

Protocolen Trisoplast

Versie 3

Protocollen Trisoplast

Versie 3

Definitief

Grontmij Nederland B.V.
Houten, 17 maart 2016

Verantwoording

Titel : Protocollen Trisoplast
Subtitel : Versie 3
Projectnummer : 345794
Referentienummer : GM-0176752
Revisie : D1
Datum : 17 maart 2016

Auteur(s) : S. v.d. Berg
E-mail adres : siem.vandenberg@grontmij.nl
Gecontroleerd door : ir. H.L.J. Geusebroek
Paraaf gecontroleerd : 
Goedgekeurd door : drs. P.A.A. Verhaagen
Paraaf goedgekeurd : 
Contact : Grontmij Nederland B.V.
De Molen 48
3994 DB Houten
Postbus 119
3990 DC Houten
T +31 88 811 66 00
www.grontmij.nl

Abstract

Protocollen Trisoplast, versie 3 - 2016

Trisoplast is een afdichtingsmateriaal voor toepassing in boven- en onderafdichtingen van afval- en reststofbergingen. Trisoplast is een mengsel van zand-bentoniet en een polymeer. De polymeer vormt samen met de bentoniet een ruimtelijke structuur in het zandskelet. Hierdoor krijgt het geheel bijzondere eigenschappen. De bijzondere kwaliteiten van Trisoplast maken het tevens uitermate geschikt als milieu-isolerende afdichting bij IBC-werken, evenals in bodembeschermende voorzieningen van industrieterreinen en infrastructurele werken.

De afgelopen jaren is er veel onderzoek gedaan, onder andere in ministeriële opdracht, om de geschiktheid van Trisoplast aan te tonen. De uitkomsten van deze onderzoeken bewijzen dat Trisoplast betere isolatie-eigenschappen bezit dan de bestaande zand-bentonietafdichtingen. Eigenschappen van Trisoplast die zich positief onderscheiden van de bestaande zand-bentonietmengsels zijn:

- een doorlatendheid die meer dan tienmaal geringer is;
- een grote plasticiteit;
- een grotere chemische en thermische stabiliteit;
- een geringere gasdoorlatendheid.

In vergelijking met klei en bentonietmatten valt naast de veel lagere water- en gasdoorlatendheid vooral de veel betere bestendigheid van Trisoplast tegen uitdrogingsschade op.

Deze betere eigenschappen leiden tot een geringere bodembelasting en een langere levensduur van de afdichtingsconstructie. Streeft men eenzelfde functionaliteit na als van zand-bentoniet, dan kan bij toepassing van Trisoplast worden volstaan met dunnere afdichtingslagen. Hierdoor wordt een geringer beslag gelegd op schaarse minerale grondstoffen en blijft in veel gevallen meer stortruimte beschikbaar. Trisoplast heeft, in de afgelopen decennia, op industriële afdichtingen en onder- en bovenafdichtingen bewezen ruim te voldoen aan de doorlatendheidseisen die aan dergelijke afdichtingslagen worden gesteld.

Om te komen tot een kwalitatieve goede afdichtingslaag zijn "Voorschriften voor verwerking" opgesteld. Hierin zijn de eigenschappen omschreven van de te gebruiken grondstoffen, en voorts de ingangscntrole van de grondstoffen, de productiecontrole van het mengsel en de afnamecontrole van de gereede laag.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	6
1.1	Algemeen.....	6
1.2	Doelstelling	7
1.3	Leeswijzer.....	7
2	Vereiste materiaaleigenschappen	8
2.1	Inleiding	8
2.2	Waterdoorlatendheid	9
2.3	Mechanische eigenschappen	9
2.4	Thermische stabiliteit.....	9
2.5	Chemische en biologische stabiliteit	9
2.6	Procesmatige verwerkbaarheid	10
3	Functionele materiaaleigenschappen.....	11
3.1	Inleiding	11
3.2	Materiaal	11
3.3	Verdichting en waterdoorlatendheid.....	11
3.4	Gasdoorlatendheid	12
3.5	Plasticiteit.....	13
3.6	Mechanische eigenschappen	13
3.7	Thermische stabiliteit.....	13
3.8	Chemische en biologische stabiliteit	14
3.9	Nat-droog cycli	15
3.10	Adsorptie en diffusie	15
3.11	Procesmatige verwerkbaarheid	15
3.12	Aanleg proefveld	16
3.13	Opgraving	16
3.14	Huidige aanlegwijze	16
3.15	Samenvatting	16
4	Programma van aanleg	19
4.1	Inleiding	19
4.2	Termen en definities.....	19
4.3	Eisen aan de ondergrond	20
4.4	Bouwstoffen Trisoplast	21
4.4.1	Granulair materiaal (zand).....	21
4.4.2	Bentoniet.....	22
4.4.3	Mengwater	22
4.4.4	Polymeer.....	22
4.5	Vooronderzoek.....	22
4.5.1	Optimaliseren mengselsamenstelling.....	23
4.5.2	Vooraf gekozen mengselsamenstelling.....	23
4.6	Proefveld/Toetsingsvak	23
4.7	Ingangscntrole grondstoffen	24
4.7.1	Granulair materiaal.....	24
4.7.2	Bentoniet.....	24
4.7.3	Polymeer.....	25

4.7.4	Mengwater	25
4.8	Productie en verwerking	25
4.9	Verwerking.....	25
4.9.1	Eisen mengsel.....	26
4.9.2	Eisen gereede afdichtingslaag.....	26
4.9.3	Nader onderzoek en reparaties	26
5	Proeven	28
5.1	Inleiding	28
5.2	Keuringen en proeven grondstoffen.....	28
5.3	Keuringen en proeven mengsel	30
5.4	Keuringen en proeven afdichtingslaag	31
	Literatuurlijst	32

Bijlage 1: K-waarden en bijbehorende laagdikte in een onder- en bovenafdichting voor Trisoplast

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Trisoplast® is een gepatenteerd mineraal afdichtingsmateriaal waarmee sinds 1996 grootschalig ervaring is opgedaan. Het bestaat uit een kleimineraal-polymeercombinatie. Dit product kan met zand worden gemengd en verwerkt. Op deze wijze ontstaat een mechanisch stabiele constructie met een zeer lage doorlatendheid.

Trisoplast is ontwikkeld door GID Milieutechniek B.V.

Trisoplast is geschikt als minerale afdichtingslaag bij toepassing in onder- en bovenafdichtingen van stortplaatsen. De bijzondere kwaliteiten van Trisoplast maken het tevens uitermate geschikt als milieu-isolerende afdichting bij IBC-werken, evenals bodembeschermende voorzieningen van industrieterreinen en infrastructurele werken.

In de 'Richtlijn onderafdichtingsconstructies voor stort- en opslagplaatsen' is een referentie-onderafdichtingsconstructie omschreven, bestaande uit een combinatieafdichting van HDPE-folie (2 mm), een zand-bentonietlaag (0,50 m.) en een drainagelaag (0,50 m.) met een percolaat-onttrekkingssysteem. In deze richtlijn is tevens aangegeven dat bij de ontwikkeling van alternatieve materialen primair moet worden gestreefd naar een verbetering van de isolatie-eigenschappen ten opzichte van de nu voorgestelde materialen en/of constructies. Daarbij gaat het met name om:

- beperking van de doorlatendheid;
- vermindering van de diffusiegevoeligheid;
- verbetering chemische bestendigheid en langeduur-stabiliteit.

Daarnaast is het van belang materialen te ontwikkelen die leiden tot een besparing op het gebruik van natuurlijke grondstoffen en een milieuvriendelijke productie mogelijk maken.

Voor het aantonen van de geschiktheid van Trisoplast zijn uitgebreide onderzoeken uitgevoerd. Op basis van de resultaten van de onderzoeken en de uitkomsten en ervaringen op praktijk-schaal zijn protocollen voor de toepassing van Trisoplast opgesteld.

Het opstellen van protocollen voor de toepassing van Trisoplast is een initiatief van GID Milieutechniek BV, gevestigd te Velddriel. Aan dit project is een bijdrage verleend uit de Stimuleringsregeling Milieutechnologie (1991) die ten tijde van het project beheerd werd door **Novem**. De regeling is gefinancierd door de ministeries van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Verkeer en Waterstaat, en Landbouw, Natuurbeheer en Visserij.

Na 1996 hebben er talloze extra onderzoeken aan Trisoplast plaatsgevonden. De uitkomsten van de voor dit protocol meest relevante onderzoeken zijn weergegeven in hoofdstuk 3. De rapportages liggen bij GID Milieutechniek B.V. ter inzage.

Aan de hand van de inmiddels jarenlange ervaringen opgedaan met de aanleg van onder- en bovenafdichtingen en de hiermee gepaard gaande aanpassing van de BRL 1148 (de aanleg van een afdichtingslaag met zand-bentonietpolymeergel mengsel) en de BRL 1153 (de productie van zand-bentonietpolymeergel) zijn met name enkele aanpassingen doorgevoerd in de aanleg en kwaliteitsborging van deze versie 3 van 2015.

1.2 Doelstelling

De doelstelling van de protocollen is:

- het verhogen van het kennisniveau van het product Trisoplast en zijn toepassing ervan bij overheden, (potentiële) opdrachtgevers en advies- en ingenieursbureaus;
- het vastleggen van voorschriften die leiden tot een product dat voldoet aan het programma van eisen van de opdrachtgever;
- het vastleggen van een uniforme procedure voor het beoordelen van de kwaliteit (afdichtende werking) van afdichtingslagen met Trisoplast.

1.3 Leeswijzer

De protocollen zijn uitgewerkt in de volgende hoofdstukken en bestaan uit:

Vereiste materiaaleigenschappen:

Op basis van het Stortbesluit bodembescherming en de diverse richtlijnen zijn de functionele eisen omschreven waaraan een Trisoplastmengsel en de grondstoffen moeten voldoen.

Programma van beproevingen:

Op basis van het programma van eisen zijn de noodzakelijke proeven omschreven of wordt verwezen naar gangbare in de literatuur vastgelegde proeven.

Programma van aanleg:

In dit programma zijn de richtlijnen geformuleerd voor de uitvoering. Hierin wordt de opzet van het vooronderzoek en de aanleg van het proefveld omschreven, evenals de productiewijze van het mengsel en de wijze van verwerking.

Kwaliteitsborgingssysteem:

Het kwaliteitsborgingssysteem heeft tot doel het verkrijgen van een product dat voldoet aan het programma van eisen. Op deze wijze wordt zekerheid verkregen dat een effectieve isolerende voorziening wordt bereikt. Het kwaliteitsborgingssysteem omvat de ingangscntrole van grondstoffen, productiecontrole van de verwerking van het materiaal en acceptatiecontrole van de gereede laag.

2 Vereiste materiaaleigenschappen

2.1 Inleiding

Het bodembeschermingsbeleid in Nederland inzake lokale verontreinigingsbronnen is erop gericht de belasting van het milieu door afvalstoffen zoveel mogelijk te beperken. Hoofduitgangspunt hierbij is het behoud van de functies en de kwaliteit van de bodem.

Voor het op of in de bodem brengen van afvalstoffen is per 1 maart 1993 het Stortbesluit bodembescherming van kracht. Dit stortbesluit is een zogenoemd instructie-AMvB. Het draagt de bevoegde gezagen op om zodanige vergunningen te verstrekken voor stortplaatsen, dat wordt voldaan aan de door de rijksoverheid gestelde eisen ten aanzien van isolatie, beheersbaarheid en controle (IBC-criteria).

