Monolith pilotproef

Destructief onderzoek op stortplaats A&G Maasvlakte

Stichting Duurzaam Storten

Colofon

Titel	:	Monolith pilotproef, Destructief onderzoek op stortplaats A&G Maasvlakte
Datum	:	Februari 2009
Contact	:	Stichting Duurzaam Storten, P/a Vereniging Afvalbedrijven Hugo de Grootlaan 39 Postbus 2184 5202 CD ‘s-Hertogenbosch
E-mail adres	:	kok@verenigingafvalbedrijven.nl
Auteur(s)	:	A. van Zomeren vanzomeren@ecn.nl H. A. van der Sloot vandersloot@ecn.nl
Rapport-nummer	:	ECN-X-08-044

Verantwoording

Dit project is uitgevoerd in opdracht van A&G Maasvlakte onder projectnummer 8.27634.

Abstract

This project describes the dismantling of the stabilized waste pilot experiment at the A&G Maasvlakte disposal site. The project was part of the Dutch sustainable landfill project. In April 2007, the stabilized waste pilot experiment was dismantled and samples were taken at different parts within the landfill. Leaching tests were carried out on these fractions and compared with earlier measurements on laboratory, lysimeter and pilot scale.

Inhoudsopgave

1. Inleiding 9

2. Materialen en methoden 11

2.1 Proefopzet proefpilot 11
2.2 Monstername destructief onderzoek 13
2.3 Monstervoorbehandeling 14
2.4 pH-stat uitloogtesten 14
2.5 Poriegrootteverdeling 14
2.6 Overzicht monsters en analyses 14

3. Resultaten en discussie 17

3.1 Visuele inspectie 17
3.2 Mobiliteit van verontreinigingen in immobilisaat 20
3.3 Werking verticale drainagematten 22
3.4 Uitlooggedrag als functie van pH 23
3.5 Samenhang laboratoriumgegevens en veldmetingen 25

4. Conclusies en aanbevelingen 27

4.1 Conclusies 27
4.2 Aanbevelingen 29

5. Referenties 31

Bijlage A 33

Verslag monstername en inspectie duurzaam storten compartimenten VBM (27-04-'05) 33

Bijlage B 47

Resultaten pH-stat experimenten vers geproduceerd gestabiliseerd afval (recept 2100) 47

Bijlage C 51

Resultaten pH-stat experimenten gestabiliseerd afval (recept 2100) uit cel C (ingepakt) 51

Samenvatting

Na afloop van de pilotproef Duurzaam storten op stortplaats A&G Maasvlakte is besloten de stortcellen gecontroleerd af te breken en monsters te nemen in verschillende delen van de pilotproef. De monstername en analyse van materiaal uit verschillende delen van de proef dient ter onderbouwing van ontwikkelde kennis over processen in een monoliet stortplaats.

Het doel van het destructief onderzoek is om de algemene staat van het immobilisaat in kaart te brengen (boven oppervlak, verticaal oppervlak langs geotextiel, diepteprofiel, onderzijde immobilisaat, grondlaag). Daarnaast kunnen de chemische eigenschappen in de verschillende delen gemeten worden. De metingen op verschillende plekken in het immobilisaat zijn in de wetenschappelijke literatuur nog onderbelicht en zullen daarom een bijdrage leveren aan het begrip van het praktijkgedrag van gestabiliseerd afval.

De stortcellen zijn gecontroleerd afgebroken met hulp van een graafmachine. Er zijn monsters genomen op verschillende plekken binnen het stortlichaam en er zijn diepteprofielen bemonsterd met behulp van kernen. Op het laboratorium zijn de monsters verder bewerkt en zijn uitloogproeven uitgevoerd.

De drie cellen die gedurende de looptijd van het project blootgesteld waren aan de lucht/regen zijn na 4 jaar zichtbaar verweerd tot een diepte van 20-30 cm. Scheurvorming en zwelling van het immobilisaat was duidelijk zichtbaar. Tot op een diepte van ongeveer 15-20 cm is een deels geneutraliseerde pH gemeten. De pH dieper in het immobilisaat (>20 cm) was nog steeds boven de 11.

De aan de atmosfeer blootgestelde stortcellen (B en D) waren gemakkelijk te verwijderen met de graafmachine. Op diepten lager dan 50 cm kwam het immobilisaat eruit als brokken van 20-50 cm in diameter. Er wordt geconcludeerd dat blootstelling van immobilisaat aan de lucht en regenwater een negatief effect heeft op de sterkte van het immobilisaat, waarschijnlijk onder andere doordat zouten uitspoelen waardoor de porositeit groter wordt.

De ingepakte cel (cel C) was veel harder dan het aan de atmosfeer blootgestelde materiaal en zag er anders uit in vergelijking met de blootgestelde cellen. Het materiaal was zeer hard, grijs in kleur en er waren geen scheuren of zwelling zichtbaar. Het immobilisaat brak bij verwijdering in zeer grote brokken van soms wel ongeveer 1 m^3. Dit betekent dat afscherming van het immobilisaat van lucht/regenwater leidt tot een toename van de sterkte na 4 jaar tijd.

De concentraties van hoofd en sporenelementen gemeten in schudproeven uitgevoerd op deelmonsters uit boorkernen die verzameld zijn door de hele pilotproef heen (opervlak, binnenin), sluiten goed aan bij de concentraties gemeten in pH stat proeven, hetgeen erop duidt er sprake is van een grote consistentie in de meetdata.

De omstandigheden in cel C zijn grotendeels overeenstemming met de omstandigheden in de praktijksituatie bij A&G Maasvlakte. De monoliet is namelijk tientallen meters hoog en naar alle waarschijnlijkheid binnenin droog en zonder aanwezigheid van lucht. Dit impliceert dat het

immobilisaat in de stortplaats onder de juiste condities verder uithart en een hogere druksterkte ontwikkelt.

De pH stat metingen aan immobilisaat uit de cellen B en C komen goed overeen met de resultaten van veldmetingen en lysimeter proeven. De testresultaten laten zien dat het uitlooggedrag van verontreinigingen in gestabiliseerd afval zeer systematisch is.

Uit de pH-stat uitloogproeven wordt geconcludeerd dat de emissies van bijna alle verontreinigingen (behalve Sb) voldoen aan de normen voor gevaarlijk (granulair) afval binnen het relevante pH bereik dat in de praktijk tussen 8 en 12 zal liggen. De emissies van Ba, Br, Ca, Cd, Cl, Co, K, Li, Mg, Na, Ni, Pb Se, Sn en Zn nemen sterk af na veroudering van het immobilisaat (in het gebied tussen pH 8 en 12), zowel uit cel B als cel C. Dit impliceert dat de emissies op langere termijn lager zullen zijn dan uit de proeven op vers materiaal blijkt. Deze conclusie zou verder onderbouwd moeten worden met meer gegevens van verouderd materiaal uit de stortplaats. Voor de oplosbare zouten (Br, Cl, K en Na) geldt dat hier sprake is van uitspoeling. De oplosbaarheid van de overige elementen wordt door chemische processen bepaald.

Samenvattend zouden de volgende maatregelen in de praktijk kunnen worden toegepast om de stortplaats meer duurzaam te bedrijven:

Voer hemelwater zo snel mogelijk af via een talud en zorg voor zo kort mogelijke contacttijd met het immobilisaat. Dit zorgt voor een duurzamer immobilisaat en daarmee voor lagere emissies. In de operationele fase wordt een blootgestelde bovenlaag gemiddeld binnen 2 maanden afgedekt met nieuw immobilisaat, waarmee de blootstelling veel korter is dan de 4 jaar blootstelling in de pilotproef. Hierdoor zal de aantasting door uitspoeling van mobiele zouten in die fase beperkt zijn.

In de afsluitfase zou de complete cel kunnen worden afgedekt met een bovenafdekking en een afwerking van de taluds met immobilisaat/afvalstoffen met een hoger bindmiddel gehalte, waardoor de afspoeling beter verloopt en indringen vermindert wordt.

