

Literatuuronderzoek kunststof-
leidingen
S-76.012.

Centrum voor Onderzoek Waterkeringen
ing. J. Poot
November 1980.

<u>Inhoud</u>	<u>Blz.</u>
1.0. Inleiding	1
1.1. Kruip	2
1.2. Spanningscorrosie	7
1.3. Enkele opmerkingen bij de verstrekte materiaal- eigenschappen.	8
2.0. Ongewapende kunststoffen	9
2.1.0. PVC	9
2.1.1. Hard PVC	10
2.1.2. Slagvast PVC/CPE	11
2.2.0. Polyetheen (PE)	12
2.2.1. L.D.P.E. Low density polyetheen	13
2.2.2. M.D.P.E. Medium density polyetheen	14
2.2.3. H.D.P.E. High density polyetheen	15
2.3.0. Polypropyleen	16
2.4.0. Acrylonitrilbutadienestyreen (ABS)	17
3.0. Gewapende kunststoffen	20
3.1.0. Samenstellende materialen	21
3.1.1. kunststof	21
3.1.2. Glasvezel	22
3.2.0. Fabricage-methoden	22
3.3.0. Mechanische eigenschappen	22
3.4.0. Toelaatbare wandspanning	23
3.5.0. Slagvastheid	24
3.6.0. Materiaaleigenschappen	24
3.7.0. Verbindingen en hulpstukken	27
3.8.0. Twee toepassingen	27
4.0. Grondmechanische randvoorwaarden voor de berekening van kunststofbuizen.	29
Literatuur bij kunststoffen	32

Kunststoffen

1.0. Inleiding

Allerwege ziet men het toepassen van vloeistof- en gasleidingen van kunststof.

Belangrijke voordelen van het toepassen van kunststofbuizen zijn de grote bestendigheid tegen corrosie, een laag gewicht en een gladde buiswand.

De eigenschappen van kunststoffen zijn vaak principieel anders dan die van meer conventionele materialen.

Bij de toepassing dient met dit soms geheel andere gedrag terdege rekening gehouden te worden.

De kunststoffen kunnen onderscheiden worden in thermoplasten, welke bij verhoging van de temperatuur weer plastisch worden, en thermoharders, die bij temperatuurverhoging niet weer plastisch worden. Tot de thermoplasten behoren polyvinylchloride (PVC), polyetheen (PE), polypropeen (PP) en acrylonitrilbutadienstyreen (ABS) en tot de thermoharders de kunstharsen die gebruikt worden voor de fabricage van glasvezel gewapende buizen zoals polyester- en epoxyharsen.

In het navolgende zullen deze eigenschappen kort uiteen gezet worden.

1.1. Kruip

Zowel de gewapende als de ongewapende kunststofbuizen zijn onderhevig aan "kruip" of "koude vloei". Dit verschijnsel houdt in dat bij een constante materiaalspanning de rek toeneemt. Hierdoor is het mogelijk dat ook bij een langeduur-belasting die lager is dan de korteduur-sterkte blijvende vervormingen optreden die tot breuk kunnen leiden. De "kruip" of "koude vloei" is afhankelijk van de temperatuur waarbij de belasting optreedt.

In de langeduur-treksterktediagrammen van figuur 1 en 2 is voor diverse temperaturen de maximaal toelaatbare treksterkte gegeven als functie van de belastingduur, voordat het verschijnsel van de "koude vloei" optreedt.

De langeduur-sterkte bij 20°C wordt vastgesteld door het uitvoeren van proeven bij hogere temperatuur, waarna de treksterkte na 50 jaar bij 20°C door extrapolatie wordt bepaald.

Bij gewapende kunststofbuizen kan de materiaalspanning waarboven kruip optreedt vastgesteld worden door een wisselende belastingproef waarbij op diverse drukniveaus de buis bijvoorbeeld 10 maal wordt belast en ontlast.

Wanneer een duidelijk verschil tussen de 1^e en 10^e belastingcyclus waargenomen kan worden, is het gebied van de inelastische deformaties bereikt. In figuur 3 is het deformatieverloop van een glasvezelgewapende polyesterbuis weergegeven.

De kruip van het kunststofmateriaal heeft tot gevolg dat de elasticiteitsmodulus met de tijd in grootte afneemt (zie hiervoor fig. 4 en 5).