Aan het Stortbesluit is een Uitvoeringsregeling gekoppeld waarin de bepalingen en begrippen uit het Stortbesluit zijn uitgewerkt. In de Uitvoeringsregeling wordt verwezen naar een set richtlijnen. Hiervan maken de volgende deel uit:

- Richtlijn drainagesystemen en controlesystemen grondwater voor stort- en opslagplaatsen (Heidemij Adviesbureau 1993). Verder te noemen: Richtlijn drainage en controlesystemen.
- Richtlijn onderafdichtingsconstructies voor stort- en opslagplaatsen (Heidemij Adviesbureau 1993). Verder te noemen: Richtlijn onderafdichtingen.
- Richtlijn voor dichte eindafwerking op afval- en reststofbergingen Publicatiereeks bodembescherming 1991/2). Verder te noemen: Richtlijn dichte eindafwerkingen.

Bij de aanpassing van het Stortbesluit d.d. 9 juli 2001 zijn twee extra richtlijnen voorgeschreven:

- Richtlijn ontwerp-procedure grondwatermonitoring stortplaatsen, Vereniging van Afvalverwerkers (VVAV), Utrecht, november 1995.
- Richtlijn geohydrologische isolatie van bestaande stortplaatsen, Vereniging van Afvalverwerkers (VVAV), Utrecht, juli 1997.

In de toelichting van de Uitvoeringsregeling wordt naar nog drie richtlijnen/protocollen verwezen, namelijk:

- Richtlijn voor toepassen van geomembranen ter bescherming van het milieu (Publicatiereeks bodembescherming 1991/5). Verder te noemen: Richtlijn geomembranen.
- Protocollen voor het toepassen van kunststof geomembranen voor bodembescherming, deel 1 en 2 (KRI/TNO 794/92 en 795/92). Deze zijn in 1999 vervangen door Protocollen voor het toepassen van kunststof geomembranen voor bodembescherming, deel 1 en 2 (TNO industrie Div499.1097 en Div499.1098).
- CUR-aanbeveling 33 1993. Deze is in 1996 vervangen door de CUR-aanbeveling, 2e druk voor Granulaire afdichtingslagen op basis van zandbentoniet al dan niet in combinatie met kunststof geomembranen.

De eisen waaraan materialen moeten voldoen die in aanmerking komen voor toepassing in afdichtingslagen, zijn in deze richtlijnen geformuleerd. Voor alternatieve minerale afdichtingsmaterialen geldt dat zij minimaal gelijkwaardig moeten zijn aan de bestaande zand-bentonietmengsels en een gelijkwaardig beschermingsniveau moeten kunnen bieden aan de bodem. De eisen uit de richtlijnen worden, voor zover relevant voor Trisoplast, in de hierna volgende paragrafen besproken.

2.2 Waterdoorlatendheid

De belangrijkste functionele eis die aan (minerale) afdichtingslagen wordt gesteld is de dichtheid voor vloeistoffen. Bovenafdichtingen dienen het ontstaan van percolaat te voorkomen, terwijl onderafdichtingen de emissie van percolaat naar de bodem moeten tegen gaan. Het streven is de aanleg van een absoluut waterdichte laag. Voor minerale afdichtingslagen wordt overeenkomstig de stand der techniek een maximale lekkage gehanteerd van 20 mm per jaar onder ontwerpomstandigheden.

In de Richtlijn onderafdichtingen wordt onder ontwerpomstandigheden verstaan:

- een laagdikte aan de onderzijde van 0,50 m, een waterkolom van 0,5 m aan de bovenzijde en een onderdruk van 30 mbar aan de onderzijde. Dit resulteert in een gradiënt $i = 2,6$ en doorlatendheid-eis $k \leq 2,4 \cdot 10^{-10}$ m/s.

Voor bovenafdichtingen zijn de hierna volgende ontwerpomstandigheden geformuleerd:

- een laagdikte van 0,25 m met een waterkolom van 0,50 m aan de bovenzijde en een onderdruk van 50 mbar aan de onderzijde. Dit resulteert in een gradiënt $i = 5$ en doorlatendheid-eis $k \leq 2,3 \cdot 10^{-10}$ m/s.

2.3 Mechanische eigenschappen

Tijdens het aanbrengen van een granulaire afdichtingslaag spelen, zowel in boven- als onderafdichtingen, met name dynamische belastingen en vervormingen een belangrijke rol. Dit gebeurt zowel tijdens het verwerken van de afdichtingslaag zelf als bij het aanbrengen van de overige lagen. De eigenschappen van de afdichtingslaag mogen door deze belastingen niet negatief worden beïnvloed.

Naast dynamische belastingen spelen eveneens statische belastingen een rol. In onderafdichtingen kunnen deze oplopen tot circa 1 MP. Deze belastingen mogen niet leiden tot een toename van de waterdoorlatendheid van de afdichtingslaag.

Bij toepassingen van granulaire afdichtingsmaterialen in taluds van stortplaatsen dient de hellingshoek zodanig te worden gekozen dat er geen gevaar bestaat voor afschuiving. In de praktijk is bewezen dat bij een helling van 1:3 en flauwer zand-bentonietafdichtingen aan dit criterium voldoen.

2.4 Thermische stabiliteit

De temperatuur in een afvalstort kan bij aanwezigheid van organisch materiaal tijdelijk oplopen tot circa 70° C. De vloeistofdichte eigenschappen van de afdichtingslaag dienen bij deze omstandigheden behouden te blijven. Ook als gedurende een langere periode (enkele jaren) de temperatuur van de afdichtingslaag circa 30° tot 40° C bedraagt, dient de laag te blijven voldoen aan de bij aanleg gestelde eisen.

2.5 Chemische en biologische stabiliteit

Minerale afdichtingslagen worden tijdens het verwerken blootgesteld aan zuurstof en gedurende korte tijd aan Uv-straling. Onder invloed hiervan mag het materiaal niet worden aangeast. De bestendigheid tegen zuurstof speelt voor bovenafdichtingen een grotere rol dan voor onderafdichtingen.

Materiaal in onderafdichtingen komt in contact met percolaat. Afhankelijk van de te verwachten componenten in het percolaat dient een zo bestendig mogelijk mineraal materiaal te worden gekozen. Dit geldt evenzo voor de bovenafdichting waar het materiaal via diffusie en zijdelingse uittreding in contact kan komen met opgeloste stoffen uit het percolaat.

Een aerobe toestand in onderafdichtingen zal niet voorkomen tijdens of na de stortfase. In bovenafdichtingen zal een aerobe toestand voor kunnen komen als vocht wordt onttrokken uit het afdichtingsmateriaal. Lucht kan in deze situatie in de poriën van de afdichtingslaag treden, en de situatie wordt aerobe. Plantenwortels zijn in staat om in een dergelijke situaties te groeien. Ingroei van plantenwortels wordt over het algemeen voorkomen door een drainagelaag met een

relatief grote dichtheid (porositeit < 39%). Het milieu voor (micro)organismen laat zich karakteriseren met een pH tussen 4,5 en 7,0, een temperatuur tussen 15° en 40° C en een anaerobe toestand.

2.6 Procesmatige verwerkbaarheid

Bij de verwerkbaarheid van het materiaal spelen de eigenschappen van het materiaal een rol en de invloed daarop van omgevingsfactoren als regen, wind en temperatuur. Met de beschikbare apparatuur moet in korte tijd een goede homogene menging worden verkregen. Het mengsel mag tijdens mengen, transport en verwerken niet aan het materieel kleven of kluiten vormen. Het is een voordeel als het mengsel weinig gevoelig is voor omgevingsfactoren. Hierbij valt te denken aan snelle verzadiging van het mengsel bij regen, of uitdroging bij warmte.

Door middel van een gerichte kwaliteitscontrole dient het mogelijk te zijn de kwaliteit van de aangebrachte afdichtingslaag op een snelle wijze te beoordelen. Op deze wijze kan het aantal fouten dat gemaakt wordt tijdens de uitvoering, worden beperkt en neemt de kwaliteit van het geleverde product toe.

3 Functionele materiaaleigenschappen

3.1 Inleiding

Omdat Trisoplast een alternatief materiaal is ten opzichte van het referentiemateriaal zand-bentoniet, moet voor toepassingen in afdichtingen van afval- en reststoffenbergingen, conform de vereisten volgens de Richtlijnen worden aangetoond dat het materiaal minstens gelijkwaardig is aan de bestaande zand-bentonietmengsels. Voor het aantonen van de geschiktheid van Trisoplast zijn in het kader van een ministerieel Novem-project uitgebreide onderzoeken uitgevoerd door en beschreven in:

- DLO- Staringcentrum, toepassingsmogelijkheden van Trisoplast voor de afdichting van afval- en reststofbergingen;
- ATO-DLO Instituut voor Agrotechnologisch onderzoek, de biologische en chemische stabiliteit van een speciale klei-polymeer;
- Grondmechanica Delft, verticaal draagvermogen en taludstabiliteit van een speciale kleigel;
- ervaringen proefveld.

Na 1996 hebben er veel extra onderzoeken aan Trisoplast plaatsgevonden. Hiervan zijn er vier, voor dit protocol meest relevant, toegevoegd, te weten:

- Alterra Wageningen Universiteit and Research centre (2001) Functionele levensduur Functionele levensduur van minerale afdichtingmaterialen en kunststoffen in vloeistofdichte eindafwerking van stortplaatsen. D. Boels en J. Breen Alterra rapport 290.
- Melchior + Wittpohl Ingenieurgesellschaft (2011) Untersuchungen von Trisoplast für den Einsatz als Oberflächenabdichtung;
- Alterra Wageningen University and Research centre (2003) Are TRISOPLAST barriers sustainable?
- Wienberg R and Farahbkhsh M, (2007) Bericht über die Untersuchung zur Beständigkeit von Deponieabdichtungen aus Trisoplast gegenüber mikrobieller Beeinflussung.

Vanaf 1995 zijn ook de nodige ervaringen in de praktijk opgedaan met Trisoplast. Er is inmiddels al meer dan zeven miljoen vierkante meter Trisoplast aangelegd op stortplaatsen in Nederland. De gemiddelde dikte van deze door de overheid goedgekeurde afdichtingen is 6 tot 8 cm voor bovenafdichtingen en 7 tot 10 cm voor onderafdichtingen.

De praktijkresultaten hebben waardevolle aanvullende informatie verschaft en tevens de bevindingen uit de voorgenoemde onderzoeken bevestigd.

De uitkomsten van bovengenoemde onderzoeken en ervaringen zijn hierna kort weergegeven.

3.2 Materiaal

Trisoplast is een mengsel van een kleimineraal, een polymeer en granulair materiaal. Bij de uitgevoerde proeven zijn mengsels gebruikt van met natrium verrijkte bentoniet en gewassen rievierzand.

Het polymeer is niet milieubelastend.

3.3 Verdichting en waterdoorlatendheid

Door het Staringcentrum is zowel voor een standaardmengsel als voor een verschaald mengsel, een proctorcurve gemaakt. Hieruit blijkt dat het zandtype een beperkte invloed heeft op de verkregen dichtheid. Om deze reden zijn de verdere onderzoeken van het Staringcentrum uitgevoerd met zandtype "M2". De maximale proctordichtheid van standaard Trisoplast bedraagt

circa 1.680 kg/m^3 . De maximale proctordichtheid van verschraalde Trisoplast bedraagt 1.720 kg/m^3 . De maximale proctordichtheid van standaard Trisoplast ligt met deze waarde net onder de waarde genoemd in de richtlijn voor zand-bentoniet (1.700 kg/m^3). Verschraalde Trisoplast ligt net boven de waarde genoemd in de richtlijn. De verschillen zijn echter verwaarloosbaar klein.