De verticale drainagematten (geotextiel) werken in de praktijk zeer waarschijnlijk maar heel beperkt, omdat er geen noemenswaardige zoutuitspoeling in de wanden van de drains is opgetreden. Wellicht kan worden bekeken of er andere oplossingen zijn om het hemelwater snel af te voeren, bijvoorbeeld door het creëren van een groter afschot (voor zover dit niet al wordt gedaan in de praktijk).

Blijf de grondlaag toepassen aan de onderzijde van het immobilisaat. De grondlaag introduceert een extra veiligheid voor lagere emissies van zware metalen (alhoewel dit proces niet in detail gemeten kon worden in dit project door praktische problemen).

Het huidige project gaf een verstoord beeld van de waterbalans rondom het storten van gestabiliseerd afval. Het zal in de praktijk waarschijnlijk onmogelijk blijken om een gesloten waterbalans te creëren. Echter, een nauwkeuriger schatting van de hoeveelheid water die met het afval in contact komt zou helpen bij de lange termijn voorspellingen van emissies (o.a. de bronterm voor verspreiding van verontreinigingen). Er wordt aanbevolen om een aanvullende praktijkproef in te richten op de stortplaats waarbij rekening gehouden wordt met de lessen die uit het huidige project zijn geleerd. In een aanstaand project kan ook een nieuwe poging worden gedaan om de onderliggende grondlaag ongestoord te kunnen bemonsteren. Daar-

naast wordt aanbevolen om boorkernen te nemen uit de reguliere stort (bij voorkeur verouderd materiaal op verschillende diepten in de stort). Op deze manier kan geverifieerd worden of de in dit project geobserveerde processen zich in dezelfde mate afspelen in het stortlichaam. Het is met name van belang inzicht te verkrijgen in de mate van waterverzadiging in het inwendige van de stort. Hiermee kan de vraag worden beantwoordt in welke mate diffusief transport van zouten plaatsvindt. De resultaten van de pilotproef duiden op een mate van verzadiging van ca. 50 %. Echter door de run-off problemen van naast gelegen cellen is niet eenduidig vast te stellen of deze waarde ook maatgevend is voor de praktijk. Deze proeven zijn onder andere belangrijk om de ontwikkeling van de sterkte in de praktijk te toetsen en te onderbouwen.

Het wordt aanbevolen om de pH-stat test te gebruiken als basis voor beoordeling van oplos-baarheidcontrolerende processen. Concentraties blijken namelijk gelijk over een heel groot L/S traject, hetgeen betekent dat alleen verandering van pH onder invloed van carbonatatie significante verandering van concentratie niveau met zich meebrengt. Deze processen kunnen meegenomen worden in de modellering voor de ontwikkeling van regelgeving voor gestabiliseerd afval. Nu al kan worden vastgesteld dat immobilisaat voor een reeks van sporenelementen aan stort criteria van EU Landfill Directive voldoet. De impact van oplosbare zouten kan worden gemodelleerd op basis van diffusiecontrole (met gegevens uit de tanktest) waarbij rekening gehouden wordt met nat/droog cycli. Vanwege het complexe karakter van de zout emissie zijn de gevolgen voor de regelgeving met betrekking tot zouten nog niet duidelijk. Met name de percolaat productie en de mate van waterverzadiging in het immobilisaat zijn daarbij van belang. Het wordt aanbevolen om hier aandacht aan te besteden.

1. Inleiding

Na de opbouw van de pilotproef Duurzaam Storten op de deponie A&G Maasvlakte zijn metingen aan het percolaat- en run-off water uitgevoerd. De monitoring is eerder gestopt dan oorspronkelijk voorzien door verstoring van percolaatwater uit het omringende compartiment in fase 602. De resultaten van de pilotproef zijn beschreven in de eindrapportage duurzaam storten (2006).

In de hypothese van het duurzaam storten project is beschreven dat de percolaatkwaliteit mogelijk beheerst worden door pH buffering en metaalbinding in een onder het immobilisaat aangebrachte grondlaag. Daarnaast is de waterhuishouding in de stortplaats belangrijk, het percolaatwater heeft naar verwachting een langere contacttijd met het afval dan het run-off water.

Na afloop van de pilotproef is besloten de stortcellen gecontroleerd af te breken en monsters te nemen in verschillende delen van de pilotproef. De monstername en analyse van materiaal uit verschillende delen van de proef dient ter onderbouwing van ontwikkelde kennis over processen in een monoliet stortplaats. Tevens fungeert dit project als een verificatie van enkele belangrijke effecten die tijdens de uitvoering van het duurzaam storten project naar voren gekomen zijn (carbonatatie, vochtgehalte in stortplaats, uitspoeling zouten, sealing en neutralisatie door grondlaag).

Het doel van het destructief onderzoek is om de algemene staat van het immobilisaat in kaart te brengen (boven oppervlak, verticaal oppervlak langs geotextiel, diepteprofiel, onderzijde immobilisaat, grondlaag). Daarnaast kunnen de chemische eigenschappen in de verschillende delen gemeten worden. De metingen op verschillende plekken in het immobilisaat zijn in de wetenschappelijke literatuur nog onderbelicht en zullen daarom een bijdrage leveren aan het begrip van het praktijk gedrag van gestabiliseerd afval.

Momenteel wordt er in internationaal kader gewerkt aan de ontwikkeling van criteria voor gestabiliseerd afval. Eerder ontwikkelde criteria in Engeland hebben tot strenge normen geleid. De data van duurzaam storten kan daarom tevens een bijdrage vormen tot het afleiden van criteria op basis van een scenariobenadering. Hierbij worden effecten van bijvoorbeeld carbonatatie, beperkte infiltratie en neutralisatie door de grondlaag meegenomen, hetgeen in de Engelse berekeningen niet is gebeurd. Een veldverificatie van de in het project ontwikkelde kennis is daarom van belang voor de ontwikkeling van internationale criteria voor monoliet stortplaatsen.

2. Materialen en methoden

2.1 Proefopzet proefpilot

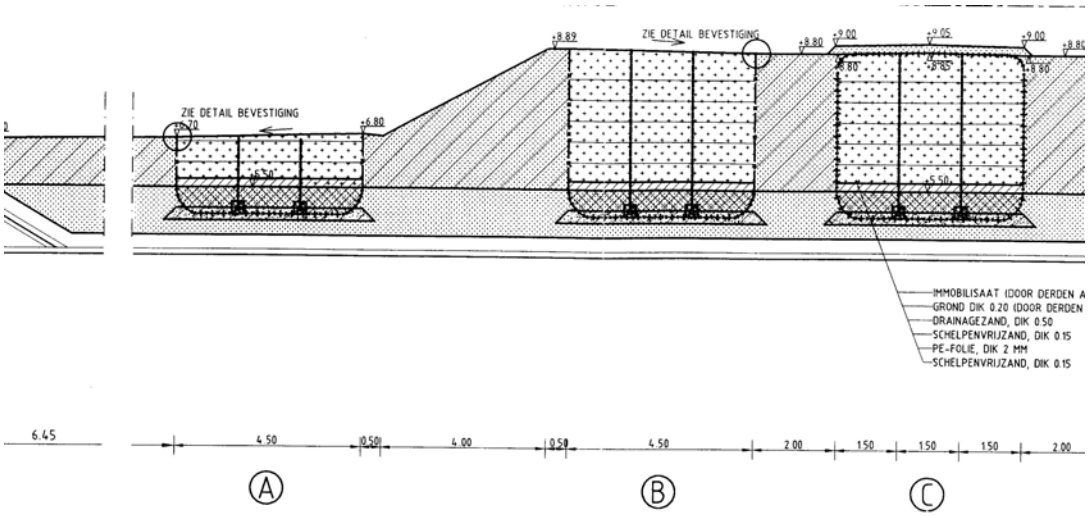
Op stortplaats A&G Maasvlakte is een pilot proef gerealiseerd, een dwarsdoorsnede van de proefopzet is weergegeven in Figuur 1. Daarnaast toont Figuur 2 een foto van cel B vlak na de aanleg van de pilotproef. De folierand voor opvang van run-off water is kort na aanleg van de pilotproef vervangen door een betonnen goot. Het beton is met betonverf gecoat om contaminatie met dit alkalische materiaal te voorkomen. Het proefveld is verdeeld in 4 secties (er staan er drie op de tekening), hier worden onder ander effecten van storthoogte, carbonatatie (vergaande calciet vorming kan tot porieafsluiting leiden) en de invloed van verschillende afvalstromen onderzocht. Elke sectie is 5 m breed en 8 m lang en is verdeeld in drie zogenaamde deelcellen. De deelcellen worden gescheiden door een verticale laag geotextiel om door middel van preferentiële kanalen een snelle drainage van hemelwater te realiseren. Het gestabiliseerde afval wordt steeds in lagen van 0.5 m hoog opgebracht. Uiteindelijk heeft Cel A (links op de tekening) een hoogte van 0.8 m, de overige drie cellen zijn 2.4 m hoog. Deze hoogteverschillen zijn van belang om vast te kunnen stellen of de hoogte van belang is voor de doordringing van koolzuur in de verticale afvoerkanalen.

