdens het uitharden vergelijkbaar te maken aan die in de buis. De afmetingen en vorm van de manchet moeten zo goed mogelijk overeenkomen met die van de te relinen buis.
- Het toepassen van voldoende isolatie, zodat het verloop van de uitharding zoveel mogelijk gelijk is aan die in de buis.

Bij het nemen van een proefstuk uit een begin- of eindput is de kans op het nemen van een voldoende representatief proefstuk gering, en daarom niet aan te bevelen. Het proefstuk kan over het algemeen uit de zijkant van de buis worden genomen, deze locatie sluit goed aan met die waar de stijfheid het meest van belang is.

b) De te stellen eisen aan het proefstuk

De volgende eisen zijn van belang:

- De afmetingen, deze zijn voorgeschreven in EN ISO 178 en vermeld in NEN- EN 13566-4.
- De dikte dient zo gelijkmatig mogelijk te zijn. Volgens NEN- EN 13566-4 is de toegestane afwijking 10% (t.o.v. de gemiddelde waarde).
- Er mogen geen scheuren/blaasjes en andere imperfecties voorkomen in het proefstuk.
- Nummering en duidelijke markering (zoals bijvoorbeeld in APS formulier), zodat er geen twijfel is over de herkomst van het proefstuk.

c) Het transport van het proefstuk naar het laboratorium

Uitgangspunt bij alle beproevingen (ongeacht de fabrikant van de lining, het type hars, de uitharding methode etc.) is dat het proefstuk representatief is voor de hele lining. Daarom is het belangrijk dat het proefstuk zo snel mogelijk in het laboratorium is, en liefst in een geconditioneerde omgeving. Minimale vereisten tijdens het transport zijn:

- Geen UV-straling. Om dat te voorkomen kan het proefstuk, direct na het nemen van het proefstuk, het beste verpakt worden in een folie die deze straling tegen kan houden.
- Geen hogere temperatuur dan de omgevingtemperatuur.
- Geen direct zonlicht.

Als deze richtlijnen niet gerespecteerd worden, kunnen de vluchtige stoffen (zoals bijvoorbeeld styreen of andere vrije radicalen) verdampen of kan de reactie juist verder gaan. In beide gevallen is het proefstuk niet meer te vergelijken met de rest van de lining en kan men niet met zekerheid stellen of de behaalde resultaten op dit proefstuk (zowel positief als negatief) ook voor de lining geldig zijn.

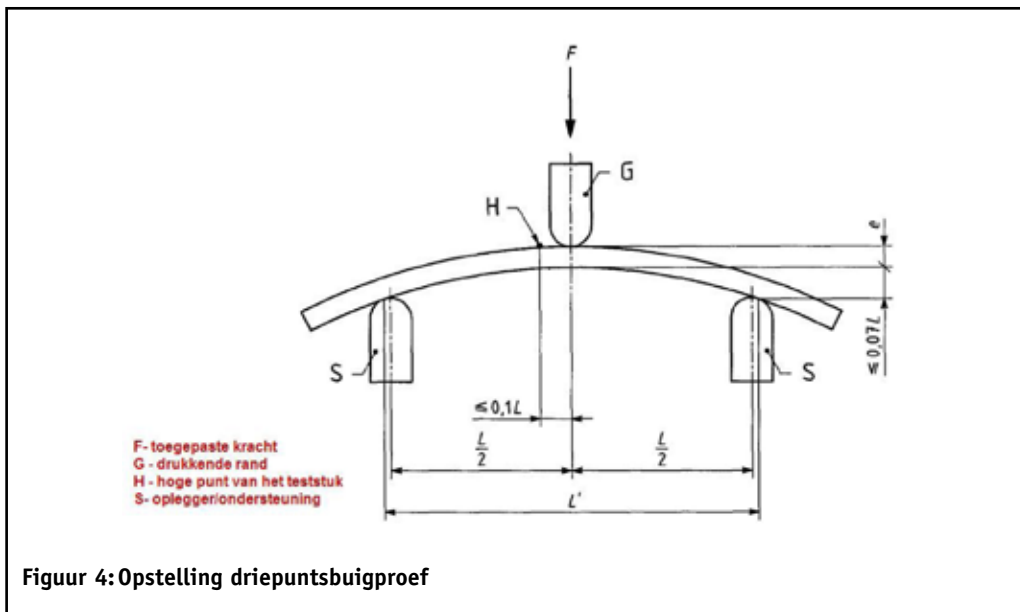
d) Het onderzoek in het laboratorium

Bij aankomst in een laboratorium krijgt het proefstuk een uniek nummer, wordt het proefstuk gefotografeerd en worden alle gegevens betreffende het proefstuk vastgelegd.

