

Ontwerpparameters geokunststofwapening

Achtergronddocument bij voorschrift voor bepalen van de karakteristieke waarden van de ontwerpparameters van geokunststofwapening einde levensduur in geotechnische constructies

Verantwoording

Titel
Achtergronddocument bij voorschrift voor
bepalen van de karakteristieke waarden
van de ontwerpparameters van
geokunststofwapening einde levensduur in
geotechnische constructies

Revisie
Definitief D01

Datum
18 december 2023



Wim Voskamp



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

ProRail

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
2	Algemene uitgangspunten en randvoorwaarden	7
2.1	Scope en toepassingsgebied	7
2.1.1	Probleem, doelstelling en scope.....	7
2.1.2	Toepassingsgebied geotechnische constructies	7
2.1.3	Beschouwde soorten geokunststofwapening	8
2.1.4	Afbakening.....	10
2.2	Ontwerpeisen	10
2.2.1	Ontwerpeisen voor geokunststoffen conform Eurocode 7 [2].....	10
2.2.2	Ontwerpeisen voor geokunststoffen volgens CUR-richtlijnen.....	13
2.3	Kwaliteitseisen.....	13
2.3.1	Regelgeving	13
2.3.2	Controle van gegevens.....	14
3	Sterkte geokunststofwapening	16
3.1	Algemeen	16
3.2	Afbraakmechanismen en veroudering	16
3.2.1	Afbraakmechanismen.....	16
3.2.2	Methoden van levensduurbepaling.....	17
3.2.3	Veroudering	18
3.3	Reductiefactoren op materiaalgedrag.....	20
3.3.1	Definitie reductiefactoren conform vigerende toepassingsnormen	20
3.3.2	RF _{CR} : reductie door kruip	21
3.3.3	RF _{ID} : Inbouwschade	25
3.3.4	RF _W : UV Blootstelling	27
3.3.5	RF _{CH} : Omgevingsinvloeden	29
3.3.6	RF _{DYN} : Ongunstig werkende dynamische effecten	34
3.3.7	RF _{JS} : Verbindingen, overlappingsen en naden	34
3.4	Factor f_s op onzekerheden	40
3.4.1	Algemeen.....	40
3.4.2	Nadere beschouwing R_1	40
3.4.3	Nadere beschouwing van R_2	41
4	Interactie tussen grond en geokunststof.....	42
4.1	Algemeen	42
4.2	Interactiemechanismen.....	42
4.3	Bepaling en achtergrond interactiecoëfficiënten	43

4.3.1	Beschrijving Afschuiftest en Pull-out test	43
4.3.2	Afschuiven van de wapening (direct sliding)	44
4.3.3	Aanhechting van de wapening (bond strength)	45
5	Stijfheid geokunststof	51
5.1	Algemeen	51
5.2	Isochrone curven	51
6	Milieu-aspecten.....	54
6.1	Eisen met betrekking tot hergebruik van polymeren	54
6.1.1	Algemeen.....	54
6.1.2	Mogelijkheden en eisen bij hergebruik oorspronkelijk materiaal.....	54
6.1.3	Mogelijkheden en eisen bij recycling van het materiaal	54
6.1.4	Conclusie een aanbevelingen	56
6.2	Sustainability en durability.....	56
6.3	Mogelijkheden beperking milieu-belastende effecten.....	57
6.3.1	Vervuiling van het milieu als gevolg van het gebruik van geokunststoffen	57
6.3.2	Verontreiniging door microplastics en nanoplastics	57
7	Aanbevelingen	60
7.1	Algemeen	60
7.2	Aanbevelingen voor verder onderzoek	60
8	Referenties.....	62
8.1	Regelgeving, normen en richtlijnen	62
8.2	BBA-certificaten.....	65
8.3	Overige publicaties	65

Bijlagen

Bijlage 1	Symbolenlijst
Bijlage 2	Overzicht testen voor materiaaleigenschappen
Bijlage 3	Certificering
Bijlage 4	Achtergronden hydrolyse
Bijlage 5	Achtergronden oxidatie
Bijlage 6	Achtergronden interactie
Bijlage 7	Achtergronden dynamische belastingen
Bijlage 8	Achtergronden verbindingen en naden

1 Inleiding

Op verzoek van Rijkswaterstaat GPO en ProRail is de Commissie Ontwerpparameters Geokunststofwapening ingesteld. Deze commissie had tot doel om uniforme eisen te stellen aan ontwerpparameters van geokunststofwapening voor materiaalsterkte einde levensduur, interactie geokunststof en grond of aanvulmateriaal en materiaalstijfheid. Het werk van de commissie resulteerde in een Voorschrift met dit bijbehorend Achtergronddocument.

Het **Voorschrift** geeft een overzicht van de eisen voor het bepalen van de karakteristieke waarden van de ontwerpparameters van geokunststofwapening, inclusief eisen aan de bijbehorende verificatie. De geokunststofwapening waar het Voorschrift voor is geschreven, wordt toegepast in gewapende grondconstructies, paalmatrassen, grondlichamen met stabilisatiwapening en als funderingswapening. Geocellen vallen buiten de scope van deze richtlijn. Waar mogelijk is op vigerende Europese normen en richtlijnen aangesloten.

Het **Achtergronddocument** bundelt beschikbare kennis van de aspecten die van invloed zijn op de sterkte, het interactiegedrag, de stijfheid en levensduur van de geokunststofwapening. Hiermee geeft dit Achtergronddocument een onderbouwing en achtergrondinformatie bij de eisen die worden gesteld in het Voorschrift. Dit Achtergronddocument moet niet worden geïnterpreteerd als een overzicht van eisen.

De commissie spreekt de wens uit dat deze documenten breed worden toegepast in de geokunststof-branch, gezien het ontbreken van vergelijkbare nationale of internationale richtlijnen. Bij het samenstellen van deze documenten is gebruik gemaakt van diverse publicaties over deelonderwerpen (de bronnenlijst staat achterin dit Achtergronddocument), met aandacht voor zowel volledigheid als toegankelijkheid van informatie.

De Commissie Ontwerpparameters Geokunststofwapening was als volgt samengesteld:

Suzanne van Eekelen	Deltares, voorzitter
Marco Peters	Sweco
Piet van Duijnen	GeoTec Solutions
Wim Voskamp	Voskamp Business Consultancy
Johan van der Molen	Rijkswaterstaat
Agnes van Uiter	ProRail

Delft, december 2023.

Aansprakelijkheid

De samenstellers van deze publicatie (het Voorschrift en het Achtergronddocument) hebben deze uitgave zo zorgvuldig mogelijk samengesteld. Desondanks kan niet worden uitgesloten dat er fouten en onvolledigheden in deze publicatie voorkomen. Het gebruik van deze publicatie en van gegevens daaruit is geheel op eigen risico van de gebruiker.

De auteurs en alle betrokkenen bij deze publicatie sluiten elke aansprakelijkheid uit voor schade die voortvloeit uit het gebruik van de publicatie en de daarin opgenomen gegevens, tenzij de schade het gevolg is van opzet of grove schuld van de auteurs en/of anderen die aan deze uitgave hebben meegewerkt.

2 Algemene uitgangspunten en randvoorwaarden

2.1 Scope en toepassingsgebied

2.1.1 Probleem, doelstelling en scope

Voor het ontwerpen en dimensioneren van geokunststofwapening in gewapende grondconstructies is het voor een ontwerper niet altijd duidelijk op welke manier de ontwerpwaarden voor geokunststofwapening moeten worden vastgesteld. Naar aanleiding daarvan is een Voorschrift met een Achtergronddocument opgezet.

Het doel van het Voorschrift is om de eisen vast te stellen waarmee de ontwerpwaarden of ontwerpparameters voor geokunststofwapeningsmaterialen moeten worden bepaald. Daarin is voorgeschreven welke en hoe ontwerpwaarden moeten zijn bepaald die enerzijds aansluiten op de huidige Eurocode en anderzijds praktisch kunnen worden toegepast in het ontwerp van een gewapende grondconstructie. De achtergronden daarvoor zijn beschreven in dit Achtergronddocument.

In paragraaf 2.1 is de scope en het toepassingsgebied beschreven alsmede de hier beschouwde soorten geokunststofwapeningsmaterialen. Vertrekpunt van de verschillende ontwerpparameters voor de berekening van de langeduur treksterkte vormt paragraaf 9.3.3 van de nieuwste, nog in ontwikkeling zijnde Eurocode EN 1997-3, welke ook zijn opgenomen in CUR 198, en welke hier kort zijn samengevat in paragraaf 2.2. In paragraaf 2.3 wordt kort ingegaan op de diverse normen, richtlijnen en referenties welke betrekking hebben op de van toepassing zijnde kwaliteitseisen.

2.1.2 Toepassingsgebied geotechnische constructies

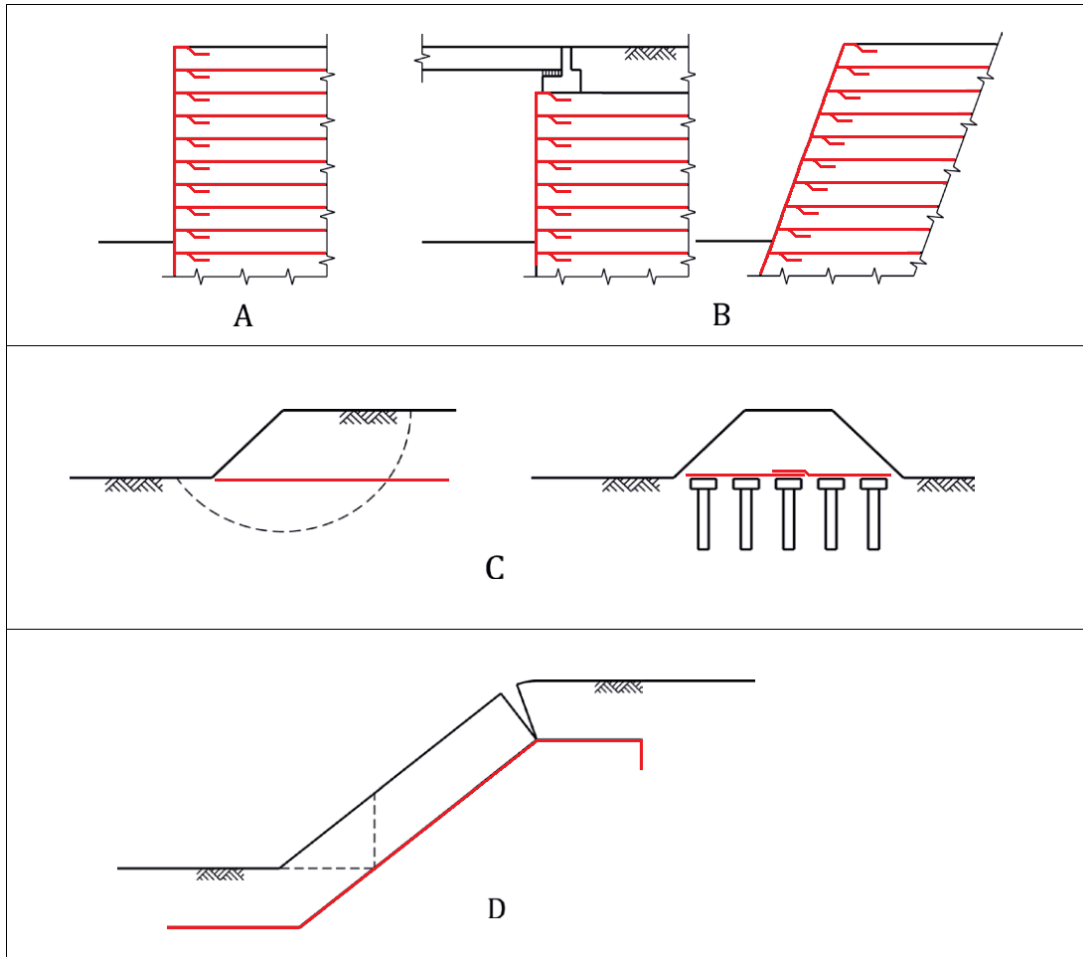
Geotechnische constructies als paalmatrasen, kerende constructies van gewapende grond en andere gewapende grondlichamen, kunnen worden gewapend of verankerd met geokunststofwapening. Deze gewapende constructies kunnen worden ontworpen aan de hand van de beschikbare richtlijnen zoals CUR 198:2020 Ontwerprichtlijn Kerende constructies van gewapende grond [31], CUR 226:2016 Ontwerprichtlijn Paalmatrasystemen [32] en hebben raakvlakken met CUR 174:2009 Geokunststoffen in de waterbouw [29] en CUR 175:2017 (herziening CRW-C1001) Geokunststoffen als funderingswapening in ongebonden funderingslagen [30].

Geokunststoffen zijn kunststoffen die kunnen worden toegepast in geotechnische constructies. Ze vormen een component waarmee de geotechnische functie van een grondconstructie kan worden verbeterd. Dit kunnen uiteenlopende functies zijn, zoals het verbeteren van de sterkte en stabiliteit van een grondconstructie, het spreiden van geconcentreerde belastingen in de grond, maar ook bijvoorbeeld het scheiden van verschillende grondlagen of het beschermen ervan.

Dit document is toegespitst op geokunststof dat wordt toegepast als wapening of verankering. Voorbeelden zijn onder andere:

- stabilisatie wapening bij ophogingen;
- funderingswapening voor verkeerswegen of spoorwegen;
- grondkerende constructies of landhoofden van gewapende grond;
- paalmatrasystemen;
- met geokunststof verankerde betonpanelen of damwanden.

Figuur 2.1 laat enkele voorbeelden zien. Het toepassingsgebied sluit aan op de scope zoals deze is beschreven in Eurocode 7, deel 3 Geotechnische constructies [2], welke op dit moment in ontwikkeling is en naar verwachting in 2024 zal worden uitgebracht.



Figuur 2.1 Toepassingsgebied geokunststofwapening in dit document: A en B. Kerende constructies van gewapende grond, landhoofden en gewapende taluds, C. Ophogingen en paalmatrassystemen met geokunststofwapening, D. Versteving van afdekragen op zijhellingen [2].

2.1.3 Beschouwde soorten geokunststofwapening

De materiaalspecifieke eigenschappen en fysieke invloed van de condities waaraan de geokunststofwapening onderhevig is, zijn afhankelijk van het type geokunststofwapening, de constructie en omstandigheden waarin de geokunststofwapening wordt toegepast en de verwerkingsmethode. In dit document zijn in principe twee typen geokunststofwapening of polymere wapening onderscheiden:

- geogrids;
- geweven geotextielen;
- polymere strips.

Materialen zoals vliezen (nonwovens) en folies vallen, in relatie tot geokunststofwapening in gewapende grondconstructies, buiten het kader van dit document. Ook geocellen en hun structurele toepassingswijzen worden hier niet in meegenomen.

Geogrids, geweven geotextielen

Geweven geotextielen zijn geweven doeken. Geogrids zijn geokunststoffen, bestaande uit een net- of roosterachtige structuur met grote openingen. Geogrids kunnen als volgt worden gemaakt:

- door het machinaal weven of breien van multifilament garens (wovens) en deze te omhullen (coaten) met een beschermende laag (zie Figuur 2.2 linksboven);
- door het in een geëxtrudeerde plaat ponsen van gaten en deze daarna in één of meerdere richtingen uit te rekken (te extruëren, zie Figuur 2.2 rechtsboven);
- door het aan elkaar lassen van geëxtrudeerde strips (zie Figuur 2.2 links- en rechtsonder).



Figuur 2.2 Mogelijke vormen van geogrids [31]

Enkele strips

Enkele strips bestaan uit geëxtrudeerde strips of bundels garens, voorzien van een coating van een polymeer of zijn ingebed in een ander polymeer. Voorbeelden zijn gegeven in Figuur 2.3.



Figuur 2.3 Voorbeelden van polymere strips [44]

2.1.4 Afbakening

Dit document beschouwt de genoemde typen geokunststofwapening in zowel gridvorm als stripvorm, in relatie tot de condities waarin deze verkeren gedurende hun levensduur, en hun toepassing in civiele constructies zoals die kunnen voorkomen als geotechnische constructie in de grond- weg- en waterbouw. De toepassingsgebieden zijn beschreven in paragraaf 2.1.2.

Dit document geeft kaders voor het vaststellen van de ontwerpparameters in certificaten die betrekking hebben op de langetermijn treksterkte, stijfheid en de interactie tussen grond en geokunststofwapening voor Nederlandse (waarmee in het algemeen wordt bedoeld, het Europese deel van het Koninkrijk der Nederlanden) omstandigheden.

In het Achtergronddocument en het Voorschrift zijn materialen zoals vliezen (nonwovens) en folies in relatie tot geokunststofwapening in gewapende grondconstructies, buiten beschouwing gelaten. Ook toepassing van geocellen en geokunststoffen als funderingswapening en hun structurele toepassingswijzen zijn hier niet specifiek in meegenomen.

2.2 **Ontwerpeisen**

2.2.1 Ontwerpeisen voor geokunststoffen conform Eurocode 7 [2]

De nieuwe versie van Eurocode 7 die naar verwachting in 2024 zal worden uitgebracht, zal ten opzichte van de huidige versie meer aandacht besteden aan gewapende grondconstructies en ook specifiek aan geokunststoffen. In de conceptversie van EN 1997-3 van CEN-Technische Commissie TC250 (formeel heet deze prEN 1997-3:2022 [2], deze benaming zal ook in dit Achtergronddocument worden aangehouden) zijn gewapende grondconstructies opgenomen in hoofdstuk 9 (Reinforced fill structures).

Paragraaf 9.3.3 van [2] geeft eisen voor geokunststofwapening (Geosynthetics). Hierbij wordt met name verwezen naar de vigerende EN-uitvoerings-normen en ISO-normen:

- algemeen: NEN-EN-13251:2016 Geotextiel en aan geotextiel verwante producten - Vereiste eigenschappen voor toepassing in grondwerken, funderingen en keermuren [18];

- korteduur treksterkte geokunststofwapening: NEN-EN-ISO 10319:2015, Geokunststoffen – Trekproef op brede stroken [10];
- korteduur treksterkte van verbindingen: NEN-EN-ISO 10321:2008, Geokunststoffen – Trekproef op brede stroken aan de verbindingen/naden [11];
- materiaalafhankelijke reductiefactoren voor langeduur sterkte: NPR-ISO/TR 20432, Richtlijnen voor de sterktebepaling van geokunststoffen voor bodemversterking op lange termijn [25].

Paragraaf 9.3.3 van [2] geeft voor geokunststofwapening de volgende ontwerpeisen:

- 9.3.3(1): Geokunststofwapeningonderdelen dienen te voldoen aan de eisen uit NEN-EN 13251:2016 [18].
- 9.3.3(2): De karakteristieke waarde van de korteduur treksterkte T_k dient te worden vastgesteld conform NEN-EN-ISO 10319 [10].
- 9.3.3(3): In geval de sterkte van de geokunststofwapening vereist is voor een specifieke langere periode of gedurende een vastgestelde termijn, dan moet de karakteristieke treksterkte inclusief kruipreductie worden vastgesteld uit de isochrone kruipcurves (deze is gerelateerd aan de BGT of de bruikbaarheidsgrenstoestand).
- 9.3.3(4): Aanvullend op 9.3.3(1) dient een reductiefactor η_{gs} te worden toegepast op de treksterkte om sterktereductie in rekening te brengen.
- 9.3.3(5): De representatieve waarde van de trekweerstand $R_{t,rep;el}$ van een geokunststofwapeningselement moet worden bepaald aan de hand van formule (1):

$$R_{t,rep;el} = \eta_{gs} \cdot T_k \quad (1)$$

waarbij geldt:

$R_{t,rep;el}$	representatieve waarde trekweerstand wapeningselement [kN/m]
η_{gs}	reductiefactor voor verlies van treksterkte dat wordt verwacht, door tijd en andere invloedsfactoren [-]
T_k	karakteristieke waarde korteduur treksterkte [kN/m]

- 9.3.3(6): Deze eis beschrijft de nadelige effecten die tezamen de waarde bepalen van de reductiefactor η_{gs} en die in 9.3.3(7) nader worden gedefinieerd. Deze waarden zijn overigens de reciproke waarden van de reductiefactoren (RF) die verder gebruikt worden in dit document, en die zijn gedefinieerd in NPR-ISO/TR 20432 [25].
- 9.3.3(7): De waarde van de reductiefactor op de treksterkte van geokunststofwapening η_{gs} dient te worden vastgesteld met formule (2):

$$\eta_{gs} = \eta_{cr} \cdot \eta_{dmg} \cdot \eta_w \cdot \eta_{ch} \cdot \eta_{dyn} \cdot \eta_{js} \quad (2)$$

waarbij geldt:

η_{gs}	reductiefactor voor verlies van treksterkte dat wordt voorzien door tijd en andere invloedsfactoren [-]
η_{cr}	factor die verantwoordelijk is voor het nadelige effect van trekkruip als gevolg van aanhoudende statische belasting over de ontwerp gebruikslevensduur van de constructie bij de ontwerptemperatuur, waarbij geldt: $\eta_{cr} = 1 / RF_{CR}$ met RF_{CR} bepaald conform NPR-ISO/TR 20432 [25] [-], zie paragraaf 0 van dit document.
η_{dmg}	factor die de nadelige effecten van mechanische schade tijdens de uitvoering in rekening brengt, waarbij geldt: $\eta_{dmg} = 1 / RF_{ID}$ met RF_{ID} bepaald conform NPR-ISO/TR 20432 [25] [-], zie paragraaf 3.3.3 van dit document.
η_w	factor die de nadelige effecten van verwerking in rekening brengt, waarbij geldt: $\eta_w = 1 / RF_w$ met RF_w bepaald conform NPR-ISO/TR 20432 [25] [-], zie paragraaf 3.3.4 van dit document.
η_{ch}	factor die verantwoordelijk is voor de nadelige effecten van chemische en biologische afbraak van de geokunststofwapening gedurende de ontwerp levensduur van de constructie bij de ontwerptemperatuur, waarbij geldt: $\eta_{ch} = 1 / RF_{CH}$ met RF_{CH} bepaald conform NPR-ISO/TR 20432 [25] [-], zie paragraaf 3.3.5 van dit document.
η_{dyn}	factor die de nadelige effecten van dynamische belasting (vermoeiing) op de constructie in rekening brengt, waarbij geldt: $\eta_{dyn} = 1 / A_5$ met A_5 bepaald conform EBGEO:2011 0 [-], zie paragraaf 0 van dit document.
η_{js}	factor die de nadelige effecten vanuit verbindingen en naden in rekening brengt, waarbij geldt: $\eta_{js} = 1 / A_3$ met A_3 bepaald conform EBGEO:2011 0 en NEN-EN-ISO 10321:2008 [11] [-], zie paragraaf 3.3.7 van dit document.

Bij de bovenstaande reductiefactoren wordt verwezen naar de daar aangegeven richtlijnen NPR-ISO/TR 20432 [25] en EBGEO:2011 0, tenzij een Nationale Bijlage andere waarden voorschrijft. De reductiefactoren worden nader beschreven in paragraaf 3.3 van dit document.

9.3.3(8): De waarde van η_{cr} mag afwijken om rekening te kunnen houden met de aard van korteduur of piekbelasting (short term or rapid loading), of om de totale of post-constructie rek te beperken.

In de uiterste grenstoestand wordt tenslotte in par. 9.6.2.2.1 van prEN 1997-3:2022 [2] in formule (9.17) de rekenwaarde van de optredende trekbelasting getoetst aan de rekenwaarde van de treksterkte, waarbij de rekenwaarden van de treksterkte wordt bepaald met behulp van de partiële factoren betreffende de materiaalfactor $\gamma_{Rd,gs}$ en de materiaalfactor voor onzekerheden in de extrapolatie van effecten op de lange termijn $\gamma_{M,gs}$, die gelijk is aan f_s :

$$R_{t;d;el} = \frac{R_{t;rep;el}}{\gamma_{Rd;gs} \cdot \gamma_{M;gs}} \quad (3)$$

waarbij geldt:

$R_{t;d;el}$	rekenwaarde trekweerstand [kN/m]
$R_{t;rep;el}$	representatieve waarde trekweerstand (karakteristieke langeduur waarde of karakteristieke waarde voor de referentieperiode) [kN/m]
$\gamma_{Rd,gs}$	modelfactor die rekening houdt met extra onzekerheid als gevolg van extrapolatie van gemeten sterktes naar de ontwerp levensduur zoals gegeven in ISO TR 20432 [25] en welke overeenkomt met f_s [-]
$\gamma_{M,gs}$	materiaalfactor voor de treksterkte van de geokunststofwapening

2.2.2 Ontwerpeisen voor geokunststoffen volgens CUR-richtlijnen

Bovenstaande formulering uit paragraaf 9.3.3 van prEN 1997-3:2022 [2] en reciproke waarden van de genoemde factoren zijn in lijn met formules (4.1) en (4.2) uit CUR 198 [31], waarbij voor de treksterkte geldt in de uiterste grenstoestand:

$$R_{g;ld;k} = \frac{R_{g;kd;k}}{RF_{CR} \cdot RF_{ID} \cdot RF_W \cdot RF_{CH} \cdot f_s} \quad (4)$$

met daarbij:

$$R_{g;ld;d} = \frac{R_{g;ld;k}}{\gamma_R} \quad (5)$$

waarbij geldt:

$R_{g;ld;d}$	rekenwaarde van de lange duur treksterkte van de geokunststof (polymere) wapening waarin tevens reductiefactoren zijn verwerkt voor onder meer kruip, mechanische beschadiging en milieu-effecten [kN/m]
$R_{g;ld;k}$	karacteristieke waarde van de langeduur treksterkte van de geokunststof (polymere) wapening waarin tevens reductiefactoren zijn verwerkt voor onder meer kruip, mechanische beschadiging en milieu-effecten [kN/m]
$R_{g;kd;k}$	karacteristieke waarde van de korte duur treksterkte [kN/m], dit is de korte duur sterkte van de geokunststof wapening aan het einde van het productieproces in de fabriek, met een zekerheid van 95% tot 99% (de zekerheidsmarge varieert per leverancier)
RF_{CR}	reductiefactor voor kruip [-], zie paragraaf 3.3.2 van dit document.
RF_{ID}	reductiefactor voor mechanische beschadiging tijdens transport, inbouw en verdichting [-], zie paragraaf 3.3.3 van dit document.
RF_W	reductiefactor voor weersinvloeden en UV-licht [-], zie paragraaf 3.3.4 van dit document.
RF_{CH}	reductiefactor voor aantasting ten gevolge van omgevingsinvloeden [-], zie paragraaf 3.3.5 van dit document.
f_s	factor die de onzekerheid van de extrapolatie van meetdata naar einde levensduur in rekening brengt [-]
γ_R	materiaalfactor op de treksterkte van de polymere wapening (zie tabel 2.5 van CUR 198 [31] voor gewapende grond; voor paalmatrasen gelden waarden uit tabel 2.5 van CUR 226 [32]).

In formule (4) onbreken twee reductiefactoren ten opzichte van formule (1) en (2) uit prEN 1997-3:2022 [2]. Dat zijn de reductiefactoren voor dynamische effecten (η_{dyn}) en die voor naden en/of verbindingen (η_{js}). Ze staan wel in het Voorschrift en in formule (6) in paragraaf 3.3.1 van dit Achtergrondrapport. Ze worden ook in dit Achtergrondrapport beschreven in paragraaf 0. De reductiefactoren η_{dyn} en η_{js} zijn in EBGeo [37] gedefinieerd als de reciproke waarden van respectievelijk A_5 en A_3 . In hoofdstuk 3 zijn deze factoren toegevoegd in de uitbreiding van de bovenstaande formule (4).

2.3 **Kwaliteitseisen**

2.3.1 Regelgeving

Sinds 1 juli 2013 is de EU Construction Product Regulation (CPR 305/2011) van kracht, waaronder alle leveranciers van geokunststoffen een CE merk voor hun product hebben en de eigenschappen van hun product juridisch bindend moeten aangeven.

Voor de lange duur eigenschappen staan de eisen geformuleerd in NEN-EN 13249:2016 [15] of NEN-EN 13251:2016 Annex B [18]. Hierin staat o.m. beschreven hoe het kwaliteitscontrolesysteem voor geokunststoffen is geregeld en hoe de durability (levensduur – service life) bepaald moeten worden m.b.v. screening tests en hoe ze gerapporteerd moeten worden.

De toepassingsnorm verwijst naar ISO/TS 13434:2008, welke inmiddels is vervangen door NPR-ISO/TR 20432:2022 [25]. Deze beschrijft wat een long-term durability assessment inhoudt (voor alle toepassingen langer dan 25 jaar) en hoe de uitkomsten ervan geëvalueerd moeten worden. Deze norm sluit nauw aan bij de berekening volgens prEN 1997-3:2022 [2]. Hiernaar wordt in paragraaf 2.2.1 van dit Achtergrondrapport meerdere keren naar verwezen.

In hoofdstuk 8 is een overzicht gegeven van ondermeer de normen en richtlijnen en de vigerende versies. In dit Achtergronddocument betreffen de genoemde normen en richtlijnen de vigerende versies. Daar waar versie-specifiek wordt verwezen is de versie, het jaartal, toegevoegd.

2.3.2 Controle van gegevens

De korte-duur eigenschappen worden door de fabrikant vastgesteld en goedgekeurd door een Notified Body (NB) certificeringsinstituut tijdens de Initial type test (ITT). Hierna test de fabrikant volgens vaste testschema's en frequentie. Dit wordt jaarlijks gecontroleerd door de NB. Hierover wordt een zogenaamde "Certificate of conformity of the factory production control" door de NB afgegeven. De waarden die voor het product zijn afgegeven worden door de fabrikant in een vast schema door middel van de zogenaamde "Declaration of Performance" bevestigd (zie ook Bijlage B3).

In feite wordt er niet gecontroleerd of de producten op de bouwplaats (nog) wel voldoen aan de afgegeven waarden. Hiervoor zou er controle op de bouwplaats uitgevoerd moeten worden, zoals ook aanbevolen in CUR-aanbeveling 115 [27]. De wijze van uitvoering van deze controle staat beschreven in NPR-CEN/TR 15019:2005 [23]. Deze methodiek is tevens opgenomen in CUR-Bouwcompact – Duurzaamheid van geokunststoffen [33] en in de bijlagen van bovengenoemde CUR-aanbeveling 115, waarin ook voorbeelden van afnameformulieren zijn opgenomen.

Om de inspectie op de bouwplaats te vermijden is door de Duitse Gesellschaft für Geotechnik, Arbeitskreis 5.2 (DGGT) aan het Industrieverband Geokunststoffen verzocht een certificeringssysteem samen met de Bundesanstalt für Straßenbau (BASt) op te zetten. (een IVG Zertifikat wordt als kwaliteitslabel afgegeven, zie [68]). Nagenoeg alle geokunststoffen die op de Nederlandse markt gebracht worden hebben zo'n certificaat. Het zou dus een goede aanvulling in het kwaliteitsbeheer zijn als dit certificaat ook in Nederland gevraagd zou worden in de uitschrijvingsteksten. Voor producten die zo'n certificaat hebben, hoeft dan conform NPR-CEN/TR 15019:2005 geen kwaliteitscontrole meer op de bouwplaats uitgevoerd te worden. Het kost de leveranciers dus niets extra, en er worden geen producten uitgesloten.

Voor producten die geen IVG Zertifikat hebben, moet normale kwaliteitscontrole op de bouwplaats uitgevoerd worden volgens NPR-CEN/TR 15019:2005. Deze kwaliteitscontrole kost wachttijd voor de aannemer. Het kan dus voordeliger zijn voor de aannemer om een gecertificeerd product te gebruiken. Producten met certificaat hoeven niet meer gecontroleerd te worden. Het IVG merk wordt naast het CE merk op de producten zelf afgedrukt.

De fabrikant moet vervolgens de gegevens van genoemde kwaliteitscontrole op de bouwplaats, uitgevoerd volgens NPR-ISO/TR 20432 [25], afgeven aan de opdrachtgever. De ontwerper kan dan controleren of de materiaalspecifieke reductiefactoren (RF's) waarmee is gerekend ook overeenstemmen met de reductiefactoren (RF's) die behoren bij het product en die de fabrikant moet aanleveren. Deze waarden worden meestal niet in het werk gecontroleerd waardoor het aan de ontwerper is of deze akkoord gaat met de aangeleverde documenten. Zo niet, dan gebruikt de ontwerper veilige waarden ("default values"), die voorgeschreven zijn en die een stuk conservatiever zijn (en dus veel onaantrekkelijker zijn voor de leverancier). Daarom is de verwachting dat de gegevens die de fabrikant volgens de toepassingsnormen aanlevert, ook goed moeten zijn. Deze methode is geïmplementeerd in de EBGeo [37] en wordt veel toegepast in Duitsland. De methode is voor Nederlandse toepassing beschreven in CUR Bouwcompact - Duurzaamheid van geokunststoffen [33].

Bijlage 2 geeft een overzicht van de testen die nodig zijn om materiaaleigenschappen vast te stellen in relatie tot de functie van een geokunststof. De tabel is afkomstig van CUR-Bouwcompact – Duurzaamheid van geokunststoffen [33]. De ontwerpaspecten worden onderverdeeld in materiaaleigenschappen. De tabel geeft vervolgens aan wanneer een materiaaleigenschap belangrijk is voor een functie, en wanneer de eigenschap wel of niet moet zijn vastgelegd tijdens het ontwerp. Voor geokunststof wapening als constructief element is met name de functies "wapenen" en "afdichten" (verbinding facing) relevant. Deze worden in de 4e en 5e kolom beschreven. Samengevat betreffen dit de testen voor de volgende (mechanische en thermische) materiaaleigenschappen:

Mechanische ontwerpeigenschappen:

- treksterkte en axiale stijfheid;
- treksterkte van verbindingen;
- vervorming bij bezwijken;
- statische doordrukkracht;
- dynamische doordrukkracht;
- wrijving, afschuiven (direct shear test);
- wrijving, pull out test
- schade gedurende inbouw.

Thermische ontwerpeigenschappen:

- thermische uitzetting;
- langeduur testen;
- weerstand tegen weersinvloeden;
- weerstand tegen chemische veroudering;
- weerstand tegen microbiologische aantasting;
- environmental stress cracking.

3 Sterkte geokunststofwapening

3.1 Algemeen

Hoofdstuk 3.1 van het Voorschrift Ontwerpparameters geokunststofwapening geeft de eisen volgens welke de langeduur treksterkte van geokunststof moet worden bepaald. Dit hoofdstuk in dit Achtergrondrapport geeft een achtergrond bij dat hoofdstuk 3.1 van het Voorschrift.

Om aan te tonen dat een constructie met geokunststoffen voldoet aan de prestatie-eisen moet voor de hele levensduur de sterkte van de toegepaste geokunststoffen éénduidig worden vastgesteld. Dit hoofdstuk gaat over de axiale treksterkte van de geokunststof. De proeven om de korteduur sterkte en de reductiefactoren om de sterkte einde levensduur te bepalen zijn vastgesteld in NEN, ISO en ASTM normen en testmethoden. De resultaten van deze proeven worden door certificeringsbureaus gecontroleerd en verwerkt. Dit proces is goed gedocumenteerd.

De sterkte einde levensduur van een geokunststof is sterk afhankelijk van de omstandigheden waarin het wordt toegepast. Geokunststoffen degraderen door verschillende oorzaken zoals blootstelling aan UV-straling, milieuomstandigheden (zuurgraad) van het aanvulmateriaal, inbouwbeschadiging en kruip. Door kruip treden er met de tijd doorgaande vervormingen op, waarbij de kruip sterk afhankelijk is van de verhouding tussen belasting en maximale sterkte, de tijdsduur en de temperatuur. Een ontwerper maakt bij het vaststellen van de materiaaleigenschappen einde levensduur allerlei keuzes die een grote invloed op het eindresultaat kunnen hebben.

De toepasbaarheid van dit hoofdstuk beperkt zich hier tot de in paragraaf 2.1.4 genoemde met geokunststof gewapende of verankerde grondconstructies.

Dit hoofdstuk geeft in paragraaf 3.2 een korte inleiding op afbraakmechanismen en veroudering. Paragraaf 3.3 geeft vervolgens achtergronden bij de verschillende reductiefactoren waarvoor het Voorschrift de eisen geeft. Deze achtergronden gaan achtereenvolgens over kruip, inbouwschade, UV Blootstelling, Omgevingsinvloeden, dynamische belasting en verbindingen, overlappingsen en naden.

3.2 Afbraakmechanismen en veroudering

3.2.1 Afbraakmechanismen

De belangrijkste afbraakmechanismen van geokunststoffen, aangebracht in de grond, zijn:

- De mechanische belasting kan een doorgaande rek veroorzaken, ook wel kruip genoemd.
- Dynamische belastingen
 - veroorzaakt door verkeer kunnen leiden tot bezwijken als gevolg van vermoeiing (degeneratie);
 - veroorzaakt door aardbevingen kunnen hoge dynamische piekbelastingen geven.
- Langzame chemische afbraak als gevolg van reacties met zuurstof, water of opgeloste stoffen in de grond
 - Aan onder meer polypropyleen en polyethyleen worden speciale chemische stoffen toegevoegd, zogenaamde anti-oxidanten, die oxidatie tegengaan. Op lange termijn worden deze anti-oxidanten verbruikt, lossen op of worden ineffectief, waardoor het oxidatie proces begint.

- Hydrolyse ontstaat bij polyesters die in contact komen met water, dit is een heel langzaam proces dat afhankelijk is van de temperatuur.
- Bij polyamide kan zowel oxidatie als hydrolyse optreden.
- Sommige geokunststoffen kunnen aangetast worden door knaagdieren, wortels van planten of micro-organismen.

Naast bovengenoemde veroudering en de afbraak van geokunststoffen, is het belangrijk te vermelden dat er andere omstandigheden en invloeden zijn die de bestendigheid van een geokunststof kunnen aantasten. Dit kan zowel voor als tijdens de inbouw veroorzaakt zijn door:

- productiefouten (te lange tijd in de extruder of temperatuurverschillen tijdens de extrusie);
- beschadiging tijdens het transport;
- te hoge temperaturen gedurende lange tijd (bijv. transport in containers in tropische gebieden);
- beschadiging tijdens het laden, afladen en opslag;
- opslag zonder voldoende afdekking;
- te lange tijd blootgesteld aan UV tijdens de inbouw;
- schade tijdens de installatie.

3.2.2 Methoden van levensduurbepaling

De meeste commercieel verkrijgbare geokunststoffen hebben zichzelf bewezen in de vijftig jaar dat ze nu toegepast worden. Daarbij komt nog dat de kwaliteit van deze producten verbeterd is in de tijd. Deze ervaring, samen met een beter begrip van de fysica en chemie van de afbraakmechanismen, heeft ertoe geleid dat screening of indextesten ontwikkeld konden worden.

Levensduurbepaling kan gebaseerd zijn op:

- metingen aan opgegraven materiaal, waarna een extrapolatie plaatsvindt;
- resultaten van eenvoudige (index) testen, die in korte tijd uitgevoerd kunnen worden; dit zijn controle testen, zij geven de zekerheid dat een conventioneel geokunststof, toegepast in omstandigheden (dat wil zeggen: binnen bepaalde grenzen), minstens 100 jaar zijn functie behoudt;
- uitvoeren en beoordelen van versnelde proeven.

De enige manier waarop voldoende informatie verkregen kan worden voor een levensduurbepaling van meer dan 25 jaar, is het uitvoeren van versnelde proeven.

De bepaling van de resultaten en het vaststellen van de verwachte levensduur kan alleen gedaan worden door experts.

Een dergelijke uitvoerige bepaling van de levensduur is vereist in de volgende gevallen:

- bij nieuwe of veranderde polymeren;
- bij hoge temperaturen;
- in sterk agressieve omstandigheden;
- bij een vereiste levensduur van meer dan 10 gedurende de bouwfase en 25 jaar gedurende de gebruiksfase (vanaf ontwerplevensduurklasse 3 conform tabel 2.1 van NEN-EN 1990 [1]).

Deze bepaling is gebaseerd op een nauwkeurige definitie van de grondstof van het geokunststof en van de omstandigheden waarin het gebruikt wordt. Tegelijkertijd vereist het ook kennis van de soorten verouderingsmechanismen die op kunnen treden.