Er zijn faciliteiten geïnstalleerd om de verschillende typen watermonsters te kunnen opvangen. Bij elke cel worden drie verschillende waterstromen onderscheiden: poriewater (of permeatiewater), percolaatwater en run-off water. Het poriewater is water dat door het immobilisaat is getransporteerd en zodoende veel en langdurig in contact is geweest met het immobilisaat. Naar verwachting zal deze stroom klein van omvang zijn. Het poriewater wordt direct onder het immobilisaat opgevangen in een plastic bak waarin een poreuze keramische cup (monsterneming) is gelegd. Door deze keramische cup vacuüm te zuigen kan het poriewater bemonsterd worden.

Percolaatwater is het regenwater dat over de bovenzijde van het immobilisaat langs de verticale drainage (geotextiel) afgevoerd wordt, de contacttijden van deze stroom zullen dus beperkt zijn en zich (grotendeels) beperken tot contact met het bovenoppervlak. Het percolaatwater wordt via drainageleidingen onder in het compartiment afgevoerd naar een put.

Het run-off water wordt gedefinieerd als het water dat langs de bovenzijde afstroomt, de contacttijd van dit water zal ook relatief gering zijn. Dit water wordt aan de rand van het immobilisaat aan de bovenzijde opgevangen in een plastic folie (later vervangen door gecoate betonnen goot) en vervolgens getransporteerd naar een opvangvat.

De proefcellen zijn neergezet in een apart deel van de stortplaats met een eigen folie afdichting, op deze folie afdichting is een laag zand gestort en hierboven nog een laag licht-verontreinigde grond. Tijdens de reguliere stortpraktijk wordt al gebruik gemaakt van een laag (1 m) licht-verontreinigde grond die dient ter bescherming van de liner. Uit analyse van de buffercapaciteit van deze grond en de observatie dat het percolaatwater op A&G Maasvlakte neutraal is, blijkt dat de grondlaag belangrijk kan zijn voor het neutraliseren van het alkalische percolaatwater (zie verder in dit rapport).



Figuur 1 Schematische weergave van proefopzet A&G Maasvlakte. De proef bestaat uit 4 secties (3 hiervan zijn op de tekening weergegeven) waarbij onder andere effecten van hoogte, carbonatatie en de invloed van verschillende afvalstoffen worden onderzocht

Figuur 2 Foto van pilotproef monoliet. Op de foto is cel B weergegeven, de zwarte lijntjes geven aan waar de verticale drainage met geotextiel is aangelegd. De folie aan de zijkanten van de cel dient voor de opvang van het run-off water. De folie is kort na aanleg vervangen door een (gecoate) betonnen rand om het run-off water beter op te vangen

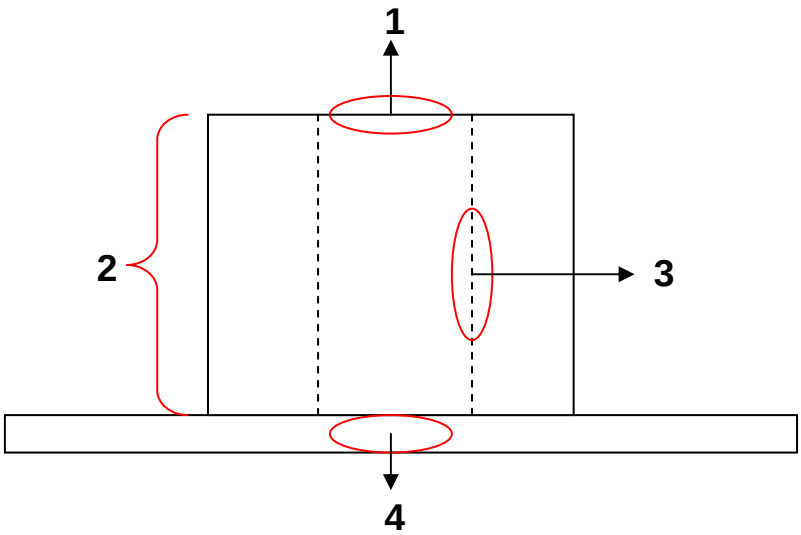
Cel A, B en C zijn allen gevuld met een gestabiliseerd AVI-vliegas receptuur (A&G Maasvlakte code 2100). Cel D is gevuld met een mengsel van verschillende immobilisatie recepturen. De hoeveelheden en samenstelling per cel is weergegeven in tabel 1.

Tabel 1 *Hoeveelheden gestabiliseerd afval die gestort zijn in cel D van de pilotproef. De cellen A (51 ton natgewicht), B en C (102 ton natgewicht per cel) zijn opgebouwd met alleen een cement-gestabiliseerd AVI-vliegas recept (A&G Maasvlakte code 2100). De EURAL codes van de afvalstoffen zijn tussen haakjes weergegeven.*

Afvalmateriaal	**Gewichtspercentage (%)**	**Hoeveelheid (ton nat)**
Rookgasreinigingsresidue (19.01.07*, 11.01.09*, 19.01.05*) en AVI-vliegas (19.01.13*)	50	51
Metaalslibben (11.01.09*) en AVI-vliegas (19.01.13*)	25	25.5
AVI-vliegas (19.01.13*)	17	17
MSWI filterkoek (11.01.09*)	8	8.5
Totaal	**100**	**105**

2.2 Monstername destructief onderzoek

Het onderzoek richtte zich voornamelijk op cel B, C en D van de pilotproef. Cel B leent zich goed om de praktijk effecten van 1 receptuur te onderzoeken. Cel C is onderzocht omdat deze relatief weinig beïnvloed is door regen/carbonatatie; deze cel is ingepakt geweest tijdens het project. Cel D bestaat uit een mengsel van recepturen en was daarom interessant om te bestuderen.



Figuur 3 Schematische weergave van een van de duurzaam storten compartimenten. De nummers stellen de interessante monstername plaatsen voor (zie hierboven)

In Figuur 3 is een schematisch overzicht gegeven van een van de duurzaam storten compartimenten. Er is aangegeven (nummers 1 t/m 3) op welke delen de monsters genomen zijn. Het bleek tijdens de ontmanteling van de pilotproef onmogelijk om de grondlaag onder het immobilisaat (nummer 4 in Figuur 3) te bemonsteren. Het waterniveau in het compartiment was wegens een calamiteit bijna 1 meter boven de grondlaag. De cellen B, C en D zijn apart

en gecontroleerd afgegraven met een graafmachine. Tijdens de ontmanteling zijn de cellen ook visueel geïnspecteerd en zijn foto's en video-opnamen gemaakt.

