

Eindrapportage PAS

PV-afdichting op stortplaatsen een zonnepaneel systeemcomponent
(Publieke versie)



Projectnr.: TEZG214002

Penvoerder: Verwerking Bedrijfsafvalstoffen Maasvlakte (VBM),
onderdeel van Minerals part of Renewi

Medeaanvragers: Genap B.V.
Sweco B.V. voorheen Grontmij Nederland B.V.
Stichting Energieonderzoek Centrum Nederland
HyET Solar B.V.

Projectperiode: 1 januari 2015 tot en met 1 juli 2017

Verantwoording

Titel : Eindrapportage PAS
Subtitel : PV-afdichting op stortplaatsen een zonzol systeemcomponent
Referentienummer : PAS/5/WB/fk
Revisie : 1, publieke versie
Datum : Oktober 2017

Auteur(s) : W. Boekholt (Minerals B.V.)
E-mail adres : willem.boekholt@vangansewinkel.com
Gecontroleerd door : H. Koliijn
Paraaf gecontroleerd :
Goedgekeurd door : H. Koliijn
Paraaf goedgekeurd :
Contact : Minerals
Loswalweg 50
3199 LG Maasvlakte-Rotterdam
T +31 18 136 30 99
www.vangansewinkel-minerals.nl

Samenvatting

In opdracht van de provincie Zuid-Holland en Van Gansewinkel Minerals is in 2014 door Grontmij een onderzoek uitgevoerd naar de toepassing van zonne-energie op stortplaatsen (casus stortplaats VBM). Uit het onderzoek blijkt dat de stortplaats VBM op de Maasvlakte minimaal acht keer haar eigen energievoorziening zou kunnen produceren. Het toepassingspotentieel van zonne-energie op stortplaatsen wordt echter grotendeels bepaald door de mate van integratie tussen het zonnestelsel en de bovenafdichting van de stortplaats (= PV-afdichting).

Naar aanleiding van het onderzoek heeft Minerals (de rechtsopvolger van Van Gansewinkel Minerals) een consortium gevormd om verder onderzoek te doen naar de mogelijkheden voor een alternatieve bovenafdichting in de vorm van een PV-afdichting. In dit consortium zitten de volgende bedrijven:

- VBM C.V. (Minerals) te Rotterdam Maasvlakte
- Sweco Nederland B.V. te De Bilt (voorheen Grontmij)
- ECN (via SEAC) te Eindhoven
- HyET Solar B.V. te Arnhem
- Genap B.V. te 's-Heerenberg

Het onderzoek is voorgelegd aan en uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Het onderzoek is gestart op 1 januari 2015 en is beëindigd op 1 juli 2017.

Door het consortium is de volgende onderzoeksdoelstelling geformuleerd:

Een goedgekeurde PV-afdichting op stortplaatsen, wat leidt tot een reproduceerbaar systeemconcept van een optimale geïntegreerde zonne-energie afdichting voor stortplaatsen en een overzicht van andere landschapselementen en infrastructuur waar het systeemconcept ook gebruikt zou kunnen worden zonder fundamentele wijzigingen.

Het onderzoek bestaat in hoofdlijnen uit:

- Onderzoek naar materialen die geschikt zijn om een zonne-energiesysteem te integreren op/met een afdichtingsfolie.
- Het aanleggen van een tweetal proefvelden.
- Het opstellen van economisch model.
- Adviesaanvraag Advieskamer Stortbesluit (AKS).

Met betrekking tot het eerste punt is Kiwa door het consortium ingeschakeld om advies te krijgen over welke foliesoorten geschikt kunnen zijn om een zonne-energiesysteem te integreren. Geadviseerd is om een afdichtingsfolie van HDPE of TPO toe te passen. Op basis hiervan en enkele andere uitgangspunten zijn een tweetal proefvelden aangelegd.

- Eén proefveld met een afdichtingsfolie (TPO) waarop flexibele zonnecellen (zonnefolie) zijn aangebracht.

- Eén proefveld met de traditionele afdichtingsfolie (HDPE) en daarop een frame met zonnepanelen.

Gedurende een periode van circa anderhalf jaar zijn gegevens verzameld met betrekking tot de opbrengsten, blijft de hechting van de zonnefolie op de afdichtingsfolie goed, wat is het effect van een stalen frame op de afdichtingsfolie etc.

Hierdoor is het mogelijk geweest om de proefvelden met elkaar te vergelijken onder andere op het gebied van opbrengsten, degradatie van de zonnepanelen/folie en het gedrag van de integratie op de afdichtingsfolie.

Er kan geconcludeerd worden dat beide systemen, zowel zonnefolie geïntegreerd op afdichtingsfolie als PV-panelen op frame op de afdichtingsfolie, geschikt zijn om toe te passen als een afdichting op een stortplaats. Beide systemen zouden ook op andere stortplaatsen kunnen worden toegepast zonder al te veel aanpassingen aan het systeem of de constructie hoeven door te voeren.

Duidelijk is wel dat het ontwerp nog verder geoptimaliseerd dient te worden als de afdichting in full scale wordt uitgerold. Hierbij valt te denken aan betere verankering of ballastering, efficiënter aanbrengen op het talud, ontwikkelen van een lekdetectiesysteem wat ook in droge periode een gat in de afdichtingsfolie kan signaleren.

De gegevens zijn verwerkt in een economisch model. Op basis van het economisch model kan voornamelijk geconcludeerd worden dat een afdichtingsfolie met daarop een frame met PV de beste variant is, tenzij de productiekosten voor zonnefolie dalen naar een bepaald niveau.