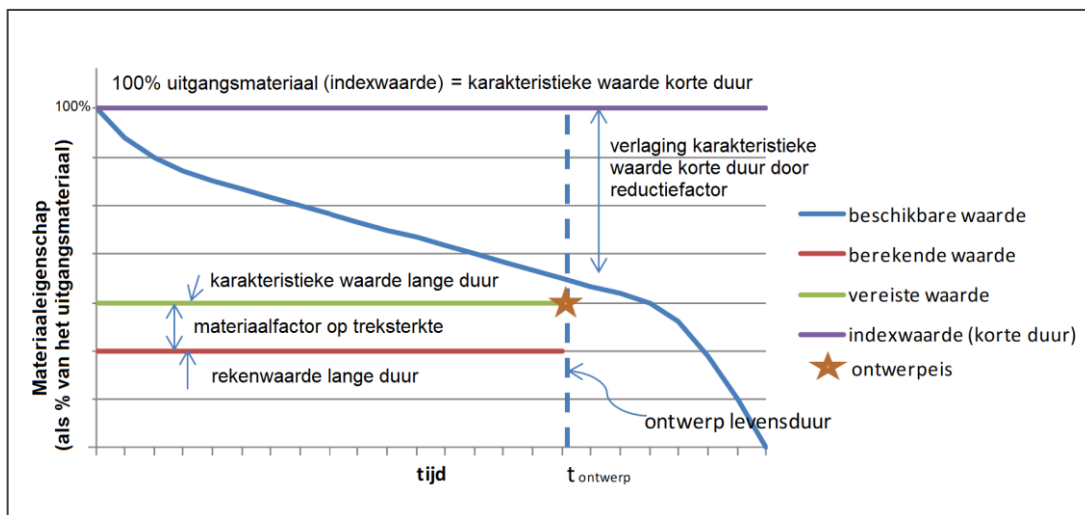
De levensduur van een geokunststof, dus de weerstand tegen chemische afbraak, hangt af van:

- het type polymeer;
- de macroscopische structuur van het geokunststof, zoals dikte van geomembranen of diameter van filamenten of garens;
- de zuiverheid van de grondstoffen en de mate van verontreiniging;
- het polymerisatieproces en de katalysatoren die erbij gebruikt zijn;
- copolymerisatie, dat in het algemeen de levensduur vermindert;
- het productieproces waarmee het geokunststof geproduceerd is uit de basisgrondstoffen;
- de opslag van de grondstoffen voor en na bewerking;
- de toeslagmaterialen;
- een eventuele coating.

3.2.3 Veroudering

Het doel van de levensduurvoorspelling is bij de meeste toepassingen: het zeker stellen dat de verwachte levensduur van het geokunststof groter is dan de vereiste levensduur in de constructie.

In sommige gevallen kan volstaan worden met een reductie van de indextest waarden. De korte duur (index) waarde van een eigenschap van een product wordt gedeeld door de reductiefactoren zodat de verwachte lange termijn waarde van deze eigenschap bepaald wordt. Zo wordt bijvoorbeeld de karakteristieke langeduur treksterkte bij een grondwapening bepaald, een voorbeeld welke afkomstig is uit het boek *Durability of Geosynthetics* [33] is weergegeven in Figuur 3.1.



Figuur 3.1 Ontwikkeling materiaaleigenschap in de tijd: bij $t_{ontwerp}$ is de waarde van de beschikbare materiaaleigenschap \geq vereiste karakteristieke waarde lange termijn [33]

De eigenschappen van een geokunststof kunnen in de tijd veranderen als gevolg van:

- oxidatie;
- hydrolyse;
- UV straling en weersinvloeden;
- kruip;
- schade tijdens installatie.

Bij de sterkte moet dus rekening gehouden worden met deze verouderingsaspecten. In de tabel in Figuur 3.2, eveneens afkomstig uit [33], zijn enkele afbraakmechanismen toegevoegd welke van belang zijn bij de levensduurbepaling in relatie tot de functie van het geokunststof voor enkele kunststofmaterialen. Figuur 3.3 geeft vervolgens aan op welke manier de effecten van de afbraak mechanismen verwerkt worden bij de bepaling van de levensduur voor enkele kunststoffen. Dit kan zijn door de toepassing van een reductiefactor op de (korte duur)index waarde of, in geval de verwachte levensduur beperkt is, zal de maximale gebruikslevensduur aangegeven worden.

Mechanisme:	Oxidatie	Hydrolyse	UV en weersinvloeden	Kruip	Samendrukkingskruip	Installatie schade
Hoofdstuk:	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6
	PP, PE 1)		PET 1)			
Functie						
Filteren	o	o	+	-	-	+
Scheiden	o	o	+	-	-	+
Drainage	o	+	+	-	+	+
Wapening	+	+	+	+	-	+
Waterdicht scherm	+	-	+	-	-	-
Erosie bescherming	o	o	+	-	-	+
Verpakken	o	+	+	+	-	+
1) alleen relevant indien het geokunststof is gemaakt van deze polymeren.						
+ betekent relevant voor deze functie						
o betekent relevant voor deze functie in sommige gevallen						
- betekent niet relevant voor deze functie						

Figuur 3.2 Relevantie van de verschillende afbraakmechanismen voor specifieke functies, de aangegeven hoofdstukken zijn te vinden in het boek *Durability of Geosynthetics* [33]

Mechanisme:	Oxidatie	Hydrolyse	UV en weersinvloeden	Kruip	Samendrukkingskruip	Installatie schade
Hoofdstuk:	1.7.4; 3.1	1.7.4; 3.2	1.7.3; 3.3	1.7.1; 3.4	1.7.7; 3.5	1.7.2; 3.6
	PP, PE 1)		PET 1)			
Belangrijkste eigenschap						
Openingsgrootte	Keur goed en pas een RF _{CH} toe /keur af	Keur goed en pas een RF _{CH} toe /keur af	Tijd waarin het onafgedekt mag liggen	Verhoog de indexwaarde indien van toepassing 2)	Pas RF _{CC} toe	Verhoog de indexwaarde indien van toepassing 2)
Doorlatendheid	Keur goed en pas een RF _{CH} toe /keur af	Keur goed en pas een RF _{CH} toe /keur af	Tijd waarin het onafgedekt mag liggen	Verhoog de indexwaarde indien van toepassing 2)	Pas RF _{CC} toe	Verhoog de indexwaarde indien van toepassing 2)
Afvoervermogen in het vlak	Keur goed en pas een RF _{CH} toe /keur af	Keur goed en pas een RF _{CH} toe /keur af	Tijd waarin het onafgedekt mag liggen	Check of RF _{CR} nodig is	Pas RF _{CC} toe	Keur goed en pas RF _{FD} toe /keur af
Treksterkte	Keur goed en pas een RF _{CH} toe /keur af	Pas RF _{CH} toe	Tijd waarin het onafgedekt mag liggen	Pas RF _{CR} toe	N/A	Pas RF _{FD} toe
Rek	Keur goed en pas een RF _{CH} toe /keur af	Pas RF _{CH} toe	Tijd waarin het onafgedekt mag liggen	Pas RF _{CR} toe	N/A	Pas RF _{FD} toe
Doordruk weerstand	Keur goed en pas een RF _{CH} toe /keur af	Pas RF _{CH} toe	Tijd waarin het onafgedekt mag liggen	Pas RF _{CR} toe	N/A	Pas RF _{FD} toe
1) alleen van belang indien het geokunststof gemaakt is van deze polymeren.						
2) De openingsgrootte of de doorlatendheid kunnen vergroot worden als resultaat van kruip of installatie schade; pas een RF<1 toe indien relevant						
Keur goed en pas een RF _{CH} toe /keur af: Keur het materiaal af indien de verwachte levensduur korter is dan de vereiste levensduur; zo niet pas een RF _{CH} toe						

Figuur 3.3 Verwerking van de effecten van de afbraakmechanismen op de bepaling van de levensduur, de aangegeven hoofdstukken zijn te vinden in het boek *Durability of Geosynthetics* [33]

3.3 Reductiefactoren op materiaalgedrag

3.3.1 Definitie reductiefactoren conform vigerende toepassingsnormen

De verschillende reductiefactoren die in deze paragraaf aan de orde komen, zijn weergegeven volgens de schrijfwijze uit de toepassingsnormen (NEN-EN-ISO en NPR-ISO norm NPR-ISO/TR 20432 [25]) en welke eenvoudig aan de hand van de reciproke waarden kunnen worden toegepast in de formules zoals die zijn beschreven in paragraaf 9.3.3 van prEN 1997-3 [2].

Uitgangspunt vormt formule (3) uit CUR 198 [31] met de in paragraaf 2.2.2 beschreven grootheden, welke hieronder is aangevuld met de factoren voor dynamische effecten en naden/verbindingen:

$$R_{g;ld;k} = \frac{R_{g;kd;k}}{RF_{CR} \cdot RF_{ID} \cdot RF_W \cdot RF_{CH} \cdot RF_{DYN} \cdot RF_{JS} \cdot f_s} \quad (6)$$

De karakteristieke waarde voor korteduur treksterkte ($R_{g;kd;d}$ in bovengenoemde CUR 198 oftewel T_k in prEN 1997-3) is gedefinieerd in NEN-EN-ISO 10319 [10] met de korteduur treksterkte van de geokunststof wapening aan het eind van het productieproces in de fabriek, met een zekerheidsondergrens van 95% aan beide zijden welke ongeveer overeenkomt met de gemiddelde sterkte minus twee standaarddeviaties. In de praktijk bieden de meeste producenten overigens een hogere zekerheid met een ondergrens tot 99%.

Aan bod komen achtereenvolgens de volgende reductiefactoren welke alle staan beschreven in NPR-ISO/TR 20432 [25] (waarin ook vervolgens wordt verwezen naar de achterliggende onderzoeksnormen):

- RF_{CR} : reductiefactor ten gevolge van kruip;
- RF_{ID} : reductiefactor voor mechanische beschadiging tijdens transport, inbouw en verdichting;
- RF_W : reductiefactor voor weersinvloeden en UV-licht;
- RF_{CH} : reductiefactor voor aantasting ten gevolge van omgevingsinvloeden, waaronder:
 - alkalische en zure omstandigheden;
 - hydrolyse bij hoge temperatuur en invloed water;
 - oxidatie oftewel verbrossing door veroudering;
 - biologische aantasting door micro-organismen en knaagdieren;
- RF_{DYN} : reductiefactor voor ongunstig werkende dynamische effecten;
- RF_{JS} : reductiefactor voor ongunstige effecten vanuit verbindingen en naden, ook relevant voor hergebruik van delen geokunststof die opnieuw verbonden zijn;
- f_s : reductiefactor ten gevolge van de onzekerheden bij extrapolatie van de testdata en degradatie door chemische invloeden naar de langere termijn.

Als grondbeginsel geldt voor de reductiefactoren de volgende principiële aanpak met de volgende drie niveaus conform het Voorschrift: de desbetreffende reductiefactor dient te worden bepaald volgens één van de volgende onderstaande methoden:

1. default waarde (veilige ondergrenswaarde);
2. certificaat;
3. projectspecifieke proeven.

In principe wordt zoveel mogelijk beoogd om projectspecifieke proeven uit te voeren (die aan de daarvoor gespecificeerde en bepaalde voorwaarden voldoen), maar voor de ontwerppraktijk zullen default waarden (veilige ondergrenswaarden) of waarden uit het certificaat (veilige productspecifieke waarden) worden toegepast.

In de volgende paragrafen komen de reductiefactoren met daarbij de default waarden en beschrijving van de projectspecifieke proeven (voor zover mogelijk) één voor één aan bod.

3.3.2 RF_{CR}: reductie door kruip

3.3.2.1 *Algemeen*

Bij een langdurige constante belasting treedt er kruip (doorgaande verplaatsing) en reductie van de maximale treksterkte op. De degradatie is afhankelijk van de grootte van een belasting en de tijdsduur ervan. Ook de temperatuur heeft invloed op de degradatie van een geokunststof. Daarnaast is aangetoond dat bij herbelasten een geokunststof stijf reageert en tendeert naar de originele kruipcurve (Hirakawa, 2003 [51]). Kruiptesten op polymeren kunnen worden uitgevoerd volgens hoofdstuk 7 van NPR-ISO/TR 20432 [25].

3.3.2.2 *Kruip tijdens bouw- en gebruiksfase*

Het komt nog wel eens voor dat gedurende de bouwfase de belastingen hoger zijn dan in de eindfase. In de praktijk wordt vaak ook gedurende de bouwfase met andere kruipinvloeden gerekend dan voor de eindfase van toepassing zijn. De huidige adviespraktijk is daarbij:

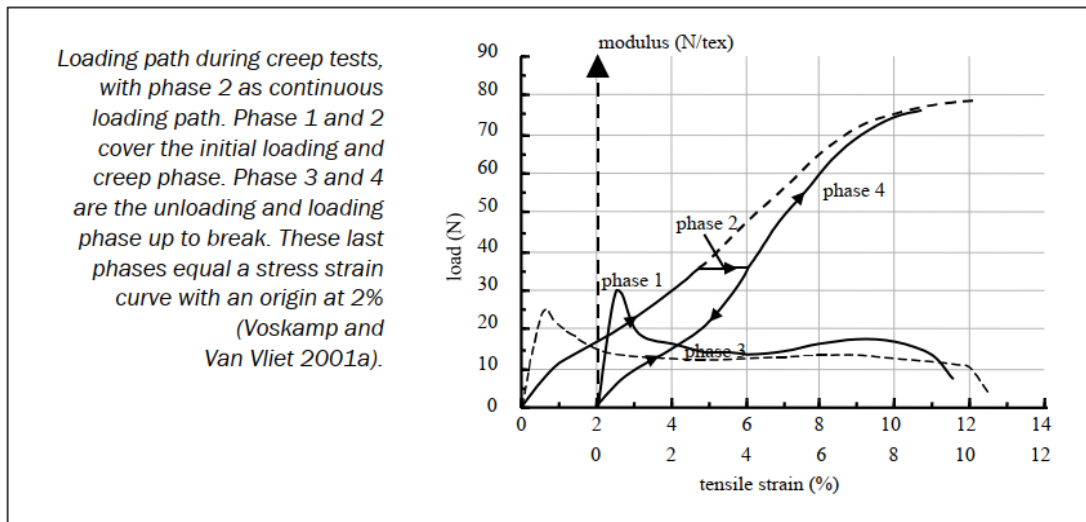
- controle bouwfase (in zowel de bruikbaarheidsgrenstoestand als in de uiterste grenstoestand) met de hoge belasting en de treksterkte behorende bij het moment waarop die belasting aanwezig is (dus indien de heistelling 3 maanden na inbouw aanwezig is, wordt getoetst op de treksterkte behorende bij 3 maanden);
- controle eindfase (in zowel de bruikbaarheidsgrenstoestand als in de uiterste grenstoestand) met lagere belasting en langere levensduur.

3.3.2.3 *Kruip tijdens korte piekbelastingen en seismische belastingen*

In CUR 243 Durability of geosynthetics [33] zijn veel effecten en invloedsfactoren beschouwd die betrekking kunnen hebben op kruipgedrag bij op trek belaste geokunststoffen. Voor korte piekbelastingen die incidenteel voorkomen (dus niet herhaaldelijk) kan je volgens par. 3.4.5 van CUR 243 [33] ontwerpen met de korteduur treksterkte. Dus zonder kruipreductie. In geval bijvoorbeeld een geokunststofwapening gedurende een gebruikperiode van 50 jaar voor slechts 20% van de korteduur treksterkte wordt belast en er komt een incidentele piekbelasting, dan is het materiaal in staat deze op te nemen zolang de korteduurbelasting niet wordt overschreden. Dit geldt alleen voor kortdurende piekbelastingen, bij langere hoge belastingen moet de reductie in rekening worden gebracht behorende bij de duur van die belasting.

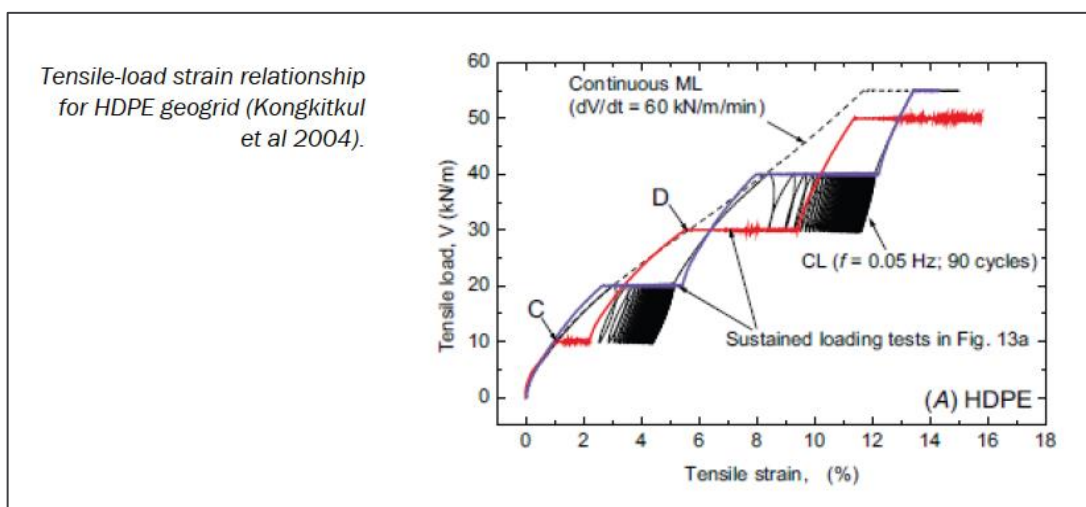
Uit de kruipproeven die ondermeer zijn onderzocht en beschreven in CUR 243 [33] is geconstateerd dat de residuele sterkte van polyester in de tijd niet afneemt totdat de maximale kruip (die gelijk is aan de kruip bij breuk bij korte duur belasting) bereikt is en het materiaal bezwijkt. Hiervoor zijn onder andere proefmonsters gedurende 12 jaar belast met verschillende belastingen, waarna de proef is beëindigd en de reststerkte is bepaald. Ook verschillende kunstmatig uitgevoerde beschadigingen zijn zo langjarig onderzocht. Alle proeven gaven met een marge van een paar procent dezelfde korte termijn sterkte, wat ook overeen blijkt te komen met het kruipmodel van polyester [52].

Na de piekbelasting valt de belasting weer terug op het oorspronkelijke niveau. De kruip zelf die gedurende de kortdurende piekbelasting heeft plaatsgevonden, is wel permanent vanwege de hogere creep rate, maar geeft een kleine verschuiving in de stress-strain curve. Ten opzichte van de oorspronkelijke stijfheid, zal door de kruip die reeds is ontwikkeld voordat de piekbelasting optrad, de stijfheid van de materiaal (dus de modulus) hoger geworden zijn. Dit is geïllustreerd in de grafiek rechts in Figuur 3.4. De uitgebreide beschrijving is opgenomen in paragraaf 3.4.5 van CUR 243 [33].



Figuur 3.4 Belastingpad gedurende kruip testen met onlast-herbelast gedrag [33]

Bovenstaande effecten zijn ook relevant in geval van seismische belastingen. Ook hier geldt dat op voorwaarde dat de geokunststofwapening nog niet in de buurt komt van de bezwijkbelasting met kruip, de sterkte vrijwel onafhankelijk is van zijn kruip- en belastinggeschiedenis en met name afhangt van de belastingsnelheid van de kortstondige extra belasting. De stijfheid die op dat moment optreedt houdt geen verband met de isochrone krommen, maar is vrijwel gelijk aan de initiële waarde. Dit is ook geïllustreerd in Figuur 3.5.



Figuur 3.5 Effect van onlast-herbelast gedrag in spanning-rek diagram [33]

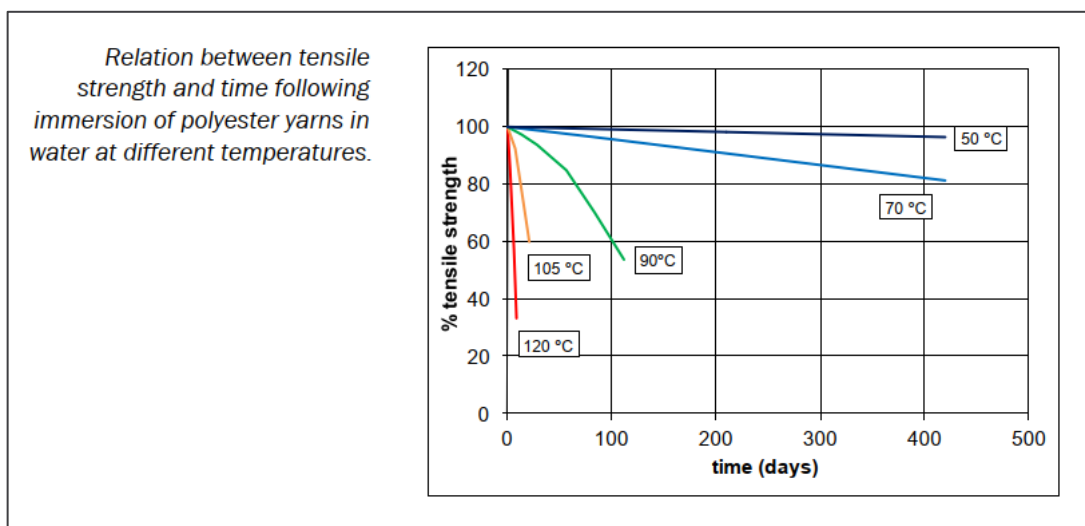
Als de monotome (oplopende) belasting wordt onderbroken door een periode kruip of dynamische belasting en vervolgens wordt hervat, dan keert de rek blijkbaar terug naar de oorspronkelijke belasting-rek curve. De kruipbelasting vormt geen onomkeerbare degradatie maar kan meer als een omkeerbare verandering van toestand worden beschouwd.

Naast het gedrag in de geokunststof wapening zal tijdens een seismische belasting ook de grond gedurende de korte belastingtijd stijver reageren en afhankelijk van de invloed van grondwater mogelijk ook ongedraineerd. Deze effecten zullen ook in een seismische toestand moeten worden meegenomen, evenals degradatie-effecten anderzijds zoals tijdelijke reductie van de sterkte van de ondergrond door bijvoorbeeld verweking.

3.3.2.4 Invloed van temperatuur op kruip

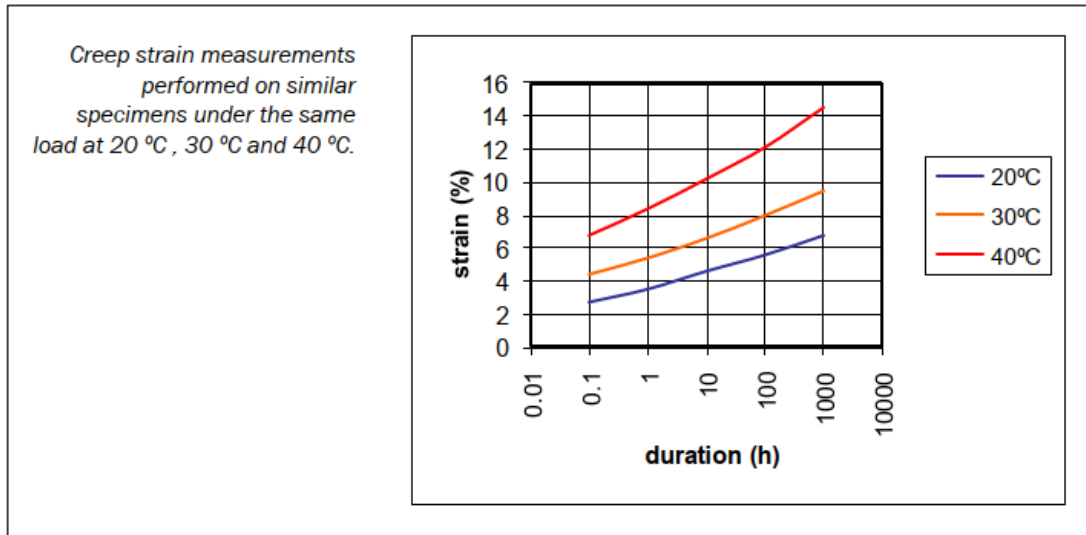
Geokunststoffen worden in principe gedimensioneerd op een ontwerptemperatuur van maximaal 20°C gedurende hun hele levensduur. Temperatuur blijkt echter invloed te hebben op de degradatie van een geokunststof als deze daaraan wordt blootgesteld, waarbij de degradatie kan worden verdubbeld bij elke circa 10 graden temperatuursstijging. Daarbij speelt de mate van afscherming van de geokunststofwapening een essentiële rol. Het verticale deel van gewapende grond wordt, zeker als deze alleen maar afgeschermd is door bijvoorbeeld een UV-bestendig doek, nogal eens aan hogere temperaturen blootgesteld. Daarnaast kan ook hij de horizontale wapeningslagen gedurende een bepaalde periode de temperatuur hoger worden, bijvoorbeeld door lokale effecten (bezwijken warmwatertransportleidingen e.d.).

In paragraaf 2.3.9.7 van CUR 243 [33] is het effect van temperatuur op geokunststoffen nader beschouwd. Aan de hand van de formule van Arrhenius en proeven is daarin de reductie van de treksterkte van geotextiel in water met verschillende temperaturen over verschillende perioden beproefd en beschreven. Hieruit volgt dat voor temperaturen beneden 50°C het effect op treksterkte niet significant is, zoals blijkt uit Figuur 3.6. Boven de 50°C zullen met name chemische effecten een rol gaan spelen met betrekking tot de zogenaamde glas-transitie temperatuur.



Figuur 3.6 Relatie tussen temperatuur en treksterkte geokunststoffen [33]

Met betrekking tot de stijfheid is de invloed van de temperatuur wel significant, zoals dat uit Figuur 3.7 blijkt. Hierbij moet echter wel de vraag worden gesteld of een situatie van 30°C gedurende de levensduur van een geokunststofwapening ook daadwerkelijk als representatief kan worden beschouwd.



Figuur 3.7 Relatie tussen temperatuur en rek geokunststoffen voor PE [33]

Voor het ontwerp gelden in principe temperatuurscondities van 20°C, gerekend als gemiddeld over dag en nacht en gedurende de levensduur (in Nederland bedraagt de gemiddelde luchttemperatuur 11,5°C en is dus beduidend lager dan de ontwerptemperatuur). Daarbij speelt ook dat het dag-nacht temperatuursverschil op een meter diepte in de grond echter niet meer noemenswaardig is (in-soil temperatuur van 10°C voor de geokunststofwapening in de grond en voor de facing mogelijk een hogere in-soil temperatuur tot 20°C, zie ook [70]). Hieruit kan worden vastgesteld dat temperatuurseffecten vanuit de buitenlucht in Nederland geen rol van betekenis zullen spelen op het kruipgedrag van geokunststofwapening in gewapende grondconstructies.

3.3.2.5 Conclusies kruipreductie RF_{CR} in ontwerp

Met betrekking tot reductie door kruip gelden ten behoeve van het ontwerp van de geokunststofwapening in de gewapende grondconstructie de volgende punten:

- Voor de kruipreductie gelden in principe de materiaalspecifieke gegevens zoals die door de leverancier zijn vastgesteld voor het type geokunststofwapening en zoals die zijn bepaald uit kruiptesten conform NPR-ISO/TR 20432 [25].
- Indien deze niet bekend of beschikbaar zijn, moet worden teruggevallen op de (zeer conservatieve) waarden zoals die zijn vermeld in de EBGEO [37]
- Voor korteduurbelastingen mag worden gerekend met de bijbehorende kortere duur treksterkten, zolang de geokunststofwapening nog niet in de buurt is gekomen van de bezwijkbelasting met kruip.
- Ook voor seismische belastingen mag worden gerekend met de korteduursterkte. De stijfheid gedurende deze belasting is nagenoeg gelijk aan de initiële stijfheid. Voor een VO-ontwerp kan worden uitgegaan van een reductiefactor gelijk aan 1,1 en voor het definitieve ontwerp met een reductiefactor die bij het gekozen polymeer hoort, zie ook par. 3.3.6.

- Met betrekking tot het effect van mogelijk langdurige warme periodes op zowel de treksterkte als op het kruipgedrag van geokunststofwapening in gewapende grondconstructies in Nederland is de ontwerptemperatuur van 20°C gedurende de levensduur ook in Nederland representatief (in-soil temperatuur van 10°C voor de geokunststofwapening in de grond en voor de facing mogelijk een hogere in-soil temperatuur tot 20°C). In het Voorschrift gelden verschillende eisen voor de situatie met referentietemperatuur en voor situaties met afwijkende temperaturen.

3.3.3 RF_{ID}: Inbouwschade

3.3.3.1 *Algemeen*

De reductiefactor voor de inbouwschade is afhankelijk van de korreldiameter, de vorm van het aanvulmateriaal, het type geokunststof, inbouwwijze en verdichting. Grover en scherper materiaal geeft over het algemeen meer inbouwschade. De ratio tussen contactoppervlak en de massa geokunststof heeft grote invloed. Weinig massa met veel contactoppervlak heeft een hogere reductiefactor voor inbouwschade dan veel massa met hetzelfde contactoppervlak. Algemeen geldt dat producten met een hogere treksterkte binnen één productserie een lagere reductiefactor voor inbouwschade hebben.

3.3.3.2 *Ervaringswaarden*

Veel producenten hebben voor enkele geokunststoffen (producten) binnen één productserie of per specifiek product en voor enkele aanvulmaterialen ervaringswaarden als een eerste oriëntatie bepaald. Om de reductiefactor voor inbouwschade voor een specifieke toepassing vast te stellen staat een ontwerper voor een groot aantal vragen, zoals:

- Van een product zijn niet alle materialen onderzocht, maar bijvoorbeeld alleen het lichtste en het zwaarste type geokunststofwapening binnen één serie. Meestal wordt de inbouwschadefactor kleiner naarmate het geokunststof “dikker” is. De inbouwschade factor is in dit geval meestal bepaald voor enkele verschillende treksterkten binnen een bepaalde productserie, waarbij geldt dat hoe zwaarder het type is, des te lager de factor voor inbouwschade zal zijn. Voor de onbekende waarde van een type welke zich tussen twee typen bevindt waarbij wel de inbouwschadefactoren zijn vastgesteld, dient dan te worden uitgegaan van de meest ongunstigste waarde (dus de grootste reductiefactor) van de twee andere typen.
- Sommige leveranciers maken onderscheid tussen aanvulmaterialen boven en onder een geokunststof. Onderscheid maken tussen aanvulmateriaal boven en onder is alleen toelaatbaar voor geotextielen en folies. Voor geogrids (producten met mazen) moet altijd uitgegaan worden van het aanvulmateriaal met de grootste reductie.
- Voor aanvulmaterialen en gradaties waarvoor geen inbouwschade factor is vastgesteld, moet of de reductiefactor bepaald worden door het uitvoeren van minimaal 3 proeven, of een factor van een al onderzocht aanvulmateriaal waarvan zeker te verwachten is dat deze een hogere inbouwschade factor geeft.

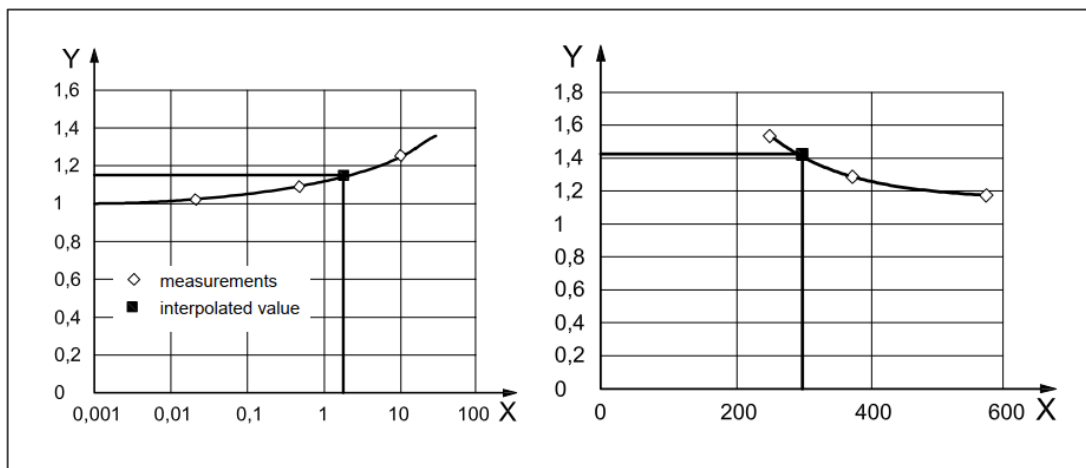
3.3.3.3 *Interpolatie tussen ervaringswaarden*

Er zijn ook richtlijnen/normen op basis waarvan de waarde van RF_{ID} kan worden geïnterpoleerd:

- in par. 8.4.3 van NPR-ISO/TR 20432 [25] is een methode van interpolatie tussen de RF-waarden van producten in een zelfde productenlijn gegeven; een indicatief voorbeeld daarvan is weergegeven rechts in **Figuur 3.8**, waarbij X staat voor het gewicht van het product en Y staat voor de reductiefactor RF_{ID} ;
- in par. 8.4.2 van NPR-ISO/TR 20432 [25] is een methode van interpolatie tussen de RF-waarden in verschillende grondsoorten weergegeven; een indicatief voorbeeld daarvan

is weergegeven links in Figuur 3.8, waarbij X staat voor de d_{50} korreldiameter en Y staat voor de reductiefactor RF_{ID} .

De grafieken in Figuur 3.8 betreffen slechts voorbeelden voor een bepaald type geokunststofwapening waarbij op basis van 3 metingen een grafische relatie is afgeleid (voor de korreldiameter links is dat op basis van een logaritmische schaal en voor het productgewicht rechts een lineaire schaal). Uit de gemeten waarden is vervolgens de geïnterpoleerde waarde bepaald met betrekking tot de korreldiameter van de gewapende grondconstructie, respectievelijk het gewicht van de toe te passen zwaarte geokunststofwapening. Het betreffen slechts indicatieve voorbeelden hoe een interpolatie kan worden uitgevoerd, waarbij de aangegeven waarden specifiek op deze voorbeelden betrekking hebben en niet kunnen worden gebruikt voor andere situaties.



Figuur 3.8 Voorbeelden van interpolatie van RF_{ID} op basis van beschikbare meetwaarden met betrekking tot de korreldiameter (links) en de zwaarte van het type geokunststofwapening [25]

3.3.3.4 In-situ bepaling

In Nederland worden de ervaringswaarden welke zijn vastgesteld voor een aantal geokunststoffen binnen één productserie, zoals die beschikbaar zijn gesteld door de leveranciers, als standaard gebruikt. In Duitsland is het echter gebruikelijker om in-situ proeven uit te voeren, waarbij zowel vooraf als achteraf de treksterkte is gemeten. De inbouwschade factor RF_{ID} wordt dan eenvoudig bepaald uit de verhouding tussen treksterkte vóór en treksterkte ná. In paragraaf 2.2.4.6.2 van de EBGeo [37] is zelfs aangegeven dat voor granulaat, gerecycled materiaal en dergelijke een in-situ test moet worden uitgevoerd. Bovendien wordt in Duitsland een nieuwe standaard opgesteld voor het vaststellen van de inbouwschade factor.

Tenslotte dient in ieder geval voor RC3 altijd een test worden uitgevoerd.

3.3.3.5 Conclusies reductiefactor inbouwschade RF_{ID} in ontwerp

Met betrekking tot de te hanteren reductiefactor voor inbouwschade geldt ten behoeve van het ontwerp van de geokunststofwapening in de grondconstructie de volgende aanpak:

- Bepaal de reductiefactor op basis van een toepassing specifiek onderzoek, indien dit niet door het BBA/HAPAS certificaat is afgedekt.

- Of gebruik in geval van grove niet-gebroken ronde grondsoorten de reductiefactoren conform Voorschrift eis OGW. 3.1.5.2.
- Of gebruik in geval van grove gebroken granulaat, gebroken steenvullingen en ander gerecycled aanvulmateriaal de reductiefactoren conform Voorschrift eis OGW. 3.1.5.3.
- Of gebruik bij gebroken granulaat, gebroken steenvullingen en gerecycled materiaal moet de factor zijn bepaald op basis van veldproeven tijdens de uitvoering, of moet zijn aangetoond op basis van een certificaat op gelijkwaardig aanvulmateriaal.
- De test buiten op het (grote) werk dient te worden uitgevoerd met het juiste geokunststof, aanvulmateriaal, en materieel, conform Voorschrift eis OGW. 3.1.5.4.
- De interpolatiemethode zoals beschreven in NPR-ISO/TR 20432 [25] wordt in het Voorschrift niet overgenomen vanwege onzekerheid in de testresultaten. De meest conservatieve waarde van de vastgestelde testresultaten wordt daarbij dus aangehouden.

3.3.4 RF_w: UV Blootstelling

3.3.4.1 *Algemeen*

Geokunststoffen kunnen degraderen wanneer ze worden blootgesteld aan UV-straling. De factor RF_w beschouwt vertering (weathering) op de effecten van ultraviolet licht, alleen of samen met temperatuur en waternevel.

Bij blootstelling aan zonlicht zijn er bij veel geokunststoffen twee reductiewaarden voor RF_w vastgelegd. Deze zijn:

- reductiefactor indien het geokunststof maximaal 1 dag aan UV is blootgesteld (12 uur!);
- reductiefactor indien het geokunststof maximaal 14 dagen of 1 maand aan UV is blootgesteld (dus 168 uur zonlicht).

3.3.4.2 *UV-testen*

Alle geokunststoffen moeten getest worden op de invloed van UV- en weersinvloeden. NEN-EN 12224:2000 [13] beschrijft de noodzakelijke testen. Getest kan worden met bijvoorbeeld een Xenon testapparaat of met een fluorescent UV lamp. De testomstandigheden bootsen de UV belasting na van een periode van 1 zomermaand in een Middellands zeeklimaat of 4 maanden in een zomerklimaat in West Europa. Het resultaat van de proef geeft een classificatie van de tijd dat het materiaal onafgedekt mag liggen en geeft een per product daarbij behorende waarde van RF_w .

De UV bestendigheid wordt beïnvloed door toevoegmateriaal aan het polymeer. Het bekendste is carbonblack of roet. Daarom zijn de meeste geokunststoffen zwart. Er zijn ook transparante toevoegmaterialen. Bij PET kunnen speciale toevoegmaterialen toegepast worden. Ook hierbij zijn weer effecten van coating en dimensies van garens versus strips op de bestendigheid van de geokunststof te vinden. Coating heeft een groter effect dan dat men een toevoegmateriaal aan het polymeer compound toevoegt, denk aan gecoate dekzeilen van vrachtwagens enz. Coated fabrics worden veel gemaakt en in allerlei toepassingen gebruikt.

Op geogrids moet een goede doorgaande coating aangebracht worden, wat echter niet zo eenvoudig is en wat men terug kan zien in de verschillen in de tijd die de materialen onbedekt mogen blijven liggen. Het effect van coating is terug te vinden in de tijd die een geokunststof onbedekt mag liggen en de waarde van RF_w die erbij hoort en is vastgelegd in de productspecificaties. Voor geokunststoffen met een goede coating zijn er tijden gegeven van maximaal 1 maand (met RF_w waarden van 1,0 tot 1,13) terwijl er voor geokunststoffen met een minder goede coating of geen coating termijnen tot maximaal 2 weken zijn

gegeven (met RF_w waarden van zelfs tot 1,25). Hieruit kan men concluderen dat ongecoat of slechte coating een maximum termijn van 2 weken geeft bij een RF_w van 1,25. Dit betekent dat de reststerkte tussen 60 en 80% ligt na 2 weken testen. Als een geokunststof voor langere tijd onafgedekt moet blijven, dan moet men een weathering test uitvoeren over een langere periode, zoals beschreven in CUR 243 [33].