2.3 Monstervoorbehandeling

De monsters zijn afgesloten van de buitenlucht verpakt en naar ECN vervoerd. Op het laboratorium is het vochtgehalte bepaald en zijn de monsters verkleind tot < 2 mm. Vervolgens zijn de uitloogproeven en de Hg-porosimetrie (op onverkleinde monsters) metingen uitgevoerd.

2.4 pH-stat uitloogtesten

Om het uitlooggedrag van de monsters uit cel B en C te testen is het materiaal verkleind (<2 mm) en onderworpen aan een pH-stat uitloogtest (PrEN 14429). Bij deze uitloogproef is het verkleinde materiaal in contact met water gebracht bij een vloeistof/vaste stof verhouding (L/S) van 10 L/kg. De uitloogproef is in 8 verschillende potten uitgevoerd, aan elke pot met materiaal en water werd zuur/loog toegevoegd zodat de pH van de suspensie aangepast werd. Hiermee is een range van pH waarden tussen pH 4 en 12 gecreëerd. Na 48 uur uitloging is de suspensie gefiltreerd (0.45 µm) en de opgeloste concentratie aan hoofd- en sporenelementen geanalyseerd met ICP-AES (Al, As, B, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Tl, V, Zn). De concentratie anionen (Cl, Br, SO42-) is bepaald met ionchromatografie. Fluoride is geanalyseerd met flow injectie analyse.

Tabel 2 *Monstercoderingen en analyses van diverse monsters genomen tijdens afbraak pilotproef. Op alle monsters is het vochtgehalte bepaald en zijn schudtesten bij eigen pH uitgevoerd.*

monsternr.	Omschrijving	LeachXS	pH-stat	Hg-porosimetrie
1	Cel A, 0-5 cm	Pilot_VBM_A_0_5cm		
2	Cel A, 20-30 cm	Pilot_VBM_A_20_30cm		
3	Cel B 0-1 cm	Pilot_VBM_B_0_1cm	X	X
4	Cel B 5-10 cm	Pilot_VBM_B_5_10cm		
5	Cel B 30-40 cm	Pilot_VBM_B_30_40cm		
6	Cel B 50-70 cm	Pilot_VBM_B_50_70cm		
7	Cel B 90-120 cm	Pilot_VBM_B_90_120cm		X
8	Cel B langs geotex. 50 cm	Pilot_VBM_B_geotex_50cm		
9	Cel B langs geotex. 20-30 cm	Pilot_VBM_B_geotex_20_30cm		X
10	Cel B grijze laag 50 cm	Pilot_VBM_B_graylayer_50cm		X
11	Cel C 0-2 cm	Pilot_VBM_C_0_2cm	X	X
12	Cel C 50 cm	Pilot_VBM_C_50cm		X
13	Cel D 0-1 cm	Pilot_VBM_D_0_1cm		
14	Cel D 1-5 cm	Pilot_VBM_D_1_5cm		
15	Cel D 10-15 cm	Pilot_VBM_D_10_15cm		
16	Cel D 30 cm	Pilot_VBM_D_30cm		
17	Cel D 60 cm	Pilot_VBM_D_60cm		
18	Cel D 120 cm	Pilot_VBM_D_120cm		
19	Cel D langs geotext. 0-10 cm	Pilot_VBM_D_geotex_0_10cm		
20	Cel D langs geotext. 10-15 cm	Pilot_VBM_D_geotex_10_15cm		

Naast de gedetailleerde pH-stat uitloogtest is ook gebruik gemaakt van schudtesten bij de eigen pH van diverse monsters uit de stortplaats. De uitvoering van deze proeven is groten-

deels gelijk aan de pH-stat test, behalve dat in de schudtesten de pH niet bijgestuurd wordt met zuur/loog.

2.5 Poriegrootteverdeling

Een zestal monsters is ook onderzocht met Hg-porosimetrie om de poriegrootte verdeling te meten. Hiertoe zijn stukjes immobilisaat (ongeveer 0.5 cm) bemonsterd van de gedroogde monsters (voordat verkleining plaatsvond).

2.6 Overzicht monsters en analyses

In Tabel 2 staat een overzicht weergegeven van alle genomen monsters en de analyses die op elk monster uitgevoerd zijn. Daarnaast zijn nog vier kernen met immobilisaat geslagen die op het laboratorium gesliced zijn waarna het vochtgehalte is bepaald. Op alle fracties van de kernen zijn vervolgens ook schudtesten uitgevoerd (pH, E.C., Eh en chemische analyses).De kernen zijn genomen in Cel B (0-30 cm en 20-50 cm), Cel C (0-20 cm) en Cel D (0-30 cm). Daarnaast zijn handmatig verschillende monsters genomen op plekken dieper in het immobilisaat, zie Tabel 2. Deze resultaten van deze monsters zijn samen met de resultaten van de kernen gebruikt om een beeld te krijgen van de aanwezigheid van verontreinigingen door het hele immobilisaat vak.

3. Resultaten en discussie

3.1 Visuele inspectie

De vier compartimenten (A tm D) zij visueel geïnspecteerd en ontmanteld met behulp van een graafmachine. De kernen en de bovenlaag van ieder compartiment zijn bemonsterd voordat de graafmachine delen van de cel weggehaald had. Er zijn steeds bulkmonsters genomen op verschillende plekken binnen de cellen (zie Tabel 2).

De drie cellen die gedurende de looptijd van het project blootgesteld waren aan de lucht/regen (B en D, cel A kon niet bemonsterd worden) waren zichtbaar verweerd tot een diepte van 20-30 cm. Het immobilisaat kon gemakkelijk met een spade verwijderd worden. Scheurvorming en zwelling van het immobilisaat was duidelijk zichtbaar. Een aantal foto's van de bovenzijde van cel B en D is weergegeven in Figuur 4.

Zwelling en scheurvorming cel B

Zwelling en scheurvorming cel D

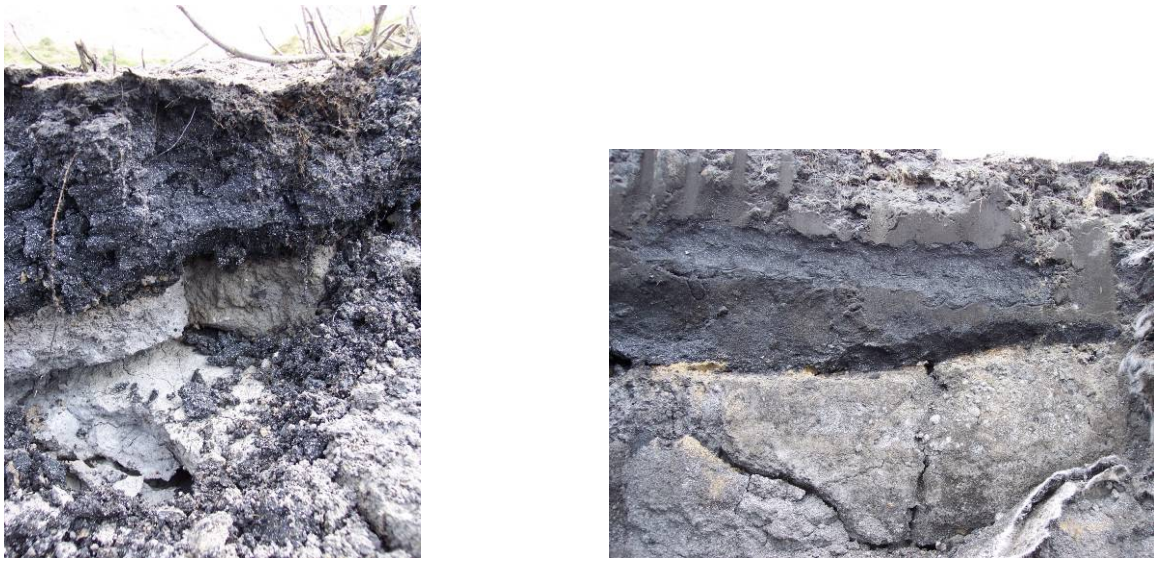
Close up cel B (rechts op foto) en D (links)