Parallel aan bovenstaande activiteiten is bij AKS een adviesaanvraag ingediend. De adviesaanvraag betreft de vraag of de voorgestelde alternatieve bovenafdichting in de vorm van een PV-afdichting een gelijkwaardig beschermingsniveau biedt ten opzichte van de referentieafdichting, zoals beschreven in de Richtlijn Dichte Eindafwerking in combinatie met de ENBB 24-06-08.

Normaliter wordt in het kader van het beschermingsniveau o.a. een minerale laag aangebracht onder de afdichtingsfolie. Met betrekking tot het beschermingsniveau heeft AKS in de 1^e fase van de adviesaanvraag geadviseerd om een lekdetectiesysteem toe te passen indien er onder de afdichtingsfolie geen minerale (afsluitende) laag wordt aangebracht.

Besloten is om daarom de proefvelden in de 2^e fase van de adviesaanvraag uit te breiden met een lekdetectiesysteem. Er zijn twee typen lekdetectiesystemen aangebracht. Omdat een dergelijk systeem nog nooit is toegepast op een openliggende afdichtingsfolie (het lekdetectiesysteem bij stortplaatsen ligt normaal gesproken onder de grond) is besloten om dit systeem mee te nemen in de adviesaanvraag.

Het gevolg is dat het advies van AKS met een half jaar is vertraagd en daarmee het project niet op de geplande 31 december 2016 is beëindigd, maar op 1 juli 2017.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	3
1 Inleiding	6
1.1 Aanleiding	6
1.2 Doelstelling.....	6
1.3 Werkwijze.....	7
2 Resultaten werkzaamheden en onderzoeken	9
2.1 Deliverables	9
2.2 Samenvatting werkzaamheden en onderzoeken.....	9
2.2.1 Materialen	10
2.2.2 Proefvelden	10
2.2.3 Economisch model.....	11
2.2.4 Adviesaanvraag AKS	12
2.3 Knelpunten tijdens uitvoering van het project.....	12
2.3.1 Zonnelieve op afdichtingsfolie	12
2.3.2 PV-panelen op frame op afdichtingsfolie	13
2.3.3 Lekdetectie.....	13
3 Conclusie en aanbevelingen.....	14
4 Mogelijkheden voor spin-off en vervolgactiviteiten	17
5 Publicaties.....	18

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In Nederland is er 1.400 ha aan IBC-stortplaatsen, waarvan nog 850 ha moeten worden afgedicht in de toekomst. Deze gesloten stortplaatsen kunnen worden beschouwd als ‘lost space’. Vanwege de aard van de stortplaats en de vele milieubeschermdende voorzieningen is een herbestemming slechts in zeer beperkte gevallen mogelijk.

In opdracht van de provincie Zuid-Holland en Van Gansewinkel Minerals is door Sweco een onderzoek uitgevoerd naar de toepassing van zonne-energie op stortplaatsen. Uit het onderzoek blijkt dat de stortplaats VBM op de Maasvlakte minimaal acht keer haar eigen energievoorziening zou kunnen produceren. Het toepassingspotentieel van zonne-energie op stortplaatsen wordt echter grotendeels bepaald door de mate van integratie tussen het zonnestelsel en de bovenafdichting van de stortplaats (PV-afdichting). In bijlage 1 is de rapportage (Roadmap: Zonne-energie op stortplaatsen en casus stortplaats VBM, 19 februari 2014) opgenomen.

1.2 Doelstelling

Ondanks de grote potentie worden PV afdichtingen op stortplaatsen nog slechts sporadisch toegepast. Verschillende oorzaken liggen hieraan ten grondslag.

- de stortplaats wordt eeuwigdurend afgedicht door een HDPE folie en minerale laag met daarbovenop een leeflaag (afdekgrond) van minimaal 0,8 m. Het plaatsen van zonnepanelen op de afgedekte stortplaats heeft een negatief effect op de vegetatie. Dit kan leiden tot het wegspoelen van de afdekgrond. Dit is een (te) hoog risico.
- Een stortplaats is een niet goed gedefinieerde ondergrond. Daardoor bestaat het gevaar van inklinken. Stortplaatsen zijn daarmee minder geschikt voor conventionele installaties met zonnepanelen.
- Het geaccepteerd krijgen van een nieuwe afdichting die niet alleen afdicht, maar ook duurzame energie produceert op de buitenste schil van de afdichting is een innovatie die veel tijd kan vergen.

Naar aanleiding van bovenstaande is de volgende hoofddoelstelling geformuleerd:

Een goedgekeurde PV-afdichting op stortplaatsen, wat leidt tot een reproduceerbaar systeemconcept van een optimale geïntegreerde zonne-energie afdichting voor stortplaatsen en een overzicht van andere landschapselementen en infrastructuur waar het systeemconcept ook gebruikt zou kunnen worden zonder fundamentele wijzigingen.

Om bovenstaande hoofddoelstelling te verwezenlijken zijn er een aantal nevendoelestellingen geformuleerd:

1. Voorbereiding op commerciële uitrol op de gehele zuidhelling van de VBM stortplaats. We houden als basisbeginsel zoveel als mogelijk dezelfde materialen, werkwijzen en processen aan als we in een 7 ha. groot veld zouden doen.

2. Zelf ervaring opdoen met het product. Werkt het? Zijn er verbeterpunten in ontwerp of proces te maken? Blijft het liggen? Hoe reageert het op windbelasting? Geloven we in de lektheid? Voldoet het aan de functionele specificatie?
3. Uitstraling richting stakeholders zoals AKS, Provincies Zuid-Holland en Gelderland, Van Gansewinkel management, Financiers. We zijn serieus bezig, we weten wat we doen, we gaan grondig te werk, het risico profiel is laag, "Het visitekaartje van het project". Het moet er dus goed verzorgd uit zien.
4. Onderzoeken van opbrengsten op deze specifieke locatie en met deze specifieke technologie. Dit is belangrijke input voor de business case en verlaagt het risicoprofiel.
5. Vergelijken van 'flexibele Geomembraam-PV oplossing' (ofwel zonnefolie) met 'traditionele glas-PV oplossing' (referentieproduct).