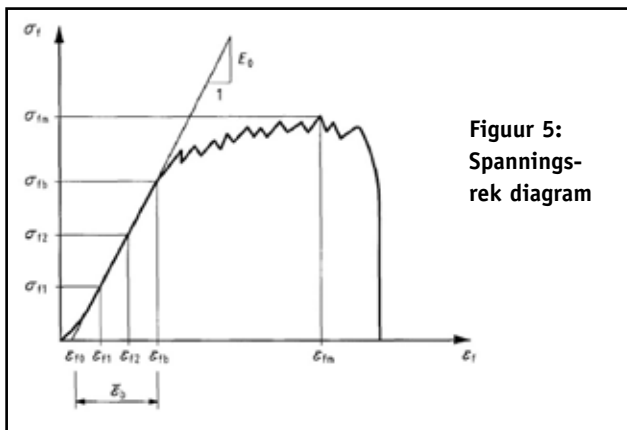
Na controle van het proefstuk op homogeniteit wordt het in vijf repen van 50 mm gezaagd, conform NEN-EN 13566-4. Er vinden bij de eerste beproevingsronde twee controles plaats, ten eerste het bepalen van de mechanische eigenschappen en en tweede de toetsing van de mate van uitharding.

d1) De mechanische beproeving

De mechanische eigenschappen, de E-modulus en de buigtreksterkte worden afgeleid uit de resultaten van een driepuntsbuigproef. Deze test wordt op iedere reep uitgevoerd.



Figuur 4: Opstelling driepuntsbuigproef








Figuur 5: Spannings-rek diagram

Bij de beproeving van een reep wordt de belasting F opgevoerd tot aan bezwijken van het proefstuk. Daarbij wordt de doorbuiging van het proefstuk gemeten. Uit de gemeten kracht en doorbuiging wordt voor iedere reep een $\sigma - \epsilon$ diagram berekend. De buigtreksterkte (σ_{bt}) is gedefinieerd als de optredende spanning bij de eerste scheurvorming in de lining (σ_{fb}). De E-modulus wordt berekend uit de spanning en de rek bij de eerste scheurvorming.

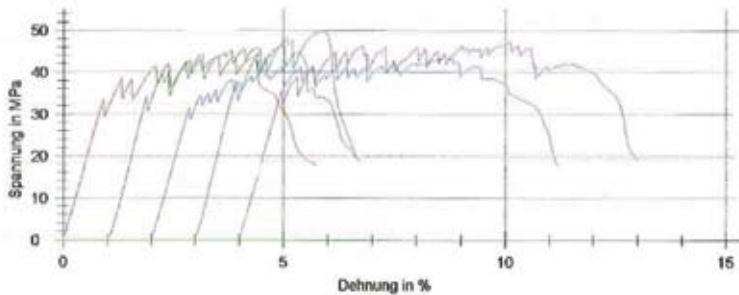
Het resultaat van de mechanische beproeving is vijf waarnemingen van de wanddikte t , E-modulus en buigtreksterkte. De gevonden E-moduli en buigtreksterkten zijn korte duur eigenschappen, E_0 en σ_{bt0} .

Ergebnisse

Legende	Nr	b mm	L _v mm	R _s ¹ mm	V ₀ ² mm	σ ₀₁ MPa	σ ₀₂ MPa	E-Modul E _r MPa	Probedicke h mm
	1	50,11	203,70	0,00	14,46	33,9	43,8	3889	14,46
	2	49,94	203,63	0,00	13,87	34,4	46,4	4386	13,87
	3	50,02	203,67	0,00	14,32	31,8	43,4	3839	14,32
	4	49,81	203,15	0,00	14,00	38,4	49,8	4374	14,00
	5	49,81	203,87	0,00	13,83	35,8	47,3	3850	13,83

Beschichtungsstärke : 0,5 mm

Seriengrafik



Figuur 6: Voorbeeld resultaten van een mechanische beproeving

Zoals eerder aangegeven vindt de dimensionering van een liner plaats op basis van de langeduur-eigenschappen. Voor het berekenen van de langeduur-eigenschappen van een beproefde liner wordt gebruik gemaakt van de kruipfactor die bepaald is bij het toelatingsonderzoek van de liner. Er geldt dan $E_{50 \text{ proef}} = k_{\text{toelating}} * E_{0 \text{ proef}}$