Overzicht Cel C (onder op foto) en cel B

Figuur 4 Foto's bovenlaag cel B en D voordat de cellen afgebroken werden

De cellen bestonden steeds uit drie verticale gedeelten die gescheiden werden door een laag geotextiel (zie ook Figuur 1). Bij het afgraven van de cellen zijn deze verticale lagen steeds een voor een verwijderd. Er werd goed opgelet dat de verticale wand in het middengedeelte goed intact bleef voor nadere inspectie en monstername. In Figuur 5 staan twee foto's van de zijwand uit cel B op verschillende diepten. De buitenste laag (1 cm) was licht grijs en daar-

onder was de kleur donkergrijs/zwart (tot een diepte van ongeveer 20 cm). Daaronder werd de kleur van het immobilisaat weer lichtgrijs en ook steeds harder vanaf een diepte van ongeveer 40 cm. Het is duidelijk te zien dat er plantjes groeien op het immobilisaat met wortels die zeker enkele centimeters (cel B) tot soms tien centimeter (cel D) diep reikten. Deze observatie wijst op een zeker pH neutralisatie (door carbonatatie) van de bovenlaag (zie verder paragraaf 3.2).



Figuur 5 Foto's zijwand cel B na verwijdering verticale drainage. De foto links is het profiel van 0-30 cm, de foto rechts is op ongeveer 1 m diepte

De blootgestelde stortcellen (B en D) waren gemakkelijk te verwijderen met de graafmachine. Het materiaal uit cel D (mengsel van recepturen) verkruimelde gemakkelijk wanneer het opgegraven materiaal verplaatst werd. Het materiaal dat uit de dieper gelegen delen van cel B opgegraven werd was duidelijk harder dan het materiaal uit de bovenste lagen. Op diepten lager dan 50 cm kwam het immobilisaat eruit als brokken van 20-50 cm in diameter. Dit materiaal was ook harder dan materiaal uit cel D op dezelfde diepte. Een voorbeeld van de brokken die uit cel B kwamen staat in.

Figuur 6 Brokken immobilisaat opgegraven uit cel B op diepte van 0.5-1 m.

De ingepakte cel (cel C) was veel harder en had een heel ander uiterlijk uit in vergelijking met de blootgestelde cellen. Het materiaal in cel C was visueel niet veranderd in vergelijking met de startsituatie. Het materiaal was zeer hard, grijs in kleur en er waren geen scheuren of zwelling zichtbaar. Een foto van cel C na verwijdering van PE folie is weergegeven in Figuur 7.

Aan de bovenzijde van cel C was een laagje zand aangebracht van 5 cm, dit laagje zand is op de foto grotendeels verwijderd. Er is te zien dat de zijwand (die in contact stond met de verticale drainage) niet zichtbaar is aangetast/verweerd. Op de foto zijn de verschillende lagen immobilisaat ook duidelijk zichtbaar.

Figuur 7 Zijwand van cel C na verwijdering van omhullend PE folie en verticale drainage. Aan de bovenzijde van de cel was 5 cm zand opgebracht, wanneer het zand verwijderd werd was de kleur hetzelfde als de zijwand

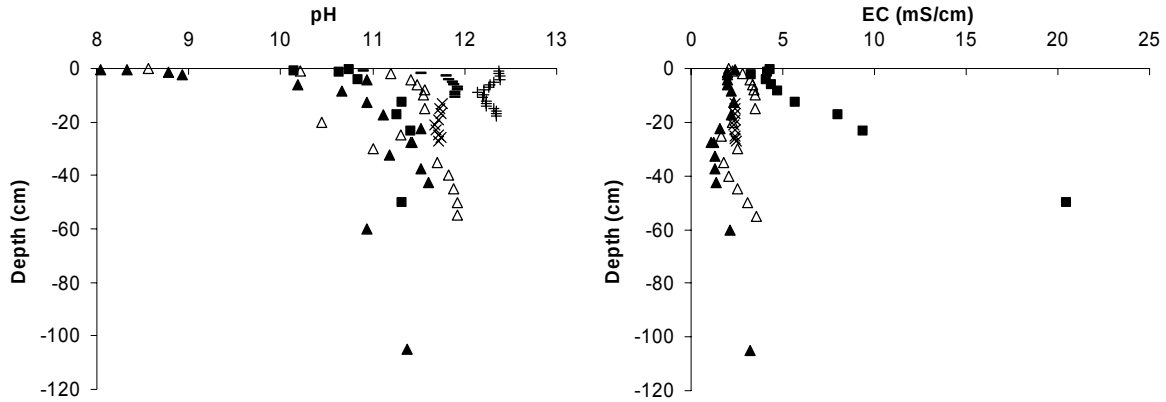
Het verwijderen van het immobilisaat uit cel C was beduidend moeilijker dan de verwijdering van materiaal uit de overige cellen. Het immobilisaat werd met de graafmachine omver getrokken en brak hierbij in zeer grote brokken van soms wel ongeveer 1 m^3 (zie Figuur 8). Naar schatting van de kraanmachinist wogen de blokken 2-3 ton. Deze blokken waren ook lastig te verkleinen met de bak van de graafmachine (de blokken bleven ook heel na een val van 3-4 m op het zand).

Deze observaties tonen duidelijk aan dat er een significant verschil is in materiaal eigenschappen (hardheid, verwering, kleur, scheurvorming en zwelling) tussen het blootgestelde materiaal en het ingepakte materiaal. De chemische analyses op de verschillende deelmonsters en de kernen laten ook verschillen in eigenschappen zien. In de volgende paragrafen wordt hier in meer detail op ingegaan.

Figuur 8 Brokken immobilisaat van cel C (ingepakt) tijdens de afbraak van de pilotproef