1.3 Werkwijze

Naar aanleiding van eerder genoemd onderzoek naar de toepassing van zonne-energie op stortplaatsen heeft Minerals een consortium gevormd. In dit consortium zitten de volgende bedrijven:

- VBM C.V. (Minerals, penvoerder).
- Sweco Nederland B.V., voorheen Grontmij Nederland B.V. (kennispartner beheer en afdichting van stortplaatsen).
- SEAC (onderzoeksorganisatie zonne-energie systemen en applicaties).
- Genap B.V. (leverancier en verlegger folie).
- HyET Solar B.V. (ontwikkelaar en producent zonnefolie).

Elk consortiumlid heeft haar eigen specialisme die benodigd is om de doelstellingen te verwezenlijken. Om het project binnen de vastgestelde termijn af te kunnen ronden, fungeert Minerals als penvoerder en voorzitter van het project. De penvoerder taak behelst het coördineren van de diverse taken en het organiseren, voorzitten en documenteren van projectbijeenkomsten en stuurgroep-bijeenkomsten. Voorts zijn halfjaarlijkse financiële voortgangsrapportages van het project opgesteld en is op jaarlijkse basis een inhoudelijke rapportage richting RVO verzorgd.

Het consortium heeft een projectplan (Zego-projecten 2014, PAS PV Afdichting op Stortplaatsen) opgesteld om het "Onderzoek naar een PV-systeem voor eeuwigdurende duurzame zorg voor stortplaatsen door opwekking van zonne-energie" te gaan uitvoeren.

Uit het projectplan kunnen de volgende hoofdtaken worden gefilterd:

- Onderzoek naar materialen die geschikt zijn om een zonne-energiesysteem te integreren op/met een afdichtingsfolie.
- Het aanleggen van een tweetal proefvelden en verzamelen van data.
- Het opstellen van een businessmodel.
- Adviesaanvraag aan Advieskamer Stortbesluit (AKS).

Het onderzoek is voorgelegd aan en uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Het consortium is met het onderzoek gestart op 1 januari 2015 en heeft het onderzoek op 1 juli 2017 beëindigd.

Met betrekking tot de proefvelden is ervoor gekozen om 1 proefveld te realiseren met de zonnefolie die wordt geproduceerd door een consortiumlid (HyET Solar) en om 1 proefveld te realiseren door een andere leverancier (SCX/Soltronergy). Dit laatste proefveld dient als referentiesysteem voor onder andere energieopbrengst, maar ook als proef met een ander PV-systeem en bevestigingssysteem.

Door het consortium is eenmaal per drie maanden, of indien noodzakelijk vaker, een overleg gevoerd met betrekking tot de status van bovenstaande hoofdtaken en zijn gezamenlijke beslissingen genomen over onder andere het ontwerp van de proefvelden, welke data verzameld moet worden, hoe de adviesaanvraag geformuleerd dient te worden etc. In totaal zijn er 20 overlegmomenten geweest.

Bij het onderzoek zijn, naast de consortiumleden, de volgende partijen betrokken:

- Provincie Zuid-Holland (verantwoordelijk voor nazorg na sluiten stortplaats)
- Advieskamer Stortbesluit (beoordeling gelijkwaardigheid alternatieve afdichting)
- KIWA (advies verschillende typen afdichtingsfolie)
- SCX (aanleg proefveld 2)
- Soltronergy (ontwerp proefveld 2)
- Van Doren (elektra)
- L.A.W. Tol (grondwerk)
- Van der Heide (bliksembeveiliging)
- Patentwerk (octrooionderzoek)
- SubVice (advies subsidieregelingen en begeleiding rapportages RVO)
- Texplor (lekdetectiesystemen)
- Progeo/Geologger (lekdetectiesystemen)
- Gemeente Rotterdam (bouwvergunning proefvelden)

2 Resultaten werkzaamheden en onderzoeken

2.1 Deliverables

In het projectplan Zego zijn de volgende Deliverables (opleverdocumenten) opgenomen.

- D3.1 Advies over marktcriteria en beste “Fall Back” route
- D3.2 Benchmark rapport
- D3.3 Lijst met voorgestelde vrijgavetesten
- D3.4 Product heeft meest kritische vrijgavetesten doorlopen
- D3.5 Veldtest is up & running (minstens 2 weken data)
- D3.6 Veldtest rapport: 1 jaar data
- D3.7 Economisch rapport: Exploitatierkening, opbrengstmodel en risicoanalyse

Door SEAC zijn de Deliverables D3.1 en 3.2 samengevat in het rapport “PV Afdichting op Stortplaatsen – T3.1 Benchmark rapport, SEAC, december 2015”. Door SEAC is onderzocht welke stortplaatsen wereldwijd reeds met PV zijn afgedicht en welke technieken daarbij zijn toegepast. Hierbij is specifiek gezocht naar projecten waarin de PV en de afdichting op enigerlei wijze zijn geïntegreerd en/of gelijktijdig zijn aangebracht. Ook is er gezocht naar referentiesystemen die in de veldtest konden worden toegepast.

Met betrekking tot de Deliverables D3.3 en D3.4 heeft Sweco een functionele specificatie opgesteld. Door een aantal sessies met experts van de consortiumleden en stakeholders te organiseren zijn functionele eisen aan het te ontwikkelen product opgesteld, zoals bijvoorbeeld weersbestendigheid, levensduur, zonne-energie opbrengst, product kosten, installatie methode en installatiekosten.

De resultaten zijn vastgelegd in het rapport “PV Afdichting op stortplaatsen, Taak 1.2: Functionele specificatie - versie 3, 22 juni 2015”.