De doorlatendheid van zowel standaard, als verschraalde mengsels is gedurende het onderzoek bepaald voor water en vuilstortpercolaat. De duplo's van alle metingen en varianten tonen een goede reproduceerbaarheid. De laagste doorlatendheid is gemeten aan standaard Trisoplast bij proctordichtheden van 92 tot 100% en bedraagt gemiddeld $4,3 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}$. Bij overeenkomstige proctordichtheden is de doorlatendheid van verschraalde Trisoplast $5,9 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}$. Uit proeven blijkt dat de doorlatendheid van Trisoplast afneemt indien gemeten wordt met vuilstortpercolaat. Het verschil in doorlatendheid tussen water en percolaat is groter voor verschraalde Trisoplast dan voor standaard Trisoplast. De doorlatendheid voor vuilstortpercolaat bedraagt voor verschraalde Trisoplast gemiddeld $3,2 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}$ en voor standaard Trisoplast $2,5 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}$. De doorlatendheid van gangbare zand-bentonietmengsels ligt hiermee een factor 10 hoger dan van Trisoplast.

Gedurende het onderzoek is de optimale samenstelling van Trisoplast verder ontwikkeld. De doorlatendheid van de verbeterde samenstelling blijkt duidelijk lager te zijn dan van voorgaande mengsels. De gemiddelde doorlatendheid van verbeterde mengsels bedroeg gedurende de onderzoeken $0,6 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}$. De doorlatendheid ligt hiermee een factor 5 lager dan bij voorgaande mengsels. De metingen zijn uitgevoerd bij monsters met een laagdikte van 25 mm. Zowel bij metingen in een triaxiaal-cel door het Staringcentrum als bij metingen door het KOAC te Vught volgens een (aangepaste) CUR- en DIN-methode blijkt een monster met een laagdikte van 80 mm geen water meer door te laten. De resultaten van deze proeven zijn hiermee in overeenstemming met de resultaten van de eerste praktijkresultaten. In 1995 is circa 16 ha minerale afdichting met Trisoplast aangebracht. Alle monsters blijken een doorlatendheid te hebben kleiner dan $1 \cdot 10^{-12} \text{ m/s}$. Inmiddels zijn er de afgelopen jaren in het kader van de kwaliteitsborging meer dan 5.000 k-waarde metingen uitgevoerd. Deze metingen hebben eveneens laten zien dat de doorlatendheid van Trisoplast vele malen kleiner is dan vereist voor de lekkage-eis op stortplaatsen van 20 mm per jaar. Zie ook bijlage 1 voor een overzicht van vereiste K-waarden en bijbehorende laagdikte in een onder- en bovenafdichting voor Trisoplast.

Een opmerkelijke uitkomst van de doorlatendheidsproeven, uitgevoerd door het Staringcentrum, is dat de invloed van de dichtheid van het mengsel op de doorlatendheid grotendeels afwezig is boven proctordichtheden van 92%, overeenkomend met een droge dichtheid van 1.555 kg/m^3 . Pas bij een proctordichtheid van circa 60% is de doorlatendheid van Trisoplast zover toegenomen dat deze vergelijkbaar is met waarden, representatief voor zand-bentoniet. In 1995 is de doorlatendheid (met behulp van de CUR-methode) gemeten van een groot aantal geoptimaliseerde mengsels, bij verdichtingen tussen de 80% en 92%. Hierbij is geen werkelijke invloed van de verdichting op de doorlatendheid gebleken. Hierdoor kunnen met Trisoplast bij moeilijke locatiespecifieke omstandigheden, en lage verdichtingen hoogwaardige afdichtingen worden gerealiseerd.

De gebruikelijke zand-bentonietmengsels dienen juist optimaal verdicht te worden om een zo gering mogelijke doorlatendheid te halen. Door de beperkte invloed van de verdichting op de doorlatendheid is Trisoplast minder gevoelig voor uitvoeringsfouten dan de gebruikelijke zand-bentonietmengsels.

3.4 Gasdoorlatendheid

Tot op heden worden geen eisen gesteld aan de gasdoorlatendheid van granulaire lagen in een bovenafdichting. Bekend is echter dat granulaire afdichtingslagen van zand-bentoniet of klei, niet onder alle omstandigheden zoals deze zich voordoen in bovenafdichtingen, gasdicht zijn. Bij maximaal te verwachten zuigspanningen in een bovenafdichting van 100 mbar zal Trisoplast echter wel luchtdicht blijven. Hierdoor is Trisoplast met name geschikt voor bovenafdichtingen van stortterreinen waar stortgas wordt gewonnen.

3.5 Plasticiteit

Trisoplast wordt gekenmerkt door een hoge plasticiteit (140 tot 180%). Dit wordt veroorzaakt door de bindingseigenschappen van het polymeer waarbij wel wateropname mogelijk is, maar vloeien wordt tegengegaan. Een hoge plasticiteit wordt algemeen als voordelig beschouwd, omdat het materiaal onder druk wel vervormt, maar niet scheurt. In de Richtlijn dichte eindafwerkingen wordt aangegeven dat de plasticiteitsindex minimaal 35% moet bedragen. Vergeleken met zand-bentoniet (plasticiteitsindex circa 12%) is Trisoplast erg geschikt om te worden toegepast op die plaatsen waar grote zettingen worden verwacht zoals bovenafdichtingen.

Door CUR-commissie VC50 is een meetmethode ontwikkeld voor de bepaling van ongelijkmatige zetting (alzijdige rek) op de doorlatendheid (CUR, 2001). Uit de meetresultaten blijkt dat de doorlatendheid van Trisoplast niet noemenswaardig wordt beïnvloed door een alzijdige rek tot 10% (Alterra, 2001).

3.6 Mechanische eigenschappen

Grondmechanica Delft (GD) heeft berekeningen uitgevoerd om de taludstabiliteit van Trisoplast te bepalen. Trisoplast is hierbij ingebouwd in de volgende afdichtingsconstructie:

- 1,00 m dekgrond;
- 0,30 m drainagezand;
- 0,10 m Trisoplast;
- 0,30 m drainagezand.

Met behulp van het computerprogramma TOSCAL zijn volgens de methode-Spencer stabiliteitsberekeningen uitgevoerd met rechte glijvlakken om de verhouding tussen maximumhoogte van het talud en de helling van het talud te bepalen.

De resultaten voor het standaardmengsel met een dichtheid van 1.560 kg/m^3 zijn als volgt samen te vatten:

- voor hellingen tot $1 : 2$ wordt de maximale hoogte van het talud bepaald door de bovenste drainagelaag en bedraagt 5,5 m;
- voor hellingen tot $1 : 1,5$ wordt de maximale hoogte van het talud bepaald door de bovenste drainagelaag en bedraagt 1,0 m;
- de taludstabiliteit van Trisoplast is voldoende voor hellingen flauwer dan of gelijk aan $1:1,95$.

Ten aanzien van het verticaal draagvermogen stelt GD dat de ongedraineerde sterkteparameters maatgevend zijn voor de berekening van de veiligheid tegen squeezing. Op basis van de uitgevoerde proeven concludeert GD dat de weerstand van Trisoplast tegen squeezing vergelijkbaar is met die van zand-bentoniet.

In een triaxiaalproef zijn monsters geconsolideerd onder drie verschillende celdrukken. De laagste celdrukken (15 en 30 kN/m^2) zijn gekozen als representatief voor belastingsomstandigheden bij toepassing als bovenafdichting. De hoogste celdruk (450 kN/m^2) is zodanig gekozen dat deze representatief is voor toepassing in een onderafdichting. De resultaten van de uitgevoerde proeven tonen aan dat het verticale draagvermogen van verzadigde Trisoplast voldoende is om Trisoplast te berijden en te verdichten met een lichte walsrol of rupsband. Wegpersen of squeezen van Trisoplast bij toepassing in een onderafdichting zal niet optreden gezien de naar verhouding zeer geringe dikte van de Trisoplast-laag.

3.7 Thermische stabiliteit

Om de thermische stabiliteit van Trisoplast te bepalen is de doorlatendheid bepaald bij een omgevingstemperatuur van 20° C . Vervolgens zijn de meetcellen in een warmtekast geplaatst en continu op 30° C gehouden. De doorlatendheid is vervolgens gedurende een meetperiode van 100 dagen meerdere keren bepaald. De gemeten k-waarde bij aanvang van de proef bedraagt gemiddeld $4,2 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}$. Na verhoging van de omgevingstemperatuur van de meetcellen stelt zich binnen circa 20 dagen een nieuw niveau in op gemiddeld $1,4 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}$ bij 30° C .

Een verhoogde temperatuur lijkt de afdichtende werking van Trisoplast te bevorderen en heeft op zijn minst geen nadelige effecten.

Proeven uitgevoerd door ATO-DLO tonen tevens aan dat ook bij extreem hoge thermische belastingen van 70° C gedurende vier weken geen degradatie plaatsvindt van het kleigel. Geconcludeerd wordt dat onder omstandigheden zoals die zich voordoen in afvalstorten geen thermische degradatie plaatsvindt.

3.8 Chemische en biologische stabiliteit

Het ATO-DLO heeft proeven uitgevoerd aan sterk gezwollen (kwetsbaar) materiaal. Bij een pH van 6 veranderen de reologische en morfologische eigenschappen van bentoniet sterk. Bij een kleigel veranderen de reologische en morfologische eigenschappen pas in sterke mate bij een pH van 5. Een zuurgraad van pH 3 veroorzaakt echter nog steeds geen chemische afbraak van het kleigelpolymeer.

Het ATO-DLO concludeert dat de chemische stabiliteit van een minerale afdichting aanzienlijk wordt verbeterd door toevoeging van het polymeer. Percolatie-experimenten door het Staringcentrum bij een pH van 1,5 en 10 gedurende meer dan een jaar tonen evenmin effecten op de doorlatendheid.

Bij onderzoek door het ATO-DLO is geen biologische afbraak van het kleigelpolymeer opgetreden. Dit werd na 1996 eveneens aangetoond door Dr. Reinhard Wienberg Umweltechnisches Labor in onderzoek naar de langdurige biologische stabiliteit van Trisoplast middels radioactieve gelabelde polymeer. Na langdurige blootstelling onder anaerobe en aerobe omstandigheden, in aanwezigheid van substraat en bij verschillende omstandigheden ten aanzien van pH en temperatuur werd er een te verwaarlozen hoeveelheid polymeer afgebroken. In het onderzoek werd dan ook geconcludeerd dat de afbraak van Trisoplast-polymeer niet of dusdanig traag verloopt dat de biochemische stabiliteit berekend kan worden op minimaal 100 jaar.

Door het Staringcentrum zijn onderzoeken uitgevoerd naar de invloed van verschillende vloeistoffen op de doorlatendheid. Nadat de monsters Trisoplast zijn aangemaakt en verzadigd met leidingwater, is de doorlatendheid bepaald voor zeewater (ter hoogte van Ouddorp), ruwe olie, diesel en fenol (verzadigde oplossing). Uit de proefresultaten blijkt dat als Trisoplast zich volledig heeft kunnen ontwikkelen de doorlatendheid niet negatief wordt beïnvloed door zeewater, diesel, ruwe olie en fenol. Op basis van de proefresultaten concludeert het Staringcentrum dat Trisoplast een uitstekende bescherming van de bodem biedt tegen de vloeistoffen diesel, ruwe olie, fenol en zeewater, zolang de afdichtingslaag zich na aanleg volledig met water kan verzadigen en Trisoplast zich volledig kan ontwikkelen. In hetzelfde onderzoek is tevens onderzocht of met een specifiek zand uit een groeve nabij Almelo een goede Trisoplast afdichting is te maken. In het verleden is namelijk gebleken dat met dit zand in combinatie met alleen bentoniet geen goed zand-bentonietmengsel te produceren viel. De vermoedelijke oorzaak hiervan is gelegen in de aanwezigheid van moeilijk aantoonbare organische verbindingen in het zand. In combinatie met Trisoplast wordt met dit zand een mengsel geproduceerd met een gemiddelde doorlatendheid van $1,7 \times 10^{-11}$ m/s. Het Trisoplastmengsel voldoet hiermee ruimschoots aan de gestelde eisen.