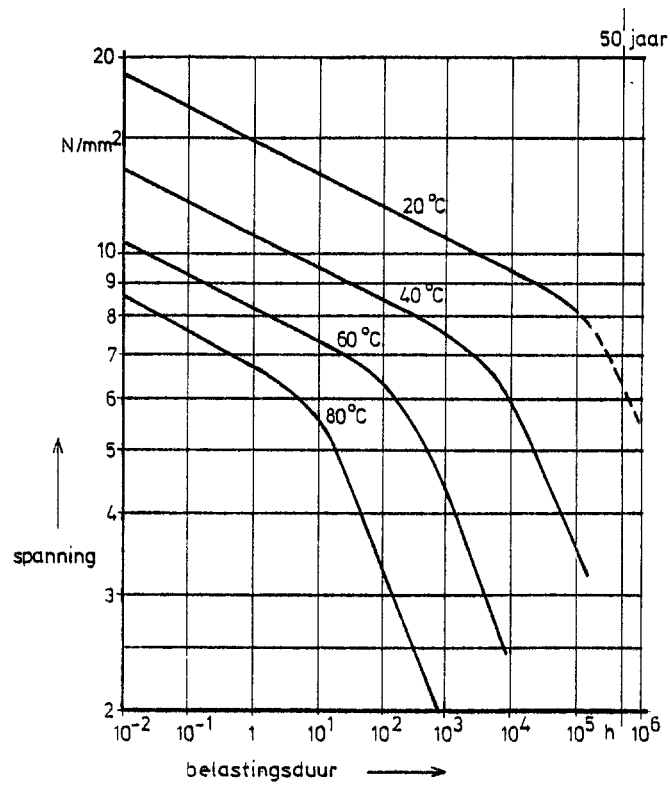


fig. 1 langeduur-treksterkte-diagram voor hard PE

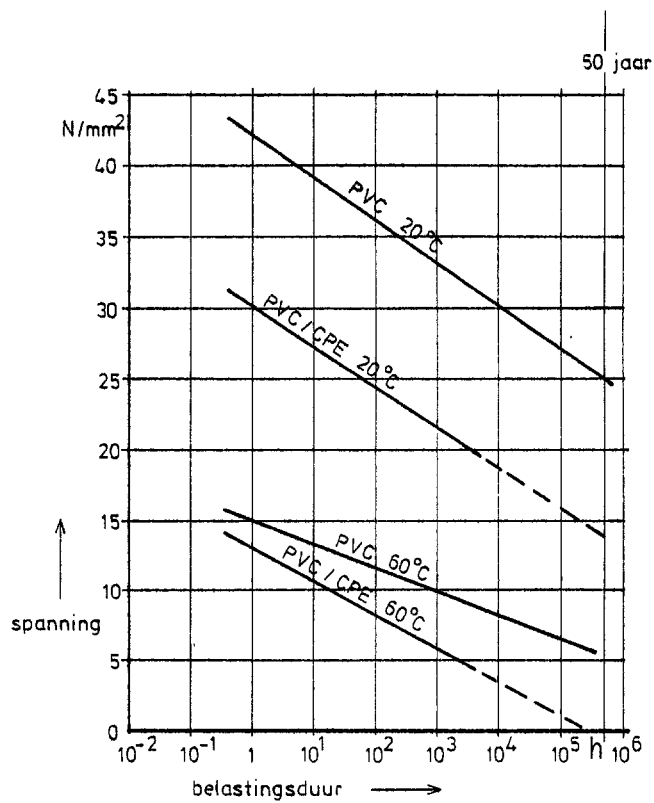


fig. 2 langeduur-treksterkte-diagram voor hard PVC en slagvast PVC/CPE

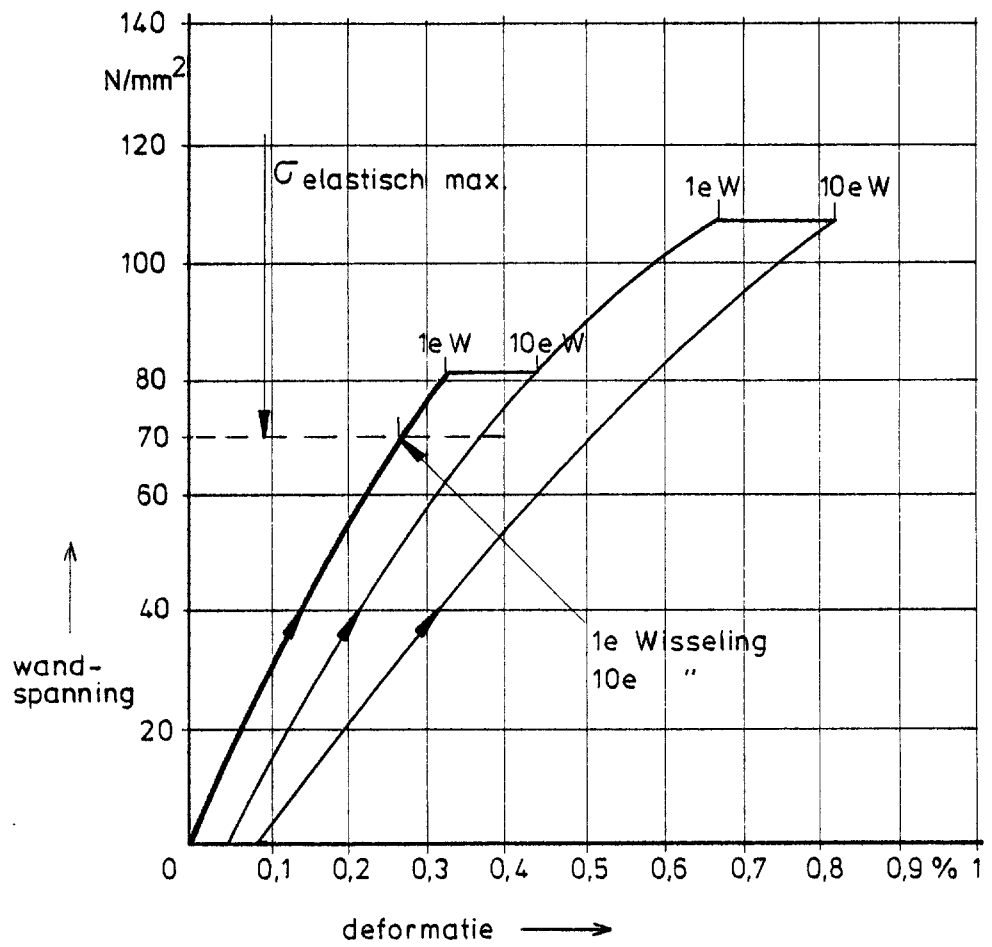


fig. 3 glasvezelgewapende polyester buis

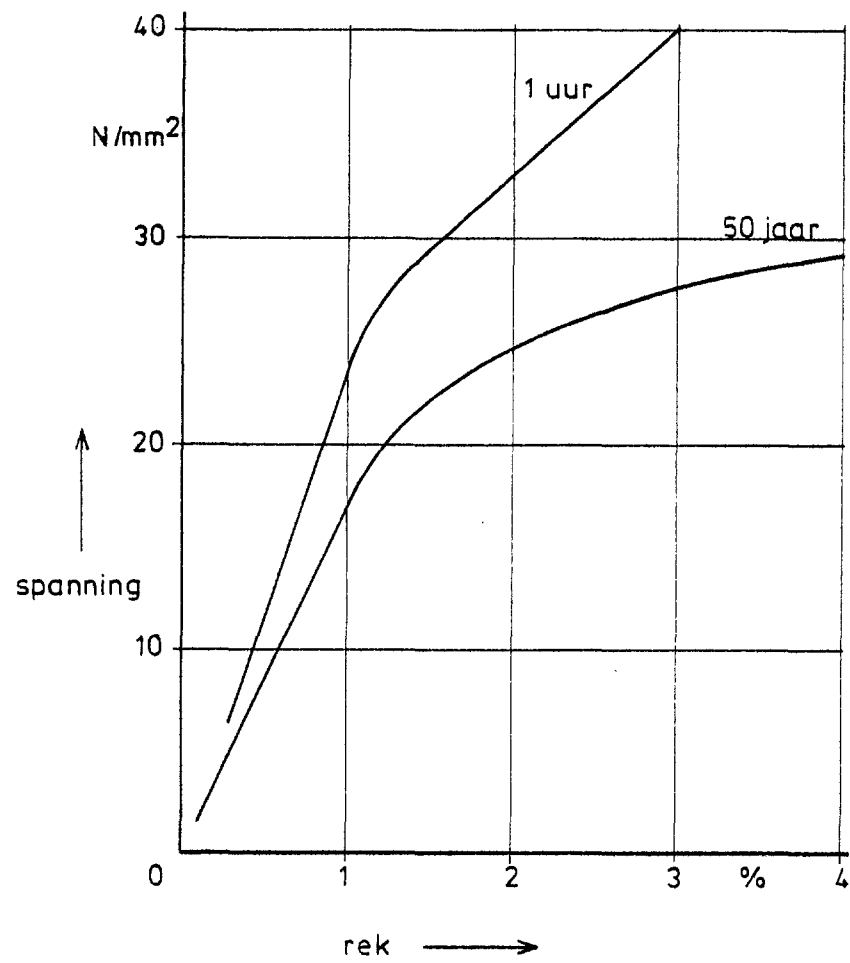


fig. 4 spanning-rek diagram PVC

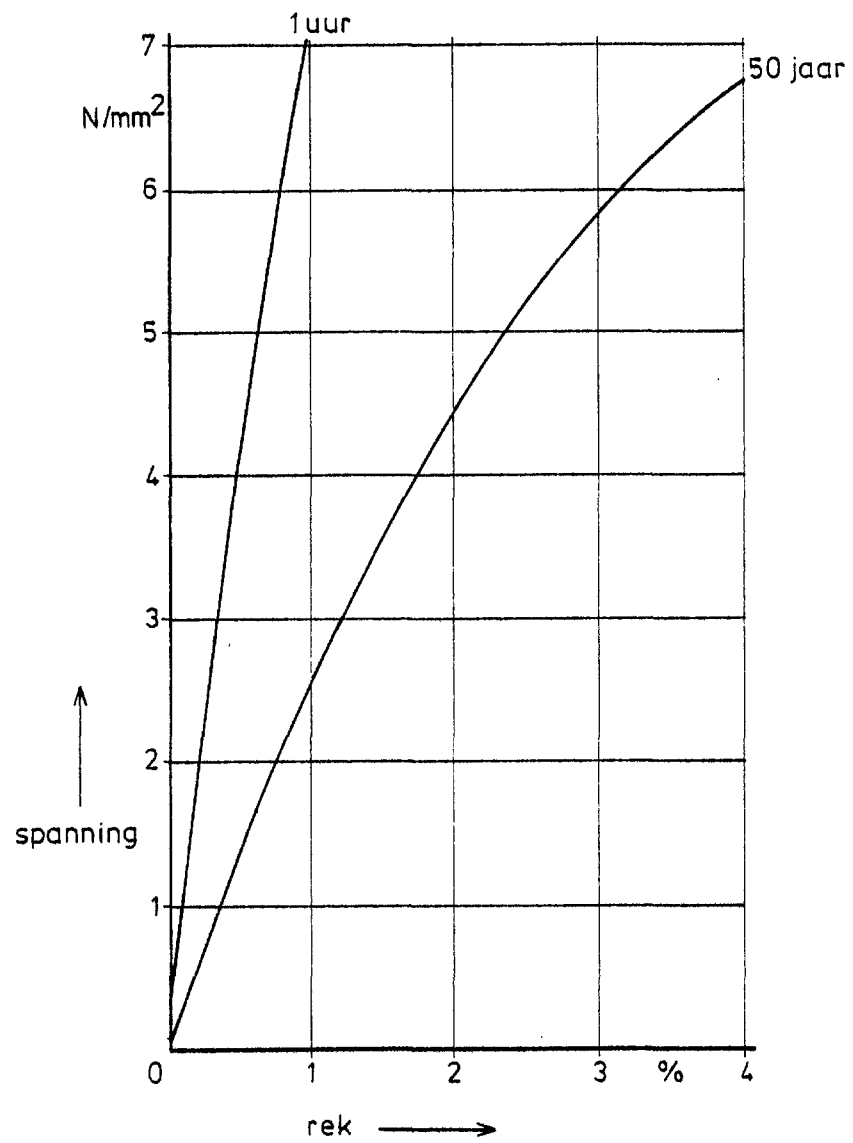


fig. 5 spanning-rek diagram HPE buizen

1.2. Spanningscorrosie

Bij met name ongewapende kunststoffen kan onder invloed van een relatief hoge spanning in het materiaal en de aanwezigheid van een agressieve stof spanningscorrosie optreden. In buizen van hard-polyvinylchloride die gebruikt zijn voor het transport van aardgas zijn kleine haarscheurtjes waargenomen, tevens bleek de slagvastheid van het materiaal verminderd te zijn (VEG-Gasinstituut). Bij gewapende kunststoffen zijn geen duidelijke voorbeelden bekend van spanningscorrosie (KIWA).

1.3. Enkele opmerkingen bij de verstrekte materiaaleigenschappen

De hardheid van kunststoffen wordt bepaald door middel van proeven waarbij een naald, een kogel of een pyramidevormig lichaam onder een bepaalde belasting in het materiaal wordt gedrukt.

De hardheden van de, in het hierna gegeven overzicht, vermelde materialen zijn gegeven als Shore-hardheid of als Rockwell-hardheid.

De Shore-hardheid is genormeerd in DIN 53505, de Rockwell-hardheid, welke voornamelijk in de Verenigde Staten gebruikt wordt, in ASTM D785 en DIN 50103.

Rockwell-hardheid van een aantal kunststoffen

Hard PVC	R 100 - 120
Low Density Polyetheen (LDPE)	R 10
Medium Density Polyetheen (MDPE)	R 15
High Density Polyetheen (HDPE)	R 30 - 60
Polypropyleen (PP)	R 85 - 99
ABS	R 40 - 120

(Mantell, tabel 1.6, pag. 22)

Als maat voor de hardheid wordt voorts de kogeldrukhardheid gehanteerd welke voor alle thermoplasten geschikt is. De kogeldrukhardheid is genormeerd in DIN 53456.

kogeldrukhardheid (60 sec) in N/mm^2

HDPE	≤ 60
LDPE	13
PP	50 - 70
ABS	65 - 100

De kerfslagsterkte kan bepaald worden volgens Charpy en volgens Izod. Bij de methode volgens Charpy wordt een ingekerfd stuk materiaal op twee punten opgelegd, waarna een slagbelasting wordt uitgeoefend (DIN 53453, ISO/R 179).

Bij de methode volgens Izod wordt het ingekerfde stuk materiaal aan één zijde ingeklemd (ISO/R 180).

De Vicat-verwekingstemperatuur is genormeerd in DIN 53460.

2.0. Ongewapende kunststoffen

De voor de fabricage van kunststofbuizen gebruikte thermoplasten zijn: hard en slagvast polyvinylchloride (PVC), hard en zacht polyetheen (PE), polypropyleen (PP) of acrylonitrilbutadiëenstyreen (ABS).

De buizen worden gefabriceerd door extruderen. Hierbij wordt plastische massa door een ringvormige spleet geperst. De lengte van de buizen is in beginsel onbeperkt. De maximale lengte wordt echter door de transportmogelijkheden bepaald. De standaardlengte van de buizen bedraagt 10 m. Polyetheenbuis is tot een diameter van 160 mm op haspels leverbaar. De diameter van de haspel is afhankelijk van de diameter en de wanddikte van de buis.

