

BTO 2003.038
Oktober 2004

Conditiebepaling gietijzeren waterleidingen

- wanddikte, belastingen -



BTO 2003.038
Oktober 2004

Conditiebepaling gietijzeren waterleidingen

- wanddikte, belastingen -

© 2004 Kiwa N.V.
Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag
worden verveelvoudigd,
opgeslagen in een
geautomatiseerd
gegevensbestand, of
openbaar gemaakt, in enige
vorm of op enige wijze,
hetzij elektronisch,
mechanisch, door
fotokopieën, opnamen, of
enig andere manier, zonder
voorafgaande schriftelijke
toestemming van de
uitgever.

Opdrachtgever
BTO

Projectnummer
11.1439.100

Kiwa N.V.
Water Research
Groningenhaven 7
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein

Telefoon 030 60 69 511
Fax 030 60 61 165
Internet www.kiwa.nl

Colofon

Titel

Conditiebepaling gietijzeren waterleidingen
- wanddikte, belastingen -

Projectnummer

11.1439.100

Projectmanager

W.J.M.K. Senden

Kwaliteitsborger

J.H.G. Vreeburg

Auteurs

G.A.M. Mesman, P.G.G. Slaats

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar

Inhoud

	Inhoud	1
1	Inleiding	3
2	Gietijzeren leidingen	5
2.1	Aandeel gietijzer in het Nederlandse waterleidingnet	5
2.2	Materiaaleigenschappen gietijzer	6
2.2.1	Gietijzer	6
2.2.2	Coatings	7
2.2.3	Verbindingen	9
3	Aantasting gietijzeren leidingen	11
3.1	Inleiding	11
3.2	Mechanisme	11
3.3	Factoren van invloed op de aantasting van gietijzer	12
3.3.1	Inleiding	12
3.3.2	Invloed waterkwaliteit	12
3.3.3	Bodemsamenstelling	13
3.3.4	Toestand van de coating	13
3.4	Gevolgen van corrosie	13
3.5	Bepaling overige effecten van aantasting gietijzeren leidingen	13
3.5.1	Achteruitgang hydraulische conditie	13
3.5.2	Verslechtering waterkwaliteit	13
4	Conditiebepalingsmethoden	15
4.1	Kennissysteem Levensduurbepaling	15
4.2	Beoordeling mate van aantasting gietijzer	15
4.2.1	Proefstukken	15
4.2.2	Beoordelingsmethodiek	17
5	Representativiteit meetgegevens	21
5.1	Inleiding	21
5.2	Statistische betrouwbaarheid meetgegevens	21
5.2.1	Spreiding in buisdelen	21
5.2.1.1	Beschikbare gegevens	21
5.2.1.2	Steekproefgrootte bij buisdeelonderzoek	23
5.2.1.3	Bepaling extremen op basis van een steekproef	25
5.2.1.4	Relaties tussen leidingkenmerken en gemeten grootheden	25
5.2.2	Spreiding binnen een leiding	25
5.2.2.1	Beschikbare gegevens	25
5.2.2.2	Steekproefgrootte bij leidingonderzoek	28
5.3	Conclusies op basis van buisdeel- en leidingonderzoek	29

6	Relaties conditie en leidingparameters	31
6.1	Analyse meetgegevens	31
6.2	Relaties tussen verschillende leidingparameters en aantasting	32
6.2.1	Treksterkte - aanlegjaar	32
6.2.2	Maximum inwendige putdiepte - Corrosie Index drinkwater	33
6.2.3	Afname wanddikte per jaar - Corrosie Index drinkwater	34
6.2.4	Maximum inwendige putdiepte - toestand inwendige coating	35
6.2.5	Aangetast oppervlak - toestand inwendige coating	36
6.2.6	Maximum uitwendige putdiepte - toestand uitwendige coating	37
6.2.7	Aangetast uitwendig oppervlak - toestand uitwendige coating	38
6.2.8	Uitwendige putdiepte - corrosiviteit bodem	38
6.3	Conclusies op grond van de database gietijzer	38
7	Beoordeling conditie grijs gietijzeren leidingen	41
7.1	Benodigde sterkte en veiligheid	41
7.2	Vaststellen benodigde wanddikte	42
7.2.1	Belastingen op de leiding	42
7.2.2	Ligging leiding in de grond	43
7.2.3	Materiaaleigenschappen	43
7.2.4	Minimale veiligheid	43
7.3	Resultaten berekeningen minimaal benodigde wanddikte	44
7.4	Interpretatie grafieken wanddikten	46
7.5	Betekenis van de benodigde wanddikte	46
8	Conclusies en aanbevelingen	47
8.1	Mate van aantasting van gietijzer	47
8.2	Conditie van GIJ-leidingen	47
	Referenties	49
I	Gegevensregistratie in database	51
II	Grafieken benodigde wanddikten	53

1 Inleiding

Goed onderhoud van het waterleidingnet is een voorwaarde om drinkwater van hoge kwaliteit te kunnen leveren. Beslissingen om leidingen te saneren moeten in het belang van de klant tijdig worden genomen. Te vroege sanering leidt echter tot aanzienlijk kapitaalverlies. Door de conditie van het leidingnet te meten is het mogelijk om vervangingsinvesteringen pas plaats te laten vinden op het moment dat die conditie niet meer aan de gestelde eisen voldoet.

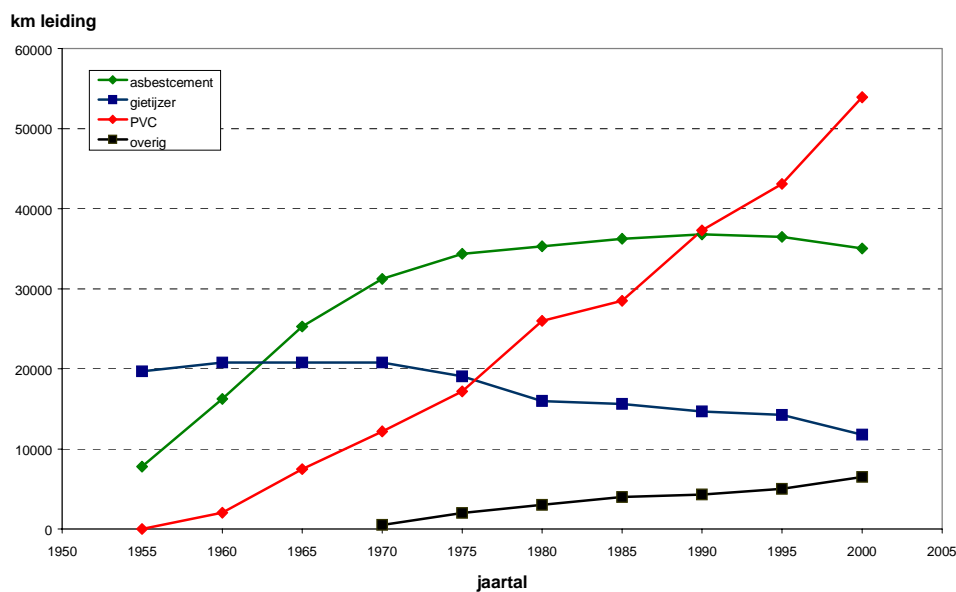
Het leidingnet in Nederland bestaat anno 2003 voor circa 12% uit gietijzeren (GIJ) leidingen. De kwaliteit van gietijzeren waterleidingen kan achteruitgaan door corrosie die veroorzaakt wordt door agressief water in de leiding of door agressief vocht vanuit de bodem. Door de corrosie kan de conditie van de leiding zodanig verslechteren dat deze gesaneerd dient te worden. Om een goede beslissing te nemen over het tijdstip van saneren is het nodig om over meer informatie over de conditie van de GIJ-leiding te beschikken. In het bedrijfstakonderzoek (BTO) zijn in de periode 1997- 2003 methoden ontwikkeld om de conditie van GIJ-leidingen vast te kunnen stellen. In de praktijk worden deze conditiebepalingsmethoden al op grote schaal toegepast. Dit rapport geeft een overzicht van de ervaringen met de conditiebepaling van gietijzeren waterleidingen.

Dit rapport geeft een overzicht van de ervaringen in de afgelopen jaren met de conditiebepalingsmethoden voor gietijzer. Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de omvang van het GIJ-leidingbestand en de kwaliteitseisen voor de toegepaste GIJ-leidingen, hoofdstuk 3 gaat in op het aantastingmechanisme van GIJ-leidingen. Hoofdstuk 4 beschrijft de conditiebepalingsmethoden en hoofdstuk 5 geeft informatie over de representativiteit van de meetgegevens. Hoofdstuk 6 gaat in op de relaties tussen de mate van aantasting en omgevingsfactoren. Hoofdstuk 7 geeft een methode voor het vertalen van de uitkomsten van de conditiebepalingsmethoden naar de resterende veiligheid van GIJ-leidingen. Hoofdstuk 8 ten slotte geeft de conclusies en aanbevelingen.

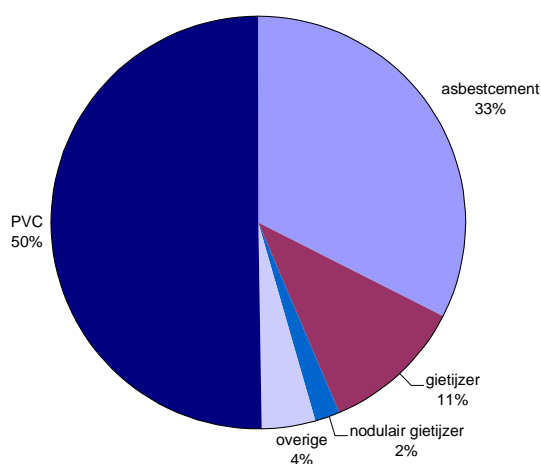
2 Gietijzeren leidingen

2.1 Aandeel gietijzer in het Nederlandse waterleidingnet

Figuur 1 geeft de ontwikkeling van het aandeel gietijzer in het Nederlandse waterleidingnet ten opzichte van andere leidingmaterialen sinds 1955. Anno 2000 bestond het leidingnet voor 11% uit waterleidingen van grijs gietijzer. Van het aandeel overig bestaat circa 20% uit nodulair gietijzer (2,1 % van de totale leidinglengte), zie Figuur 2. De totale lengte van het Nederlandse drinkwaterleidingnet in 2000 bedroeg 107.500 km.



Figuur 1 Ontwikkeling drinkwaterleidingbestand in Nederland sinds 1955



Figuur 2 Percentuele aandelen van leidingmaterialen in het Nederlandse waterleidingnet in 2000 (VEWIN Statistiek, 2000)

2.2 Materiaaleigenschappen gietijzer

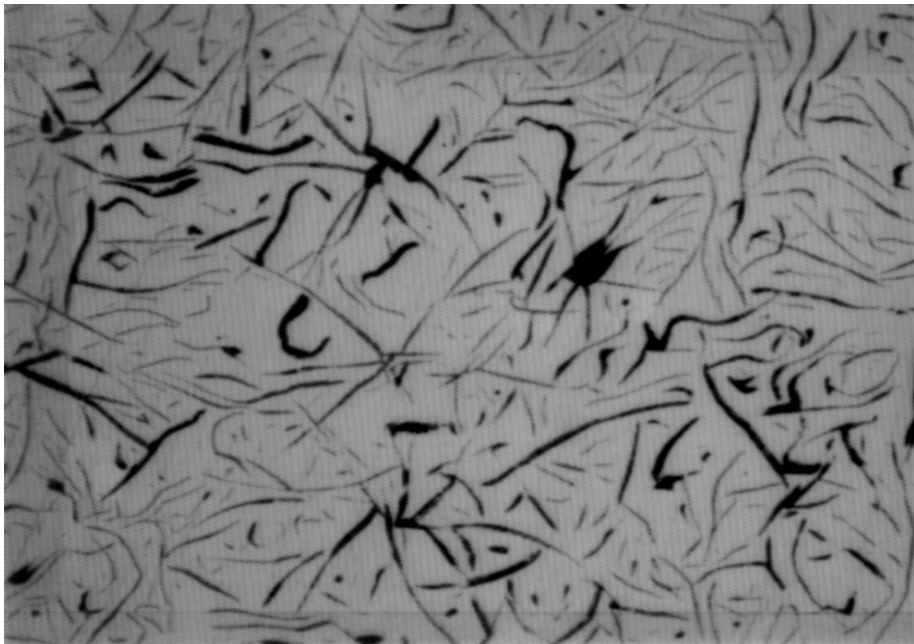
2.2.1 *Gietijzer*

Gietijzer is een legering van ijzer, koolstof en silicium met 2 tot 4,5% koolstof en een siliciumgehalte tussen de 0,5 en 3,5%. Daarnaast zijn altijd sporen mangaan, zwavel en fosfor aanwezig. Tot 1960 werd voor de fabricage van waterleidingen zogenaamd lamellair gietijzer gebruikt, waarin koolstof in de vorm van lamellen voorkomt, zie Figuur 3. Vanwege de grijze kleur van het breukvlak wordt lamellair gietijzer ook wel grijs gietijzer genoemd. In nodulair gietijzer komen de koolstofdeeltjes voor als nodulen, (zie Figuur 4).

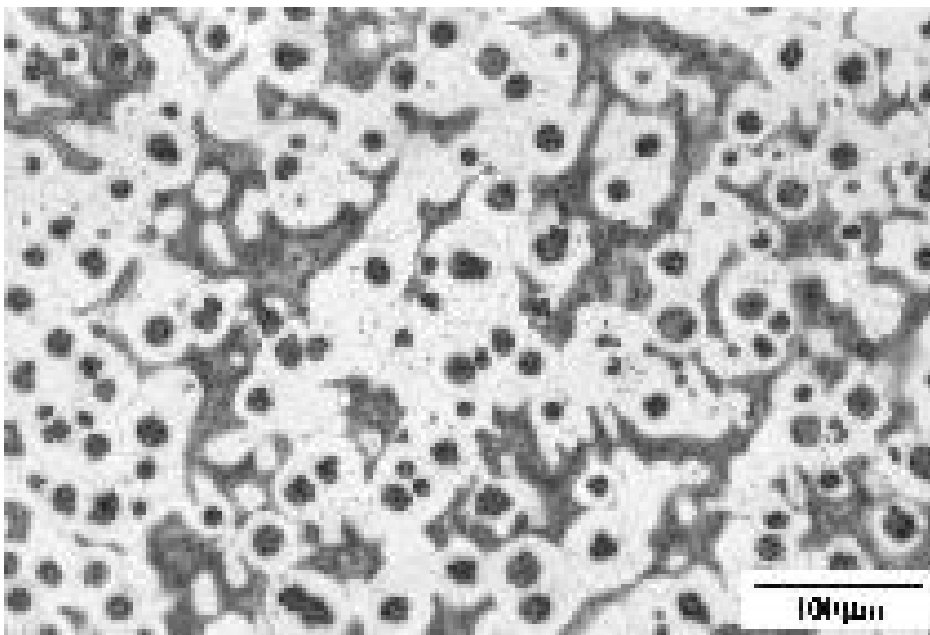
In de tijd gezien kunnen een aantal perioden onderkend worden qua toepassing van gietijzerkwaliteit. Leidingen van voor 1950 zijn bijna altijd lamellair gietijzer. In de periode 1950 - 1970 zijn niet veel nieuwe gietijzeren gelegd. Na 1970 wordt bij toepassing van gietijzeren leidingen vooral nodulair gietijzer toegepast. De huidige toegepaste kwaliteit gietijzer voor leidingen is bijna altijd nodulair gietijzer. Voor appendages als brandkranen en afsluiters worden de beide kwaliteiten gebruikt.

Op een vers breukvlak kan de kwaliteit gietijzer herkend worden aan de kleur: grijs gietijzer vertoont een grijs (grafiet) breukvlak, nodulair gietijzer vertoont een meer metaalachtig (ijzer) uiterlijk. De absolute kwaliteit kan alleen bepaald worden door structuuronderzoek. Hierbij wordt met microscopisch onderzoek op een geslepen en geëts oppervlak de structuur van het gietijzer bepaald. Afwijkingen in structuur veroorzaken afwijkende eigenschappen en hebben een invloed op de conditie van de leiding.

De eis voor de treksterkte van lamellair gietijzer heeft in de tijd en per product gevarieerd. In NEN 3045 (Centrifugaal gegoten gietijzeren mofpijpen, eerste uitgave februari 1957) varieert de eis voor de treksterkte per kwaliteit lamellair gietijzer van 50 tot 350 MPa.



Figuur 3 Microstructuur lamellair gietijzer



Figuur 4 Microstructuur nodulair gietijzer

2.2.2 Coatings

Gietijzer kan worden beschermd tegen corrosie door een coating. Er zijn in de loop van de tijd zowel inwendig als uitwendig verschillende coatings toegepast.

Inwendige coatings kunnen zijn:

- Cementcoating aangebracht in de fabriek.
Deze coating wordt gekenmerkt door een zeer gladde afwerking en een goede hechting tussen het ijzer en de cementlaag. De dikte van de coating varieert met de diameter van de buis (Kiwa BRL 778)
- Cementcoating aangebracht bij renovatie
Deze coating wordt gekenmerkt door een minder gladde afwerking (korrelig oppervlak). De hechting tussen het ijzer en de cementlaag hangt sterk af van de behandeling van de leiding vóór het cementeren. De dikte van de coating varieert met de diameter van de buis en de wijze van aanbrengen. Vanwege het in situ aanbrengen zal de dikte ook verschillen per plaats. (Kiwa BRL 770)
- Asfaltbitumen.
Deze coating is in de fabriek aangebracht. De dikte van deze coating is een onderdeel van de specificaties waaraan de leiding ten tijde van de aanleg moest voldoen en kan variëren van 50 µm tot enkele mm.
- Koolteer.
Deze coating is in de fabriek of ter plaatse aangebracht. De coating is echter niet geschikt voor waterleidingbuizen in verband met bezwaren voor de waterkwaliteit. Buizen met deze coating zijn voornamelijk toegepast in distributienetten voor stadsgas. Daar waar sprake is geweest van gemengde nutsbedrijven kunnen buizen met een koolteercoating ook in het waterdistributienet voorkomen. Het onderscheid tussen asfaltbitumen en koolteer is te maken door de coating te beschadigen (krassen) en te ruiken welk materiaal gebruikt is. Koolteer is te herkennen aan de specifieke geur (de geur van lichtgas of stadsgas).
Buizen met een koolteercoating komen vanwege het waterkwaliteitsprobleem versneld voor sanering in aanmerking. Het is overigens aan te bevelen om dergelijke leidingen niet of zeer voorzichtig schoon te maken om te voorkomen dat er waterkwaliteitsproblemen ontstaan.

Uitwendig kunnen de volgende coatings aanwezig zijn:

- Polyetheen
Een laag polyetheen wordt in de fabriek aangebracht. De specificaties volgen Kiwa BRL 757
- Metallische beschermingslagen
Deze coating (meestal zink) wordt in de fabriek aangebracht.
- Asfaltbitumen
Deze coating is in de fabriek of ter plaatse aangebracht. Reparaties van een coating kunnen ook met dit materiaal worden uitgevoerd.
- Koolteer
Deze coating is in de fabriek of ter plaatse aangebracht.

Voor de conditie van een leiding geldt dat de aanwezigheid en het type coating van belang zijn.

2.2.3 *Verbindingen*

De conditie van een leiding wordt onder andere bepaald door de conditie van de toegepaste verbindingen tussen de verschillende buizen. In BTO 2001.205, 'Conditiebepaling verbindingen', zijn de mogelijke verbindingen voor de diverse materialen en de faalmechanismen geïnventariseerd. Voor lamellair gietijzer zijn de volgende verbindingen toegepast:

- steekverbinding met lood-striktouw afdichting;
Conditie wordt bepaald door waterdichtheid. De verbinding is te repareren door deze 'aan te slaan', opnieuw aan te brengen of een lekbeugel te plaatsen.
- steekverbinding met rubberglij-afdichting;
Conditie wordt bepaald door het type rubber en de waterdichtheid. Natuurrubber kan bacteriologisch aangetast worden waardoor de dichting verloren gaat. Indien aangetast natuurrubber wordt aangetroffen is dit over het algemeen een indicatie dat alle verbindingen zijn aangetast.
- bijzondere steekverbindingen als bajonet en schroefmoffen;
De conditie wordt bepaald door de waterdichtheid. Afhankelijk van de uitvoering van dit soort verbindingen is reparatie van de verbinding mogelijk.
- flensverbinding.
De conditie wordt bij dit type verbinding bepaald door de bouten in de verbinding. Bij corrosie en bezwijken van de bouten gaat de verbinding lekken. Als er geen bijzondere omstandigheden aan te wijzen zijn waardoor een bepaalde verbinding is bezwaken kan aangenomen worden dat er meer verbindingen in conditie achteruit zijn gegaan.

De verbindingen in nodulair gietijzeren leidingen zijn te verdelen in:

- al dan niet trekvlaste steekverbinding met rubberglij-afdichting;
De conditie wordt bepaald door de waterdichtheid van de verbinding. Gezien de relatief jonge toepassing van nodulaire gietijzeren leidingen komen zijn geen natuurrubberen ringen toegepast. Problemen met de afdichting komen meestal voort uit montagefouten.
- flensverbinding.
De conditie wordt bepaald door de bouten in de verbinding. Bij corrosie en bezwijken van de bouten gaat de verbinding lekken. Als er geen bijzondere omstandigheden aan te wijzen zijn waardoor een bepaalde verbinding is bezwaken kan aangenomen worden dat er meer verbindingen in conditie achteruit zijn gegaan.

3 Aantasting gietijzeren leidingen

3.1 Inleiding

Het aantastingmechanisme van gietijzer wordt onderstaand kort beschreven. Belangrijker is om de omgevingsfactoren te beschrijven die van invloed zijn op de conditie en dus een rol spelen bij de restlevensduur.

3.2 Mechanisme

De conditie van grijs gietijzeren leidingen neemt af door corrosie. Het voornaamste proces is dat bij de aanwezigheid van zuurstof ijzerionen uit de gietijzerwand oplossen. Doordat ijzer (Fe) aan de ijzerkoolstof matrix onttrokken wordt blijft alleen koolstof achter. Dit verschijnsel wordt aangeduid met grafitering of verpotloding. Door grafitering neemt de sterkte van grijs gietijzer af.

Het mechanisme van corrosie is in de literatuur uitgebreid beschreven (Elzenga, 1991; Benjamin e.a., 1996). De reacties, die bij corrosie vrijgekomen ijzerionen doorlopen, zijn zeer complex en nog maar gedeeltelijk ontrafeld. De meest stabiele verbinding die hierbij wordt gevormd is Fe_2O_3 . De corrosieproducten slaan neer op de wand van de leiding, waardoor in de loop van de tijd zeer volumineuze deklagen op de leidingwand kunnen ontstaan (Figuur 5). De deklaag vertraagt het corrosieproces maar verkleint tevens de capaciteit van de leiding.



Figuur 5 Deklaagvorming in grijs gietijzer (Benjamin e.a., 1996)

Naast Fe_2O_3 worden andere, minder stabiele, ijzerverbindingen waargenomen. Dit heeft te maken met de afwijkende condities in de deklaag, zoals zuurstofloosheid. Afgifte van de ijzerverbindingen kan, direct of indirect, leiden tot bruinwaterklachten. De ijzerverbindingen kunnen direct in het drinkwater komen en als de concentratie hoog genoeg wordt, bijvoorbeeld in uren van laag verbruik, tot bruin water leiden. De ijzerverbindingen kunnen ook bezinken en tot bruin water leiden bij opwerveling.

Het grootste deel van de ijzerverbindingen wordt echter gefixeerd in de volumineuze deklagen. Verstoring van deze deklagen, bij werkzaamheden aan het leidingnet, leiden altijd tot bruin water.