3.2 Mobiliteit van verontreinigingen in immobilisaat

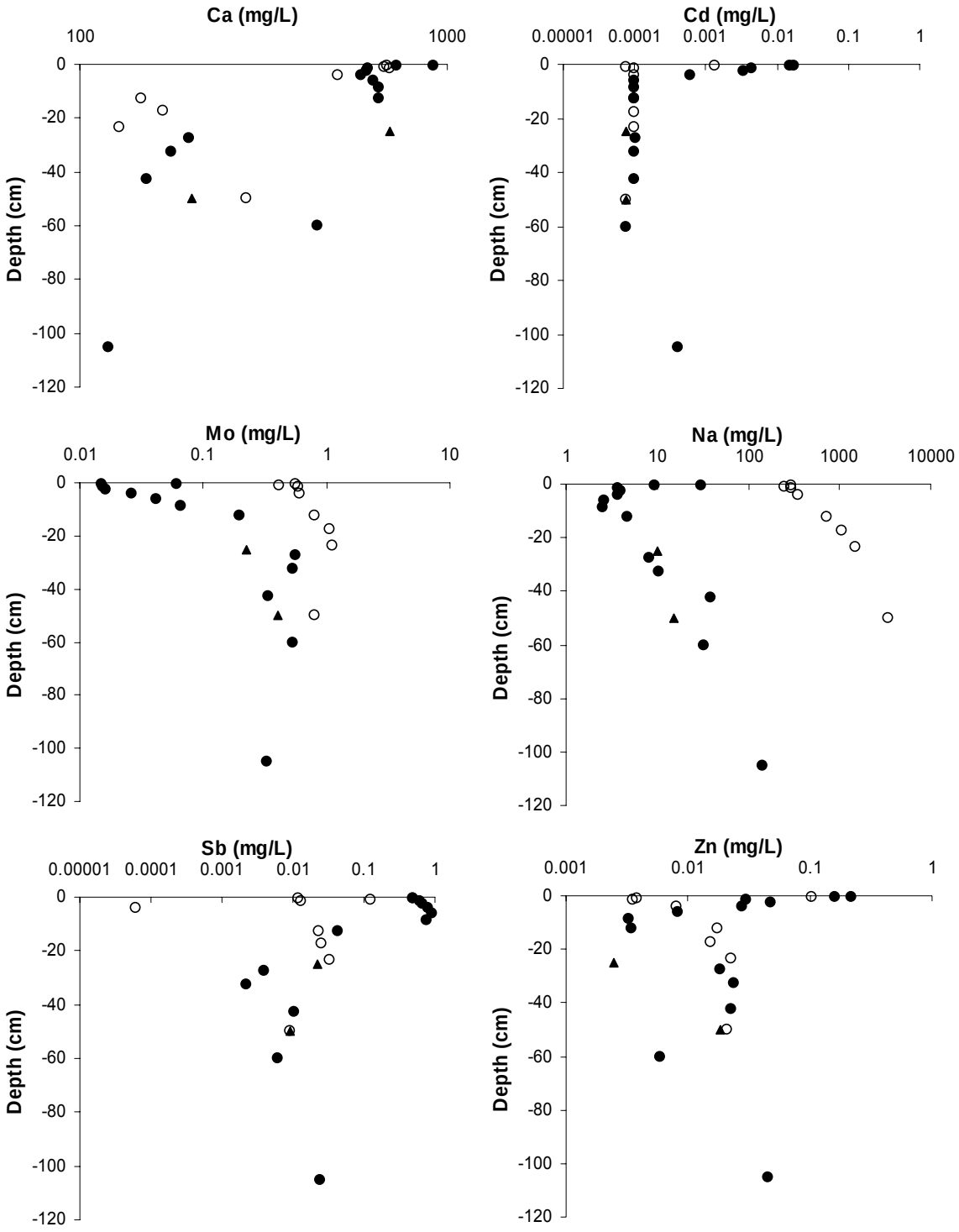
De gemeten pH en geleidbaarheid (E.C.) in deelmonsters van de kernen (na uitloging bij eigen pH, L/S=10) is weergegeven in Figuur 9. Het pH profiel laat duidelijk zien dat de mate van carbonatatie toeneemt als functie van tijd. Na 1 jaar is ongeveer 1 centimeter gecarbonateerd, de pH dieper in het materiaal is nog steeds rond de 12. Het carbonatatie front verplaatst zich in de loop van de tijd steeds dieper in het materiaal. Na vier jaar is de eerste 5 cm immobilisaat geneutraliseerd tot pH 8-10. Figuur 9 laat tevens zien dat cel C (ingepakt in PE folie) ook deels gecarbonateerd is aan de buitenkant. Deze neutralisatie wijst op een beïnvloeding van CO_2 dat mogelijk via diffusie door het folie naar binnen is gedrongen of via de bodem en het percolaatwater vanaf de onderzijde is binnengedrongen. Het effect is echter beduidend minder dan voor cel B wordt gemeten.



Figuur 9 pH en EC metingen in gestabiliseerd afval als functie van diepte en tijd (+ = cel B, 1 week, - = cel B, 4 maanden, X= cel B, 6 maanden, ∆ = cel B, 1.3 jaar, ▲ = cel B, 4 jaar, ■ = cel C, 4 jaar, afgedekt)

Het E.C. profiel van cel C (afgedekt) vertoont ook enige uitspoeling van de mobiele zouten, zeker over de eerste tien centimeter. Daarna neemt de geleidbaarheid toe als functie van de diepte. Mogelijk is de afdichting niet volledig lekvrij geweest en is er toch water van bovenaf ingestroomd, dit lijkt op basis van de waarnemingen echter niet zo voor de hand te liggen. Een andere verklaring kan zijn dat er zouten vanuit het immobilisaat naar de bovenliggende zandlaag zijn gediffundeerd. Dit diffusieproces kan zeker over een aantal jaren zorgen voor een significant transport van zouten over afstanden tot ongeveer 10-15 cm. Ondanks dat Cel C ook enige uitputting van de geleidbaarheid laat zien kunnen deze meetwaarden wel als een soort referentie worden gebruikt om de metingen in de andere cellen te interpreteren.

De andere cellen zijn in grotere mate beïnvloed door uitspoeling via regenwater. Er is significante uitspoeling zichtbaar tot 1 meter diepte ten opzichte van de resultaten uit cel C. Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat het waterniveau in het gehele compartiment gedurende enkele maanden vrij hoog gestaan heeft. Door technische problemen kon het waterniveau niet voldoende laag gehouden worden om de onderzijde van de pilotproef (alle cellen) droog te houden. Hierdoor heeft het onderste gedeelte van het immobilisaat in het water gestaan. Er wordt verwacht dat de relatief hoge uitspoeling beneden 50 cm voor een groot deel toe te schrijven is aan het verhoogde waterniveau in het compartiment. De resultaten laten in ieder geval een groot verschil zien tussen de afgedekte cel (C) en de blootgestelde cel (B). De resultaten zijn ook consistent met de waarnemingen van verwering en verminderde fysische stabiliteit van het blootgestelde materiaal.



Figuur 10 Uitloging van Ca, Cd, Mo, Na, Sb en Zn als functie van diepte in cel B (●) en cel C (○). Driehoekjes (▲) stellen de resultaten voor van gestabiliseerd afval monsters genomen op het grensvlak aan de zijkant van het immobilisaat waar het geotextiel tegenaan gezeten heeft.

In eerder werk (van der Sloot et al., 2007; van Zomeren and van der Sloot, 2006) is al beschreven dat de uitloging van veel verontreinigingen sterk afhankelijk is van de pH. Dit betekent dat de uitloging als functie van de diepte ook varieert met de pH en in dit geval dus ook dat de uitloging in de tijd verandert (zie ook Figuur 9). De uitloging van Ca, Cd, Mo, Na, Sb en Zn als functie van diepte voor cel B en C is weergegeven in Figuur 10. De driehoekjes

in de grafiek geven de resultaten weer van de monsters die genomen zijn op het grensvlak aan de zijkant van het immobilisaat (tegen de verticale drainagelaag).

De uitloging van Ca neemt toe met afnemende pH, daarom is de Ca uitloging relatief hoog aan de (gecarbonateerde) bovenzijde van het immobilisaat. Dit wordt over het algemeen ook waargenomen in Figuur 9 (behalve het punt op -60 cm).
De uitloging van Cd is voor beide cellen ook relatief hoog aan het oppervlak van het immobilisaat, op diepten groter dan 2.5 cm is de Cd uitloging kleiner dan of gelijk aan de detectielimiet. Deze waarnemingen zijn consistent met de toenemende Cd oplosbaarheid bij afnemende pH.

De Mo concentraties in cel C zijn constant relatief hoog en weinig afhankelijk van de diepte ten opzichte van de resultaten voor cel B. Mo wordt zeer waarschijnlijk uitgespoeld in cel B, alhoewel de zwakke pH afhankelijke uitloging door oplosbaarheidcontrole (door $CaMoO_4$ of $PbMoO_4$) hierbij ook van belang kan zijn. Gedurende de pilotproef zijn ook relatief hoge (gemiddeld 2.6 mg/L, 95 percentielwaarde was 9.8 mg/L) Mo concentraties waargenomen. Het is mogelijk dat de waarneming uit de pilotproef een relatief korte termijn effect is geweest en dat emissies op de lange termijn mogelijk lager zullen zijn door initiële uispoeling van de mobiele Mo fractie.