Na het in bedrijfstellen van de beide proefvelden heeft SEAC gedurende de looptijd van het project data verzameld, zoals bijvoorbeeld opbrengst, irradiance (zonne-instraling), temperatuur openliggende foliegegevens, storingen etc. (Deliverables D3.5 en D3.6). Deze gegevens zijn tijdens het consortiumoverleg in november 2015, januari 2016, mei 2016, augustus 2016 en december 2016 gepresenteerd.

De rapportages zijn door SEAC samengevat in het document “Eindrapportage veldtest, SEAC, december 2016”.

De laatste Deliverable D3.7 is een door Sweco en SEAC opgesteld technisch-financieel model. In dit model wordt op hoofdlijnen een financiële vergelijking gemaakt van de varianten ten opzichte van een traditionele bovenafdichting. Aan de kostenkant betreffen dit voorbereidingskosten, investeringen, jaarlijkse kosten voor onderhoud en beheer en vervangingskosten. Aan de batenkant gaat het met name om de opbrengsten vanuit de elektriciteitsproductie.

De uitkomst van het economisch model is opgenomen in paragraaf 1.4.2.3.

2.2 Samenvatting werkzaamheden en onderzoeken

De volgende werkzaamheden/onderzoeken zijn uitgevoerd:

- Onderzoek naar materialen die geschikt zijn om een zonne-energiesysteem te integreren op/met een afdichtingsfolie.
- Het aanleggen van een tweetal proefvelden en verzamelen van data.

- Het opstellen van een economisch model.
- Adviesaanvraag aan de Advieskamer Stortbesluit (AKS).

2.2.1 *Materialen*

Met betrekking tot het eerste punt is Kiwa door het consortium ingeschakeld om advies te krijgen over welke foliematerialen er allemaal geschikt kunnen zijn om een zonne-energiesysteem te integreren. Geadviseerd is om een afdichtingsfolie van HDPE of TPO toe te passen. Op basis hiervan en enkele andere uitgangspunten die zijn bepaald in de functionele specificatie het specificatiedocument (SEAC, bijlage 7) is in oktober 2015 gestart met de aanleg van een tweetal proefvelden.

2.2.2 *Proefvelden*

Eén proefveld bestaat uit een afdichtingsfolie van TPO waarop flexibele zonnecellen (zonnefolie) zijn aangebracht. In oktober 2015 is het eerste deel van dit proefveld aangelegd. Hierbij is de zonnefolie door middel van een dubbelzijdige butyltape op de afdichtingsfolie aangebracht. In mei 2016 is het tweede deel van het proefveld aangelegd, waarbij gebruik is gemaakt van een verbeterde kwaliteit zonne-folie en van een andere verlijmingsmethode. De flexibele zonnefolie is door middel van vacuümverlijming, uitgevoerd bij extern bedrijf, op de een aparte strook afdichtingsfolie TPO aangebracht, welke daarna op de TPO afdichting is aangebracht door middel van lassen.

Het tweede proefveld bestaat uit de traditionele afdichtingsfolie (HDPE) en daarop een frame met zonnepanelen.

De testvelden liggen op het zuid-talud, zo ver mogelijk aan de oostzijde, tussen het banket (met puinweg) en de top. Er is gekozen voor het zuid-talud, omdat daar de meeste zon op valt. Oostelijke kant omdat dit het dichtste bij de waterzuivering ligt waar de geproduceerde elektriciteit naar wordt afgevoerd. Hoger op het talud omdat daar meer zon valt en omdat het testvlak daar minder in de weg ligt.

Op de onderstaande luchtfoto's (januari 2016) zijn de twee testvelden weergegeven.



Gedurende een periode van circa anderhalf jaar zijn onder andere gegevens verzameld met betrekking tot de opbrengsten, blijft de hechting van de zonnefolie op de afdichtingsfolie goed, wat is het effect van een stalen frame op de afdichtingsfolie etc.

2.2.3 Economisch model

De verzamelde gegevens zijn verwerkt in een economisch model. In het economisch model wordt onderscheidt gemaakt in een aantal scenario's:

- Scenario 0: De bovenafdichting wordt traditioneel aangelegd zonder PV.
- Scenario 1: Een alternatieve bovenafdichting bestaande uit HDPE-folie met PV (kristallijne panelen).
- Scenario 2: De bovenafdichting wordt traditioneel aangelegd met PV (kristallijne panelen)..
- Scenario 3: Een alternatieve bovenafdichting bestaande uit TPO-folie met zonnefolie. Waarbij een uitsplitsing (4a, 4b en 4c) is gemaakt naar de te verwachten prijsontwikkeling van de zonnefolie.

De scenario's zijn doorgerekend voor een periode van 30 jaar. Dit komt overeen met de verwachte vervangingstermijn van de PV en de afdichtingsconstructie. De lening wordt echter al na 15 jaar afgelost.

Onderstaand is de uitkomst van het economisch model samengevat in een tabel.