De verplaatsing van opgeloste zouten vanuit omliggende lagen naar de afdichtingslaag is het belangrijkste proces dat de functionaliteit van een minerale afdichtingslaag kan beïnvloeden (Alterra, 2001). Op basis van uitgebreid laboratoriumonderzoek naar de doorlatendheid is vastgesteld dat Trisoplast beter bestand is tegen de invloed van zouten dan de andere onderzochte afdichtingen. Alterra concludeert dat goed aangelegde Trisoplast met een k-waarde van maximaal $7,5 \times 10^{-11}$ m/s bij zoutconcentraties (lager dan 225 meq/l) eeuwigdurend blijft voldoen aan de doorlatendheidseisen van het Nederlandse stortbesluit. Bij hogere zoutconcentraties zal Trisoplast eeuwigdurend aan de eisen uit het stortbesluit voldoen indien een daartoe aangepaste lagere initiële k-waarde wordt toegepast.

De invloed van Uv-straling op de doorlatendheid van Trisoplast is bepaald door het proefmateriaal aan Uv-straling bloot te stellen gedurende een periode vergelijkbaar met vijf zonnige zomerse dagen. De periode is zodanig gekozen dat deze vergelijkbaar is met de blootstelling in praktijk bij verwerking en opslag. Tevens is de invloed van oxidatie op de doorlatendheid bepaald door het materiaal in dunne laagjes uit te spreiden en aan de lucht bloot te stellen.

Na blootstelling is het materiaal in de meetcellen ingebouwd en is gedurende drie maanden de doorlatendheid gemeten. Gemiddeld bedraagt de doorlatendheid na UV-belasting $0,59 \cdot 10^{-11}$ m/s en na blootstelling aan lucht $0,77 \cdot 10^{-11}$ m/s. Uit het voorgaande blijkt dat het polymeer Uv-bestendig is en dat opslag van het gereede materiaal eerder een positieve dan een negatieve invloed heeft op de afdichtende werking.

Een contra-expertise van het ATO-DLO- en het Staringcentrum-DLO-onderzoek ten aanzien van de duurzaamheid van Trisoplast is uitgevoerd door TNO Kunststoffen en Rubber Instituut [TNO, 1995]. TNO concludeert dat uitgaande van de huidige kennis kan worden gesteld dat het in Trisoplast aanwezige polymeer biologisch, thermisch, foto-oxidatief en chemisch niet meetbaar wordt aangetast. Dientengevolge kan Trisoplast als een duurzaam systeem voor afdichtingen worden beschouwd.

3.9 Nat-droog cycli

Afgelopen decennia is duidelijk geworden dat veel typen van minerale afdichtingen kwetsbaar zijn voor nat-droog cycli. Melchior + Wittpohl Ingenieurgesellschaft heeft in het kader daarvan in haar laboratorium verschillende minerale afdichtingsmaterialen aan nat-droog cycli onderworpen. De verschillende nat-droog cycli vonden plaats onder een continu circulerende luchtstroom die over een zoutoplossing werd geleid. De bovenbelasting was gelijk aan wat gangbaar is op een stortplaats. Droogcycli duurde zolang totdat uitdroging was aangetoond edoch minimaal 4 maanden. De totale duur van de test was maar liefst 5 jaar.

Het experiment toonde aan dat Trisoplast als enige onderzochte minerale afdichting in tegenstelling tot klei en bentonietmatten bestand is tegen nat-droog cycli en gerelateerde scheurvorming. Trisoplast behoudt gedurende de gehele duur van het experiment haar zeer lage waterdoorlatendheid.

3.10 Adsorptie en diffusie

De adsorptiecapaciteit van Trisoplast (kationomwisselcapaciteit) is geringer dan van puur bentoniet. Het polymeer bezet een deel van de bindingsplaatsen waardoor de uitwisselingscapaciteit voor kationen wordt gehalveerd.

Uit doorlatendheidsmetingen met vuilstortpercolaat, waaruit is gebleken dat de doorlatendheid van Trisoplast eerder afneemt dan toeneemt onder invloed van percolaat, kan men concluderen dat Trisoplast minder gevoelig is voor meerwaardige ionen dan zuivere bentoniet.

Naast adsorptie is de diffusiecoëfficiënt een belangrijke materiaaleigenschap. Voor Trisoplast is de diffusiecoëfficiënt bepaald met behulp de halfcel-methode. Gebleken is dat het polymeer de schijnbare weglengte voor ionen niet verlengt. In dit opzicht verschilt Trisoplast niet van de gangbare zand-bentonietmengsels. De belangrijkste factor voor het verplaatsen van verontreinigingen is echter de doorlatendheid. Hierbij vergeleken is de diffusiecoëfficiënt verwaarloosbaar klein.

3.11 Procesmatige verwerkbaarheid

De verwerkbaarheid van Trisoplast wordt met name bepaald door de kleef tussen Trisoplast en het materieel waarmee het mengsel wordt bereid en verwerkt. Om dit te onderzoeken is bij verschillende vochtgehalten van het standaardmengsel de kleef onderzocht met gladde HDPE-folie, ruwe HDPE-folie, pvc, onbehandeld staal en oppervlakkig gehard staal. De proeven tonen aan dat Trisoplast niet kleeft aan andere materialen bij een vochtgehalte onder de uitrolgrens (36 gewichts % vocht). Omdat het materiaal wordt verwerkt bij een vochtgehalte onder de 20%, treedt geen verwerkingsprobleem op.

Doorwerken tijdens regen wordt echter ontraden.

Op praktijkschaal is inmiddels gebleken dat de verwerkbaarheid van Trisoplast in vergelijking met de gebruikelijke zand-bentonietmengsel geen problemen oplevert. Trisoplast laat zich het eenvoudigst verwerken met behulp van een hydraulische kraan. De laagdikte wordt hierbij voortdurend gecontroleerd met behulp van een stalen profiel. Verdichten van Trisoplast gaat, afhankelijk van de ondergrond, met een niet te zware wals. Verwerking van Trisoplast met een spreidmachine is mogelijk bij niet te fijne zanden en een laag vochtgehalte.

De relatieve ongevoeligheid voor variatie in de verdichting maakt Trisoplast minder gevoelig voor uitvoeringsfouten dan de gangbare minerale afdichtingsmaterialen.

3.12 Aanleg proefveld

Eind oktober, begin november 1993 is op de stortplaats de Spinder te Tilburg een proefveld aangelegd met Trisoplast. Het proefveld is aangelegd op hellingen van 1:3 en 1:6 en op een vlakke ondergrond. De totale oppervlakte van het proefveld bedraagt 1.400 m². Het proefveld is aangelegd met het verbeterde mengsel.

In het proefveld 1993 is gebleken dat Trisoplast voldeed aan de doorlatendheidseis. De in de praktijk gemeten doorlatendheid is zelfs lager dan door het Staringcentrum gemeten gedurende het onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van Trisoplast aan monsters met een laagdikte van 0,025 m. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de samenstelling van Trisoplast inmiddels verder geoptimaliseerd is.

3.13 Opgraving

In 2001 zijn op een aantal stortplaatsen Trisoplast-afdichtingen (aangelegd in 1995 en 1996) opgegraven en onderzocht op doorlatendheid (Alterra, 2003). De doorlatendheid bleek te liggen tussen 1,3 en $4,3 \times 10^{-11}$ m/s. De gemeten doorlatendheid bleek niet af te wijken van de doorlatendheid bij aanleg.

3.14 Huidige aanlegwijze

Inmiddels zijn er honderden hectares aangelegd. De meest gangbare methode van het aanbrengen is een hydraulische rupskraan met een extra brede bak. Dit gebeurt in banen van veelal 5 tot 10 meter breed waarbij achtereenvolgens:

1. de kraan achteruitrijdend over de onderbaan de onderbaan vlak trekt van eventuele laatste sporen en rillen;
2. een dumper het mengsel in de baan stort;
3. de kraan een stalen geleidebalk langs één zijde mee trekt;
4. de kraan het mengsel onverdicht afwerkt op de juiste hoogte met behulp van deze stalen balk en een grondwerker die de dikte continu controleert;
5. het mengsel verdicht wordt met een zelfrijdende trilwals, trilplaat of landbouwrol.

Na verdichting van de Trisoplastlaag worden, indien van toepassing, de geosynthetische laag, de drainagelaag en de afdekgrond aangebracht. In de praktijk is de gehele constructie stabiel gebleken bij de genoemde verwerkingsmethode.

Naast de keuring van de afdichtingslaag zijn tijdens de aanleg inmiddels ook de te gebruiken proeven gangbaar en betrouwbaar gebleken.

Voor de in de Standaard RAW bepalingen 1990 omschreven steekringmethode (proef 4.4) is de afdichtingslaag te dun. In verband hiermee is gekozen om bij het meten van de verdichting gebruik te maken van een gemodificeerde dunnere ring. Ook kan de verdichting nucleair worden gemeten. De op deze wijze verkregen uitkomsten zijn geijkt aan de resultaten verkregen met de zandvervangingsmethode. Gebleken is dat de resultaten van de nucleaire meting goed bruikbaar zijn.

Voor de bepaling van het bentonietgehalte is de in de CUR-rapportage omschreven proef D enigszins aangepast.

Door middel van ijking van de menger en optimalisering van de mengtijd kan de nauwkeurigheid van doseren verder worden verhoogd.

De meest geschikte wijze om de doorlatendheid te meten, is om met een op de CUR-voorschriften (proef G) aangepaste methode in het laboratorium een monster in te bouwen in een cel, bij een verdichting overeenkomstig de gemeten waarde in het veld.

3.15 Samenvatting

Trisoplast bestaat uit een zand-bentonietpolymeergelmengsel. Trisoplast kan worden verwerkt tot een mechanisch stabiele en waterdichte constructie.

In opdracht van GID Milieutechniek B.V. is onderzoek uitgevoerd naar de toepasbaarheid van Trisoplast voor de afdichting van afval- en reststofbergingen.

Het onderzoek is conform de Richtlijn onderafdichtingen uitgevoerd om aan te tonen dat het materiaal minstens gelijkwaardig is aan de bestaande zand-bentonietmengsels. De proctordichtheid van standaard Trisoplast is 1.690 kg/m^3 en van verschaalde Trisoplast 1.720 kg/m^3 . Deze waarden zijn vergelijkbaar met de richtwaarde voor zand-bentonietmengsels (1.700 kg/m^3).

De doorlatendheid van een standaardmengsel Trisoplast, met proctordichtheden van 92 tot 100% bedraagt gemiddeld $4,3 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}$. Bij overeenkomstige proctordichtheden is de doorlatendheid van verschaalde Trisoplast gemiddeld $5,9 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}$.

De doorlatendheid van een verbeterd mengsel blijkt duidelijk lager te zijn dan van voorgaande mengsels. De gemiddelde doorlatendheid van het verbeterde mengsel bedroeg bij laboratoriumonderzoek gemiddeld $0,6 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}$. De doorlatendheid ligt dus een factor 5 lager dan van voorgaande mengsels. In 1995 is circa 16 ha minerale afdichting met Trisoplast aangebracht met de verbeterde variant. Alle monsters, genomen uit deze oppervlakte hebben een doorlatendheid lager dan $1 \cdot 10^{-12} \text{ m/s}$. Inmiddels zijn er de afgelopen jaren in het kader van de kwaliteitsborging meer dan 5.000 k-waarde metingen uitgevoerd. Deze metingen hebben eveneens laten zien dat de doorlatendheid van Trisoplast vele malen kleiner is dan vereist voor de norm op stortplaatsen. Opmerkelijk is dat de invloed van de dichtheid van het mengsel op de doorlatendheid grotendeels afwezig is.