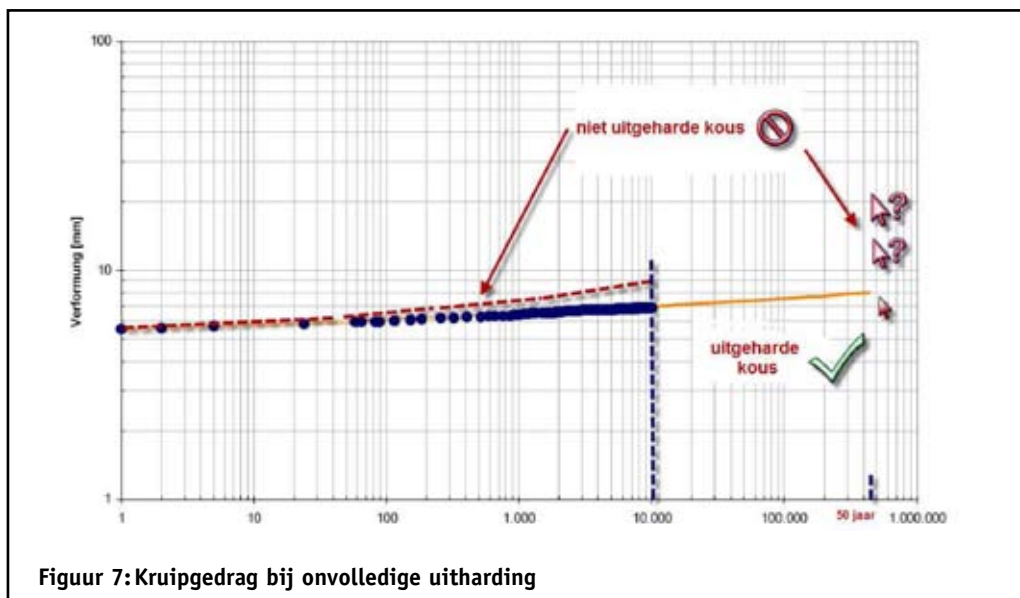
Opmerking

De gegevens met betrekking tot de verhouding langeduur – korte duur buigtreksterkten zijn beperkt. In het algemeen wordt aangenomen dat de kruipfactor ook geldt voor de buigtreksterkte. Op zich hebben deze waarden niets met elkaar te maken. De verhouding op basis van de kruipfactor is echter aan de pessimistische kant. Bij gebrek aan beter doen we het maar zo.

d2) De invloed van de uithardingsgraad.

Bij het toelatingsonderzoek van een liner wordt uiteraard uitgegaan van een optimaal samengestelde en uitgeharde lining. De kruipfactor geldt dan ook voor een volledig uitgeharde liner. Bij onvoldedige uitharding is het niet zeker hoe groot de kruipfactor is. In de figuur is het mogelijke verloop van het kruipgedrag schematisch weergegeven.

In de afbeelding wordt bij een voldoende uitharding de kruipfactor bepaald door middel van extrapolatie na 10.000 uur. Bij niet-uitgeharde liningen kunnen we deze extrapolatie niet uitvoeren, want het extrapoleren zal niet tot een eenduidig resultaat leiden. Dat betekent in feite dat het bij onvoldoende uitgeharde kousen onmogelijk is om zonder nader onderzoek de kruip E_{50}/E_0 te bepalen. Het is dan ook niet mogelijk om daarmee lange termijn eigenschappen af te leiden. Het is om die reden van belang de uithardingsgraad vast te stellen. Het bepalen van de uithardingsgraad kan op een aantal manieren uitgevoerd worden:



Figuur 7: Kruipgedrag bij onvolledige uitharding

- Door rest styreen meting.
- Door een DSC-analyse.
- Door TM DSC-analyse.

Zoals in het vorige artikel in deze reeks 'Het uithardingsgedrag van bij onverzadigde polyesterharsen' is aangegeven, gaat de voorkeur uit naar de TM DSC analyse.

Bij het starten van het uithardingsproces wordt, afhankelijk van het type hars, vanaf de binnenzijde van de lining warmte of licht toegevoegd om de chemische reactie op gang te brengen. Aan de buitenzijde van de lining, de zijde tegen de buiswand, is de opwarming minder dan aan de binnenzijde, vanwege de tijd die nodig is voor het warmtetransport in combinatie met de afkoeling door de buiswand van het bestaande riool en/of door (stromend) grondwater tussen de lining en de buiswand. Om die reden is te verwachten dat de mate van uitharding aan de buitenzijde van de lining het kleinst is. De TM DSC analyse wordt dan ook voor de buitenste vezels uitgevoerd. Is daar de uitharding voldoende, dan kan aangenomen worden dat de rest ook voldoende is uitgehard. Aan te bevelen is de TM DSC voor twee van de vijf repen uit te voeren, die repen waarbij de laagste E-modulus is gevonden. Bij de eerste beproevingsronde wordt volstaan met de bepaling van de uitharding aan de buitenzijde. Bij de tweede beproevingsronde wordt, zoals in de beslisboomherbeproeving is aangegeven bij onvoldoende uitharding ook de uitharding over de linerdikte onderzocht. Bij de bespreking van de beslisboom herbeproeving wordt hier nader op ingegaan.

d3) De korteduur E-modulus

De bij de mechanische beproeving vastgestelde E_0 zou in theorie bij volledige uitharding een eenzelfde waarde of ten minste vergelijkbare waarde moeten hebben als de E_0 bepaald bij de toelatingstest. Dit is echter niet altijd het geval, de gemeten waarden zijn vaak afwijkend, zowel hoger als lager. De reden van de afwijking is niet altijd duidelijk c.q. inzichtelijk en kan pas na aanvullende onderzoeken met zekerheid vastgesteld worden. Het kan duiden op een andere samenstelling van de liner, bijvoorbeeld een afwijkende hars-drager verhouding, hoeveelheid van de vulstoffen, maar ook op het afwijkend uithardingsproces. Op dit moment is niet duidelijk hoe groot de afwijking mag zijn wil men nog kunnen uitgaan van k toelating. Voorlopig is het aan te bevelen om bij een afwijking van $\geq +20\%$ of $\geq -20\%$ of meer een kruiptest uit te voeren. Nader onderzoek naar het effect van een afwijking van E_0 op de kruip is gewenst.

e) De analyse van de beproevingsresultaten

Als de beproevingsresultaten bekend zijn moet beoordeeld worden of de lining voldoet aan de gestelde eisen. Deze analyse kan, afhankelijk van de beproevingsresultaten, op een aantal manieren plaats vinden. Aan de hand van twee fictieve voorbeelden zal dit worden besproken. Daarbij wordt uitgegaan van de volgende eisen voor een liner:

- $t_{min} = 10 \text{ mm}$
- $E_{50} = 1\,200 \text{ N/mm}^2$
- $\sigma_{bt\ 50} = 16 \text{ N/mm}^2$
- kruipfactor: $k \text{ toelating} = 0.45$

Voorbeeld 1

De resultaten van de beproevingen zijn als volgt:

- De uitharding is volledig.
- De minimum waarnemingen van t , E en σ_{bt} zijn allen groter dan de vereiste waarden.