Kosten PV afdichting van stortplaatsen*	0	2	1	3a	3b	3c
Afdichting						
Afdichting scenario	Traditioneel	Traditioneel	HDPE	TPO	TPO	TPO
Afdichting kosten	-€ 4 397 700	-€ 4 397 700	-€ 2 369 700	-€ 3 008 700	-€ 3 008 700	-€ 3 008 700
PV						
Keuze	Geen PV	Kristalijn op glas	Kristalijn op glas	Folie 0.90 €/Wp	Folie 0.60 €/Wp	Folie 0.30 €/Wp
PV opbrengsten	-	€ 12 456 724	€ 12 456 724	€ 9 389 104	€ 9 389 104	€ 9 389 104
PV aanlegkosten	-	-€ 7 642 880	-€ 8 538 880	-€ 8 957 760	-€ 6 941 760	-€ 4 925 760
PV onderhoud en financiering**	-	-€ 1 409 626	-€ 1 553 820	-€ 1 576 320	-€ 1 251 882	-€ 927 444
PV netto contante waarde	-	€ 3 404 218	€ 2 364 024	-€ 1 144 976	€ 1 195 462	€ 3 535 899
Totaal	-€ 4 397 700	-€ 993 482	-€ 5 676	-€ 4 153 676	-€ 1 813 238	€ 527 199
Financieel voordeel t.o.v. scenario 0		€ 3 404 218	€ 4 392 024	€ 244 024	€ 2 584 462	€ 4 924 899

* opbrengsten en kosten verdisconteerd naar netto contante waarde over periode van 30 jaar

** lening wordt na 15 jaar al afgelost

Uit bovenstaande tabel blijkt dat een traditionele afdichting met PV over een periode van 30 jaar een financieel voordeel kan opleveren van circa 3,4 miljoen euro ten opzichte van de traditionele afdichting zonder PV-panelen. Wordt er een alternatieve afdichting aangelegd met HDPE en PV-panelen dan is het financieel voordeel zelfs 4,4 miljoen euro over 30 jaar. De alternatieve afdichting van TPO met zonnefolie wordt, ten opzichte van HDPE met PV-panelen, wordt pas interessant als de kostprijs voor de zonnefolie onder de €0,60/Wp daalt.

Opgemerkt dient te worden dat er nog geen definitief ontwerp is van de bovenstaande varianten. Daarnaast is in het economisch model met een minerale laag onder de afdichtingsfolie gerekend in plaats van met het alternatief, de mogelijk goedkopere, lekdetectiesystemen. Het economisch model is daarom dusdanig ingericht dat nieuwe data op een eenvoudige wijze in het model kan worden doorgevoerd.

2.2.4 *Adviesaanvraag AKS*

Parallel aan bovenstaande activiteiten is bij AKS een adviesaanvraag ingediend. De adviesaanvraag betreft de vraag of de voorgestelde alternatieve bovenafdichting in de vorm van een PV-afdichting een gelijkwaardig beschermingsniveau biedt ten opzichte van de referentieafdichting, zoals beschreven in de Richtlijn Dichte Eindafwerking in combinatie met de ENBB 24-06-08.

De eerste fase van het AKS-advies betrof het opstellen van risicomatrix door het consortium. Hierbij is aandacht voor de kans en het effect van ongewenste gebeurtenissen alsmede voor te treffen maatregelen.

Dit eerste advies diende als input voor de definitieve adviesaanvraag. Naar aanleiding van bovenstaande aanbevelingen is de risicomatrix aangepast en ontbrekende informatie aan AKS geleverd.

Tevens is besloten om twee lekdetectiesystemen, elk van een andere leverancier, op de proefvelden aan te brengen en te testen onder toezicht van onafhankelijke certificerende instellingen. Onderdeel van het onderzoek is het bepalen of het lekdetectiesysteem de gebruikelijke minerale (afsluitende) laag onder de afdichtingsfolie kan vervangen. Daarnaast is een dergelijk systeem nog nooit toegepast op een openliggende afdichtingsfolie bij stortplaatsen. Het systeem ligt normaal gesproken onder de (vochtige) grond. Door het ontbreken van een grondlaag vindt er geen geleiding van de signalen plaats, wat nodig is om een gat te lokaliseren. Er kan dus enkel een gat gedetecteerd worden als de folie vochtig is.

In de periode van juli 2016 tot en met december 2016 zijn beide systemen aangebracht en testen uitgevoerd. De uitkomst van de testen is dat beide systemen geschikt zijn om toegepast te worden in de configuratie van allebei de proefvelden.

2.3 **Knelpunten tijdens uitvoering**

2.3.1 *Zonnesfolie op afdichtingsfolie*

Met betrekking tot de zonnepolie zijn de volgende knelpunten geconstateerd:

- Verwerking/plakken van zonnepolie met dubbelzijdige butyltape in de buitenlucht in een koude periode is zeer bewerkelijk. De hechting van de tape is beter als de temperatuur boven de 5 graden is. E.e.a. kan voorkomen worden door de integratie van zonnepolie op de afdichtingsfolie plaats te laten vinden op een productielocatie.
- Als de zonnepolie op een andere productielocatie wordt geïntegreerd op de afdichtingsfolie met behulp van dubbelzijdige butyltape is gebleken dat het product niet compact genoeg oprolbaar is om te kunnen transporteren naar de locatie. Bij het te compact oprollen bestaat namelijk de kans dat de hechting van de zonnepolie op de afdichtingsfolie los laat. Het probleem van oprollen kan worden opgelost door middel van vacuüm lamineren in plaats van het gebruik van dubbelzijdig butyltape.
- Tijdens de aanleg van het proefveld was het alleen mogelijk om de integratie door middel van vacuüm lamineren batchgewijs (geen continu proces) te laten plaatsvinden. Dit betekende dat er stroken konden worden geproduceerd van maximaal 2 bij 3 m i.p.v. de gewenste lengte van 28 m (hellingslengte stortplaats). Als de zonne-afdichting in full-scale moet worden uitgelegd verdient het de aanbeveling om te investeren in een continu proces.
- Omdat zonnepolie niet op een HDPE-folie kan worden "geplakt" is gekozen voor TPO. Omdat TPO enkel in smalle stroken van 2 m breed worden geproduceerd vindt er veel laswerk plaats ten opzichte van HDPE-folie die in stroken van 7 meter breed worden geleverd.
- Aangezien het een redelijk klein proefveld betreft, is het lastig gebleken om de afdichtingsfolie zo te verankeren dat er minimale vervormingen in de afdichtingsfolie, maar ook in de zonnepolie, optreden. Het gevolg is dat er geen egaal oppervlak wordt

gerealiseerd. De verwachting is dat in een full-scale fase dergelijke problemen minder aan de orde zullen zijn.