Naast de bovenbeschreven processen spelen microbiologische processen een belangrijke rol bij het corrosieproces. Sulfaatreducerende micro-organismen spelen een rol onder anaërobe omstandigheden aan de buitenzijde van de leiding. In anaërobe bodemomstandigheden komt dit type aantasting voor, meestal in klei en veen.

Ook inwendig zijn deze organismen aangetroffen in afzettingsproducten van gietijzeren leidingen (Elzenga et al., 1992). Onbekend is in hoeverre deze een rol spelen bij inwendige aantasting.

3.3 Factoren van invloed op de aantasting van gietijzer

3.3.1 Inleiding

De factoren die van invloed zijn op de aantasting van gietijzer zijn te verdelen in inwendige en uitwendige factoren. Inwendig speelt de waterkwaliteit een rol en de aanwezigheid en toestand van een coating. Uitwendig wordt de aantasting bepaald door de bodemsamenstelling, de aanwezigheid en toestand van een coating en eventueel door de aanwezigheid van zwerfstromen.

3.3.2 Invloed waterkwaliteit

De samenstelling van het getransporteerde water is bepalend voor de mate waarin de inwendige corrosie optreedt. Bij de aantasting van gietijzer spelen vooral waterstofcarbonaat, chloride en sulfaat in drinkwater een belangrijke rol (Van den Hoven e.a., 1988). Om de mate van corrosie in één parameter te combineren is de zogenaamde Corrosie Index (CI) ontwikkeld; deze is als volgt gedefinieerd:

$$CI = \frac{[Cl^-] + 2[SO_4^{2-}]}{[HCO_3^-]}$$

De concentraties in deze index zijn in mmol/l.

Bij een Corrosie Index kleiner dan 1 wordt gietijzer nauwelijks aangetast. De waterkwaliteit is echter een momentopname terwijl de aantasting van het materiaal een continu proces is over de levensduur van de leiding. Het is daarom van belang de historie van de waterkwaliteit te kennen. Een 'onverklaarbare' aantasting kan zo worden verklaard.

3.3.3 *Bodemsamenstelling*

Uitwendige corrosie vindt voornamelijk plaats in vochtige bodems met een hoog elektrisch geleidingsvermogen (EGV) en een lage pH van het grondwater. Zonder vocht is geen bodemcorrosie van betekenis mogelijk. Een wisselende chemische samenstelling en een wisselend zuurstofgehalte, maar ook de aanwezigheid van elektrische leidingen kunnen door het ontstaan van potentiaalverschillen in de bodem de corrosie versterken. Ook sulfaatreducerende bacteriën in de bodem kunnen het corrosieproces bevorderen. Sulfaatreducerende bacteriën leven in een zuurstofloze omgeving bij een neutrale pH.

3.3.4 *Toestand van de coating*

De aanwezigheid en de toestand van een coating hebben een sterke invloed op de uitwendige aantasting van gietijzer. Afhankelijk van de toegepaste coating kunnen er verschillende toestanden van de coating voorkomen. Bij het uitnemen van het buisdeel voor het conditie-onderzoek kan de aanwezige coating worden beschadigd. De toestand van de coating heeft dan een beperkte referentie voor de werkelijke beschermende werking.

3.4 **Gevolgen van corrosie**

Aantasting van gietijzeren waterleidingen kent uiteenlopende gevolgen:

- door het oplossen van ijzer uit de buiswand, neemt de sterkte en dus de conditie van de gietijzeren leiding af. Dit rapport gaat vooral in op het bepalen van de gevolgen van aantasting op conditie van de leiding;
- door vorming van een deklaag wordt de diameter van de leiding verkleind en de ruwheid van de leiding verhoogd. Hierdoor neemt de hydraulische weerstand toe en de capaciteit van de leiding af;
- achteruitgang van de waterkwaliteit door interactie van het gietijzer met het drinkwater. Vaak resulteert dit, direct of indirect, in bruin water, wat tot klachten leidt.

3.5 **Bepaling overige effecten van aantasting gietijzeren leidingen**

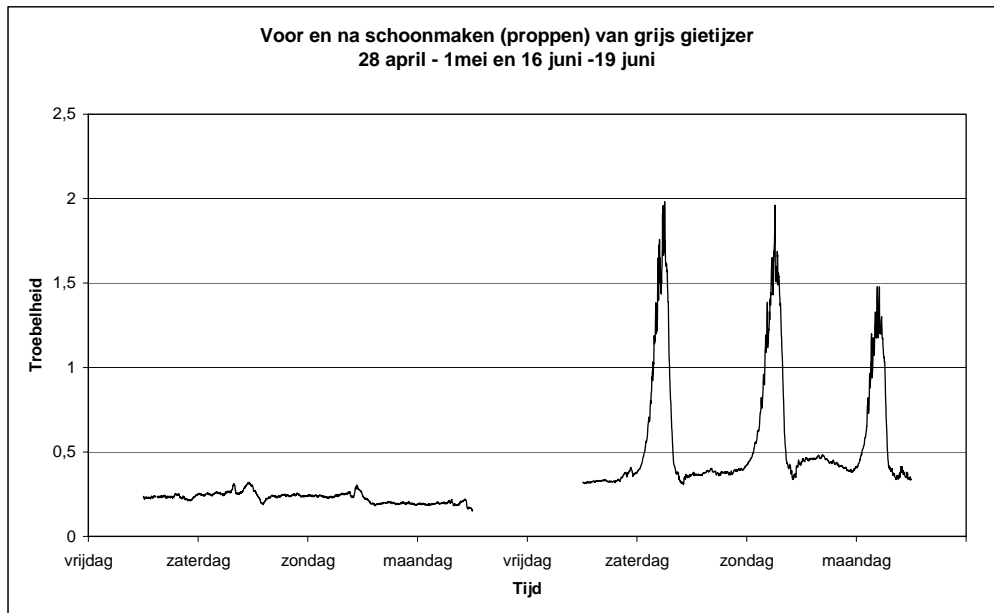
3.5.1 *Achteruitgang hydraulische conditie*

De hydraulische conditie van een leiding wordt gekarakteriseerd door de drukverliezen bij een bepaalde volumestroom. Inwendig onbeschermd gietijzer corrodeert en de corrosieproducten zetten zich af aan de binnenzijde van de buis. Dit komt ook voor bij buizen met een slechte of defecte bescherming. De opbouw van de laag corrosieproducten is afhankelijk van de waterkwaliteit, de gietijzerkwaliteit en de doorstroming van de buis. Een leiding kan op deze wijze 'dichtgroeien'. Door middel van een spuiproef kan de hydraulische conditie worden vastgelegd (Koning, 2000).

3.5.2 *Verslechtering waterkwaliteit*

In een gietijzeren leidingnet zonder inwendige of met een slechte of defecte bescherming wordt de waterkwaliteit negatief beïnvloed door het gietijzer.

Met behulp van continue troebelheidsmonitoring op een gietijzeren leiding is een goed beeld te vormen van de afgifte van ijzerverbindingen door de betreffende leiding (Van den Hoven en Vreeburg, 1992). Figuur 6 geeft het troebelheidspatroon na doorstromen van een gietijzeren leiding voor en na het schoonmaken van een leiding.



Figuur 6 Troebelheid in een gietijzeren leiding in de nachturen

4 Conditiebepalingsmethoden

4.1 Kennissysteem Levensduurbepaling

Het Kennissysteem Levensduurbepaling (KSLB) is een ondersteunend systeem voor de onderbouwing van de beslissing om leidingsegmenten te saneren (Rosenthal, 1997; Trietsch e.a., 2001). Het systeem bestaat uit een technisch verouderingsmodel (conditie), een economisch model (kosten) en een grof klantperceptiemodel (klant). Het prototype van het kennissysteem is ontwikkeld door Kiwa in samenwerking met de Tilburgsche Waterleiding-Maatschappij (TWM) en Kensas BV.

Het klantperceptiemodel wordt gevoed met gegevens over de gevolgen van storingen. Het klantperceptiemodel genereert een aanvaardbaar conditiegetal (normconditie) voor een leidingsegment.

Gegevens over materiaalonderzoek van leidingnetsegmenten, storingsfrequenties en bodemfactoren vormen de belangrijkste inputparameters voor het technisch verouderingsmodel. Op grond van deze inputparameters genereert het model een verwachting voor het conditieverloop van een leidingsegment. Dit conditieverloop is uitgedrukt als een (voorsnog) lineaire afname van een technisch conditiegetal in de tijd. Op dit moment is een technisch verouderingsmodel beschikbaar voor grijs gietijzeren leidingen en AC-leidingen.

Actie moet worden ondernomen wanneer de technische conditie dusdanig is afgenomen, dat deze gelijk is aan de normconditie uit het klantperceptiemodel.

Voor het bepalen van de technische conditie zijn conditiebepalingsmethoden ontwikkeld. De conditie van een gietijzeren leiding wordt bepaald aan de hand van een aantal parameters zoals type en toestand coating, aangetast oppervlak, diepte aantasting en sterkte van het gietijzer. Hiermee wordt een indruk verkregen van de toestand van de buis, de snelheid van aantasting en de reststerkte of effectieve wanddikte van de buis.

4.2 Beoordeling mate van aantasting gietijzer

4.2.1 Proefstukken

Voor de bepaling van de conditie van een leiding is een stuk gietijzer met een oppervlakte van circa 100 x 100 mm nodig. Dit kan worden verkregen door, onder druk, een schulp (Figuur 7) direct uit de leiding te boren (semi-destructief onderzoek) of een leidingsegment uit te nemen (destructief onderzoek). Voordeel van de laatste werkwijze is dat visueel kan worden vastgesteld waar de meeste aangroei is opgetreden zodat op die plaats een ring gietijzer kan worden uitgenomen. Nadeel is dat hiervoor de levering van drinkwater tijdelijk moet worden onderbroken.



Figuur 7 Schulpuitname met behulp van aanboorapparatuur (links) en het resultaat van de aanboring (rechts), foto's gemaakt door Wim Maas (TWM)

Na uitneming van een schulp of een leidingsegment vindt beoordeling plaats van de toestand van de coating. Vervolgens wordt het materiaal gezandstraald (Figuur 8). Bij het zandstralen van een proefstuk wordt dit volledig ontdaan van corrosieproducten. Hierdoor is goed zichtbaar welk deel van het oppervlak is aangetast.



Figuur 8 Schulp na stralen

4.2.2 Beoordelingsmethodiek

Het conditiebepalingsonderzoek bestaat uit de volgende onderdelen:

- Visueel onderzoek na het uitnemen van het monster;
Leidingdiameter, mate van aangroei, type coating, toestand coating.
- Visueel onderzoek na het stralen van het monster;
Aangetast oppervlak, oorspronkelijke wanddikte, aantastingsdiepte.
- Materiaalkundig onderzoek naar de sterkte van het gietijzer;
Treksterkte materiaal.
- Microscopisch onderzoek naar de aantasting van het gietijzer.
Aantastingsdiepte na etsen.

- Leidingdiameter

Na of bij het uitnemen van het proefstuk wordt de diameter van de leiding bepaald. Indien deze niet overeenkomt met de informatie uit het Leidinginformatiesysteem (LIS) moet dit worden teruggekoppeld met de beheerder van het leidingnet.

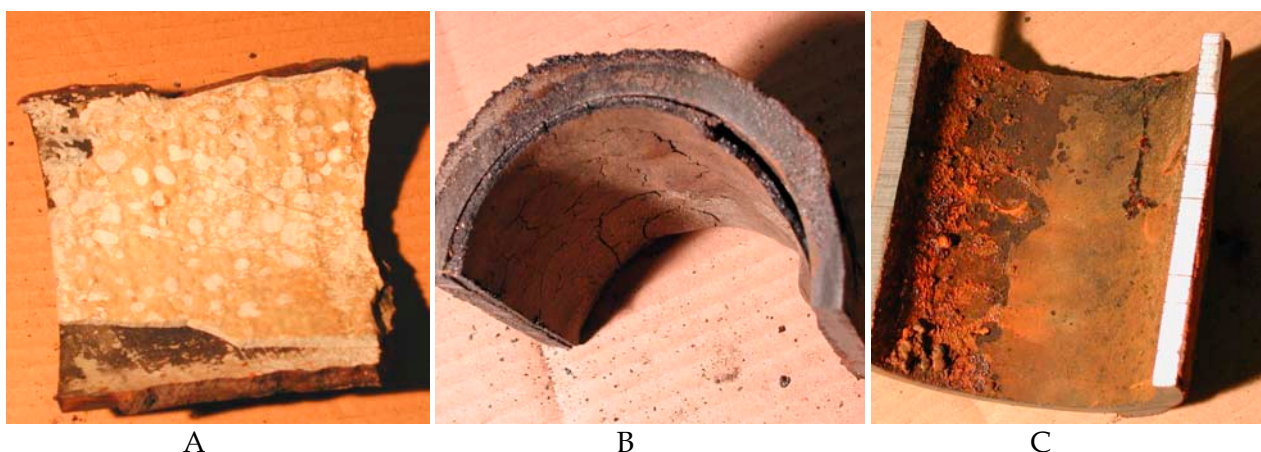
- Mate van aangroei

De mate van aangroei wordt bepaald in mm aangroei. Indien er grote verschillen aanwezig zijn in het proefstuk moet dit opgenomen worden in de gegevens.

- Type coating

Er worden normaliter drie typen inwendige coating onderscheiden voor de beoordeling, dikke bitumencoating (0,5-3 mm dik), bitumenverf of spray (< 0,1 mm dik) en cementlining. Van deze drie is de bitumenverf niet altijd herkenbaar. Een zwart oppervlak op gietijzer kan ook een ijzerverbinding zijn. Door de laag eraf te krabben en te verhitten kan de aanwezigheid van bitumen eenvoudig worden aangetoond.

Een koolteercoating wordt eenvoudig via de reuk gedetecteerd. De aanwezigheid van een koolteercoating moet altijd teruggekoppeld worden naar het leidingnetbeheer. Beschadiging van deze coating in het leidingnet leidt zeer snel tot reuk- en smaakklachten.

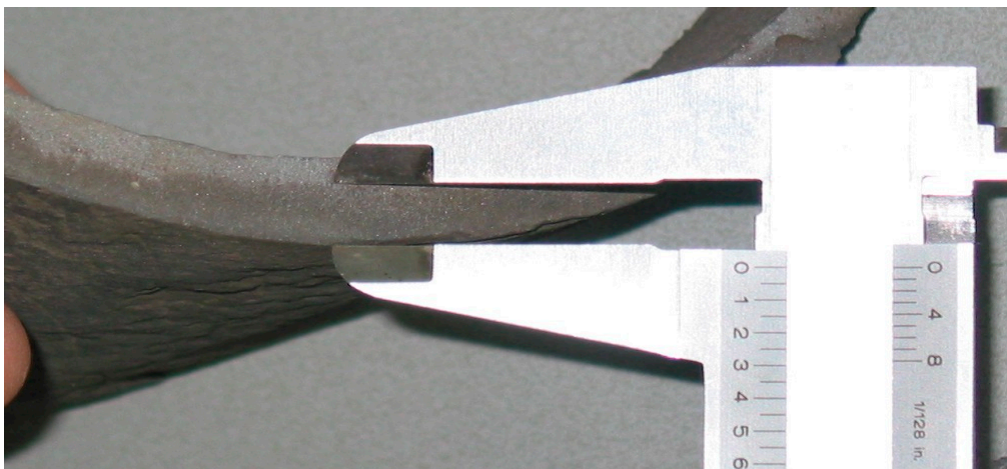


Figuur 9 Cementcoating (A), bitumencoating(B) en bitumenspray(C)

- **Toestand coating**
De toestand van coating wordt gekarakteriseerd door de mate waarin het onderliggende materiaal beschermd wordt tegen aantasting. Als er sprake is van aangroei van corrosieproducten in de buis is de coating niet meer effectief.
Bij het uitnemen van een proefstuk kan een cementlining eenvoudig worden beschadigd of zelfs volledig van het oppervlak afvallen. Bij de beoordeling van de coating moet hiermee rekening worden gehouden. De mate van aantasting van het gietijzer is dan een maat voor de toestand van de coating.
- **Aangetast oppervlak**
Na het stralen van het proefstuk kan het inwendig en uitwendig aangetast oppervlak bepaald worden. Dit kan door een schatting van het aangetaste oppervlak in procenten of door nauwkeurig het aangetaste oppervlak te bepalen met behulp van ruitjespapier.
- **Bepalen van de oorspronkelijke wanddikte**
Op het gestraalde proefstuk wordt op een aantal plaatsen zo mogelijk de oorspronkelijk wanddikte bepaald. Uit de metingen wordt de gemiddelde oorspronkelijke wanddikte van het proefstuk berekend.
- **Bepalen van de minimum wanddikte**
De wanddikte over de doorsnede kan met enkele millimeters variëren. Op het proefstuk wordt de minimum wanddikte bepaald. Deze is van belang voor de interpretatie van de gevonden maximum aantastings- of putdiepte.
- **Bepalen aantastingsdiepte (visueel)**
In het gestraalde proefstuk zijn de aangetaste plaatsen duidelijk zichtbaar. Door alle corrosieproducten volledig van het oppervlak weg te stralen ontstaat een goed beeld van de aanwezige putjes en putten. Ook op de zijkant van het gestraalde proefstuk is de aantastingsdiepte goed zichtbaar. De diepte van de aantasting van zowel de binnen- als de buitenkant is te bepalen. In Figuur 10 is een put aan de binnenzijde van het gietijzer zichtbaar en wordt deze gemeten. In Figuur 11 is de aantasting op een zijkant van het proefstuk zichtbaar tussen de bek van de schuifmaat.

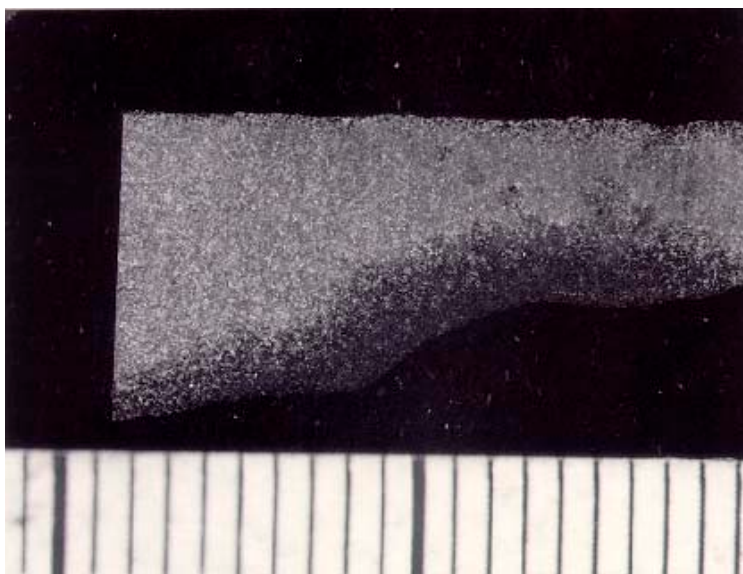


Figuur 10 Meten van de aantastingsdiepte in een put



Figuur 11 Meten van de aantastingsdiepte op de zijkant van een proefstuk

- **Aantastingsdiepte na etsen (microscopisch)**
Op een dwarsdoorsnede van het proefstuk is na het slijpen en etsen van de doorsnede de aantastingsdiepte goed zichtbaar (Figuur 12). Deze gaat vaak iets verder dan alleen de putdiepte. De effectieve wanddikte is af te meten uit het niet aangetaste deel van de doorsnede. De te onderzoeken doorsnede wordt gekozen op de visueel meest aangetaste plaats. Hiermee wordt met de grootste waarschijnlijkheid de kleinste effectieve wanddikte gevonden.
- **Beoordeling treksterkte**
Uit de proefstukken kan een trekstaafje worden geprepareerd waarmee de treksterkte van het materiaal wordt bepaald. De treksterkte geeft een indicatie van de kwaliteit van het originele gietijzer.



Figuur 12 Doorsnede proefstuk na etsen

5 Representativiteit meetgegevens

5.1 Inleiding

Gietijzeren leidingen vertonen een grote variatie in materiaaleigenschappen, omgevingsfactoren en beschermingsmaatregelen. De grote variatie in eigenschappen en beschermingsmaatregelen is vooral ontstaan uit de lange toepassingshistorie van grijs gietijzer. In deze periode zijn verschillende fabricageprocessen toegepast en bovendien zijn niet altijd scherpe kwaliteitseisen voor het product 'Grijs gietijzeren waterleidingen' beschikbaar geweest. De grote spreiding in de omgevingsfactoren komt voort uit de toepassing van de leidingen in alle grondsoorten in Nederland en het contact met alle drinkwaterkwaliteiten in Nederland.

In de mate van aantasting van gietijzer ontstaat een nog grotere spreiding omdat de aantasting een samenspel is van de eigenschappen van het gietijzer, de omgevingsfactoren en de toegepaste beschermingsmaatregelen. Deze spreiding veroorzaakt een probleem bij het vertalen van meetresultaten van de proefstukken naar een uitspraak van de mate van aantasting van de volledige leiding.

De vraag rijst hoeveel proefstukken nodig zijn om met een bepaalde nauwkeurigheid iets over een leiding te kunnen zeggen. Daarnaast is de vraag in hoeverre de conditie van een leiding kan worden voorspeld op basis van gegevens van leidingen in vergelijkbare situaties.

Om zicht te krijgen op de variaties binnen één buisdeel zijn in totaal zes buisdelen onderzocht die onder verschillende condities hebben gefunctioneerd, omdat de spreiding mogelijk beïnvloed wordt door de leidingkenmerken zoals materiaaleigenschappen, drinkwater en omgevingsfactoren. Om zicht te krijgen op de spreiding in de conditiebepalende parameters in één leiding zijn 20 buizen uit één leiding onderzocht (grijs gietijzer, niet inwendig gecementeerd).

5.2 Statistische betrouwbaarheid meetgegevens

5.2.1 Spreiding in buisdelen

5.2.1.1 Beschikbare gegevens

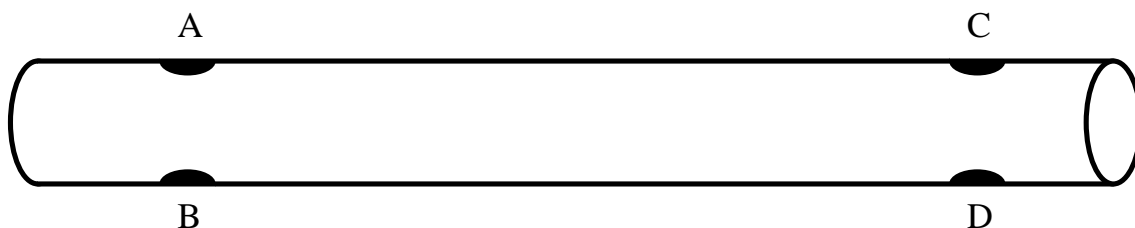
Om zicht te krijgen op de variaties van de resultaten binnen één buisdeel zijn in totaal zes buisdelen onderzocht die onder verschillende condities hebben gefunctioneerd; de spreiding wordt mogelijk beïnvloed door de leidingkenmerken. Als invloedsfactoren zijn aangemerkt:

- leeftijd (ouder en jonger dan 50 jaar),
- waterkwaliteit (Corrosie Index hoger en lager dan 1),
- bodem (niet corrosief (zand) en corrosief (klei en veen)).

Door combinaties te kiezen van de verschillende, onafhankelijke factoren is het aantal leidingdelen beperkt. Figuur 13 geeft een overzicht van de monsterplaatsen binnen de onderzochte buisdelen. In elke buisdeel is op 4

plaatsen de mate van aantasting en treksterkte bepaald. Tabel 1 geeft een overzicht van de herkomst van de buisdelen.

Van elk buisdeel is op de plaatsen A, B, C en D de wanddikte, de restwanddikte, de inwendige en uitwendige aantastingsdiepte en de treksterkte bepaald. De resultaten zijn samengevat in Figuur 14.