Er wordt dus aan alle eisen voldaan, de lining is goedgekeurd.

Voorbeeld 2

De resultaten van de beproevingen in situatie 2 zijn weergegeven in de onderstaande tabel.

vlg nr	dikte t mm	E_0 N/mm ²	σ_{bt-0} N/mm ²	EI_{wand-0} Nmm ² / mm
1	11.6	2 465	41.9	320 634
2	11.2	2 420	39.4	283 327
3	11.8	2 430	39.6	332 714
4	11.4	2 475	40.1	305 568
5	11.8	2 280	39.0	312 176
vereist	10.0	2 665	40.0	222 222
minimaal	11.2	2 280	39.0	283 327
gemiddeld	11.6	2 414	40.0	310 884
standaard afw s	0.3	78	1.1	18 445
5 % ondergrens	11.1	2 285	38.1	280 634

Tabel 1: Resultaten van de beproeving voorbeeld 2

In de rechterkolom van tabel 1 zijn de waarden voor wandstijfheid EI_{wand} opgenomen.

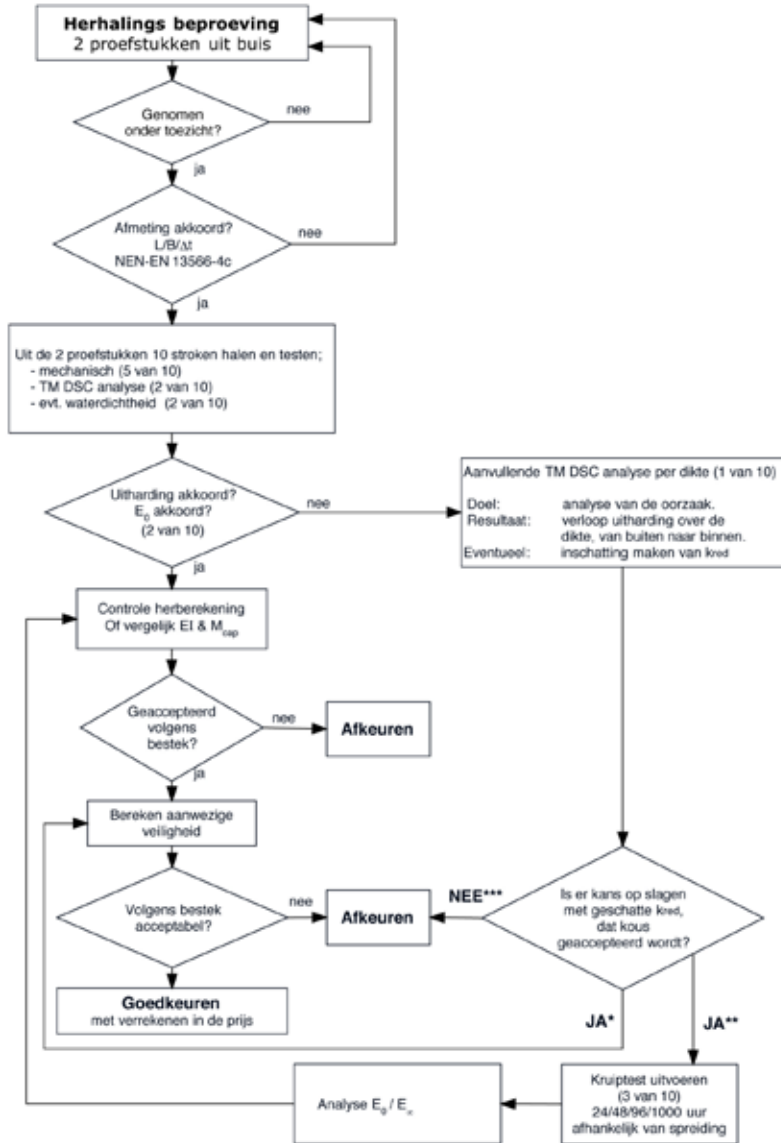
Waarbij geldt: $EI_{wand} = 1/12 * E * t^3$

Uit vergelijking van de vereiste waarde en de gerealiseerde 5% ondergrens voor EI_{wand} is zonder verdere berekening duidelijk dat, uitgaande van de volledige uitharding, de lining ruimschoots aan de gestelde eisen voldoet. Ook al is de E-modulus te laag, de overmaat aan wanddikte compenseert dat. In het volgende artikel in deze reeks zal nader op dit onderwerp worden ingegaan.

Stel echter dat in dit geval de TM DSC-analyse aangeeft dat de uitharding onvoldoende is, dan moet er dus vanuit worden gegaan dat de kruipfactor $k \text{ toelating} = 0.45$ niet gehanteerd kan worden. Er zal een lagere waarde voor k aangehouden moeten worden.