- Tijdens de eerste maanden, waarin het proefveld in werking was, zijn er problemen geconstateerd in de opbrengst van het veld. In eerste instantie werden de problemen gezocht in de aansluitingen en de instellingen van de omvormer. Dit bleek gedeeltelijk juist te zijn. Het aansluiten op de omvormer dient goed te gebeuren en de juiste omvormer dient te worden gekozen anders is de opbrengst niet optimaal.
- Daarnaast is gebleken dat ook de grondstoffen die zijn gebruikt voor de productie van de zonnefolie op de proefvelden niet geschikt zijn. Er treedt te snel degradatie van de zonnefolie op. Na diverse testen is duidelijk geworden welke grondstoffen wel geschikt zijn. HyET heeft nieuwe zonnefolie geproduceerd en aan diverse testen onderworpen. Uit de testen blijkt dat de nieuwe zonnefolie voldoet aan de eisen die gesteld zijn aan de toegestane maximale degradatie in een periode van 25 jaar.
- Onderhoud is mogelijk, maar TPO heeft een glad oppervlak. Hierdoor moeten in de full scale mogelijk looppaden worden aangebracht. Te denken valt aan rubberen matten.

2.3.2 *PV-panelen op frame op afdichtingsfolie*

Met betrekking tot de PV-panelen op frame zijn de volgende knelpunten geconstateerd:

- Het plaatsen van een stalen frame op een helling is zeer bewerkelijk. Het werken met lichtere materialen, maar die qua duurzaamheid en sterkte vergelijkbaar zijn met een stalen frame verdient de voorkeur.
- De wijze van plaatsen en bevestigen van het stalen frame moet op een dusdanige manier gebeuren, zodat bij gebruik van een lekdetectiesysteem wordt voorkomen dat het signaal via het frame gaat lopen. Gevolg is dat de meting wordt verstoord. Oplossing is het toepassen van bijvoorbeeld rubber onder het frame of een andere materiaal voor het frame gebruiken.
- Aangezien het een redelijk klein proefveld betreft, is het lastig gebleken om de afdichtingsfolie zo te verankeren dat er minimale vervormingen in de afdichtingsfolie optreden. Het gevolg is dat er dus geen egaal oppervlak wordt gerealiseerd. De verwachting is dat in een full-scale dergelijke problemen minder aan de orde zullen zijn.
- Tijdens de eerste weken, waarin het proefveld in werking was, zijn er problemen geconstateerd in de opbrengst van het veld. De problemen zaten in de aansluitingen en de instellingen van de omvormer. Het aansluiten op de omvormer dient goed te gebeuren en de juiste omvormer dient te worden gekozen anders is de opbrengst niet optimaal.

2.3.3 *Lekdetectie*

In het kader van de wens om lekdetectie toe te passen zijn de volgende knelpunten geconstateerd:

- Elektrische geleidbaarheid van het stalen frame met daarop de PV-panelen. Deze verstoren de meting. Oplossing is zoeken naar een frame dat niet geleidend is.
- In het proefveld was er sprake van randoverslag. Omdat de bovenkant van de folie via de zijkanen in contact staat met de onderkant van de folie, zal het signaal over de randen gaan in plaats van door een gat in de afdichtingsfolie. Hier is nog geen oplossing voor.
- Beide lekdetectiesystemen werken op basis van geleiding. Door het ontbreken van de grondlaag aan de bovenzijde van de afdichtingsfolie ontbreekt het medium wat voor deze geleiding zorgt. Hierdoor kan in een droge periode geen meting worden uitgevoerd. Er lopen op dit moment gesprekken met een tweetal leveranciers van lekdetectiesystemen om te zoeken naar een oplossing om ook in droge periode, zonder het hoeven natmaken van de afdichtingsfolie, toch een gat te kunnen detecteren.

3 Conclusie en aanbevelingen

Om de hoofddoelstelling te verwezenlijken zijn er een aantal nevendoelestellingen geformuleerd:

1. Voorbereiding op commerciële uitrol op de gehele zuidhelling van de VBM stortplaats. We houden als basis beginsel zoveel als mogelijk dezelfde materialen, werkwijzen en processen aan als we in een 7 ha. groot veld zouden doen.
2. Zelf ervaring opdoen met het product. Werkt het? Zijn er verbeterpunten in ontwerp of proces te maken? Blijft het liggen? Hoe reageert het op windbelasting? Geloven we in de lektheid? Voldoet het aan de functionele specificatie?
3. Uitstraling richting stakeholders zoals AKS, Provincie Zuid-Holland, Provincie Gelderland, Van Gansewinkel management, Financiers. We zijn serieus bezig, we weten wat we doen, we gaan grondig te werk, het risico profiel is laag, "Het visitekaartje van het project". Het moet er dus goed verzorgd uit zien.
4. Onderzoeken van opbrengsten op deze specifieke locatie en met deze specifieke technologie. Dit is belangrijke input voor de business case en verlaagt het risicoprofiel.
5. Vergelijken van 'flexibele Geomembraam-PV oplossing' met 'traditionele glas-PV oplossing' (referentieproduct).