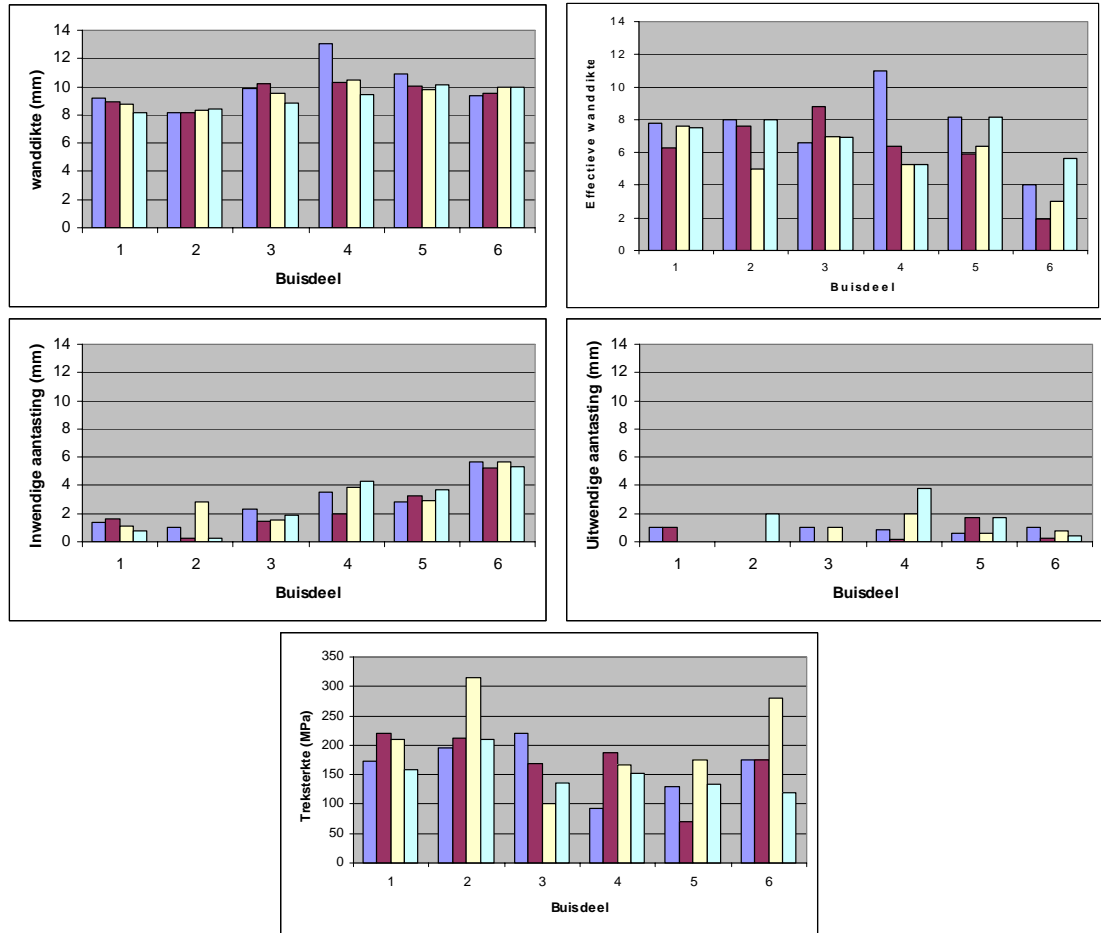
Figuur 13 Monsterplaatsen in gietijzeren leiding

Tabel 1 Onderzochte monsters voor buisdeelonderzoek

	Aanleg- jaar	Corrosie index	Bodem- omstandigheden	Diameter (mm)	herkomst leidingdeel
1	1964	0,15	Niet corrosief	100	Tilburg
2	1958	> 1	Corrosief	100	WBE Rotterdam
3	1934	0,15	Niet corrosief	100	Tilburg
4	1898	1,36	Corrosief	200	Sliedrecht
5	1925	<1, 1,1 *	Niet corrosief	250	DZH Den Haag
6	1910	1,3	Corrosief	100	HZH Gouda

* Deze leiding is gedurende de liggingduur doorstroomd met drinkwater van verschillende herkomst, namelijk duinwater, Rijnwater en Maaswater.

Van de parameters restwanddikte, inwendige aantasting, uitwendige aantasting en de treksterkte zijn het gemiddelde en de standaardafwijking bepaald. Vervolgens is de variatiecoëfficiënt ($VC = \text{standaard afwijking} / \text{gemiddelde}$) bepaald waarmee de relatie tussen gewenste nauwkeurigheid en steekproefgrootte bepaald kan worden. Hierbij is voor de gegevens de vooronderstelling gedaan dat de karakteristieken een normale verdeling hebben.



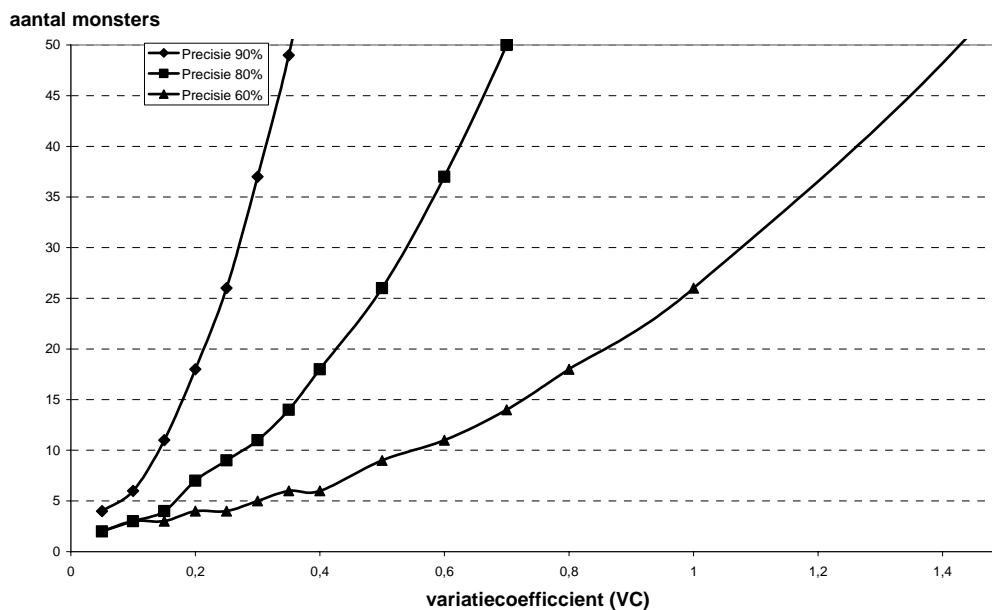
Figuur 14 Conditiekenmerken van 6 buisdelen

5.2.1.2 Steekproefgrootte bij buisdeelonderzoek

Op basis van de VC en de gewenste nauwkeurigheid is de steekproefgrootte te bepalen. Figuur 15 geeft de steekproefgrootte waarbij het gemiddelde met 95% zekerheid binnen de aangegeven precisie ligt. Met precisie wordt hier bedoeld het maximaal te verwachten verschil (met 95% betrouwbaarheid) tussen het geschatte gemiddelde en het werkelijke gemiddelde.

Voor bijvoorbeeld buisdeel 4 is de uitwendige aantasting gekarakteriseerd met het gemiddelde van 1,7 mm, een standaardafwijking van 1,54 mm en een VC van 0,91. Op basis van deze gegevens is te bepalen dat het gemiddelde met 95% zekerheid en een vereiste precisie van 60% (onnauwkeurigheid van 40%) ligt tussen 1,02 en 2,38 mm bij een steekproefgrootte van 22 stuks.

Omgekeerd kan ook bepaald worden dat bij de gehouden steekproef van 4 stuks en een VC van 0,91 een onnauwkeurigheid bestaat van 1,45. Het gemiddelde kan dus liggen tussen 0 en 4,17 mm.



Figuur 15 Noodzakelijke steekproefgrootte bij een vereiste precisie

In Tabel 2 is voor de onderzochte buisdelen bepaald hoe groot de steekproef moet zijn om het gemiddelde met een bepaalde precisie te kunnen bepalen. Vooral de uitwendige aantasting kent een grote variatiecoëfficiënt waardoor er een grote steekproef nodig is.

Tabel 2 Benodigde steekproefgrootte bij een vereiste precisie van 90% en 60% bij een gegeven VC

Buisdeel	Orginele wanddikte			Effectieve wanddikte			Inwendige aantasting			Uitwendige aantasting			Treksterkte		
	VC	90%	60%	VC	90%	60%	VC	90%	60%	VC	90%	60%	VC	90%	60%
1	0,05	4	2	0,09	6	3	0,29	35	5	1,15	>450	34	0,16	15	3
2	0,01	2	2	0,20	18	4	1,07	440	30	2,00	>450	>450	0,24	25	4
3	0,06	4	3	0,14	10	2	0,22	21	4	1,15	>450	34	0,33	45	6
4	0,14	10	2	0,39	60	7	0,29	35	5	0,91	320	22	0,28	33	5
5	0,05	4	2	0,16	12	3	0,12	8	3	0,55	120	10	0,34	48	6
6	0,03	3	2	0,43	74	7	0,05	4	2	0,53	110	10	0,36	52	6

Deze aanpak is geschikt voor het bepalen van de gemiddelden en de benodigde steekproefgrootte. Voor het bepalen van de extremen binnen de populatie ontstaat er probleem voor gietijzer omdat de normaliteit gegarandeerd moet zijn. De normaliteit is hoogstwaarschijnlijk niet meer in de populatie aanwezig. De buizen van mindere kwaliteit, de buizen in een corrosieve omgeving en buizen met slechte coatings zijn al uit de populatie verdwenen. Door stadsvernieuwing en sanering van leidingen is in de loop van de jaren ongeveer 40% van het oorspronkelijke grijs gietijzeren leidingbestand verdwenen.

5.2.1.3 *Bepaling extremen op basis van een steekproef*

Omdat de spreiding van de verschillende parameters die de conditie van een leiding bepalen zo groot is, ontstaan grote steekproeven om de extremen in de populatie grijs gietijzeren leidingen statistisch te bepalen.

Bovendien is de vorm van de verdeling van de parameters essentieel. De mogelijke verdelingen verschillen juist in de einden van de verdeling van elkaar. Een scheve verdeling is te verwachten voor populaties als gietijzer omdat de slechte exemplaren al uit de populatie zijn verdwenen.

Door de steekproeven zoveel mogelijk te beperken tot leidingsegmenten met gelijke karakteristieken zal de spreiding afnemen en hiermee ook de grootte van de steekproef. De karakteristieken aanlegjaar, grondslag, coating en drinkwaterkwaliteit zijn hierbij bepalend.

5.2.1.4 *Relaties tussen leidingkenmerken en gemeten grootheden*

De volgende relaties zijn met variatieanalyse onderzocht:

- tussen het jaar van aanleg en elk van de conditieparameters;
- tussen de Corrosie Index en respectievelijk de effectieve wanddikte en de inwendige aantastingsdiepte;
- tussen de bodemgesteldheid en respectievelijk de effectieve wanddikte en de uitwendige aantastingsdiepte.

Het jaar van aanleg blijkt met 95% betrouwbaarheid statistisch significante relaties te vertonen met de wanddikte, de treksterkte en de inwendige aantastingsdiepte:

- buizen aangelegd vóór 1940 hebben gemiddeld een grotere wanddikte dan buizen aangelegd ná 1950;
- buizen aangelegd vóór 1940 hebben gemiddeld een geringere treksterkte dan buizen aangelegd ná 1950;
- buizen aangelegd vóór 1940 hebben gemiddeld een grotere inwendige aantastingsdiepte dan buizen aangelegd ná 1950.

Verder blijkt de Corrosie Index met 95% betrouwbaarheid een statistisch significante relatie te vertonen met de inwendige aantastingsdiepte:

- als de Corrosie Index < 1 is, is de inwendige aantastingsdiepte gemiddeld geringer dan wanneer de Corrosie Index > 1 is.

De corrosiviteit van de bodem blijkt in deze set metingen geen relatie te hebben met de uitwendige aantasting.

5.2.2 *Spreiding binnen een leiding*

5.2.2.1 *Beschikbare gegevens*

Om de spreiding in meetresultaten in één leiding te bepalen zijn buisdelen onderzocht uit twee leidingen uit verschillende voorzieningsgebieden. Een leiding is afkomstig uit Rotterdam en de andere uit Tilburg. De leidinggegevens zijn samengevat in Tabel 3.

Tabel 3 Leidinggegevens

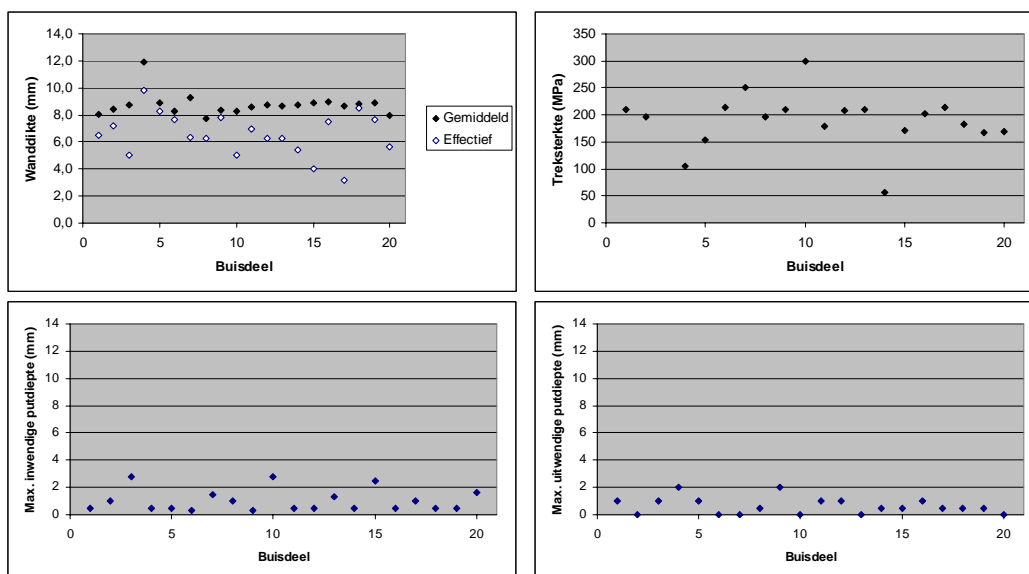
Herkomst	Diameter (mm)	Leidinglengte (m)	Aanlegjaar	Bodem	Corrosie Index	Aantal monsters
Rotterdam	100	145	1958	Kleiig zand	> 1*	20
Tilburg	125	25	1964	zand	0,15	8

* Gedurende de ligging van deze leiding zijn verschillende waterkwaliteiten gedistribueerd. Alle waterkwaliteiten hadden een Corrosie Index groter dan 1.

Visuele beoordeling leiding Rotterdam

De 20 monsters uit de leiding uit Rotterdam zijn afkomstig uit 20 buisdelen uit één leiding. De monsters bestaan uit scherven die uit de buizen geslagen zijn bij het opgraven van de leiding. Hierbij is de in- en uitwendige aangroei zo zwaar beschadigd dat een uitspraak hierover op basis van de monsters geen waarde heeft.

Het gefraiteerde oppervlak varieert inwendig van 20 tot 100% en uitwendig van 0 tot 100%. De maximum putdiepten na stralen bedragen inwendig 2,8 mm en uitwendig 2 mm. De volledige resultaten zijn in Figuur 15 in grafieken weergegeven.



Figuur 16 Conditiekenmerken 20 buisdelen WBE

De monsters vertonen een grote variatie in wanddikte en structuur op het breukvlak. De aanwezigheid van een in- of uitwendige coating is niet op alle monsters vast te stellen. Na het stralen van de monsters vertoont vooral de aantasting van het inwendig oppervlak een grote variatie, zie Figuur 17 en Figuur 18.



Figuur 17 Inwendig gestraald opperlak buisdeel 3



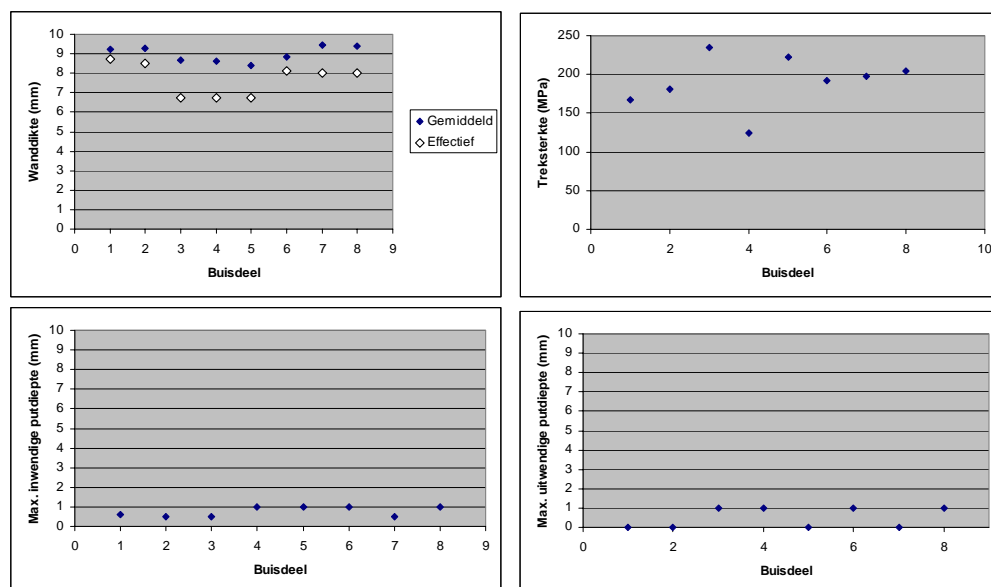
Figuur 18 Inwendig gestraald opperlak buisdeel 17

Visuele beoordeling leiding Tilburg

De 8 monsters uit de leiding uit Tilburg zijn afkomstig uit 4 buisdelen van één leiding. De monsters bestaan uit volledige ringen van de buizen. De ringen zijn aan het spie- en mofeind van de buizen uitgenomen. Er is zowel aan de binnen- als aan de buitenzijde nauwelijks aangroei aanwezig.

De bitumen coating aan de binnenzijde van leiding is redelijk tot goed. De hechting van deze coating is zo goed dat deze bij het stralen niet geheel is verwijderd. Het gegrafiteerde oppervlak varieert inwendig van 20 tot 100% en uitwendig van 0 tot 60%. De maximum putdiepten na stralen bedragen zowel in- als uitwendig ongeveer 1 mm.

Van alle proefstukken zijn de effectieve wanddikte en de treksterkte bepaald. De treksterkte is bepaald op het visueel meest aangetaste deel van het proefstuk nadat dit deel gestraald is. Nadat dit deel beproefd is, wordt de restwanddikte bepaald ter plaatse van het breukvlak. Figuur 19 geeft een overzicht van de resultaten.



Figuur 19 Conditiekenmerken 8 buisdelen TWM

5.2.2.2 Steekproefgrootte bij leidingonderzoek

De gegevens van het onderzoek en het aantal benodigde monsters om een bepaalde uitspraak te kunnen doen zijn vermeld in Tabel 4. Deze resultaten bevestigen dat er grote hoeveelheden monsters nodig zijn om, met een grote precisie, iets over de gemiddelde inwendige en uitwendige putdiepten te kunnen zeggen. De effectieve wanddikte is met een beperkte steekproef vast te stellen.

Tabel 4 Meetgegevens spreiding aantasting binnen één leiding

Leiding-deel	Grootheid	Aantal metingen	Gem.	Min.	Max.	Stand-aard afwijking	VC	Vereiste steekproefgrootte bij een precisie van:	
								90%	60%
WBE 145 m ø 100 mm	Effectieve wanddikte (mm)	20	7,7	3,2	9,8	1,25	0,162	13	3
	Inwendige aantasting (mm)	20	1,0	0,3	2,8	0,8	0,792	250	18
	Uitwendige aantasting (mm)	20	0,7	0,0	2	0,6	0,937	350	24
	Treksterkte (MPa)	19	189	56	299	51	0,269	30	4
TWM 25 m ø 125 mm	Effectieve wanddikte (mm)	8	7,7	6,8	8,8	0,83	0,11	6	3
	Inwendige aantasting (mm)	8	0,76	0,5	1,0	0,26	0,336	47	6
	Uitwendige aantasting (mm)	8	0,50	0,0	1,0	0,53	1,07	440	26
	Treksterkte (MPa)	8	190	124	234	34	0,18	15	4

5.3 Conclusies op basis van buisdeel- en leidingonderzoek

In de onderzochte buisdelen zijn de volgende relaties met variatieanalyse aangetoond:

- tussen leeftijd en wanddikte, de oudere buizen (< 1940) hebben een grotere wanddikte;
- tussen leeftijd en treksterkte, de oudere buizen (< 1940) hebben een kleinere treksterkte;
- tussen leeftijd en inwendige aantasting, de oudere buizen (< 1940) hebben een grotere inwendige aantasting;
- tussen Corrosie Index en de inwendige aantasting, een hogere Corrosie Index (>1) geeft een grotere inwendige aantasting.

De verwachte relatie tussen agressieve bodem en uitwendige aantasting is in deze serie metingen niet statistisch significant aangetoond. Dit kan te maken hebben met een scheve verdeling van de populatie grijs gietijzeren leidingen. De leidingen die in een corrosieve omgeving lagen zijn inmiddels gesaneerd vanwege een hoge storingsfrequentie.

Uit de statistiek volgt een benodigde steekproefgrootte bij een geëiste precisie en gegeven variatiecoëfficiënt. Omdat de steekproeven duur zijn (ongeveer € 1000,- per monster) zal er snel genoeg genomen moeten worden met een beperkte precisie, minder dan 60%.

De gezochte extremen in de aantasting of de restwanddikte zijn moeilijk te bepalen vanwege de scheve verdeling in de populatie.

6 Relaties conditie en leidingparameters

6.1 Analyse meetgegevens

De resultaten van het gietijzeronderzoek uit de jaren 1990 – 2002 zijn verwerkt in een database. Binnen deze database is gezocht naar relaties tussen de verschillende grootheden van de onderzochte delen en hun omgeving. Bijlage 1 geeft een overzicht van de gegevens die voor een onderzocht leidingdeel in de database zijn opgenomen.

Onderzocht zijn relaties met het buismateriaal, het aanlegjaar, de leeftijd, de waterkwaliteit en de omgevingsfactoren. Er is gebruik gemaakt van twee bestanden:

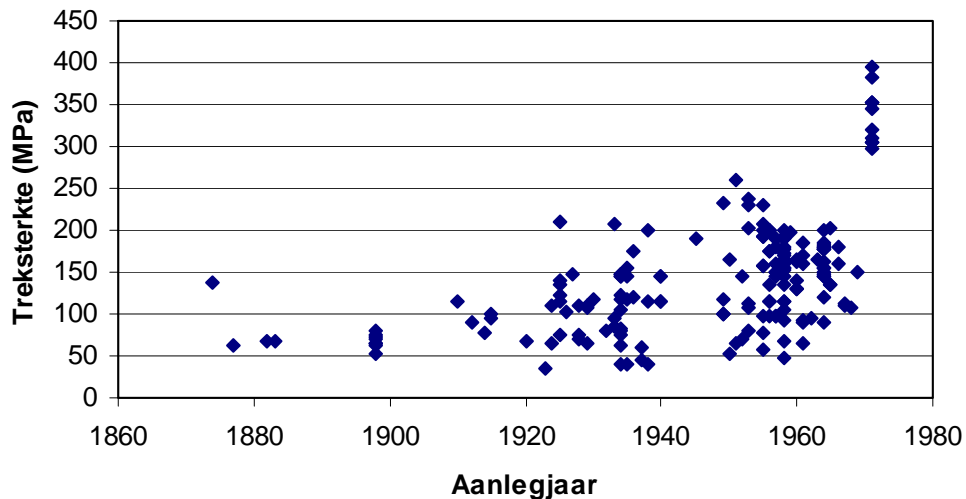
1. Een verzameling waarin gietijzeronderzoeken zijn verzameld afkomstig uit voorzieningsgebieden van 12 verschillende pompstations (415 records waarvan 138 records ook de treksterkte bevatten);
2. Een verzameling gietijzeronderzoeken afkomstig van een voorzieningsgebied van één pompstation waarbij ook de bodemomstandigheden voor het grootste deel gelijk zijn (725 records waarvan 110 records ook de treksterkte bevatten).