3.3.4.3 *Bescherming en de praktijk*

Bij constructies zoals paalmatrassystemen, funderingswapening voor wegen en stabiliteitswapening bij aardenbanen is het goed mogelijk om de geokunststoffen binnen korte tijd te beschermen tegen UV door simpelweg een laag aanvulling aan te brengen. Bij kerende constructies van gewapende grond gebouwd volgens de terugslag methode ligt dit anders. Het verticale deel blijft langdurig in het zicht. De tijd dat gewapende grond blootgesteld mag worden aan UV is relatief kort in relatie tot de bouwtijd en de levensduur, tenzij via een weathering test is aangetoond dat UV blootstelling gedurende de levensduur wel is aangetoond. Gewapende grondconstructies op samendrukbare grond gebouwd met de terugslag methode hebben soms een bouwtijd van enkele jaren. Het tussentijds afschermen tegen UV is dan lastig, en sterk kostenverhogend.

Er kan op verschillende manieren worden omgegaan met het beperken van blootstelling van geokunststofwapening aan UV-straling. Echter deze zijn bij lange na niet altijd juist en daarbij is het vaak ook niet duidelijk of de bescherming voldoende is, bijvoorbeeld:

- natuurlijke begroeiing tegen een talud of als facing (dit levert geen voldoende bescherming tegen UV-straling);
- schaduw versus direct zonlicht (een afdekking door bijvoorbeeld een UV-bestendig doek of parasol is eveneens onvoldoende, het zou beter zijn om te denken in termen van blootstelling aan lucht in plaats van blootstelling aan zonlicht);
- hoe om te gaan met lichtinwerking door spleten van harde voorzetpanelen;
- toepassing bij tijdelijke constructies, standaard voorzieningen zoals een folie of membraan dat relatief afschermt;
- minimale dikte van een schanskorf waarbij de achterliggende wand voldoende tegen de inwerking van UV is beschermd (afhankelijk van de diameter van de stenen);
- argument dat de optredende trekspanningen relatief laag zijn aan de voorzijde (verticale zijde teruggeslagen deel) en daardoor kennelijk reservecapaciteit aanwezig is voor langere blootstelling aan UV-straling.

Een maatregel om bovenstaande te vereenvoudigen kan zijn door te stellen dat minimaal altijd een reductiefactor RF_w van minimaal 1 maand in rekening moet worden gebracht. Verder zou het wenselijk zijn om ook RF_w factoren te bepalen voor bijvoorbeeld 1 jaar om te beoordelen of de reductie door UV progressief groter wordt naarmate het materiaal langer aan zonlicht is blootgesteld.

3.3.4.4 *Conclusies reductiefactor UV-blootstelling RF_w in ontwerp*

Voor de te hanteren reductiefactor voor UV-blootstelling geldt ten behoeve van het ontwerp van de geokunststofwapening in de gewapende grondconstructie de volgende aanpak:

- Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen directe of indirecte blootstelling aan zonlicht, blootstelling aan UV-straling moet hier worden beschouwd als blootstelling aan de open lucht.
- In de productspecifieke certificaten zijn reductiefactoren weergegeven met een blootstelling tot maximaal 1 maand. Daarbuiten zijn geen veilige default waarden vast te stellen, dus dient altijd een certificaat te worden aangehouden of te worden getest.
- Als een geokunststof langer blootgesteld wordt dan de periode waarvoor maximale reductiefactoren zijn gegeven (14 of 30 dagen), dan moet een waarde voor de

reductiefactor worden bepaald voor de juiste periode. Dat betekent langer testen. Verwezen wordt naar de laatste alinea van paragraaf 9.3 van NPR-ISO/TR 20432 [25] waarin voor die gevallen de geokunststof moet worden getest conform NEN-EN 12224 [13] op basis van een stralingsenergie van 50 MJ/m², welke ook voor Nederlandse situaties moet worden aangehouden.

- Het wordt aanbevolen om in de productspecifieke certificaten ook een reductiefactor voor bijv. 1 jaar aan te geven, om te beoordelen of de reductie door UV-straling progressief groter wordt naar mate het materiaal langer aan zonlicht is blootgesteld.
- Natuurlijke begroeiing, zowel langs een talud of verticaal tegen een facing, vormt onvoldoende afscherming tegen UV-straling. Ook voor spleten dient te worden voorgeschreven dat daar een UV-bestendig doek dient te worden toegepast. Denk ook aan paneelwanden met betrekking tot wel of geen overlappen, zie ook de eisen uit het Voorschrift. Geokunststoffen mogen gedurende de gebruiksfase daar (ook lokaal), niet meer worden blootgesteld aan direct of indirect zonlicht. De controle hiervan dient te worden meegenomen in het onderhoudsplan.

3.3.5 RF_{CH}: Omgevingsinvloeden

3.3.5.1 *Algemeen*

Onder aantasting ten gevolge van omgevingsinvloeden worden verstaan de invloeden van de volgende factoren:

- Alkalische en zure omstandigheden. Aantasting aan een polymeer door een zure of alkalische omgeving dient te worden meegenomen wanneer een te gebruiken grondsoort respectievelijk een lage pH of een hoge pH bezit. Dit aspect is ook van belang wanneer de kwaliteit van de grond beïnvloed kan worden door externe factoren zoals grondwaterstroming of door afvalwater.
- Hydrolyse bij hoge temperatuur en invloed water. Door het polymeer gedurende een lange tijd te belasten bij een hoge temperatuur in vochtige omstandigheden, kan het polymeer ontbinden waardoor de specifieke eigenschappen afnemen. Dit proces heet hydrolyse.
- Oxidatie. Door oxidatie kan er verbrossing van het polymeer optreden. Dit proces kan worden beschouwd in bijvoorbeeld een verouderingsproef waarbij de weerstand tegen oxidatie bij een verhoogd zuurstofgehalte wordt beschouwd.
- Biologische aantasting door micro-organismen en knaagdieren. De invloed van biologische veroudering in de bodem blijkt relatief gering te zijn. In bepaalde constructies, zoals dijklichamen, dient rekening gehouden te worden met schade door knaagdieren en aantasting door micro-organismen.

De bovenstaande factoren komen aan bod in de volgende paragrafen.

3.3.5.2 *Alkalische omstandigheden (pH)*

Voor polyester worden vaak alleen reductiefactoren gegeven voor $4 < \text{pH} < 9$. De pH-waarde (zuurgraad) bepaalt in grote mate de treksterkte. Het is belangrijk om rekening te houden met de zuurgraad bij bijvoorbeeld meng/puin/betongranulaat welke alkalische bestanddelen als cement kan bevatten. Deze granulaten worden veelvuldig gebruikt in combinatie met geokunststofwapening. Hoge pH waarden van 11 of 12 welke kunnen optreden in kalk-gebonden omstandigheden, kunnen problematisch zijn voor veel geokunststoffen. Anderzijds is het vermoeden dat de hoge pH in de praktijk snel verdwijnt. Dit blijkt ook uit bijvoorbeeld proeven van granulaat in een emmer met stilstaand water, waarbij de pH in enkele maanden afneemt van 12 tot circa 7. De situatie in de praktijk zal uiteraard anders zijn bij gewapende grondconstructies boven grondwater, maar geeft wel aan wat bijvoorbeeld regenwater voor effect kan hebben gedurende de levensduur. Ook kan

uitloging hierbij een gunstig effect zijn. Daarentegen kan de pH waarde bijvoorbeeld ook weer toenemen bij verdichting.

De reductiefactor voor chemische omstandigheden voor geokunststofwapening is eenduidig gedefinieerd en afhankelijk van de temperatuur en de zuurgraad (pH) van het (grond)water rondom het geogrid. Bij droge grond hoeft er geen reductie in rekening te worden gebracht, bij verzadigde grond is de factor grotendeels afhankelijk van de pH.

Huidige beproevingsmethoden

De keuze waar een ontwerper voor staat in geval bij toepassingen boven de grondwaterstand, is hoe de zuurgraad van de grond, de aanvulgrond en daarnaast ook eventueel het menggranulaat, boven de (hoogste) grondwaterstand te bepalen is. De pH kan per definitie niet van een vaste stof worden bepaald, maar alleen in water. Er zijn twee methoden om de pH van water in een bepaalde grond te bepalen:

- NEN-EN-ISO 10390 Bodem, slib en behandeld biologisch afval – Bepaling van de pH waarde [12]: deze proef bestaat feitelijk uit verzamelen droog monster, water erbij, schudden, meten;
- NEN 7373 Uitloogkarakteristieken - Bepaling van de uitloging van anorganische componenten uit poeder- en korrelvormige materialen met een kolomproef - Vaste grond- en steenachtige materialen [6]. Hier worden de korrels > 1 mm gebroken en wordt de pH gemeten in het water dat door een monster stroomt.

De tweede methode (kolomproef) geeft wellicht een hogere pH waarden dan de eerste (schudproef) omdat de korrels worden gebroken. Bij verdichting in het werk worden de korrels immers ook gebroken. In hoeverre deze proef ook representatief is voor de werkelijke in-situ situatie is echter twijfelachtig.

Indien de chemische omstandigheden gedurende de ontwerplevensduur wijzigen, mag een gewogen gemiddelde van de reductiefactor RF_{CH} worden berekend uit het product van de desbetreffende reductiefactoren $RF_{CH,i}(pH_i)$ behorende bij een pH waarde en de bijbehorende tijdsduur ΔT_i , waarbij de waarde van het gewogen gemiddelde $RF_{CH,gewogen}$ vermeerderd moet zijn met 0,1 conform Voorschrift.

Bij toepassing van geogrids tussen uitgeharte betonblokken met een ouderdom van minimaal 28 dagen moet worden gerekend met:

- gedurende 2 jaar met een pH = 11;
- de volgende jaren met pH = 9;
- bovenstaande laat onverlet dat ook de pH van het aanvulmateriaal achter de betonblokken getoetst moet worden.

3.3.5.3 Hydrolyse

Rond 1990 ontstond een discussie over de hydrolysebestendigheid van PET weefsels of PET garens versus geogrids in normale grondcondities. Er zijn vervolgens verschillende proeven en onderzoeken uitgevoerd, wat uiteindelijk heeft geresulteerd in de uiteindelijke RF_{CH} waarden zoals deze voor de verschillende producten in de specifieke certificaten zijn vastgesteld. Er zijn verschillen tussen de waarden bij geocoate geogrids en stripgrids, welke met name te verklaren zijn uit de verschillende verhoudingen tussen oppervlak en volume van de garens versus de grids.

Er kunnen twee soorten hydrolyse onderscheiden worden:

- interne hydrolyse is hydrolyse dat veroorzaakt wordt doordat H₂O moleculen een reactie aangaan met de estergroepen, hetwelk leidt tot breken van deze estergroepen, en dus een lagere sterkte. Dit proces vindt plaats over de gehele doorsnede van de fiber;
- externe hydrolyse, waarbij een andere reactie plaats vindt aangezien de agressieve OH-groep niet in het PET materiaal kan binnendringen en de reactie aan de oppervlakte plaatsvindt, hierbij ontstaat een soort etsing van het oppervlak vooral bij hoge pH waarden, hetwelk weer leidt tot sterkteverlies.

Op basis van de resultaten van de onderzoeken naar de hydrolysebestendigheid van Elias et.al. (1998) [53] kan afgeleid worden dat er een verschil in reststerkte blijkt te zijn tussen een ongecoat weefsel en een gecoat geogrid. De coating heeft dus een beschermende werking tegen het indringen van de H₂O moleculen en heeft als resultaat een langere levensduur of minder sterkteverlies voor de met PVC gecoate geogrids t.o.v. ongecoate weefsels (Er worden in de literatuur nog wel enkele twijfels geuit of de coating gedurende de levensduur volledig intact blijft en dus zijn beschermende werking blijft houden, maar dit blijkt niet uit de testen die gedaan zijn. Ook inbouwschade kan een negatief effect hebben). Het gevolg is dat gecoate geogrids ook kunnen worden toegepast bij hogere pH waarden tot 9,5 à 10, hoewel in Europa men voorzichtig blijft door de inzet van gecoate geogrids te beperken tot de range van pH 4 tot pH 9.

Met betrekking tot de verhouding oppervlakte/volume blijkt dat de geogrids gevormd van PET strips door deze lagere verhouding ook beter bestand zijn tegen hoogalkalische milieus dan multifilament garen met dezelfde doorsnede. Uit onderzoek [33], [66], [69] is ook gebleken dat het externe hydrolyse proces sneller gaat als een op trek belast geogrid in een hoog alkalisch milieu toegepast wordt. Dit betekent dat, op basis van ISO/TR 20432 par 9.4.1 de RF_{CH} bepaald moet worden d.m.v. een hydrolyse test waarbij het monster onder permanente trekbelasting gehouden wordt. De RF_{CH} waarden die in specifieke certificaten aangegeven worden zijn in het algemeen resultaten van onbelaste testen en kunnen alleen gebruikt worden voor toepassingen waarbij pH < 9 is.

Bovenstaande verschillen hebben geleid tot de verschillende waarden van RF_{CH} in de specifieke certificaten. Gezien het feit dat hydrolyse bij hoge pH's een kritische ontwerpparameter is en omdat de RF_{CH} waarden in de certificaten gebaseerd zijn op testen in onbelaste toestand, moet de RF_{CH} waarde gebaseerd op testen in belaste toestand toegevoegd worden aan de certificaten of separaat bepaald worden.

In Bijlage 4 zijn verdere achtergronden betreffende hydrolyse opgenomen.

3.3.5.4 Oxidatie

Polyetheen en polypropreen zijn polyolefinen. Zij zijn semikristallijn en bevatten kristallijnen en amorfe gebieden. Zuurstof kan doordringen in de amorfe gebieden van het polymeer waar oxidatie kan plaatsvinden. Dit is een reactie tussen het polymeer en gasvormige zuurstof. Het effect ervan is dat de bindingsmoleculen in de amorfe gebieden breken, waardoor de sterkte van het materiaal afneemt.

Oxidatie van polyolefinen is een kettingreactie. Het moet worden geïnitieerd door een energiebron, die meestal een temperatuurstijging is, maar ook ultraviolet licht kan zijn. Overgangsmetalen en katalysatorresten, aanwezig als onzuiverheden of als overblijfsel van de oorspronkelijke polymerisatie, kunnen helpen bij het initiëren van oxidatie. Het resultaat van de energiepiek, die het gevolg ken zijn van de initiatie door een energiebron in relatie tot temperatuur of UV, is het verbreken van een binding in het polymeer, waardoor een

geladen fragment ontstaat, bekend als een radicaal. Het radicaal verbindt zich met de zuurstof en vervolgens met het polymeer om een peroxideverbinding te vormen en het geeft verder een geladen radicaal af. Dit reageert met een ander zuurstofmolecuul en het proces herhaalt zich. Wanneer de lokale zuurstoftoevoer afneemt, treedt er een terminatiereactie op en komt er een einde aan de kettingreactie.

De verschillende schakels in deze kettingreactie verlopen met verschillende snelheden. De snelheden van de chemische reacties hangen af van hun respectievelijke activeringsenergieën en van de temperatuur. Zo gaat de reactie met zuurstof veel sneller dan de daaropvolgende aanmaak van het peroxide. Deze reacties zijn afhankelijk van de beschikbaarheid van de relevante chemische bestanddelen, en dat wordt bepaald door de juiste migratiesnelheden, in het bijzonder de snelheid waarmee zuurstof door het polymeer kan diffunderen en de snelheid waarmee het door reacties onderweg wordt geabsorbeerd. Deze reacties en migraties zijn allemaal afhankelijk van temperatuur en externe druk, die beide kunnen worden verhoogd om de reactie te versnellen. De ene reactie kan echter heel anders van de temperatuur afhangen dan de andere, zodat wanneer de temperatuur wordt verhoogd, een ander proces de algehele reactiesnelheid kan overnemen en bepalen. Bij sommige reacties is aangetoond dat de activeringsenergie, die onafhankelijk zou moeten zijn van de temperatuur, afneemt bij lagere temperaturen. Dit maakt versneld testen moeilijker te interpreteren, tenzij het wordt uitgevoerd bij relatief lage temperaturen, wat vele jaren kan duren.

Aan het basis polymeer worden toeslagmaterialen toegevoegd, zoals anti-oxidanten, Carbon Black (roet) en / of andere additieven met specifieke eigenschappen. Dit wordt gedaan om de eigenschappen van het polymeer te verbeteren. De samenstelling van de grondstof kan zo aanzienlijk variëren. De toeslagmaterialen kunnen UV straling opnemen, thermische stabilisatoren zijn of anti-oxidanten enz.

Aan polypropyleen en polyetheen worden anti-oxidanten toegevoegd, die oxidatie tegengaan. Op lange termijn worden deze anti-oxidanten verbruikt of worden ineffectief, waardoor het oxidatieproces begint.

Voor meer achtergrond over het oxidatieproces, de testen en het vaststellen van de reductiefactor wordt verwezen naar Bijlage 5.

3.3.5.5 *Biologische aantasting*

In paragraaf 9.5 van NPR-ISO/TR 20432 [25] is aangegeven dat biologische aantasting van de bodem gering blijkt te zijn met betrekking tot de levensduur van geokunststoffen. Dit komt omdat de gebruikte complexe en lange moleculaire structuren in polyethyleen, polyester, polypropyleen en polyamide niet gemakkelijk worden afgebroken door bacteriën en schimmels. De hoge treksterkte van geokunststofwapening voorkomt beschadiging door wortels en gravende dieren, zoals knaagdieren. Om deze reden is het in het algemeen niet nodig om biologische afbraak in aanmerking te nemen bij het vaststellen van de reductiefactor RF_{CH} .

Voor knaagschade is geen reductiefactor opgenomen omdat knagen geen langzaam en doorgaand proces is. Knaagschade moet worden meegenomen in inspectie.

De mogelijkheid van biologische afbraak moet echter wel worden beoordeeld als er nieuwe polymeren worden gebruikt die niet zijn beschreven, of als een indextest die is uitgevoerd volgens NEN-EN 12225 [14] aangeeft dat afbraak mogelijk is, of als er ongebruikelijke biologische omstandigheden zijn, b.v. termieten. Van bepaalde additieven is bekend dat ze

onderhevig zijn aan biologische aantasting, en als de functie van de additief was om bijvoorbeeld oxidatie te voorkomen, dan zal het basispolymeer zonder deze aan een snellere degradatie onderhevig zijn.

Aangenomen wordt dat biologische aanvallen relatief snel plaatsvinden. Het is beter om een minimale periode te definiëren waarover geen biologische aantasting wordt voorspeld dan om een reductiefactor te definiëren.

3.3.5.6 Conclusies reductiefactor aantasting omgevingsinvloeden RF_{CH} in ontwerp

Met betrekking tot de te hanteren reductiefactor RF_{CH} geldt ten behoeve van het ontwerp van de geokunststofwapening in de gewapende grondconstructie de volgende aanpak:

- In geval van gewapende grondconstructies zonder aanwezigheid van beton of beton/menggranulaat geldt veelal een situatie met pH waarde tussen de 4 en 9. De waarde van RF_{CH} is voor die situaties voldoende beschreven in de beschikbare materiaalspecifieke certificaten of in tabel 2 van NPR-ISO/TR 20432 [25].
- Nadere beschouwing van de invloed op toe te passen reductiefactoren RF_{CH} is vereist in geval van hiervan afwijkende pH waarden, ondermeer bij:
 - inbouw tussen betonblokken;
 - toepassen van beton/menggranulaat;
 - secundaire bouwstoffen
 - polymeren ingestort in beton.

In geval een nadere beschouwing is vereist, wordt de volgende aanpak voorgesteld:

- Vaststellen van de pH waarde aan de hand van schudproef (NEN-EN-ISO-10390 [12]).
- Valideren bovenstaande proefresultaten door een monster in situ te nemen en dat te testen na 3 maanden.
- Voor nieuwbouw: ingraven van overbodig materiaal bij nieuwe constructies en deze tussentijds en aan het eind van de levensduur beproeven voor het vaststellen van de restlevensduur.
- Toepassen van de reductiefactoren voor tijdelijke situaties als gewogen gemiddelde meenemen in het ontwerp voor de gehele levensduur conform paragraaf 3.7.2.6 van CUR 243, [33] (bijvoorbeeld indien 1 jaar pH = 12 met $RF_{CH} = 1,61$ en 99 jaar geen hogere pH, dan de reductiefactor bepalen uit $0,01 \cdot 1,61 + 0,99 \cdot 1,0 = 1,016$), op voorwaarde dat condities als constante temperatuur daarbij ook worden betrokken;
- Limiteren pH waarde voor bepaalde polymeren en daarbij aansturen op toepassing van die polymeren in situaties bij pH > 9 (permanent en saturated) welke aantoonbaar een goede bestendigheid tegen external hydrolysis hebben.
- Bij toepassing van polyester (bijvoorbeeld PET) in een aanvulmateriaal met pH > 9 dient de reductiefactor RF_{CH} bepaald te zijn conform 9.4.5 van ISO/TR 20432 [25], waarbij het monster gedurende de hele proef aan een trekbelasting is onderworpen van tenminste 35% van de korteduur treksterkte. In het Voorschrift zijn verdere specifieke eisen en verwijzingen gegeven voor degradatietesten onder trek.
- Een ontwerper bepaalt het vochtgehalte waarmee wordt gerekend, op basis daarvan mag je de reductiefactor daar op afstemmen (zie ook paragraaf 3.2.4 van CUR 243, [33]). Voorstel is om altijd op 100% verzadiging te rekenen (net als mist, dat is ook 100% verzadigd). Als de relatieve vochtigheid in grond lager is dan 10% (van de hydrolysis test), dan mag de waarde van RF_{CH} lineair gereduceerd worden conform paragraaf 3.7.2.6 van CUR 243 [33].

3.3.6 RF_{DYN}: Ongunstig werkende dynamische effecten

3.3.6.1 *Algemeen*

In de formules voor de langeduur treksterkte (3) en (4) uit CUR 198 [31] is geen specifieke reductiefactor voor ongunstig werkende dynamische effecten meegenomen. In EBGEO [37] is deze invloed wel meegenomen in de vorm van de reductiefactor A_5 en ook in prEN 1997-3 [2] wordt de invloed meegenomen middels de reductiefactor η_{dyn} (als reciproke waarde van A_5). In de aangepaste formule voor langeduur treksterkte (6) is daarom een reductiefactor RF_{DYN} toegevoegd welke in principe aansluit op de factor A_5 .

De rekenwaarden van verkeersbelastingen waarbij dynamische effecten zijn inbegrepen, dienen te worden bepaald met inachtnaam van paragraaf 3.8.4 uit CUR 198 [31]. Voor seismische situaties wordt daarnaast ook specifiek verwezen naar paragraaf 3.8.7 van CUR 198.

3.3.6.2 *Onderzoek*

Door Retzlaff et.al. (2007) [54] is het cyclisch gedrag van geokunststof uitgebreid onderzocht. Hierbij zijn drie verschillende kunststofmaterialen onderzocht onder verschillende cyclische belastingen. Beschouwd zijn PET, PP en PE kunststoffen. In de proeven is het aantal wisselingen gevarieerd en is het gedrag aan de hand van ondermeer trek-rek diagrammen weergegeven. Het maximaal aantal wisselingen bedroeg 10^7 , de frequentie 10 Hz en de dynamische verhouding, de ratio tussen de laagste en de hoogste belasting, is aangehouden op $R = 0,66$. Een lagere waarde van R duidt op een grotere dynamische belasting (bij $R = 1,0$ is dus sprake van een statische situatie). In Bijlage 7 zijn de resultaten uit de verschillende proeven beschreven en weergegeven. Hieruit volgt dat er nagenoeg geen sterkteverlies was opgetreden in PET geogrid en bij de andere materialen maximaal 1,5 à 8% sterkteverlies en dat in alle gevallen een grens van 10% niet is overschreden.

3.3.6.3 *Conclusies en aanpak*

In geval van een statische belasting volgt logischerwijs dat $RF_{DYN} = 1,0$. Voor toepassingen waarbij er directe dynamische belasting op gewapende grondconstructie aanwezig is, zodanig dat de wapening ook dynamisch wordt belast (frequentie > 1 Hz en de amplitude van de trekbelasting meer dan 10% afwijkt t.o.v. de gemiddelde trekbelasting en deze gedurende de levensduur cumulatief langer dan 1 maand aanwezig is), moet tenminste uitgegaan worden van een waarde voor $RF_{DYN} = 1,10$ in het voorlopig ontwerp.

Bij het definitieve ontwerp kan onderscheid gemaakt worden tussen de verschillende polymeren, waarbij voor PE kan worden uitgegaan van $RF_{DYN} = 1,10$, voor PP van $RF_{DYN} = 1,05$ en voor PET $RF_{DYN} = 1,0$ zie bijlage 7. De waarden gelden voor geogrids binnen het invloedsgebied van de dynamische belasting. Hierbij kan worden uitgegaan van een invloedsdiepte bepaald op 2 m onder de verhardingsconstructie voor verkeerswegen, of 3 m onder bovenkant spoor voor spoorbanen.

Deze waarden gelden in alle gevallen, tenzij door gedetailleerde studie en proeven andere waarden aangetoond zijn.

3.3.7 RF_{JS}: Verbindingen, overlappingsen en naden

3.3.7.1 *Algemeen*

Geokunststof wapeningsmaterialen worden geleverd op rollen of in segmenten met een beperkte lengte en breedte. In het algemeen zal het te beleggen oppervlak zo groot zijn dat

in de dwars- en/of langsrichting meer dan één strook aan funderingswapening benodigd is. Om te bereiken dat de verschillende stroken wapening als één geheel functioneren, moeten deze soms overlappen of aan elkaar worden verbonden. Een extra complicatie daarbij kan zijn dat sommige wapeningsproducten in langs- en dwarsrichting verschillende sterkte-eigenschappen hebben. In dit geval is het zaak dat het ontwerp en de uitvoering goed op elkaar zijn afgestemd. In het algemeen is de sterkte in langsrichting van de rol veel groter dan de sterkte in dwarsrichting.

In de formules voor de langeduur treksterkte (3) en (4) uit CUR 198 [31] is geen specifieke reductiefactor voor ongunstige werking vanuit verbindingen en naden meegenomen, terwijl deze factor wel wordt meegenomen in EBGEO [37] in de vorm van de reductiefactor A_3 . Ook wordt in prEN 1997-3 [2] de invloed meegenomen middels de reductiefactor η_{js} (als reciproke waarde van A_3). In de aangepaste formule voor langeduur treksterkte (6) is daarom ook een reductiefactor RF_{JS} toegevoegd welke in principe aansluit op de factor A_3 .

De rekenwaarden van de belasting die op de verbinding plaatsvindt, dienen te worden bepaald conform CUR 198 [31], waarbij ook paragraaf 3.6, 4.6 en 5.3.2 uit CUR 198 [31] in acht dienen te zijn genomen betreffende de toetsing en uitvoering van verbindingen.

De reductiefactor op geokunststoffen die uitsluitend kracht overdragen door wrijving, dus bij overlap, geldt in principe $RF_{JS} = 1,0$ omdat hierbij geen beschadiging optreedt. Bij verbindingen zoals bij naden gelden reductiefactoren zoals verderop in deze paragraaf benoemd.

3.3.7.2 Overlap bij wapening in één richting

Bij een grondkerende constructie is de grootste sterkte in dwarsrichting van de constructie vereist en zal de wapening loodrecht op de lengterichting van de constructie gelegd worden. Er zijn dan korte stukken wapeningsmateriaal nodig, die van een rol gesneden kunnen worden.



Figuur 3.9 Toevoegen van wapening in een grondkerende constructie

Bij een grondkerende constructie is de krachtoverdracht in dwarsrichting van het wapeningsmateriaal, dus in lengterichting van de constructie meestal beperkt. Hier kan gebruik gemaakt worden van een eenvoudige overlap van wapeningsmateriaal.

De overlap wordt meestal gemaakt door twee lagen wapening op elkaar te leggen. De breedte van de overlap wordt dan bepaald door de over te brengen trekkracht, de wrijvingscoëfficiënt tussen de geokunststoflagen, de maximale korrelgrootte van het aanvulmateriaal (in geval van een geogrid) en de bovenbelasting. Als geen kracht in dwarsrichting optreedt en als het wapeningsmateriaal geen scheidingsfunctie heeft kan afgezien worden van toepassing van een overlap.

3.3.7.3 Overlap bij wapening in twee richtingen

Is de wapening in twee richtingen nodig, zoals bijvoorbeeld bij een paalmatras, dan zal de wapening in Nederland meestal uit twee lagen bestaan. Beide weer met een hoge sterkte in langsrichting van de rol en lage sterkte in dwarsrichting.

Het wapeningsmateriaal in dwarsrichting van de weg kan uit één rollengte gemaakt worden met overlappen tussen naast elkaar liggende stroken. Deze overlap moet in een paalmatras volgens par. 4.2.4 van CUR 226 [32] boven de paaldeksels liggen, omdat op die plek de verticale druk het grootste is. In de langsrichting van de weg zal een overlap nodig zijn als de weg veel langer is dan de lengte van de rollen. Deze overlap in krachtrichting zal dus in staat moeten zijn de vereiste krachten over te dragen. Hij zal hierop ontworpen moeten worden.

Hierbij komt de koppeling tot stand door de wrijving tussen de twee te verbinden stroken onder invloed van de bovenbelasting. In CUR 226 wordt een minimale overlap in krachtrichting vereist van twee velden (drie palenrijen).

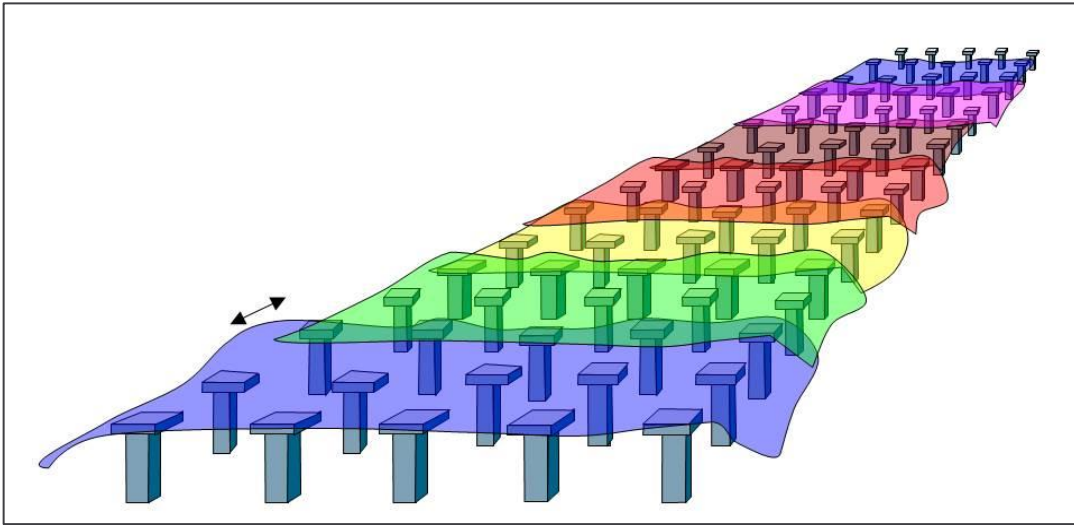
De breedte van de overlap in paalmatrasen volgens CUR226, kan volgens paragraaf 4.2.4 worden getoetst met:

$$\sigma_v' \cdot \mu \cdot L \geq T_{DR} \quad (7)$$

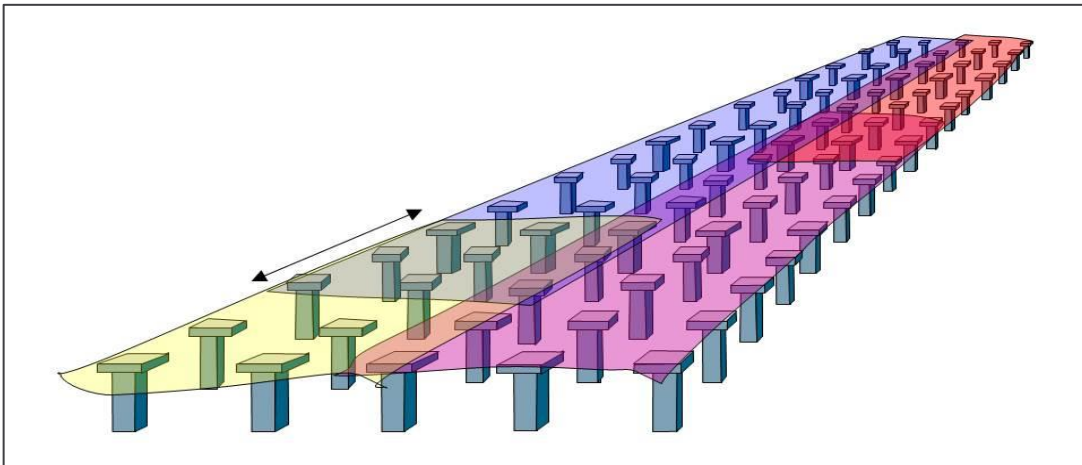
waarbij geldt:

σ_v'	verticale korrelspanning op de paaldeksel [kPa]
μ	wrijvingsfactor [-]
L	lengte van de overlap [m] ($L \geq 0,2$ m)
T_{DR}	treksterkte van de wapening in dwarsrichting van de rol [kN/m]

In Figuur 3.10 zijn de overlappen bij dwarswapening in een paalmatras weergegeven. In Figuur 3.11 zijn deze weergegeven bij een langswapening.



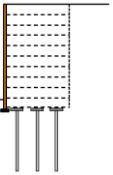
Figuur 3.10 Overlappen bij dwarswapening in een paalmatras



Figuur 3.11 Overlappen bij een langswapening in een paalmatras

3.3.7.4 Naainaden

Bij wapeningsmaterialen die bestaan uit een weefsel of een geogrid is het ook mogelijk de verbinding te maken d.m.v. een naainaad. Afhankelijk van het type naainaad kan hierbij een naadefficiëncy, dus de kracht die via de naad overgebracht kan worden / breuksterkte van het materiaal, tussen 25 en 60 % voor in het werk gemaakte naainaden en 60 – 80 % voor in de fabriek gemaakte naainaden bereikt worden. Uit de reciproke van de minimum waarden kan vervolgens een bovengrens voor de reductiefactor RF_{JS} worden bepaald.



Figuur 3.12 Naaien in de overlap met een handnaaimachine

Tabel 3.1 Naadsterkte voor de meest gebruikte naainaden uit CUR 174 [29]

Vorm				
Type naad	stuiknaad	stuiknaad	overlapnaad	overlapnaad
Omslag	enkelvoudig	omgeslagen	enkelvoudig	omgeslagen
naadsterkte in % van de weefselsterkte	25 – 50%	30 – 60%	60 – 80%	60 – 80%
maximum waarde RF_{Js}	4,0	3,5	1,7	1,7

Er zijn ook voorbeelden van met de hand gemaakte naainaden in dwarsrichting van het geogrid. Onbekend is wat de naadefficiëncy hiervan is. Zeker is dat vanwege de hoge loonkosten dit soort naden in Nederland niet economisch toegepast kan worden



Figuur 3.13 Naaien in de overlap met een handnaaimachine. Naaien van geogrids in Brazilië. Te zien is dat het geogrid zo is geweven dat ze eenvoudig aan elkaar kunnen worden genaaid. (foto's van Werner Biffinger, Vectror, Brazilië).

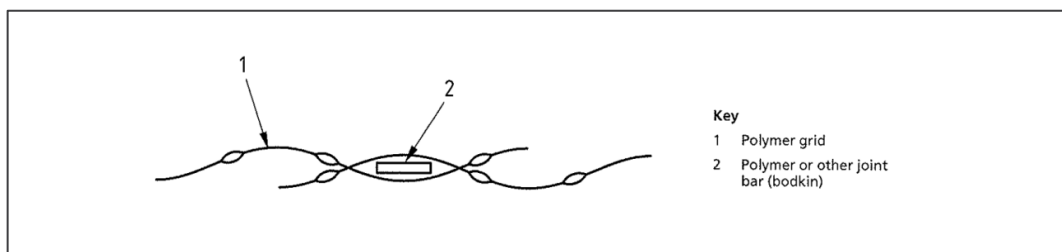
De krachtoverdracht in een naainaad is gecompliceerd. In feite zou elke draad of strip in het oorspronkelijke materiaal één op één doorgekoppeld moeten worden, waarbij zoveel mogelijk kracht overgebracht wordt. Koppeling in langsrichting van draden kan echter alleen bereikt worden door koppeling via de dwarsdraden. Deze dwars- of inslagdraden liggen in de zelfkant afgehecht in het weefsel. Er zal een losse weefselband (type hijsband) tussen gelegd moeten worden waar doorheen genaaid wordt om ze enigszins vast te houden of er zal in de zelfkant (zijkant) van het materiaal genaaid moeten worden (bij een naad in dwarsrichting). De sterkte van een naainaad is afhankelijk van het weefseltype van het te naaien materiaal, het type naainaad, de soort naaimachine, het steektype en aantal steken per cm, de sterkte en elasticiteit van het naaigaren. Alleen een stuiknaad kan in het werk gemaakt worden.

In het kader van de ontwikkeling van de funderingsmat voor de Oosterschelde kering in de Deltawerken is uitgebreid onderzoek gedaan naar de effecten van deze variabelen. Het is gerapporteerd in Veldhuijzen van Zanten (1986) [62], hoofdstuk 5.8, welke ook is opgenomen in Bijlage B8.

In het werk aangebrachte naainaden worden in principe alleen toegepast bij het aan elkaar naaien van grote stukken geokunststof als voor prefabricage van grote stukken gekozen wordt. Naaien in lengterichting wordt niet toegestaan.

3.3.7.5 Koppeling door staafelementen

Voor stijve geogrid wapeningen kunnen zogenaamde bodkins of strippen worden toegepast waar twee overlappende delen aan elkaar worden gekoppeld door toepassing van een staaf- of stripelement door de mazen van het grid, zie Figuur 3.14.



Figuur 3.14 Verbinding van stijve geogrids door middel van een bodkin of kunststof strip

Bij bodkin verbindingen dient daarbij te worden opgemerkt, dat deze voldoende stijfheid moeten bezitten om te grote vervormingen ter plaatse van de verbinding te kunnen voorkomen, anderzijds mogen deze niet te sterk en stijf zijn met het oog op te grote spanningsconcentraties met de gevolgen van bezwijken van de wapening zelf. De verbindingen dienen in de uitvoering op spanning te zijn gebracht, zodat zoveel mogelijk kan worden voorkomen dat er een (te grote) verplaatsing benodigd is voordat de verbinding functioneert (CUR CROW C 198, 2020).

3.3.7.6 Testmethode

Het bepalen van de treksterkte van een naadverbinding is beschreven in de norm NEN-EN-ISO 10321:2008 [11]. De factor RF_{JS} volgt direct uit de proefresultaten en kan worden bepaald uit de verhouding betreffende de kruip-breeksterkte van het maagdelijke, gehele materiaal voor de vastgestelde ontwerplevensduur gedeeld door die van de verbinding $T_{JS,max}$.