Ad 1. Bij de aanleg van de proefvelden is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van materialen die goed in de markt te verkrijgen zijn en geschikt en goed bevonden zijn om als alternatieve afdichting met een PV-systeem te dienen. Daarnaast is bij de aanleg van de proefvelden zoveel mogelijk rekening gehouden met de wensen/eisen van de diverse Stakeholders

Ad 2. De wijze waarop de integratie van zonnefolie op de afdichtingsfolie plaats heeft gevonden is nogal bewerkelijk en arbeidsintensief. Echter, na circa 1,5 jaar in de buitenlucht is de hechting, op basis van zowel de dubbelzijdige tape als het vacuüm lamineren, van de zonnefolie aan de afdichtingsfolie nog steeds goed. De werkwijze waarop het geïntegreerde product op het talud is aangebracht is eveneens bewerkelijk. De verwachting is dat bij een grote uitrol dit aanzienlijk vereenvoudigd kan worden. Daarnaast is gebleken dat er de juiste grondstoffen voor de productie van zonnefolie moeten worden gebruikt om vroegtijdige degradatie van de zonnefolie te voorkomen.

De variant waarbij de PV-panelen op een frame op de afdichtingsfolie wordt aangebracht moet nog verder worden geoptimaliseerd. Hierbij gaat de aandacht voornamelijk uit naar goedkopere materialen, betere verankeringsmethoden en het voorkomen van elektrische geleiding in het geval er een lekdetectiesysteem wordt toegepast.

Bij beide varianten is het noodzakelijk om ook een goed ontwerp voor de opvang van regenwater te zorgen. In de traditionele afdichting heeft de bovenlaag een bufferende functie. Bij de alternatieve varianten zal in een korte periode veel water het talud afstromen.

Op basis van temperatuurmetingen van de openliggende folies en hun productspecificaties kan geconcludeerd worden dat als gevolg van warmte of koude beide folies zeer minimaal zullen vervormen en schade als gevolg van rek- en krimp vrijwel uit te sluiten zijn. Gedurende het project zijn in het veld visueel ook geen vervormingen/schades geconstateerd.

Beide varianten hebben op het proefveld een goed resultaat gehad met betrekking tot windbelasting. In anderhalf jaartijd zijn er enkele perioden geweest met sterke wind. Gebleken is dat beide proefvelden blijven liggen en geen schade hebben opgelopen als gevolg van de sterke wind.

Echter, bij het uitwerken van een definitief ontwerp zal goed moeten worden gekeken naar de wijze waarop de verankering en ballastering van de afdichtingsfolie plaats vindt omdat het dan een groter oppervlakte betreft. Bij het toepassen van PV-panelen op een frame wordt de afdichtingsfolie op het talud gehouden, maar bij het toepassen van zonnefolie wordt het geïntegreerde product niet met een frame op de plek gehouden.

Er kan met enige zekerheid worden gesteld dat als er een minerale (afsluitende) laag onder de afdichtingsfolie wordt aangebracht dat de lekdichtheid wordt gegarandeerd.

- Ad 3. Gedurende de looptijd zijn de diverse stakeholders een of meerdere malen bij het proefveld wezen kijken. De reactie zijn positief. Ook hebben zij enkele aandachtspunten, zoals bijvoorbeeld dat in een korte periode grote hoeveelheden regenwater dat het talud zal afstromen bij het niet toepassen van een bufferende grondlaag, naar voren gebracht. De aandachtspunten zijn meegenomen in de adviesaanvraag aan AKS.
- Ad 4. Gedurende de looptijd zijn verschillende gegevens verzameld, zoals opbrengsten, instraling, temperatuur van de afdichtingsfolie. E.e.a. is uiteindelijk verwerkt in het economisch model dat dusdanig is ingericht dat nieuwe informatie makkelijk kan worden verwerkt.
- Ad 5. Door de aanleg van beide proefvelden en het bijhouden/interpreteren van de gegevens is het mogelijk geweest om de proefvelden met elkaar te vergelijken onder andere op het gebied van opbrengsten, degradatie van de zonnepanelen/folie en het gedrag van de integratie op de afdichtingsfolie. Op basis van het economisch model kan vooralsnog geconcludeerd worden dat een afdichtingsfolie met daarop een frame met PV de economisch beste variant is, tenzij de productiekosten voor zonnefolie dalen naar een bepaald niveau.

Toepassingsperspectief

Naast bovenstaande nevendoelestellingen is in het kader van het onderzoek de volgende hoofddoelstelling geformuleerd:

Een goedgekeurde PV-afdichting op stortplaatsen, wat leid tot een reproduceerbaar systeemconcept van een optimale geïntegreerde zonne-energie afdichting voor stortplaatsen en een overzicht van andere landschapselementen en infrastructuur waar het systeemconcept ook gebruikt zou kunnen worden zonder fundamentele wijzigingen.

Op basis van de diverse onderzoeken gedurende het PAS-project kan geconcludeerd worden dat beide systemen, zowel zonnefolie geïntegreerd op afdichtingsfolie als PV-panelen op frame op de afdichtingsfolie, geschikt zijn om toe te passen als een afdichting op een stortplaats. Beide systemen zouden ook op andere stortplaatsen kunnen worden toegepast zonder al te veel aanpassingen aan het systeem of de constructie hoeven door te voeren. Maar er valt ook te denken aan bijvoorbeeld aan het afdekken van dijken en aarden geluidswallen.

Duidelijk is wel dat het ontwerp nog verder geoptimaliseerd dient te worden als de afdichting in full scale wordt uitgerold. Hierbij valt te denken aan betere verankering of ballastering, efficiënter aanbrengen op het talud, ontwikkelen van een lekdetectiesysteem wat ook in droge periode een gat in de afdichtingsfolie kan signaleren.

Duurzame energiehuishouding

Uit het onderzoek is gebleken dat door toepassing van een van beide systemen op de stortplaats van Van Gansewinkel Minerals zij hierdoor voor een groot deel in hun eigen energiebehoefte kan voorzien. Mocht in de toekomst op locatie de activiteiten worden beëindigd, dan zijn in de gebied rondom de locatie voldoende potentiële afnemers aanwezig. Naast de aanwezige industrie heeft ook de gemeente West-Voorne ook al interesse getoond.