De inhoud van de verschillende records verschilt sterk. Dit wordt veroorzaakt door het niet volledig bepalen van de vereiste parameters. Dit betekent voor het onderzoek naar de onderlinge relaties dat er gewerkt wordt met verschillende hoeveelheden informatie.

6.2 Relaties tussen verschillende leidingparameters en aantasting

6.2.1 Treksterkte - aanlegjaar

Van de records waarin het aanlegjaar en de gemeten treksterkte bekend zijn, zijn deze twee parameters tegen elkaar uitgezet in Figuur 20. Uit deze gegevens blijkt dat de treksterkte van het gietijzer van een groot deel van de buizen niet voldoet aan de eisen die er historisch en recent aan worden gesteld (150 - 200 MPa). De uitschieters naar boven in het aanlegjaar 1971 zijn afkomstig van een aantal monsters uit één nodulair gietijzeren leiding. Zichtbaar is dat de treksterkte enigszins toeneemt bij een toename van het aanlegjaar. Als de nodulair gietijzeren monsters buiten beschouwing gelaten worden is de treksterkte positief gecorreleerd met het aanlegjaar. De correlatiecoëfficiënt is echter klein ($R^2 = 0,24$). Op basis van deze inventarisatie is de conclusie gerechtvaardigd dat er geen voorspelling gedaan kan worden over de te verwachten treksterkte op basis van het aanlegjaar.



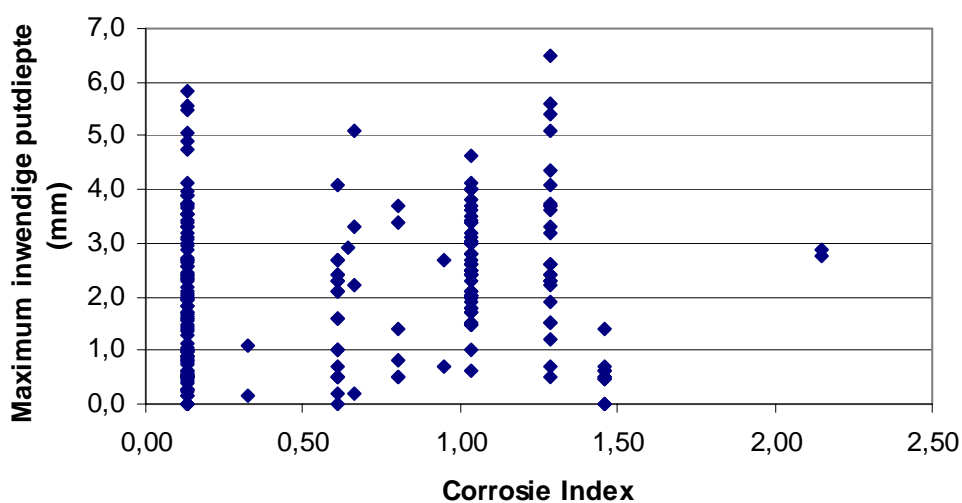
Figuur 20 Relatie tussen de treksterkte en het aanlegjaar

6.2.2 Maximum inwendige putdiepte - Corrosie Index drinkwater

Van de records waarin de maximum inwendige putdiepte en de Corrosie Index van het drinkwater bekend zijn, zijn deze tegen elkaar uitgezet in Figuur 21. Omdat in sommige voorzieningsgebieden verschillende historische waterkwaliteiten zijn voorgekomen is gekozen om voor dergelijke gevallen uit te gaan van de hoogste Corrosie Index.

Uit de gegevens blijkt er nauwelijks een relatie tussen putdiepte en Corrosie Index bestaat. Er spelen waarschijnlijk andere factoren een rol zoals de toestand en aanwezigheid van een inwendige coating, de kwaliteit van het gietijzer en de leeftijd van de buis.

Er bestaat geen directe relatie tussen de maximum putdiepte en de Corrosie Index van het drinkwater.

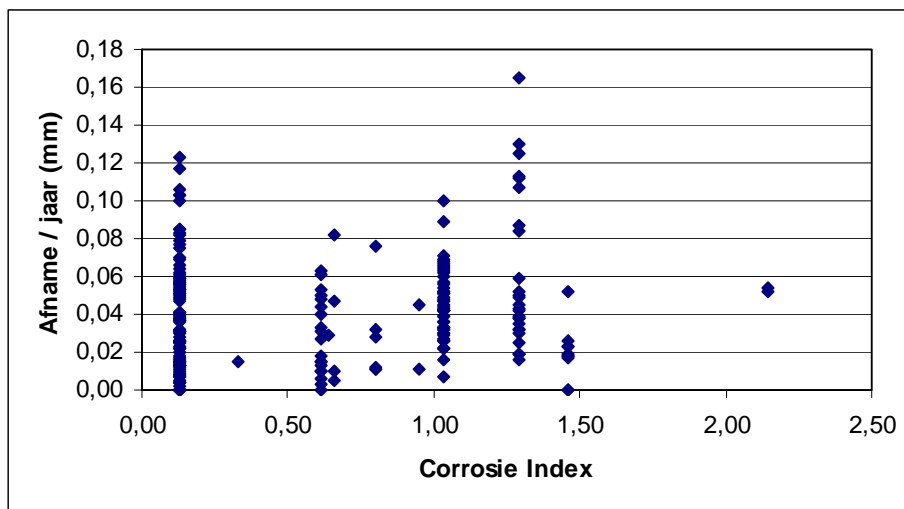


Figuur 21 Relatie tussen de maximum putdiepte in gietijzeren buizen en de Corrosie Index van het drinkwater

6.2.3 *Afname wanddikte per jaar - Corrosie Index drinkwater*

Van de records waarin de maximum inwendige putdiepte, de leeftijd van het onderzochte buisdeel en de Corrosie Index van het drinkwater bekend zijn, is de afname van de wanddikte per jaar uitgezet tegen de Corrosie Index in Figuur 22. Omdat in sommige voorzieningsgebieden verschillende historische waterkwaliteiten zijn voorgekomen is gekozen om voor dergelijke gevallen uit te gaan van de hoogste Corrosie Index.

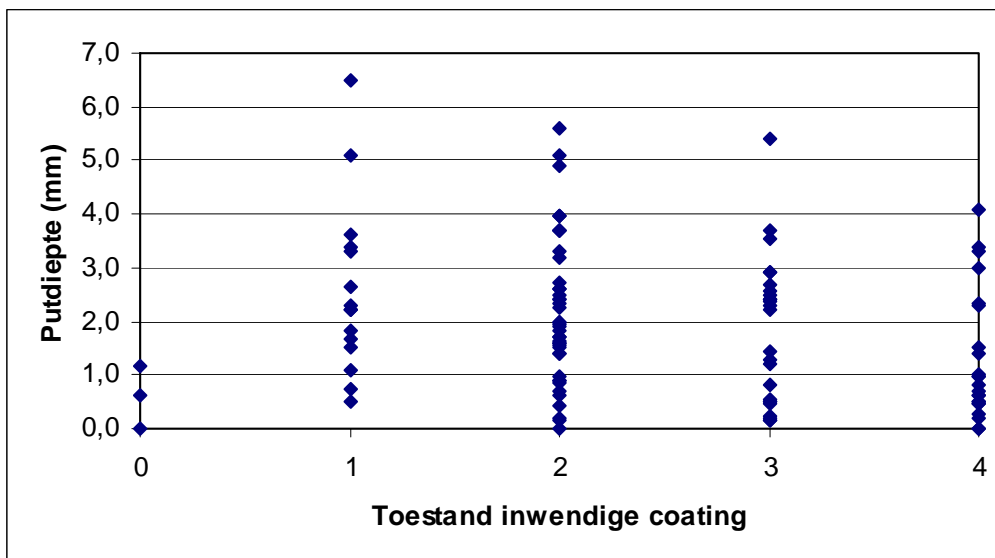
De verwachting voor deze relatie is dat bij de hogere Corrosie Indices een grotere afname van de wanddikte per jaar plaatsvindt dan bij een lage Corrosie Index. Op basis van de beschikbare getallen is deze verwachting niet uitgekomen. De bepalende factoren zijn blijkbaar de aanwezigheid en de toestand van de coating en de kwaliteit gietijzer.



Figuur 22 *Relatie tussen de afname van de wanddikte per jaar en de Corrosie Index van het drinkwater*

6.2.4 Maximum inwendige putdiepte - toestand inwendige coating

Van de records waarin de maximum inwendige putdiepte en de toestand van inwendige coating bekend zijn, is de putdiepte uitgezet tegen de toestand van de inwendige coating in Figuur 23. Het lijkt alsof de toestand van de coating een invloed heeft op de maximum uitwendige putdiepte. Het verband is echter niet overduidelijk.

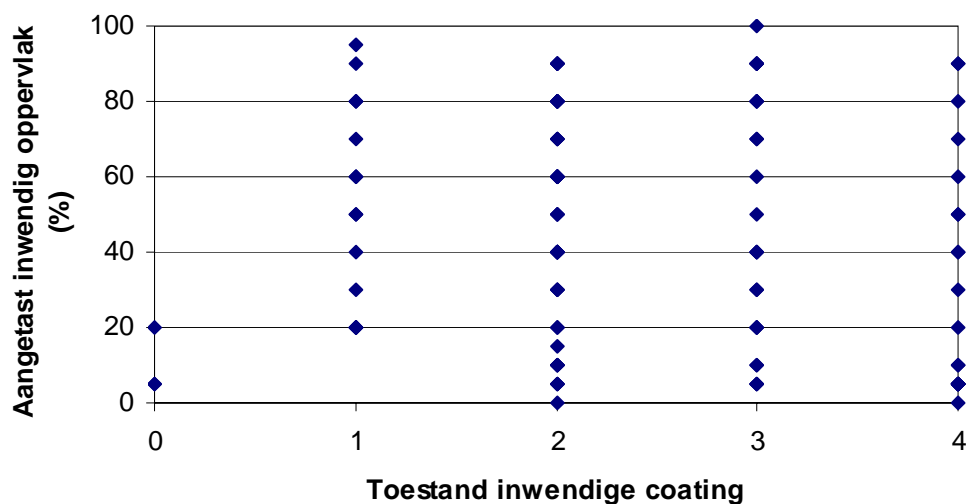


Figuur 23 Relatie tussen de putdiepte en de toestand van de inwendige coating (0 = geen, 1 = slecht, 2 = redelijk, 3 = goed, 4 = uitstekend)

6.2.5 Aangetast oppervlak - toestand inwendige coating

Van de records waarin het aangetast inwendig oppervlak en de toestand van inwendige coating bekend zijn, is het aangetaste oppervlak uitgezet tegen de toestand van de coating in Figuur 24. Het aantal monsters waarvan het aangetast inwendig oppervlak is bepaald is beperkt.

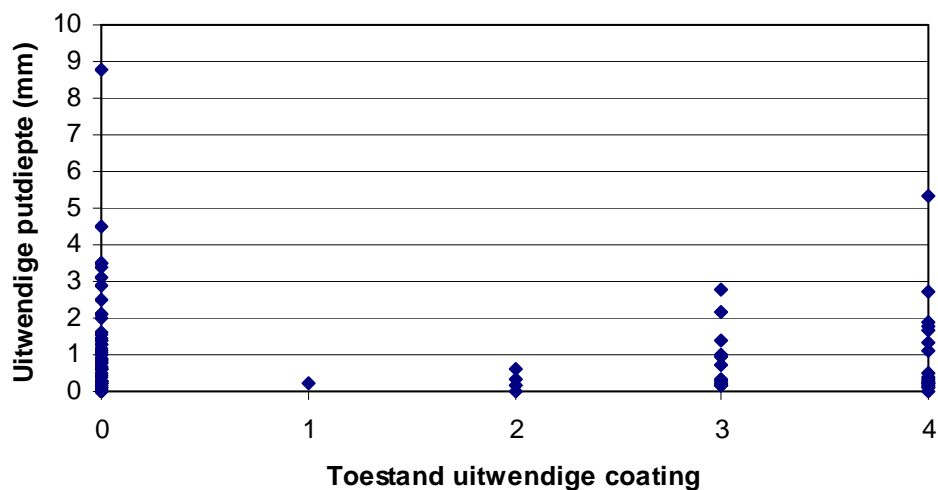
Het blijkt dat er geen relatie bestaat tussen het aangetaste oppervlak en toestand van de inwendige coating.



Figuur 24 Relatie tussen het aangetaste oppervlak en de toestand van de inwendige coating (0 = geen, 1 = slecht, 2 = redelijk, 3 = goed, 4 = uitstekend).

6.2.6 Maximum uitwendige putdiepte - toestand uitwendige coating

Van de records waarin de maximum uitwendige putdiepte en de toestand van uitwendige coating bekend zijn, is de putdiepte uitgezet tegen de toestand van de uitwendige coating in Figuur 25. De uitwendige putdiepte heeft een licht negatieve relatie met de toestand van de uitwendige coating.

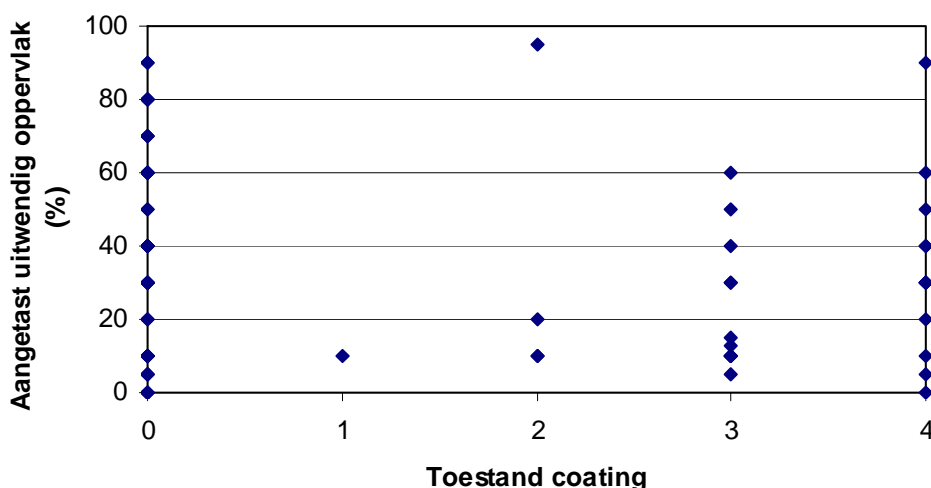


Figuur 25 Relatie tussen de putdiepte en de toestand van de uitwendige coating (0 = geen, 1 = slecht, 2 = redelijk, 3 = goed, 4 = uitstekend)

6.2.7 Aangetast uitwendig oppervlak - toestand uitwendige coating

Van de records waarin het uitwendige aangetaste oppervlak en de toestand van uitwendige coating bekend zijn, is het aangetaste oppervlak uitgezet tegen de toestand van de coating in Figuur 26. Het aantal monsters waarvan het aangetast inwendig oppervlak is bepaald is beperkt.

Er is een licht positieve relatie tussen het aangetaste oppervlak en de toestand van de coating. Dit kan veroorzaakt worden doordat alle leidingen met een slechte coating reeds gesaneerd zijn.



Figuur 26 Relatie tussen het uitwendig aangetaste oppervlak en de toestand van de uitwendige coating (0 = geen, 1 = slecht, 2 = redelijk, 3 = goed, 4 = uitstekend)

6.2.8 Uitwendige putdiepte - corrosiviteit bodem

De agressiviteit van de bodem is zeer beperkt in de database geregistreerd waardoor er geen mogelijkheid is om iets over deze relatie te zeggen.

6.3 Conclusies op grond van de database gietijzer

Er is een relatie tussen de treksterkte en de leeftijd van de buis. Dit kan veroorzaakt worden doordat de fabrikanten het proces voor het vervaardigen van gietijzeren buizen in de tijd steeds beter zijn gaan beheersen. Gezien de spreiding in de treksterktes is het echter niet te voorspellen welke treksterktes gemeten zullen worden. Ook binnen één buis treedt een aanzienlijke spreiding in de treksterkte op.

De verwachte relatie tussen corrosiesnelheid (afname effectieve wanddikte/jaar) en de Corrosie Index van het drinkwater is niet aantoonbaar in de database. De vele verschillende kwaliteiten gietijzer en de verschillende kwaliteiten en toestanden van een eventuele coating zullen hier zeker een rol spelen. Als het waterleidingbedrijf bij aanleg van de leiding al een corrosieprobleem met een gietijzeren leiding verwacht, zal er extra aandacht

aan een coating geschonken zijn en is de buis over het algemeen beter beschermd waarmee de corrosiesnelheid verminderd wordt.

De inwendige putdiepte heeft een licht positieve relatie met de toestand van een inwendige coating. De maximum gevonden putdiepten (tot 4 mm) zijn echter nog aanzienlijk bij een coating die als uitstekend gekwalificeerd is. De beoordeling van een coating is visueel. Dit is niet voldoende om de mate van bescherming correct te schatten.

Het aangetast inwendig oppervlak heeft geen relatie met de toestand van de coating. Ook hier geldt dat de mate van bescherming die een coating geeft niet op basis van een visuele beoordeling in te schatten is.

De uitwendige putdiepte heeft een negatieve relatie met de toestand van een uitwendige coating; bij de betere gekwalificeerde coatings worden de grootste aantastingen gemeten. Dit tegenstrijdige verschijnsel is te verklaren door de waarschijnlijk scheve verdeling in de populatie. De buizen met een slechte coating zijn het snelst aangetast en zijn al verdwenen uit de populatie.

Het aangetast uitwendig oppervlak heeft ook een negatieve relatie met de toestand van de coating. Ook hier zal een groot deel van buizen met slechte coating al uit het bestand verdwenen zijn.

7 Beoordeling conditie grijs gietijzeren leidingen

7.1 Benodigde sterkte en veiligheid

De conditie van een leiding wordt bepaald door de mate waarin de leiding voldoet aan de eisen die aan deze leiding gesteld worden. Deze eisen kunnen gebaseerd zijn op de benodigde sterkte, de benodigde hydraulische capaciteit en de vereiste waterkwaliteit. De conditie van gietijzeren leidingen moet dan ook beoordeeld worden aan de hand van deze criteria.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op het bepalen van de benodigde sterkte. In een leiding is de sterkte evenredig met de wanddikte. Omdat in de conditiebepalingsmethoden geen sterkte wordt bepaald maar wanddikte wordt in de rest van dit hoofdstuk de term 'wanddikte' gebruikt.

Leidingen voor drinkwater zijn over het algemeen overgedimensioneerd qua wanddikte voor de omstandigheden waarin de leidingen toegepast worden. Deze overdimensionering zorgt voor een veiligheid tegen falen. De overdimensionering heeft een aantal oorzaken:

- Veiligheid in de ontwerpbelasting;
De leiding heeft voor bepaalde externe omstandigheden een bepaalde wanddikte nodig maar deze omstandigheden komen slechts plaatselijk of tijdelijk voor. Daartoe wordt een leiding bijvoorbeeld uitgevoerd in de drukklasse 1 MPa terwijl de werkdruk in het systeem niet boven 0,5 MPa komt.
- Fabricageproces;
Een kleine diameter buis is niet te vervaardigen in de exacte wanddikte die voor de sterkte noodzakelijk is, doordat de benodigde wanddikte te klein voor het fabricageproces. Vooral kleine diameters (\varnothing 100 mm) zijn hierdoor overgedimensioneerd.
- Veiligheid door spreiding van materiaaleigenschappen.
De buizen worden vervaardigd in een wanddikte waarbij uitgegaan is van bepaalde materiaaleigenschappen. Door variatie in materiaaleigenschappen moet er een grotere wanddikte toegepast worden, waardoor de leiding sterker en dus overgedimensioneerd is.

Voor het beheer van het leidingnet heeft overdimensionering een voordeel: de sterkte van de leiding kan achteruit gaan terwijl de veiligheid ervoor zorgt dat de buis blijft voldoen. De aanwezige veiligheid is hoger dan noodzakelijk en mag dus in bepaalde mate afnemen.

Om de conditie van de leiding c.q. de resterende veiligheid te bepalen, is het nodig om de benodigde en aanwezige wanddikte vast te stellen.

Voor de benodigde wanddikte van een leiding zijn de volgende factoren van belang:

- de maximum te verwachten inwendige druk;
- de maximum uitwendige belasting. Deze is afhankelijk van:

- diepteligging,
 - grondsoort en -karakteristieken,
 - bovenbelasting vanuit het verkeer.
- de afmetingen, materiaaleigenschappen en constructie van de leiding.

De aanwezige wanddikte, en daarmee de veiligheid, volgt uit de werkelijke afmetingen op een bepaald tijdstip (effectieve wanddikte), materiaaleigenschappen en de constructie van de leiding.

De effectieve wanddikte kan worden bepaald bij een conditieonderzoek.

Voor de materiaaleigenschappen wordt uitgegaan van gemeten of minimum waarden voor het materiaal. Verder wordt aangenomen dat de constructie van een leiding niet verandert in de tijd.

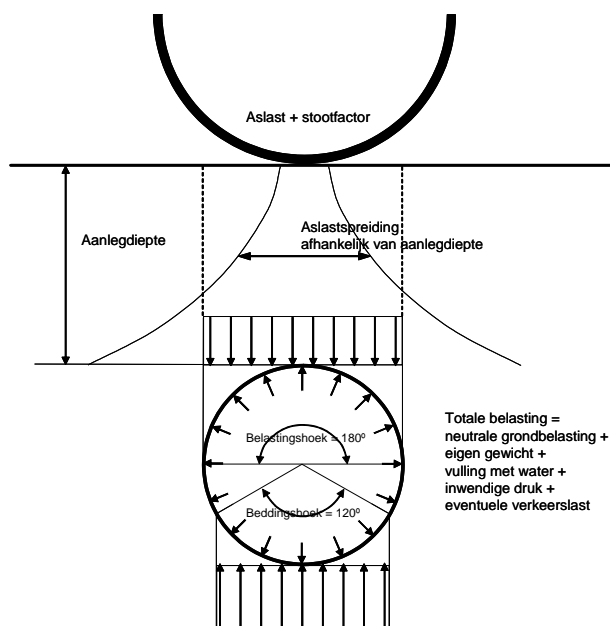
Door de uitkomst van het conditieonderzoek te combineren met een inschatting van de werkelijk benodigde wanddikte wordt de restwanddikte vastgesteld. Dit is een maat voor de resterende veiligheid tegen bezwijken van een leiding.

7.2 Vaststellen benodigde wanddikte

Uit de belasting van de leiding en de materiaaleigenschappen is de benodigde wanddikte te bepalen volgens vereenvoudigde berekeningen als in de Pijpleidingcode (editie 1972). Zowel voor de belasting als voor de materiaaleigenschappen moeten een aantal aannames gedaan worden. Deze worden hierna besproken.

7.2.1 Belastingen op de leiding

Voor de berekening van de belasting op de leiding wordt uitgegaan van Figuur 27.