Uit tabel 1 volgt dat $EI_{wand\ 5\%_0\text{-gerealiseerd}} = 1.26 * EI_{wand\ 0\text{-eis}}$. Hieruit is af te leiden dat indien de kruipfactor $k = 0.45 / 1.26 = 0.36$ bedraagt, de lining nog steeds zou voldoen.

Afhankelijk van de belastingssituatie van de liner kan overwogen worden om de liner zonder nader onderzoek te accepteren. Factoren die daarbij een rol spelen zijn het aandeel van de langeduur belas-



- * - afhankelijk van type belasting
 - alleen bij geringe afwijking k
 - als E waarde minder belangrijk is
 - bij overdimensionering van de wanddikte
- ** - bij grote kans van slagen
 - in twijfel gevallen
- ***- afweging bij grote afwijking k
 - weinig tot geen kans van slagen
 - in overleg met de aannemer kan besloten om alsnog kruipstest uit te voeren

Figuur 8: Beslisboom herbeproeving

ting, bijvoorbeeld waterdruk, de mate van kans dat de maximale belasting voorkomt, of er bij de dimensionering is uitgegaan van een extreme waterstand of van een meer gemiddelde waarde.

Bij twijfel moet de lining worden afgekeurd en de aannemer in de gelegenheid gesteld worden om een herbeproeving voor te stellen.

De herbeproeving

Het verloop van de herbeproeving is weergegeven in het schema, zie figuur 8. De herbeproeving verloopt in grote lijnen gelijk aan de eerste beproeving. Alleen de afwijkingen en de extra beproevingen zullen uitgewerkt worden:

- f) Het aantal en de locatie van de proefstukken.
- g) De controle van de uitharding over de wanddikte.
- h) De kruiptest.

f) Het aantal en de locatie van de proefstukken.

Bij de herbeproeving worden voor de te onderzoeken inversie twee proefstukken uit de lining van de buis genomen. Het onderzoek zal, afhankelijk van de resultaten, omvangrijker en dus duurder zijn. Het is onlogisch dit duurdere onderzoek uit te voeren op proefstukken die niet optimaal representatief zijn, om die reden dienen de proefstukken uit de lining genomen te worden.

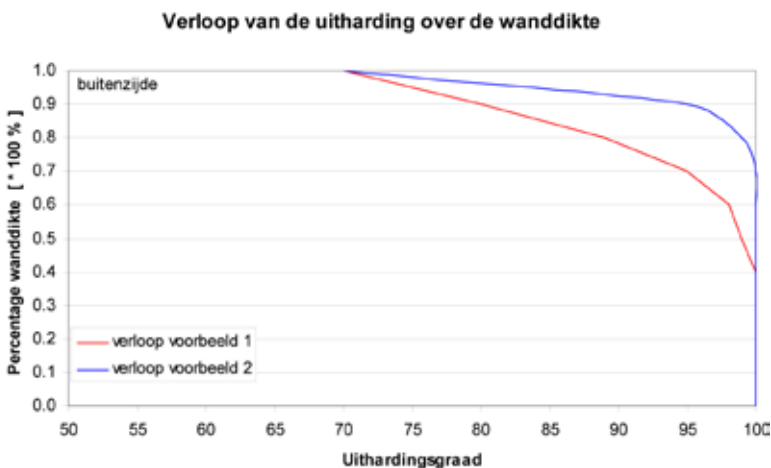
In het laboratorium worden uit de twee proefstukken 10 repen gezaagd.

Deze worden voor de volgende proeven ingezet:

- Ten behoeve van de mechanische eigenschappen vijf repen.
- Ten behoeve van eventuele kruiptesten drie repen.
- Ten behoeve van eventuele aanvullende DSC analyse twee repen.
- Eén reep voor reserve.

g) De controle van de uitharding over de wanddikte

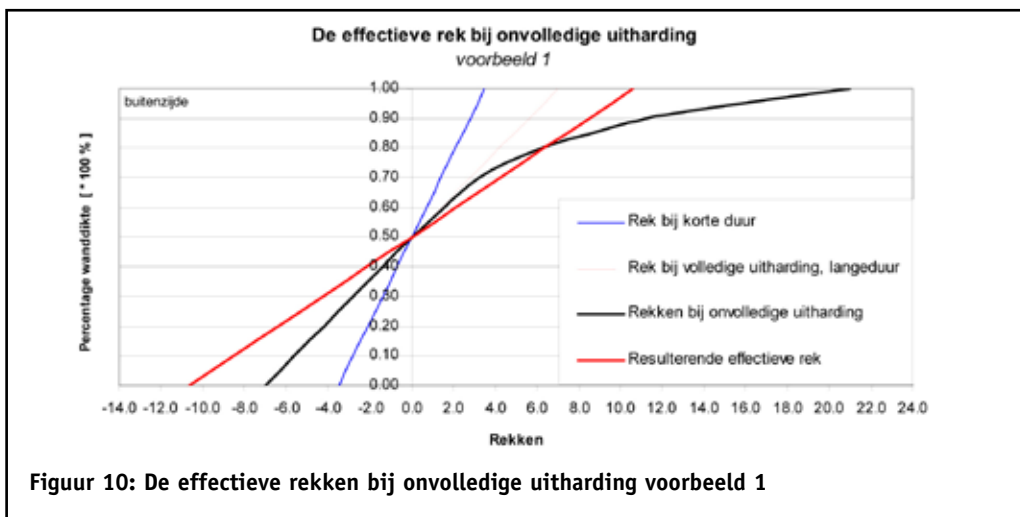
In eerste instantie wordt, evenals bij de eerste beproeving, bij twee repen een TM DSC analyse uitgevoerd. Is de uitharding onvoldoende dan zal de uitharding over het verloop van de wanddikte worden onderzocht. Daarbij wordt de analyse uitgevoerd op een monster op toenemende afstand van de buitenzijde van de lining. Het resultaat van een dergelijk onderzoek is weergegeven in figuur 9.