Kennispositie

De Nederlandse kennispositie is door dit project versterkt. Van Gansewinkel Minerals toont ambitie in de verdere verduurzaming van stortplaatsen, Sweco is een internationaal toonaangevend adviesbureau onder andere op het gebied van het beheren/controleren van stortplaatsen, HyET Solar is een van de weinige mondiale maar wel in Nederland gevestigde zonne-folieproducent, ECN/SEAC is een toonaangevende kennisinstelling rond PV en Genap onderscheidt zich mondiaal met innovatieve folietoepassingen. Dit project kan de Nederlandse positie versterken. Er liggen interessante toepassingsmogelijkheden binnen Nederland en biedt interessante exportmogelijkheden van de kennis en toepassing van deze nieuwe technieken in de rest van de wereld. Het ontwikkelde product heeft als kerneigenschappen de zonne-energie productie, flexibiliteit, lange levensduur, waterafdichting en lage kosten per m². Hiermee zal het product ook uitermate geschikt zijn voor toepassing in ander gebieden en de bouw en infrastructuur. De informatie-uitwisseling tussen dit project en het "Eerbeek"- project, waar een vergelijkbaar systeem wordt getest, versterkt de Nederlandse kennispositie extra: er ontstaat een brede basis voor verdere toepassing en uitrol. Bij dit project is naast HyET Solar en Genap ook de Provincie Gelderland betrokken.

4 Mogelijkheden voor spin-off en vervolgactiviteiten

De resultaten van het onderzoek laten zien dat het er zeker potentie is om de Deponie Maasvlakte te voorzien van een alternatieve afdichting gecombineerd met een zonne-energiesysteem. Het PV-systeem is zo ontworpen dat het ook de potentie heeft om op andere Deponieën in binnen- en buitenland toegepast te kunnen worden.

Er zijn echter nog een aantal zaken die nader moeten worden uitgewerkt. Zoals bijvoorbeeld het "eigenaarschap" van het zonne-energiesysteem, wat wordt het definitieve ontwerp, goedkeuring van de Nazorgorganisatie van de desbetreffende Provincie waar de Deponie zich bevindt, etc.

Onderdeel van het definitief ontwerp is de wens om toch een lekdetectiesysteem toe te passen in plaats van een minerale laag onder de afdichtingsfolie. Dit betekent mogelijk aanvullend onderzoek (uitvoeringstechnisch/financieel). De eerste acties zijn uitgezet om te bepalen of verdergaand onderzoek al dan niet gewenst is.

Gezien de 30-jaarscriterium uit het Stortbesluit zijn er op de Deponie Maasvlakte al een aantal stortfasen die over enkele jaren afgedicht moeten worden. Dit zou een mooi moment kunnen zijn om de alternatieve afdichtingsconstructie aan te brengen.

Beide systemen zijn tevens toepasbaar op dijken en aarden geluidswallen. Er zijn al enkele verkennende gesprekken geweest met partijen zoals Rijkswaterstaat en Hoogheemraadschappen.

5 Publicaties

Dit verslag en alle in dit verslag genoemde documenten kunnen opgevraagd worden bij Van Gansewinkel Minerals. Dit verslag zal tegen een nader te bepalen vergoeding worden verstrekt. Contactinformatie is te vinden op pagina 2 “Verantwoording”.

- Haalbaarheid van afdichtingsconstructie met zonnepanelen, Kiwa, Kenmerk DKW 15007JB, 30 juni 2015.

Kiwa heeft een studie verricht naar de haalbaarheid van de plaatsing van zonnepanelen in combinatie met de bovenafdichting. De studie is onderverdeeld in drie delen. De huidige standaard bovenafdichting wordt beschouwd en er zijn eisen uitgewerkt waaraan een alternatieve afdichting dient te voldoen. Er worden verschillende kunststoffolies beschouwd die kunnen worden toegepast als alternatieve bovenafdichting en op welke manier zonnepanelen/folie hierop kunnen worden geïntegreerd.

- PAS veldtest: Specificatiedocument status, SEAC, 22 september 2015.

Dit document beschrijft de opbouw van de veldtest op basis van functionele specificatie, de studie van Kiwa etc..

- Plan van aanpak, Loswalweg 50 te Rotterdam (solarproefvak), Texplor, kenmerk 20160013_2MR, 2 juni 2016.

Het doel van dit plan van aanpak is om inzicht te verkrijgen in de technische mogelijkheden van het permanente lekdetectiesysteem van Texplor, als vervanging van de minerale laag onder de folieconstructie, gecombineerd met een openliggende folieconstructie.

- Solar afdichting, Geo-elektrische test-/kwaliteitsmetingen MSS® lekdetectie systeem, Texplor, kenmerk 20160045TM_v1, 13 december 2016.

Beschrijving van de resultaten van de proef met lekdetectie van Texplor op een openliggende folieconstructie.

- Installatie lekdetectiesysteem ProGeo, kenmerk MB160913_Kal_Inbetriebe_C3_Testfeld, 13 september 2016.

Beschrijving van de installatie van het lekdetectiesysteem van ProGeo.

- Testrapport “Evaluation of a geo-electrical liner leak detectionsystem to detect leaks in a single liner capping system of C3 hazardous waste landfill at Rotterdam, NL”, Progeo, december 2016.

Beschrijving van de resultaten van de proef met het lekdetectiesysteem van ProGeo op een openliggende folieconstructie.

- Artikel “Pv on landfills – A Dutch case study using flexible PV Modules”, SEAC.

*Artikel is geschreven ten behoeve van de conferentie EU PVSEC in september 2017.
Het artikel beschrijft de uitgevoerde werkzaamheden en resultaten van het onderzoeksproject.*