Figuur 27 Schematisch overzicht van de belastingen op de leiding

Hierin wordt rekening gehouden met:

- **Maximum inwendige druk**
Hierbij moet rekening gehouden worden met de maximum drukken onder mogelijke bijzondere omstandigheden. Drukgolven door waterslag moeten hierbij betrokken worden. In de voorbeeldberekeningen wordt rekening gehouden met drukken tussen de 0,3 en 1 MPa.
- **Grondbelasting**
Voor de grondbelasting wordt gerekend met een diepteligging die varieert van 0,75 tot 1,5 meter. Omdat de te onderzoeken leidingen al lange tijd in de grond liggen wordt uitgegaan van een neutrale grondbelasting met een belastingshoek van 180° .
De grondsoorten zand (soortelijke massa = 1800 kg/m^3), klei (soortelijke massa = 2000 kg/m^3) en veen (soortelijke massa = 1100 kg/m^3) kunnen in de berekening betrokken worden.
- **Verkeersbelasting**
Als de leiding in een tracé ligt waar een verkeersbelasting mogelijk is, moet hiermee rekening gehouden worden. In de voorbeeldberekening wordt een verkeersbelasting gehanteerd van 0, 100 en 150 kN per aslast, dit komt respectievelijk overeen met geen verkeerslast, een verkeerslast volgens klasse 30 (normale verkeersbelasting, 300 kN totaal gewicht) en een verkeerslast volgens klasse 45 (zware verkeersbelasting, 450 kN totaal gewicht). Deze verkeersbelasting wordt gereduceerd voor de diepteligging. Tevens wordt de te hanteren stootfactor afhankelijk van de diepteligging bepaald.
Er wordt niet gerekend met een reductie ten gevolge van de wegconstructie.

7.2.2 *Ligging leiding in de grond*

Voor de berekening van de optredende spanningen in de leiding wordt de lange liggingsduur (meer dan 30 jaar) ook betrokken in de beschouwing. De beddingshoek is gesteld op 120° . Er worden alleen tangentiële spanningen in rekening gebracht. Er is dus niet gerekend met belastingsverschillen over de lengte van de leiding.

De leiding wordt verondersteld volledig boven het grondwater te liggen.

7.2.3 *Materiaaleigenschappen*

In de voorbeeldberekeningen is uitgegaan van een maximaal toelaatbare tangentiële spanning in grijs gietijzer van 100 N/mm^2 . Voor grijs gietijzer wordt geen reductie ten gevolge van 'rerounding' toegepast.

7.2.4 *Minimale veiligheid*

In de berekeningen wordt op de toelaatbare spanning in het buismateriaal een veiligheid van 2,5 gehanteerd op de toelaatbare spanning. Voor de belasting worden zoveel mogelijk reële waarden geschat. Dit betekent dat er een overall minimale veiligheidsfactor wordt gehanteerd van 2,5.

Indien de maximum toelaatbare spanningen in het materiaal anders zijn dan de gehanteerde wordt ook de veiligheidsfactor hiermee beïnvloed.

Uit het breukgedrag van de leiding kan soms geconcludeerd worden dat de toelaatbare spanning afwijkt van de gehanteerde 50 N/mm² of dat de belasting hoger is dan ingeschat.

7.3 Resultaten berekeningen minimaal benodigde wanddikte

Voor de berekeningen van de minimaal benodigde wanddikte is gebruik gemaakt van een spreadsheet. Tabel 5 geeft alle belastingcombinaties (2592 stuks) met de verwijzing naar de corresponderende grafieken in bijlage II. Door verschillende belastingcombinaties in één grafiek op te nemen is het aantal grafieken beperkt. Er worden twee typen grafieken onderscheiden:

- Grafiektype 1 waarin het materiaal, de diameter en de grondsoort varieert per grafiek (18 stuks per materiaal);
- Grafiektype 2 waarin het materiaal, de verkeersklasse, de grondsoort en diepteligging varieert per grafiek (27 stuks per materiaal).

De grafieken worden gekenmerkt volgens Tabel 5. De verschillende variabelen worden in het grafiekenmerk aangeduid met een getal of een X. De X staat voor de aanwezigheid van alle waarden van deze variabele in de grafieken. Op deze wijze ontstaat een kenmerk van 6 karakters per grafiek. Bijvoorbeeld:

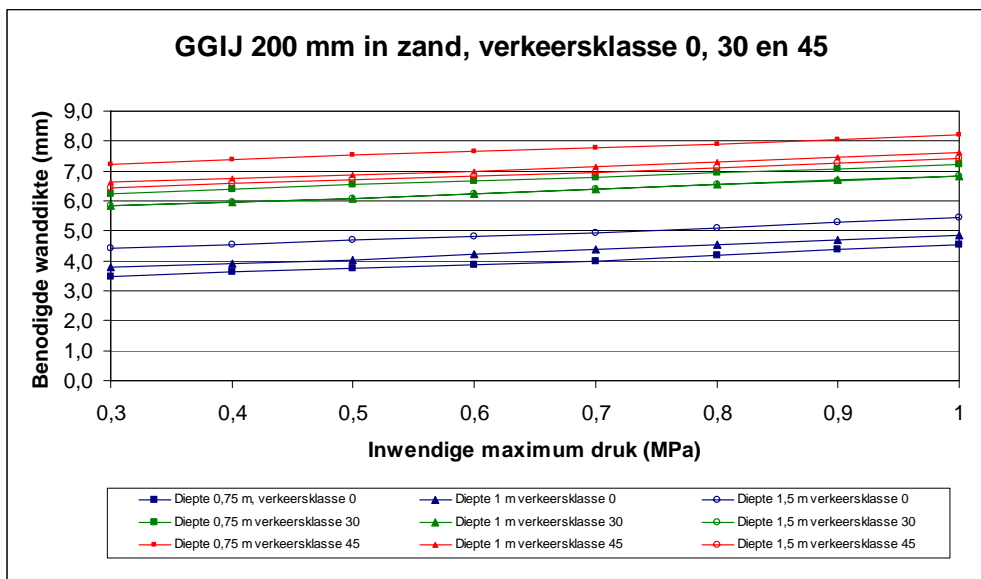
- Grafiektype 1: 242XXX
Dit betreft een grafiek voor een grijs gietijzeren buis (2) van 150 mm(4) in klei (2).
- Grafiektype 2: 2X212X
Dit betreft een grafiek voor een grijs gietijzeren buis (2) in klei (2) zonder verkeersbelasting (1) op een diepte van 1 m (2).

Alle benodigde grafieken zijn opgenomen in bijlage II. Indien er axiale spanningen aanwezig zijn in de leiding mogen de grafieken in bijlage II niet gebruikt worden.

Tabel 5 Mogelijke combinaties voor berekening van de minimaal benodigde wanddikte

Variabele	1	2	3	4	5	6
1 Materiaal	AC	GIJ				
2 Diameter	80 mm	100 mm	125 mm	150 mm	175 mm	200 mm
3 Grondsoort	zand	klei	veen			
4 Verkeersklasse	0	30	45			
5 Diepteligging	0,75 m	1,00 m	1,50 m			
6 Inwendige druk	Continu 0,3 - 1 MPa (stapjes 0,1 MPa)					

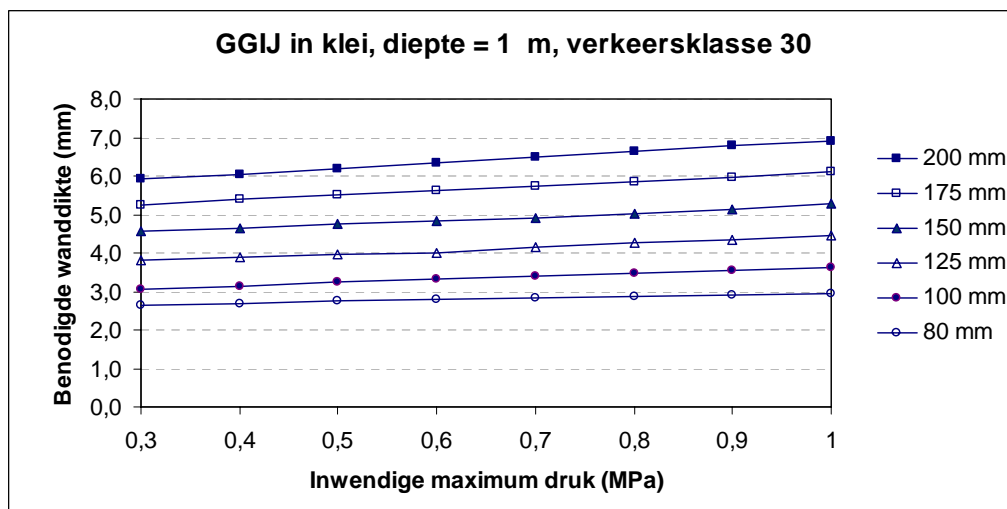
Figuur 28 geeft voor een ø200 mm grijs gietijzeren leiding de benodigde wanddikten voor verschillende diepteliggingen, maximum waterdrukken en verkeersklassen.



Figuur 28 Benodigde wanddiktes $\varnothing 200$ mm bij verschillende belastingen

Figuur 29 geeft de benodigde wanddikte bij een diepteligging van 1 m, boven het grondwater en bij een verkeersbelasting van klasse 30.

De benodigde wanddikte is bepaald voor de tangentiële spanning. Met extra spanningen in de lengterichting van de leiding (axiale spanningen) als gevolg van zettingsverschillen of kruisingen met andere infrastructuur wordt geen rekening gehouden.



Figuur 29 Benodigde wanddikten voor verschillende diameters

7.4 Interpretatie grafieken wanddikten

Uit de grafieken zijn de benodigde wanddikten te bepalen voor verschillende belastingomstandigheden. Uit het voorbeeld van Figuur 29 blijkt dat een $\varnothing 125$ mm leiding in een kleigrond op 1 meter diep gelegen een minimale benodigde wanddikte heeft van 4 mm bij een maximum inwendige druk van 0,6 MPa. Wordt in het conditieonderzoek een geringere plaatselijke wanddikte gemeten, dan betekent dit dat de veiligheid is teruggelopen tot onder het vastgestelde niveau van 2,5.

Bij een extreme gebeurtenis als waterslag, extra hoge druk, extra verkeersbelasting of zettingen als gevolg van werkzaamheden zal de buis waarschijnlijk bezwijken. Het optreden van een dergelijke gebeurtenis kan echter op zich laten wachten. De conditie van de buis ligt echter beneden een aanvaardbaar niveau.

7.5 Betekenis van de benodigde wanddikte

Bij goed ontwerp is de conditie van een leiding bij aanleg 100%. Op basis van een berekening is het mogelijk om de minimaal benodigde wanddikte te bepalen. Als deze minimaal benodigde wanddikte optreedt, is de restwanddikte 0 mm. De resterende veiligheid ligt dan op het niveau van 2,5. Door de schadeconsequenties bij breuk in te schatten kan een lagere veiligheid al dan niet geaccepteerd worden. Hierdoor zijn saneringsbeslissingen beter te onderbouwen.

In het Kennissysteem Levensduur Bepaling (KSLB) wordt de benodigde wanddikte niet meegenomen. In het KSLB wordt de benodigde conditie (normconditie) bepaald op basis van de klantperceptie. De klantperceptie wordt berekend op basis van gegevens van de gevolgen van storingen. De normconditie staat los van de werkelijke conditie van de leiding. De werkelijke conditie wordt berekend door combinatie van de oorspronkelijke wanddikte, de benodigde wanddikte en de aanwezige wanddikte. Op het moment dat de benodigde conditie onder 0% komt, dienen passende maatregelen genomen te worden.

In onderstaand rekenvoorbeeld wordt de conditie van een leiding berekend uit de meet- en rekengegevens:

Oorspronkelijke wanddikte	15 mm
Minimaal benodigde wanddikte	5 mm
Effectieve wanddikte	7 mm
Conditie van deze leiding	$(7 - 5) / (15 - 5) = 0,2 = 20\%$

Dit getal moet vergeleken worden met benodigde conditie vanuit de klantperceptie.

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Mate van aantasting van gietijzer

De aantasting van GIJ-leidingen is te bepalen door visueel onderzoek, voor en na stralen, beoordeling van het aangetast oppervlak en putdiepte en het meten van de treksterkte.

De mate van aantasting kan sterk variëren, zowel binnen een buisdeel als binnen een leiding. Het aantal monsters om een nauwkeurige uitspraak over de effectieve wanddikte te doen hangt sterk samen met de gewenste nauwkeurigheid.

Ondanks de relatief grote spreiding in de meetresultaten geven de beoordelingsmethoden een goed beeld van de mate van aantasting in GIJ-leidingen.

De mate van aantasting van GIJ-leidingen hangt sterk samen met de aanwezigheid en kwaliteit van een coating in een buis. De beoordeling van de coating is echter niet voldoende om de mate van bescherming in te schatten. Bovendien is er sprake van een scheve verdeling in de populatie van gietijzeren leidingen. De buizen met een slechte coating worden het snelst aangetast en zijn al verdwenen uit de populatie.

8.2 Conditie van GIJ-leidingen

De mate van aantasting van een GIJ-leiding geeft geen directe relatie met de daadwerkelijke conditie of reststerkte van de leiding. Om een uitspraak te doen over de werkelijke conditie van een GIJ-leiding is een pragmatische aanpak ontwikkeld.

De **minimaal benodigde wanddikte** wordt afgeleid uit de maximum te verwachten inwendige druk, de maximum uitwendige belasting en de afmetingen, materiaaleigenschappen en constructie van de leiding.

De aanwezige en dus de **effectieve wanddikte** wordt bepaald met de resultaten uit de conditiebepalingsmethoden.

De **restwanddikte** wordt berekend door de effectieve wanddikte te verminderen met de minimaal benodigde wanddikte. De restwanddikte geeft een beeld van de resterende veiligheid. Door de schadeconsequenties bij breuk in te schatten kan een lagere veiligheid al dan niet geaccepteerd worden. Hierdoor zijn saneringsbeslissingen beter te onderbouwen.

Referenties

Benjamin M.M., H. Sontheimer en P. Leroy (1996). *Corrosion of iron and steel in 'Internal Corrosion of Water Distribution Systems'* 2nd ed., AwwaRF, Denver 1996.

Elzenga C.H.J., Smeenk J.G.M.M., Graveland A., Puffelen J. van, Hoven Th.J.J. van den (1991). *Roestproblemen in gietijzeren leidingen* Kiwa SWE 91.020, Nieuwegein

Hoven, Th.J.J. van den en J.H.G. Vreeburg (1992). *Waterkwaliteit in het leidingnet: Helderheid met monitorsystemen*, H₂O **25**, 10, p. 255

Hoven Th J.J. van den en M.W.M. van Eekeren (1988). *Optimale samenstelling van drinkwater*, Kiwa-Mededeling 100, Nieuwegein

Koning M. de (2000). *Conditiebepaling grijs gietijzeren leidingen*, Kiwa-rapport BTO 2000.04, Nieuwegein

Mesman G.A.M. (2001). *Conditiebepaling verbindingen*, Kiwa-rapport BTO 2001.205, Nieuwegein

Rosenthal L.P.M. (1977). *Leidingnetbeheer*, Kiwa SWE 97.010, Nieuwegein

Pijpleidingcode 1972, uitgegeven door de Provincie Zuid-Holland, Den Haag

Trietsch E.A. en M. de Koning (2001). *Operationeel leidingnetbeheer en conditie- en restlevensduurbepaling*, Kiwa BTO 2001.129 (C), Nieuwegein

VEWIN (2002). *Waterleidingstatistiek 2000*, VEWIN, Rijswijk

I Gegevensregistratie in database

De volgende gegevens worden in de database opgenomen:

1. Algemene gegevens:

- Labelnummer;
- Bedrijf waarvoor het onderzoek wordt verricht;
- Plaats van uitname (meestal plaatsnaam en straat);
- Lengte leidingsegment;
- Datum van uitname.

2. Leidinggegevens:

- Diameter van de leiding;
- Aanlegjaar van de leiding;
- Grondsoort waarin de leiding ligt;
- Grondwaterstand;
- Corrosie index drinkwater;

3. Resultaten algemene beoordeling (zowel in- als uitwendig):

- Materiaal van de coating;
- Toestand van de coating.
- Mate van aangroei

4. Resultaten beoordeling na zandstralen:

- Gemiddelde wanddikte;
- Maximale putdiepte in- en uitwendig
- Aangetast oppervlak in- en uitwendig
- Minimale wanddikte;

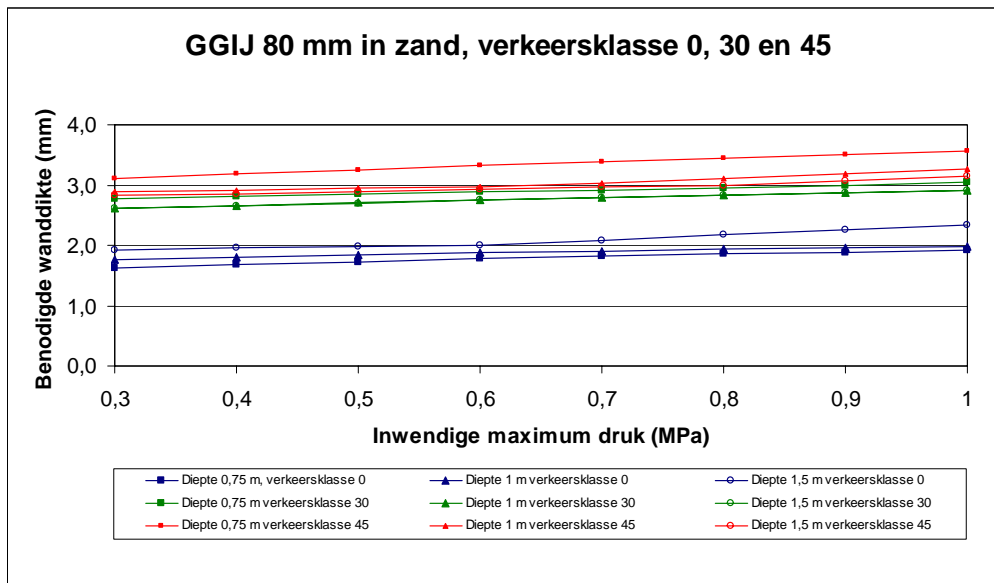
5. Resultaten beoordeling na etsen:

- Minimale wanddikte na etsen.

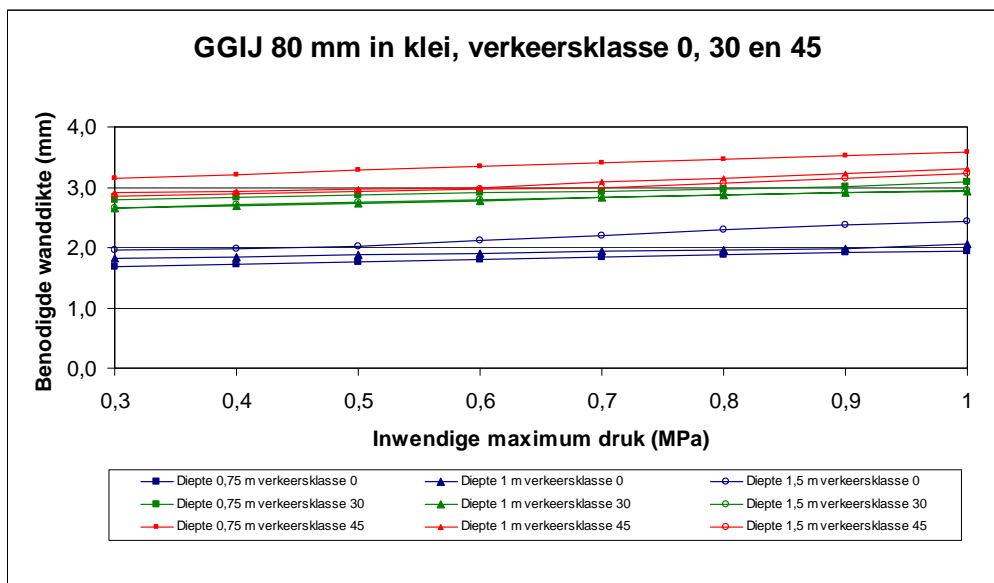
6. Resultaten treksterktebepaling

- Treksterkte.