3.4 Factor f_s op onzekerheden

3.4.1 Algemeen

De factor f_s brengt met name het extrapoleren in rekening naar de langeduur. Deze factor bestaat uit een combinatie van de factor die de onzekerheid met betrekking tot extrapolatie van testdata voor langeduur effecten zoals kruip (R_1) in rekening brengt, en de factor die de onzekerheden van degradatie door chemische invloeden omvat (R_2). De afleiding van deze twee factoren staat beschreven in paragraaf 10.1 van NPR-ISO/TR 20432 [25]. Vervolgens kan de waarde f_s bepaald worden aan de hand van formule (7):

$$f_s = 1 + \sqrt{(R_1 - 1)^2 + (R_2 - 1)^2} \quad (7)$$

waarbij geldt:

- f_s factor die de onzekerheid van de extrapolatie van meetdata naar einde ontwerplevensduur in rekening brengt [-]
- R_1 factor die de onzekerheid in rekening brengt als gevolg van de extrapolatie van de kruipbreuk data [-]
- R_2 factor die de onzekerheden in rekening brengt als gevolg van de extrapolatie van data verkregen met proeven waarbij chemische aantasting versneld is [-]

3.4.2 Nadere beschouwing R_1

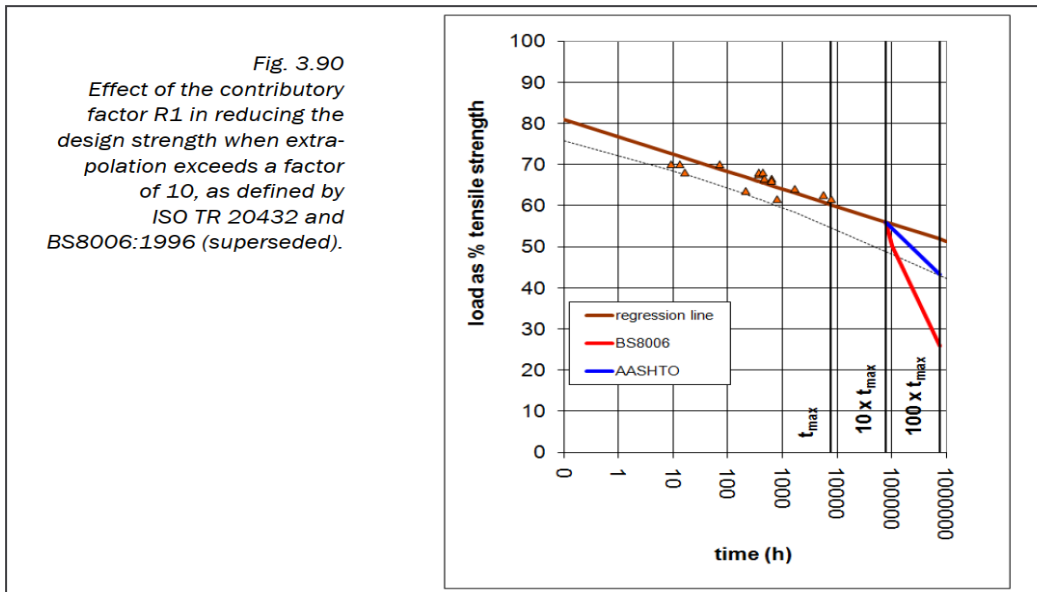
NPR-ISO/TR 20432 [25] specificeert de waarde R_1 op een manier die afhangt van de mate van extrapolatie. Dit betreft de verhouding tussen de ontwerplevensduur t_d en de duur van de langst gemeten tijd tot breuk na tijd-temperatuurverschuiving, aangeduid als t_{max} . Het is daarom een voordeel om langduriger testen uit te voeren om t_{max} zo groot mogelijk te krijgen.

In paragraaf 3.4.3.3 van CUR 243 [33] is een ondergrens toegevoegd waarbij de waarde t_{max} mag verwijzen naar een onvolledige test, mits de test voldoet aan de voorwaarde, waarbij geldt:

- als $t_d / t_{max} < 10$ dan $R_1 = 1,0$;
- als $10 < t_d / t_{max} < 100$ dan is $R_1 = 1,2^{(r-1)}$ waarbij $r = \log(t_d / t_{max})$.

De waarde R_1 neemt toe met een r-waarde van 1,0 bij een extrapolatie met een factor $t_d / t_{max} = 10$, tot een waarde van 1,2 bij extrapolatie met een factor $t_d / t_{max} = 100$.

Voorbeeld: Als $t_d = 50$ jaar en $t_{max} = 7791$ h = 0,89 jaar zoals in Figuur 3.15, dan is $r = \log(50/0,89) = 1,75$ en $R_1 = 1,2^{(1,75-1)} = 1,15$.

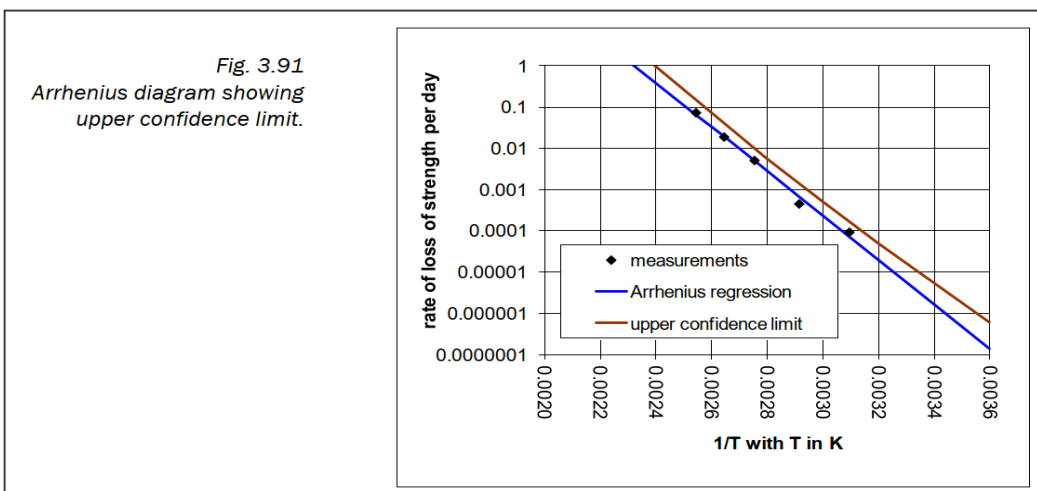


Figuur 3.15 Effect van de bijdrage van R_1 bij het verminderen van de ontwerpsterkte wanneer extrapolatie een factor 10 overschrijdt conform [33]

3.4.3 Nadere beschouwing van R_2

Indien standaardfactoren worden gebruikt voor bijvoorbeeld de bepaling van RF_{CH} (zie paragraaf 3.3.5), dan volgt conform NPR-ISO/TR 20432 [25] dat $R_2 = 1,0$. Als in dit geval de reductiefactor RF_{CH} is gebaseerd op een Arrhenius-diagram, dan wordt conform CUR 243: 2012 [33] de factor R_2 berekend uit de bovenste 95%-betrouwbaarheidsgrens van dat diagram.

Figuur 3.16 uit CUR 243 toont zowel een Arrhenius-diagram als een bovengrens. Hierin kan de mate van sterkteverlies voor de ontwerplevensduur worden afgelezen van zowel de Arrhenius-curve als de bovenste betrouwbaarheidsgrens. De waarde van R_2 wordt vervolgens bepaald uit de verhouding tussen de bovenste betrouwbaarheidsgrens en de onderste waarde voorspeld door de Arrhenius-curve. Hieruit volgt dan dat $R_2 > 1$.



Figuur 3.16 Arrhenius diagram weergegeven met de bovenste betrouwbaarheidsgrens [33]

4 Interactie tussen grond en geokunststof

4.1 Algemeen

Bij het wapenen van grond is de interactie grond - wapening het meest kritische onderdeel. Het aantal invloedsfactoren dat bijdraagt aan de interactie grond - wapening is erg groot. Hierdoor is het moeilijk om een eenduidige beschrijving van dit mechanisme te geven. De interactie grond - wapening is gebonden aan de specifieke grondomstandigheden, het type wapening, de belastingtoestand en de testmethode.

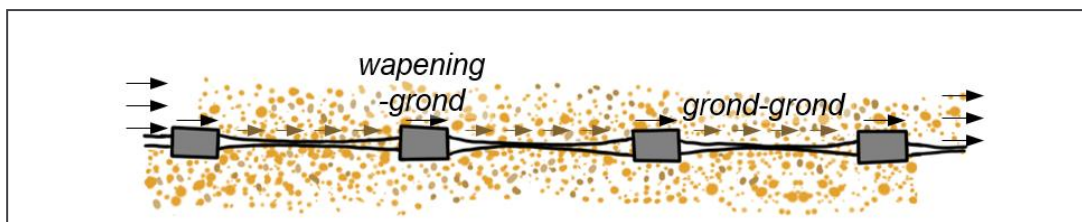
In dit hoofdstuk komen in paragraaf 4.2 de mechanismen aan bod welke betrekking hebben op de interactie tussen grond en geokunststofwapening. In paragraaf 4.3 wordt vervolgens ingegaan hoe deze moeten worden afgeleid.

4.2 Interactiemechanismen

De interactie tussen grond en wapening wordt gemobiliseerd door drie mechanismen zoals die zijn beschreven in paragraaf 4.5.2 van CUR 198 [31]. Hieronder zijn ze nog samengevat en aangevuld met de achtergronden.

Oppervlaktewrijving

Dit kan zowel tussen de wapening en de grond als tussen grond en grond optreden. Op ieder oppervlak ontstaat oppervlaktewrijving. Ieder specifiek wapeningsproduct heeft een andere wrijvingscoëfficiënt, aangezien de geometrie en het oppervlak verschillend zijn.



Figuur 4.1 Oppervlaktewrijving

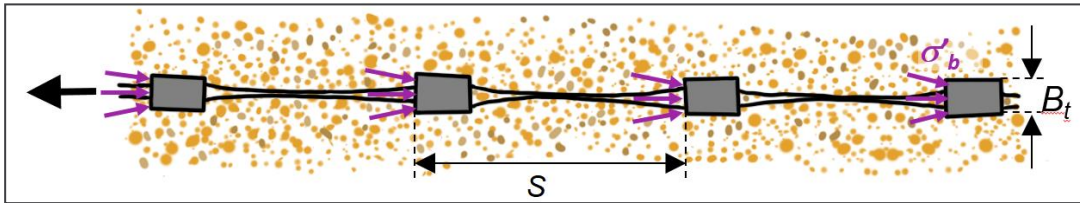
Passieve weerstand van de grond tegen dwarsribben

Passieve weerstand treedt op als de gemiddelde korrelgrootte van het aanvulmateriaal D_{50} veel kleiner is dan de maaswijdte s van het geogrid en als de dikte B_t van de dwarsribben van het grid groter is dan de gemiddelde korrelgrootte:

$$D_{50} < B_t \ll S \quad (8)$$

waarbij geldt:

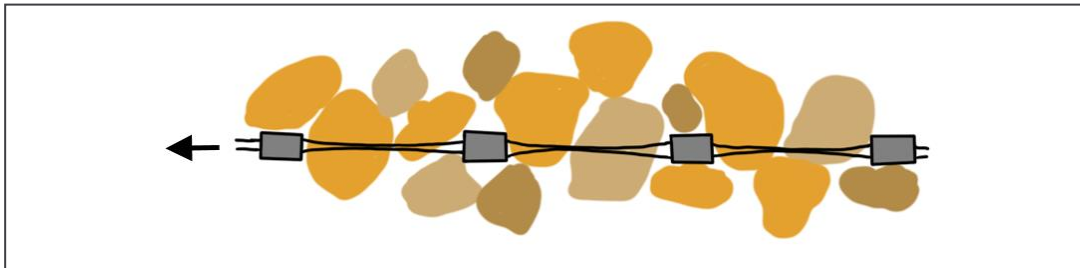
B_t	dikte van de dwarsdraden van geogrids welke in rekening is gebracht bij de draagkracht [m]
S	h.o.h. afstand tussen de dwarsdraden [m]
D_{50}	korreldiameter die bij 50% van het gewicht door zeefuitval wordt overschreden [m]



Figuur 4.2 Passieve weerstand van de grond tegen dwarsribben

Opsluiting gronddeeltjes bij een grid

Opsluiting van gronddeeltjes in de openingsgrootte van het grid treedt op als de gemiddelde korrel diameter ongeveer even groot is als de openingen van het grid. De mate waarin deze mechanismen worden aangesproken, is afhankelijk van de oppervlakteruwheid, openingsgrootte in het grid, de mate van vervormbaarheid in het vlak van de wapening, de geometrie en de verdeling van de korrelgrootte in de grondsoort.



Figuur 4.3 Opsluiting gronddeeltjes bij een geogrid

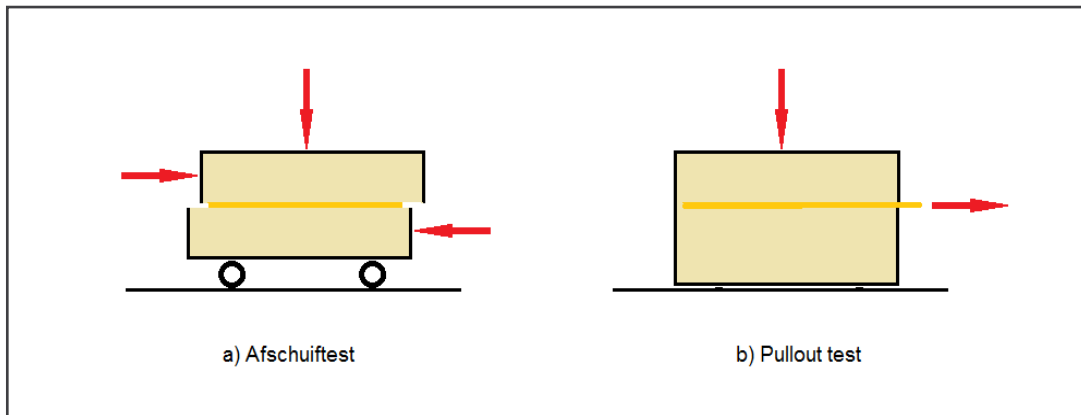
Om de interactie te meten en kwantificeren is een aantal interactie testen opgesteld. De belangrijkste hiervan zijn de pull-out test (zie NEN-EN 13738:2004 [21]) en de afschuiftest (NEN-EN-ISO 12957-1 [15] en NEN-EN-ISO 12957-2 [16]).

4.3 Bepaling en achtergrond interactiecoëfficiënten

4.3.1 Beschrijving Afschuiftest en Pull-out test

Er zijn uiteindelijk twee bepalende mechanismen voor de interactie tussen grond en wapening te onderscheiden, zie Figuur 4.4, waarbij de bovengenoemde opsluiting als derde mechanisme in deze beide gevallen een gunstig effect kan hebben:

- afschuiven, waarbij een moot grond over een wapening heen schuift en vice versa, te bepalen via een afschuiftest;
- uittrekken, waarbij een wapeningslaag uit de grond wordt getrokken, nadat de maximale interactie heeft plaatsgevonden, te bepalen via een pullout test.



Figuur 4.4 Afschuiftest en uittrektest (pullout) voor het bepalen van de interactie grond – wapening

De afschuiftest en de uittrektest worden gebruikt om respectievelijk de interactiecoëfficiënt voor glijden (sliding) en voor uittrekken (pull-out) te bepalen. In de volgende paragrafen komen beide uitgebreid aan bod.

4.3.2 Afschuiven van de wapening (direct sliding)

De weerstand tegen afschuiven wordt getoetst bij horizontaal afschuiven van het gewapende massief op de ondergrond over het wapening-grond glijvlak conform paragraaf 4.5.3 van CUR 198 [31]. De wrijvingsfactor a'_{ϕ} in formule (9) kan daarbij worden opgevat als de direct sliding coëfficiënt (f_{ds}) die kan worden bepaald op basis van het aandeel van het wrijvingsvlak α_s (= interface wrijvingsfactor α'):

$$a'_{\phi} = f_{ds} = \alpha_s \cdot \frac{\tan \delta}{\tan \phi'} + (1 - \alpha_s) = \alpha_s \cdot f_{sf} + (1 - \alpha_s) \quad (9)$$

waarbij geldt:

a'_{ϕ}	factor voor de wrijving tussen grond en wapening gebaseerd op $\tan \phi'_{k, \text{ondergrond}}$ [-]
f_{ds}	factor direct sliding [-]
α_s	aandeel van het contactoppervlak wapening over het glijvlak [-]
f_{sf}	factor skin friction uit verhouding $\tan \delta / \tan \phi'$, ter indicatie kan voor een eerste ontwerpberekening worden uitgegaan van $f_{sf} = 0,6$ voor goed verdicht granulair aanvulmateriaal [-]

Bovenstaande formule is ontwikkeld door Jewell (1996) [55] en is opgenomen in de BS 8006:2010+2016 [38] en in de BBA-certificaten van polymere geogrids. Uit deze formule volgt de waarde van f_{ds} die bij een eerste inschatting voor een eerste ontwerpberekening kan worden aangehouden. De waarde van f_{ds} blijkt voor een groot deel bepaald te worden door de factor α_s .

Voor het voorlopig ontwerp wordt voor alle gevallen geadviseerd te rekenen met de formule (9) van Jewell. Voor de berekening van de aanhechting conform CUR 198 [31] dient daarbij op de rekenwaarde van de aanhechting de weerstandsfactor γ_{μ} conform tabel 2.5 uit CUR 198 te worden toegepast welke varieert van 1,15 voor CC1, 1,20 voor CC2 en 1,30 voor CC3. Voor paalmatrassen wordt ook beperkt afschuiving meegenomen in de overlap

conform CUR 226 [32], waarbij ook deze weerstandsfactoren in rekening moeten worden gebracht.

Indien gewenst kan later de waarde van f_{ds} exact bepaald worden d.m.v. een afschuifproef conform NEN-EN-ISO 12957-1 [15] met het aanvulmateriaal dat op het werk gebruikt wordt en het geogrid type dat gekozen is (onder stripgrid wordt verstaan de geogrids die opgebouwd zijn uit rechthoekige strips). Uiteraard gelden ook hierbij de toepassing van de weerstandsfactor γ_{μ} conform tabel 2.5 uit CUR 198 zoals hierboven genoemd. In de tabellen in Bijlage 6 is ter indicatie een overzicht gegeven van de waarden van f_{ds} voor representatieve commercieel beschikbare geogrids (zie ook CUR 198, EBGEO en de BBA certificaten die deze waarde voor het voorlopig ontwerp adviseren). De grids zijn verdeeld in 3 groepen: korte-duur breuksterkte rond 30 kPa; breuksterkte 100 – 120 kN/m en hogere breuksterktes. In alle gevallen op één na ligt de waarde van f_{ds} boven 0,8. Alleen het zware Secugrids 400/4.R6 heeft een lagere waarde van 0,72.

4.3.3 Aanhechting van de wapening (bond strength)

De aanhechting wordt getoetst in onder meer paragraaf 3.5.2 van CUR 198 [31] bij de Tie back wedge methode en bij de globale inwendige stabiliteit zoals in de Two part wedge methode. De aanhechting kan worden getoetst op basis van de interactiecoëfficiënt μ , uit de bond coëfficiënt f_b (Jewell, 1996 [55]). Deze kan berekend worden met de formules:

$$\mu = f_b \cdot \tan \phi' \quad (\text{waarbij } \mu \leq 1,0) \quad (10)$$

$$f_b = \alpha_s \cdot f_{sf} + \frac{\sigma'_b}{\sigma'_n} \cdot \left(\alpha_b \cdot \frac{B}{2S} \right) \cdot \frac{1}{\tan \phi'} \quad (11)$$

$$\frac{\sigma'_b}{\sigma'_n} = \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2} \right) \cdot e^{\left(\frac{\pi}{2} + \phi' \right) \cdot \tan \phi'} \quad (12)$$

waarbij geldt:

μ	interactiecoëfficiënt of aanhechtingsfactor [-]
ϕ'	karacteristieke waarde effectieve hoek van inwendige wrijving grond in gewapend massief [°]
f_b	factor bond coëfficiënt ($f_b = a'$, pull out bearing factor ofwel factor voor de invloed van ϕ' op de wrijving) [-]
α_s	aandeel van het contactoppervlak wapening over het glijvlak [-]
$\alpha_b \cdot B/(2S)$	factor voor de lokale passieve gronddruk in het grid [-]
f_{sf}	factor skin friction uit verhouding $\tan \delta' / \tan \phi'$, ter indicatie kan voor een eerste ontwerpberekening worden uitgegaan van $f_{sf} = 0,6$ voor goed verdicht granulair aanvulmateriaal [-]
σ'_b	draagvermogen [kPa]
σ'_n	normaalspanning op het niveau van de geokunststofwapening [kPa]

Opgemerkt moet worden dat in de formules zoals hierboven aangegeven, overgenomen zijn uit de BBA certificaten en CUR 198 [31]. De factoren $F1$ en $F2$ ontbreken in vergelijking met de oorspronkelijke afleiding zoals door Jewell (1996) [55] in CIRIA SPC 123 hoofdstuk 4.4 is gegeven (zie Bijlage 6.3) waarbij de formule (11) is uitgebreid tot:

$$f_b = \alpha_s \cdot f_{sf} + F_1 \cdot F_2 \cdot \frac{\sigma'_b}{\sigma'_n} \cdot \left(\alpha_b \cdot \frac{B_t}{2S} \right) \cdot \frac{1}{\tan \phi'} \quad (13)$$

$$F_1 = 2 - 0,1 \cdot \frac{B_t}{D_{50}} \quad \text{waarbij } F_1 \geq 1,0 \quad (14)$$

$$F_2 = 1,0 \quad (15)$$

waarbij geldt:

f_b factor bond coëfficiënt ($f_b = a'$, pull out bearing factor voor de invloed van ϕ' op de wrijving) [-]

α_s aandeel van het contactoppervlak wapening over het glijvlak [-]

$\alpha_b \cdot B/(2S)$ factor voor de lokale passieve gronddruk in het grid [-]

B_t dikte van de dwarsdraden of dwarsribben van geogrids welke in rekening is gebracht bij de draagkracht [m]

S maaswijdte tussen de dwarsdraden [m]

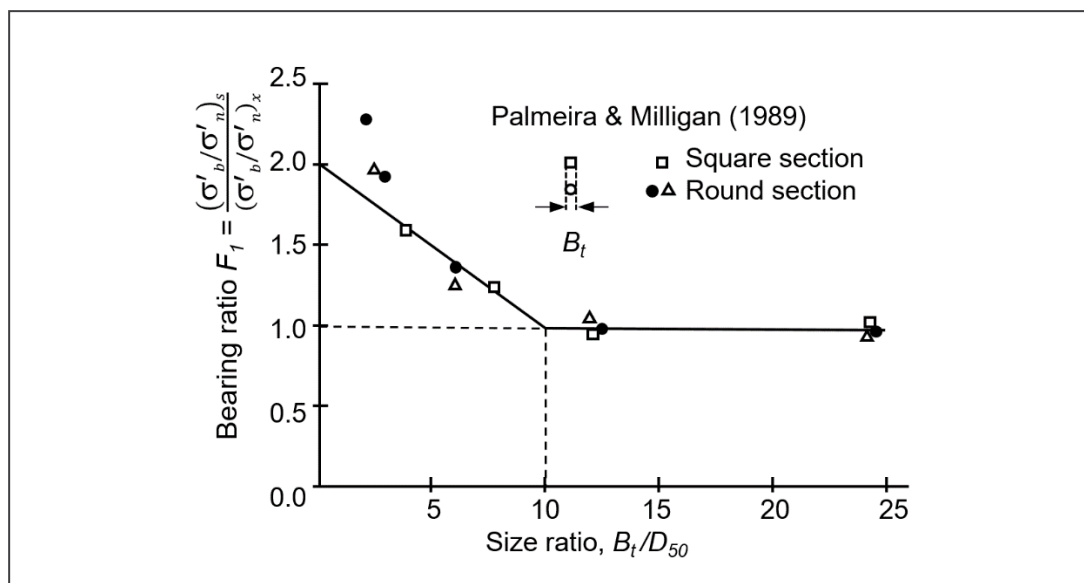
D_{50} korreldiameter die bij 50% van het gewicht door zeefuitval wordt overschreden [m]

f_{sf} factor skin friction uit verhouding $\tan \delta' / \tan \phi'$, ter indicatie kan voor een eerste ontwerpberekening worden uitgegaan van $f_{sf} = 0,6$ voor goed verdicht granulair aanvulmateriaal [-]

σ'_b draagvermogen [kN/m²]

σ'_n normaalspanning op het niveau van de geokunststofwapening (loodrecht op grid) [kN/m²]

F_1 is een schaalfactor die de bearing ratio σ'_b/σ'_n verhoogt in het gebied $B/D_{50} < 10$ welke is weergegeven in Figuur 4.5 en formule (14). Voor de factor F_2 zijn door Jewell waarden gevonden welke liggen tussen 1,0 en 1,2 afhankelijk van de exacte vorm van de draaddoorsnede waar de grond zijdelings tegenaan drukt. Maar omdat de invloed van F_2 op de waarde van de bond coëfficiënt zeer beperkt is en ook het vaststellen ervan niet eenduidig is, dient voor F_2 te worden uitgegaan van de minimale waarde gelijk aan 1,0 zoals aangegeven in formule (15).



Figuur 4.5 Bepaling opschaalfactor (bearing ratio) F_1 volgens Jewell (1996) [55]

Een ondergrens kan in eerste instantie worden bepaald op basis van de theoretische methode van Jewell. Daarbij moet wel worden opgemerkt, dat deze methode kan leiden tot relatief lage waarden, afhankelijk van de geometrie van de wapening. Voor de commercieel beschikbare geogrids leidt een berekening volgens de methode Jewell tot waarden zoals aangegeven in de tabellen in Bijlage 6.2.

Voor het voorlopig ontwerp wordt voor alle gevallen geadviseerd de bond coëfficiënt f_b te bepalen met de bovenstaande formules (13) t/m (15) van Jewell, waarbij de bond coëfficiënt direct als factor en ook als éénzijdig langs de wapening dient te worden toegepast voor de toetsing van de aanhechting voor de lokale inwendige stabiliteit conform CUR 198 [31].

Bepaling bond coëfficiënt uit pull-out tests volgens onderzoek Maas (1994, [56]).

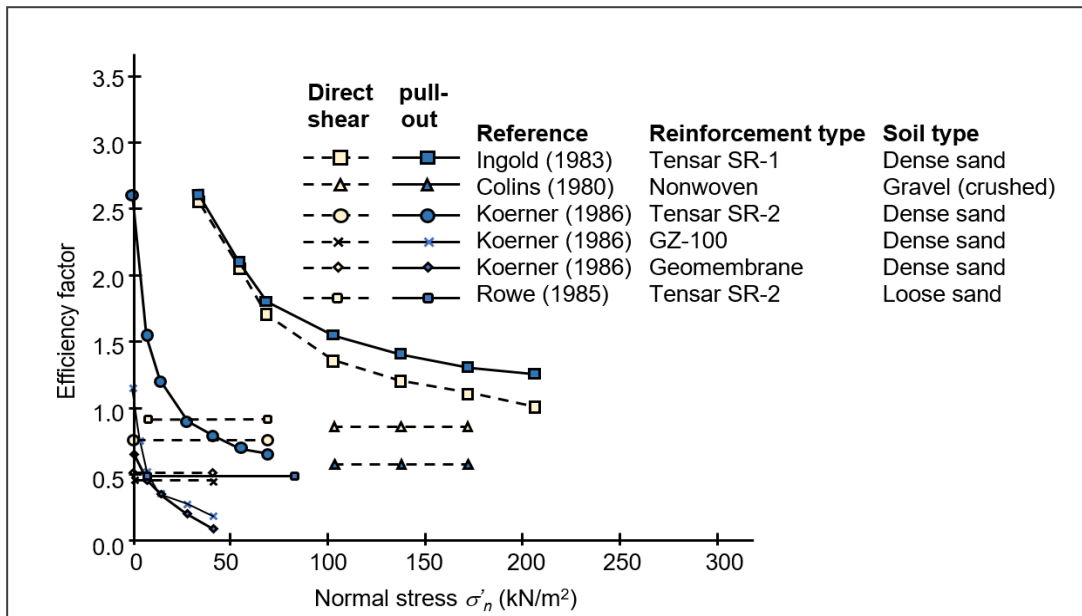
De bond coëfficiënt kan ook bepaald worden aan de hand van pull-out tests. De waarde van de bond coëfficiënt die gevonden wordt in pull-out tests met hetzelfde product en onder verschillende condities is niet eenduidig. Hij is ondermeer afhankelijk van de bovenbelasting gedurende de test (σ'_n), de trekmodulus van het geogrid en de ontwikkelde ankerlengte in de test (Maas, 1994 [56]).

Door een sterke variatie in de rek over de lengte van het geokunststof tijdens de proef, is de schuifspanningsverdeling tussen het geokunststof en de grond niet uniform. In de definitie van de bond coëfficiënt wordt echter aangenomen dat de schuifspanning uniform is verdeeld over de lengte van het geokunststof.

De lengte van de pull-out box is van invloed op de waarde van de bondcoëfficiënt. Van belang is dat de lengte van het geogrid in de pull-out box zo groot is dat de breuksterkte van het geogrid buiten de box bereikt wordt. Zo kan de verankeringslengte het meest nauwkeurig bepaald worden. Dilatantie van de grond in de box kan tijdens de proef optreden, dit beïnvloedt weer de waarde van de normaalspanning σ'_n . De opspanning van de grond tegen de voorkant van de pull-out box leidt tot plaatselijke verhoging van de normaalspanning σ'_n aan de voorzijde van de box. De locatie van de klem waarmee de kracht overgebracht wordt op het geogrid heeft invloed op het resultaat.

Er zijn verschillende onderzoeken met diverse geogrids in pull-out boxen uitgevoerd (Hornbath, 1982, Johnson 1983, Juran, 1988, Juran e.a 1992, Farrag e.a. 1993, Sarsby 1985, Wichter 1990). De resultaten zijn door Maas in haar afstudeeronderzoek onder leiding van prof. van Tol en prof. d'Angremond geanalyseerd [56] (Oostveen, Maas, & Hendrikse, 1994).

Figuur 4.6, overgenomen uit haar verslag geeft een overzicht van enkele resultaten van door anderen uitgevoerde testen.

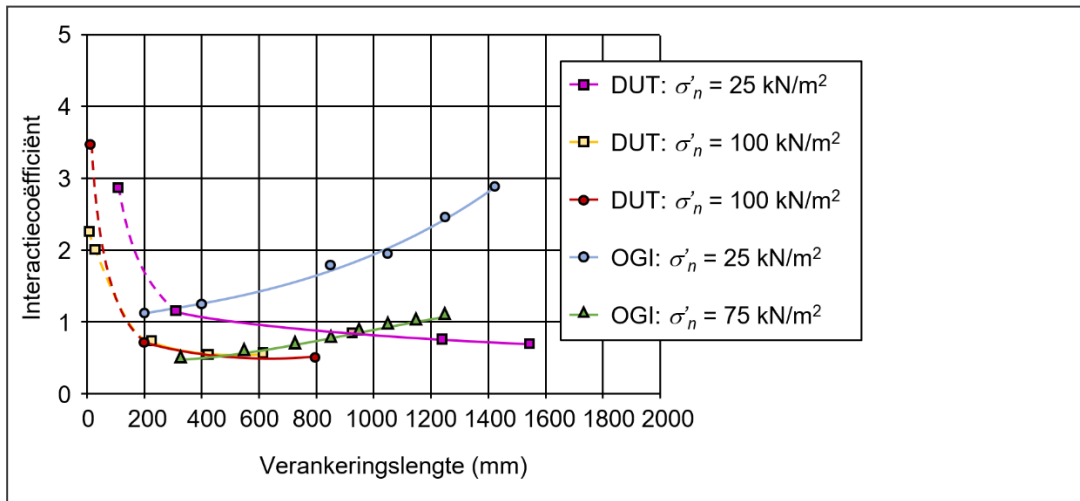


Figuur 4.6 Relatie normaalspanning versus interactiecoëfficiënt, [56]

Zoals uit Figuur 4.6 blijkt, kan bij de normaalspanning $\sigma'_n < 50 \text{ kN/m}^2$ de bondcoëfficiënt f_b (hier weergegeven als *efficiency factor*) variëren tussen van 2,6 en 0,2. Tussen 100 en 200 kN/m^2 worden de waarden van de bondcoëfficiënt meer constant, maar variëren toch nog tussen 0,6 en 1,5.

Bij de verankering van een geogrid in de grond is het onmogelijk dat met een bondcoëfficiënt $f_b > 1$ gerekend mag worden. Immers als de bondcoëfficiënt $f_b > 1$ is, dan zal in een vlak boven en onder het geogrid afschuiving door de grond plaatsvinden, waarvoor geldt: $\tau = \sigma'_n \cdot \tan \phi'$. De hogere waarden dan 1 voor de bondcoëfficiënt f_b worden veroorzaakt door randverschijnselen in de box en daardoor niet bruikbaar.

Daarnaast zijn door Maas [56] controle proeven uitgevoerd in een grote pull-out box (2,0 x 1,0 x 0,6 m) om de verschillende randverschijnselen te elimineren. Zij concludeert: "Theoretisch kan de interactiecoëfficiënt (tegenwoordig bondcoëfficiënt f_b genoemd) elke waarde van 0 tot 1 hebben. Deze waarde is uniek voor een bepaald type geokunststof in een bepaalde grondomstandigheid onder een constante verticale spanning. Uit de literatuur blijkt dat verschillen in proefopstelling en uitvoeringsprocedure leiden tot verschillende waarden voor de interactiecoëfficiënt".



Figuur 4.7 Relatie interactiecoëfficiënt versus verankeringslengte volgens TU Delft (DUT) en Otto Graf Institut (OGI) [56]

Uit Figuur 4.7 blijkt een groot verschil (ongeveer een factor 2) in de bondcoëfficiënt f_b voor hetzelfde product te zijn, afhankelijk van de normaalspanning loodrecht op het grid (25 kPa of 100 kPa). Maas concludeert tenslotte, dat het beter is met ontwerpgrafieken te werken, waarin de relatie tussen de trekkracht en minimaal benodigde verankeringslengte bij een bepaalde normaalspanning is aangegeven. Het berekenen van de bond coëfficiënt wordt dan vermeden.

In Bijlage 6.2 is de bondcoëfficiënt berekend voor de commercieel beschikbare geogrids volgens de methode Jewell [55]. Dit is gedaan voor 3 representatieve groepen geogrids, gegroepeerd op basis van de treksterkte, de waarde van α_s en de waarde van $\alpha_b \cdot B_t / (2S)$, de laagste treksterkte van een geogrid, de sterkte rond 100 à 120 kN/m en de hoge sterkten rond 200 à 400 kN/m. De waarde van de hoek van inwendige wrijving φ' speelt een belangrijke rol, zoals te verwachten was op basis van de gehanteerde formule. Over het algemeen zullen de waarden als conservatief beoordeeld worden. Het imago van de bondfactor is dat het in de buurt van 1 of zelfs daarboven ligt. Uit de gedetailleerd analyse van de TU Delft (Maas, 1994) blijkt dat de waarden in de tabellen van Bijlage 6.2 net onder de gemeten waarden liggen, wanneer geprobeerd wordt de randeffecten die bij de test kunnen optreden te elimineren.

Op basis van de beschouwde typen geokunststofwapening uit Bijlagen B6.1 en B6.2 zijn de bondcoëfficiënten vervolgens vastgesteld voor berekening in een voorlopig ontwerp voor flexibele geogrids en stijve geogrids in zand als aanvulmateriaal, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen grids met een hoge en een lagere breuksterkte. Deze zijn als volgt:

- flexibele geogrids met breuksterktes < 200 kN/m: $f_b = 0,35$;
- stijve geogrids (stripgrids) met breuksterktes < 200 kN/m: $f_b = 0,25$;
- voor beide categorieën met breuksterktes > 200 kN/m: $f_b = 0,45$.

Als hiervan afgeweken wordt, bijvoorbeeld bij het maken van het definitieve ontwerp, dan moet een pull-out test uitgevoerd worden. Belangrijk is het daarbij dat in de test dezelfde grondsoort wordt gebruikt als het aanvulmateriaal dat gebruik wordt in de constructie met het juiste wrijvingsoppervlak voor de controle op basis van de éézijdige aanhechting voor de lokale inwendige stabiliteitscontrole conform CUR 198 [31].

Verder zal als waarde voor σ'_n de zelfde verticale belasting (normaalspanning) gekozen moeten worden als die uit het ontwerp blijkt en ter plaatse van het grid werkt. De bovenbelasting op de geogrids varieert met de locatie van het grid in de constructie. Dus moet de pull-out test ook uitgevoerd worden met verschillende waarden voor de normaalspanning. Een controleberekening moet per laag uitgevoerd worden met verschillende waarden voor f_b . De gemobiliseerde ankerlengte moet gemeten en bepaald worden, zoals in NEN 13738 [21] aangegeven is. Op basis van deze ankerlengte, die dus niet de lengte van het monster in de pull-out box is, kan de waarde van f_b bepaald worden. Zuiverder is de relatie tussen contactoppervlak en σ'_n en de pull-out force vast te leggen en deze relatie te gebruiken bij de controle berekening zoals ook in CUR 198 [31] aangegeven is.

5 Stijfheid geokunststof

5.1 Algemeen

Een geokunststof dat gedurende langere tijd belast wordt zal naast de initiële rek die ontstaat bij het aanbrengen van de belasting ook gedurende de tijd dat de belasting aanwezig is verder rekken. Deze tijdsafhankelijke rek is de kruip van het materiaal. De kruip is afhankelijk van de grootte van de trekkracht, de duur van de belasting, temperatuur en de soort geokunststof en de manier waarop het vormgegeven is. Kruip is visco-plastisch gedrag, als het materiaal ontlast wordt zal niet zijn oorspronkelijke lengte weer krijgen maar een deel van de rek zal permanent zijn.

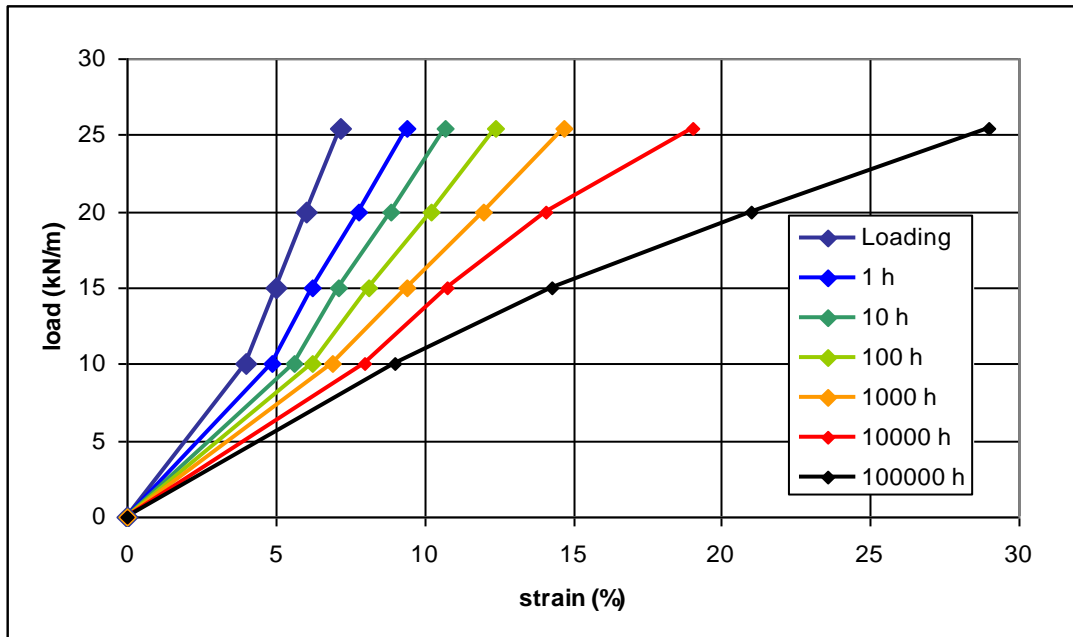
5.2 Isochrone curven

Bij kruiptesten wordt o.a. de toename van de rek gemeten per tijdseenheid. Dus $(\varepsilon_{t2} - \varepsilon_{t1}) / (t_2 - t_1)$. Dit is de kruipsnelheid (in % per jaar). Deze kruipsnelheid is afhankelijk van het belastingniveau, bij een hoog belastingniveau zal de kruipsnelheid groter zijn dan bij een laag niveau. Bij het ontwerp van een gewapende grondconstructie wordt in de gebruikstoestand de maximum toelaatbare rek gespecificeerd. Deze rek bestaat uit de initiële rek die optreedt tijdens het belasten en de rek als gevolg van kruip die tijdens de gebruiksfase optreedt. De rek is afhankelijk van het belastingniveau en van de duur van de belasting. Deze maximale rek-eis kan dus ook de maximale toelaatbare belasting begrenzen.