Naadloos geëxtrudeerde buizen van Hostalen GM 5010, handelsnaam voor hard polyetheen, zijn beschikbaar tot een diameter van 1200 mm. Buizen vervaardigd door middel van het wikkelproces zelfs tot een diameter van 2500 mm (Hoechst). Bij het wikkelproces worden stroken materiaal geëxtrudeerd welke naast elkaar of elkaar overlappend gewikkeld worden. Hiermee kunnen ook verstijvingsribben op de buis worden verkregen.

2.1.0. PVC

In hard PVC, ook wel ongeplastificeerd PVC genoemd, is slechts een kleine hoeveelheid elastomeren (weekmaker) verwerkt. Hard PVC bezit in vergelijking tot andere kunststoffen een hoge stijfheid en een goede langeduursterkte. Hier staat tegenover dat het materiaal betrekkelijk broos is. Om de buizen beter bestand te maken tegen een slag of stoot, kan een belangrijke hoeveelheid elastomeren aan het materiaal toegevoegd worden.

PVC waaraan veel elastomeren zijn toegevoegd, wordt slagvast of geplastificeerd PVC genoemd. Wordt gechlloreerd polyetheen als weekmaker toegepast dan ontstaat slagvast PVC/CPE.

2.1.1. Hard PVC

mechanische eigenschappen

elastische treksterkte (korte duur)	50-55	N/mm ²
elasticiteitsmodulus bij trek (korte duur)	3000-3200	N/mm ²
rek bij breuk (treksnelheid 2,5 mm/min)	160	%
kerfslagsterkte (20°C)	3	mJ/mm ²
hardheid, Shore D	82-84	
langeduurtreksterkte bij 20°C na 50 jaar	25-30	N/mm ²
elasticiteitsmodulus na 50 jaar	1500	N/mm ²
toelaatbare tangentiële wandspanning bij 20°C	12,5	N/mm ²

fysische eigenschappen

volumieke massa	1,35	g/cm ³
lineaire uitzettingscoëfficiënt	$6 \cdot 10^{-5}$ - $7 \cdot 10^{-5}$	mm/mm.°C
wateropname (20°C, 3 x 24 h)	< 0,1	%
brandbaarheid	zelfdovend	
warmtegeleidbaarheid	0,16	W/m.°C
verwekingstemperatuur (Vicat)	75-84	°C

chemische bestendigheid

PVC is (o.a.) niet bestand tegen aceton, diëthylether, aromatische en gechloreerde koolwaterstoffen. Uitvoerige gegevens zijn opgenomen in DIN 16929.

Onder invloed van direct zon en/of daglicht vermindert de slagvastheid.

PVC wordt zodra de temperatuur het vriespunt nadert bros, waardoor de slagvastheid afneemt.

verbindingen en hulpstukken

Verbindingen van PVC-buizen kunnen worden gemaakt door middel van een lijmverbinding. Een lijmverbinding heeft beperkingen t.a.v. de grootte van de buisdiameter.

Er bestaan verschillende typen mofverbindingen, ook een gecombineerde mof-lijmverbinding kan worden toegepast.

Voorts is het mogelijk een lasverbinding te maken; gelast wordt met toevoermateriaal.

Er bestaan tal van PVC-hulpstukken, zoals bochten, verloopstukken, T-stukken en dienstkranen.

normen

NEN 2670	Algemene richtlijnen voor het toepassen van kunststofleidingen.
NEN 7045	(ontwerp) Buizen van ongeplasticeerd PVC voor binnen- en buitenrioleringen, mei 1976.
NPR 7042	Aanleg van buitenriolering van ongeplasticeerd PVC, mei 1976.
KIWA	Waterleidingbuizen van ongeplasticeerd polyvinylchloride, kwaliteitseisen nr. 49 (1 ^e herziening), juni 1972.

De keuringseisen voor buizen van ongeplasticeerd polyvinylchloride voor gasleidingen van het VEG-Gasinstituut zijn in 1974 ingetrokken. Aangeraden wordt dit type PVC buizen niet meer toe te passen in gasleidingen.

Literatuur

Cocquyt ; Gehrels; Kумы ; van Leeuwen; Matthijs;
Mutter ; Wavin 1969; Wavin 1972; Wijbrans.

2.1.2. Slagvast PVC/CPE

mechanische eigenschappen

elastische treksterkte (korte duur)	45-50	N/mm ²
elasticiteitsmodulus bij trek (korte duur)	2400-2500	N/mm ²
rek bij breuk (treksnelheid 2,5 mm/min)	190	%
kerfslagwaarde	26-30	m J/mm ²
hardheid, Shore D	81-77	
langeduursterkte bij 20°C na 50 jaar	13,5	N/mm ²

fysische eigenschappen

volumieke massa	1,35	g/cm ³
lineaire uitzettingscoëfficiënt	8.10 ⁻⁵	mm/mm.°C
wateropname (20°C. 24h)	0,15-0,75	%
brandbaarheid	sommige soorten branden door	
warmtegeleidbaarheid	0,14	W/m.°C
verwekingstemperatuur (Vicat)	77-80	°C

chemische bestendigheid

De chemische weerstand van slagvast PVC/CPE is geringer dan de weerstand van PVC. Slagvast PVC bezit een relatief hoger absorptievermogen voor aromatische koolwaterstoffen, wat een vermindering van de langeduursterkte kan betekenen. Slagvast PVC/CPE is gevoeliger voor spanningscorrosie dan hard PVC.

Onder invloed van ultraviolet licht vermindert de slagvastheid.

verbindingen en hulpstukken

Slagvast PVC/CPE heeft dezelfde mogelijkheden als hard PVC.

normen

NEN 2670 Algemene richtlijnen voor het toepassen van kunststofleidingen.

VEG-Gasinsituut. Keuringseisen voor buizen bestaande uit een mengsel van ongeplasticeerd polyvinylchloride en gechloreerd polyetheen (PVC/CPE) voor gasleidingen.

Literatuur

Cocquyt ; Mantell ; Matthijs ; Mutter; Wijbrans.

2.2.0. Polyetheen (PE), ook wel polyethyleen genoemd

Polyetheen laat zich naar de dichtheid onderscheiden in drie klassen:

- Low density polyetheen, naar het fabricageproces wel misleidend hogedruk polyetheen genoemd. Soms ook zacht polyetheen genoemd.
- medium density polyetheen.
- high density polyetheen, ook hier wordt wel de enigszins misleidende naam lage druk polyetheen gebruikt. Ook wel hard polyetheen genaamd.

De hogere dichtheid veroorzaakt:

1. een grotere stijfheid, elasticiteitsmodulus;
2. een hogere vloeigrens;

3. een hogere maximale gebruikstemperatuur;
4. een toenemende brosheid en scheurgevoeligheid;
5. een geringere dampdoorlatendheid.

2.2.1. Low density polyetheen (LDPE)

mechanische eigenschappen

elastische treksterkte	13,5	N/mm ²
elasticiteitsmodulus bij trek	240	N/mm ²
rek bij breuk (treksnelheid 500 mm/min)	220	%
kerfslagsterkte	geen breuk	
hardheid, Shore D	41-46	
toelaatbare tangentiële wandspanning bij 20°C	2,5	N/mm ²

fysische eigenschappen

volumieke massa	0,93	g/cm ³
lineaire uitzettingscoëfficiënt	20.10 ⁻⁵	mm/mm.°C
wateropname (24 h)	0,015	%
brandbaarheid	zeer langzaam	
warmtegeleidbaarheid	0,35	W/m.°C
verwekingstemperatuur (Vicat)	110	°C

chemische bestendigheid

Polyetheen is niet of slecht bestand tegen o.a. diëthylether, benzine, benzeen, petroleum, aromatische en gechloreerde koolwaterstoffen en chloorhoudende organische oplosmiddelen. Uitvoerige gegevens zijn opgenomen in DIN 16934. Onder invloed van ultravioletstraling treedt veroudering en vermindering van slagvastheid en sterkteeigenschappen op.

verbindingen en hulpstukken

Voor polyetheenbuizen wordt voornamelijk gebruik gemaakt van de spiegellasverbinding. Hierbij worden de buiseinden plastisch gemaakt door deze tegen een verhitte lasspiegel te drukken. Vervolgens worden de buizen zuiver centrisch tegen elkaar gedrukt. Het lassen van buizen is ook mogelijk door middel van een electrolasverbinding. Bij deze lasmethode bevindt zich in de mof een koperdraad die onder spanning gezet kan worden.

Het is mogelijk om door middel van ultrasone trillingen en zachte röntgenstralen de las op lasfouten te controleren. Een andere toegepaste verbindingsmethode is die m.b.v. een losse mof. Tot een diameter van 110 mm kunnen klemkopelingen worden toegepast. Hulpstukken zoals bochten, T- en verloopstukken kunnen d.m.v. lasverbindingen in de leiding worden opgenomen.

normen

NEN 2670 Algemene richtlijnen voor het toepassen van kunststofleidingen.

KIWA Waterleidingbuizen van polyetheen, kwaliteitseisen nr. 48 (2^e herziening) oktober 1974.

Literatuur

Hermann ; van Leeuwen; Mantell; Matthijs; Mutter; Ploos van Amstel; Wavin, 1972.