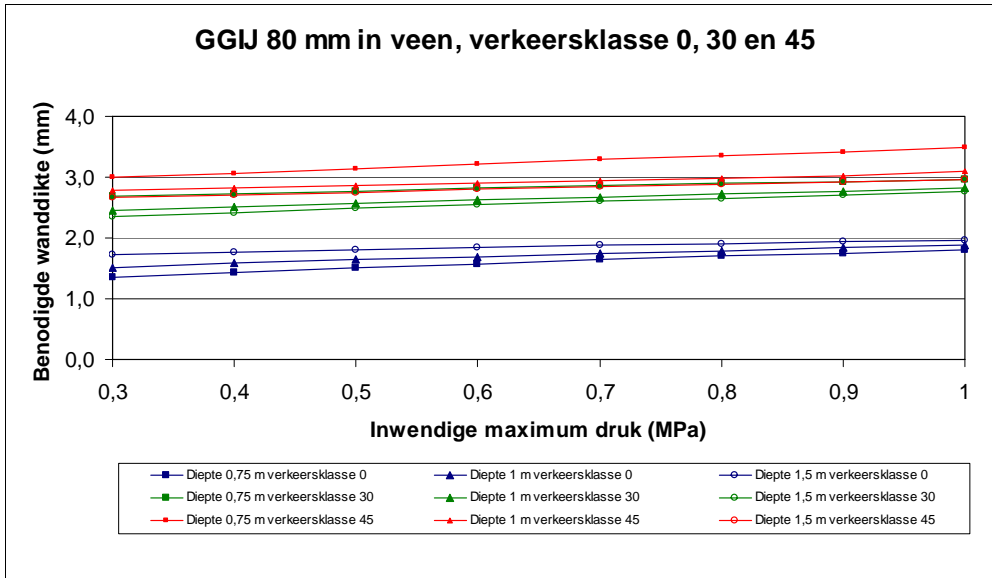
II Grafieken benodigde wanddikten



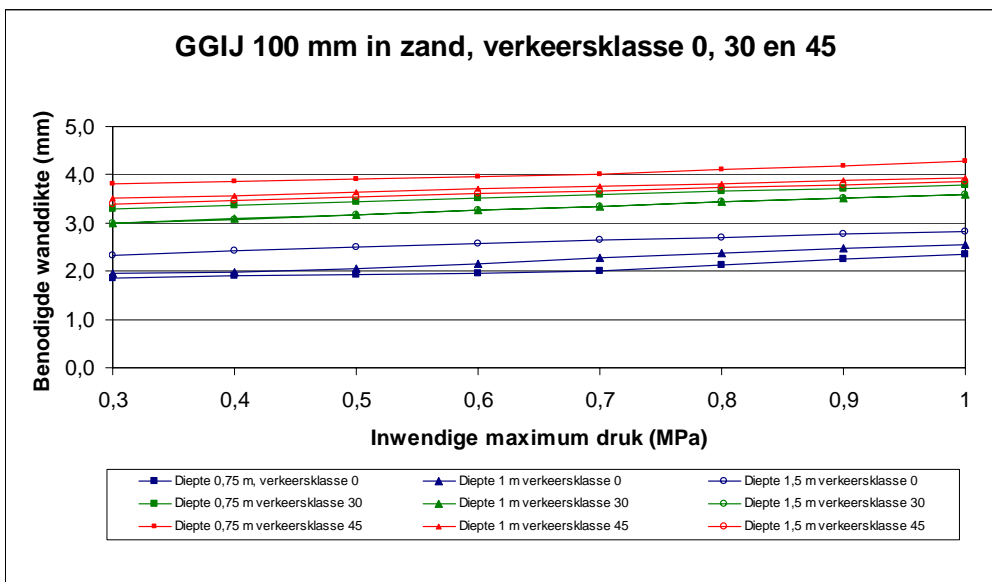
Grafiektype 1, kenmerk 211XXX



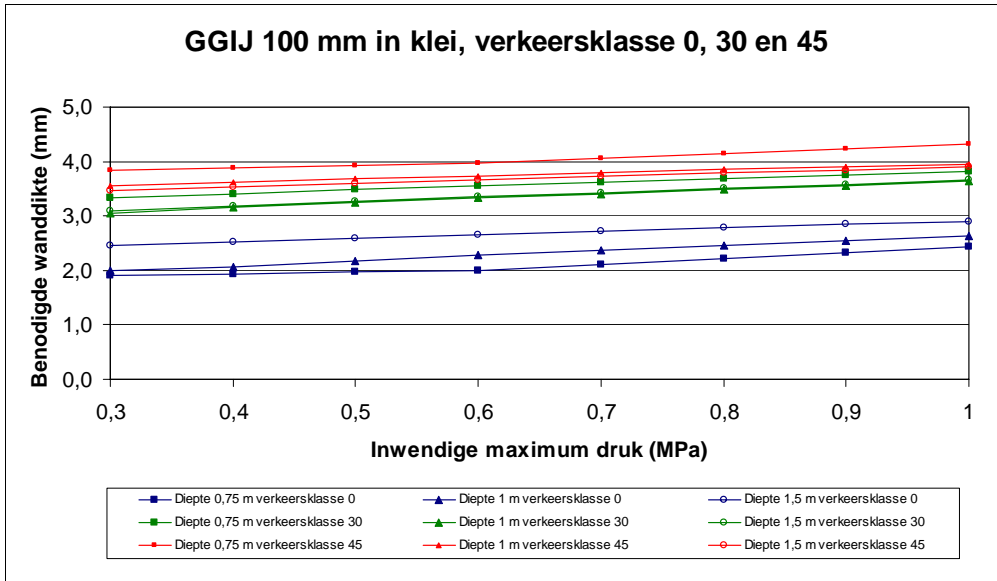
Grafiektype 1, kenmerk 212XXX



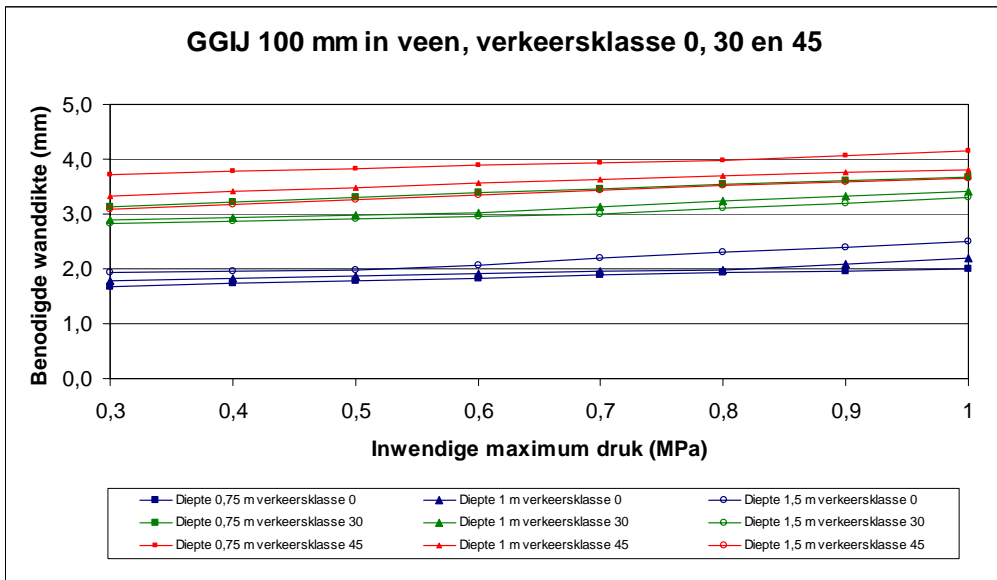
Grafiektype 1, kenmerk 213XXX



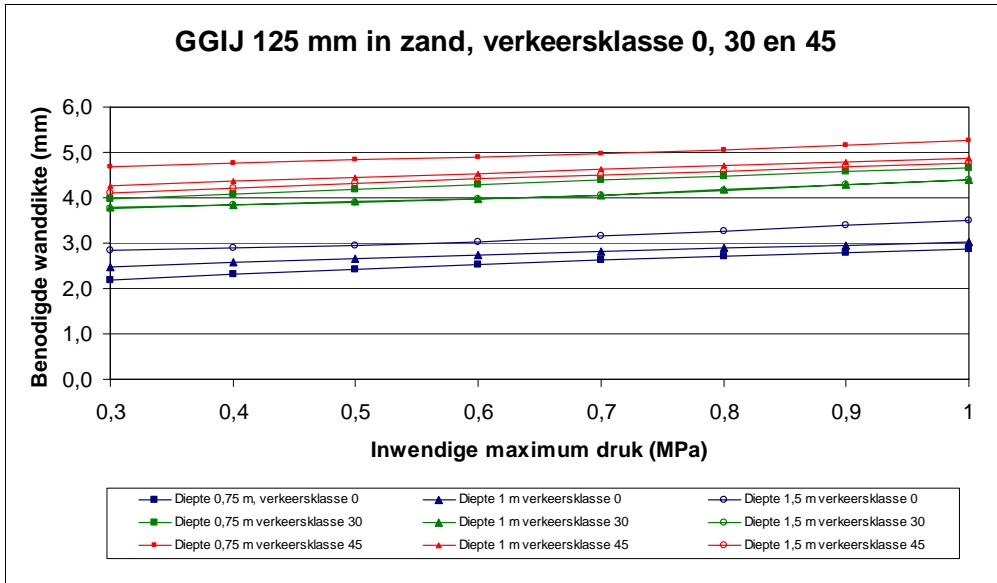
Grafiektype 1, kenmerk 221XXX



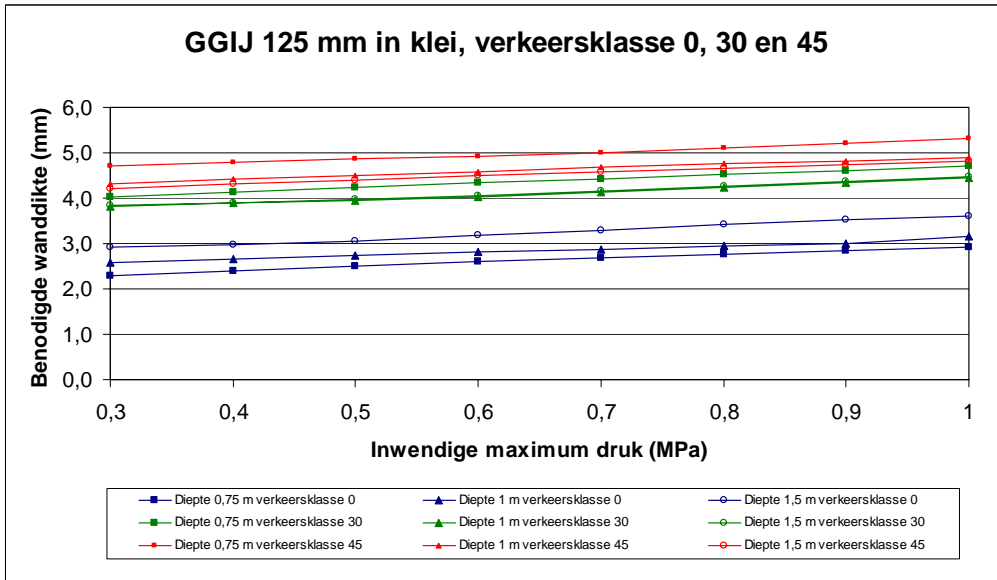
Grafiektype 1, kenmerk 222XXX



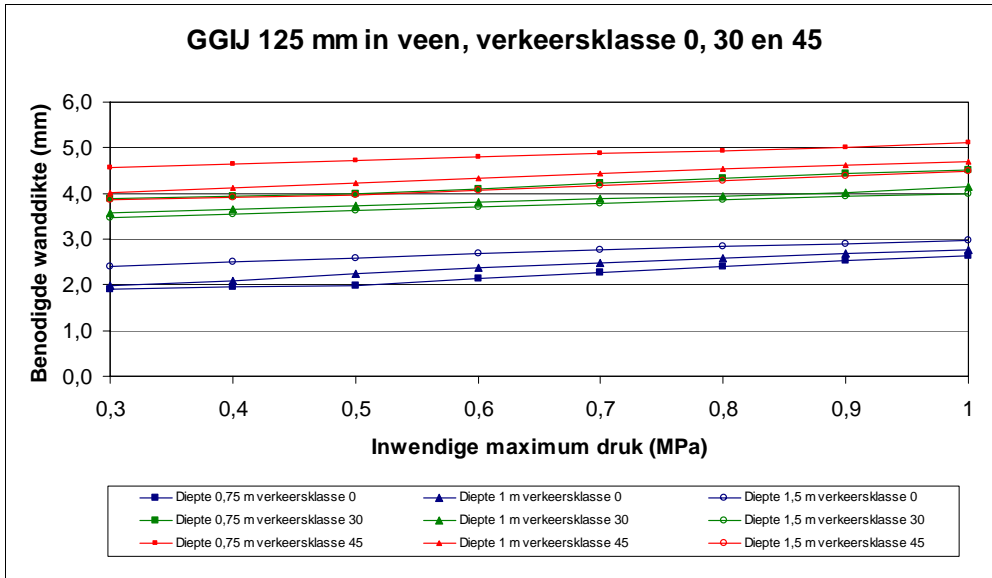
Grafiektype 1, kenmerk 223XXX



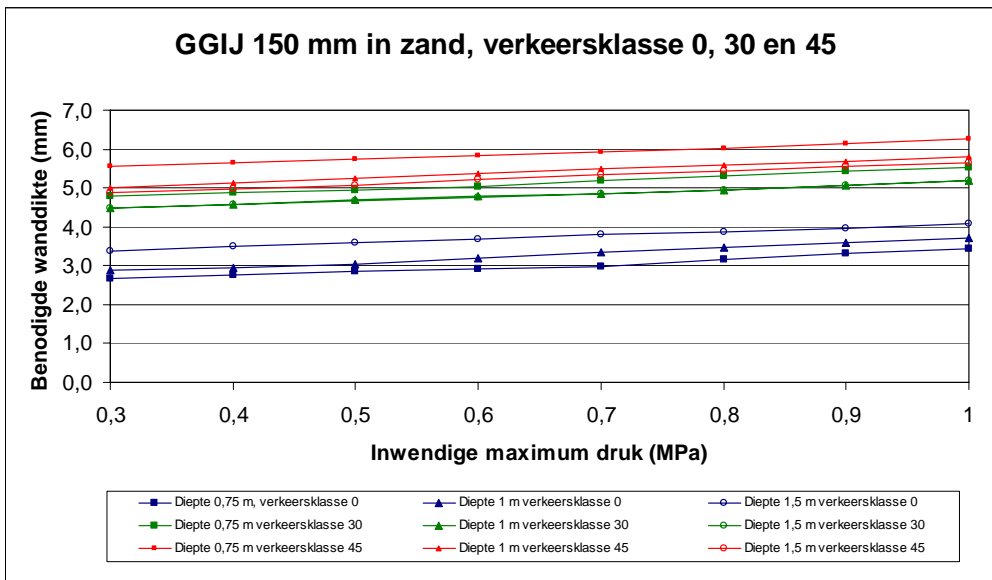
Grafiektype 1, kenmerk 231XXX



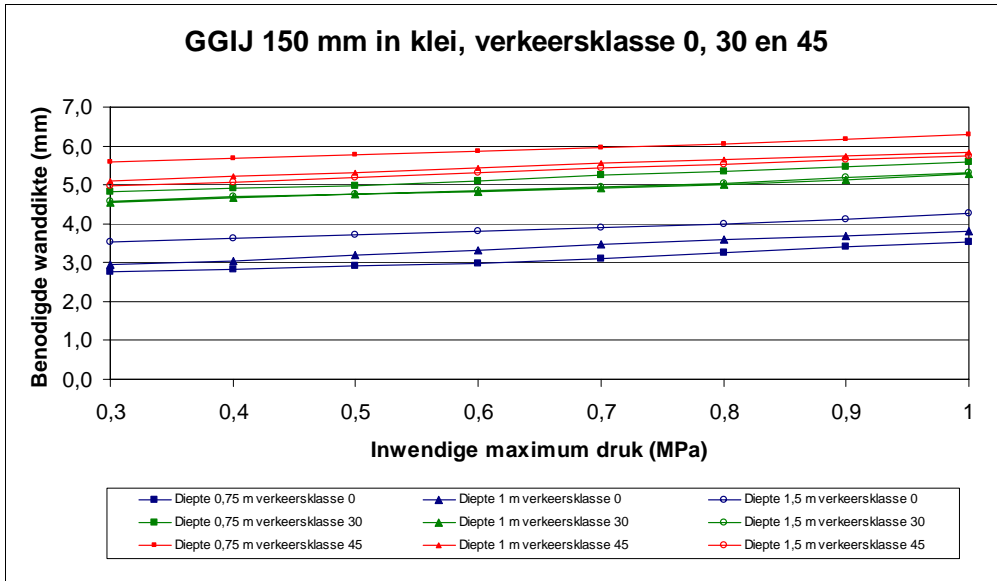
Grafiektype 1, kenmerk 232XXX



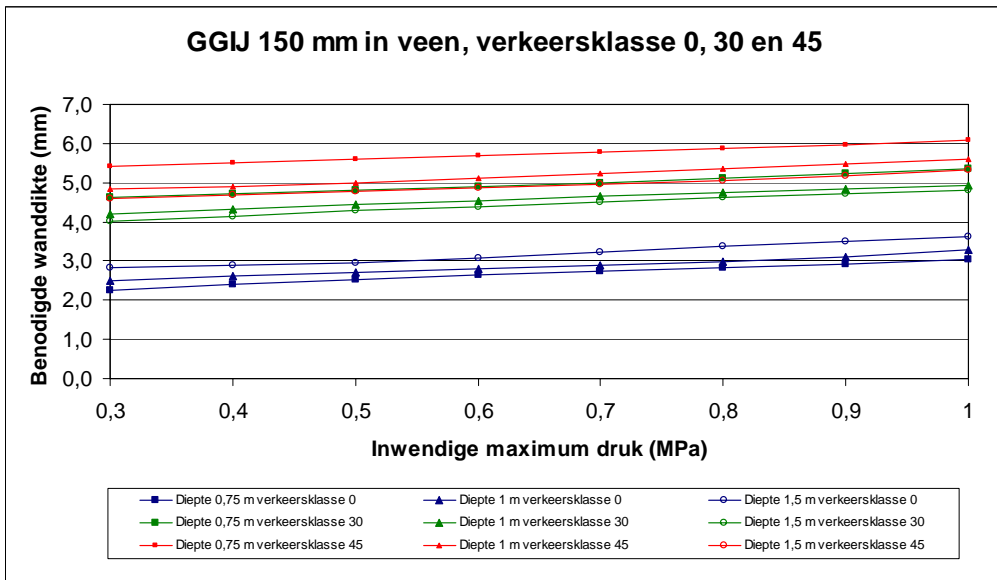
Grafiektype 1, kenmerk 233XXX



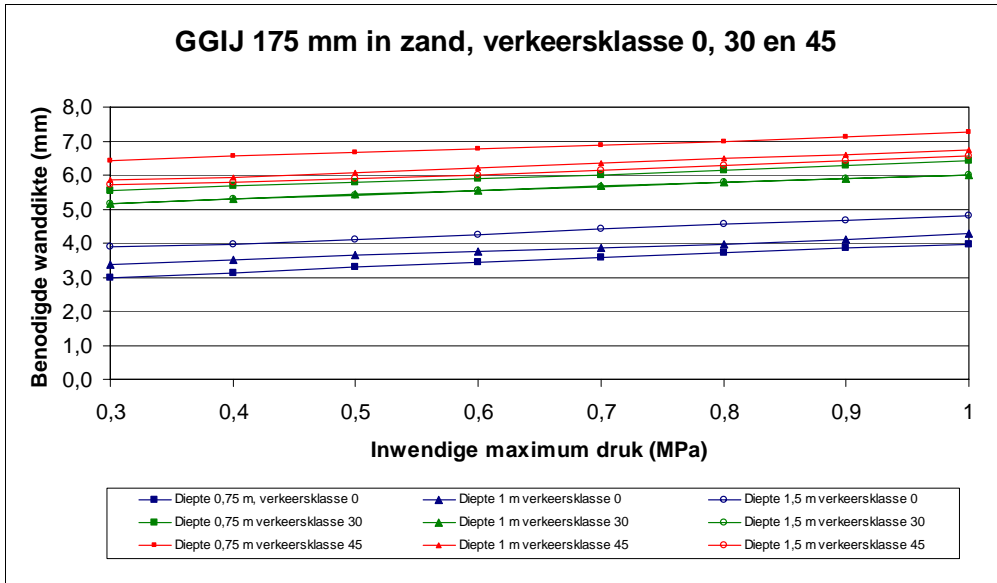
Grafiektype 1, kenmerk 241XXX



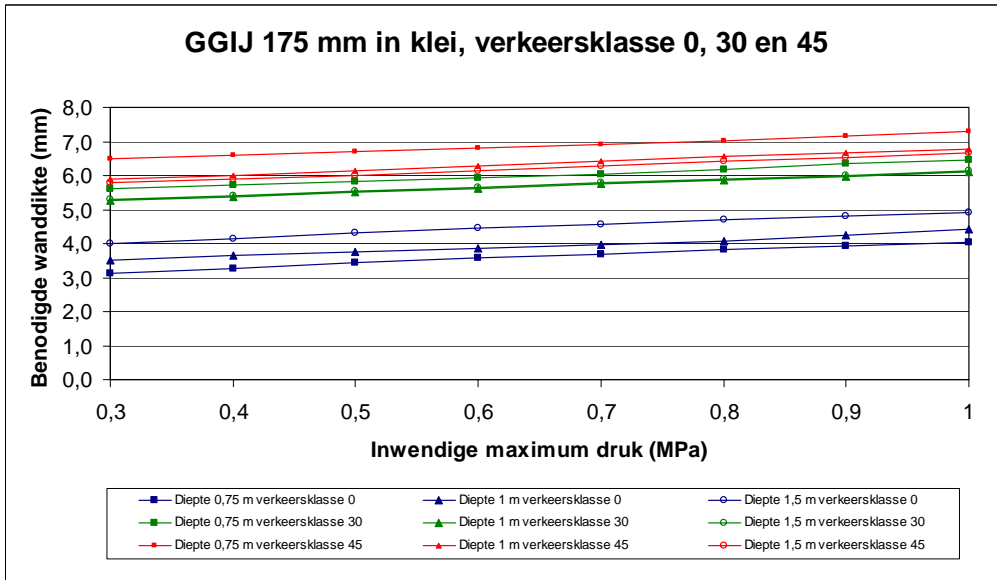
Grafiektype 1, kenmerk 242XXX



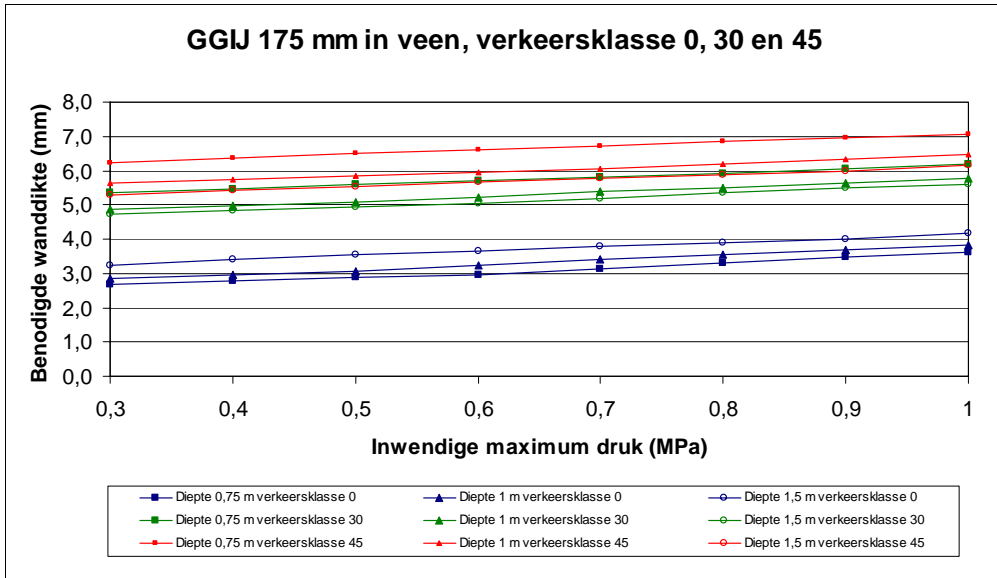
Grafiektype 1, kenmerk 243XXX



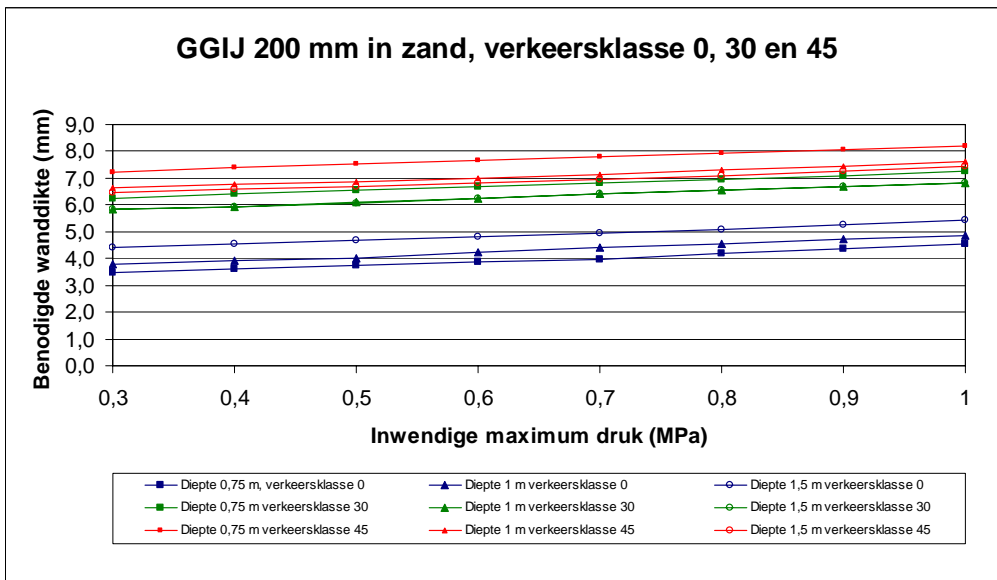
Grafiektype 1, kenmerk 251XXX



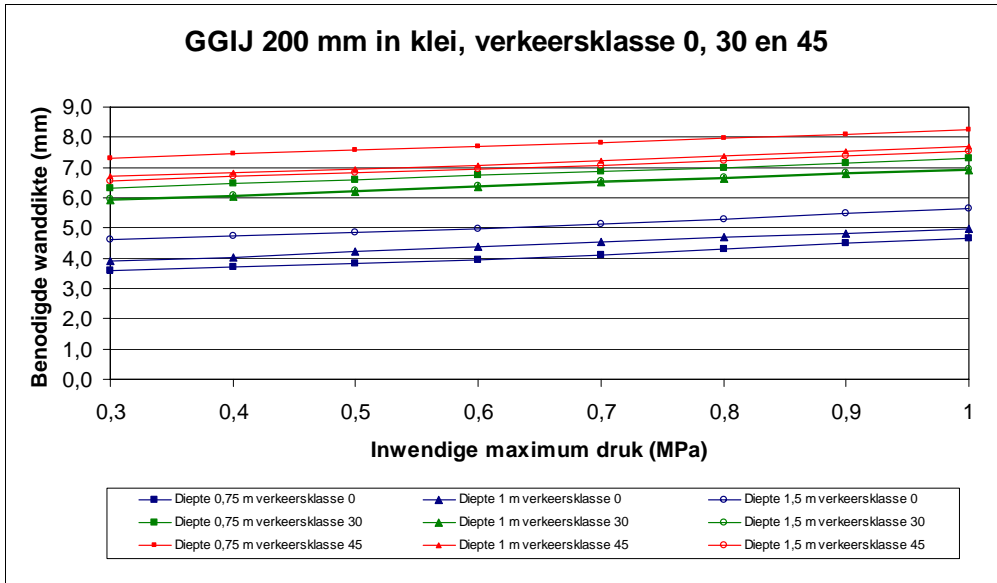