Na vertoont een soortgelijk gedrag als de geleidbaarheid (Figuur 9) waarbij duidelijk is dat cel C een hogere Na concentratie heeft in vergelijking met cel B. Cel C is afgedekt tijdens de proef en daardoor maar zeer beperkt met water in contact geweest. In cel B is Na uitgespoeld, voornamelijk uit de bovenste 30 cm. Zelfs tot op een meter zijn de Na concentraties in cel B relatief laag. Door de hoge waterstand in de pilotproef gedurende een bepaalde tijd (zie ook 0) kan er ook uitloging van Na zijn geweest vanuit de diepere delen van Cel B.

De Sb concentraties zijn relatief hoog aan het oppervlak van de blootgestelde cel (tot 1 mg/L) en nemen af naar concentraties van ongeveer 0.05 mg/L. Deze waarneming is consistent met de resultaten van de monitoring, hier werd geconstateerd dat de Sb concentraties voornamelijk hoog waren in het run-off water (alleen contact met oppervlak) in vergelijking met het percolaatwater (door de cel gepercoleerd). Deze resultaten kunnen worden verklaard door de sterke toename van de Sb oplosbaarheid bij een pH verlaging (van 11 tot 8). Det betekent dat carbonatatie de Sb emissies verhoogd en dit is belangrijk voor de lange termijn emissies van Sb uit gestabiliseerd afval.

De Zn concentraties zijn ook relatief hoog aan het oppervlak van het gestabiliseerd afval en nemen snel af met toenemende diepte. Over het algemeen zijn de Zn concentraties in beide cellen ongeveer gelijk.

3.3 Werking verticale drainagematten

Bij de pilotproef is gebruik gemaakt van geotextiel dat diende voor de verticale drainage van regenwater (zie ook Figuur 3). Dit systeem wordt ook op de reguliere stortplaats voor gestabiliseerd afval gebruikt zodat het regenwater zich niet bovenop het compartiment verzamelt maar snel wordt afgevoerd tijdens de periode dat er nog niet is afgedekt.

Tijdens de afbraak van de pilot proef is speciale aandacht besteed aan het gestabiliseerd afval dat in contact stond met het geotextiel. Er was geen verwering en/of uitspoeling van deze laag zichtbaar. Dit is opmerkelijk omdat verwacht werd dat de verticale randen van het

gestabiliseerd afval aangetast zouden zijn door carbonatatie en/of uitspoeling van zouten doordat water langs gestroomd is.

Uitloogexperimenten van monsters genomen aan de zijkant van het gestabiliseerd afval (in contact met het geotextiel) laten geen significant verschil in oplosbaarheid van elementen zien in vergelijking met de kernen die op dezelfde diepte genomen zijn. Daarnaast kwamen de pH en E.C. waarden ook goed overeen met de data van de kernmonsters. Er wordt uit deze resultaten geconcludeerd dat het gebruik van een verticaal drainage systeem niet effectief is op de manier zoals in de huidige praktijk wordt toegepast. Omdat het verticale drainage systeem ook toegepast wordt in de volledige stortplaats voor gestabiliseerd afval, wordt geconcludeerd dat dit resultaat meer algemene implicaties heeft voor de inrichting van een stortplaats voor gestabiliseerd afval.

3.4 Uitlooggedrag als functie van pH

Op verschillende monsters zijn pH-stat uitloogtesten uitgevoerd om het uitlooggedrag als functie van pH te meten. Deze uitloogcurven geven een zogenaamde geochemische vingerafdruk van uitlooggedrag van het materiaal. Het uitlooggedrag is ook voorspelt m.b.v. geochemische modellen om de chemische processen die de uitloging controleren in kaart te brengen (zie paragraaf 3.5, bijlage B en bijlage C).

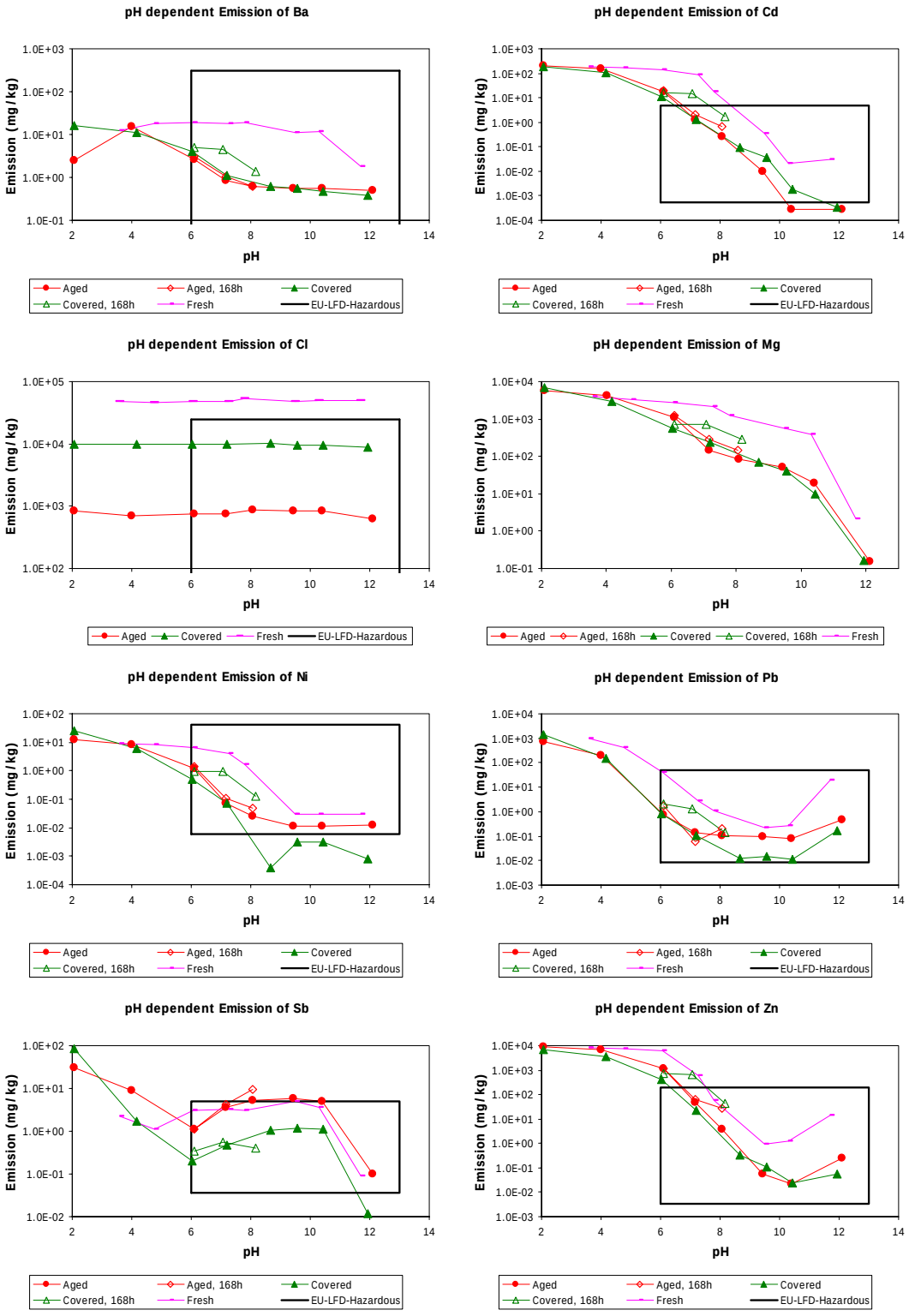
Bij de uitvoering van de pH-stat experimenten wordt de pH gevarieerd tussen ongeveer 2 en 12. De eigen pH van de materialen verschilt behoorlijk (Tabel 3) en dit verschil wordt veroorzaakt door de manier en tijdsperiode van blootstelling. Het verouderde materiaal (aged) is aan het oppervlak volledig gecarbonateerd en gedeeltelijk gecarbonateerd tot een diepte van ongeveer 5 cm (zie ook Figuur 9). Het materiaal uit cel C (0-2cm) heeft een lagere pH dan het verse materiaal, dit kan alleen worden verklaard doordat er toch een hoeveelheid CO_2 door het folie is gediffundeerd.