2.2.2. Medium density polyetheen (MDPE)

mechanische eigenschappen

elastische treksterkte	18-21	N/mm ²
elasticiteitsmodulus bij trek	640-650	N/mm ²
rek bij breuk (treksnelheid 500 mm/min)	350	%
kerfslagsterkte (Izod)	46	mJ/mm ²
hardheid (Rockwell)	R 15	
toelaatbare tangentiële wandspanning bij 20°C ¹⁾	3,2	N/mm ²

fysische eigenschappen

volumieke massa	0,943	g/cm ³
lineaire uitzettingscoëfficiënt	13.10 ⁻⁵	mm/mm.°C
wateropname (24 h)	<0,02	%
brandbaarheid	brandt langzaam	
warmtegeleidbaarheid	0,37	W/m.°C
verwekingstemperatuur (Vicat)	116	°C

chemische bestendigheid

Hiervoor geldt hetzelfde als bij low density polyetheen.

verbindingen en hulpstukken

Medium density polyetheen heeft dezelfde mogelijkheden als hard polyetheen (HDPE).

normen

NEN 2670 Algemene richtlijnen voor het toepassen van kunststofleidingen.

KIWA Waterleidingbuizen van polyetheen, kwaliteits-eisen nr. 48 (2^e herziening), oktober 1974.

- 1) In "de Ingenieur" van 18 november 1976 wordt als toelaatbare langeduur ontwerpspanning vermeld $5,0 \text{ N/mm}^2$.
(Anoniem, 1976).

Literatuur

Anoniem, 1976; Mantell; Matthijs.

2.2.3. High density polyetheen (HDPE)

mechanische eigenschappen

elastische treksterkte	24	N/mm^2
elasticiteitsmodulus bij trek	900	N/mm^2
rek bij breuk (treksnelheid 100 mm/min)	800-1000	%
rek bij breuk (treksnelheid 500 mm/min)	130	%
kerfslagsterkte (Charpy)	18	mJ/mm^2
hardheid, Shore D	60-70	
langeduursterkte bij 20°C na 50 jaar	6,5	N/mm^2
toelaatbare tangentiële wandspanning voor watertransport bij 20°C	5	N/mm^2
toelaatbare tangentiële wandspanning voor gastransport bij 20°C	2,5	N/mm^2

fysische eigenschappen

volumieke massa	0,95	g/cm ³
lineaire uitzettingscoëfficiënt	13.10 ⁻⁵ -20.10 ⁻⁵	mm/mm.°C
wateropname (24 h)	0,01	%
brandbaarheid	brandt langzaam	
warmtegeleidbaarheid	0,46	W/m.°C
verwekingstemperatuur (Vicat)	124	°C

chemische bestendigheid

Ten aanzien van high density polyetheen geldt hetzelfde als voor low density polyetheen.

verbindingen en hulpstukken

Hiervoor bestaan dezelfde mogelijkheden als bij low density polyetheen. Voor gewikkelde buizen met grote diameter is speciale handzame lasapparatuur ontwikkeld.

normen

- NEN 2670 Algemene richtlijnen voor het toepassen van kunststofleidingen.
- KIWA Waterleidingbuizen van polyetheen, kwaliteits-eisen nr. 48 (2^e herziening), oktober 1974.
- VEG-Gasinstituut. Keuringseisen voor buizen van polyetheen (PE) van hoge dichtheid (Hard PE) voor gasleidingen.
- NEN 1092 (ontwerp) Veiligheidseisen voor kunststoffen gasleidingen met een bedrijfsdruk boven 1 bar (0,1 N/mm²).

Literatuur

Cocquyt; Gaube, c.s., 1966; Hoechst; van Leeuwen; Matthijs; Mutter; Verda; Wavin, 1969; Wavin, 1972.

2.3.0. Polypropyleen

Polypropyleen is verwand met polyetheen, kenmerkt zich echter door een geringere dichtheid. Polypropyleen heeft een hogere stijfheid en hardheid dan polyetheen, en een lagere kerfslagsterkte. Polypropyleen is beter bestand tegen hogere temperaturen, wordt bij koude echter bros.

mechanische eigenschappen

elastische treksterkte	30-40	N/mm ²
elasticiteitsmodulus	1100-1600	N/mm ²
rek bij breuk (treksnelheid 100 mm/min)	400-600	%
kerfslagsterkte (Charpy, 23°C)	4-15	mJ/mm ²
hardheid/Rockwell	R85-110	
toelaatbare tangentiële wandspanning voor watertransport bij 20°C	5,5	N/mm ²

fysische eigenschappen

volumieke massa	0,91	g/cm ³
lineaire uitzettingscoëfficiënt	15x10 ⁻⁵	mm/mm.°C
wateropname (24 h)	0,01	%
brandbaarheid	brandt langzaam	
warmtegeleidbaarheid	0,12	W/m.°C
verwekingstemperatuur	100	°C

chemische bestendigheid

Polypropyleen is o.a. niet bestand tegen diëthylether, aromatische en gechloreerde koolwaterstoffen.

Polypropyleen wordt evenals PVC bros zodra de temperatuur het vriespunt nadert.

verbindingen en hulpstukken

De verbindingsmogelijkheden voor polypropyleenbuizen zijn dezelfde als die voor buizen uit polyetheen.

normen

NEN 2670 Algemene richtlijnen voor het toepassen van kunststofleidingen.

Literatuur

van Leeuwen; Mantell.

2.4.0. Acrylonitrilbutadiëenstyreen (ABS)

ABS is een copolymeer bestaande uit acrylonitril, butadiëen en styreen. Het percentage van de componenten dat aanwezig is, kan verschillen waardoor verschillende typen ABS mogelijk

zijn, waarvan de eigenschappen soms vrij ver uiteen kunnen lopen.

ABS is door het wat hogere verwekingspunt vooral geschikt voor afvoerbuizen binnenshuis (warm afvoerwater).

mechanische eigenschappen

elastische treksterkte	45	N/mm ²
elasticiteitsmodulus	2000	N/mm ²
rek bij breuk	3	%
kerfslagsterkte (Charpy, 23 ⁰ C)	8-25	mJ/mm ²
hardheid (Rockwell)	R 40-120	
langeduurtreksterkte bij 20 ⁰ C	20	N/mm ²

fysische eigenschappen

volumieke massa	1,07	g/cm ³
lineaire uitzettingscoëfficiënt	8x10 ⁻⁵ -9x10 ⁻⁵	mm/mm. ⁰ C
wateropname (3 x 24 h, 20 ⁰ C)	ca. 0,3	%
brandbaarheid	brandt langzaam	
warmtegeleidbaarheid	ca. 0,1	W/m. ⁰ C
verwekingstemperatuur (Vicat)	ca. 100	⁰ C

chemische bestendigheid

ABS is o.a. niet bestand tegen azijnzuur, zoutzuur met een concentratie boven 30%, zwavelzuur boven 40%, salpeterzuur, alcoholen, aceton, diëthylether, aromatische en gechloreerde koolwaterstoffen.

Onder invloed van buitenlicht kan de slagvastheid van ABS dalen tot 50-75% van de oorspronkelijke waarde.

Het verdient aanbeveling ABS niet buitenshuis toe te passen.

verbindingen en hulpstukken

Verbindingen in ABS-leidingen kunnen worden gemaakt d.m.v. lijm- en mofverbindingen.

Voor ABS-leidingen bestaan hulpstukken, zoals lijm- en ring-moffen, bocht- en verloopstukken.

normen

NEN 2670 Algemene richtlijnen voor het toepassen van kunststofleidingen.

Literatuur

Kumy; Mantell.

3.0. Gewapende kunststoffen*

Gewapende kunststofbuizen zijn samengesteld uit een hars en wapeningsmateriaal. Harsen die over het algemeen gebruikt worden zijn onverzadigde polyesterhars of epoxyhars. Het meest toegepaste wapeningsmateriaal is glasvezel, wat op verschillende wijzen aangebracht kan worden. Afhankelijk van de toegepaste hars en wapening, de opbouw van de wapening en de wijze van vervaardigen bezitten de buizen uiteenlopende eigenschappen, zowel wat betreft de chemische bestendigheid als de mechanische eigenschappen.

De buizen kunnen worden voorzien van een oppervlaktelaag waardoor verhoogde slijt- en slagvastheid verkregen wordt.

Bovendien is het mogelijk een betere bestendigheid tegen chemische aantasting te verkrijgen.

Gewapende kunststofbuizen kunnen worden geleverd tot een diameter van 2500 mm. Leveringsprogramma's omvatten buizen met diameters van 25 mm tot 1400 mm, in lengten van 6 m tot 10 m en met een maximale werkdruk van 40 atm. Voor speciale toepassingen kunnen buizen worden geleverd tot een druk van 100 atm ($1 \text{ atm} \approx 0,1 \text{ MPa} = 0,1 \text{ N/mm}^2$).

Een ander type gewapende kunststofbuis is de gewapende kunststofmortelbuis. Hierbij worden kwartshoudende vulstoffen toegevoegd aan de hars, waardoor de stijfheid van de buis wordt vergroot.

Literatuur: Wagenmaker; Steinbacher.

* De eerste zes paragrafen zijn gebaseerd op het Studierapport van de Commissie voor Gewapende kunststofbuizen, van het Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen KIWA NV.

3.1.0. Samenstellende materialen

3.1.1. kunststof

De toegepaste kunststoffen zijn thermohardende harsen, deze bezitten geheel andere eigenschappen dan de thermoplastische harsen, zoals polyvinylchloride en polyetheen.

De kunstharsen die voor het fabriceren van gewapende kunststofbuizen in aanmerking komen zijn:

1. onverzadigde polyesterharsen, onder te verdelen in:
 - a. harsen op basis van orthoftaalzuur. Deze harsen zijn over het algemeen goed bestand tegen water, verdunde zuren, zwakke alkalioplossingen, vele oplosmiddelen, zouten, enz.
 - b. harsen op basis van isoftaalzuur. Deze hebben t.o.v. orthoftaal zure harsen een verbeterde bestendigheid tegen alle bovengenoemde groepen, vooral ten opzichte van alkaliën. Ook de temperatuurbestendigheid is beter.
 - c. harsen op basis van bisfenol A. Hier is in een aantal gevallen de chemische bestendigheid beter dan bij de orthof- en isoftaalzure harsen, vooral bij hogere temperaturen. Bisfenol-polyesters worden vooral daar toegepast, waar maximale eisen aan de chemische bestendigheid worden gesteld.
Van deze drie groepen hebben meestal de isoftaalzure typen tevens de beste mechanische en impregneringseigenschappen, zodat deze wel het meest worden toegepast voor hoogwaardige buizen.
2. epoxyharsen; deze hebben o.a. betere mechanische eigenschappen dan polyesterharsen, zodat epoxyharsen bij voorkeur worden gebruikt waar maximale eisen aan buizen worden gesteld.
3. buton, een zuiver koolwaterstof-copolymeer, bestaande uit butadien en styrol. De geharde hars neemt geen water op. (Morhard).