Grafiektype 1, kenmerk 252XXX



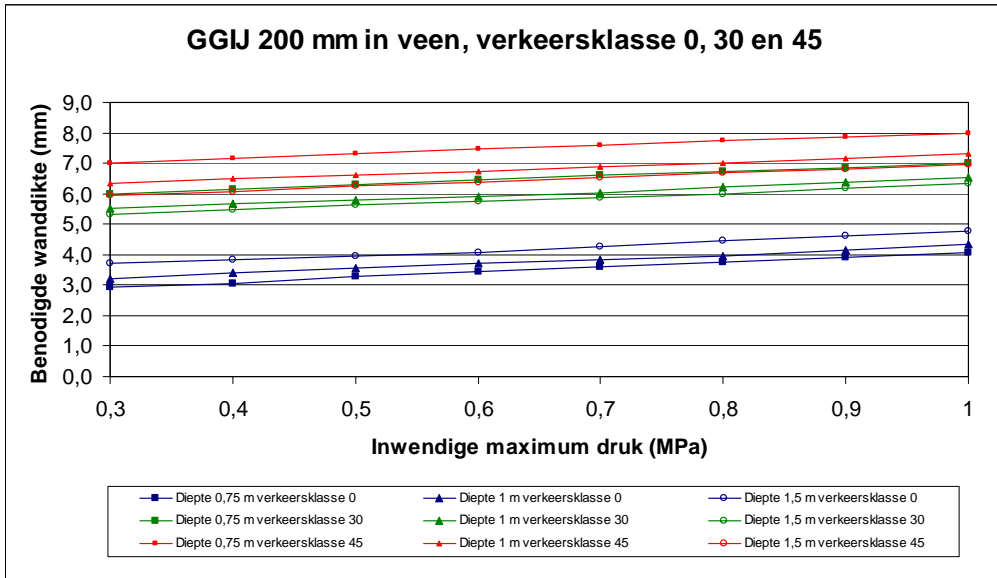
Grafiektype 1, kenmerk 253XXX



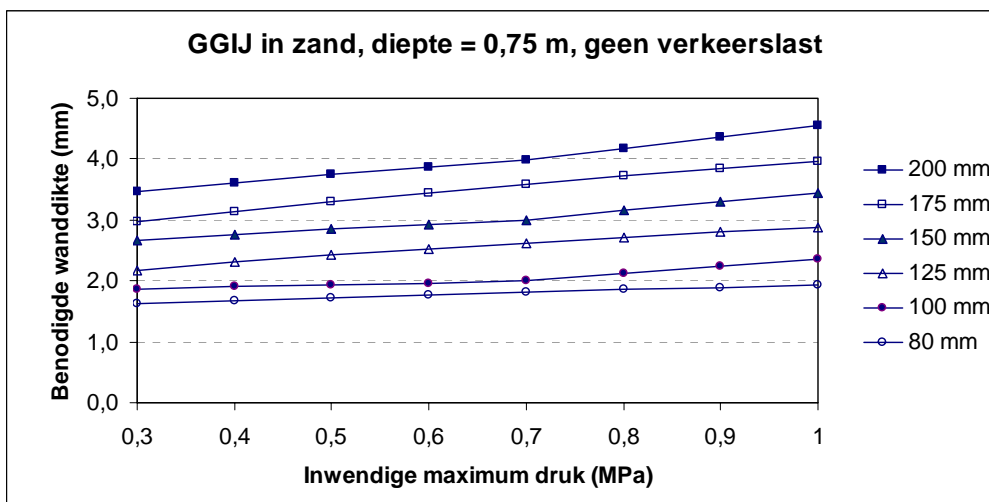
Grafiektype 1, kenmerk 261XXX



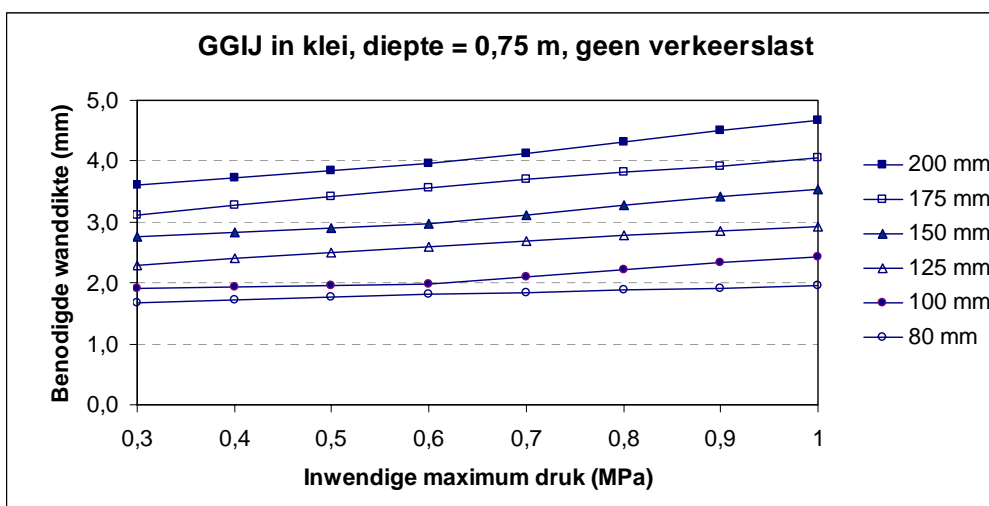
Grafiektype 1, kenmerk 262XXX



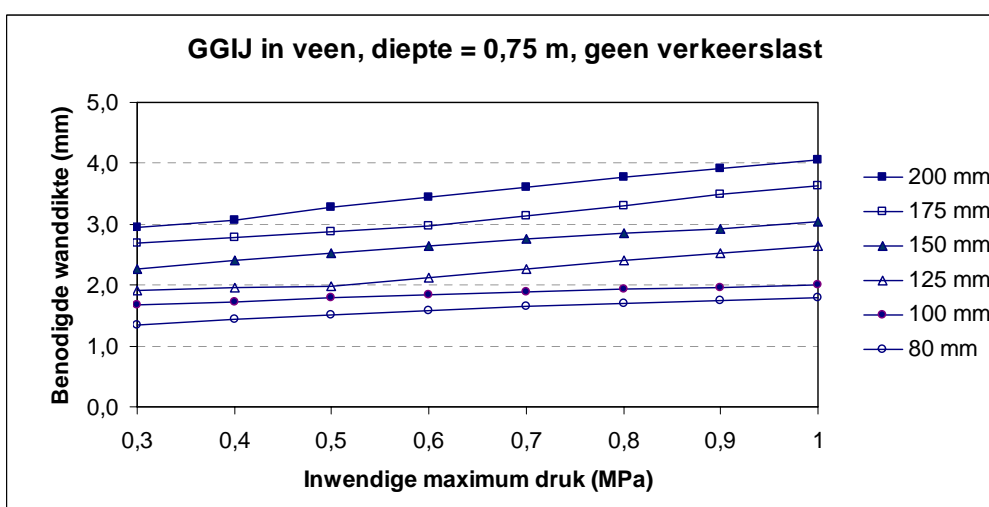
Grafiektype 1, kenmerk 263XXX



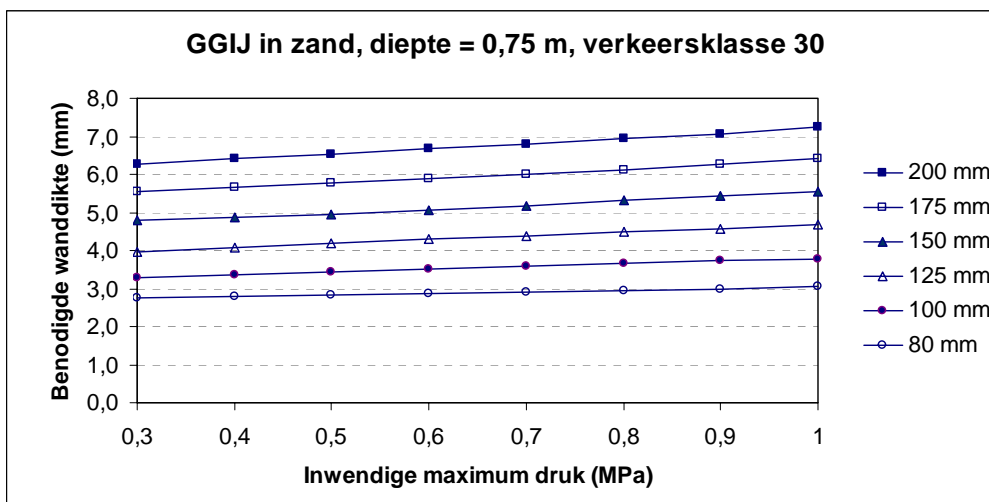
Grafiektype 2, kenmerk 2X111X



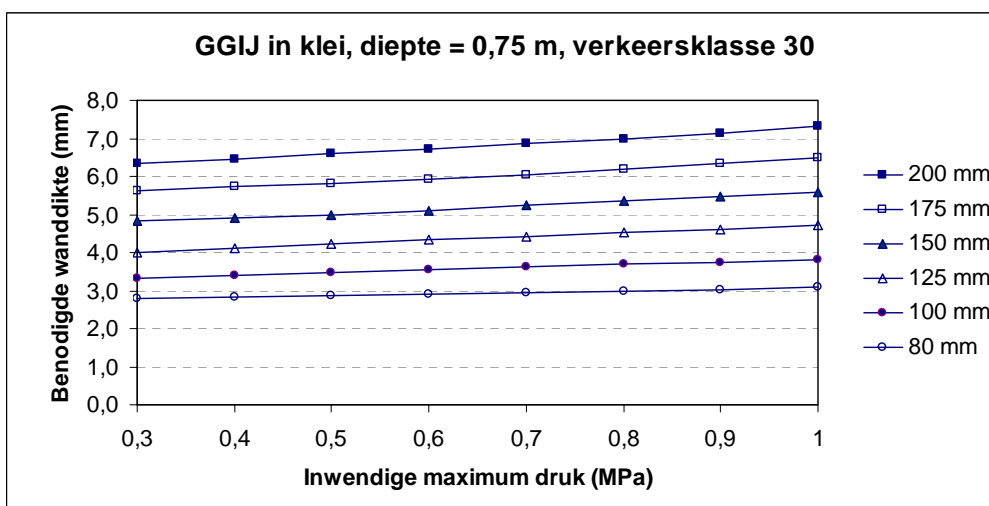
Grafiektype 2, kenmerk 2X211X



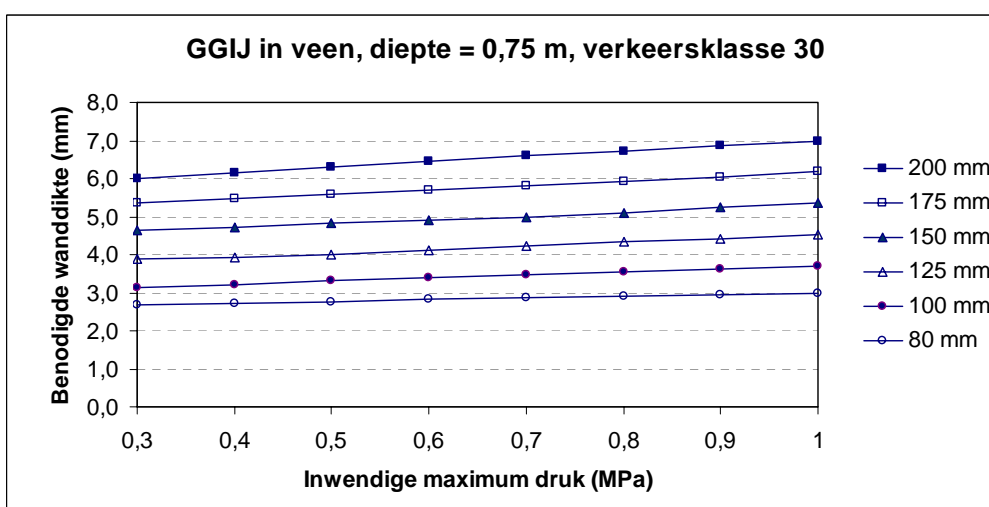
Grafiektype 2, kenmerk 2X311X



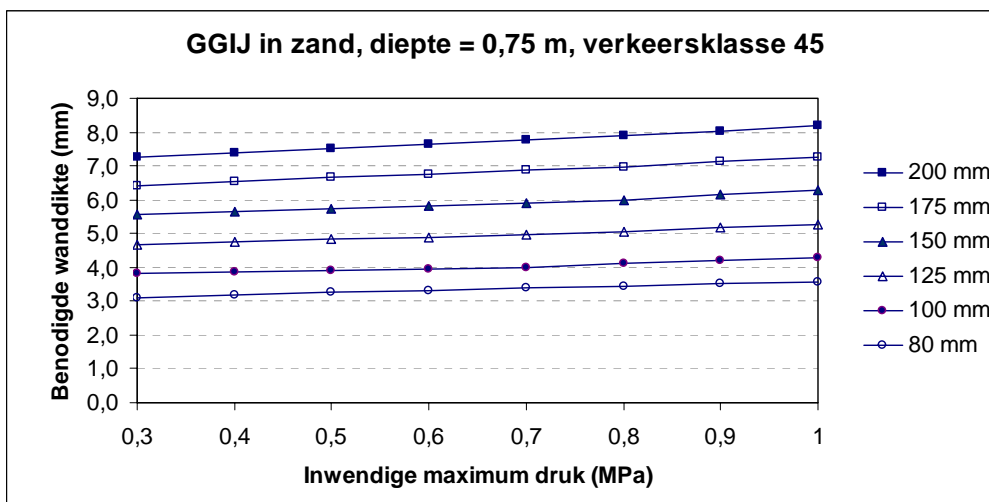
Grafiektype 2, kenmerk 2X121X



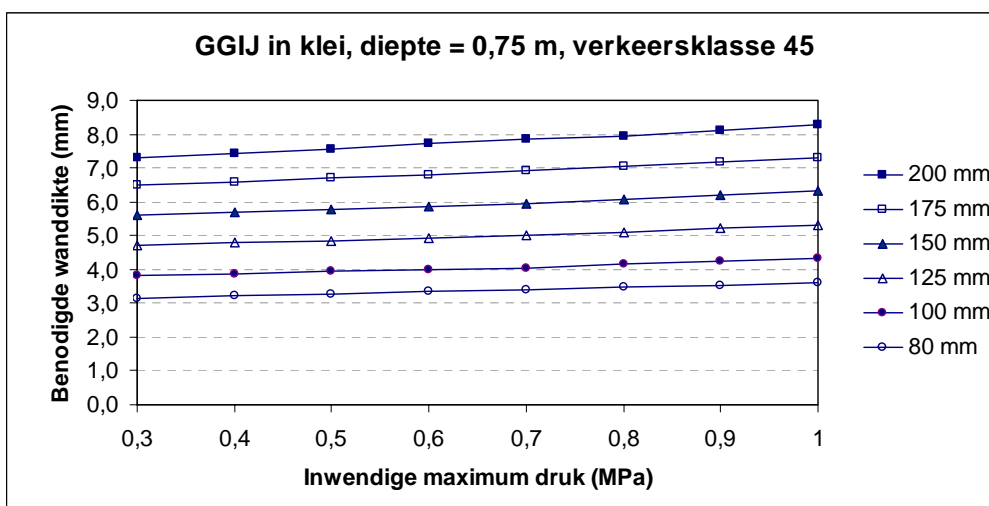
Grafiektype 2, kenmerk 2X221X



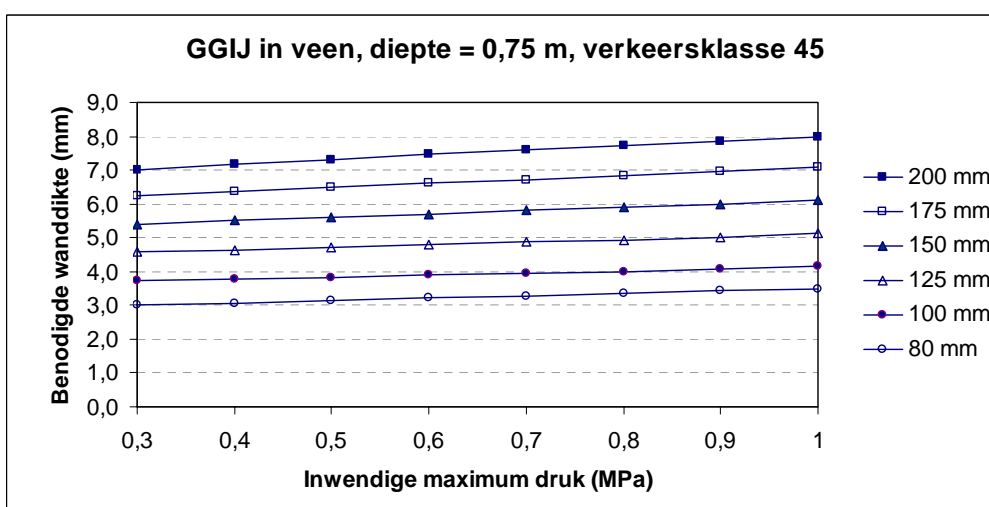
Grafiektype 2, kenmerk 2X321X



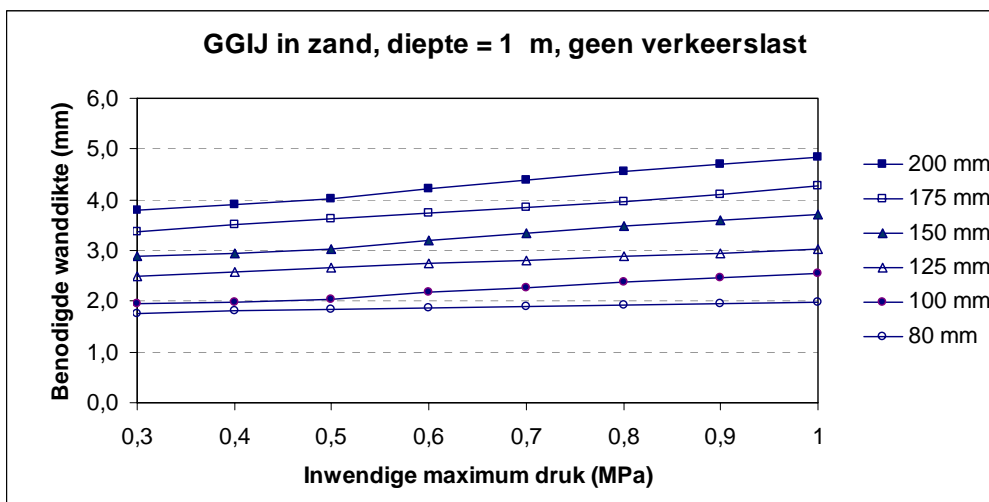
Grafiektype 2, kenmerk 2X131X



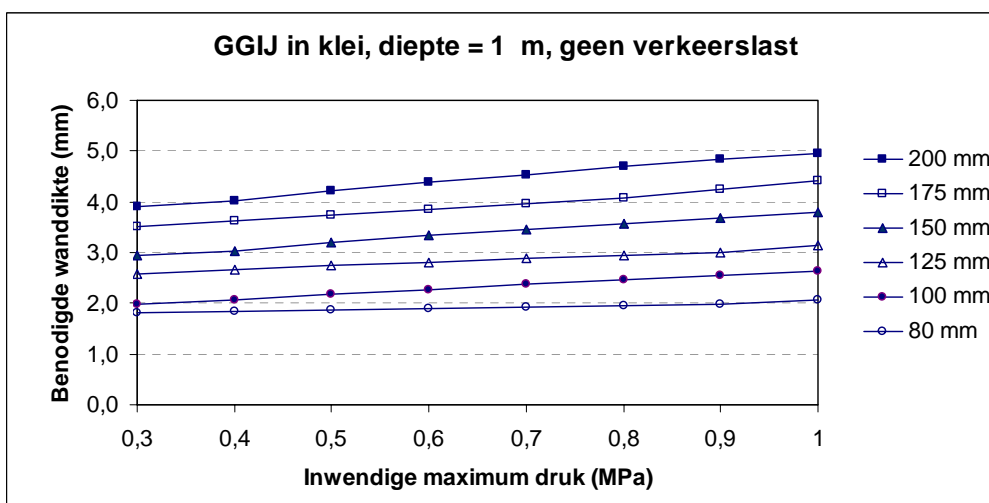
Grafiektype 2, kenmerk 2X231X



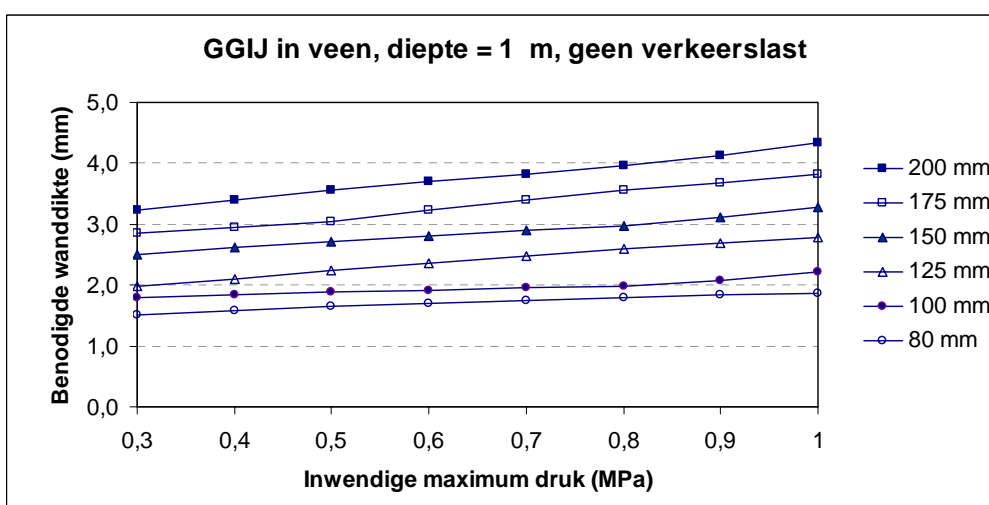
Grafiektype 2, kenmerk 2X331X



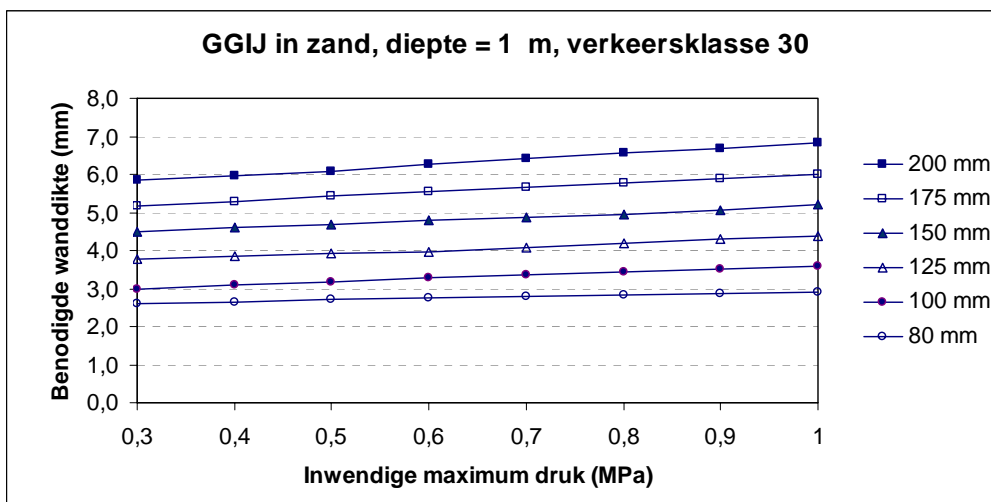
Grafiektype 2, kenmerk 2X112X



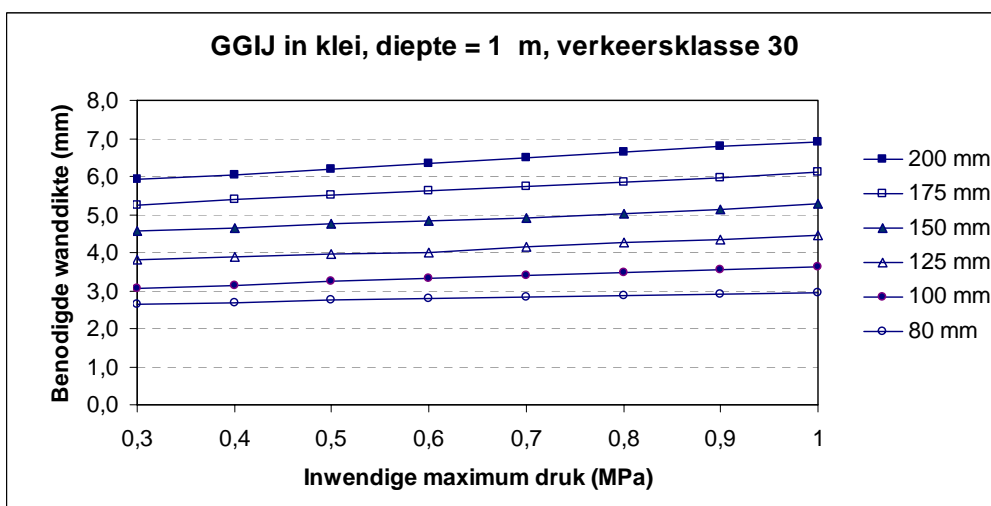