Bij maximaal te verwachten zuigspanningen in een bovenafdichting van 100 mbar is Trisoplast luchtdicht. Hiermee onderscheidt het zich van zand-bentonietmengsels. Trisoplast is door deze eigenschap met name geschikt voor bovenafdichtingen van stortterreinen waar stortgas wordt gewonnen.

Trisoplast wordt gekenmerkt door een hoge plasticiteit (140 tot 180%). Deze wordt veroorzaakt door de bindingseigenschappen van het polymeer waarbij wel wateropname mogelijk is, maar vloeien wordt tegengegaan. Een hoge plasticiteit wordt algemeen als voordelig beschouwd. Vergeleken met zand-bentoniet (plasticiteitsindex circa 12%) is Trisoplast erg geschikt om te worden toegepast op die plaatsen waar grote zettingen worden verwacht, zoals bovenafdichtingen. De doorlatendheid van Trisoplast wordt niet noemenswaardig beïnvloed door eenzijdige rek tot 10% (Alterra, 2001).

Grondmechanica Delft heeft de taludstabiliteit van Trisoplast bepaald. Trisoplast blijkt stabiel op hellingen flauwer dan 1:1,95. De maximale lengte van het talud wordt bij deze helling echter begrensd door de drainagelaag.

Uitgevoerde berekeningen geven aan dat het verticale draagvermogen van verzadigde Trisoplast voldoende is om Trisoplast te berijden en te verdichten met een lichte walsrol of rupsband. Zeker bij het later ontwikkelde verbeterde mengsel zijn geen problemen te verwachten. Wegpersen of squeeze van Trisoplast bij toepassing in een onderafdichting zal niet optreden, gezien de naar verhouding zeer geringe dikte van de Trisoplast-laag.

Proeven uitgevoerd door ATO-DLO tonen aan dat bij extreem hoge thermische belastingen van 70°C gedurende 4 weken het kleigel niet degradeert. Doorlatendheidsproeven, uitgevoerd door het Staringcentrum aan thermisch belaste monsters, tonen eveneens aan dat een verhoogde temperatuur geen invloed heeft op de doorlatendheid. Geconcludeerd is dat onder omstandigheden zoals deze zich voordoen in afvalstorten geen thermische degradatie van Trisoplast plaatsvindt.

Melchior + Wittpohl Ingenieursgesellschaft concludeert dat Trisoplast als enig getest mineraal afdichtingsmateriaal bestand is tegen nat-droog cycli. In Trisoplast treden geen scheuren op en het materiaal behoudt zijn lage doorlatendheid.

Uit proeven blijkt dat het polymeer UV-bestendig is en dat opslag van het gereede materiaal eerder een positieve dan een negatieve invloed heeft op de afdichtende werking.

Proeven van het Staringcentrum tonen aan dat de doorlatendheid van Trisoplast afneemt indien wordt gemeten met vuilstortpercolaat in plaats van met water. Diverse testresultaten van ATO-DLO sluiten aan bij deze uitkomst.

Het ATO-DLO concludeert verder dat de chemische stabiliteit van een minerale afdichting aanzienlijk wordt verbeterd door toevoeging van het polymeer en dat geen biologische afbraak van het kleigelpolymeer optreedt. Ook Wienberg en Farahbksh concluderen dat biologische afbraak niet plaatsvindt.

TNO concludeert dat uitgaande van de huidige kennis kan worden gesteld dat het in Trisoplast aanwezige polymeer biologisch, thermisch, foto-oxidatief en chemisch niet meetbaar wordt aangetast. Dientengevolge kan Trisoplast als een duurzaam systeem voor afdichtingen worden beschouwd.

Trisoplast is beter bestand tegen de invloed van zouten dan de andere onderzochte afdichtingen (Alterra 2001). Alterra concludeert dat goed aangelegde Trisoplast met een k-waarde van maximaal $7,5 \times 10^{-11}$ m/s bij zoutconcentraties (lager dan 225 meq/l) eeuwigdurend blijft voldoen aan de doorlatendheidseisen van het Nederlandse stortbesluit. Bij hogere zout concentraties zal Trisoplast eeuwigdurend aan de eisen uit het stortbesluit voldoen indien een daartoe aangepaste lagere initiële k-waarde wordt toegepast.

De uitkomsten van de onderzoeken en de opgedane praktijkervaringen zijn zodanig dat geconcludeerd kan worden dat Trisoplast een volwaardig alternatief is voor de huidige zand-bentonietafdichtingslagen. De voornaamste positieve eigenschappen van Trisoplast ten opzichte van gangbare zand-bentonietmengsels zijn:

- een doorlatendheid die meer dan tienmaal geringer is;
- een grote plasticiteit;
- een grotere chemische en thermische stabiliteit;
- een geringere gasdoorlatendheid.

Door de hiervoor genoemde positieve eigenschappen is het mogelijk om afdichtingslagen te ontwerpen met een lagere doorlatendheid die tegelijkertijd een geringere dikte hebben dan nu is voorgeschreven voor minerale afdichtingslagen. Bijkomend voordeel hiervan is een geringer gebruik van primaire bouwstoffen als zand en bentoniet.

In vergelijking met klei en bentonietmatten valt naast de veel lagere water en gasdoorlatendheid vooral de veel betere bestendigheid van Trisoplast tegen uitdrogings schade op.

4 Programma van aanleg

4.1 Inleiding

Het Programma van aanleg voor Trisoplast geeft eisen en richtlijnen voor de vervaardiging van het mengsel, de verwerking van het product en de wijze waarop de kwaliteitscontrole moet worden uitgevoerd. Het doel is een kader te scheppen waarbinnen het tot stand komen van een granulaire afdichtingslaag met Trisoplast leidt tot een gegarandeerde kwaliteit van het gereede product.

Als leidraad bij de opzet van de kwaliteitscontrole is CUR Aanbeveling 33 (2^e druk) gevolgd, alsmede BRL 1148 en BRL 1153.

4.2 Termen en definities

Afdichtingslaag

Een voor vloeistoffen nagenoeg ondoorlatende constructie die tot doel heeft om het binnendringen dan wel uittreden van vloeistoffen te verhinderen om zodoende de verspreiding van aanwezige verontreinigingen te voorkomen.

Bentoniet

Een natuurlijke klei van veelal vulkanische oorsprong met een hoog gehalte aan montmorilloniet waardoor het materiaal een zeer hoge wateropnamecapaciteit en zwelvermogen heeft.

Combinatieafdichting

Afdichting die bestaat uit een combinatie van een folie en zand-bentonietpolymeergel die direct op elkaar worden aangebracht.

k-waarde/Doorlatendheid(s-coëfficiënt)/permeabiliteitscoëfficiënt

Materiaalconstante die de doorlatendheid karakteriseert, uitgedrukt in m/s.

Flux

De hoeveelheid percolaat die per eenheid van oppervlakte per eenheid van tijd door een materiaal stroomt, uitgedrukt in $m^3/m^2/s$ (= m/s).

Granulair materiaal

Een korrelig, mineraal materiaal dat de vaste draagkrachtige structuur geeft aan het minerale afdichtingsmateriaal. Algemeen gangbaar is om als granulair materiaal natuurlijk zand toe te passen. Recycle zand kan ook worden toegepast evenals samengestelde materialen zoals zand-bentoniet en vormzand.

Homogeniteit

Mate van waarneembare gelijkmatigheid.

Mengkwaliteit

De mate waarin bentoniet en polymeer homogeen tussen de minerale korrels zijn verdeeld.

Mengsel

Het mengsel van granulair materiaal, bentoniet, polymeer en water.

Mengwater

Het water dat nodig is om het vochtgehalte van het mengsel op het gewenste niveau te brengen. Het mengwater kan grondwater, oppervlaktewater of leidingwater zijn.

Percolaat

De door een medium gesijpelde vloeistof met daarin uit het medium afkomstige oplosbare bestanddelen (veelal een uit een stort sijpelende vloeistof, maar ook kwelwater wordt hieronder gerekend).

Polymeer

algemene definitie: een molecuul dat bestaat uit een aaneenschakeling van meerdere monomeren (gelijkvormige kleine moleculen).

Recycle zand

Zand dat een industriële bewerking heeft ondergaan bijvoorbeeld gieterijzand.

4.3 Eisen aan de ondergrond

De opdrachtgever moet er zorg voor dragen dat de ondergrond een stabiele draagkrachtige steunlaag vormt voor de aanvoer en installatie van de Trisoplast-laag. Veelal zullen belastingen bestaan uit dumpertransport, rupskraan en bandenwals. Zo nodig worden door de opdrachtgever transportbanen aangelegd.

Indien niet anders in het bestek, ontwerp of het kwaliteitsplan voor de steunlaag vastgelegd moet voldaan worden aan de volgende eisen:

- De minimale dikte van de indien noodzakelijk aangebrachte steunlaag bedraagt 0,30 m.
- De indringingsweerstand van de onderbaan moet voldoen aan de eisen als gesteld in artikel 24.02.06 van de Standaard RAW Bepalingen 2015, te weten een indringingsweerstand die per 10 mm diepte met ten minste 0,20 MPa toeneemt, dan wel ten minste 4 Mpa bedraagt.
- Om een goede verdichtbaarheid van de onderbaan te waarborgen mag het granulaire materiaal van de onderbaan niet te éénkorrelig van samenstelling zijn. De D60/D10 verhouding moet daarvoor ≥ 2 zijn. Indien er zand wordt gebruikt als onderbaan moet dit voldoen aan de eisen uit artikel 22.06.03 van de Standaard RAW Bepalingen 2015 (Zand in zandbed).
- De verdichtingsgraad van het granulair materiaal van de onderbaan moet minimaal 95% bedragen. De maximale proctordichtheid moet worden bepaald volgens proef 9. De CBR-waarde (106 / normale proef) van het granulair materiaal van de onderbaan moet daarbij vervolgens minimaal 10 % zijn. De proefnummers verwijzen naar de proeven uit de Standaard RAW bepalingen 2015.
- De onderbaan mag geen abrupte hoogteverschillen bevatten groter dan 20 mm. Voor de geplande dagproductie zal de opdrachtgever dagelijks tijdig de onderbaan voldoende vast en geëgaliseerd, vrij van oneffenheden als rijsporen, rillen e.d., op + of - 20mm nauwkeurig ter beschikking stellen. Indien nodig zullen daartoe eventuele grondverbeterings-, pomp- of sproeiwerkzaamheden uitgevoerd worden.

4.4 Bouwstoffen Trisoplast

De grondstoffen van Trisoplast zijn: zand, bentoniet, polymeer en water. De eisen die hieraan worden gesteld, zijn in de volgende paragrafen beschreven. Ondanks het feit dat Trisoplast vaak minder kritisch is ten aanzien van de samenstelling van de grondstoffen, wordt met diverse eisen direct aangesloten bij de aanbevelingen van de CUR 33. In onderstaande paragrafen zijn de eisen aan de grondstoffen van Trisoplast opgenomen. De aangegeven tolerantie heeft betrekking op de waarde vastgesteld in het vooronderzoek.

Tijdens de uitvoering moet zowel aan de eis worden voldaan als aan de tolerantie.