4. vinylester, wordt door Gehrels genoemd als een kunst-hars die wordt gebruikt voor de fabricage van gewapende kunststofbuizen.

3.1.2. Glasvezel

Glasvezels worden vervaardigd door gesmolten glas tot dunne meestal continue draden, filamenten, uit te trekken, diameter ca. $10-13 \cdot 10^{-6}$ m. Voor het opwickelen van de getrokken bundel filamenten wordt deze voorzien van een finish. Deze finish dient om de bundel filamenten bijeen te houden en om de hechting tussen de glasvezels en de hars te bevorderen. Een streng filamentgaren, parallel en zonder twist gewikkeld wordt roving genoemd.

Een glasmat is opgebouwd uit gesneden glasvezels met een lengte van 25-50 mm. Elke vezel bestaat uit een groot aantal filamenten. De vezels zijn door middel van een chemisch bindmiddel aan elkaar gekleefd.

Glasweefsels worden gevormd door filamentgaren te weven.

3.2.0. Fabricage-methoden

Buizen kunnen worden vervaardigd door centrifugaal gieten of door verschillende wikkeltechnieken.

De wapening van centrifugaal gegoten buizen bestaat uit glasmat of weefsels, het glasgehalte is vrij laag, 30-50 gew.%.

Deze fabricagemethode heeft beperkingen t.a.v. de buislengte en diameter (ca. $\varnothing$ 600 mm is het maximum).

Met de wikkeltechniek, waarbij van roving wordt uitgegaan, zijn de hoogste mechanische eigenschappen te bereiken. Relatief hoge glasgehalten, 70-80 gew.%, kunnen worden verkregen.

Uit proefnemingen is gebleken dat de meest gewenste wikkelhoek bij ongeveer 54° ligt.

3.3.0. Mechanische eigenschappen

De gewapende kunststoffen worden sterker en stijver naarmate het glaspercentage toeneemt. Dit geldt tot een zeker maximum, afhankelijk van de wapeningsvorm.

Gewapende kunststof			
Eigenschap	Dimensie	Hars/mat 35 gewichts % glas	Filament winding 70 gewichts % glas
treksterkte	N/mm ²	100	500
druksterkte	N/mm ²	160	500
buigsterkte	N/mm ²	160	550
E-modulus	N/mm ²	$0,8 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$
volumieke massa	g/cm ³	1,6	1,9

Tabel 1

Bij lagere temperaturen worden praktisch alle mechanische eigenschappen, waaronder ook de slagvastheid, beter, dit in tegenstelling tot de thermoplasten zoals PVC en PE.

3.4.0. Toelaatbare wandspanning

Er moet een scherp onderscheid worden gemaakt tussen korteduursterkten en de op langeduur toelaatbare spanningen. Zowel de korteduursterkte als de zweetdruk blijkt nauwelijks van het harssysteem af te hangen. Het zweten van buizen is het ontstaan van waterdruppeltjes op de buiswand, dit is het gevolg van een onomkeerbaar destructief proces. De meeste buizen zweten bij een druk van $\frac{1}{2}$ à $\frac{1}{3}$ van de korteduurbarstdruk.

Worden buizen gedurende langere tijd belast door een constante inwendige druk dan blijkt het harssysteem wel van invloed te zijn. Het harssysteem is ook van invloed als een buis wordt belast door een wisselende inwendige druk. Het blijkt dat de levensduur van een buis, belast op de helft van de korteduurbarstdruk, onder invloed van cyclische belasting tot enkele dagen wordt gereduceerd. Dit is het gevolg van niet toelaatbare irreversibele deformaties en structuurveranderingen die reeds optreden bij drukken die belangrijk lager zijn dan de korteduurbarstdruk.

Worden de vervormingen van een buis gevolgd, dan is allereerst een gebied aan te geven waarbij noch axiaal noch tangentieel

enige kruip is waar te nemen. Bij drukopvoering wordt een gebied bereikt waar wel kruip optreedt en dus plastische deformaties optreden.

Ten aanzien van de tangentiële wandspanning werd met epoxybuizen een grenswaarde voor het elastisch gebied gevonden van ca. 125 N/mm^2 (toegepaste hars: Epikote 828/DDM, glasgehalte 75 à 80 gewichtsprocent). Wordt de toelaatbare tangentiële wandspanning gelijkgesteld aan ongeveer de helft van deze grenswaarde, dus $62,5 \text{ N/mm}^2$ voor epoxybuizen, dan kan worden aangenomen dat, in een daarop berekende buis ook na langdurige statische of dynamische belasting, geen blijvende deformaties zullen optreden.

Uit proeven is gebleken dat in epoxybuizen van dit type bij een tangentiële wandspanning van ca. 75 N/mm^2 en bij een spanning van ca. 60 N/mm^2 in overeenkomstige polyesterbuizen geen blijvende deformaties optreden die tot breuk leiden. Volgens het hierboven beschreven criterium ($\sigma_{el.max.}$) zou bij epoxybuizen een tangentiële wandspanning van 50 N/mm^2 en bij polyesterbuizen een tangentiële wandspanning van $38,5 \text{ N/mm}^2$ kunnen worden toegelaten.

3.5.0. Slagvastheid

De slagvastheid van gewapende kunststofbuizen vereist volgens de Commissie voor Gewapende Kunststofbuizen nader onderzoek. De mogelijkheid bestaat dat in kwalitatief slechtere buizen ten gevolge van slagbelasting inwendige breukverschijnselen optreden die aan de binnen- en buitenoppervlakte van de buis niet zichtbaar zijn. De breukverschijnselen zullen daarentegen zeker de $\sigma_{el.max.}$, dus ook de toelaatbare inwendige druk, beïnvloeden.

3.6.0. Materiaaleigenschappen

De mechanische eigenschappen van gewapende kunststofbuizen zijn afhankelijk van het glaspercentage en de hoek waaronder het glas gewikkeld is.

Gehrels geeft voor wikkelhoeken van 60^0 en een glaspercentage van 65-70% de volgende waarden voor de elasticiteitsmodulus en de toelaatbare spanning.

hars	E initieel N/mm ²	E 50 jaar N/mm ²	$\bar{\sigma}$ N/mm ²
polyester	25.000	13.000	37,5
epoxy	22.000	20.000	50
vinylester	22.000	20.000	50

Keulen geeft een aantal gemiddelde materiaaleigenschappen welke gebaseerd zijn op ASTM-normen.

treksterkte	400	N/mm ²
buigsterkte	520	N/mm ²
elasticiteitsmodulus bij buiging	20.000	N/mm ²
lineaire uitzettingscoëfficiënt	10×10^{-6}	mm/mm. ^o C
warmtegeleidbaarheid	0,45	W/m. ^o C
temperatuurbestendigheid	110-150	^o C
volumieke massa	1,8	g/cm ³

In het onderstaande worden spanningen weergegeven bij biaxiale en uniaxiale belastingen.

Een buis wordt biaxiaal belast indien de buis onder inwendige druk staat waarbij de eindkappen vrij kunnen bewegen.

$\frac{\sigma_x}{\sigma_y}$ is in dit geval 0,5.

Van een uniaxiale belasting is sprake indien $\frac{\sigma_x}{\sigma_y} = 0$.

Deze belasting treedt op indien een buis door inwendige druk wordt belast waarbij de kracht die de eindkappen op de buis uitoefenen, wordt gecompenseerd.

Wavin (1976) geeft voor epoxybuizen de volgende waarden:

(Alle waarden gelden voor de gewapende wand tot 40°C)

grootste elastische wandspanning (biaxiaal)	115	N/mm ²
toelaatbare elastische wandspanning (biaxiaal)	50	N/mm ²
hydrostatische ontwerp ringspanning (biaxiaal)	50	N/mm ²

ringspanning (biaxiaal hydrostatisch belast):

maximaal (zweetspanning)	150	N/mm ²
toelaatbaar	50	N/mm ²
elasticiteitsmodulus (uniaxiaal hydrostatisch belast)	19000	N/mm ²

axiale spanning (uniaxiaal belast):

maximaal	75	N/mm ²
toelaatbaar	25	N/mm ²
elasticiteitsmodulus	11000	N/mm ²

lineaire uitzettingscoëfficiënt	2×10^{-5}	mm/mm.°C
warmtegeleidbaarheid	0,25	W/m.°C
volumieke massa	1,85	g/cm ³
glaspercentage (gewichtsprocenten)	70	%
wikkelhoek	55°	

Voor polyesterbuizen worden de volgende waarden gegeven:

(Alle waarden gelden voor de gewapende wand tot 30°C)

grootste elastische wandspanning (biaxiaal)	80	N/mm ²
toelaatbare elastische wandspanning (biaxiaal)	37,5	N/mm ²
hydrostatische ontwerp ringspanning (biaxiaal)	37,5	N/mm ²

ringspanning (biaxiaal hydrostatisch belast):

maximaal (zweetspanning)	100	N/mm ²
toelaatbaar	37,5	N/mm ²
elasticiteitsmodulus (uniaxiaal hydrostatisch belast)	22500	N/mm ²

axiale spanning (uniaxiaal belast):

maximaal	56	N/mm ²
toelaatbaar	18,5	N/mm ²
elasticiteitsmodulus	14000	N/mm ²

lineaire uitzettingscoëfficiënt	2×10^{-5}	mm/mm. $^{\circ}$ C
warmtegeleidbaarheid	0,25	W/m. $^{\circ}$ C
volumieke massa	1,85	g/cm ³
glaspercentage (gewichtspcenten)	70	%
wikkelhoek	55 $^{\circ}$	

Door de verscheidenheid van materialen plus de mogelijkheid de buiswand te voorzien van een oppervlaktelaag is het niet goed mogelijk in te gaan op de chemische bestendigheid van de gewapende kunststofbuizen. Gegevens hierover zijn verkrijgbaar bij de buizenfabrikanten en zonodig kan naar de bestendigheid van een buis tegen bepaalde stoffen een nader onderzoek worden ingesteld.