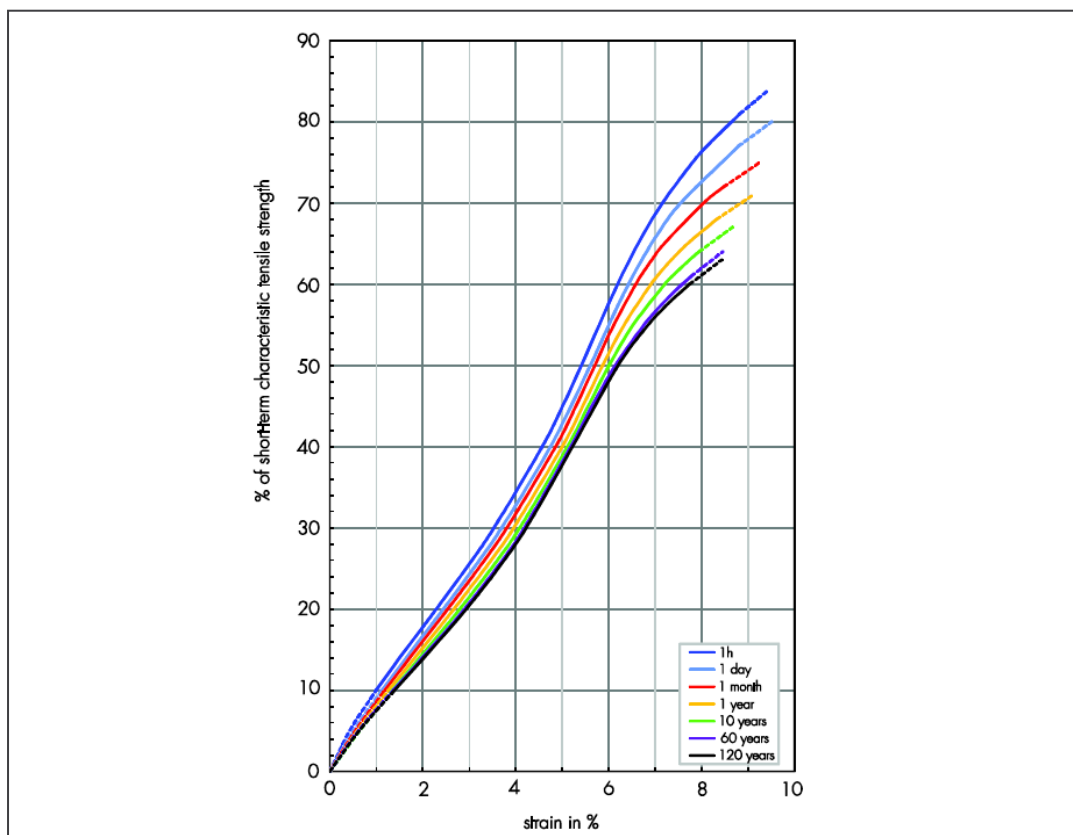
De voor dit doel meest geschikte manier om de kruipgegevens weer te geven is gebruik te maken van isochrone curven. Dit zijn belasting-rekcurven, vergelijkbaar met die verkregen uit een trekproef, maar waarbij elke curve een andere tijdsduur vertegenwoordigt. Uitgaande van de trek-rek curve die volgt uit de korte duur trekproef wordt bij de initiële rek op verschillende belastingniveaus (in procenten van de karakteristieke waarde van de korteduur treksterkte, dus % UTS) de rek opgeteld die ontstaat als gevolg van kruip gedurende een bepaalde tijdsduur.

De verschillende punten die behoren bij een bepaalde tijdsduur worden verbonden. Hierdoor ontstaat een set van voorspelde kruipcurven voor hetzelfde materiaal bij verschillende belastingen. Zo kunnen dan voor elke belasting de rekken afgelezen bij gekozen tijdsduren van belasten zoals 1 uur, 10 uur, 100 uur, tot aan de ontwerplevensduur. Voor PET geldt dat de kruipsnelheid per belasting niveau constant is voor langere duur, tot aan het tijdstip dat de swing-up in de trek-rek curve begint. Dit punt valt samen met het bereiken van het 2e maximum van de modulus en leidt het bezwijken in (referenties: Voskamp & Retzlaff (2006) [60] en Voskamp & van Vliet (2001) [61]). Zodra deze constante kruipsnelheid kan worden bepaald mag hiermee geëxtrapoleerd worden tot aan bezwijken. Bij polyolefinen kan de kruipsnelheid per belastingniveau in de tijd toenemen. Daarom wordt bij polyolefinen (PE en PP) bezwijken als gevolg van kruip op basis van een maximum rek gedefinieerd. Hierbij wordt gebruik gemaakt van Sherby-Dorn plots (zie Voskamp e.a., 2016, par 3.4.2.5 [59]).

Deze isochrone curven gaan door de oorsprong en moeten qua vorm vergelijkbaar zijn met de oorspronkelijke referentiebelasting-rekkromme (trek-rek kromme als resultaat van de korte duur trekproef), maar rechts ervan liggen. In Figuur 5.1 wordt een theoretisch voorbeeld gegeven van een set isochrone curven. Voor de duidelijkheid zijn de rekken groter aangegeven dan dat ze in werkelijkheid bij met name PET geokunststoffen zijn.



Figuur 5.1 Voorbeeld van isochrone curven. De curve getiteld 'Loading' is de trek-tek curve die het resultaat is van de korte duur trekproef



Figuur 5.2 Voorbeeld van isochrone curven van een geokunststof

Door een eis te stellen aan de rek, die de geokunststof gedurende de gebruiksfase mag ondergaan, kan met behulp van deze isochronen een bovengrens worden vastgesteld voor de belasting (trekkracht) die op de geokunststof wapening mag worden uitgeoefend. Voor een maximaal toelaatbare rek van bijv. 5% en een levensduur van 100.000 h (zwarte curve in Figuur 5.1) is af te lezen dat de maximaal toelaatbare belasting voor deze geokunststof 6 kN/m is.

Omgekeerd, kunnen de isochronen ook gebruikt worden om de verwachte rek van de wapening te bepalen bij de optredende trekkracht (dat wil zeggen de bruikbaarheidsgrenstoestand waarin alle partiele factoren de waarde 1,0 hebben).

De kruiptesten moeten uitgevoerd worden zoals beschreven in NEN-EN-ISO 13431:1999, Geotextiles and geotextile-related products, Determination of tensile creep and creep rupture behaviour [20]. ASTM D 6992: 2003 Standard test method for accelerated tensile creep and creep-rupture of geosynthetic materials based on time-temperature superposition using the stepped isothermal method [35] beschrijft de testen volgens de SIM method. Verder wordt voor de beschrijving van het construeren van de isochrone curven verwezen naar NPR-ISO/TR 20432 [25].

De temperatuur waarbij de kruiptesten worden uitgevoerd is 20°C. Bij hogere temperaturen is de kruipsnelheid groter en zullen de isochrone curven steiler verlopen. Zie ook bijlage B4.3: Temperatuur effecten op sterkte van geokunststoffen gemaakt van verschillende polymeren.

Alleen isochrone curven welke zijn vastgelegd in certificaten en zijn bepaald door geaccrediteerde organisaties, zie ook bijlage 3, mogen worden toegepast.

Voor een uitgebreide beschrijving van kruiptesten en de verwerking van de gegevens uit deze testen in stress-ruptuur lijnen, trek-rek curven of isochrone curven wordt verwezen naar (Voskamp, 2016), Durability of Geosynthetics, par 3.4.2 [59].

6 Milieu-aspecten

6.1 Eisen met betrekking tot hergebruik van polymeren

6.1.1 Algemeen

Nederland wil in 2050 een circulaire economie zijn. Hiervoor is het Rijksbrede Programma Circulaire Economie ontwikkeld. Rijkswaterstaat wil al in 2030 circulair werken. Dit komt vooral neer op materialen hoogwaardig hergebruiken, waarbij na de sloop van een constructie het gesloopte materiaal weer als een volwaardige grondstof gebruikt wordt.

6.1.2 Mogelijkheden en eisen bij hergebruik oorspronkelijk materiaal

Hergebruiken kan op twee manieren:

- hergebruik van het materiaal in zijn oorspronkelijke vorm;
- recyclen van de grondstof van het materiaal en daarvan opnieuw geschikte producten maken.

In het geval van hergebruik in de oorspronkelijke vorm van geokunststoffen betekent dit, dat bij hergebruik van het geokunststof in zijn oorspronkelijke vorm er bij het ontwerp van een constructie al rekening moet worden gehouden met het verwijderen van het materiaal en het hergebruik ervan. Dit kan ertoe leiden dat in plaats van een optimaal ontwerp met variabele afmetingen geokunststof er bijvoorbeeld gekozen moet worden voor toepassing van gestandaardiseerde of geclassificeerde lengtes en sterktes. Als er allerlei verschillende lengtes vrijkomen bij de sloop van een constructie komt er niet veel terecht van hergebruik. De lengteverschillen tussen geokunststoffen in de oude toepassing en in het nieuwe ontwerp leveren dan veel knipverliezen en dus veel afval op. Er zal dus een classificatiesysteem van bijvoorbeeld praktische haalbare lengtes die zodanig zijn dat je kunt kiezen voor een lengte die het dichtst bij de ontwerplengte komt en sterktes (per toepassingsgebied) opgezet moeten worden waarvan de producenten en de aannemers en ontwerpers gebruik moeten maken. Als er geen centraal systeem komt zal niemand ongunstige lengtes gaan inbouwen, dit betekent immers hogere prijzen. Hier ligt dus een taak voor de opdrachtgevers.

Er zal daarnaast een keuringssysteem opgezet moeten worden om te bepalen of kwaliteit van het hergebruikte materiaal nog aan de oorspronkelijke eigenschappen voldoet. De korteduur sterkte, rek en trekmodulus moet bepaald worden. Gecontroleerd moet worden wat de restlevensduur van het materiaal is met betrekking tot de chemische afbraakmechanismen en in- en uitbouwschade.

Indien een classificatiesysteem, zoals hierboven beschreven is, niet uitgevoerd wordt, dan zullen er lasmethoden ontwikkeld moeten worden of eisen moeten worden gesteld aan de verbinding van de geokunststoffen met name in de lengterichting van de rol. Als de verbindingen niet een 100% sterkte overdracht hebben, dan zal het toepassingsgebied op basis van de sterkte van het materiaal verlaagd moeten worden en moeten worden vastgesteld en in rekening worden gebracht aan de hand van de reductiefactor RF_{js} .

6.1.3 Mogelijkheden en eisen bij recycling van het materiaal

Als er niet tot hergebruik van het oorspronkelijke materiaal overgegaan kan worden zal het materiaal gerecycled moeten worden. Dit kan op 2 principiële verschillende manieren.:

- mechanisch recyclen;
- chemisch recyclen.

Mechanische recycling

In geval van geokunststoffen komt in eerste instantie mechanische recycling in aanmerking. Dit houdt in dat het aangeleverde materiaal schoon en zuiver moet zijn. Wat de zuiverheid van polymeren betreft zal er geen probleem zijn als het bij de sloop verwijderde materiaal gescheiden afgevoerd wordt. Het is dan (zoveel mogelijk) van hetzelfde polymeer gemaakt. Het materiaal zal wel vuil zijn en er zullen grondkorrels in zitten. Dit zou met een zuiveringsstap verwijderd moeten worden.

Het beste is als de recycling gescheiden gehouden wordt van andere afvalstromen, dan ontstaat er geen vermenging en blijft het relatief hoogwaardige polymeer bruikbaar. Er zullen dus gespecialiseerde recyclers voor deze afvalstromen moeten komen.

Hierna zal het verhit worden in een extruder en zullen er pellets van gemaakt worden. In deze fase zullen de eigenschappen van het materiaal bepaald moeten worden, zoals meltflow index, mol gewicht, smeltemperatuur enz.. Door de afvalstroom gescheiden te houden zal er zoveel mogelijk hoogwaardig materiaal behouden blijven. Het is echter de vraag of door de verwarmingsstappen er geen afbraak van het basis polymeer plaats zal vinden.

Nagegaan moet worden of en hoe dit gerecyclede materiaal met behulp van toeslagmaterialen zoals antioxidanten enz. opgewerkt kan worden tot de kwaliteit die vereist is voor gebruik als polymeer in de oorspronkelijke toepassing.

Aan de zuiverheid van het polymeer worden hoge eisen gesteld. Geokunststoffen zijn gemaakt van multifilament garens, monofilament garens, strippen of geëxtrudeerde folies. Als er verontreinigingen in het polymeer zitten zal dit leiden tot het verstopen van gaatjes in de spinplaten of dyes. Het garen breekt en het productieproces kan niet goed doorgezet worden. Naar mate de extrusieopening groter is zal er iets meer verontreiniging geaccepteerd kunnen worden. Tot nu toe is het niet commercieel mogelijk geweest om geokunststoffen, nadat ze ingebouwd geweest zijn, zo te zuiveren dat er multifilament garens van gemaakt konden worden. Er zijn wel alternatieve vormingsmethoden ontwikkeld, die gedeeltelijk gepatenteerd zijn, maar een garen maken van (post-consumer) recycled polymeer en dat te verstrekken ("uitrekken" om het polymeer materiaal te verbeteren) is tot nu toe niet gelukt.

Mocht de kwaliteit onvoldoende blijken te zijn voor de hoogwaardige toepassing in geokunststoffen dan kan er toepassing gezocht worden in een laagwaardiger toepassing. Dit betekent ook dat er dan altijd "virgin" polymeer gebruikt zal worden voor deze hoogwaardige toepassingen (multifilament-technische garens) en dat het recyclede geokunststof materiaal grotendeels ingezet zal worden voor een laagwaardiger toepassing (een toepassing met minder hoge eisen voor wat betreft de zuiverheid).

Aangezien er veel afvalstromen zullen zijn, die allemaal misschien niet helemaal opgewerkt kunnen worden, kan er aan het eind van de keten plastic afvalmateriaal ontstaan dat niet verder hergebruikt kan worden. Dit zou dan als brandstof bij de afvalverbranding gebruikt kunnen worden, waarvoor altijd brandstof nodig zal zijn. Er wordt nu ook op grote schaal plastic verbrand en als brandstof gebruikt bij de afvalverwerking maar het doel is deze stroom plastic op termijn sterk te verminderen.

Chemische recycling

Chemische recycling is het proces waarbij gebruikt kunststof materiaal door middel van chemische processen wordt teruggebracht tot de oorspronkelijke bouwstenen, zoals polymeren, monomeren etc., zodat het weer kan worden gebruikt als grondstof voor nieuwe kunststof producten. Hiervoor worden verschillende methodes ontwikkeld:

- Zuivering op basis van oplosmiddelen is een proces waarbij het plastic wordt opgelost in een geschikt oplosmiddel, waarbij een reeks zuiveringsstappen wordt ondernomen om het polymeer te scheiden van additieven en toevoegmiddelen.
- Depolymerisatie is het omgekeerde van polymerisatie en levert enkelvoudige monomeermoleculen of kortere fragmenten op. Met deze techniek kan PET worden gerecycled.
- Door pyrolyse en vergassing worden kunststoffen en de meeste additieven en toevoegmiddelen omgezet in basischemicaliën.

De hoeveelheden zijn momenteel niet groot. De processen bevinden zich namelijk vaak nog in de ontwikkelingsfase van pilot plants. Daarnaast zijn de (investerings)kosten nog steeds hoog. De verwachting is dat de komende 10 jaar steeds meer van deze technieken zullen worden toegepast.

6.1.4 Conclusie een aanbevelingen

Het zal duidelijk zijn dat in geval van hergebruik van het oorspronkelijke materiaal er de nodige studies/proeven gedaan moeten worden om de haalbaarheid te bepalen. Een bepaalde vorm van classificatie van lengtes en sterktes van geokunststoffen, bij het ontwerp van gewapende grond constructies zal in overleg met de opdrachtgevers gemaakt moeten worden. Classificatie zal prijsverhogend zijn omdat er meer materiaal gebruikt wordt, maar zonder zo'n systeem zal er geen goed hergebruik mogelijk zijn.

Wat betreft recycling zal er samenwerking in de verwerkingsketen moeten komen. Er zal veel onderzoek nodig zijn om praktische oplossingen voor recycling problemen te vinden. Al deze activiteiten zullen mede geïnitieerd en ondersteund moeten worden door de overheid omdat de kosten voor het bedrijfsleven te hoog zijn en het terugverdienen pas over veel jaren als de constructies met geokunststof afgebroken zullen worden, plaats zal vinden.

6.2 **Sustainability en durability**

In dit hoofdstuk zijn een aantal verschillende aspecten beschouwd die een relatie hebben tot milieu-aspecten waaronder "sustainability" en "durability" [63]. Hoewel beide termen in het Nederlands dezelfde vertaling hebben, namelijk "duurzaamheid", worden hier wezenlijk twee verschillende aspecten onderscheiden met betrekking tot de toepassing en materiaalgedrag van geokunststofwapening.

Sustainability beschrijft met name de belastende effecten op het milieu. Hierbij wordt met name een relatie gelegd met het ontwerp en de wijze van realisatie ervan met minimale belasting voor het milieu. Door toepassing van geokunststofwapening kan optimaal gebruik wordt gemaakt van de eigenschappen van de grond in een grondconstructie (waarbij de ontbrekende treksterkte-eigenschappen worden ondervangen door de aanwezigheid van geokunststoffen) zodat er minder andere primaire bouwstoffen nodig zijn en daardoor ook minder transport. Daarnaast spelen hier ook de mogelijkheden van hergebruik van geokunststoffen na einde levensduur een rol en de mogelijke schade die het kan leveren aan de directe omgeving (denk aan micro-plastics).

Durability omvat met name het materiaalspecifieke gedrag van de geokunststofwapening wat een directe relatie heeft met de levensduur ervan, zoals dat ook is beschreven bij de afbraakmechanismen en veroudering in paragraaf 3.2.

Dit hoofdstuk zal met name gaan over de mogelijkheden van hergebruik in relatie tot de eisen aan de kwaliteit van het modern materiaal en het gerecyclede materiaal gelet op de toepasbaarheid als hoogwaardig of laagwaardig materiaal. Daarnaast zijn ook de mogelijke effecten beschreven die belastend kunnen zijn voor het milieu in de vorm van vervuiling in relatie tot afbraak en slijtvastigheid na einde levensduur.

6.3 Mogelijkheden beperking milieu-belastende effecten

6.3.1 Vervuiling van het milieu als gevolg van het gebruik van geokunststoffen

Door Voskamp en Retzlaff (2022) is een uitgebreid artikel geschreven mogelijkheden ter beperking van milieu-belastende effecten als gevolg van het gebruik van geokunststoffen [63]. Restanten van geosynthetisch materiaal kunnen op verschillende manieren in het milieu terechtkomen:

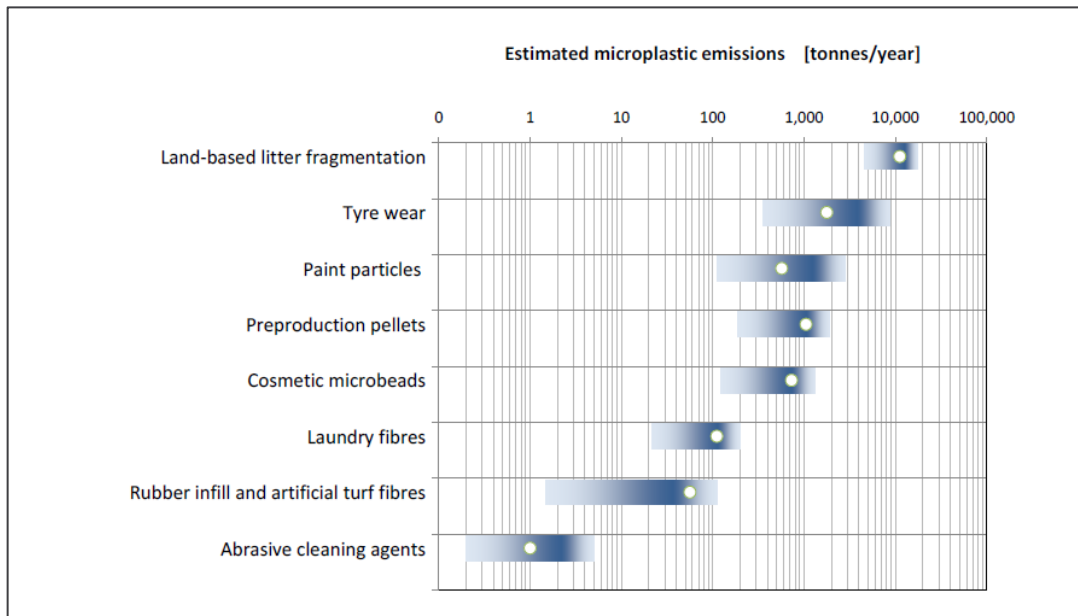
- als zwerfvuil, als er na het einde van de levensduur resten achterblijven (microplastics);
- vorming van kleine deeltjes door slijtage of oppervlaktebeschadiging tijdens de levensduur (microplastics);
- vervuiling door uitloging van additieven tijdens de levensduur.

Door implementatie van richtlijnen moet het ontstaan van restmateriaal dat uiteen kan vallen tot microplastics na afloop van de levensduur, worden voorkomen.

Ook moet uitlogingsverontreiniging worden voorkomen, wat betekent dat het gebruikte geosynthetische materiaal moet voldoen aan eisen ten aanzien van maximale hoeveelheden uitgelooagd materiaal. Deze eisen zijn gebaseerd op de EU-richtlijn EU 2020/2184: Over de kwaliteit van voor menselijke consumptie bestemd water.

6.3.2 Verontreiniging door microplastics en nanoplastics

Microplastics zijn kleine plastic deeltjes (< 5 mm) en nanoplastics zijn nog veel kleinere deeltjes (< 100 nanometer). Ze bestaan grotendeels uit synthetische polymeren waaraan tijdens het productieproces additieven, oliën, vulstoffen, vlamvertragers, etc. zijn toegevoegd. Er wordt onderscheid gemaakt tussen primaire microplastics, die als los deeltje worden geproduceerd en gebruikt, en secundaire microplastics, dat zijn deeltjes die door verwerking of beschadiging uit kunststof zijn gevormd (Stowa, 2022).



Figuur 6.1 Geschatte emissie van microplastics in Nederland in tonnen/jaar (Verschoor, 2018 [64])

Microplastics uit geosynthetics kunnen via versnippering van zwerfvuil op het land in het milieu terechtkomen, zoals te zien is in Figuur 6.1.

Wanneer geosynthetics worden geïnstalleerd volgens de methoden die worden beschreven in de installatiehandleidingen van het product, ontstaat er bijna geen zwerfvuil tijdens de installatie van geosynthetics. Het materiaal wordt geleverd in grote rollen die op maat worden gesneden en in de grond worden ingebouwd. Alleen het verpakkingsmateriaal van de rollen kan tot zwerfvuil leiden als het niet goed wordt opgeruimd. Aan het einde van zijn levensduur, wanneer de geokunststof wordt verwijderd, kan zich zwerfvuil vormen. Dit kan bestaan uit achtergebleven stukjes materiaal. De hoeveelheid zal klein zijn in vergelijking met de oppervlakte van geïnstalleerd materiaal en in vergelijking met de hoeveelheid zwerfvuil van verpakkingen en andere consumptiegoederen. Uitvoeringsrichtlijnen voor de afvoer van gebruikte geokunststoffen moeten ervoor zorgen dat de afvoer efficiënt plaatsvindt en dat er geen restmateriaal op de bouwplaats achterblijft.

Natuurlijk eindigt niet al het plastic afval in zwerfvuil. Het meeste wordt verzameld en opnieuw verwerkt. Om een idee te krijgen van de hoeveelheid plastic afval die in het milieu terecht kan komen, moet er gekeken worden naar de hoeveelheid zwerfvuil, waarvan ook nog een groot deel alsnog wordt afgevoerd door gemeenten (straatvegers) en waterschappen.

Het percentage zwerfvuil dat kan ontstaan uit de hoeveelheid afvalmateriaal van geokunststoffen bedraagt circa 0,2% en circa 0,05% van de jaarlijks geïnstalleerde nieuwe geokunststoffen [63], [65]. Dit zwerfvuil wordt deels verwijderd door (straat/bouwplaats) schoonmaakwerkzaamheden en komt slechts deels als microplastic deeltjes in het milieu terecht.

De meeste geokunststoffen worden in de grond gebouwd en worden niet blootgesteld aan ultraviolette (UV) straling of directe slijtage. Hierdoor is de kans dat fijne deeltjes vrijkomen als gevolg van slijtage of schuren zeer klein. Bij sommige toepassingen kan slijtage

optreden, bijvoorbeeld wanneer een geokunststof als filterlaag in de oever van een vaarweg wordt ingebouwd. Dan kan er slijtage optreden als de bedekking van het geokunststof onbedoeld verdwijnt. (of: bloot komt te liggen / onbedekt komt te liggen). Dit betekent dat bij het ontwerp van geokunststoffen en de keuze van de toegepaste geokunststoffen eisen gesteld worden aan de slijtvastheid.

Geosynthetics kunnen op deze slijtvastigheid worden getest. In ISO TC 221 is een testmethode ontwikkeld en beschreven in ISO 22182:2020 [26], waarmee de slijtvastheid kan worden gemeten. Op landelijk niveau worden vervolgens eisen gesteld. Als voorbeeld kunnen de eisen van de Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) in Duitsland worden genoemd (Maisner, 2019). Door op deze manier beperkingen en specificaties vast te stellen, kan slijtage van geokunststoffen grotendeels worden voorkomen.

7 Aanbevelingen

7.1 Algemeen

Dit document beschrijft de achtergronden van de eisen welke zijn opgenomen in het Voorschrift voor bepalen van karakteristieke waarden van de ontwerpparameters van geokunststofwapening. Voor de verschillende ontwerpparameters zijn waarden vastgesteld en onderbouwd aan de hand van zowel nationale als internationale normen en richtlijnen en ervaringen uit verschillende onderzoeken en uit de praktijk. Hierbij is telkens de filosofie gehanteerd de waarden zoveel mogelijk door middel van testen en proeven vast te stellen en voor zover dit niet gebeurt hiervoor voldoende veilige onder- of bovengrenswaarden vast te stellen.

Daarnaast zijn er nog zeker ontwikkelingsmogelijkheden om bepaalde ontwerpparameters nader te kunnen vaststellen, zeker als dit grote effecten kan hebben op de uiteindelijke kosten en de efficiëntie.

7.2 Aanbevelingen voor verder onderzoek

Vanwege het belang van liggende projecten, kan het noodzakelijk zijn een groter onderzoeksproject op te tuigen dan binnen het kader van dit project op dit moment mogelijk is. Onderzoeksvragen die daarbij dienen te worden beantwoord zijn:

- a) Hoe verandert de pH in het grondwater in een werk in de tijd?
- b) Is de pH van het grondwater bepalend, of hebben de korrels zelf invloed?
- c) Hoe beïnvloedt de (dalende waarde van de) pH de conditie en treksterkte van een polymeer in het werk, met name in het geval van PET geogrids toegepast in combinatie met menggranulaat met pH waardes 10 – 12,5?

Het onderzoek kan bestaan uit:

- literatuuronderzoek naar richtlijnen die in paragraaf 3.7.2.6 van CUR 243 [33] zijn gegeven en naar proefresultaten van beschikbare proeven met hoge pH waarden of uit testrapporten van geotextielen in alkalische vloeistoffen;
- uitvoeren praktijkproeven, zoals het nemen van monsters van geokunststoffen en omliggend aanvulmateriaal uit de praktijk en de geokunststofmonsters beproeven op reductie op treksterkte, voor zover deze ook chemisch kunnen worden beoordeeld (dit zou wel omvangrijk moeten zijn), en de pH van het aanvulmateriaal meten (voor en na breken) of beter:
- laboratoriumonderzoek a.h.v. proeven met geotextiel, waarbij gekeken wordt naar de invloed van verschillende zuurtegraad en temperatuur;
- laboratoriumonderzoek op micro-niveau: is de pH verschillend dicht bij een korrel / het polymeer / rechtstreeks contact met korrels? (eerst literatuur-onderzoek), of aanhaken bij lopend onderzoek elders (invloed granulaat op polyester).
- nagaan wat het effect op de sterkte en levensduur is van PET geogrid dat belast en onder hoge pH condities toegepast wordt.
- verwerken en toevoegen resultaten aan dit document, waaronder:
 - definiëren hoe pH waarde moet worden bepaald, zoals met de kolomproef door granulaat verbrijzelen en pH meten (NEN 7373 en NEN 7383) of met de schudproef (NEN-EN-ISO 10390), Cascade proef (NEN 7349) Diffusieproef (NEN 7375 en 7345);
 - analyseren bovenstaande proefresultaten;

- voor nieuwbouw: voorschrijven ingraven van overbodig materiaal bij nieuwe constructies en deze tussentijds en aan het eind van de levensduur beproeven voor het vaststellen van de restlevensduur;
- voorschrijven wanneer reductiefactoren RF_{CH} moeten worden toegepast, zoals bij inbouw tussen betonblokken en polymeren ingestort in beton;
- limiteren pH waarde voor bepaalde polymeren.

8 Referenties

8.1 Regelgeving, normen en richtlijnen

- [1] NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2019 Eurocode 0 - Grondslagen van het constructief ontwerp en NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011/NB:2011, Nationale bijlage bij NEN-EN 1990, ICS 91.010.30; 91.080.01
- [2] prEN 1997-3:2022 CEN/TC 250/SC7 Eurocode 7 – Geotechnical design – Part 3: Geotechnical structures
- [3] NEN 9997-1:2017 Eurocode 7 - Geotechnisch ontwerp van constructies - Samenstelling van: NEN-EN 1997-1 Geotechnisch ontwerp - Deel 1: Algemene regels; NEN-EN 1997-1/NB Nationale bijlage bij NEN-EN 1997-1 en NEN 9097-1: Aanvullende bepalingen voor het geotechnisch ontwerp (ontwerp). ICS 91.080.01; 93.020
- [4] NEN-EN 1998-1:2005 Eurocode 8 – Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies – Deel 1: Algemene regels, seismische belastingen en regels voor gebouwen; NEN-EN 1998-1/C1:2009; NEN-EN 1998-1/A1:2013. ICS 91.120.25
- [5] NEN-EN 1998-5:2005 Eurocode 8 – Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies – Deel 5: Funderingen, grondkerende constructies en geotechnische aspecten. ICS 91.120.25 (informatief)
- [6] NEN 7373:2004, Uitloogkarakteristieken - Bepaling van de uitloging van anorganische componenten uit poeder- en korrelvormige materialen met een kolomproef - Vaste grond- en steenachtige materialen; ICS 13.030.10, 91.100.01, Delft januari 2004
- [7] NEN 8700:2011, Grondslagen van de beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk, ICS 91.010.30; 91.080.01
- [8] NEN 8707:2018, Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeur – Geotechnische constructies, ICS 91.010.30; 91.080.01
- [9] NPR 9998:2020, Beoordeling van de constructieve veiligheid van een gebouw bij nieuwbouw, verbouw en afkeuren – Geïnduceerde aardbevingen – Grondslagen, belastingen en weerstanden, ICS 91.080.01: 93.020
- [10] NEN-EN-ISO 10319:2015, Geokunststoffen – Trekproef op brede stroken, ICS 13.080.70, Delft, juni 2015
- [11] NEN-EN-ISO 10321:2008, Geokunststoffen – Trekproef op brede stroken aan de verbindingen/naden, ICS 13.080.70, Delft, juni 2008
- [12] NEN-EN-ISO 10390:2022, Bodem, slib en behandeld biologisch afval – Bepaling van de pH waarde, ICS 13.080.10, Delft, april 2022

- [13] NEN-EN 12224:2000, Geotextiel en soortgelijke producten - Bepaling van de bestandheid tegen vertering, ICS 59.080.70, Delft, oktober 2000
- [14] NEN-EN 12225:2020, Geokunststoffen - Methode voor de bepaling van de microbiologische bestandheid door begraven in de grond, ICS 07.100.99, 59.080.70, Delft, november 2020
- [15] NEN-EN 12957-1:2019, Geosynthetics – Determination of friction characteristics – Part 1: Direct shear test, ICS 59.080.70, Delft, januari 2019
- [16] NEN-EN-ISO 12957-2 :2005, Geosynthetics – Determination of friction characteristics – Part 2: Inclined plane test, ICS 59.080.70, Delft, maart 2005
- [17] NEN-EN 13249:2016, Geotextiel en aan geotextiel verwante producten - Vereiste eigenschappen voor toepassing in de wegenbouw en voor andere verkeersbestemmingen (exclusief spoorwegen en asfaltlagen), ICS 59.080.70, Delft, oktober 2016
- [18] NEN-EN 13251:2016, Geotextiel en aan geotextiel verwante producten - Vereiste eigenschappen voor toepassing in grondwerken, funderingen en keermuren, ICS 59.080.70, Delft, oktober 2016
- [19] NEN-EN 13265:2016, Geotextiel en aan geotextiel verwante producten - Vereiste eigenschappen voor toepassing in projecten voor het insluiten van vloeibare afvalstoffen, ICS 59.080.70, Delft, oktober 2016
- [20] NEN-EN-ISO 13431:1999, Geotextiles and geotextile-related products – Determination of tensile creep and creep rupture behaviour, ICS 59.080.70, Delft, september 1999
- [21] NEN-EN 13738, Geotextiel en soortgelijke producten – bepaling van de weerstand tegen het uit de grond trekken, Delft, november 2004
- [22] NEN-EN 14475:2006, Uitvoeren van bijzonder geotechnisch werk – Gewapende grondconstructies, ICS 93.020 en NEN-EN 14475/C1:2006 Correctieblad
- [23] NPR-CEN/TR 15019:2005, Geotextiel en aan geotextiel verwante producten – Kwaliteitsbewaking op locatie, ICS 59.080.70, april 2005
- [24] NEN-EN 15381:2008, Geotextiel en aan geotextiel verwante producten - Vereiste eigenschappen voor het gebruik in wegverhardingen en asfaltdekkingen, ICS 59.080.70, 93.080.20 Delft, september 2008
- [25] NPR-ISO/TR 20432:2022, Richtlijnen voor de sterktebepaling van geokunststoffen voor bodemversterking op lange termijn, ICS 59.0801.70, december 2022
- [26] ISO 22182:2020 Geotextiles and geotextile-related products - Determination of index abrasion resistance characteristics under wet conditions for hydraulic applications, ICS 59.080.70, juni 2020
- [27] CUR aanbeveling 115, Uitvoering van geokunststoffen in de waterbouw, Gouda, 2011

- [28] CUR publicatie 166, Damwandconstructies, 6e druk, ISBN 90 3760 063 8, Gouda, juli 2012
- [29] CUR publicatie 174, Geokunststoffen in de waterbouw, 2e druk, Gouda, januari 2009
- [30] CUR publicatie 175, Geokunststoffen als funderingswapening in ongebonden funderingslagen (CRW-C1001), herziening op CUR 175 Geokunststoffen in de wegenbouw als grondwapening, ISBN 978 90 5367 658 5, Delft, januari 2018
- [31] CUR publicatie 198:2018, Ontwerprichtlijn Kerende constructies van gewapende grond, Tweede herziene editie van CUR-publicatie 198 (CROW-CUR 198), ISBN 978-90-5367-650-9, CROW, Ede, 2020
- [32] CUR publicatie 226, Ontwerprichtlijn Paalmatrassystemen, 2^e druk, ISBN 978 90 5367 6271, Delft, 2016
- [33] CUR publicatie 243, Durability of geosynthetics, 2nd edition, ISBN 978-90-376-0533-4, Gouda, 2012
- [34] ASTM D6706. Standard Test Method for Measuring Geosynthetic Pullout Resistance in Soil, ICS 13.080.05, 59.080.70, September 2021
- [35] ASTM D6992:2015, Standard Test Method for Accelerated Tensile Creep and Creep-Rupture of Geosynthetic Materials Based on Time-Temperature Superposition Using the Stepped Isothermal Method, American Society for Testing and Materials, 2015
- [36] ECN-E-07-093:2007, pH en redox effecten van bouwmaterialen, Ministerie van VROM, November 2007
- [37] EBGEO:2011, Recommendations for Design and Analysis of Earth Structures using Geosynthetic Reinforcements – EBGEO (Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen), 2e editie, ISBN 978-3-433-02983-1, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. DGGT, München 2011.
- [38] BS 8006-1:2010, Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills, ISBN 978 0 580 53842 1, British Standards Institution BSI, London, 2010.
- [39] NF P94-270, Geotechnical design Retaining structures Reinforced fill and soil nailing structures, French standard, Association Française de Normalisation, La Plaine Saint Denis cedex, France, July 2009.
- [40] Nordic Guidelines for reinforced soils and fills, Nordic Geosynthetic Group, May 2003 (revision A, February 2004).
- [41] XP G 38064 'BNSR, Géotextiles et Produits Apparentés, Geomembranes. Avant Project de Norme Expérimentale', Version 1.02, AFNOR, Paris, mars 1999.

8.2 BBA-certificaten

- [42] BBA Agrément Certificate 05/4266-2 – Huesker Fortrac Geosynthetics, Fortrac MDT Geogrids, British Board of Agrément, 8 February 2022
- [43] BBA Agrément Certificate 13/4979-1 – Huesker Geosynthetics, Stabilenka Geotextiles, British Board of Agrément, 13 September 2017
- [44] BBA HAPAS Certificate 12/H182 – Terre Armee Reinforced earth soil reinforcements systems, Geostrap and HA Geostrap reinforcement for reinforced soil retaining walls and bridge abutments, British Board of Agrément, 20 June 2022
- [45] BBA HAPAS Certificate 13/H197 – Huesker Fortrac Geosynthetics, Fortrac T and R-T Geogrids, British Board of Agrément, 25 November 2021
- [46] BBA HAPAS Certificate 13/H202 – Tensar Geogrids, Tensar RE and RE500 Geogrids for reinforced soil embankments, British Board of Agrément, 29 July 2021
- [47] BBA HAPAS Certificate 14/H211 – Low & Bonar Geosynthetics, Enkagrid PRO Geogrids, British Board of Agrément, 22 March 2022
- [48] BBA HAPAS Certificate 14/H218 – Naue Secugrid Geogrids, Secugrid PET Geogrids for reinforced soil embankments, British Board of Agrément, 26 March 2018
- [49] BBA HAPAS Certificate 14/H218 – Naue Secugrid Geogrids, Secugrid HS Geogrids for basal reinforcement, British Board of Agrément, 18 October 2018
- [50] BBA HAPAS Certificate 15/H231 – Ten cate Geosynthetics, Miragrid GX Geogrids, British Board of Agrément, 20 February 2020

8.3 Overige publicaties

- [51] Hirakawa, D., *Time-dependent stress–strain behaviour due to viscous properties of geogrid reinforcement*, 2003, ISBN 978-3-433-02983-1
- [52] Voskamp, W. et.al., *Residual strength of PET after more than 12 years creep loading*, 3rd International Symposium on Earth Reinforcement, Kyushu, 2001 (p. 165-170)
- [53] Elias, V., Salman, A., Goulias, D., *The effect of pH, resin properties and manufacturing process on laboratory degeneration of polyester geotextiles*, 1998 Geosynthetics International, Vol. 5, 459-490
- [54] Retzlaff et.al., *Verhalten von Geokunststoffbewehrungen unter zyklischer Beanspruchung*, Publication of Institut für Geotechnik TU Freiberg, 2007-3
- [55] Jewell, R.A., *Soil reinforcement with geotextiles*, CIRIA, Special Publication 123, Thomas Telford, London, 1996.