4.4.1 Granulair materiaal (zand)

Aan het granulaire materiaal dat wordt verwerkt in Trisoplast worden de volgende eisen en maximale toleranties in het werk gesteld:

Tabel 4.1 Eisen aan het granulair materiaal

Eigenschap	Eis	Tolerantie
Minerale delen $\leq 63 \mu\text{m}$ *	< 15% (m/m)	+/- 5% (m/m)
D50-cijfer	150 - 700 μm	+/- 150 μm
Geleidingsvermogen	< 500 $\mu\text{S/cm}$	+ 100 $\mu\text{S/cm}$
Zuurgraad (pH)	4,5 - 10,0	geen
Organische stofgehalte **	< 1,5% (m/m)	geen

* van de fractie door zeef 2 mm

** Indien bij granulair materiaal van samengesteld materiaal het organische stofgehalte niet exact kan worden bepaald, dient dit in ieder geval kleiner te zijn dan 5% (m/m) of er moet kunnen worden aangetoond dat het biologisch afbreekbare deel van de organische stof in ieder geval kleiner dan 1,5% (m/m) is.

Er mogen geen minerale delen aanwezig zijn groter dan $\frac{1}{2}$ van de minimum laagdikte en het gehalte aan minerale delen groter dan $\frac{1}{3}$ van de minimum laagdikte bedraagt ten hoogste 0,5% (m/m). Indien er geen minimum laagdikte bekend is, moet er worden uitgegaan van een minimale laagdikte van 40 mm.

Het zand dient vrij te zijn van vreemde bestanddelen zoals scherpe delen, puin en andere grove verontreinigingen als wortels, leem en dergelijke.

De toepassing van stoffen die de bodem kunnen verontreinigen in mineraal afdichtingsmateriaal dat voor de afdichting wordt gebruikt, is niet toegestaan.

Het zand dient van dezelfde locatie afkomstig te zijn als het zand waarmee het vooronderzoek is uitgevoerd.

Toelichting:

- Goede ervaringen met de samenstelling van zand-bentonietmengsels zijn opgedaan met matig fijn tot matig grof zand (D50 cijfer 150-700 μm).
- Bij bentoniet houdende granulair materiaal moet indien nodig de eis worden gecorrigeerd voor het aanwezige bentonietgehalte.

4.4.2 Bentoniet

Aan de bentoniet die wordt verwerkt in Trisoplast worden de volgende eisen en maximale toleranties in het werk gesteld:

Tabel 4.2 Eisen aan de bentoniet

Eigenschap	Eis	Tolerantie
Montmorillonietgehalte	³ 70 gew. % (m/m)	geen
Vochtgehalte	maximaal 15% (m/m)	geen
Methyleenblauw-waarde	³ 200 mg MB/g bentoniet	- 20% (m/m)
Waterabsorptievermogen na 24 uur	> 700% (V/m) (Enslin, CUR-33) of > 450% (EnslinNeff, DIN 18132)	geen
Maalfijnheid - gehalte aan deeltjes op de zeef van 125 µm	maximaal 6,0% (m/m)	geen

Toelichting:

- De methyleenblauw-waarde van de bentoniet biedt de mogelijkheid om tijdens de ingangscntrole te bepalen of de geleverde bentoniet overeenkomt met de bentoniet uit het vooronderzoek.
- Het vastleggen van de maalfijnheid van de bentoniet is van belang om te bepalen of de geleverde bentoniet overeenkomt met het materiaal uit het vooronderzoek.
- Het vochtgehalte van de bentoniet mag niet te hoog zijn in verband met gevaar voor klonten tijdens verwerking.

4.4.3 Mengwater

Aan het mengwater dat wordt verwerkt in Trisoplast worden de volgende eisen en maximale toleranties in het werk gesteld:

Tabel 4.3 Eisen aan het mengwater

Eigenschap	Eis	Tolerantie
Geleidbaarheid	£1.500 µS/cm *	+ 150 µS/cm
Zuurgraad (pH)	5,0 - 9,0	geen
Waterabsorptievermogen van de bentoniet	> 600% (V/m)(Enslin, CUR-33) of > 385% (EnslinNeff, DIN 18132)	geen

* bij voorkeur < 500 µS/cm

4.4.4 Polymeer

Het polymeer wordt geleverd door GID milieutechniek B.V., de ontwikkelaar van Trisoplast. De eisen die worden gesteld aan het polymeer zijn tevens onder geheimhoudingsverklaring ter beschikking gesteld aan een onafhankelijke onderzoeksinstituut. Een eventuele controle op de juistheid van het geleverde materiaal op het werk kan door dit onderzoeksinstituut worden uitgevoerd.

4.5 Vooronderzoek

Vóór aanvang van de werkzaamheden dient een vooronderzoek te worden uitgevoerd. Hierbij moet de geschiktheid van de te verwerken grondstoffen worden aangetoond. Tevens dient de mengsamenstelling te worden bepaald. Hiervoor bestaan twee mogelijkheden:

- de mengsamenstelling wordt geoptimaliseerd (par. 4.5.1);
- de mengsamenstelling is vooraf vastgesteld (par. 4.5.2).

4.5.1 *Optimaliseren mengselsamenstelling*

De eis gesteld aan de k-waarde van de granulaire afdichtingslaag van Trisoplast dient tijdens het ontwerp te worden vastgesteld in relatie tot de laagdikte.

Aan de hand van de k-waarde-eis en de te verwerken grondstoffen wordt de ideale mengverhouding van de grondstoffen bepaald.

Hierbij is de verhouding tussen polymeer en bentoniet door de leverancier van Trisoplast vastgesteld. Ter bepaling van het benodigde gehalte aan bentoniet/polymeer worden ten minste drie mengsels, in tweevoud met een oplopend gehalte in stappen van 1 of 2% (m/m) onderzocht. De resultaten van deze proeven dienen een zodanige reeks met k-waarden op te leveren dat de k-waarde-eis uit het ontwerp binnen deze reeks ligt.

Het bentoniet/polymeergehalte dient te worden uitgedrukt als het percentage droge bentoniet/polymeer ten opzichte van droog granulair materiaal.

De mengsels worden onderzocht op:

- proctordichtheden tijdens verwerking bij in de praktijk verwachte vochtgehalten;
- permeabiliteitscoëfficiënt (k-waarde) bij gespecificeerde omstandigheden zoals hiervoor beschreven. De proef dient met drinkwater of gedemineraliseerd water te worden uitgevoerd.

Het theoretisch bentoniet/polymeergehalte van het mengsel wordt bepaald door interpolatie tussen de gevonden meetwaarden van de uitgevoerde metingen en naar boven afgerond op een 0,5% (m/m). De bepaling van de k-waarde van de in duplo uitgevoerde metingen gebeurt aan de hand van het meetkundig gemiddelde

$$\bar{K} = \sqrt{k_1 \times k_2}$$

Van de gedurende het vooronderzoek gebruikte grondstoffen zand, bentoniet/polymeer wordt op verzoek een monster ter beschikking gesteld aan de opdrachtgever.

Als **uitvoeringseis** geldt dat het uiteindelijk te verwerken mengsel 1% meer bentoniet/polymeer moet bevatten dan op grond van het laboratoriumonderzoek noodzakelijk is.

4.5.2 *Vooraf gekozen mengselsamenstelling*

De mengselsamenstelling in het vooronderzoek is 1% lager dan de in het werk toe te passen mengselsamenstelling. Dit omdat er in de praktijk een maximale negatieve afwijking van 1% mogelijk is. Voor een standaard mengselsamenstelling van 13% bentoniet dient het vooronderzoek daarom plaats te vinden met een mengsel van 12% bentoniet.

Ter bepaling van de relatie tussen verdichting en doorlatendheid moeten drie monsters met een vast bentonietgehalte en een oplopende verdichting ten opzichte van de maximale proctordichtheid worden onderzocht. De bepalingen worden in enkelvoud uitgevoerd.

Het mengsel moet worden onderzocht op:

- proctordichtheden tijdens verwerking bij het in de praktijk verwachte vochtgehalte van 7%.
- permeabiliteitscoëfficiënt (k-waarde) bij een vochtgehalte van het mengsel van 7% bij het inbouwen en een verdichtingsgraad van 82%, 87% en 92% ten opzichte van de éénpuntsproctordichtheid bij 7% vocht. De proef wordt standaard met drinkwater (leidingwater) of gedemineraliseerd water (demi water) uitgevoerd. Uit de permeabiliteitsmetingen volgt de k-waarde van het mengsel in relatie tot de verdichting. De droge massa bentoniet moet worden uitgedrukt als percentage van de massa droog granulair materiaal.

4.6 **Proefveld/Toetsingsvak**

De aanleg van een proefveld is wenselijk bij de aanleg van zowel een onder- als een bovenafdichting. De opzet van het proefveld kan in beide gevallen gelijk zijn.

Aan de hand van het proefveld dient te worden aangetoond dat met de voorgestelde werkwijze kan worden voldaan aan de gestelde eisen uit ontwerp en vooronderzoek. Tevens kan het proefveld worden gebruikt om de voorgestelde werkwijze te optimaliseren.

De resultaten van het proefvak dienen beschikbaar te zijn voordat met de eigenlijke uitvoering een start wordt gemaakt. Ideaal is als de periode gelegen tussen aanleg proefvak en start uit-

voering zodanig wordt gekozen, dat het mogelijk is om op basis van resultaten van doorlatendheidsmetingen een uitspraak te doen over de kwaliteit van de aangebracht granulaire afdichting en bijbehorende werkwijze. Indien het proefvak op een representatief deel van het af te dichten terrein is aangelegd, betekent dit dat met een goede procesbewaking tijdens de uitvoering de afnamecontrole kan vervallen. Ervaringen met de aanleg van zand-bentonietafsluitingen leren echter dat de periode tussen proefveld en start uitvoering hiervoor veelal te kort is. In een dergelijke situatie zal op basis van laagdikte, verdichting en kwaliteit van het mengsel een (voorlopig) oordeel moeten worden gegeven over de geleverde kwaliteit en blijft een afnamecontrole noodzakelijk.

De situering van het proefveld dient qua helling en opbouw van de ondergrond representatief te zijn voor het gehele af te dichten oppervlak. De grootte van het proefveld dient minimaal 500 m² te bedragen.

De resultaten verkregen bij de aanleg van het proefveld dienen vastgelegd te worden in een protocol. In het protocol dienen minimaal de resultaten van de volgende zaken beschreven te zijn:

- de wijze van uitvoering en eventuele varianten;
- de gebruikte hulpmiddelen en ingezet materieel;
- de verdichting, mede in relatie tot de wijze van uitvoering;
- de spreiding in de laagdikte in relatie tot de wijze van verwerking;
- visuele kwaliteit van de aangebrachte laag;
- de weersinvloeden;
- kwaliteit van de onderbouw.

Op basis van de resultaten van het proefveld kunnen de wijze van uitvoering en de intensiteit van de proeven (hoofdstuk 5) eventueel worden aangepast.

4.7 Ingangscontrolle grondstoffen

Tijdens het vooronderzoek zijn de parameters vastgelegd waaraan de te gebruiken grondstoffen voldoen. Ten behoeve van de mengselproductie is het van belang vast te stellen of de geleverde grondstoffen overeenkomen met de grondstoffen waarmee het vooronderzoek is uitgevoerd. Dit kan aan de hand van de vastgelegde parameters in paragraaf 4.4.

4.7.1 Granulair materiaal

De levering van een partij zand moet worden vergezeld van een bewijs van oorsprong, afgegeven door de producent ervan. Op het bewijs van oorsprong dienen te zijn vermeld:

- a de naam van de producent;
- b de aard en herkomst van het zand.

Het zand dient voor verwerken te worden onderzocht of het voldoet aan de parameters zoals vermeld onder paragraaf 4.4.1. De wijze waarop dit dient te gebeuren en de frequentie zijn vastgelegd in hoofdstuk 5. Proeven.

4.7.2 Bentoniet

De levering van een partij bentoniet moet worden vergezeld van een bewijs van oorsprong, afgegeven door de producent ervan. Op het bewijs van oorsprong dienen te zijn vermeld:

- a de naam van de producent;
- b de productnaam;
- c het type bentoniet.