3.7.0. Verbindingen en hulpstukken

Voor het maken van verbindingen van gewapende kunststofbuizen bestaan verschillende mogelijkheden:

- * lijmverbindingen, met of zonder losse mof, vereist zorgvuldig werken;
- * rubberringverbinding, met mof- en spieeind of een losse mof;
- * flensverbindingen.

Leveringsprogramma's omvatten tal van hulpstukken, zoals bochten T-stukken, koppelingen en flenzen. Ook inspectieputten kunnen in gewapende kunststof worden geleverd. Het is mogelijk bijzondere hulpstukken speciaal te laten vervaardigen.

Normen

NEN 7037 (ontwerp). Buizen van met glasvezel gewapende thermohardende kunststoffen met binnenmiddellijnen van 200 t/m 1400 mm bestemd voor buitenrioleringen.

3.8.0. Twee toepassingen

In een rioolwaterproject in Emmen is een drievoudige zinker van Derakane, een hoogwaardige vinylesterhars, opgenomen. De samengestelde zinker bestaat uit twee buizen met een diameter van 600 mm en één met een diameter van 400 mm.

De buizen zijn onderling verbonden door verstijvingsschotten en hebben een lengte van 25 m. Ook de verstijvingsschotten zijn van Derakane vervaardigd.

De treksterkte van het materiaal bedraagt $90-120 \text{ N/mm}^2$ en de volumieke massa $1,5 \text{ g/cm}^3$ (Anoniem, 1973).

Voor het transport van hoog corrosief gedemineraliseerd water is in Rotterdam een 18 km lang pijpleidingstelsel aangelegd bestaande uit glasvezel gewapende epoxybuizen. De diameter van de leiding bedraagt 60 cm.

Aan de buitenzijde moesten de buizen bestand zijn tegen aantasting door de verzilte bodem.

De verbindingen van de buizen zijn gemaakt m.b.v. een rubberring en een pvc-strip om de verbinding vast te zetten.

De bedrijfsomstandigheden van de leiding waren:

- * een bedrijfsdruk van 8 bar ($0,8 \text{ N/mm}^2$).
- * een maximum temperatuur van 50°C ;
- * een verkeersdruk van 50 kN, gemeten op het hoogste punt van de buisdoorsnede;
- * ligging in een verdicht zandbed, de omliggende grond bestaat uit zachte klei met een hoge grondwaterstand;
- * ligging in een pijpleidingstraat.

De glasvezel gewapende epoxybuis bleek het beste aan de gestelde eisen te voldoen en was concurrerend met een, van een bescherm laag voorziene, stalen buis. (Owens/Corning Fiberglas).

4.0. Grondmechanische randvoorwaarden voor de berekening van kunststofbuizen

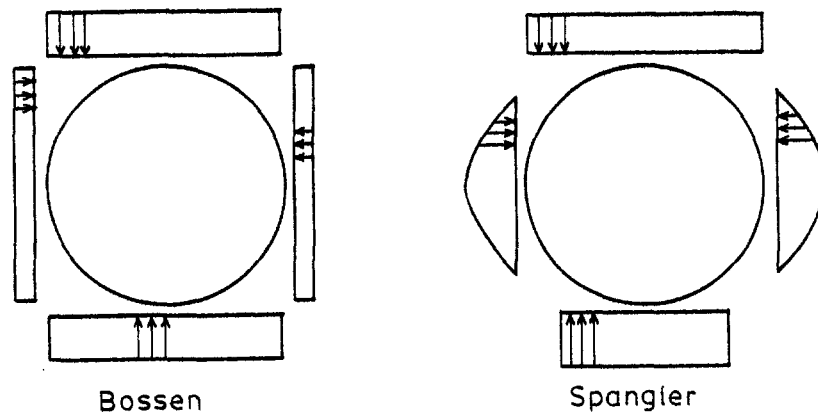
Kunststofbuizen zullen ten gevolge van bovenbelasting vervormen.

De uitwijking in zijdelingse richting veroorzaakt een verhoogde zijdelingse gronddruk, waardoor de vervormingen worden beperkt.

Het is daarom belangrijk dat de grond rond de buis goed wordt aangevuld en dat de grond naast de buis wordt verdicht.

Het is mogelijk dat niet op zijdelingse steun gerekend kan worden. Wordt, bijv. een buis aangelegd in een zandlichaam in een veengebied dan zal het veen door het zand worden weggeperst. In zo'n geval mag niet op steunende gronddruk worden gerekend (Bossen, 1971).

De gronddruk zoals die door Spangler is bepaald, wordt door Bossen (1970) en Algra, die een verdere uitwerking geeft van de door Bossen ontwikkelde theorie, bekritiseerd.



Algra stelt dat de figuur niet het verloop van de horizontale gronddruk weergeeft, maar dat van de horizontale component van de kracht die buis en grond op elkaar uitoefenen.

De waarde die Bossen en Algra voor de horizontale gronddruk aanhouden bedraagt 40% van de verticale gronddruk.

De gronddrukverdeling die Spangler geeft, wordt o.a. gebruikt door de Jong (de Jong).

Volgens Carlström en Molin volgen uit de theorie van Spangler hogere spanningen in de buiswand dan in werkelijkheid optreden (Carlström).

De ontlastende invloed die uitgaat van silowerking, volgens Marston, op de verticale gronddruk is volgens Algra van tijdelijke aard. In een silo treedt dit verschijnsel inderdaad op, daar het materiaal regelmatig in beweging is. De situatie van een buis in de grond is echter van geheel andere aard. Dit wordt door proeven bevestigd (Gaube, 1969). Ook Gaube, Müller en Falcke rekenen daarom met de volledige bovenbelasting (Gaube, 1974).

Algra ontwikkelt een berekeningsmethode die zowel toepasbaar is voor isothrope buizen als voor orthotrope gelaagde buizen. In deze berekeningsmethode wordt rekening gehouden met de invloed van inwendige druk. De vergelijkingen uit deze berekeningsmethode zijn in een computerprogramma opgenomen. De theorie beperkt zich tot buizen met een diameter van 1 m of kleiner.

Door Gaube, Müller en Falcke is een berekeningsmethode ontwikkeld, welke gebaseerd is op het Watkins-diagram (Gaube, 1974).

Het Watkins-diagram geeft de relatie weer tussen de verhouding van de buisvervorming met de bodemvervorming en een getal dat de verhouding weergeeft tussen de stijfheid van de bodem en de stijfheid van de buis. Het Watkins-diagram, aanvankelijk bepaald voor stalen buizen, is aan de hand van proefnemingen uitgebreid voor kunststoffen.

In eerdere publicaties is voor verschillende grondsoorten in diagrammen de deformatie van de buis in procenten van de middellijn uitgezet afhankelijk van de hoogte van de gronddekking (Gaube, 1966) (Hofer).

De hiervoor genoemde berekeningsmethoden hebben betrekking op de berekening van de ringdoorsnede. Aangenomen wordt dat in axiale richting geen buiging optreedt. Is de buig-

straal groot en is de verbindingstechniek erop aangepast dan behoeft dit geen ernstige gevolgen te hebben. Gevaarlijker wordt het wanneer abrupte ongelijke zettingen optreden. Kunststofbuizen zijn, indien geen bijzondere maatregelen worden genomen, tegen dit soort lokale belastingen al even slecht bestand als starre buizen (Algra, pag. 30).

Wavin, een fabrikant van kunststofbuizen, beschikt over een computerprogramma voor de berekening van gewapende kunststofbuizen waarbij rekening wordt gehouden met inwendige druk en krachten in langsrichting. Het is mogelijk om met behulp van dit programma de optimale wikkelhoek te bepalen (Wavin, 1976).

De berekeningsmethode is gebaseerd op de continuüm-theorie, waarbij niet alleen rekening wordt gehouden met de krachten die door de glasvezels worden opgenomen, maar waarbij ook krachten worden opgenomen door de hars (Puck).

Literatuur bij kunststoffen

Algra, E.A.H. Orthotrope gelaagde en isotrope kunststof-
buizen onder buigbelasting door gronddruk.

KRI-TNO rapport no. 160/'76, juni 1976.

Anoniem, 1973. Lichtgewicht zinker van vinylesterhars.

Weg- en Waterbouw 33, no. 8, aug. '73: pag. 199-201.

Anoniem, 1976. Polyetheen leidingsysteem voor gastrans-
port.

De Ingenieur 88, nr. 47, 18 nov. 1976: pag. 961.

Bossen, M.J., 1967. Het gedrag van flexibele buizen onder
invloed van de belasting door gronddruk.

Rapport aan KIWA, september 1967.

Bossen, M.J., 1970. Kunststofrioolbuizen, grondmechanische
aspecten. Voordracht voor de Vereniging van Directeuren

en Ingenieurs van Gemeentewerken, 28 maart 1969.

Publieke Werken. 38 (1970), no. 1: pag. 12-17.

Bossen, M.J., 1971. Hinder en gerief van gronddruk op
kunststofbuizen.

Plastica. 24, no. 1: pag. 1-7.

Carlström, B. und J. Molin. Belastungsverhältnisse bei
erdverlegten glasfaserverstärkten Polyesterharz - Röhren.

Kunststoffe. Bd. 56, (1966), H.12. pag. 895-899.