- [56] Maas, K. (1994). *Onderzoek in een pull-out-box naar het wrijvingsgedrag van geokunststoffen in de grond*. Delft: TU, sectie Geotechniek, rapport nr 371
- [57] Oostveen, J., Maas, K. C., Hendrikse, S., *Coefficient of Interaction for geogrids in a non-cohesive soil*, 3rd International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products, (pp. 427-432), Singapore, 1994
- [58] Voskamp, W., *Determination of maximum allowable load and anchor length of polyester*, Earth Reinforcement Practice, Eds. Ochiai, Hayashi & Otani (pp. 173-177). Kyushu, Japan: Balkema, 1996.
- [59] Voskamp, W., et.al., *Durability of Geosynthetics*. Leiden: CRCpress, 2016
- [60] Voskamp, W., Retzlaff, J. *Swing up in creep curves at high loadings of PET bars - further proof of the molecular chain change model*. Proceedings of the 8th International Conference on Geosynthetics. Yokohama, 2006
- [61] Voskamp, W., van Vliet, F., *Variations of Creep Rate at constant loading of PET geogrid strapping*. 3rd International Symposium on Earth Reinforcement, (pp. 159-165). Kyushu, 2001.
- [62] Veldhuijzen van Zanten, R., *Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering*, New York, Wiley, 1986
- [63] Voskamp, W., Retzlaff, J., *Geosynthetics, sustainability, durability and the environment*, Geokunst jaargang 26, nr. 4 December 2022
- [64] Verschoor, *Potential measures against microplastic emissions to water*, RIVM:64, 2018
- [65] EAGM, European Association of Geosynthetics Manufacturers, personal communication in [63]
- [66] Mueller-Rochholz J., Bronstein Z., *Einfluss von Zugbeanspruchungen auf das Hydrolyse verhalten von Polyester PET*), schlussbericht 1.94, Forschungsvorhaben Gesch-NrIV -5-665/92 des Instituts fuer Bautechnik, Berlin
- [67] Mueller, W., *Alterung von Bewehrungsgittern aus Polyester*, Bautechnik 90 (2013) Heft 6
- [68] IVG Industrieverband Geobaustoffe e.V., *Recommendation for the implementation of the supervision and certification of geotextiles, geotextile-related products and geosynthetic barriers, approved according to the European methods of verification of conformity System 2+*. Ref.: https://www.ivgeobaustoffe.de/Zertifikate/Zertifizierung/DE_index_1220.html
- [69] Detert, O., Koroliuk, S., *Acceleration of chemical degradation of polyester reinforcement products under mechanical stress in high alkaline conditions*, Proceedings of the 11th International Conference on Geosynthetics, 16-21 September 2018, Seoul, Korea

- [70] Florides, G., Kalogirou, S., *Ground heat exchangers—A review of systems, models and applications*, Renewable Energy - volume 32, Issue 15, December 2007, Pages 2461-2478

Bijlagen

Bijlage 1 Symbolen lijst

B1.1 Latijnse letters gebruikt in dit achtergronddocument

A_1	reductiefactor voor de lastduur (kruip)
A_2	reductiefactor voor beschadigingen tijdens transport, inbouw en verdichting
A_3	reductiefactor voor verbindingen en lasnaden
A_4	reductiefactor voor de invloed van het milieu
A_5	reductiefactor voor de veranderlijke belasting
a'_{φ}	factor voor de wrijving tussen grond en wapening op basis van $\tan \varphi'_{k;ondergrond}$
B_t	dikte van de dwarsdraden van geogrids welke in rekening is gebracht bij de draagkracht
D_{50}	korrel diameter die bij 50% van de massa door zeefuitval wordt overschreden (ookwel: gemiddelde korrelgrootte)
F_1, F_2	schaalfactoren volgens Jewell (1996)
f_b	factor bond coëfficiënt ($f_b = a'$, pull out bearing factor ofwel factor voor de invloed van φ' op de wrijving)
f_{ds}	factor direct sliding
f_s	factor die de onzekerheid van de extrapolatie van meetdata naar einde levensduur in rekening brengt
f_{sf}	factor skin friction uit verhouding $\tan \delta' / \tan \varphi'$
R_1	factor die de onzekerheid met betrekking tot extrapolatie van testdata voor langeduur effecten zoals kruip in rekening brengt
R_2	factor die de onzekerheden van degradatie door chemische invloeden omvat
RF_{CH}	reductiefactor voor aantasting ten gevolge van omgevingsinvloeden
RF_{CR}	reductiefactor ten gevolge van kruip
RF_{DYN}	reductiefactor voor ongunstig werkende dynamische effecten
RF_{ID}	reductiefactor voor mechanische beschadiging tijdens transport, inbouw en verdichting
RF_{JS}	reductiefactor voor ongunstige effecten vanuit verbindingen en naden, ook relevant voor hergebruik van delen geokunststof die opnieuw verbonden zijn
RF_W	reductiefactor voor weersinvloeden en UV-licht
$R_{t;d;el}$	rekenwaarde trekweerstand wapeningselement
$R_{g;k;d;d}$	rekenwaarde van de korte duur treksterkte van de geokunststof (polymere) wapening waarin tevens reductiefactoren zijn verwerkt voor mechanische beschadiging en milieu-effecten
$R_{g;k;d;k}$	karacteristieke waarde van de korte duur treksterkte [kN/m], dit is de korte duur sterkte van de geokunststof wapening aan het einde van het productieproces in de fabriek, met een zekerheid van 95% tot 99% (de zekerheidsmarge varieert per leverancier)
$R_{g;l;d;d}$	rekenwaarde van de lange duur treksterkte van de geokunststof (polymere) wapening
$R_{t;rep;el}$	representatieve waarde trekweerstand
S	maaswijdte van het geogrid (dagmaat tussen de dwarsdraden)
t_{25}	tijd waarin een reductie van 25% in de sterkte wordt bereikt
t_{50}	tijd waarin een reductie van 50% in de sterkte wordt bereikt
t_{95}	tijd waarin een reductie van 95% in de sterkte wordt bereikt
t_d	ontwerplevensduur voor bepaling R_1
t_{inbouw}	Tijdsduur tussen het openen van het UV-bestendige verpakkingsmateriaal van het geokunststof tot het moment dat deze definitief is afgeschermd van de inwerking van UV
t_{ref}	Referentieperiode voor de bepaling van de degradatietijd
$T_{js,max}$	kruip-breuksterkte van de verbinding
T_{eq}	referentietemperatuur

T_k
 t_{max}

karakteristieke waarde korteduur treksterkte
duur van de langst gemeten tijd tot breuk na tijd-temperatuurverschuiving
voor bepaling R_1

B1.2 Griekse letters gebruikt in dit achtergronddocument

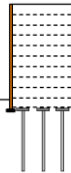
α_b	factor voor de lokale passieve gronddruk in het geogrid
α_s	aandeel van het contactoppervlak wapening over het glijvlak
$\gamma_{M;gs}$	materiaalfactor van de geokunststofwapening
γ_R	materiaalfactor op de treksterkte van de polymere wapening (zie tabel 2.5 van CUR 198 [31])
$\gamma_{Rd;gs}$	modelfactor die rekening houdt met extra onzekerheid als gevolg van extrapolatie van gemeten sterktes naar de ontwerplevensduur zoals gegeven in NPR-ISO/TR 20432 [25] en welke overeenkomt met f_s
δ'	karacteristieke waarde wandwrijvingshoek
η_{ch}	factor die de nadelige effecten van chemische en biologische afbraak van de geokunststofwapening gedurende de ontwerplevensduur van de constructie bij de ontwerptemperatuur in rekening brengt, waarbij geldt: $\eta_{ch} = 1 / RF_{CH}$
η_{cr}	factor die de nadelige effecten van trekkruip als gevolg van aanhoudende statische belasting over de ontwerp levensduur van de constructie bij de ontwerptemperatuur in rekening brengt, waarbij geldt: $\eta_{cr} = 1 / RF_{CR}$
η_{dmg}	factor die de nadelige effecten van mechanische schade tijdens de uitvoering in rekening brengt, waarbij geldt: $\eta_{dmg} = 1 / RF_{ID}$
η_{dyn}	factor die die de nadelige effecten van dynamische belasting (vermoeiing) op de constructie in rekening brengt, waarbij geldt: $\eta_w = 1 / A_5$
η_{gs}	reductiefactor voor verlies van treksterkte door tijd en andere invloedsfactoren
η_{js}	factor die de nadelige effecten vanuit verbindingen en naden in rekening brengt, waarbij geldt: $\eta_{js} = 1 / A_3$
η_w	factor die de nadelige effecten van verwerking in rekening brengt, waarbij geldt: $\eta_w = 1 / RF_W$
μ	interactiecoëfficiënt of aanhechtingsfactor
τ	schuifspanning
σ_b'	draagvermogen lokaal in geogrid
σ_n'	normaalspanning op het niveau van de geokunststofwapening, gelijk aan de verticale belasting loodrecht op de geokunststofwapening
φ'	karacteristieke waarde effectieve hoek van inwendige wrijving

Bijlage 2 Overzicht testen voor materiaaleigenschappen

De volgende pagina geeft een overzicht van de verschillende ontwerpaspecten in relatie tot de functie van een geokunststof, met de daarbij benodigde testen volgens de verschillende toepassingsnormen. De tabel is afkomstig van CUR-Bouwcompact – Duurzaamheid van geokunststoffen [33]. De ontwerpaspecten worden onderverdeeld in materiaal eigenschappen.

In de tabel is aangegeven wanneer een eigenschap belangrijk is voor een functie. Hierin geldt:

- x waarde van materiaaleigenschap moet worden gespecificeerd tijdens ontwerp
- 0 waarde moet in speciale gevallen worden gespecificeerd
- waarde is niet relevant en hoeft niet gespecificeerd te worden tijdens ontwerp



Ontwerp aspect	Karakteristieke materiaal eigenschap	Testmethode	Functie						
			Filteren	Scheiden	Draineren	Wapenen	Afdichten	Erosie beheersing	Verpakken
Fysiek ontwerp	Fysieke eigenschappen								
	Dikte	EN 1849-2	--	--	--	--	x	x	o
	Gewicht	EN 1849-2	--	o	--	--	x	x	o
Vloeistof ontwerp	vloeistof eigenschappen								
Grondichtheid	Karakteristieke openingsgrootte O90	EN ISO 12956	x	x	x	--	--	x	x
Waterdoorlatendheid loodrecht op het vlak	Water doorlatendheid loodrecht op het vlak V150	EN ISO 11058	x	x	x	--	--	x	o
Waterdoorlatendheid	Water doorlatendheid (waterdichtheid)	pr EN 14150	--	--	--	--	x	--	--
Afvoervermogen	Afvoervermogen in het vlak	EN ISO 12958	--	--	x	--	--	--	--
Mechanisch ontwerp eigenschappen	Mechanische ontwerp eigenschappen								
Mechanische sterkte	Treksterkte	EN ISO 10319	x	x	x	x	--	x	x
		ISO R 527	--	--	--	--	x 1)	--	--
Sterkte van de verbindingen	Treksterkte van verbindingen	EN ISO 10321	o	o	o	o	x	--	x
Vervorming	Vervorming bij bezwijken	EN ISO 10319	x	x	x	x	--	--	x
		ISO R 527	--	--	--	--	x 1)	--	--
	Statische doordrukkracht	EN ISO 12236	o	x	o	x	x	--	x
	Dynamische doordruk weerstand	EN ISO 13433	x	x	o	x	--	--	x
Stabiliteit	Wrijving, afschuiven	prEN ISO 12957-1	o	o	o	x	o	o	o
Stabiliteit	Wrijving hellend vlak test	prEN ISO 12957-2	o	o	o	x	o	o	o
Lange duur sterkte	Kruip	EN ISO 13431	--	--	--	x	--	--	x
Inbouw aspecten	Schade gedurende inbouw	ENV ISO 10722-1	x	x	x	x	--	o	x
	beschermingsefficiency	EN 14574	--	--	--	--	--	--	o
Thermische ontwerp aspecten	Thermische eigenschappen								
	Lage temperatuur eigenschappen	EN 495-5	--	--	--	--	o	--	--
	Thermische uitzetting	ASTMD 696-91	--	--	--	--	x	--	--
Veroudering en chemische weerstand	Veroudering en chemische weerstand								
Veroudering en chemische weerstand (lange duur aspecten)	Lange duur testen volgens annex B	Annex B	x	x	x	x	x	x	x
	Weerstand tegen weersinvloeden 3)	EN 12224	x	x	x	x	x	x	x
	Weerstand tegen chemische veroudering 3)	ENV ISO 12960 or ENV ISO 13438 ENV 12447	x	x	x	x	x	x	x
	Weerstand tegen micro biologische aantasting 3)	EN 12225	o	o	o	o	x	o	o
	Environmental stress cracking 2)	ASTMD 5397-99	o	o	o	x	x	o	o
1) Alleen van belang bij polyolefine polymeren (PP,PE)									
2) In geval van polyolefine polymeren (PP, PE)									
3) In geval van een bentonietmat									
x = belangrijk, altijd specificeren									

Bijlage 3 Certificering

B3.1 Geaccrediteerde instituten

De testen voor het bepalen van de duurzaamheid voor een periode van meer dan 25 jaar mogen alleen uitgevoerd worden door speciaal voor deze testen gecertificeerde en geaccrediteerde testlaboratoria en instituten. Deze accreditering / certificering moet volgens EN-ISO 17025 zijn uitgevoerd door een daartoe aangewezen instantie.

De gecertificeerde testinstituten met ervaring op dit gebied zijn hieronder weergegeven. Voor de complete lijst kan men de onderstaande links gebruiken.

SKZ -TeConA GmbH
Friedrich-Bergius-Ring 22
97076 Würzburg, Duitsland
www.SKZ.de

KIWA- TBU- Institut für Textile Bau- und Umwelttechnik GmbH
Gutenbergstr. 29
48268 Greven, Duitsland
www.tbu-gmbh.de of www.kiwa.de

ITT - Institut für Technische Textilien GmbH
im Sächsischen Textilforschungsinstitut e. V.
Annaberger Straße 240
09125 Chemnitz, Duitsland
www.stfi.de

BAM Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung
Fachgruppe IV.3, Abfallbehandlung und Altlastensanierung
Dr. rer. nat. Werner Müller
Unter den Eichen 87
12205 Berlin, Duitsland
www.bam.de

TNO industrie en techniek
De Rondon 1
5612 AP Eindhoven, Nederland
www.tno.nl

B3.2 Certificering voor duurzaamheid (notified bodies)

De evaluatie, controle en certificering voor duurzaamheid voor een periode van meer dan 25 jaar mag alleen uitgevoerd worden door een onder het CE mandaat gecertificeerde instantie. Dit CE mandaat is vastgelegd in het Construction Products Directive CPD, 89/106/EEC, 1988, amended in 1993 door Directory 93/68/EEC.

Deze instituten, ook wel notified bodies genoemd zijn herkenbaar aan een nummer van 4 cijfers voor de letters CPD. Dit nummer moet op al hun certificaten gevoerd worden. De lijst is gepubliceerd onder nr 45 (2002), C282/01 en vindbaar op:

<https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/nando/index.cfm?fuseaction=cp.hs&cpr=Y>

Notified bodies met ervaring in deze lange duur evaluaties in Duitsland zijn:

SKZ -TeConA GmbH
Friedrich-Bergius-Ring 22
97076 Würzburg

KIWA- TBU- Institut für Textile Bau- und Umwelttechnik GmbH
Gutenbergstr. 29
48268 Greven

ITT - Institut für Technische Textilien GmbH
im Sächsischen Textilforschungsinstitut e. V.
Annaberger Straße 240
09125 Chemnitz

BAM Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung
Fachgruppe IV.3, Abfallbehandlung und Altlastensanierung
Dr. rer. nat. Werner Müller
Unter den Eichen 87
12205 Berlin

Engelse Notified bodies met ervaring zijn::

BBA, British Board of Agreement
Bucknalls Lane,
Garston, Watford, Hertfordshire, WD259BA

BTTG, BTTG Testing & Certification Ltd
Technology Services, Unit 4B, Stag Industrial Estate,
Atlantic Street,
Broadheath, Altrincham, Cheshire, WA14 5DW

Nederlandse notified bodies zijn:

INTRON Certificatie BV
Venusstraat, 2 Inspectie-instantie
PO Box 267, 4105 JH
4100 AG Culemborg

KIWA NV, Certificatie en keuringen
Sir Winston Churchillaan, 273
Postbus 70
2280 AB Rijswijk

Voor zover bij de auteurs bekend hebben INTRON en KIWA geen ervaring met de evaluatie en certificatie van geokunststoffen. Aanbevolen wordt om gedetailleerde informatie en een bevestiging te vragen van de ervaring, in geval deze instituten ingeschakeld worden voor de beoordeling van de levensduur van geokunststoffen.

De instituten en notified bodies zijn te vinden via de link:

<https://ec.europa.eu/growth/tools->

[databases/nando/index.cfm?fuseaction=directive.notifiedbody&dir_id=33,](https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/nando/index.cfm?fuseaction=directive.notifiedbody&dir_id=33)

Zoek onder geotextiles. Dit geeft een overzicht van alle notified bodies, voor de construction directive: Regulation (EU) No 305/2011 - Construction products.

B3.3 Voorbeeld certificaat (Declaration of Performance)

In deze bijlage zijn enkele voorbeelden toegevoegd van certificaten. Zie verder ook:
<https://business.gov.nl/regulation/standards/>.



DECLARATION OF PERFORMANCE
DoP-1064-130701

Fortrac
R 80/25-20/30 MPT



Intended function(s): Reinforcement

HUESKER Synthetic GmbH
Fabrikstraße 13–15
48712 Gescher, Deutschland
Tel. +49 (0) 25 42 / 701 - 0
Fax. +49 (0) 25 42 / 701 – 499
E-Mail: info@HUESKER.de
Factory A

System 2+

Notified body No. 0799 Kiwa MPA Bautest GmbH, Niederlassung TBU Greven performed the initial inspection of the manufacturing plant and of factory production control and the continuous surveillance, assessment and evaluation of factory production control and issued the certificate of conformity of the factory production control.

Essential characteristics	Performance	Harmonised technical specification
Tensile strength T_{max} (EN ISO 10319)	MD 80 kN/m (- 0 kN/m) CMD 25 kN/m (- 0 kN/m)	EN13249:2000 + A1:2005 EN13250:2000 + A1:2005
Elongation ϵ_{max} (EN ISO 10319)	MD 5 % (\pm 1 %) CMD 17 % (\pm 4 %)	EN13251:2000 + A1:2005 EN13253:2000 + A1:2005
Durability (Annex B)	To be covered within 30 days after installation. Predicted to be durable for a minimum of 25 years in natural soils with $2 < pH < 13$ and a soil temperatures $< 25^{\circ}C$.	EN13254:2000 + A1:2005 EN13255:2000 + A1:2005 EN13257:2000 + A1:2005 EN13265:2000 + A1:2005

Gescher 01.07.2013



Helko Pintz
(Manager Quality Assurance)



Declaration of Performance
No.: GEOLON® FW180 2021-09-23

17

1. **Unique identification code of product type:** GEOLON® FW

2. **Product type :** GEOLON® FW180

3. **Intended use:**

EN 13249:2016 Roads and other trafficked areas (excluding railways and asphalt inclusion)	EN 13254:2016 Reservoirs and dams
EN 13250:2016 Railways	EN 13255:2016 Canals
EN 13251:2016 Earthworks, foundations and retaining structures	EN 13257:2016 Solid waste disposals
EN 13252:2016 Drainage systems	EN 13265:2016 Liquid waste disposals
EN 13253:2016 Erosion control works (coastal protection, bank revetments)	

Functions: Reinforcement | Separation | Filtration

4. **Contact address:**

TenCate Geosynthetics Netherlands bv
Europalaan 206, 7559 SC Hengelo, Netherlands
phone: + 31 546 544811; www. tencategeo.eu; service.nl@tencategeo.com

5. **System or systems of assessment:** System 2+

ESSENTIAL CHARACTERISTICS	PERFORMANCE		Test standard	Harmonised technical specifications
	Mean value	Tolerance		
Tensile strength, T_{max} MD	40 kN/m	-10 kN/m	EN ISO 10319	EN 13249:2016
Tensile strength, T_{max} CMD	40 kN/m	-10 kN/m	EN ISO 10319	EN 13250:2016
Elongation, ϵ_{max} MD	25%	+/- 5%	EN ISO 10319	EN 13251:2016
Elongation, ϵ_{max} CMD	25%	+/- 5%	EN ISO 10319	EN 13252:2016
Cone drop penetration, Dc	10 mm	+ 2 mm	EN ISO 13433	EN 13253:2016
Static puncture resistance, Fp	6000N	-1500N	EN ISO 12236	EN 13254:2016
Characteristic opening size, O_{90}	180 μ m	+/- 55 μ m	EN ISO 12956	EN 13255:2016
Water permeability, qs	50 l/m ² s	-16 l/m ² s	EN ISO 11058	EN 13257:2016
Weathering resistance	To be covered within 1 month after installation.		EN 12224	EN 13265:2016
OXIDATION RESISTANCE	Predicted to be durable in a minimum of 100 years in natural soils with 4<pH<9 and soil temperature <25 °C.		EN ISO 13438	
Has passed the following tests: 1) Weathering resistance EN 12224. 2) Resistance to oxidation EN ISO 13438.				

6. **In case of the declaration of performance (DoP) concerning a construction product covered by a harmonized standard:**

Notified Body No. 0799 Kiwa GmbH TBU, 48268 Greven performed the initial inspection of the manufacturing plant and of factory production control and the continuous surveillance, assessment and evaluation of factory production control under system 2+.

7. **Declared performance :**

8. **Declaration:**

The performance of the product identified above is in conformity with the set of declared performance/s. This declaration of performance is issued, in accordance with Regulation (EU) No 305/2011, under the sole responsibility of the manufacturer identified above.

Signed for and on behalf of the manufacturer by:

Ingrid Voost (QHSE Manager EMEA)

(name and function)

Hengelo, 2021-09-23

(place and date of issue)



(signature)

Bijlage 4 Achtergronden hydrolyse

B4.1 Overzicht van de belangrijkste hydrolyse onderzoeken bij PET geokunststoffen¹

Rond 1990 ontstond een discussie over de hydrolyse bestendigheid van PET weefsels en geogrids in normale grondcondities.

Er moeten 2 soorten hydrolyse onderscheiden worden:

- Internal hydrolysis is hydrolyse dat veroorzaakt wordt doordat H₂O moleculen een reactie aangaan met de estergroepen, hetwelk leidt tot breken van deze estergroepen, en dus een lagere sterkte en een verlaging van het Mn getal. Dit proces vindt plaats over de gehele doorsnede van de fiber.
- Bij external hydrolysis vindt een andere reactie plaats. De meer agressieve hydroxyl-ions (OH⁻ ions) kunnen het bulk volume van het PET niet penetreren en de reactie vindt plaats aan de oppervlakte. Er ontstaat een soort etsing van het oppervlak bij hoge pH waarden, hetwelk weer leidt tot sterkteverlies en lagere Mn waarden

De discussie over hydrolyse leidde ertoe dat in 1993 is een groot onderzoek uitgevoerd door H.M. Schmidt, Akzo central research. Onderzocht zijn Diolen 164S en Diolen 855 garens. Het eerste type wordt gebruikt in coated PET geogrids (Fortrac). Het tweede garen werd in Stablenka weefsels gebruikt.

Dit zijn hoogwaardige PET garens, later gedefinieerd door CEG < 30 meq/gen Mn > 25000. Het onderzoek is uitgevoerd op kale garens, dus zonder eventuele coating.

Enkele conclusies uit dit onderzoek, (Schmidt & te Pas, 1993) zijn hieronder opgesomd.

- Bij een temperatuur lager dan 50 C en pH < 10 speelt external hydrolysis geen rol. Alleen internal hydrolysis is bepalend. Dit is later door verschillende andere onderzoekers bevestigd.
- Met een Arrhenius analyse toegepast op de geteste range 50, 70 en 90 oC wordt t₉₅ = 26,5 jaar (tijd waarin een reductie van 95 % in de sterkte wordt bereikt) en t₅₀ = 130 jaar bij 20 oC en pH < 9,5.
- Met Arrhenius toegepast op de volledige range geteste temperaturen van 50°C t/m 134°C wordt t₉₅ = 90 jaar en t₅₀ = 440 jaar bij 20°C en pH < 9,5.
- Getest is bij pH waarden tussen 9,85 en 10,85.
- Als rekening wordt gehouden met de lagere temperatuur in Nederland wordt bij gemiddelde temperatuur van 10 °C de levensduur verlengd met een factor 2.
- Verder is uitgegaan van volledig ondergedompeld zijn van de monsters in een vloeistof (water of water met CaSO₄). Volledige met water verzadigde grond komt alleen bij toepassing onder de grondwaterstand voor. Dus zal in praktijk de levensduur nog groter zijn.
- De in het 2^e en 3^e punt aangegeven waarden zijn dus conservatief.
- Een eerste algemene en zeer conservatieve conclusie was dat in natuurlijke grond met een pH waarde van pH < 9,5 het 100 jaar duurt voordat een reststerkte van 50% als gevolg van hydrolyse bereikt wordt. Daardoor werd aangetoond dat toepassing van PET reinforcing fabrics en geogrids, met de toenmalig gehanteerde veiligheidscoëfficiënten in normale grondcondities, veilig was.
- Uit dit onderzoek konden ook ander RF's voor andere levensduren en verblijfsomstandigheden afgeleid worden.

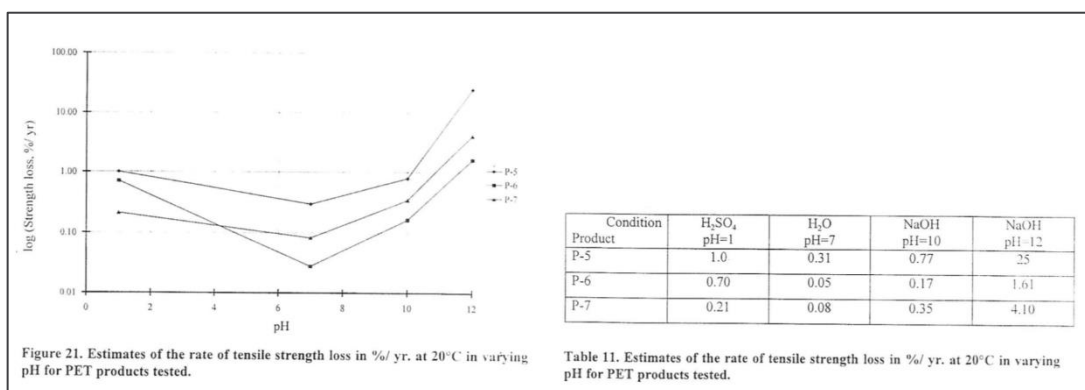
Toch bleven er twijfels bij opdrachtgevers. Dit leidde hierna tot een groot onderzoek in Duitsland, waarbij verschillende laboratoria betrokken waren, naar hydrolyse bij eerder

¹ Evaluatie van RF_{CH} voor PET producten in BBA certificaten; evaluatie van RF_w in BBA certificaten en temperatuur effecten op sterkte van geokunststoffen gemaakt van verschillende polymeren, Wim Voskamp, 27-09-2022

ingebouwde PET wapeningsmatten in uitgevoerde projecten. Hier is geen duidelijk antwoord op gevonden doordat er geen onderscheid gemaakt kon worden tussen sterkteverlies door installation damage en mogelijke hydrolyse. Gezien de conclusie van het eerdere onderzoek was het niet te verwachten dat er hydrolyse effecten te vinden waren. (Schroeder H. a., 1999).

In de USA werd ook de noodzaak gevoeld om duidelijk vast te leggen wat de invloeden van hydrolyse op PET wapeningsmatten en geogrids waren. De Federal Highway Authority gaf opdracht tot een studie (DTFH 61-91-R-00054), uitgevoerd door V. Elias en A. Salman, naar de "Durability of Geosynthetics for Highway Applications". Laboratorium onderzoek werd uitgevoerd naar thermooxidatieve en hydrolytische degradatie van enkele typische commercieel beschikbare producten. De snelheid van de degradatie werd bepaald. Testprotokollen werden opgesteld. Drie verschillende representatieve producten werden gestest. P-5: een PET non woven, P-6 een PVC coated PET geogrid en P-7: een high tenacity PET reinforcement weefsel. En testen werden uitgevoerd voor normale grond condities en in extreme alkalische condities.

Er werd in 2 stappen gerapporteerd. De eerste keer tijdens Geosynthetics '97. (Salman, Elias, Juran, Lu, & Pearce, 1997), hier werden de resultaten gepresenteerd voor het P-5 non woven. En later in 1998 in Geosynthetics International ((Elias, Salman, & Goulias, 1998 [53]), waar de resultaten voor alle 3 materialen gepresenteerd werden en algemene conclusies getrokken werden. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande figuur B4.1 en tabel B4.1.



Figuur B4.1 Resultaten reductie treksterkte als functie van de pH-waarde bij drie beproefde PET-materialen [53]

Tabel B4.1 Predicted retained strength after immersion in pH10 for 100 years [52]

Materiaal	Percentage retained strength after 100 years immersion at temperatures (°C)					Activation energy [kJ/mol]	Referentie
	20	25	30	35	40		
P5	23	0	0	0	0	71	Elias
P6 (PVC coated)	83	71	49	14	0	83	Elias
P7	65	39	0	0	0	83	Elias

Deze onderzoeken zijn uitgevoerd aan garens die gebruikt worden in Mirafi/Tencate geogrids. Op dit onderzoek zijn ook de RF_{CH} zoals gepubliceerd in BBA 15/H231 voor Tencate Miragrid gebaseerd en zij zijn daarmee in overeenstemming.

Uit dit onderzoek blijkt dat het een verschil maakt op de levensduur en reductie in sterkte als gevolg van hydrolyse als een PET garen gecoat is. De geogrids met PVC coating geven betere resultaten dan ongecoat PET reinforcing fabrics zoals bijv. Stabilenka.

Mede gebaseerd op de onderzoeken van Elias is in ISO/TR 20432 [25] de eis geformuleerd dat:

- Polyester geosynthetics used for reinforcement, or the yarns from which they are made, should exhibit no more than a 50% reduction in strength when subjected to EN 12447.
- Or: The CEG measured according to GRI-GG7 should be less than 30 meq/g and the number averaged molecular weight, M_n , determined according to GRI-GG8, should be 25,000 or more. Both criteria should be satisfied. For a geosynthetics that satisfies either recommendation used in saturated soil, RF_{CH} is given in table below.

Tabel B4.2 Default values of RF_{CH} for reinforcements from ISO/TR 20432 at 25°C [52]

pH-range [-]	Design life [years]	Service temperature [°C]	RF_{CH} [-]
4 - 9	25	25	1,0
4 - 8	100	25	1,2
8 - 9	100	25	1,3
4 - 9	25	35	1,4

Deze eis in NPR-ISO/TR 20432 [25] is overgenomen door de Federal Highway Authority in USA in een algemene eis voor toepassing van PET Reinforcing Materials in Roadconstructions in General.

In 1999 is in Duitsland nog nieuw onderzoek uitgevoerd door Schroeder. (Schroeder, et al., 2000) De conclusies van dit onderzoek zijn te vinden in o.m. Durability of Geosynthetics, sectie 3.2.7. [52]:

Schröder et al (1999) performed an extensive series of immersion tests on a woven polyester in neutral (pH 8.1 to 8.3) and slightly alkaline (pH 9.0 to 9.4) soils and in leachates from those soils. The temperature was 60 °C and the durations from 4 to 104 weeks. In the leachates there was an immediate loss in strength of 9%, while after 104 weeks the total loss in strength averaged 19%, an additional reduction of 10%, with a standard deviation of 14%. The immediate loss in strength is dismissed as being due to the accelerated test conditions. For the time-dependent loss the authors quote a conservative range of 13 to 24%. There is no significant difference between the neutral and alkaline soils. Meanwhile the CEG count increased from 24 to 38, indicating the presence of internal hydrolysis, while the molecular weight reduced. The exposure at 60 °C for 2 years corresponds to a duration of 185 years at 25°C. For this duration a reduction of 10% would give $RF_{CH} = 1.1$ while the standard deviation of 145 would give $R_2 = 1.16$. Reducing this proportionally to 100 years, $RF_{CH} = 1.05$ and $R_2 = 1.09$.

Schröder et al (2000) observed no difference up to pH levels of about 9,5 (hydroxyl ion concentration of $3 \times 10^{-5} M$), beyond which alkaline (external) hydrolysis started to etch the surface while internal hydrolysis degraded the interior of the fibre. They derived an

activation energy for alkaline hydrolysis to be 80 kJ/mol for yarn Y1 at 40 to 60 °C, 52 and 46 kJ/mol for yarns Y2 and Y3 at 25 to 60 °C, which is markedly less than the range for internal hydrolysis.

De waarden voor RF_{CH} die in BBA 13/H197 voor Fortrac T en RT zijn hierop terug te voeren.

Op basis van de resultaten van de onderzoeken naar de hydrolyse bestendigheid van (Elias, Salman, & Goulias, 1998) kan afgeleid worden dat er een verschil in reststerkte blijkt te zijn tussen een ongecoat weefsel en een gecoat geogrid. De coating heeft dus een beschermende werking tegen het indringen van de H_2O moleculen en heeft als resultaat een langere levensduur of minder sterkteverlies voor de met PVC gecoate geogrids t.o.v. ongecoate weefsels (er worden in de literatuur nog wel enkele twijfels geuit of de coating gedurende de levensduur volledig intact blijft (als gevolg van o.m. schade tijdens de installatie) en dus zijn beschermende werking blijft houden, maar dit blijkt niet uit de testen die gedaan zijn).

Internal hydrolysis vindt plaats over de hele doorsnede van een PET filament, garen, koord of wapeningsstrip (geogrids gemaakt uit PET strips). External hydrolysis, bij hoge pH waarden belangrijker dan de internal hydrolysis, grijpt alleen aan op het oppervlak van het garen of de strip. Vandaar ook dat gecoate geogrids gebruikt kunnen worden in omstandigheden met pH tot 9,5 – 10 zoals blijkt uit (Elias, Salman, & Goulias, 1998). Dit wordt ook toegepast in het BBA certificaat van Miragrid/ten Cate. In Europa is men voorzichtiger en blijft de inzet van gecoate geogrids beperkt tot pH 4 - pH 9. (o.a. in de BBA certificaten van Huesker, Bonar)

Het blijkt ook dat de verhouding buitenoppervlakte van het garen of van de garenbundel t.o.v. het volume/inhoud van het garen een effect heeft of de mate van strekte verlies en dus ook op de waarde van de RF_{CH} . Een multifilament garen heeft relatief veel meer oppervlak dan een strip met dezelfde dwarsdoorsnede. Aangezien de hydrolyse aanval bij external hydrolyse aangrijpt op het oppervlak is het dus logisch te verwachten dat geogrids, gevormd van PET strips, een betere bestendigheid hebben tegen external hydrolyse (Secugrids en Enkagrid) in hoog alkalische milieus. Dit blijkt ook uit het feit dat Secugrid van Naue en Enkagrid van Colbond/Low & Bonar volgens BBA toegepast kunnen worden bij pH's tot 12,5. De waarden voor RF_{CH} die in de resp BBA certificaten genoemd zijn voor een serie pH waarden zijn onderling vergelijkbaar en geconcludeerd kan dus worden dat ze juist zijn voor de testconditie waarbij een monster niet onder continue trekspanning wordt gehouden. Dit wil niet zeggen dat de waarden ook geldig zijn in condities met permanente trekbelasting in het geogrid. dat zou nader getest moeten worden.

Bij internal hydrolysis moeten de H_2O moleculen het polymeer binnendringen vanuit de waterige ruimte erom heen. Een in verhouding kleiner buitenoppervlak zal daar ook een effect op hebben. Dit blijkt uit de lage RF_{CH} waarden die voor stripgrids (Secugrid en Enkagrid) gevonden worden, in normale omstandigheden (pH 4 – pH 8), in vergelijking met de gecoate geogrids (bijv. Fortrac, Miragrid en Enkagrid G).

Er zijn enkele publicaties van o.m Mueller-Rochholz J. Bronstein Z, 1994, Mueller, W, 2013 en Detert, 2018 [69] die aangeven dat externe hydrolyse bij zeer hoge pH waarden waarbij de testen uitgevoerd worden op monsters die tegelijkertijd op trek belast worden, leiden tot snellere afname van de reststerkte en de levensduur. De inkepingen en andere aantastingen van het oppervlak veranderen de spanningsverdeling in de doorsneden en kunnen leiden tot spanningsconcentraties aan de punt van de inkepingen. De verkleinde

doorsnede heeft weer een hogere spanning tot gevolg en dit kan weer leiden tot snellere kruip. Daarbij zou de binnendringing van de agressieve OH⁻ ionen vergemakkelijkt worden. Van dit fenomeen zijn geen verdere publicaties met proefresultaten gevonden. Alle gerapporteerde proeven worden op onbelaste monsters uitgevoerd.

Resultaten van de proeven door Mueller-Rochholz, 1994 uitgevoerd op multi filament garens, bij 40° C na 21 dagen belasting laten een aanzienlijk effect zien van de hoogte van de belasting tijdens de proef. Bij 50% belasting kon er zelfs na 21 dagen en bij 40 °C geen reststerkte meer gemeten worden.

Mechanical stress as % of max. tensile strength	Residual tensile strength in %	Reduction factor A ₄
0	93.5	1.07
10	88.4	1.13
25	64.6	1.55
50	0*	-
75	0*	-

(* samples ruptured during testing)

Figuur B4.2 Resultaten trekproeven op residuele sterkte in Ca(OH)₂ [66], [67]

De verhouding oppervlakte/doorsnede werkt gunstig voor geogrids gevormd uit strips t.o.v. de hier geteste garens, maar er zal zeker een nadelig effect zijn als deze geogrids onder trekbelasting in hoog alkalische omstandigheden getest worden. Daarom kunnen de in de BBA certificaten vermelde RF_{CH} voor pH waarden > 9 niet zonder verdere proefresultaten toegepast worden in ontwerpen. De verwachting is dat de RF_{CH} veel hoger zal blijken te zijn bij toepassing in hoog alkalisch milieu en onder trekbelasting.

Tabel B4.2 RF_{CH} en f_s factoren van verschillende PET geogrids volgens BBA certificaten

Onderdeel	Huesker Fortrac T	Bonar grid G	Ten Cate Miragrid	Enkagrid	Naue Secugrid
pH	4 - 9	4 - 9	2-4/4-9/9-10	2-4/4,1-8,9/9-10/10,1-12,5	2-4/4-9/9-10/10-11/11-12,5
60 jr	1,03	1,04	1,2/1,09/1,20	1,1/1,0/1,1/1,16	1,07/1,00/1,01/1,03/1,11
120 jr	1,06	1,07	1,3/1,18/1,3	1,1/1,0/1,1/1,34	1,1/1,01/1,02/1,06/1,21
Bron	BBA 13/H197	BBA 15H229	BBA 15/H231	BBA14/H211	BBA 14/H218
R1, 60jr, cr	1,05	1,04	1,01	1,01	1,00
R1, 120jr cr	1,05	1,05	1,02	1,07	1,00
R2, 60 jr ch	1,05	1,02	1,01	1,02	1,03
R2, 120 jr ch	1,10	1,05	1,02	1,05	1,05
fs 60	1,07	1,05	1,01	1,02	1,03
fs120	1,11	1,07	1,03	1,09	1,05

Opmerking: Een BBA certificaat blijft in zijn algemeenheid ongelimiteerd geldig met name voor de RF_{CH} zolang er geen verandering in grondstof, polymeer resin en compound, garen enz. plaatsvindt. Er hoeven dus niet regelmatig nieuwe hydrolyse onderzoeken plaats te vinden. Dit is ook reeel omdat er geen verandering in de hydrolyse resultaten te verwachten is als de grondstof niet verandert.