Indien de leverancier van het bentoniet gecertificeerd is, wordt aangesloten met de ingangscontrolle bij de productiecontrole van de leverancier.

Het bentoniet dient tijdens de productie door de producent te worden onderzocht of het voldoet aan de parameters zoals vermeld onder 4.4.2.

Op het werk dienen steekproefsgewijs de methyleenblauw-waarde, het vochtgehalte en het percentage op de zeef 125 µm te worden gecontroleerd.

4.7.3 *Polymeer*

De polymeer moet worden aangeleverd door GID Milieutechniek B.V., de ontwikkelaar van Trisoplast. Bij de productie van Trisoplast door andere partijen dan de ontwikkelaar zelf dient voor de gebruikte polymeer een bewijs van oorsprong, opgesteld door GID Milieutechniek BV, overlegd te worden

Per geproduceerde batch polymeer neemt GID Milieutechniek BV een monster om te controleren of de juiste polymeer is geleverd. Deze monsters worden voor een periode van minimaal 2 jaar opgeslagen. Indien toetsing wenselijk is, kan hiermee worden bepaald of de gebruikte polymeren overeenstemmen met het in het vooronderzoek gebruikte materiaal.

4.7.4 *Mengwater*

Bij gebruik van oppervlaktewater dient te worden gecontroleerd op de parameters zoals vermeld in paragraaf 4.4.3.

4.8 **Productie en verwerking**

Aan de hand van de uitkomsten van het proefveld en voor de aanvang van de werkzaamheden moet een definitief uitvoeringsplan worden opgesteld.

Dit plan dient minimaal te beschrijven:

- de wijze van opslag van grondstoffen en het gerede mengsel (voor zover relevant);
- de definitieve wijze van uitvoering;
- de te gebruiken hulpmiddelen en het in te zetten materieel;
- de verdichting;
- de laagdikte;
- kwaliteit van de onderbouw;
- de uit te voeren proeven en de frequentie (eventueel aangepast op basis van de resultaten van het proefveld).

De aangeleverde grondstoffen en het gerede mengsel dienen zodanig te worden opgeslagen dat geen negatieve beïnvloeding plaatsvindt van de eigenschappen van de grondstoffen of het mengsel.

4.9 **Verwerking**

Trisoplast dient in een dwangmenger tot een homogeen mengsel te worden gemengd. Tijdens het mengen kan bij een te laag vochtgehalte water worden toegevoegd. De dosering van de grondstoffen dient plaats te vinden door gekalibreerde zelfregistrerende weegapparatuur.

Bij vervoer en verwerking mogen de eigenschappen van het mengsel niet negatief worden beïnvloed. Dit betekent dat het mengsel moet worden beschermd tegen uitdroging of verzadiging. Materiaal dat negatief is beïnvloed (bijvoorbeeld door regen of uitdroging) mag niet meer worden verwerkt.

4.9.1 Eisen mengsel

Het mengsel dient vrij te zijn van vreemde bestanddelen die de werking van de gerede laag negatief kunnen beïnvloeden.

Direct voorafgaande aan het verwerken worden aan het mengsel de volgende eisen gesteld:

Tabel 4.4 Eisen gesteld aan het mengsel

Eigenschap	Eisen
Bentonietgehalte	Indien de mengselsamenstelling is vastgesteld conform de standaard mengselsamenstelling: gemiddeld ten minste 13% met een maximale negatieve afwijking van 1%. Indien er sprake is van een specifiek vooronderzoek: gemiddeld ten minste het gehalte berekend uit het vooronderzoek met een maximale negatieve afwijking van 1%
Vochtgehalte	Minimaal 4%(m/m) en maximaal 16%(m/m);
Homogeniteit	Standaarddeviatie ten hoogste 1,0% (m/m) (proef E, CUR-33)

Toelichting

De eis gesteld aan het vochtgehalte van het te verwerken mengsel is ruim. Hierin komt tot uiting dat de k-waarde van Trisoplast veel minder sterk afhankelijk is van een hoge verdichting dan het reguliere zand-bentonietmengsel (zie paragraaf 3.3.).

4.9.2 Eisen gerede afdichtingslaag

Aan de gerede afdichtingslaag worden de volgende eisen gesteld:

Tabel 4.5 Eisen aan de afdichtingslaag

Eigenschap	Eisen
Gemiddelde laagdikte	≥ laagdikte ontwerp.
Individuele laagdikte	Niet meer dan 20 mm dunner dan de eis uit het ontwerp.
Gemiddelde verdichting (kg/m ³)	≥ gemiddelde verdichting van het proefveld min 1%, tenzij anders vermeld in het protocol/formulier van het toetsingsvak.
individuele verdichting (kg/m ³)	≥ de laagste waarde uit het vooronderzoek, waarbij wordt voldaan aan de doorlatendheidseis ontwerp.
k-waarde	Kleiner dan of gelijk aan 7,5x10 ⁻¹¹ m/s tenzij anders overeengekomen tussen opdrachtgever en aannemer. Het meetkundig gemiddelde van de waterdoorlatendheid mag ten hoogste de tussen de partijen overeengekomen waarde bedragen. De k-waarde mag per meetpunt niet meer bedragen dan vijf maal de overeengekomen waarde.

Toelichting

De minimale laagdikte wordt gedimensioneerd vanuit de praktische verwerkbaarheid van het mengsel. In de praktijk is aangetoond dat een laag met een dikte van 0,06 m goed is aan te brengen. Mocht in de praktijk blijken dat dunnere lagen met voldoende nauwkeurigheid kunnen worden aangebracht, dan kan de laagdikte verder omlaag.

Als aan bovengenoemde eisen niet wordt voldaan dienen aanvullende maatregelen te worden getroffen overeenkomstig paragraaf 4.9.3.

4.9.3 Nader onderzoek en reparaties

Bij onvoldoende verdichting dient te worden naverdicht tot aan de gestelde eis wordt voldaan. Bij een gedeelte van een gerede afdichtingslaag met onvoldoende laagdikte, moet het oppervlak eerst worden opgeruwd voordat nieuw materiaal mag worden verwerkt.

Uitgevoerde corrigerende maatregelen ten behoeve van verdichting en laagdikte dienen op de dag van constateren te worden uitgevoerd en schriftelijk te worden vastgelegd.

Indien grondstoffen zijn toegepast in de reeds aangelegde laag die niet voldoen aan de vereisten, dan wordt deze laag alleen geaccepteerd als de doorlatendheid aan de ontwerpeis voldoet. Wanneer bij de afnamecontrole wordt geconstateerd dat de doorlatendheid of k-waarde niet voldoet aan de ontwerpeis, bepaald volgens het keuringscriterium uit de CUR aanbeveling 33, kan om laboratoriumfouten te controleren de k-waarde van een tijdens aanleg genomen duplo-monster worden bepaald. Mocht dit geen uitsluitsel geven dan moet er een nader onderzoek uitgevoerd worden.

Dit nader onderzoek moet bestaan uit het nemen van drie ongeroerde monsters uit een oppervlakte van 2000 m² rondom ieder meetpunt met een te hoge waterdoorlatendheid. De monsters moeten worden onderzocht op waterdoorlatendheid door een deskundig laboratorium. Van de drie monsters wordt het meetkundige gemiddelde berekend van de doorlatendheid (k-waarde).

$$\bar{K} = \sqrt[3]{k_1 \times k_2 \times k_3}$$

Dit gemiddelde vervangt de oorspronkelijk gemeten waarde en wordt getoetst aan de ontwerpeis bepaald volgens het keuringscriterium uit de CUR-aanbeveling 33. Als de afdichtingslaag nog niet voldoet, moeten passende maatregelen worden genomen op het gedeelte van de afdichtingslaag dat niet voldoet.

5 Proeven

5.1 Inleiding

De in dit hoofdstuk genoemde proeven dienen om te controleren of voldaan wordt aan de eisen gesteld aan de grondstoffen, het mengsel en de gerede afdichtingslaag. In de hierna volgende tabellen zijn de wijze waarop de eisen moeten worden gecontroleerd en de frequentie per fase van het werk aangegeven.

De gekozen proeven zijn zoveel mogelijk standaardproeven volgens NEN-normen of de RAW 2015. Een aantal noodzakelijke proeven is echter nog niet standaard op deze wijze omschreven. Hiervoor is uit praktische overwegingen gebruik gemaakt van de omschrijvingen zoals opgenomen in de CUR-aanbeveling 33, BRL 1148 en BLR 1153.

5.2 Keuringen en proeven grondstoffen

De tabellen 5.1 tot en met 5.3 hebben betrekken op de grondstoffen. Deze dienen voor verwerking te worden beproefd (ingangscntrole grondstoffen). Gemeten dient te worden per ton (natte massa) van het materiaal genoemd in de zelfde regel. De aantallen bij aanleg zijn inclusief proefveld.

Tabel 5.1 **Overzicht keuringen en proeven zand**

	Proef	Fase	Aantal ²⁾
1	Granulaire samenstelling (wijze: proef 11 RAW 2015) *	Vooronderzoek	2
		Proefveld	2
		Aanleg	1 per 1500 ton
2	Minerale delen kleiner dan 63 µm (wijze: proef 2 RAW 2015)	Vooronderzoek	2
		Proefveld	2
		Aanleg	1 per 1500 ton
3	Organische stofgehalte (wijze: proef 28 RAW 2015)	Vooronderzoek	2
		Proefveld	2
		Aanleg	1 per 750 ton
4	Vochtgehalte (wijze: proef 9 RAW 2015)	Vooronderzoek	2
		Proefveld	2
		Aanleg	1 per 750 ton
5	Zuurgraad (pH-KCl) (wijze: proef 27 RAW 2015)	Vooronderzoek	2
		Proefveld	2
		Aanleg	1 per 750 ton
6	Geleidingsvermogen (wijze: proef 4 RAW 2015)	Vooronderzoek	2
		Proefveld	2
		Aanleg	1 per 750 ton

* bij proef 11 van de RAW 2015 moeten minimaal de volgende zeven worden toegepast: 63, 125, 250, 500 µm, 1 en 2 mm en C4, C5 C,6, C8 en C16.

Tabel 5.2 **Overzicht keuringen en proeven bentoniet**

	Proef	Fase	Aantal
1	Montmorillinetgehalte (wijze: röntgendiffractie)	Vooronderzoek Proefveld Aanleg	1 geen geen
2	Waterabsorptievermogen (wijze: proef A van de CUR)	Vooronderzoek Proefveld Aanleg	2 2 1 per 200 ton
3	Vochtgehalte (wijze proef B/D van de CUR)	Vooronderzoek Proefveld Aanleg	2 2 1 per 200 ton
4	Methyleenblauwwaarde (wijze proef B/D van de CUR)	Vooronderzoek Proefveld Aanleg	2 2 1 per 200 ton
5	Maalfijnheid (wijze: par. 9.3.5. CUR)	Vooronderzoek Proefveld Aanleg	2 2 1 per 200 ton

Indien de leverancier beschikt over een gecertificeerd kwaliteitsborgingssysteem kan gebruik worden gemaakt van de gegevens van de leverancier.

Tabel 5.3 **Overzicht keuringen en proeven mengwater**

	Proef	Fase	Aantal (opp.water)	Aantal (leidingwater)
1	Geleidingsvermogen (wijze: NEN-ISO 7888-1994)	Vooronderzoek Proefveld Aanleg	2 2 1 per dag	geen geen geen
2	Zuurgraad (pH-KCl) (wijze: NEN 6411:1981)	Vooronderzoek Proefveld Aanleg	2 2 1 per dag	geen geen geen
3	Invloed op Waterabsorptievermogen (wijze: proef A CUR)	Vooronderzoek Proefveld Aanleg	2 * *	geen geen geen

* *bij overschrijding geleidingsvermogen*

5.3 Keuringen en proeven mengsel

Tabel 5.4 heeft betrekking op het mengsel. Deze proeven dienen te worden uitgevoerd voordat het mengsel wordt verwerkt. Gemeten dient te worden per ton natte massa.