Cocquyt, F. Gasleidingen in polyvinylchloride en hoge-
dichtheidspolyethyleen.

Het Ingenieursblad. 42, (1973), no. 3, pag. 53-57.

Gaube, E., H. Hofer und W. Müller, 1966. Buizen met grote
diameter uit hard polyethyleen.

Overdruk uit: VDI Nachrichten aus Naturwissenschaft, Tech-
nik, Industrie. Organ des Deutschen Verbandes Technisch-
Wissenschaftlicher Vereine. 20, nr. 37, 14 sept. 1966.

Gaube, E., H. Hofer und W. Müller, 1969. Erddruck - und Verformungsmessungen an erdverlegten Hartpolyäthylen - Röhren.

Kunststoff-Rundschau: 16, (1969), Heft 4 und Heft 5: S.205, S.282.

Gaube, E., W. Müller und F. Falcke, 1974. Statische Berechnung von Abwasserrohren aus Polyäthylen hart. Kunststoffe. 64, (1974), H.4: pag. 193-196.

Gehrels, J.F. Kunststoffen en gewapende kunststoffen. H20, 1974, no. 12: pag. 237-242.

Hellerich/Harsch/Haenk. Werkstoff-Führer Kunststoffe. Carl Hanser Verlag. München, Wien. 1975.

Hermann, H. Zerstörungsfreie Schweißnahtprüfung an Rohrrundnähten aus Polyäthylen hart (PEh). Gas- und Wasserfach. 114 (1973), H.8: pag. 370-374.

Hoechst. Hostalen GM 5010 Rohre, september 1975.

Hofer, H. Berechnung und Prüfung von Kunststoffrohren. Haus der Technik - Vortragsveröffentlichungen. 1969, H. 234: pag. 32-44.

de Jong, J.A. De draagkrachtproblematiek van ingegraven flexibele buizen. Polytechnisch Tijdschrift ed. Bouwkunde, Water- en Wegenbouw. 22, (1967), no. 1, 4-1-'67: pag. 25-33, no. 5, 3-3-'67: pag. 186-189.

Keulen, R. Kunststoffen voor watertransport in het bijzonder met glasvezel versterkte kunststofbuizen. Water, oktober 1970: pag. 563-567.

Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen KIWA NV. Studierapport van de Commissie voor Gewapende Kunststof-buizen, maart 1969.

Kunij. Waterleiding, afvoer-riolering, bouw en buis, voor heetwaterafvoer, ja en nee van ABS en PVC, 1970.

van Leeuwen. Documentatie kunststofbuizen.

Mantell, C.L. Plastic Pipe. Noyes Development Corporation 1965.

Matthijs, J. Het gebruik van kunststoffen voor leidingen voor gasdistributie. Het Ingenieursblad. 42, (1973), no. 3: pag. 46-53.

Morhard, Richard R. und Guido Strzelbicki-Sas. Buton, ein reines Kohlenwasserstoff-Harz für härtbare verstärkte Kunststoffe. Kunststoffe. Bd. 51, 1961. Heft 12.

Mutter, F. De toepassing van kunststofbuizen in de Nederlandse gasnetten. Het Ingenieursblad. 42, (1973), no. 3, pag. 37-46.

Owens/Corning Fiberglas. Fiberglass in action: case history, dimineralized water system, 1976.

Ploos van Amstel, L. Bouwstoffen voor het HT0. Spruijt, van Mantgem & de Does N.V., Leiden, 1968.

Puck, Alfred. Zur Beanspruchung und Verformung von GFK - Mehrschichtenverbund - Bauelementen. Kunststoffe. Bd. 57, 1967, Heft 4: pag. 284-294, Heft 7: pag. 573-583, Heft 12: pag. 965-974.

Saechtling, Hansjürgen. Kunststoff Taschenbuck, 20 Ausgabe. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1977.

Steinbacher, K. Enkele eigenschappen van met glasvezel versterkte kunststofmortelbuizen. Water. 55, (1971), no. 4: pag. 182-185.

Stoeckhert, K. hrsgb. Kunststoff Lexikon, 6. auflage. Carl Hanser Verlag, München, 1975.

Structural, Polyester Pijpleidingen.

VEG-Gasinstituut. Hard PVC-buizen.

perscommuniqué, oktober 1973.

Verder, A. Grote kunststofbuizen van hard polyetheen in de praktijk. Water. 55, (1971), no. 4: pag. 196-199.

Wagenmaker, F. Gewapende kunststofmortelbuizen.

Polytechnisch Tijdschrift ed. Bouwkunde, Water- en Wegenbouw. 25 (1970) no. 20, 2-10-'70: pag. 841-846.

Wavin, 1969. Voor water en gas.

Wavin, 1972. Wavin kunststofprodukten.

Wavin. kls. b.v., 1976. G.r.p. pipe-systems - wavistrong.

Wesdorp, J.G., 1969. Buizen van gewapende kunststof in opmars. Polytechnisch Tijdschrift ed. Bouwkunde, Water- en Wegenbouw. 24 (1969) no.4, 21-2-'69: pag. 139-142.

Wesdorp, J.G., 1970. Met glasvezel gewapende kunststof-buizen.

Polytechnisch Tijdschrift ed. Bouwkunde, Water- en Wegenbouw. 25 (1970) no. 24, 27-11-'70: pag. 1037-1043.

Wijbrans, W.F.R., Materialen voor kunststofbuizen.

Publieke Werken, 1970 nr. 1: pag. 2-8.