Op basis van het bovenstaande kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Er is geen reden te twijfelen aan de juistheid van de in de BBA certificaten aangegeven RF_{CH} waarden. Uit de gepubliceerde onderzoeken zijn de waardes voor PET geogrids te herleiden.
- Voor toepassingen bij $\text{pH} > 9$ moeten de RF_{CH} waarden gebaseerd zijn op proeven waarbij het monster onder permanente trekbelasting gehouden wordt tijdens de test in de hoogalkalische vloeistof. Dat is bij de in de BBA vermelde waarden niet het geval en daarom mag verwacht worden dat de RF_{CH} factor voor de gecombineerde situatie hoger wordt.
- De verschillen in RF_{CH} tussen gecoate geogrids en stripgrids zijn te verklaren uit de oppervlak / inhoud dimensies van de garens vs. strips. Dit is zowel voor internal hydrolysis als voor external hydrolysis het geval.
- In grondcondities met permanent $\text{pH} 9 - 10$ gedurende de levensduur en in saturated gronden zou in principe geen gecoate geogrid gebruikt moeten worden, tenzij met $RF > 1,3$ in geval van Miragrid.
- Bij $\text{pH} > 9$ (permanent en saturated) moeten geen gecoate geogrids maar stripgrids gebruikt worden, of geogrids gemaakt van ander polymeer, bijv. PVA. Gezien het feit dat er alternatieve geogrids zijn die een verwachte redelijke bestendigheid tegen external hydrolysis hebben is er geen noodzaak om een hoog risico te lopen bij toepassing van gecoate PET geogrids in dit soort omstandigheden (bijv. bij toepassing in combinatie met menggranulaat met een hoge pH waarde) en zou de toepassing ervan in deze situatie niet toegestaan moeten worden. De bestendigheid moet altijd aangetoond worden d.m.v. testen onder trekbelasting.
- Het is zeer belangrijk dat er informatie verzameld wordt over het pH waarde verloop in de tijd van menggranulaat dat verdicht is in een wegfundering.
- Op basis van het pH waarde verloop in de tijd van menggranulaat kan beoordeeld worden of bestaande paalmatrasconstructies een risico lopen op vroegtijdig bezwijken van toegepaste gecoate geogrids en/of ongecoate weefsel. Mocht er een risico bestaan dan is het noodzakelijk na te gaan met welke RF en andere veiligheidsfactoren gerekend is in het ontwerp. Ook kan dan op basis van eerder uitgevoerde hydrolyse onderzoeken een analyse gemaakt worden waarbij teruggerekend wordt naar de actuele temperatuur van de constructie. Dit kan gedaan worden in de vorm van een deskstudie dus zonder beschadiging van de constructie. In geval van hoge twijfel zou een stukje matras opgegraven kunnen worden en zou de actuele sterkte bepaald kunnen worden. Op basis van het trek-rek gedrag van het opgegraven materiaal kan dan een voorspelling gedaan worden voor de rest-levensduur o.i.v. kruip en installation damage. Chemisch onderzoek kan informatie geven over de mate van hydrolyse die plaatsgevonden heeft. Hieruit zou weer een reductie van de levensduur te bepalen zijn. Dit zijn kostbare onderzoeken en zouden alleen uitgevoerd moeten worden in zeer kritische gevallen.
- Bij toepassing van een PET weefsel in een paalmatrasconstructie moet nagegaan worden of dit kan en met welke RF_{CH} dan gerekend moet worden (pH max 9). Misschien is het handig in zo'n geval een coated fabric toe te passen bovenop het PET weefsel, of het PET weefsel te coaten. Als stripgrid in 2 richtingen toegepast wordt kan waarschijnlijk een PP weefsel met beperkte sterkte toegepast worden. Het hoeft dan alleen de opening / mesh in een grid te overspannen om doorval van het

funderingsmateriaal te voorkomen. Ook kan nagegaan worden of 1 laag stripgrid met sterktes in 2 richtingen toegepast kan worden. De lay-out vraagt dan aandacht i.v.m. de zijdelingse overlap van de grids / koppeling van de zijkanten, zodat er een doorgaande mat met sterkte in 2 richtingen ontstaat.

B4.2 UV bestendigheid van PET weefsels, geogrids enz.

Alle geokunststoffen moeten getest worden op de invloed van UV- en weersinvloeden. NEN-EN 12224 [13] beschrijft de noodzakelijke testen. Getest kan worden met een Xenon testapparaat of met een fluorescent UV lamp. De testomstandigheden bootsen de UV belasting na van een periode van 1 zomermaand in een Middellands zeeklimaat of 4 maanden in een zomerklimaat in West Europa. Zie (Voskamp e. a., 2016), pag. 188-201 Het resultaat van de proef geeft een classificatie van de tijd dat het materiaal onafgedekt mag liggen en geeft een per product daarbij behorende RF.

NEN-EN 12224 geeft de volgende classificatie zoals weergegeven in tabel B4.3.

Tabel B4.3 Classificatie volgens NEN-EN 12224 [13]

Reststerkte na testen volgens EN 12224	Maximale tijd waarin het materiaal onbedekt mag zijn op de bouwplaats	Reductie factor RF _w [-]
>80%	1 maand	1/percentage rest sterkte
60% to 80%	2 weken	1,25
<60%	1 dag	1,0
Ongetest materiaal	1 dag	1,0

De UV bestendigheid wordt beïnvloed door toevoegmateriaal aan het polymeer. Het bekendste is carbonblack of roet. Daarom zijn de meeste geokunststoffen zwart. Er zijn ook transparante toevoegmaterialen. Bij PET kunnen speciale toevoegmaterialen toegepast worden.

Ook hierbij zijn weer effecten van coating en dimensies van garens vs. strips op de bestendigheid van de geokunststof te vinden. Coating heeft een groter effect dan dat men een toevoegmateriaal aan het polymeer compound toevoegt. Denk maar aan gecoate dekzeilen van vrachtwagens enz. Coated fabrics worden heel veel gemaakt en in allerlei toepassingen gebruikt. Op geogrids moet een goede doorgaande coating aangebracht worden. Dat is niet zo eenvoudig wat men terug kan zien in de verschillen in de tijd die de materialen onbedekt mogen blijven liggen.

Het effect van coating is terug te vinden in de tijd die een geokunststof onbedekt mag liggen en de RF die erbij hoort. Deze informatie staat standaard in de productspec. in de Declaration of performance die bij het CE mark hoort.

Een overzicht van de waarden die in de BBA's staan is:

	Huesker	Huesker	Bonar	Ten Cate	Enkagrid	Enkagrid	Naue Secugrid	Stabilienka
	Fortrac T	Fortrac T	grid G	Mira				
tijd onbedekt (weken)	1 maand	1 dag	2 weken	2 weken	1 maand	1 dag	1 maand	2 weken
bijbehorende RF	1,13	1,00	1,25	1,25	1,08	1	1,00	1,25

Hieruit kan men concluderen dat ongecoat of slechte coating een max termijn van 2 weken geeft bij een RF van 1,25. Dit betekent dat de reststerkte tussen 60 en 80 % ligt na 2 weken testen.

De stripgrids hebben veel hogere resistentie vanwege hun beperkte oppervlak en de mogelijkheid speciale additieven in de strip op te nemen. Dit blijkt uit de goede resultaten van Enkagrid en Secugrid. De norm stelt dat als de reststerkte $\geq 95\%$ is de RF = 1,0 i.p.v. de theoretisch waarde 1,052 mag zijn. Secugrid heeft hiervan gebruik gemaakt in de RF-waardebepaling (zie 1^e alinea in het hierboven gekopieerde stuk uit ISO/TR 20432).

Als een geokunststof voor langere tijd onafgedekt moet blijven moet men een Xenon of andere weathering test uitvoeren over een langere periode. Zie (Voskamp e. a., 2016). De hoogte van de RF gekoppeld aan de tijd waarin het onafgedekt mag blijven liggen geeft een indicatie over de onderlinge verhouding. Ook hier geldt weer dat stripgrids de beste performance hebben, gevolgd door gecoate geogrids.

Ook hier kan de bestendigheid voor langere tijd verbeterd worden door toepassing van coating, bijv. in de vorm van een coated fabric.

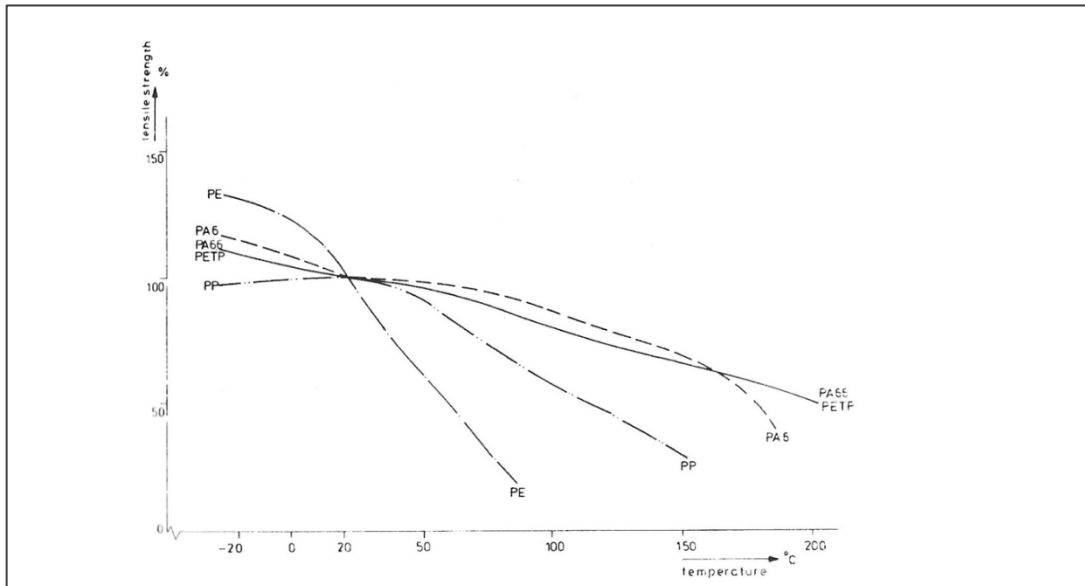
Volgens de meeste toepassingsnormen mag een gewapend talud tot een helling van 70° zonder facing gemaakt worden. Het blijkt in praktijk moeilijk te zijn om voldoende permanente begroeiing te creëren. Alleen met een getrappt talud, met snelgroeiende beplanting, zoals Hedera / klimop, en voldoende planten kan een doorgaande afdekking verkregen worden.

Om een strak talud te krijgen, worden vaak voorgevormde betonmatten / netten gebruikt waarbij de kracht in het geogrid d.m.v. overlap op de mat overgedragen wordt. Bij helling > 70° moet altijd een facing aangebracht worden. Veel gebruikte systemen zijn: beton gestort tegen de gewapende wand (Japan), prefab betonpanelen rustend tegen de gewapende wand en blokkenmuren (USA, Azië). Het is opvallend dat blokkenmuren weinig toegepast worden in West Europa, terwijl zij in de rest van de wereld een enorm marktaandeel hebben. De samendrukbare ondergrond hoeft geen probleem te zijn. Er is heel veel onderzoek naar gedaan in USA (R. Bathurst) zelfs op veel prototypen, met name naar de verankering van geogrid naar blok.

Bij een onafgedekt talud voor een tijdelijke toepassing kan men een berekening maken over de tijd waarin het onafgedekt zou kunnen blijven. Als ermee gerekend wordt dat 1 maand onafgedekt volgens de classificatie overeen komt met de UV belasting van 4 zomermaanden in West Europa, of ca 0,5 jaar verblijftijd dan wordt bijv. bij een factor RF_w van 1,13 voor Fortrac de reststerkte $1/1,13 = 88,5\%$ na 0,5 jaar. De tijd tot 50% reductie in sterkte bereikt is wordt dan $t_{50} = 50 / (100 - 88,5) = 2,15$ jaar. Bij aanname dat de test UV belasting overeen komt met 1 jaar verblijftijd wordt $t_{50} = 4,3$ jaar. T_{25} wordt dan bereikt na resp. 3,22 en 6,45 jaar.

B4.3 Temperatuur effecten op sterkte van geokunststoffen gemaakt van verschillende polymeren

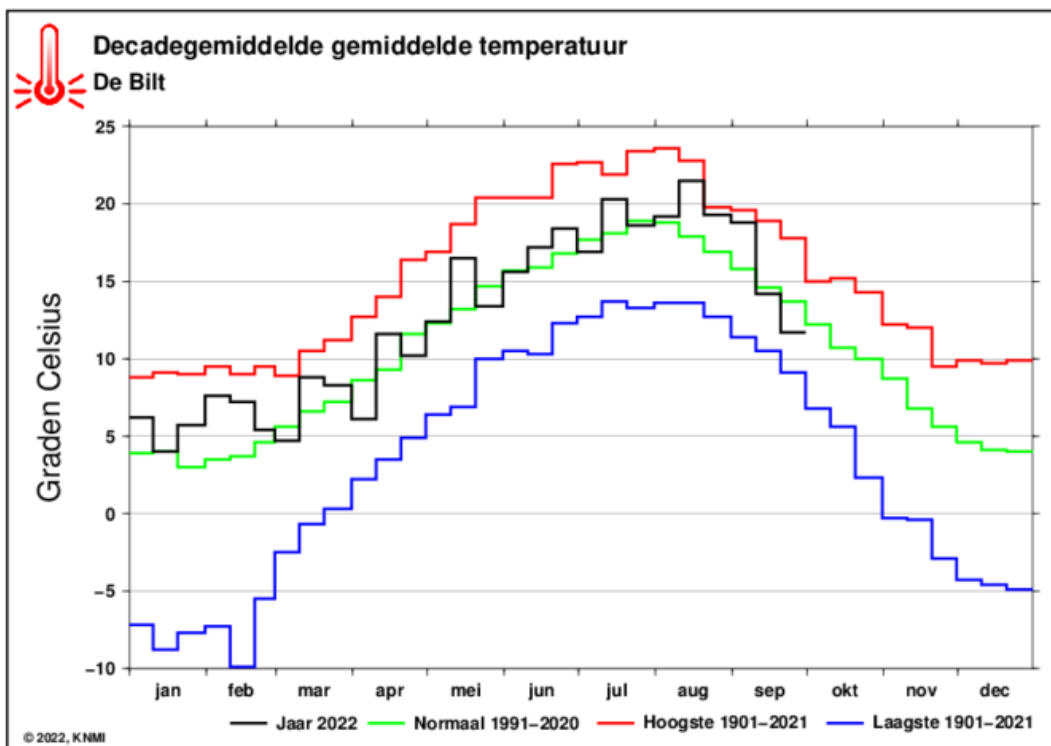
De korte duur sterkte van een geokunststof wordt beïnvloed door de temperatuur waaronder het getest en toegepast wordt. Een goed overzicht geeft figuur B4.3.



Figuur B4.3 Invloed temperatuur op korteduur sterkte (Veldhuijzen van Zanten, 1986) [13]

De chemische processen zoals oxidatie en hydrolyse gaan ook bij hogere temperaturen sneller, zoals duidelijk is uit de versnelde testen bij hogere temperaturen in de Arrhenius analyse. De RF wordt meestal vastgelegd bij 20 °C of 25 °C. De RF_{CH} bij hogere of lagere temperaturen wordt soms in BBA certificaten gegeven of hij kan afgeleid worden uit de Arrhenius analyse.

De gemiddelde temperatuur in Nederland (in het algemeen wordt daarmee bedoeld het Europese deel van het Koninkrijk der Nederlanden) is 11,6 °C. Dus is er eerder sprake van een verlaging t.o.v. de genormeerde test temperatuur dan van een verhoging. Bij een ontwerp moet wel rekening gehouden worden of door langdurige zoninstraling op de constructie geen hogere temperatuur in het geokunststof kan ontstaan.



Figuur B4.4 Gemiddelde temperatuur in Nederland

Een sprong van 25 naar 15 °C kan een verlenging van de levensduur (bij oxidatie of hydrolyse) met een factor 2 - 4,36 betekenen. Voor meer informatie wordt verwezen naar de uitkomsten van de extrapolatie m.b.v. een Arrhenius analyse voor een bepaald product (het is dus een product afhankelijke waarde).

Het effect van hogere temperatuur op het kruipgedrag van PET is uitgebreid onderzocht door (Hsieh & Tseng, 2008). Bij stijging van de temperatuur (t.o.v. de testnorm 20 o C) neemt de sterkte, T_{ult} met 0,33 % / ° C af. De creep rate neemt ook toe met de stijging van de temperatuur. Tussen 20 en 40 ° C neemt de creep rate toe met een factor 1,8. De tijd tot bezwijken neemt dus af (op log schaal) maar blijft relatief laag. Hieronder een samenvatting:

ABSTRACT

This study investigates the tensile creep behavior of a PVC coated polyester geogrid at different temperatures. The ultimate tensile strength of the test geogrid is 128(MD)/115(CD) kN/m. The geogrid was fabricated using knitting and woven techniques. A series of tensile tests (ASTM D6637) and conventional long-term (ASTM D5262) creep tests were performed to evaluate the tensile strength, elongation at rupture and long-term creep strains of the geogrid. The test results indicated that the ultimate tensile strength of the PET geogrid linearly decreased as the test temperature increased up to 60°C. The tensile strength decreasing rate is about -0.33% per degree of Celsius. The elongation at break is about 11% for the tested conditions varied from 0°C to 60°C. The tensile strength and elongation at break for the 80°C test condition was inconsistent with the results from other test conditions. It is believed that the phenomenon of glass formation might have some effects on the engineering behavior of the test geogrid at around 80°C. The creep strain rate also increased as the test temperature was increased under same tensile load condition. Linear creep strain rates were observed from a series of conventional long-term test product creep tests. Under conditions with same

creep tensile load or same percentage UTS tensile load under higher temperature conditions presented higher total creep strain and associated creep strain rate. The creep modulus decreased as the test temperature was increased. The creep strain rate increase could be up to 80% for temperature condition changes from 20°C to 40°C. The required rupture time linearly decreases as creep load increased on a log time scale. The decreasing rate of rupture time increases as test temperature increased.

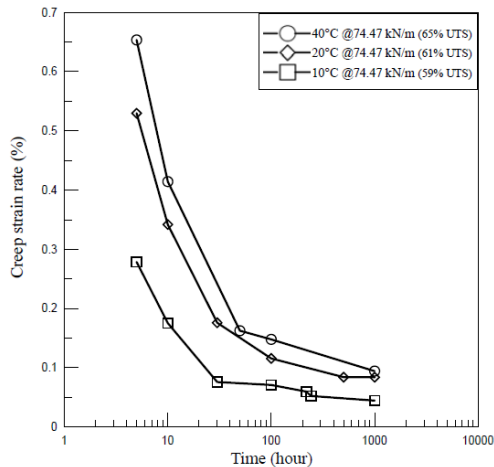


Fig. 8 Creep strain rate curves for 74.47 kN/m tensile load at 10°C, 20°C and 40°C

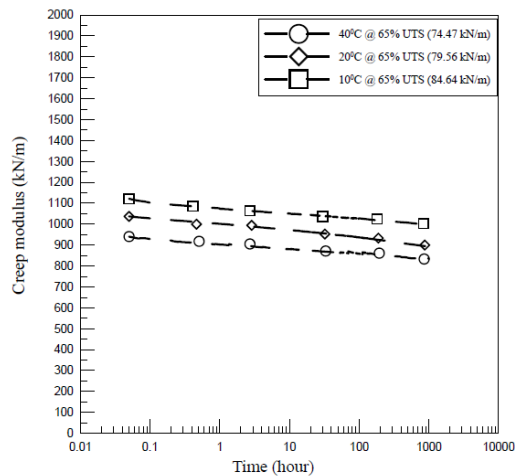


Fig. 10 Creep modulus curves under 65% UTS loading at various test temperatures

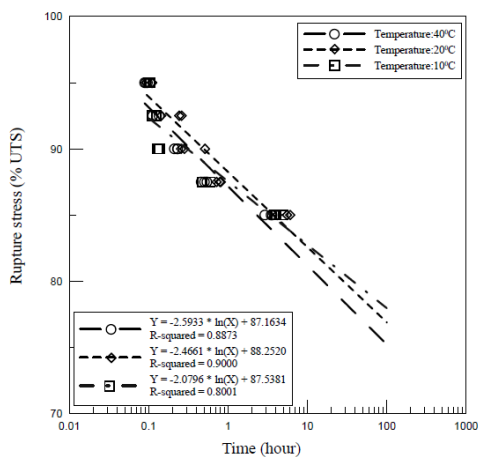


Fig. 12 Creep rupture data and regression lines at various test temperatures

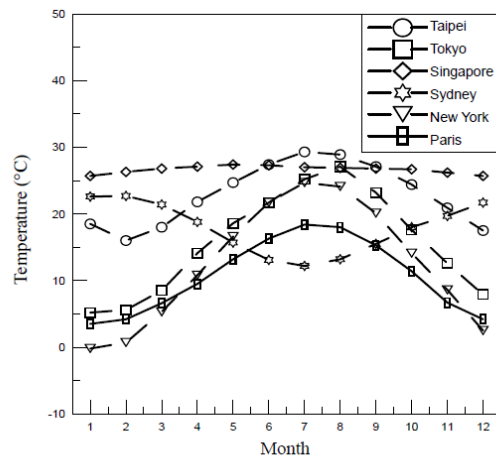


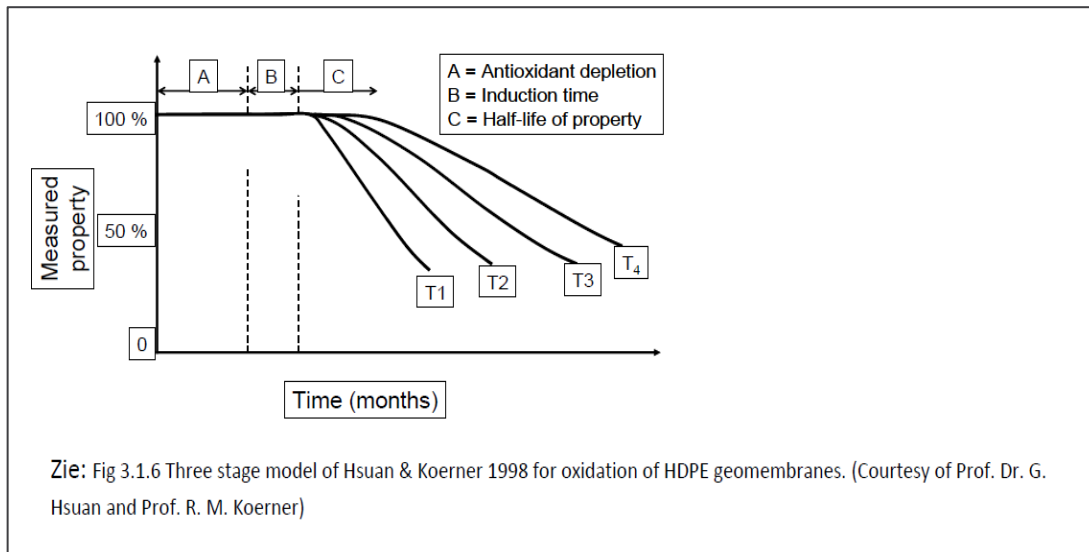
Fig. 1 Average monthly temperature for various cities

Bijlage 5 Achtergronden oxidatie

B5.1 Oxidatieve afbraak van polyolefinen

De afbraak van gestabiliseerde polymeren kan in drie stadia verdeeld worden: Zie hoofdstuk 3.1.4.3. (Voskamp e. a., 2016)

- de tijd waarin het antioxidant verbruikt wordt (A);
- de tijd waarin het oxidatieproces opstart (B);
- de tijd waarin de oxidatie plaatsvindt totdat een reductie van 50% van de mechanische eigenschappen bereikt is (C).



Figuur B4.4 Drie fasen model van afbraak polymeren (zie weergegeven bron in figuur)

Fase A. Initiële incubatiefase waarin er geen verandering is in de oxidatieprestaties van het materiaal (zoals gemeten met Oxidation Induction Time OIT) en geen verandering in de mechanische eigenschappen. Gedurende deze periode wordt een overschot aan antioxidanten geconsumeerd.

Fase B. De tweede fase begint wanneer er een waarneembare verandering is in de oxidatieprestaties van het materiaal. Er is nog geen verandering in de mechanische eigenschappen. Tijdens deze periode is de antioxidant in het materiaal uitgeput.

Fase C. De derde fase begint wanneer de antioxidant is verbruikt (of is verminderd tot een niveau waarop het niet langer voldoende is): pas nu treedt een verandering in mechanische eigenschappen op.

Bij de test worden de monsters verouderd in luchtovens bij verschillende temperaturen en worden er regelmatig monsters genomen. Monsters worden getest op zowel mechanische eigenschappen als OIT. De duur van elke fase wordt bepaald, waarbij het eindelevenscriterium voor de derde fase een vermindering van 50% in sterkte is. Voor elk van de drie fasen afzonderlijk wordt een Arrhenius-curve bepaald en gebruikt om de duur van elke fase bij de bedrijfstemperatuur te voorspellen. Deze drie looptijden worden uiteindelijk samengevoegd om de voorspelde levensduur van het materiaal te geven.

Testen

ISO 13438 en ISO/TR 20432 beschrijven 2 alternatieve methoden voor het lange duur testen van oxidatie van polyolefinen. In een oven test wordt alleen de temperatuur verhoogd, met methode A voor polypropyleen en methode B voor polyethyleen. (ref. 3.1.6

(Voskamp e. a., 2016)). In de autoclaaf test met een hogere druk en een hogere temperatuur (methode C wordt het materiaal in een vloeistof getest. Het wordt onder 5 MPa zuurstofdruk verhit. De druk en de temperatuur worden gelijktijdig verhoogd. (ref. 3.1.7 en figuur 3.1.9 (Voskamp e. a., 2016))

De referentie temperatuur waarop de levensduur bepaald wordt is 25°C. Normaal gesproken is de temperatuur in de grond in Europa niet meer dan gemiddeld 15°C (met een uitzondering van zuid Europese staten) Dit verschil van 10 ° C heeft een groot (positief) effect op de verwachte levensduur!

De beschreven testmethoden (oventest en autoclaaftest) kunnen ook gebruikt worden om langere levensduren van polyolefinen te bepalen, met behulp van een Arrhenius diagram. Het eerste en tweede stadium kunnen bepaald worden op basis van de reductie van de stabilisatorhoeveelheid, wat d.m.v chemische analyse, OIT (Oxidatie Inductie Tijd) of HP-OIT (Hoge Druk Oxidatie Inductie Tijd) gedaan wordt. De Oxidatie Inductie Tijd (OIT) blijft in het eerste stadium ongewijzigd. In het tweede stadium neemt de OIT waarde progressief af tot als de hoeveelheid antioxidant afneemt, de mechanische eigenschappen blijven ongewijzigd. In het derde stadium nemen de mechanische eigenschappen, zoals sterkte af. De testen kunnen bij verschillende temperaturen uitgevoerd worden en met behulp van Arrhenius curven kan een extrapolatie in de tijd gemaakt worden voor de tijdstap naar een lagere temperatuur.

Reductiefactor

De reductiefactor voor polypropyleen en polyethyleen moet bij voorkeur gebaseerd zijn op testen die de reductie in sterkte voorspellen:

- Eenvoudige oven testen volgens de methode van ISO 13434 / ISO TC 20432, methode A2 of B2, geëxtrapoleerd over een range van temperaturen en tijden, met de gemeten sterkte vermindering als basis voor de reductiefactor. Een figuur met de afname in sterkte over de tijd is in dit geval nodig om de levensduur bij een temperatuur waarop het geokunststof wordt toegepast te voorspellen (zoals in figuur 3.7.4 en 3.7.5 (Voskamp e. a., 2016)).
- Oven testen, gecombineerd met OIT testen om de 2 stadia van oxidatie te bepalen, gevolgd door een stadium waarin de sterkte afneemt. De verwachte levensduur zal in dit geval bestaan uit de incubatietijd(en) plus de tijd waarin een vooraf gedefinieerde sterkteafname wordt bereikt. (dit leidt tot een reductiefactor voor de sterkte bij de verwachte levensduur). Indien de incubatietijd nog niet verstreken is bij het eindigen van de vereiste levensduur, zal er geen reductie in sterkte plaatsvinden en hoeft ook geen reductiefactor toegepast te worden.
- De test bij hoge temperaturen en onder verhoogde druk (autoclaaf test), volgens ISO 13438, methode C1 en C2, maar dan met een range van temperaturen en drukken. De sterktereductie die volgt uit blootstelling aan deze twee condities wordt weergegeven in een 3 dimensionaal diagram, wat dan weer geëxtrapoleerd wordt naar werkteemperatuur om daaruit de verwachte reststerkte te kunnen bepalen (bij een vaste vereiste levensduur) of de levensduur bij een vaste vereiste reststerkte (zie ook het eerste punt).

Al deze methoden leveren een reststerkte bij een vereiste levensduur (of een levensduur bij een vereiste minimum reststerkte), voor de omstandigheden waarin het materiaal wordt toegepast. Dan is: RF_{CH} = initiële sterkte / verwachte reststerkte.

Default values / standaard factoren

ISO TR 20432 geeft standaard factoren of ook veilige waardes genoemd voor polypropyleen en polyethyleen, namelijk indien het materiaal voldoet aan de ISO 13438 Methode A2 voor polypropyleen of B2 voor polyethyleen, of C2 voor een van beiden. Dan mag gerekend worden met $RF_{CH} = 1.3$ voor een levensduur van 100 jaar bij een

temperatuur tot 25°C. Deze standaard – veilige– waarde moet met grote voorzichtigheid gebruikt worden, daar het niet zeker is of hij altijd toepasbaar is. Daarom wordt het gebruik ervan niet aangeraden. De reductiefactor RFCH voor polypropyleen en polyethyleen moet bij voorkeur op testen gebaseerd zijn, die de reductie in sterkte aangeven.

Bijlage 6 Achtergronden interactie

B6.1 Berekening van f_{ds} voor verschillende groepen geogrids

Gekozen is voor een indeling in groepen op basis van de kenmerkende eenheden. Hierbij is α_s het aandeel van het contactoppervlak wapening over het glijvlak. De berekeningen zijn gemaakt met $\varphi' = 30^\circ$ en $f_{sf} = 0,6$. Het blijkt dat het effect van wijziging van φ' geen invloed op de waarde van f_b , omdat de waarde f_{sf} constant is. In tabel B6.1 tot en met B6.3 zijn enige waarden berekend en weergegeven.

Tabel B6.1 Waarden voor f_{ds} van een aantal groepen geogrids

Parameters	Miragrid	Secugrid	Enkagrid	Fortrac R en T	Fortrac MDT	Tensar
type	GX 20/20	40/20R6	PRO 40	35T	MDT35	40RE
$\tan \varphi'$	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
φ'	30	30	30	30	30	30
α_s	0,21	0,24	0,25	0,28	0,34	0,41
f_{sf}	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
$\alpha_b \times B / 2 S$	0,016	0,005	0,003	0,009	0,011	0,003
$\alpha_s \times f_{sf}$	0,126	0,144	0,15	0,168	0,204	0,246
$1 - \alpha_s$	0,79	0,76	0,75	0,72	0,66	0,59
f_{ds}	0,916	0,904	0,9	0,888	0,864	0,836

Tabel B6.2 Waarden voor f_{ds} van een aantal groepen geogrids (vervolg)

Parameters	Miragrid	Secugrid	Enkagrid	Fortrac R en T	Fortrac MDT	Tensar
type	GX 110/30	120/40R6	PRO 120	110T	110 MDT	120RE
$\tan \varphi'$	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
φ'	30	30	30	30	30	30
α_s	0,29	0,38	0,37	0,37	0,37	0,41
f_{sf}	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
$\alpha_b \times B / 2 S$	0,019	0,005	0,002	0,008	0,014	0,008
$\alpha_s \times f_{sf}$	0,174	0,228	0,222	0,222	0,222	0,246
$1 - \alpha_s$	0,71	0,62	0,63	0,63	0,63	0,59
f_{ds}	0,884	0,848	0,852	0,852	0,852	0,836

Tabel B6.3 Waarden voor f_{ds} van een aantal groepen geogrids (vervolg)

Parameters	Miragrid	Secugrid	Fortrac R en T	Fortrac MDT	Tensar	Tensar
type	GX400/30	400/40R6	R400/50	400MDT	200/40	RE580
$\tan \varphi'$	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
φ'	30	30	30	30	30	30
α_s	0,46	0,7	0,49	0,48	0,44	0,41
f_{sf}	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
$\alpha_b \times B / 2 S$	0,015	0,002	0,012	0,016	0,005	0,008
$\alpha_s \times f_{sf}$	0,276	0,42	0,294	0,288	0,264	0,246
$1 - \alpha_s$	0,54	0,3	0,51	0,52	0,56	0,59
f_{ds}	0,816	0,72	0,804	0,808	0,824	0,836

B6.2 Berekening van f_b voor verschillende groepen geogrids

Gekozen is voor dezelfde typen als in bijlage B6.1. De waarden voor α_s en $\alpha_b \cdot B / (2S)$ zijn ontleend aan de respectievelijke BBA certificaten. In tabel B6.4 tot en met B6.6 zijn enige waarden berekend en ter indicatie weergegeven, waarbij waarden voor $F_1 \cdot F_2$ zijn gegeven. Hierbij is voor F_1 uitgegaan van 1,9 en voor F_2 uitgegaan van 1,0.

Tabel B6.4 Waarden voor f_b van een aantal groepen geogrids

Parameters	Miragrid	Secugrid	Enkagrid	Fortrac R en T	Fortrac MDT	Tensar
type	GX 20/20	40/20R6	PRO 40	35T	MDT35	40RE
φ'	30	30	30	30	30	30
α_s	0,21	0,24	0,25	0,28	0,34	0,41
f_{sf}	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
$\alpha_b \times B / 2 S$	0,016	0,005	0,003	0,009	0,011	0,003
$\alpha_s \times f_{sf}$	0,126	0,144	0,15	0,168	0,204	0,246
σ'_b / σ'_n	5,800	5,800	5,800	5,800	5,800	5,800
$1 / \tan \varphi'$	1,733	1,733	1,733	1,733	1,733	1,733
$F_1 \times F_2$	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
f_b	0,43	0,25	0,22	0,34	0,41	0,31

Tabel B6.5 Waarden voor f_b van een aantal groepen geogrids (vervolg)

Parameters	Miragrid	Secugrid	Enkagrid	Fortrac R en T	Fortrac MDT	Tensar
type	GX 110/30	120/40R6	PRO 120	110T	110 MDT	120RE
φ'	30	30	30	30	30	30
α_s	0,29	0,38	0,37	0,37	0,37	0,41
f_{sf}	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
$\alpha_b \times B / 2 S$	0,019	0,005	0,002	0,008	0,014	0,008
$\alpha_s \times f_{sf}$	0,174	0,228	0,222	0,222	0,222	0,246
σ'_b / σ'_n	5,800	5,800	5,800	5,800	5,800	5,800
$1 / \tan \varphi'$	1,733	1,733	1,733	1,733	1,733	1,733
$F_1 \times F_2$	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
f_b	0,54	0,33	0,26	0,38	0,49	0,42

Tabel B6.6 Waarden voor f_b van een aantal groepen geogrids (vervolg)

Parameters	Miragrid	Secugrid	Fortrac R en T	Fortrac MDT	Tensar	Tensar
type	GX400/30	400/40R6	R400/50	400MDT	200/40	RE580
φ'	30	30	30	30	30	30
α_s	0,460	0,700	0,490	0,480	0,440	0,410
f_{sf}	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
$\alpha_b \times B / 2 S$	0,015	0,002	0,012	0,016	0,005	0,008
$\alpha_s \times f_{sf}$	0,276	0,420	0,294	0,288	0,264	0,246
σ'_b / σ'_n	5,800	5,800	5,800	5,800	5,800	5,800
$1 / \tan \varphi'$	1,733	1,733	1,733	1,733	1,733	1,733
$F_1 \times F_2$	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
f_b	0,56	0,46	0,52	0,59	0,37	0,42

De waarde van φ' heeft behoorlijke invloed op de berekening van de f_b daarom is de f_b ook aanvullend uitgerekend voor $\varphi' = 20^\circ$ en voor $\varphi' = 40^\circ$. De resultaten voor de bondcoëfficiënt zijn toegevoegd in tabellen B6.7 t/m B6.9.

Tabel B6.7 Waarden voor f_b bij een variërende hoek van inwendige wrijving

φ' [°]	Miragrid	Secugrid	Enkagrid	Fortrac R en T	Fortrac MDT	Tensar
	GX 20/20	40/20R6	PRO 40	35T	MDT35	40RE
20	0,37	0,23	0,20	0,30	0,37	0,30
30	0,43	0,25	0,22	0,34	0,41	0,31
40	0,65	0,33	0,26	0,46	0,56	0,36

Tabel B6.8 Waarden voor f_b bij een variërende hoek van inwendige wrijving (vervolg)

φ' [°]	Miragrid	Secugrid	Enkagrid	Fortrac R en T	Fortrac MDT	Tensar
	GX 110/30	120/40R6	PRO 120	110T	110 MDT	120RE
20	0,46	0,31	0,26	0,34	0,43	0,38
30	0,54	0,34	0,27	0,37	0,49	0,42
40	0,79	0,42	0,30	0,48	0,68	0,55

Tabel B6.9 Waarden voor f_b bij een variërende hoek van inwendige wrijving (vervolg)

φ' [°]	Miragrid	Secugrid	Fortrac R en T	Tensar	Tensar
	GX400/30	400/40R6	R400/50	400MDT	RE580
20	0,54	0,45	0,47	0,53	0,38
30	0,61	0,46	0,52	0,59	0,42
40	0,84	0,50	0,69	0,81	0,55

Bovenstaande waarden kunnen samengevat worden voor de gekozen groepen geokunststofwapening en voor zand met waarden van $\varphi' = 20^\circ$ en $\varphi' = 30^\circ$ en zijn weergegeven in tabel B6.10.

Tabel B6.10 Waarden voor f_b bij zand voor de gekozen groepen geokunststofwapening [56]

$\varphi' = 20^\circ$			$\varphi' = 30^\circ$		
klasse	flexible	stripgrid	klasse	flexible	stripgrid
licht	0,30	0,20	licht	0,34	0,22
midden	0,34	0,26	midden	0,37	0,26
sterk	0,47	0,45	sterk	0,47	0,45

Aditionele referenties naar publicaties over pull-out zijn te vinden in de referentielijsten in (Maas, 1994), (Oostveen, Maas, & Hendrikse, 1994) en (Voskamp W. , 1992).

B6.3 Samenvatting uit paragraaf 4.4 en verder uit CIRIA SPC 123 [55]

4.4 Interaction between soil and reinforcement

As well as the properties of the soil and the reinforcement materials themselves, the properties of their interaction are also important for reinforced soil. There are two limiting modes of interaction (Figure 4.6):

1. *Direct sliding*, in which a block of soil slides over a layer of reinforcement.
2. *Pullout*, in which a layer of reinforcement pulls out from the soil after it has mobilised the maximum available *bond* stresses.

Modified direct shear tests and pullout tests can be used to measure these interaction properties, but it is necessary to be clear about the relevance of each (Figure 4.6).

Modified direct shear tests are suitable for measuring the *coefficient of direct sliding* between soil and any type of reinforcement material (Figures 4.6c and d). For a woven or non-woven geotextile, *direct sliding* occurs between the soil and the geotextile material over the full plan area of contact. For practical purposes, these geotextiles may be supported either on a solid block or on soil in the lower half of the direct shear apparatus (Figure 4.6c). In contrast, the *direct sliding* resistance for geogrids is generated both by soil sliding over soil through the apertures of the grid, as well as by soil sliding over the material of the geogrid itself. This means that geogrids have to be tested with soil in the lower half of the direct shear apparatus (Figure 4.6d).

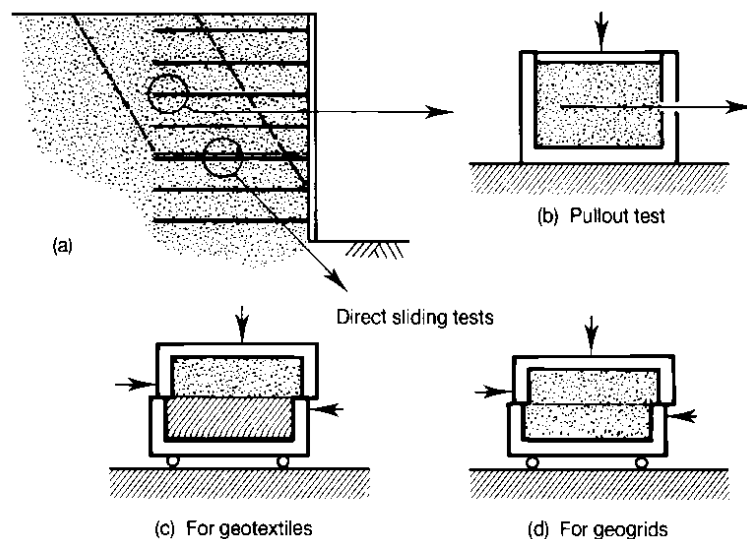


Figure 4.6 Interactions between soil and reinforcement

4.4

Interaction between soil and reinforcement

Modified direct shear tests are relatively simple to perform with either arrangement. The larger $300 \times 300\text{mm}$ direct shear apparatus and the procedures described in BS 6906: Part 8 are recommended (BSI, 1991).

Pullout tests model the second mode of interaction, the development of bond stress, but are difficult to interpret (Figure 4.6b). Special apparatus is required, but even then the results can be greatly influenced by the conditions in the test (Palmeira and Milligan, 1989).

For *woven* and *non-woven geotextiles*, the bond mechanism on either side of the reinforcement is very similar, if not identical, to that in direct sliding. The *bond coefficient* obtained from pullout tests on these materials has been found to agree closely with the *direct sliding coefficient* measured in modified direct shear tests. Thus for practical purposes there is no reason to perform pullout tests on woven and non-woven geotextiles; sufficient data on interaction may be obtained from the much simpler modified direct shear test.