Grafiektype 2, kenmerk 2X212X



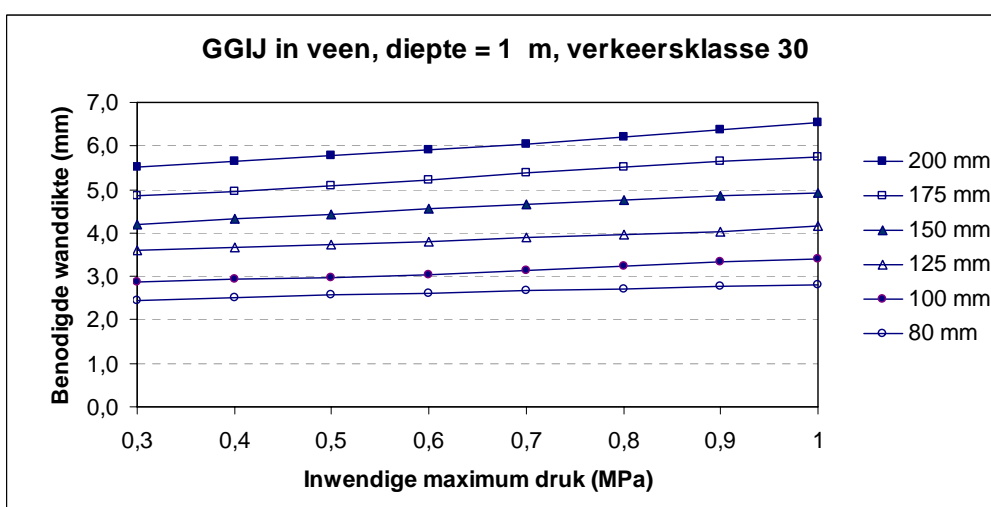
Grafiektype 2, kenmerk 2X312X



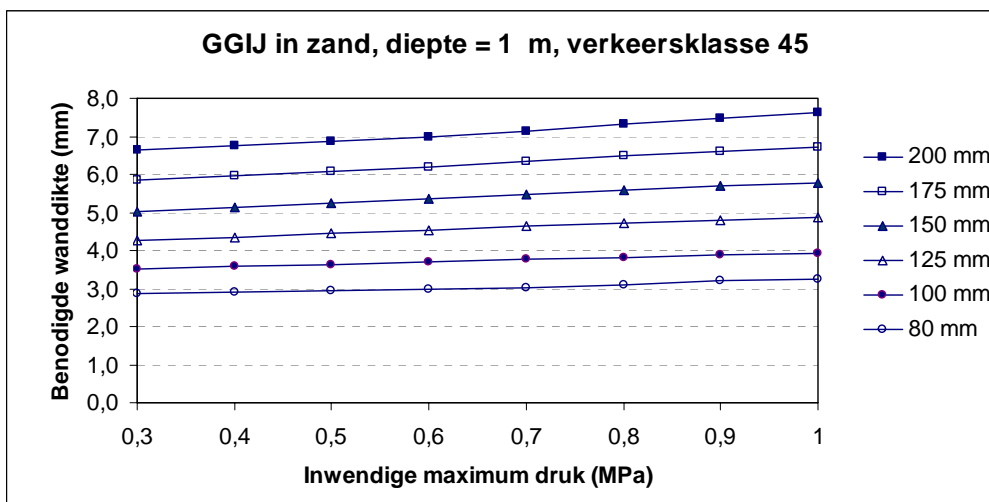
Grafiektype 2, kenmerk 2X122X



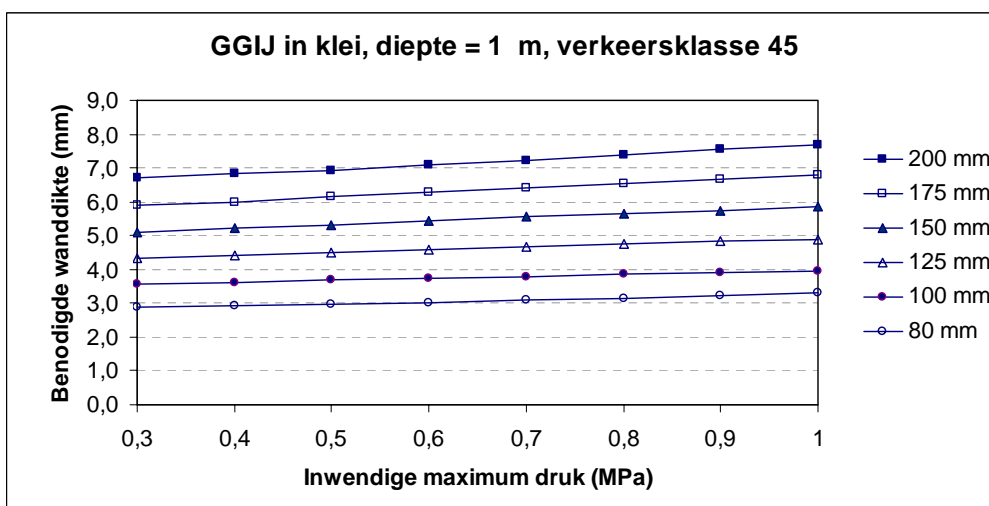
Grafiektype 2, kenmerk 2X222X



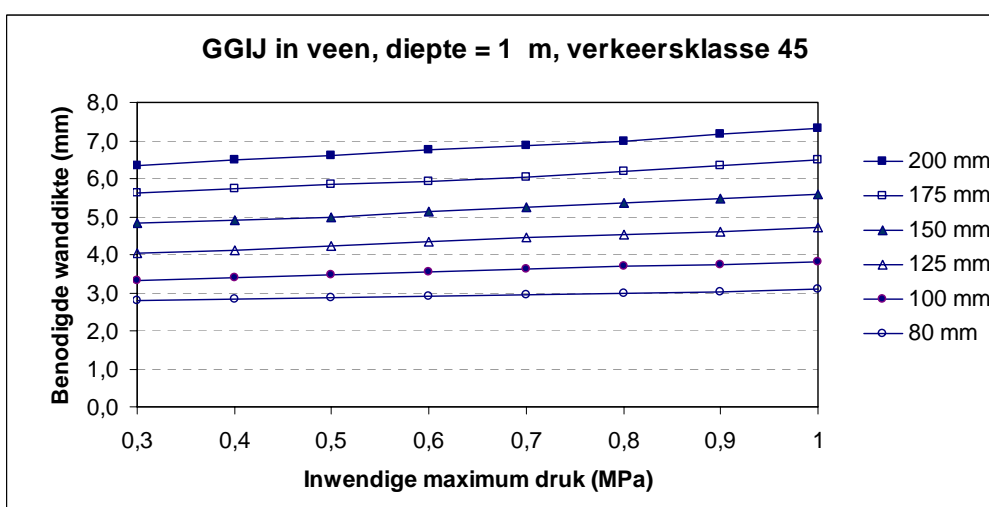
Grafiektype 2, kenmerk 2X322X



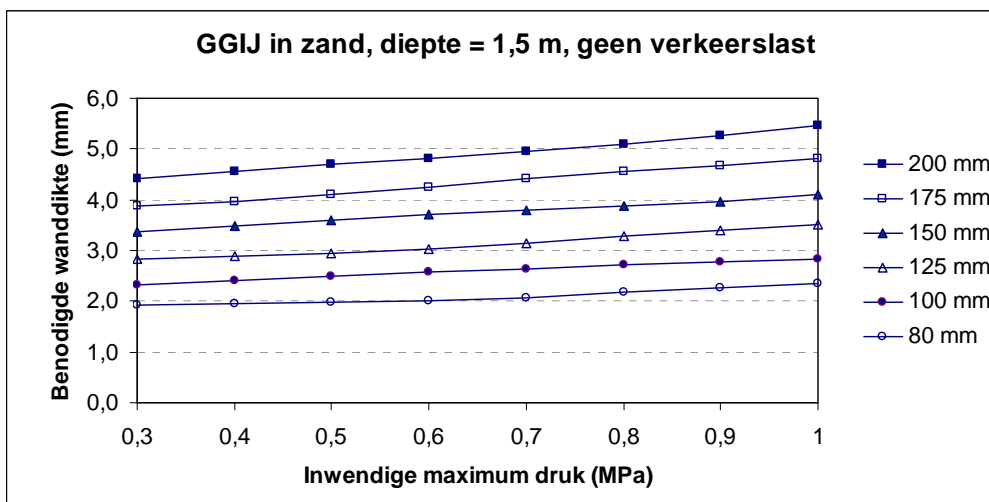
Grafiektype 2, kenmerk 2X132X



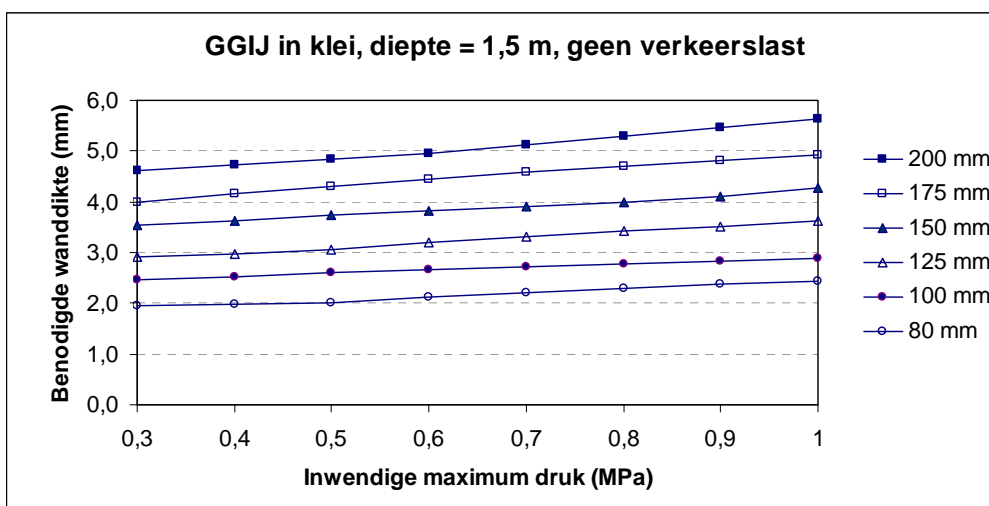
Grafiektype 2, kenmerk 2X232X



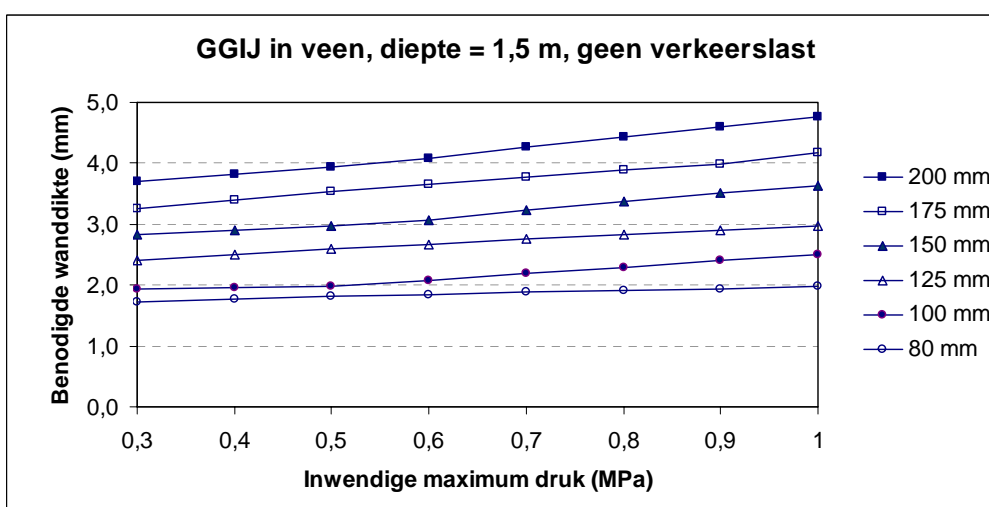
Grafiektype 2, kenmerk 2X332X



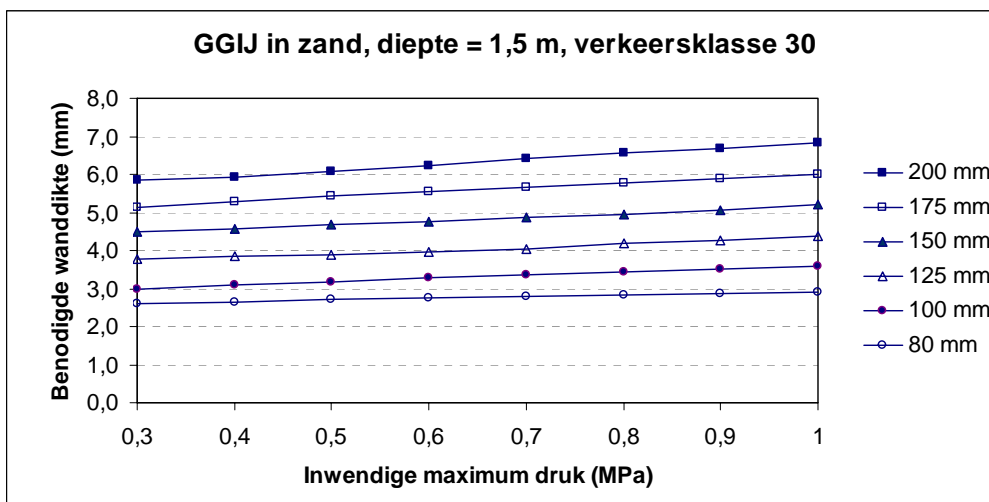
Grafiektype 2, kenmerk 2X113X



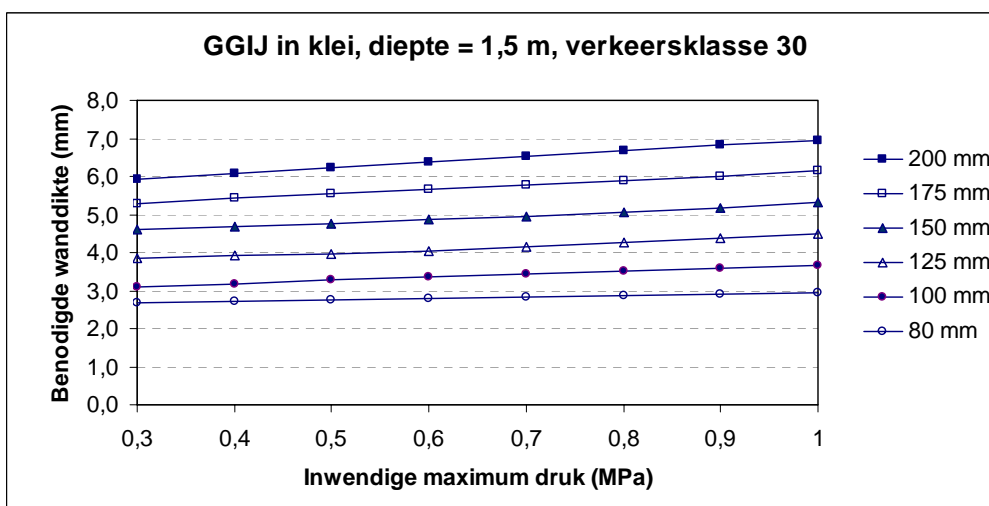
Grafiektype 2, kenmerk 2X213X



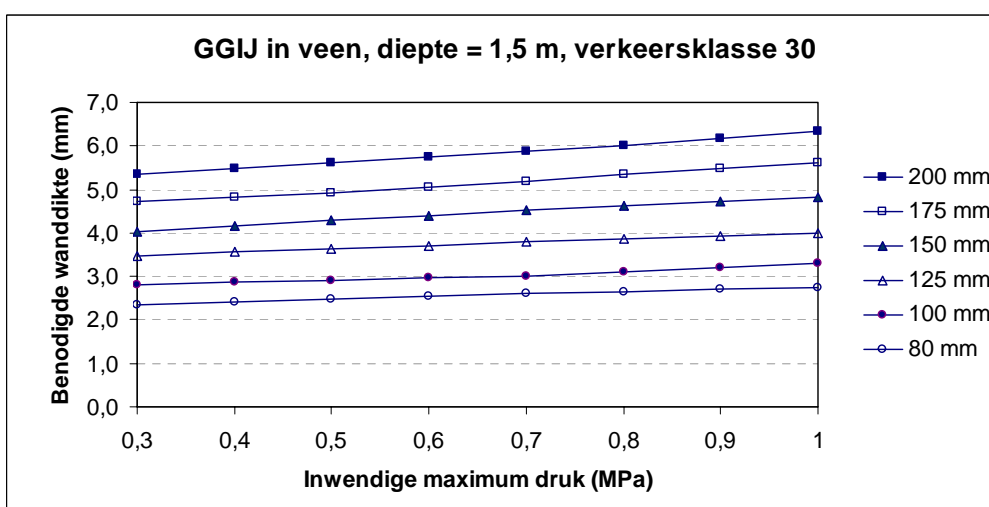
Grafiektype 2, kenmerk 2X313X



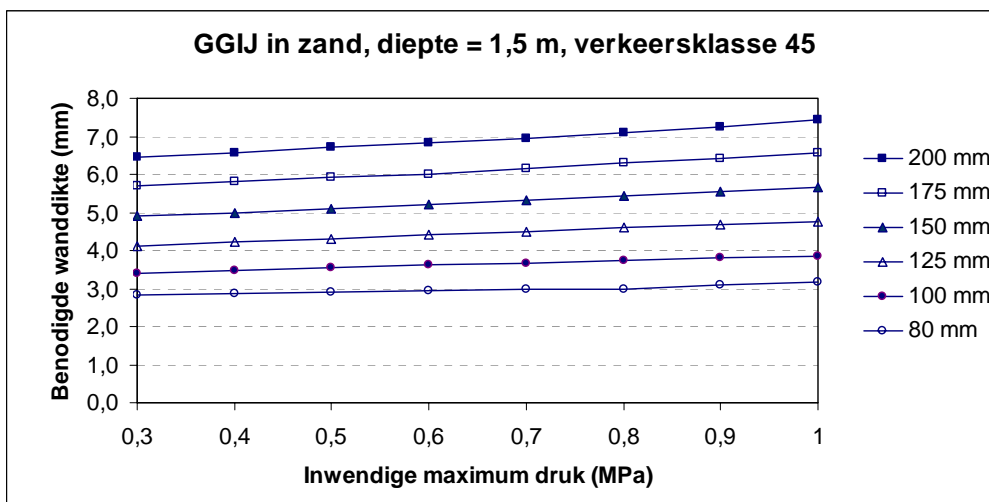
Grafiektype 2, kenmerk 2X123X



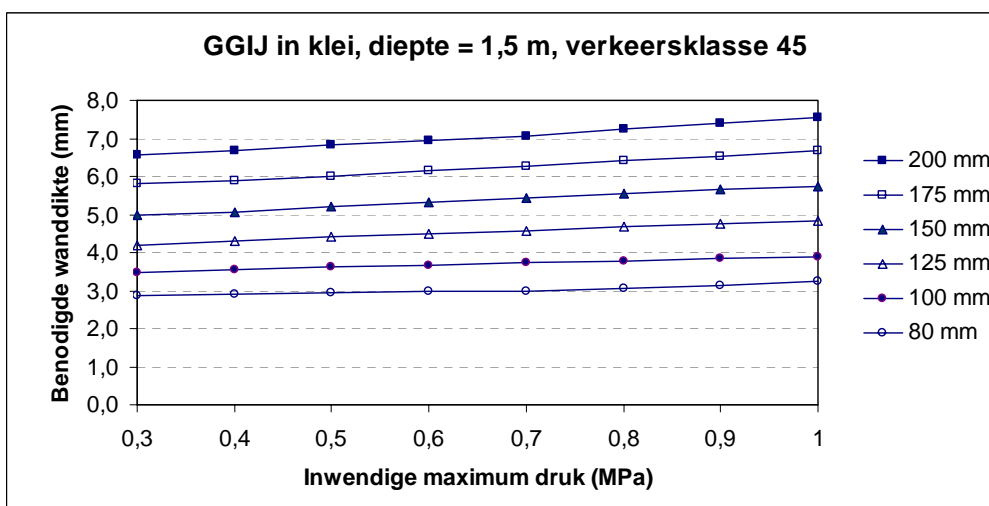
Grafiektype 2, kenmerk 2X223X



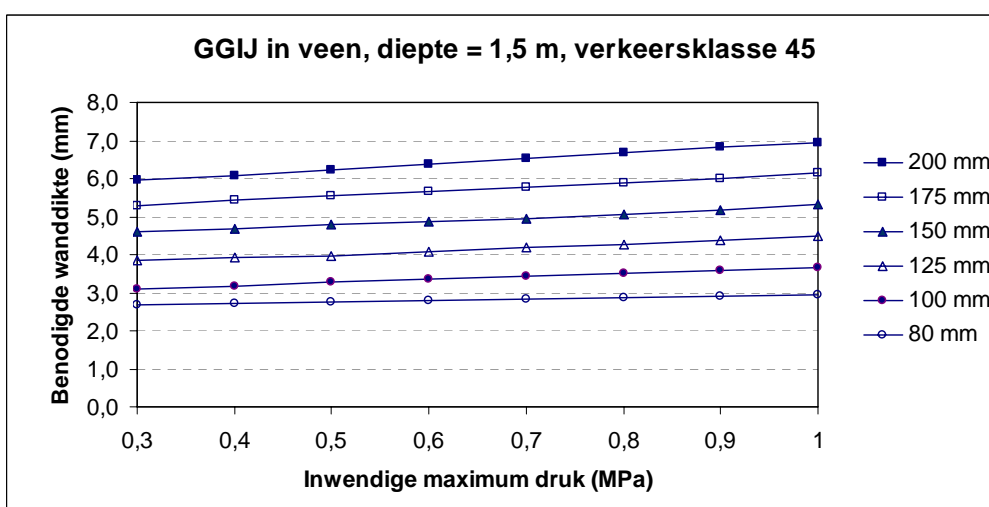
Grafiektype 2, kenmerk 2X323X



Grafiektype 2, kenmerk 2X133X



Grafiektype 2, kenmerk 2X233X



Grafiektype 2, kenmerk 2X333X