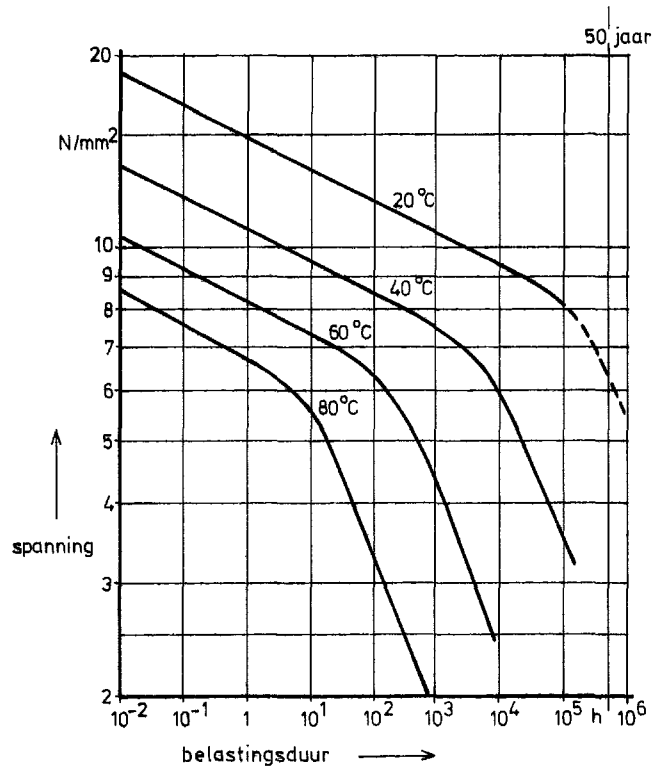


fig. 1 langeduur-treksterkte-diagram
voor hard PE

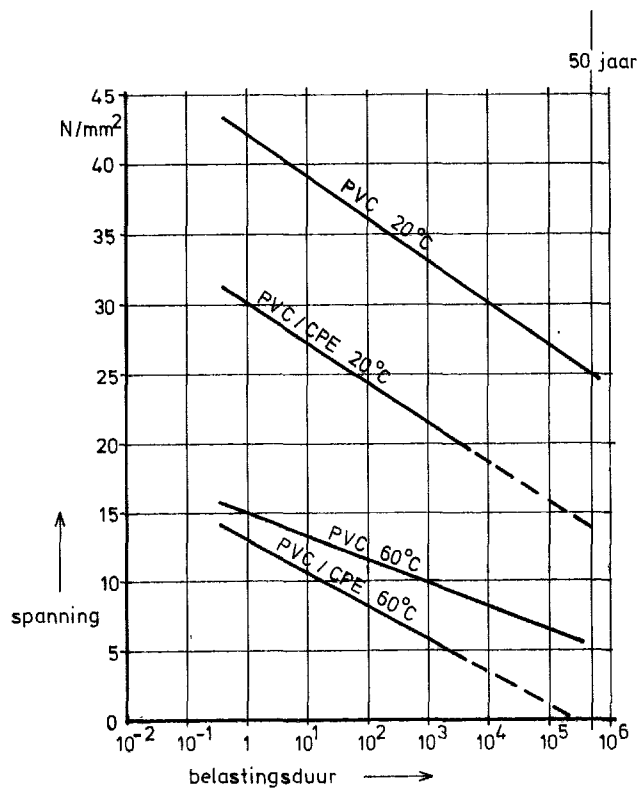


fig. 2 langeduur-treksterkte-diagram
voor hard PVC en slagvast PVC/CPE

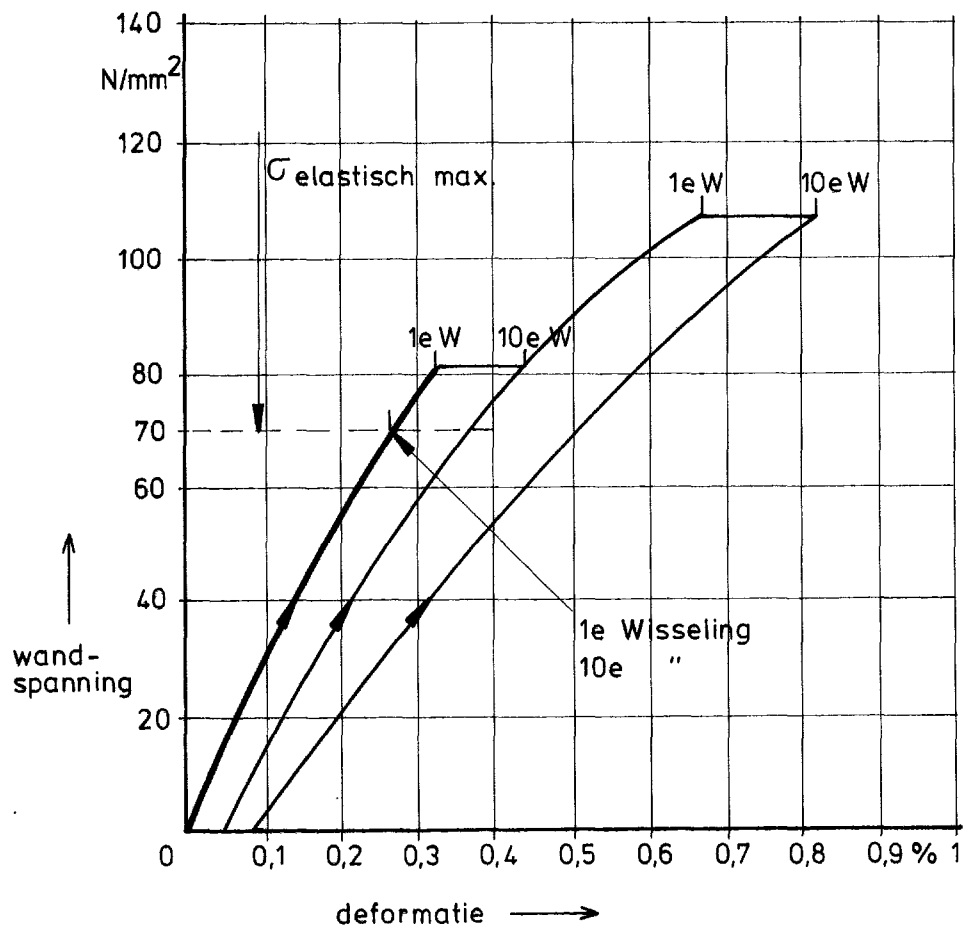


fig. 3 glasvezelgewapende polyester buis

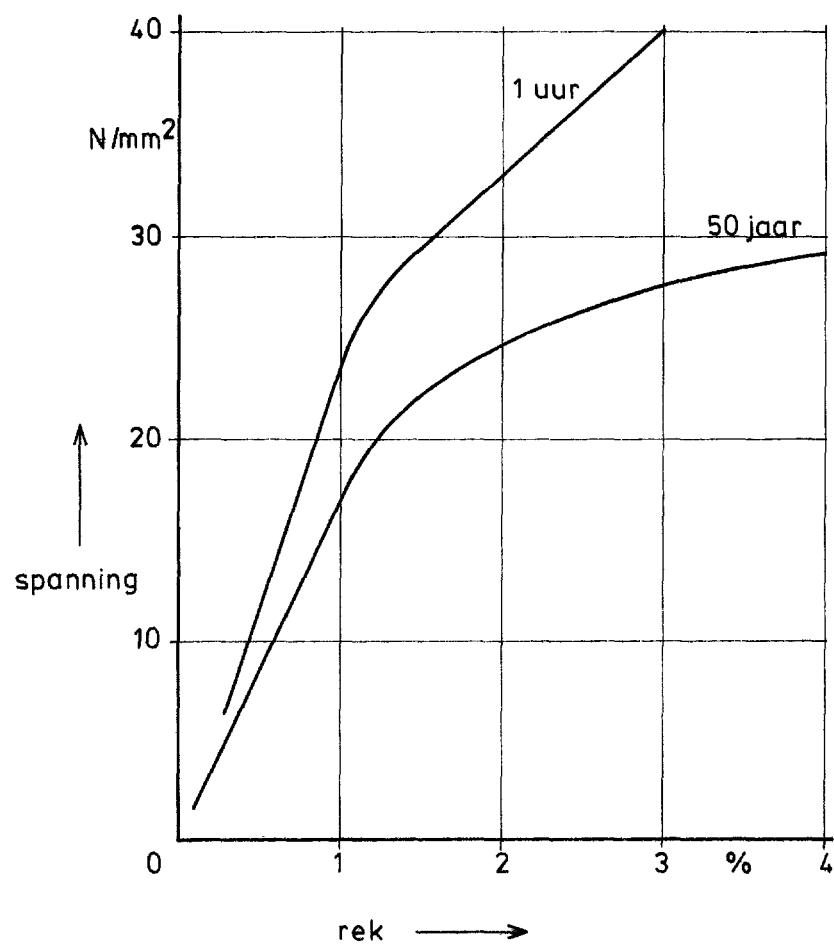


fig. 4 spanning-rek diagram PVC

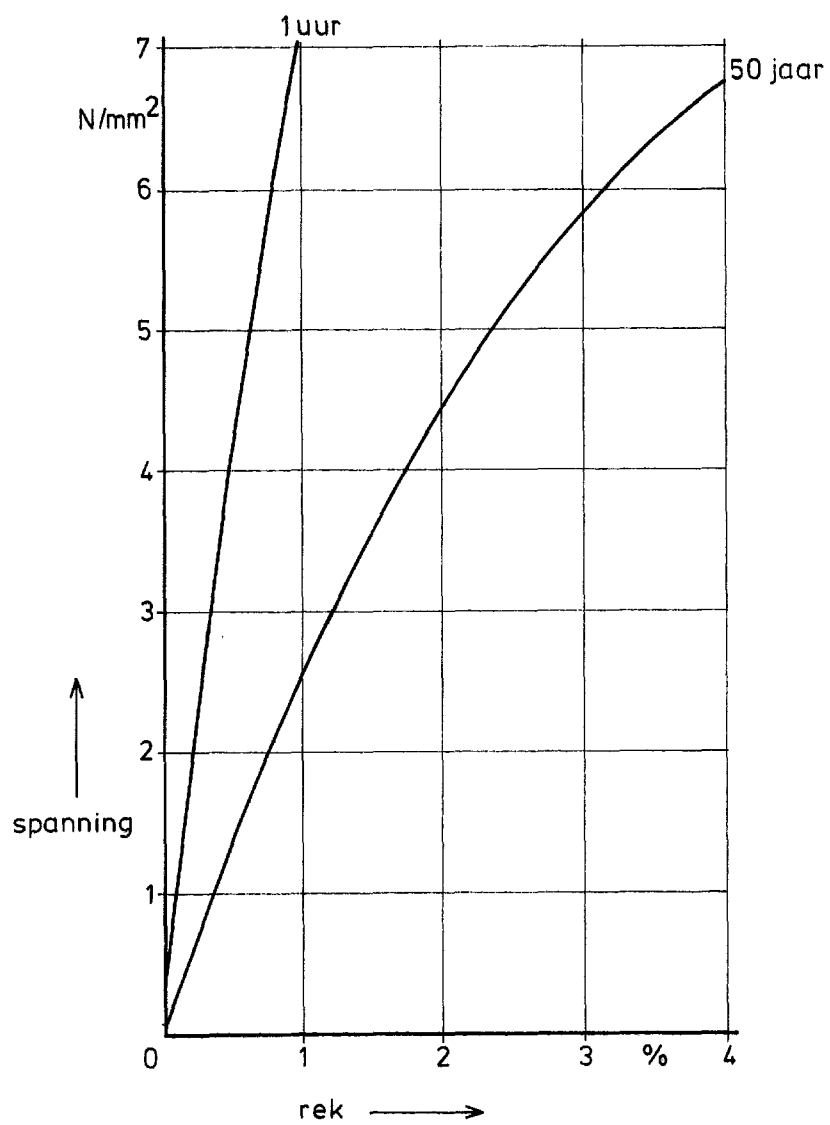


fig. 5 spanning-rek diagram HPE buizen

4.0. Grondmechanische randvoorwaarden voor de berekening van kunststofbuizen

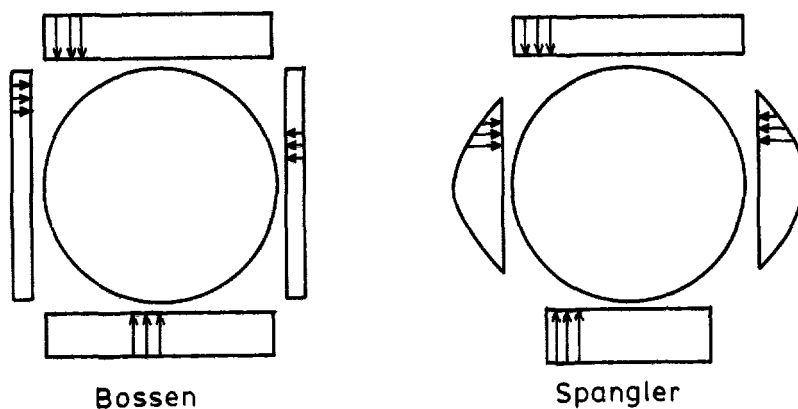
Kunststofbuizen zullen ten gevolge van bovenbelasting vervormen.

De uitwijking in zijdelingse richting veroorzaakt een verhoogde zijdelingse gronddruk, waardoor de vervormingen worden beperkt.

Het is daarom belangrijk dat de grond rond de buis goed wordt aangevuld en dat de grond naast de buis wordt verdicht.

Het is mogelijk dat niet op zijdelingse steun gerekend kan worden. Wordt, bijv. een buis aangelegd in een zandlichaam in een veengebied dan zal het veen door het zand worden weggeperst. In zo'n geval mag niet op steunende gronddruk worden gerekend (Bossen, 1971).

De gronddruk zoals die door Spangler is bepaald, wordt door Bossen (1970) en Algra, die een verdere uitwerking geeft van de door Bossen ontwikkelde theorie, bekritiseerd.



Algra stelt dat de figuur niet het verloop van de horizontale gronddruk weergeeft, maar dat van de horizontale component van de kracht die buis en grond op elkaar uitoefenen.

De waarde die Bossen en Algra voor de horizontale gronddruk aanhouden bedraagt 40% van de verticale gronddruk.