For *geogrid reinforcement*, however, the mode of interaction during pullout is quite different from that in direct shear, as clearly established by tests using a photoelastic technique (Dyer, 1985; Milligan *et al.*, 1990). The data indicate that geogrids develop bond partly through concentrations of bearing stress against the transverse members of the grid, whereas they develop direct sliding resistance partly by shear of soil over soil through the apertures, and partly by shear of soil over the planar geogrid surface areas.

Thus the bond coefficient for a geogrid can only be measured by pullout tests. These require considerable skill and care both in execution and interpretation, particularly in relation to measurements affected by boundary conditions and when testing more extensible materials. Pullout test results can be – and often have been – misleading.

However, it is usually sufficient for design purposes simply to calculate the bond coefficient for geogrid reinforcement based on the grid dimensions and the soil properties (Jewell, 1990). The analysis is for a general case (Figure 4.7). When the

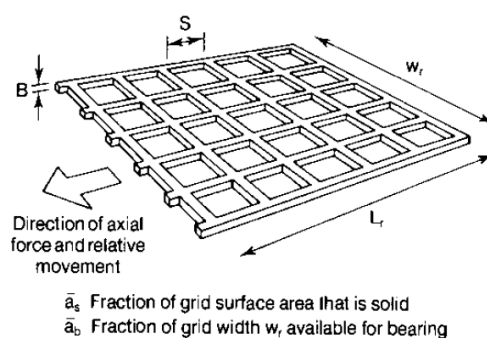


Figure 4.7 Definition of dimensions for reinforcement

4 Reinforced soil behaviour

fraction of the reinforcement plan area is set to unity, $\bar{a}_s = 1$, the relations reduce to those relevant to woven and non-woven geotextiles.

4.5 Coefficient of direct sliding

The resistance to direct sliding of a block of soil across a layer of reinforcement (Figure 4.6a) depends on (a) shear between the soil and the planar surfaces of the reinforcement, and (b) the soil-to-soil shear through the apertures of the reinforcement. The overall direct sliding resistance is defined by a coefficient, α_{ds} .

The theoretical expression for direct sliding resistance recommended for design is

$$\alpha_{ds} \tan \phi' = \bar{a}_s \tan \delta + (1 - \bar{a}_s) \tan \phi' \quad \dots(4.2)$$

where $\tan \delta$ is the skin friction for soil shearing over the planar surfaces of the reinforcement, and the other terms are defined in Figure 4.7 (Jewell *et al.*, 1984). The *coefficient of direct sliding* is

$$\alpha_{ds} = \bar{a}_s \frac{\tan \delta}{\tan \phi'} + (1 - \bar{a}_s) \quad \dots(4.3)$$

For a woven or non-woven geotextile, for which $\bar{a}_s = 1$, the *coefficient of direct sliding* is analogous to the skin friction between a construction material and soil,

$$\alpha_{ds} = \frac{\tan \delta}{\tan \phi'} \quad \dots(4.4)$$

The coefficient of direct sliding is in the range $1.00 \geq \alpha_{ds} \geq 0.60$ for a wide variety of woven and non-woven geotextiles and soils (Williams and Houlihan, 1987). The lower values apply to geotextiles with smooth, even surfaces. The minimum possible direct sliding resistance would be of the order $\alpha_{ds} = 0.4$ which applies for soil shearing over smooth metal (Potyondy, 1961; Kishida and Uesugi, 1987). Woven geotextiles with significant surface roughness mobilise greater direct sliding resistance in the range $\alpha_{ds} \approx 0.8$ to 1.0.

The skin friction between granular soil and a solid sheet of polymer (such as HDPE) is of the order $\tan \delta \approx 0.6 \tan \phi'$. Many available geogrids have an area ratio of the order $\bar{a}_s = 0.5$. When substituted into Equation (4.3), this gives a typical *coefficient of direct sliding* resistance for geogrids $\alpha_{ds} \approx 0.8$.

Modified direct shear tests are simple and inexpensive to carry out, and theoretical values for the *coefficient of direct sliding* can be checked easily for specific combinations of soil and geotextile.

4.6 Coefficient of bond

The two main mechanisms of load transfer which provide bond between soil and reinforcement are skin friction and bearing stress (Figure 4.8). Bond can be defined in terms of a *bond coefficient*, α_b .

4.6

Coefficient of bond

The contribution to bond from skin friction depends on the planar surface area of the reinforcement, \bar{a}_s , and the skin friction, $\tan \delta$.

The contribution to bond from the bearing stress acting on transverse members depends on the ratio of the bearing surface area to the plan area, $\bar{a}_b B / 2S$, and on the ratio of the bearing stress to the stress acting normal to the plane of the reinforcement, σ'_b / σ'_n (Figures 4.7 and 4.8).

The theoretical expression for bond (Jewell *et al.*, 1984) is

$$\alpha_b \tan \phi' = \bar{a}_s \tan \delta + \left(\frac{\sigma'_b}{\sigma'_n} \right) \left(\frac{\bar{a}_b B}{2S} \right) \quad \dots(4.5)$$

and the *bond coefficient* is then

$$\alpha_b = \bar{a}_s \frac{\tan \delta}{\tan \phi'} + \left(\frac{\sigma'_b}{\sigma'_n} \right) \left(\frac{\bar{a}_b B}{2S} \right) \frac{1}{\tan \phi'} \quad \dots(4.6)$$

As before, the result for woven and non-woven geotextiles may be found by setting the terms $\bar{a}_s = 1.00$ and $\bar{a}_b = 0.00$

$$\alpha_b = \frac{\tan \delta}{\tan \phi'} = \alpha_{ds} \quad \dots(4.7)$$

which confirms that the *bond* and *direct sliding coefficients* are indeed equivalent for these materials (Section 4.5).

The parameters for the general case in Equation (4.6) are well defined except for the bearing stress ration, σ'_b / σ'_n (Figure 4.8). Relations giving theoretical upper and lower

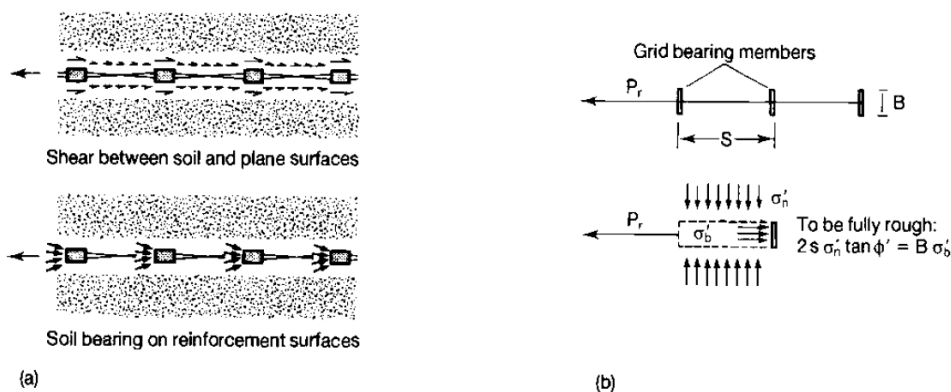


Figure 4.8 Bond between reinforcement and soil: (a) mechanisms and (b) definitions for analysis

4 Reinforced soil behaviour

limits to this bearing stress ratio have been found to bound the data on bearing stress recorded in pullout testing (Figure 4.9). The lower curve is recommended for design,

$$\left(\frac{\sigma'_b}{\sigma'_n}\right)_\infty = \tan(\pi/4 + \phi'/2)e^{(\pi/2 + \phi')\tan \phi'} \quad \dots(4.8)$$

and some values are given in Table 4.1

When typical parameters for geogrid reinforcement are substituted into Equation (4.6) it shows that the maximum possible bond in compact granular soil, $\alpha_b \approx 1.00$ (equivalent to a rough sheet), can be achieved by geogrids with a geometry of the order $S/\bar{a}_b B < 20$.

The two separate components which contribute to the bond of grid reinforcement are summarised in Table 4.2 for a range of grid geometries and soil angles of friction, assuming a typical skin friction $\tan \delta = 0.6 \tan \phi'$ between the soil and the polymer material. The *bond coefficient* for any desired combination of these can be found by adding the two components, subject to the limit $\alpha_b \leq 1.00$.

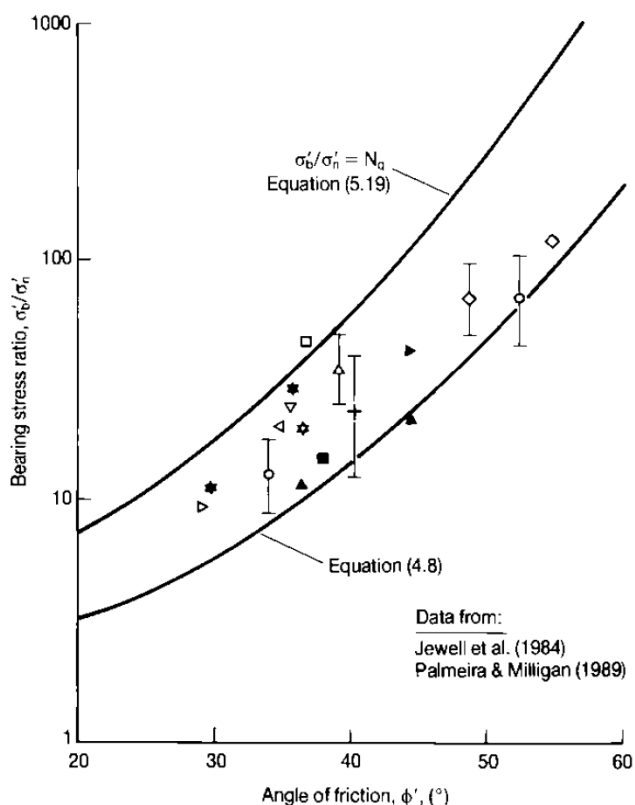


Figure 4.9 *Bearing stresses on reinforcement*

4.6

Coefficient of bond

Table 4.1 Bearing stress ratio for soil reinforcement

ϕ'	$\sigma'_b/\sigma'_n \dagger$	ϕ'	$\sigma'_b/\sigma'_n \dagger$
16	2.26	31	6.29
17	2.39	32	6.82
18	2.54	33	7.42
19	2.70	34	8.10
20	2.87	35	8.85
21	3.06	36	9.70
22	3.27	37	10.66
23	3.49	38	11.74
24	3.73	39	12.98
25	4.00	40	14.39
26	4.30	41	16.01
27	4.62	42	17.08
28	4.98	43	20.03
29	5.37	44	22.54
30	5.80	45	25.47

† Equation (4.8)

Palmeira and Milligan (1989) have shown that there is an important *scale effect* due to the mean particle size, D_{50} , which increases the bearing load transfer once $B/D_{50} < 10$ (Figure 4.10). This finding is consistent with the scale effects observed in other bearing capacity problems (Kerisel, 1972). The empirical relation shown in Figure 4.10 is recommended to allow these scale effects to be taken into account

$$\left(\frac{\sigma'_b}{\sigma'_n}\right)_s = \left(\frac{20 - B/D_{50}}{10}\right) \left(\frac{\sigma'_b}{\sigma'_n}\right)_\infty = F_1 \left(\frac{\sigma'_b}{\sigma'_n}\right)_\infty \quad \dots(4.9)$$

and applies when $B/D_{50} < 10$. The bearing stress ratio $(\sigma'_b/\sigma'_n)_\infty$ is for a continuum (no particle size effects) and is defined by Equation (4.8) for bearing on transverse members of circular cross-section. The test data indicate that this may be increased by a factor 1.2 for bearing on transverse members of rectangular cross-section.

Thus both *scale effects* (Equation 4.9) and the *shape factor* (described above) can increase the load transfer in bearing by up to a factor two or more, which explains the scatter in the data (Figure 4.9). The previous expression for the *bond coefficient* of geogrid reinforcement (Equation 4.6) may now be rewritten as

$$\alpha_b = \bar{a}_s \frac{\tan \delta}{\tan \phi'} + F_1 F_2 \left(\frac{\sigma'_b}{\sigma'_n}\right)_\infty \left(\frac{\bar{a}_b B}{2S}\right) \frac{1}{\tan \phi'} \quad \dots(4.10)$$

4 Reinforced soil behaviour

The factor F_1 allows for scale effects and is defined in Equation (4.9) when $B/D_{50} < 10$; otherwise $F_1 = 1.00$. The shape factor $F_2 = 1.0$ for circular bar, and $F_2 = 1.2$ for rectangular bar. The bearing stress ratio for a continuum $(\sigma'_h/\sigma'_n)_\infty$ is given by Equation (4.8).

4.7 Example interaction coefficients

4.7.1 Woven geotextile

A woven geotextile product is to be used in a compacted granular fill. Direct shear testing over the range of normal effective stress that will apply in the structure gave a measured peak direct sliding resistance between the fill and the geotextile in the range $0.85 \geq \alpha_{ds} \geq 0.75$. Note that $\alpha_{ds} = \tan \delta_p / \tan \phi'_p$, where the peak angles of friction are ϕ'_p for the fill alone, and δ_p between the soil and the geotextile surface.

In the case of a woven geotextile the coefficient of direct sliding is equal to the coefficient of bond (Equation 4.7). The lower value in the measured range is selected for design so that in this case $\alpha_{ds} = \alpha_b = 0.75$.

The selection and application of factors of safety for reinforced soil design are described in Chapters 6. It may be noted here that the factor of safety applied to the soil

Table 4.2 Bond coefficients for grid reinforcement (Equation 4.6)

(1) Component of α_b from surface sheart
(First term in Equation 4.6)

\bar{a}_s	ϕ' 25°	ϕ' 30°	ϕ' 35°	ϕ' 40°	ϕ' 45°
0.10	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
0.25	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
0.50	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
0.75	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45

(2) Component of α_b from bearing stress†
(Second term in Equation 4.6)

$S/\bar{a}_b B$	ϕ' 25°	ϕ' 30°	ϕ' 35°	ϕ' 40°	ϕ' 45°
10	0.43	0.50	0.63	0.86	1.00
25	0.17	0.20	0.25	0.34	0.51
50	0.09	0.10	0.13	0.17	0.25
100	0.04	0.05	0.06	0.09	0.13

† $\tan \delta' / \tan \phi' = 0.6$.

‡ Subject to a maximum doubling from particle size effects, Equation (4.9)

4.7.2

Geogrid

shearing resistance also applies to the interaction resistances. For example, if a factor of safety $FS_s = 1.3$ were applied to the peak soil strength $\phi'_p = 40^\circ$ to derive a design frictional resistance $\phi'_d = 33^\circ$, then the corresponding design angle of friction between the soil and the reinforcement would be $\delta_d = 26^\circ$, from Equation (4.7), with interaction coefficients $\alpha_{ds} = \alpha_b = 0.75$.

In other words, while the peak angle of friction between the soil and the reinforcement could be as high as $\tan \delta'_p = 0.75 \tan \phi'_p$, or $\delta_p = 32^\circ$, the lesser value $\delta_d = 26^\circ$ would be used in design.

4.7.2 Geogrid

A range of geogrids with different strengths but made from the same polymer material and with the same geometry are to be used to reinforce a granular fill. The basic skin friction between the parent polymer material and the granular soil is measured to be not less than $\tan \delta = 0.60 \tan \phi'$. The geogrid members cover 40% of the plan area so that $\bar{a}_s = 0.40$, the remaining 60% of the plan area comprising the grid apertures. The ratio of the spacing between the transverse grid members and the area against which bearing stresses may develop is $S/\bar{a}_s B = 20$ (Figure 4.7).

The coefficient of direct sliding may be calculated from Equation (4.3) to give $\alpha_{ds} = 0.24 + 0.60 = 0.84$. The first component is due to the shear between the soil and the solid grid surfaces while the second component is due to shear in the soil through the grid apertures.

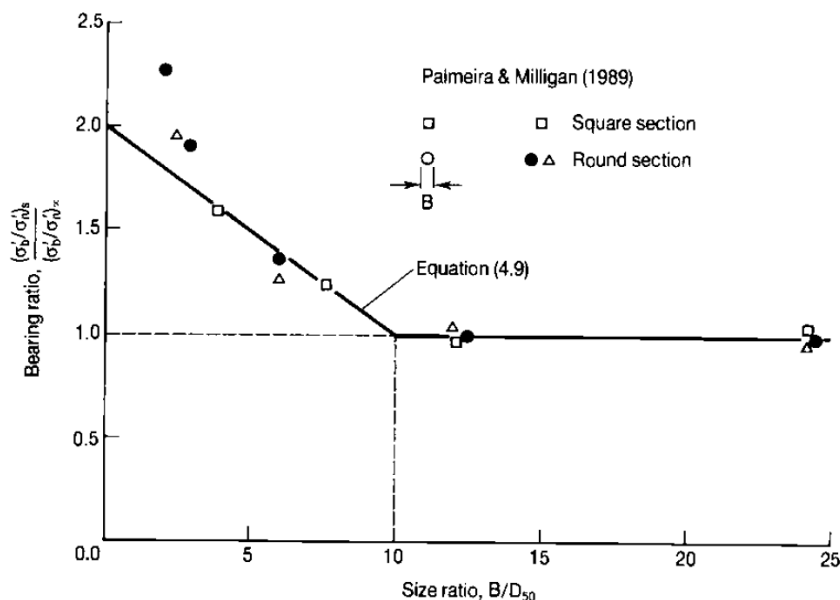


Figure 4.10 Influence of particle size on soil bearing stress

4 Reinforced soil behaviour

The coefficient of bond for the grid depends on the frictional properties of the soil and on any particle size effects. If the design angle of friction for the soil is $\phi'_d = 33^\circ$, the basic bearing stress between the soil and the transverse members of the geogrid would be $\sigma'_b/\sigma'_n = 7.42$ from Table 4.1.

Assuming that there is no benefit from either the shape of the transverse members or from particle scale effects, i.e. $F_1 = F_2 = 1.00$, the basic coefficient of bond for the geogrids would be $\alpha_b = 0.24 + 0.28 = 0.52$ from Equation (4.10). Again, the first component is due to shear between the soil and the solid grid surfaces, and the second component is due to soil bearing stresses.

In the case of geogrids with rectangular transverse members that present a plane perpendicular surface for soil bearing it is permissible to allow for a *shape factor* $F_2 = 1.2$ (Section 4.6). Also, if the mean particle size is large relative to the transverse members of the grid it is also permissible to allow for increased load transfer due to *scale effects*. In the case where $B/D_{50} = 5$ (i.e. where on average the transverse members are 5 particle diameters deep) the factor to allow for scale effects would be $F_1 = 1.5$ (Equation 4.9). The influence of these two factors would increase the bond coefficient by almost 50% to $\alpha_b = 0.24 + 0.51 = 0.75$ (Equation 4.10).

As mentioned earlier, the interaction properties for design are calculated using the design value for the soil shearing resistance, and thus carry the same margin of safety as the soil.

4.8 Synopsis of Chapter 4

- (1) Tensile reinforcement strengthens soil by
 - directly supporting some of the applied shear loading, and
 - increasing the normal stress in the soil thereby mobilising greater frictional shearing resistance.
- (2) The optimum orientation for reinforcement is in the direction of principal tensile strain, which is close to the horizontal direction in the main reinforced soil applications.
- (3) Equilibrium in reinforced soil depends on the stress-strain properties of both the soil and the reinforcement, and can be investigated using a *compatibility curve* (Figure 4.5).
- (4) *Direct sliding* and *pullout* are the two limiting modes of interaction between reinforcement and soil (Figure 4.6). The two properties of interaction, the *coefficient of direct sliding*, α_{ds} , and the *bond coefficient*, α_b , are needed for design.
- (5) Pullout testing is often unreliable. It is usually sufficient for design to calculate the *bond coefficient* from the theoretical analysis.

Key references

- British Standards Institution (1991). *British standard methods of test for geotextiles*, BS 6906: Part 8, Determination of sand-geotextile frictional behaviour by direct shear. British Standards Institution, London.
- Jewell, R.A. (1990). Reinforcement bond capacity, *Géotechnique*, Vol. 40, No. 3, 513–518.
- Palmeira, E.M. and Milligan, G.W.E. (1989) Scale and other factors affecting the results of pullout tests of grids buried in sand, *Géotechnique*, Vol. 39, No. 3, 511–524.
- Williams, N.D. and Houlihan, M.F. (1987). Evaluation of interface friction properties between geosynthetics and soils, *Geosynthetic '87 Conference*, New Orleans, pp. 616–627.

Bijlage 7 Achtergronden dynamische belasting

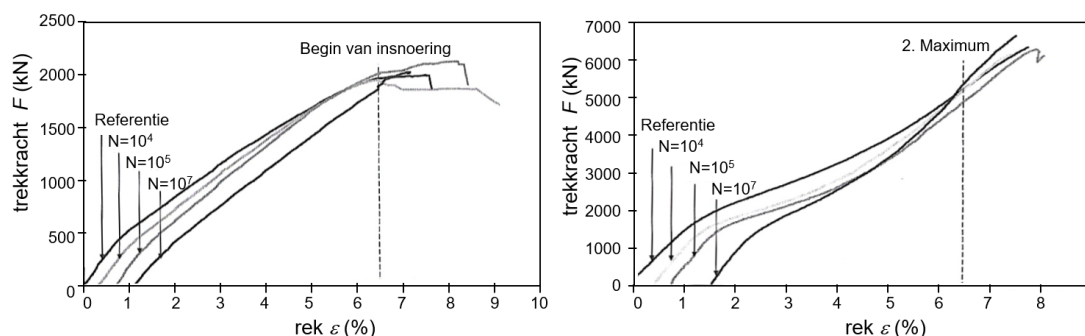
B7.1 Beproeving geogrids onder dynamische belasting

Het gedrag van geokunststof geogrids is door J. Retzlaff (2008) [54] in een PhD studie uitgebreid onderzocht.

Het gedrag van geogrids gemaakt van PET, PP en PE is onderzocht onder cyclische belasting. Het aantal geteste wisselingen bedroeg 10^7 , de frequentie was 10 Hz en de dynamische verhouding $R = 0,66$. R wordt gedefinieerd door $R = R_{DYN, onder} / R_{DYN, boven}$. Verder is $R_{DYN, b}$ gelijk aan $R_{g, kd, k} / RF_{cr}$. Het resultaat van de belasting, uitgedrukt in trek-tek curven is aangegeven in de onderstaande figuren. De waarde van R , zijnde de ratio tussen de minimum en maximum belasting, is gekozen op basis van tabel 5, waarbij $R = 0,66$ gekozen is omdat een kleine R grotere dynamische belasting geeft. De maximale dynamische belasting was gelijk aan de lange duur treksterkte van het materiaal (zonder reductiefactoren).

Tabel B7.1 Dynamische verhouding R en de oorzaak van de dynamische belasting

Oorzaak	Dynamische verhouding R
Treinverkeer onder ideale omstandigheden	0,87
Vetegang (wielslingeringen), onevenwichtigheden	0,66 tot 0,77
Stoot- of abrupte belasting, zoals het passeren van wissels	0,33 tot 0,50



Figuur B7.1 Trekproeven voor en na cyclische belasting van (links) GG2-PP en (rechts) GG3-PET.
Bron: Retzlaff (2007), Figuren 55 en 53 [54]

B7.2 Resultaten dynamische proeven

De verandering van de trekmodulus van het materiaal tijdens de proeven en de invloed van de temperatuur tijdens de proeven zijn onderzocht. Chemische analyse van de monsters met IR Spectrografie en met Differential Scanning Calorimetry is gemaakt.

Er is tijdens de testen geen kritische verhoging van de temperatuur als gevolg van de belasting geconstateerd. Het sterkteverlies voor PET geogrid was 0% in 2 proeven.

Bij PP had 1 proef een sterkte verlies van 1,5 %, bij de andere was het 0 %. In geval van het PE geogrid was het sterkte verlies 8 %.

De algemene conclusie van deze studie is dat de afname van de sterkte van deze geogrids erg klein is en maximaal 10% is.

Op basis van de detailanalyse van het gedrag op moleculair niveau is er wel een onderscheid te maken tussen de 3 polymeren.

Verder moet in ogenschouw genomen worden dat de belasting van de materialen op een veel hoger niveau lag tijdens de proeven in vergelijking van het belastingniveau in praktijk.

Voor toepassingen waarbij sprake is van directe dynamische belasting op de gewapende grond constructie, zodanig dat de wapening dynamisch belast wordt, moet uitgegaan worden van een $RF_{DYN} = 1,1$ voor het voorlopig ontwerp. Bij het definitieve ontwerp kan onderscheid gemaakt worden tussen de polymeren waarvoor bij een geogrid binnen het invloedsgebied van de dynamische belasting de waarden uit tabel B7.2 kunnen worden aangehouden (voor verkeerswegen is de invloedsdiepte bepaald op 2 m onder de verhardingsconstructie, voor spoorbanen 3 m onder bovenkant spoor).

Tabel B7.2 Reductiefactoren voor verschillende geokunststofwapeningmaterialen binnen de invloedszone van dynamische effecten

Geokunststof materiaal	Afkorting	Gemeten reductie	RF_{DYN} [-]
Aramid	AR	0%	1,00
Polyamide	PA	0%	1,00
Polyvinyl alcohol	PVA	0%	1,00
Polyester	PET	0%	1,00
Polypropyleen	PP	0-1,5%	1,05
Polyethyleen	PE	8%	1,10

Bijlage 8 Achtergronden verbindingen en naden

B8.1 Onderdeel uit Veldhuizen van Zanten (1986) [62] Geotextiles and geomembranes in Civil Engineering Effecten bij verbindingen en naden, pag 82 – 89

82 *Production technology*

5.8 GEOTEXTILE ASSEMBLY

5.8.1 *Introduction*

Geotextiles are manufactured in a limited number of widths. Although in the past fabrics were made up in widths of 20 m, today widths are limited to about 5.20 m. Jointing is, therefore, necessary to obtain greater widths. In practice joints can be subdivided into prefabricated joints and joints made during the execution of the works. Although prefabricated jointing is preferable, because of the quality of the joints, in practice it is generally necessary to make joints during the work. The design must, therefore, take into account both types of jointing. Often various methods are possible. In a bank protection with a toe structure, for example, the strips can be stitched into a piece about 30 m wide and then this joined to the adjacent piece with an overlap.

It is, however, always true that the joint forms the weakest link in the geotextile construction and should, therefore, be checked thoroughly against the specifications. In this connection it should be kept in mind that a joint will occur in a particular place. If it fails or does not satisfy design requirements, the consequences will, to a lesser or greater extent, be locally limited.

5.8.2 *Jointing systems*

In the past a great number of jointing systems have been investigated and applied more or less successfully.

Loose overlaps. Usually joints made during the construction of water permeable structures are achieved by overlapping. To date this is the only method which can be carried out under water. The amount of overlap depends on the construction requirement, laying tolerances and such like. The overlap can be minimized by using plastic pins. Pins, however, should only be used above water.

Sewing. Sewing geotextiles together is a generally accepted and much used method of jointing and good joints can be obtained. This method is discussed in more detail in Section 5.8.3.

Glueing. Woven fabrics are rarely glued together since the adhesion is generally unsatisfactory. An exception is the method in which both strips of fabric are moulded in a synthetic resin. Although high strength is obtained with this method, it is however, at high costs.

Stapling. To date this method has only been used to make temporary joints.

Tieing. In this method a hem is sewn into both strips of fabric (Figure 5.47). A bearing element is then fed into both hems. The hems are then attached to each other using steel or plastic rings or clamps. This method is used for special applications and for joints which should have the ability to transfer loads.

Figure 5.47. Tying.



Figure 5.48. Lock stitch.

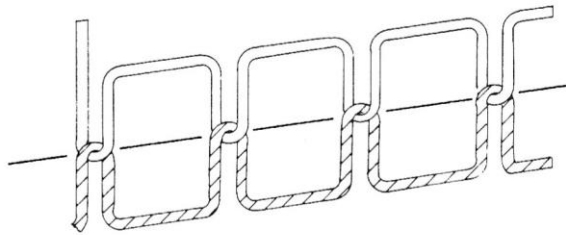
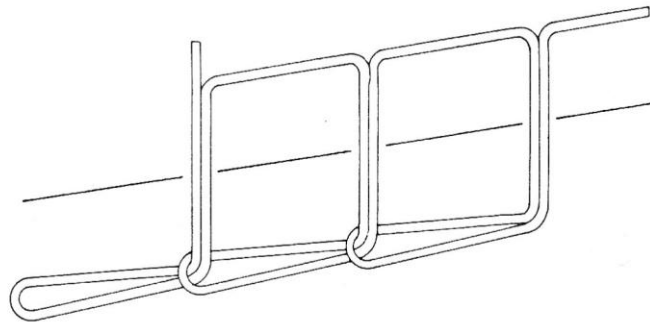


Figure 5.49. Chain stitch.



5.8.3 Seams

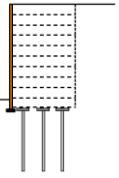
Although a large number of different seams and stitches are known from the textile industry only a limited number can in fact be used for geotextiles. In order to understand the sewing methods used, it is necessary to describe some of the terms involved. Reference should also be made to ISO 4915 and ISO 4916.

5.8.3.1 Sewing definitions

Stitch. A stitch is one unit of conformation of thread resulting from repeatedly passing a strand and/or a loop or loops of thread into or through a material at uniformly spaced intervals to form a series of stitches.

The lock stitch (Figure 5.48) is generally used for prefabricated seams. The chain stitch (Figures 5.49) and the double chain stitch (Figure 5.50) are also used for prefabricated seams and, in addition, are used during the execution of the work.

Seam. A seam is a joint consisting of a sequence of stitches uniting two or more



84 *Production technology*

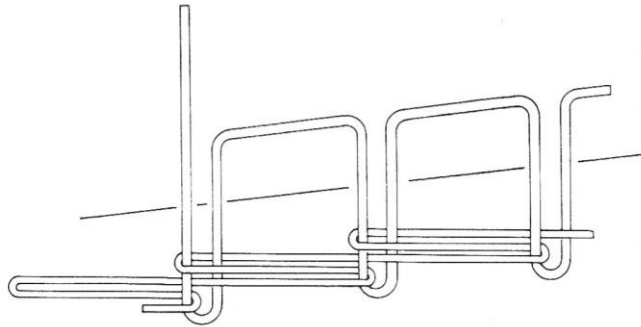


Figure 5.50. Double chain stitch.



Figure 5.51. Staple seam.

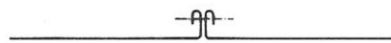


Figure 5.52. Butterfly seam.



Figure 5.53. Overlap seam.

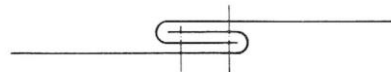


Figure 5.54. Cap seam.

pieces of geotextile. The type of seam used depends basically on the type of sewing machine available. Various types of seam are discussed below.

- Staple seams: Staple seams (Figure 5.51), in combination with chain stitching, are the most frequently applied. They are almost the only seams which can be made during the execution. This is done with a bag-closing machine. With staple seams it is possible to obtain a strength of 25 to 75% of that of the fabric (called the 'seam profit'). The sand-tightness of the seam is less than that of the fabric especially when the construction is heavily loaded. Elasticity, creep, and durability depend entirely on the stitch length and the yarns used for stitching.

- Butterfly seams: Butterfly seams (Figure 5.52), are a variation of staple seams and have a somewhat higher strength and are more sand-tight.

- Overlap seams: Overlap seams (Figure 5.53), are only used for prefabrication. They have a higher strength, up to 90% of that of the fabric, combined with good sand-tightness and other properties.

Production technology 85

– Cap seams: Cap seams (Figure 5.54), are a variation of overlap seams used for fabrics with unfinished selvages in order to transfer loads satisfactorily.

5.8.3.2 Sewing machines

The type of stitch and seam used depends entirely on the type of sewing machine available (Figure 5.55). With most sewing machines the direction of movement of the fabric is perpendicular to the direction of the arms of the machine. The amount of space between the transport foot and the machine housing determines whether or not an overlap seam can be made or only a staple seam. Normal industrial machines are not suitable for making overlap seams. These machines are sufficiently robust to be used during the execution of the work. Most of the machines, especially machines used in the factories, have much more space and therefore it is possible to make a variety of seams. ‘Arm-downwards’ machines in which the transport foot is parallel to the arm of the machine are also used. With this layout it is possible to make overlap seams in very wide fabrics without the need for a large space.

5.8.3.3 Factors affecting the strength of fabric joints

The strength of a fabric joint can be influenced by a number of factors:

- the fabric material itself;
- the type of seam;
- the type of sewing machine used and stitch type;
- the type of yarn used;
- the number of stitch lines;
- the stitch length.

These factors are discussed below.

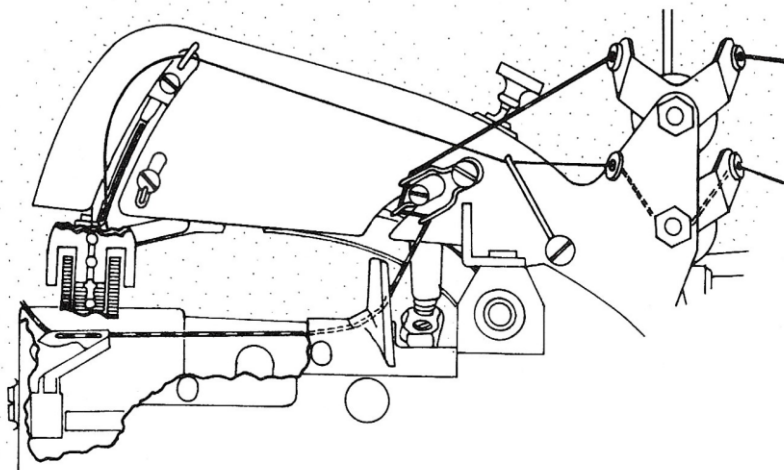


Figure 5.55. Sewing machine.

86 Production technology

The effect of fabric type. If a seam joint is subjected to a tensile force, the threads which are parallel to the seam, are subjected to a frictional force in the plane of the fabric. A 'non-sliding' fabric behaves differently to a 'loose' fabric. The sliding behaviour of the geotextile threads is influenced by the weave, the number of threads, their surface roughness and thickness. The stress in the sewing yarn presses together the two pieces of fabric which are sewn together. This stress has only a limited effect on the sliding behaviour of the threads. In general, a thick fabric is influenced (damaged) less by the seam than that of a thin fabric.

The effect of seam type. Types of seam, commonly used, and most of which already mentioned in Section 5.8.3.1, are:

- overlap seams
- staple seams
- turn-down seams
- butterfly seams.

Overlap seams can only be made with a lock-stitch sewing-machine in workshop and in principal the seam has a high 'profit' (Seam 'profit' is defined as the ratio of the tensile strength of two half stripes of fabric joined by a seam (length L , width B) and the tensile strength of one (complete) fabric strip (length L , width B), expressed as a percentage (Figure 5.56)). The other types of seam can be made in situ with a portable chain-stitch machine.

The profit of staple seams is highly dependent on the quality of the selvedge of both pieces of fabric: the seam joint can readily move to the edge. Turn-down seams usually have greater 'profit' but are more laborious to make. The four thicknesses of the fabric can be a handicap if heavy and stiff fabrics are used. This is also true for butterfly seams, which can, in fact, only be applied to flexible fabrics. This seam can be repeated if sufficient overlap is provided.

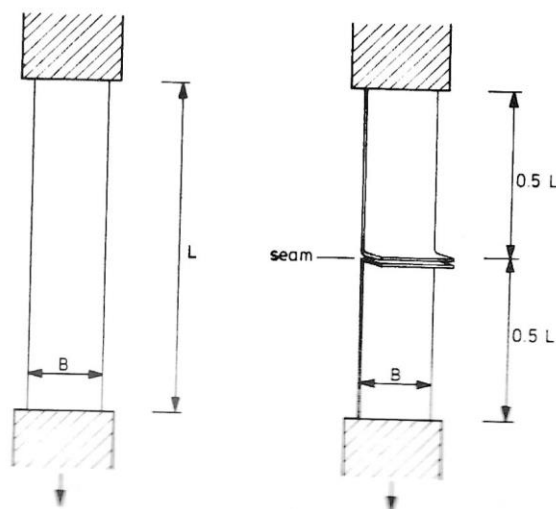


Figure 5.56. Seam 'profit'.

Production technology 87

It can be an advantage that in addition to a potentially high 'profit' the joint remains soil-tight even when the threads slide.

The effect of sewing-machine type and stitch type. Important types of stitches (Section 5.8.3.1)

- chain stitch (Figure 5.49; international designation 101 stitch)
- double chain stitch (Figure 5.50; international designation 401 stitch)
- lock stitch (Figure 5.48; international designation 301 stitch).

The lock stitch is always laid with two yarns, of which one is wound on a small spool. This spool has to be changed every few meters. This can give mechanical problems to the sewing-machine and it is recommended that the process is not used outside the workshop.

The fabric pieces are pressed together with force increasing the profit and with thicker fabrics the yarn is bedded into the fabric and is therefore not so sensitive to damage.

The chain stitch uses only one yarn and if this breaks, the whole seam can work loose. Because of this a double chain stitch is usually used in order to avoid any loosening. The portable sewing-machines used for double chain stitching can be operated with two relatively large yarn-packages, for example 0.5 kg and as a result the spools do not have to be changed so often. Compared with the lock stitch the (double) chain stitch gives the seam a somewhat elastic quality, due to some extent to the fact that the stress on the thread is less. This results in a lower plane-pressure on the pieces of fabric which tend to a lower seam profit.

The effect of the sewing yarn type. The maximum thickness of the sewing yarn is determined by the size of the eye of the needle, which in turn is related to the size of the needle. There is a limit to needle size because thicker needles tend to damage the geotextile. The sewing yarn must be able to run fast and flexibly through sharp curves and must run through the geotextile without too much friction. (High friction can cause melting.) High requirements have therefore to be set for the twist construction and smoothness of the yarn when fast-running industrial lock stitching machines are used (up to 6000 stitches a minute). When using more slowly running portable chain stitching machines (800 - 1500 stitches a minute) these requirements for the sewing yarn are less critical.

The synthetic sewing yarns, very often used in geotextiles, are manufactured from Polyamide (PA), Polyester (PEPT) or Aramide (AR). The density and specific strength of the yarn is related to the raw material used and, for example, for PA, PEPT and AR this strength ratio is 1:2:3 for yarns of similar thickness.

The effect of the number of lines of stitching. In general the 'profit' will increase for all types of seams, if instead of one line, two or three lines of stitching are laid side by side. Yarn sliding is then reduced because of the increase of total pressure in the plane. The influence of a second or a third line of stitching can be very small or even negative. This depends on a number of variables and in every case it is necessary to check whether the increase in 'profit' is worth the extra costs.

88 *Production technology*

The effect of stitch length. Although longer stitches can be made more quickly the average pressure on the plane is less, which results in a lower 'profit'.

5.8.3.4 *Fabric joint strength measurements*

Seam 'profit' is defined as the ratio of the tensile strength of two half stripes of fabric joined by a seam (length L , width B) and the tensile strength of one (complete) fabric strip (length L , width B), expressed as a percentage (Figure 5.56).

By calculating the 'profit' in this way there is, however, a problem in that the effect of sides of the strip is large, because the sewing yarn is cut. Knotting the ends of the strip has only a limited effect.

The effect of the sides is less when the fabric width is increased. An improvement can be obtained by folding a wide sheet a number of times. The sheet then fits into the clamps (Figure 5.57). A better solution is to test a T-shaped sample (Figure 5.58), which, however, can not be used for 'solid' geotextiles. The seam is then only loaded across the width of the sheet B , the effect of the side being transferred to the edge of the fabric.

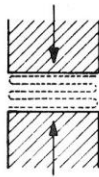


Figure 5.57. Clamps with folded sheet.

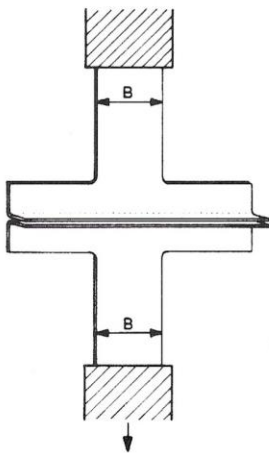


Figure 5.58. Testing of a T-shaped sample.