Tabel 5.4 **Overzicht keuringen en proeven mengsel**

	Proef	Fase	Aantal
1	Bentonietgehalte (wijze: zie BRL 1148 bijlage III)	Vooronderzoek Proefveld Aanleg	geen 2 1 per 400 ton
2	Vochtgehalte (wijze: proef 9 van RAW 2015)	Vooronderzoek Proefveld Aanleg	geen 2 1 per 200 ton
3	Eénpuntsproctordichtheid en vochtgehalte (wijze: proef 9 van RAW 2015)	Vooronderzoek Proefveld Aanleg	* 1 geen
4	Waterdoorlatendheid ** (wijze: zie BRL 1148 bijlage IV)	Vooronderzoek Proefveld Aanleg	* geen geen
5	Mengkwaliteit *** (wijze: proef E CUR)	Vooronderzoek Proefveld Aanleg	geen 1 ****
6	Uitrolgrens ***** (van plasticiteitsindex) (wijze: Proef 14 van RAW 2015)	Vooronderzoek Proefveld Aanleg	Optioneel Optioneel Optioneel

* afhankelijk van het type vooronderzoek

** de doorlatendheid van de afdichtingslaag wordt bepaald door een onverdicht monster in het laboratorium in te bouwen met een verdichting, overeenkomstig de waarde gemeten in het veld. Hiervoor is gekozen omdat het mengsel relatief ongevoelig is voor uitvoeringsonnauwkeurigheden.

*** Er dienen ongemengde monsters te worden geanalyseerd en indien geproduceerd wordt met batchgewijs werkende dubbelassige dwangmengers, mag er in afwijking van de proef E met 6 i.p.v. 12 analyses worden volstaan.

**** indien wijzigingen aan menger of productieproces worden aangebracht

***** de uitrolgrens geeft een indicatie of in het mengsel voldoende polymeer aanwezig is.

5.4 Keuringen en proeven afdichtingslaag

De proeven uit tabel 5.5 dienen te worden uitgevoerd na verwerking van het mengsel in de gereede laag (productie- en afnamecontrole).

Tabel 5.5 **Overzicht keuringen en proeven gereede laag**

	Proef	Fase	Aantal
1	Bentonietgehalte (wijze: zie BRL 1148 bijlage III)	Proefveld Aanleg	1 1 per 5000 m ²
2	Vochtgehalte (wijze: proef 9 van RAW 2015)	Proefveld Aanleg	2 1 per 1000 m ²
3	Waterdoorlatendheid ** (wijze: zie BRL 1148 bijlage IV)	Proefveld Aanleg	1 1 per 5000 m ²
4	Laagdikte (wijze: proef F CUR)	Proefveld Aanleg	1 per 50 m ² 1 per 250 m ²
5	Verdichting * (wijze: proef 6 of 8 van RAW 2015)	Proefveld Aanleg	1 per 100 m ² 1 per 500 m ²

* *bij het nucleair meten van de verdichtingsgraad wordt de natte dichtheid en het vochtpercentage gemeten. Hieruit wordt de droge dichtheid berekend. De gammabron (bepaling dichtheid) moet daarbij op een diepte van 0,05 m onder het oppervlak worden ingebracht. De alfabron (bepaling watergehalte) meet vanaf de oppervlakte over een geringe diepte. Om de correlatie te bepalen tussen het watergehalte nucleair gemeten aan de oppervlakte en ovendroog gemeten over de volle diepte van de meting, moet per dag 4 maal een controlemonster over de diepte 0,00 – 0,05 m ter plaatse van een dichtheidsmeting worden genomen voor een ovendroog watergehaltebepaling in het (veld) laboratorium. De resultaten van de nucleaire dichtheidsmetingen worden gecorrigeerd voor het ovendroge watergehalte. De correctie is afhankelijk van de chemische samenstelling van het mengsel en de eventuele spreiding van het watergehalte over de dikte van de laag". Indien gebruik gemaakt wordt van een steekring mag de hoogte van de ring worden aangepast aan de laagdikte.*

** *de doorlatendheid van de afdichtingslaag wordt bepaald door een onverdicht monster in het laboratorium in te bouwen met een verdichting, overeenkomstig de waarde gemeten in het veld. Hiervoor is gekozen omdat het mengsel relatief ongevoelig is voor uitvoeringssonauwkeurigheden.*

Literatuurlijst

(Alterra, 2001)

Functionele levensduur van minerale afdichtingmaterialen en kunststoffen in vloeistofdichte eindafwerking van stortplaatsen. D. Boels en J. Breen Alterra rapport 290. 2001.

Alterra Wageningen University and Researchcentre (2003) Are TRISOPLAST barriers sustainable? An evaluation of old barriers in landfill caps, D. Boels, S. Melchior, B. Steinert, Alterra-Report 541 melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft, Hamburg, Duitsland

(Boels, 1993)

Studie naar onderafdichtingsconstructies voor afval en reststofbergingen. DLO-Staringcentrum, rapport nummer 247, 1993.

(Boels, 1993)

Duurzame werking van zand-bentoniet afdichtingen in eindafdekkingen van stortplaatsen. Staringcentrum, rapport nummer 115, 1990.

[CUR/PBV; 1996]

Aanbeveling 33. Granulaire afdichtingslagen op basis van zandbentoniet al dan niet in combinatie met kunststof geomembranen. Tweede druk. Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving. September 1996.

[CUR, 2001]

Aanbeveling 75. Vervormingscriteria en meetmethoden van minerale afdichtingslagen. Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving. januari 2001.

(ECN, 2002)

Second opinion. Functionele levensduur van minerale afdichtingmaterialen en kunststoffen in vloeistofdichte eindafwerking van stortplaatsen. ECN rapport C-02-068. Oktober 2002.

(Grontmij, 1994)

Voorschriften voor verwerking van zand-bentonietmengsel.

(Hoeks et.al, 1990)

Richtlijnen voor ontwerp en constructie van eindafdekkingen van afval- en reststofbergingen, Staringcentrum, rapport 91, 1990.

(KIWA, 2014)

BRL 1148. Beoordelingsrichtlijn voor het KOMO® procescertificaat voor De aanleg van een afdichtingslaag met zand-bentonietpolymeergel mengsel. 7 april 2014.

(KIWA, 2014)

BRL 1153. Beoordelingsrichtlijn voor het KOMO® productcertificaat voor De productie van zand-bentonietpolymeergel mengsel. 7 april 2014.

(Melchior S and Steinert B, 2011)

Untersuchungen von Trisoplast für den Einsatz als Oberflächenabdichtung Laborversuche zum Austrocknungsverhalten, Melchior + Wittpohl Ingenieurgesellschaft Hamburg pp. 39.

(NEN, 2010a)

Bepaling van de doorlatendheidscoëfficiënt na maximale aantasting van zouten op bentoniethoudende afdichtingen in IBC-werken. Nederlandse Technisch afspraak, NTA 8888. NEN, juli 2010.

(NEN, 2010b)

Toelichting bij NTA 8888. NEN, juli 2010.

(Stortbesluit, 2001)

Besluit voor 20 januari 1993, houdende regels inzake het storten van afvalstoffen (Stortbesluit bodembescherming, Staatsblad 1993 nummer 55), zoals nadien gewijzigd Staatsblad 1998, 22; Staatsblad 2001, 336.

(TNO, 1999)

Protocolen voor het toepassen van kunststof geomembranen ten behoeve van bodembescherming Herziening 1999. deel I Materialen (Div499.1097) en deel II Aanleg en acceptatie (Div499.1098).

(Uitvoeringsregeling, 2001)

Uitvoeringsregeling Stortbesluit bodembescherming, Staatscourant 37, 23 februari 1993 (Stct. 1993, 37). zoals nadien gewijzigd (Stct. 2001, 133)

(VROM, 1991)

Richtlijnen voor dichte eindafwerking op afval- en reststofbergingen, publicatiereeks bodembescherming nummer 1991/2.

(VROM, 1993)

Richtlijn onderafdichtingsconstructies voor stort- en opslagplaatsen. Publicatiereeks bodembeschermingsnummer 1993/2.

(Wienberg R and Farahbkhsh M, 2007)

Bericht über die Untersuchung zur Beständigkeit von Deponieabdichtungen aus Trisoplast gegenüber mikrobieller Beeinflussung Dr. Reinhard Wienberg Umwelttechnisches Labor Hamburg. Hamburg pp. 38

Bijlage 1

K-waarden en bijbehorende laagdikte in een onder-
en bovenafdichting voor Trisoplast

Uitgangspunten:

- § maximale lekkage 20 mm/jaar;
- § zuigspanning onder een onderafdichting van 0,3 m;
- § zuigspanning onder een bovenafdichting van 0,5 m;
- § waterkolom op een onderafdichting van 0,5 m;
- § waterkolom op een bovenafdichting van 0,5 m;
- § lekkageperiode bij een onderafdichting van 365 dagen/jaar;
- § lekkageperiode bij een bovenafdichting van 200 dagen/jaar.

Formules:

Berekening gradiënt

$$i = (h+d)/dh = \text{hoogte waterkolom (m)}$$

$$d = \text{dikte afdichtingslaag (m)}$$

$$i = \text{gradiënt(-)}$$

Berekening K-waarde

$$v = k \cdot i \quad v = \text{lekkage (m/jaar)}$$

$$k = \text{doorlaatfactor (m/s)}$$

Tabel

Laagdikte in meters	Gradiënt bovenafdichting	Gradiënt onderafdichting	K-waarde (m/s) bovenafdichting	K-waarde (m/s) onderafdichting
0,04	26,00	21,00	4,45e-11	3,02e-11
0,05	21,00	17,00	5,51e-11	3,73e-11
0,06	17,67	14,33	6,55e-11	4,42e-11
0,07	15,29	12,43	7,57e-11	5,10e-11
0,08	13,50	11,00	8,57e-11	5,77e-11
0,09	12,11	9,89	9,56e-11	6,41e-11
0,10	11,00	9,00	1,05e-10	7,05e-11
0,11	10,09	8,27	1,15e-10	7,67e-11
0,12	9,33	7,67	1,24e-10	8,27e-11
0,13	8,69	7,15	1,33e-10	8,87e-11
0,14	8,14	6,71	1,42e-10	9,45e-11
0,15	7,67	6,33	1,51e-10	1,00e-10
0,16	7,25	6,00	1,60e-10	1,06e-10
0,17	6,88	5,71	1,68e-10	1,11e-10
0,18	6,56	5,44	1,77e-10	1,16e-10
0,19	6,26	5,21	1,85e-10	1,22e-10
0,20	6,00	5,00	1,93e-10	1,27e-10
0,21	5,67	4,81	2,01e-10	1,32e-10
0,22	5,55	4,64	2,09e-10	1,37e-10
0,23	5,35	4,48	2,16e-10	1,42e-10
0,24	5,17	4,33	2,24e-10	1,46e-10
0,25	5,00	4,20	2,31e-10	1,51e-10
0,3	4,33	3,67	2,67e-10	1,73e-10
0,35	3,86	3,29	3,00e-10	1,93e-10
0,4	3,50	3,00	3,31e-10	2,11e-10
0,45	3,22	2,78	3,59e-10	2,28e-10
0,5	3,00	2,60	3,86e-10	2,44e-10

www.grontmij.nl

www.sweco.nl