Figuur 9: Verloop van de uitharding over de wanddikte

Het verloop van de uitharding over de wanddikte kan tweeledig gebruikt worden. Ten eerste kan het gebruikt worden als analyse-middel om na te gaan wat de oorzaak is van het onvolledig uitharden. Dit in combinatie met andere gegevens, bijvoorbeeld de resultaten van de thermokoppels.

Daarnaast kan het verloop van de uitharding gebruikt worden om een indruk te krijgen van de afwijking van de kruipfactor door de onvolledige uitharding. De effecten van de onvoldoende uitharding op de kruip van het gehele proefstuk zijn afhankelijk van de zone waarover de uitharding onvoldoende is. Is de uitharding alleen in de buitenste zone van de wanddikte onvoldoende dan is het effect op de stijfheid aanzienlijk geringer dan in het geval waarbij de uitharding over een groot deel van de wanddikte onvolledig is. Het effect op de kruip kan geschat worden door uit te gaan van de rekken die in de liner optreden. Dit zal duidelijk gemaakt worden aan de hand van twee voorbeelden.



Figuur 10: De effectieve rekken bij onvolledige uitharding voorbeeld 1

Voorbeeld 1

De uitharding is over circa 30% van de wanddikte onvoldoende, het verloop is aangegeven in figuur 9 (de rode lijn).

Stel dat de rek onder de korteduur belasting van de uiterste vezel $\epsilon_0 = 3.5 \text{ ‰}$ bedraagt.

De langeduur rek is dan $\epsilon_{50} = \epsilon_0 / k$

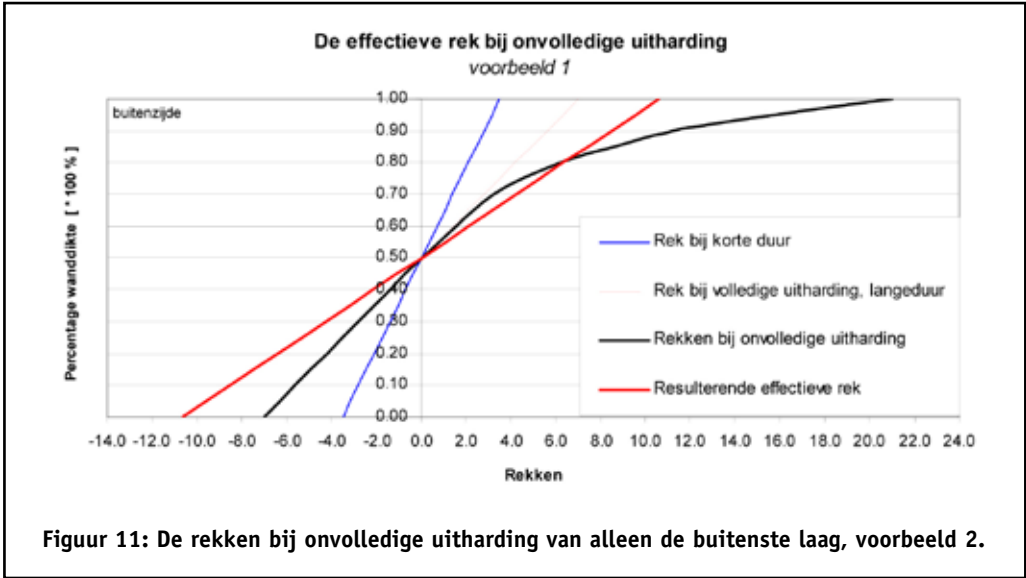
In geval van een kruipfactor $k = 0.50$ ($1 / k = 2.0$) loopt de rek bij normale uitharding door kruip op tot $\epsilon_{50} = 2.0 * 3.5 = 7.0 \text{ ‰}$.

Als er een onvolledige uitharding heeft plaats gevonden zal de kruipfactor toenemen. Veronderstel dat de kruipfactor toeneemt met een factor 3.0 toe bij een uitharding van 70%. De rek in de vezel aan de buitenzijde wordt dan $\epsilon_{50} = 3 * 2.0 * 3.5 = 21.0 \text{ ‰}$, het verloop van de rekken is weergegeven door de zwarte lijn in figuur 10.

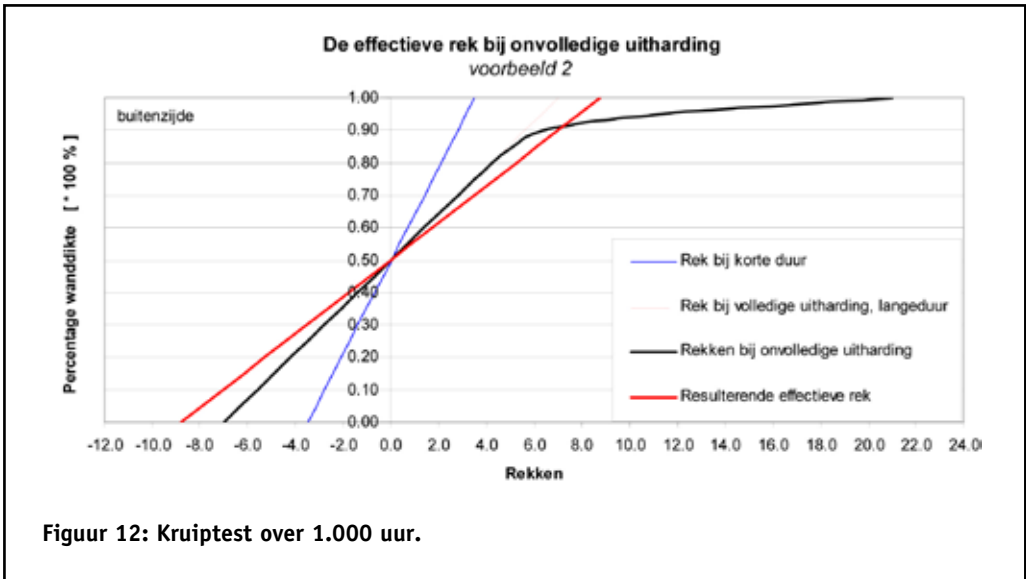
De E modulus wordt bepaald door de effectieve rekken in de doorsnede. De effectieve rek is te berekenen uit het evenwicht in de doorsnede. In de figuur is het verloop van de effectieve rek weergegeven door de dikke rode lijn. In dit voorbeeld bedraagt de effectieve rek in de uiterste vezels $\epsilon_{50 \text{ eff}} = 10.6 \text{ ‰}$. De effectieve kruipfactor zou dan $k_{\text{eff}} = \epsilon_0 / \epsilon_{50 \text{ eff}} = 3.50 / 10.60 = 0.33$ bedragen. Een afname van 36% ten opzichte van de volledig uitgeharte liner.

Voorbeeld 2

In dit voorbeeld heeft alleen de buitenste 10% van de doorsnede een onvolledige uitharding van 70%. Het verloop is eveneens in figuur 9 weergegeven, de blauwe lijn. De effecten op de rekken zijn weergegeven in figuur 11.



Figuur 11: De rekken bij onvolledige uitharding van alleen de buitenste laag, voorbeeld 2.



Figuur 12: Kruiptest over 1.000 uur.

De effectieve rek in de uiterste vezel bedraagt op basis van dezelfde aannamen $\epsilon_{50\text{ eff}} = 8.80 \text{ ‰}$. De effectieve kruipfactor zou dan $k_{\text{eff}} = \epsilon_0 / \epsilon_{50\text{ eff}} = 3.50 / 8.80 = 0.40$ bedragen. Een afname van 12% ten opzichte van de volledig uitgeharte kous.

Op deze wijze kan op basis van enkele aannamen een indruk van het effect van een onvolledige uitharding worden verkregen. De bovenstaande exercitie is gebaseerd op een aanname van de relatie tussen de toename van de kruip en het percentage van de uitharding. Op dit moment zijn, voor zover bekend, nauwelijks of geen gegevens met betrekking tot deze relatie beschikbaar. Het is aan te bevelen hier nader onderzoek naar te doen c.q. gegevens betreffende deze relatie te verzamelen. Dit zou kunnen door als een kruiptest wordt uitgevoerd de resultaten van deze test te combineren met die van een TM DSC analyse over de gehele doorsnede van de wand, aangevuld met een bovenstaande analyse.

h) De kruiptest

Als laatste stap in de controle wordt een kruiptest uitgevoerd. Hiervoor worden drie van de tien stroken gebruikt. Bij de kruiptest wordt iedere stook belast met een gestandaardiseerde constante belasting volgens NEN-EN-ISO 899-2 gedurende een bepaalde tijd. Tot op heden geldt voor deze periode 24 uur. Tijdens de testperiode wordt de toename van de doorbuiging ten gevolge van de kruip gemeten. De toename wordt vergeleken met het verloop van de kruip bij de toelatingstest.

Een probleem bij deze test is dat in de eerste fase van de kruiptest het verloop van de kruip vaak te grillig is om een goede vergelijking te kunnen maken. Om die reden is het noodzakelijk om de test zodanig lang door te zetten dat een goede vergelijking wel mogelijk is. Daarbij moet het verloop van de kruip van de drie beproefde stroken een vergelijkbaar beeld geven. Is dat nog niet het geval dan moet de test worden doorgezet. De toetsingsperioden zouden moeten zijn 24, 48, 96 of 1 000 uur. Als de kruiptesten zijn afgerond kan door vergelijking met de toelatingstest een inschatting van de kruip na 50 jaar plaats vinden.

De kosten van de kruiptest kunnen, zeker als de test tot 1.000 uur moet worden doorgezet, aanzienlijk oplopen. Daarnaast neemt het veel tijd in beslag. Het is om die reden verstandig een afweging te maken of er een goede kans van slagen op acceptatie van de liner is, alvorens de kruiptest te starten. Bij deze afweging kan gebruik gemaakt worden van de analyse op basis van de bepaling van de uitharding over de doorsnede zoals in de vorige paragraaf is omschreven.

Conclusie

Bij het aanbrengen en het uitharden van een liner zijn veel factoren die de kwaliteit beïnvloeden. Het is noodzakelijk de gerealiseerde liner te toetsen aan de gestelde eisen. Daarvoor is een aanzienlijk scala van onderzoeksmogelijkheden beschikbaar. In dit artikel is dieper ingegaan op het hoe en waarom een test uitgevoerd moet worden. Zowel voor de eerste beproeving als de herbeproeving is een beslissboom opgesteld. Volgen van deze systematiek draagt er toe bij dat van grof naar fijn gewerkt wordt. Daarmee wordt overbodig testen voorkomen. Daarnaast leveren sommige testen en analyses een bijdrage aan het vinden van een oorzaak van een optredende afwijking.

In dit artikel is de huidige stand van zaken weergegeven. Het is voorspelbaar dat in de toekomst als gevolg van voortschrijdend inzicht (enige) aanpassing zal plaatsvinden.

Woordenlijst

DSC: Dynamic Scanning Calorimetry (of in het Nederlands: dynamische differentiecalorimetrie DDC) is een thermoanalytische methode voor het bepalen van toestandsveranderingen zoals smelten, stollen of omvormen. Met DSC is het mogelijk de absolute toestand (bijv. smeltpunten, glasovergangstemperaturen) en de omvang van een thermisch effect (bijv. de vrijkomende warmte tijdens de uitharding – exothermie) te bepalen.

TM-DSC: toepassing van een temperatuurmodulatie voor het scheiden van reversibele (T_g) en irreversibele (exothermie) effecten. Om deze meting uit te kunnen voeren dient de standaard DSC apparaat aangepast te worden (processen moeten sneller plaats vinden). Naast hardware wijzigingen moet ook software aangepast worden om beter “in te zoomen” in de grafische weergave van de resultaten.

E-modulus: de verhouding tussen spanning en rek van een monster. E-modulus is een meetwaarde uit mechanische onderzoeken (bijv. driepuntsbuigproef volgens DIN EN ISO 178). Deze meetwaarde wordt door de uithardingsgraad, de verdichting, het harspercentage en de externe omstandigheden van de uitharding bepaald.

Radicaal: radicalen zijn atomen of moleculen met ten minste één vrij elektron. Aangezien de elektronen doorgaans in gepaarde vorm aanwezig zijn, ontstaat er voor de radicalen een zeer hoge reactiviteit. Radicalen zijn bijv. startmoleculen (peroxiden) bij de reactie met onverzadigde polyesterharsen.

BRL: Nationale Beoordelingsrichtlijn is opgesteld door het College van Deskundigen Leidingsystemen van Kiwa. Voor linings van riolen is een BRL in voorbereiding.

ATV-M 127, deel 2: 'Statische Berechnung zur Sanierungen von Abwasserkanälen und -leitungen mit Lining- und Montageverfahren'

Inversie: Het aanbrengen van een lining over een of meerdere rioolstrengen in één werkgang.

Inliner: Folie van een thermoplastisch materiaal aan de binnen van de lining, ter bescherming. Tijdens de productie en het inbrengen bevindt de laag zich aan de buitenzijde, na de inversie, waarbij de lining binnenste buiten wordt gekeerd, aan de binnenzijde van de lining.

Auteurs

De werktuigbouwkundige Ir. R. Ceric werd in 1968 in Kranj (Slovenië) geboren. Hij behaalde zijn doctorale getuigschrift in 1993 aan de universiteit van Zagreb (Kroatië). Na een loopbaan bij Beuker Kunststoffen en Arcadis (als adviseur riolering) richtte hij in 2003 het adviesbureau Head Engineering op. Head Engineering is gespecialiseerd in CIPP renovatiemethode en toonaangevend op dit vakgebied in Nederland (publicaties in H2O, Riolering, Land+Water, initiator van BRL voor ter plaatse uithardende kousen bij KIWA, regelmatig in contact met Dr. Falter die medeopsteller is van ATV M-127 etc).

De waterbouwkundig constructeur ing. J. Kuit is in 1949 in Nederland geboren. Hij behaalde in 1973 zijn diploma Betonconstructeur BV. Sinds 1984 is hij werkzaam bij Grontmij als civiel-constructeur. De afgelopen 15 jaar heeft hij zich gespecialiseerd in het constructief ontwerpen en bepalen van de rusttijdsduur van ondergrondse leidingsystemen. Rioolrenovatie is daar in toenemende mate een onderdeel van. Publicaties in Cement, Land + Water, lid van BRL commissie voor ter plaatse uithardende kousen (mede initiator), lid van werkgroep Sleufloze renovatietechnieken van de NSTT.