Tabel 3 *Eigen pH van de gestabiliseerd afval monsters (L/S=10, 48 uur equilibratietijd)*

Monstercode	LeachXS naam	Diepte (cm)	pH
Fresh	Stabilised waste NL (P6,1)	-	11.7
Aged	Pilot_VBM_B_0_1cm	0-1	8.07
Covered	Pilot_VBM_C_0_2cm	0-2	10.4

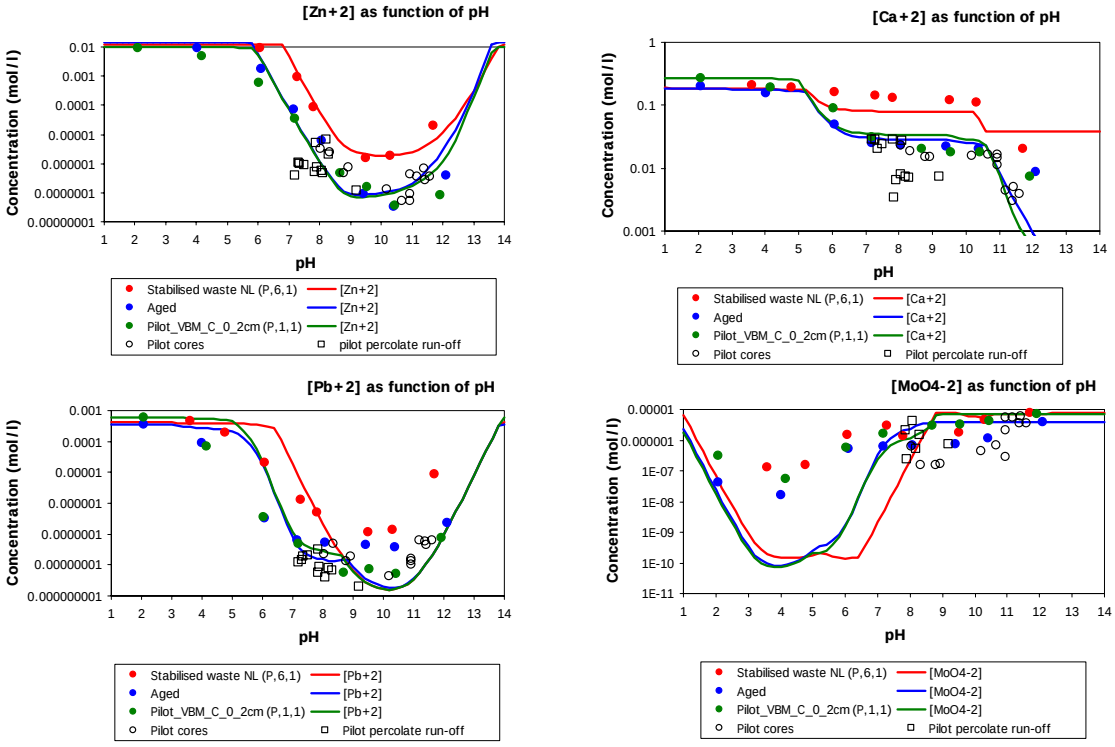
Figuur 11 toont de uitloging van Ba, Cd, Cl, Mg, Ni, Pb, Sb en Zn als functie van pH voor verschillende materialen. De doorgetrokken zwarte lijnen in de plaatjes geven het mogelijk relevante pH bereik aan (verticale lijnen). De onderste horizontale lijn stelt de detectielimiet van de analysemethode voor, de bovenste horizontale lijn stelt de grenswaarde voor granulair gevaarlijk afval voor. Hierbij wordt opgemerkt dat het immobilisaat in de praktijk niet als granulair beoordeeld wordt maar als monolithisch materiaal. De vergelijking met de granulaire norm dient uitsluitend om een referentiekader te creëren.

Deze elementen laten enkele opvallende verschillen zien tussen de materialen. De volledige set van elementen is weergegeven in 0. De emissies van bijna alle verontreinigingen (behalve Sb) voldoen aan de normen voor gevaarlijk afval binnen het relevante pH bereik dat in de praktijk tussen 8 en 12 zal liggen.



Figuur 11 pH afhankelijke uitloging van gestabiliseerd afval na verschillende perioden en omstandigheden van blootstelling aan de atmosfeer. Het vers geproduceerde (na 28 dagen) materiaal (-) is getest bij aanvang van de pilotproef. De rode ruitjes (♦)geven het uilooggedrag van het verouderde (aged) materiaal weer uit cel B. Groene driehoekjes (▲) geven de resultaten van het materiaal uit cel C (covered) weer. De open symbolen zijn de resultaten na een equilibratieperiode van 168 uur in de pH-stat test (standaard is 48 uur)

Het is duidelijk te zien dat de emissies van Ba, Cd, Cl, Mg, Ni, Pb en Zn (en de elementen Br, Ca, Co, K, Li, Na, Se en Sn uit 0) sterk afnemen (tussen pH 8 en 12) na veroudering van het gestabiliseerde materiaal (zowel uit cel B als cel C). Voor de oplosbare zouten (Br, Cl, K en Na) geldt dat hier sprake is van uitspoeling. De oplosbaarheid van de overige elementen wordt door chemische processen bepaald. Doordat de beschikbaarheid voor uitloging (de uitloging bij pH2) niet significant verandert, kan worden geconcludeerd dat de overige elementen in de matrix worden vastgelegd.



Figuur 12 Oplosbaarheid van Zn, Ca, Pb en Mo als functie van pH op vers en verouderd immobilisaat (cel B en C) en concentraties zoals gemeten in de pilotproef. De lijnen geven de resultaten weer van de geochemische modellering.

3.5 Samenhang laboratoriumgegevens en veldmetingen

In eerdere rapportages is al beschreven dat er goede samenhang is tussen laboratorium-gegevens en de veldmetingen (van Zomeren and van der Sloot, 2006). Na het destructief onderzoek zijn opnieuw pH-stat experimenten gedaan op het immobilisaat uit cel B en C. De resultaten van deze proeven zijn vergeleken met de veldmetingen en er is geochemische modellering uitgevoerd om de uitloging als functie van pH te kunnen voorspellen. De resultaten van deze vergelijking staan in Figuur 11. Figuur 11 laat duidelijk zien dat de oplosbaarheid van Ca, Zn en Pb in de verouderde monsters (cel B en C) over bijna het gehele pH traject lager is dan het verse gestabiliseerde afval. Ook de modellering laat zien dat er verschillen zouden kunnen zijn tussen het verse en het verouderde materiaal. Er wordt opgemerkt dat de modelvoorspellingen onder dezelfde aannamen voor reactieve opper-vlakken (HFO en organische stof) en met dezelfde set van mineralen is uitgevoerd. De modelvoorspelling is nog niet perfect voor alle elementen, bijvoorbeeld Pb in het verse materiaal boven pH 9 en de voorspelling voor Mo beneden pH 7. De resultaten van de geochemische modellering voor de andere elementen staan in 0 (vers geproduceerd gestabiliseerd afval) en 0 (gestabiliseerd afval uit cel C). In deze rapportage wordt niet

ingegaan op de onderliggende processen die de uitloging controleren, hiervoor wordt verwezen naar van der Sloot et al. (2007).

Tevens laat Figuur 10 zien dat er een goede overeenkomst is tussen de laboratorium-gegevens en de velddata. Dit betekent dat in het veld dezelfde chemische processen relevant zijn als die op laboratoriumschaal waargenomen worden. Deze resultaten kunnen in een vervolgstudie verder worden uitgewerkt en vormen een belangrijke basis voor de ontwikkeling van nieuwe regelgevingcriteria voor gestabiliseerd afval.

4. Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

Dit rapport beschrijft de gecontroleerde ontmanteling en monstername vanuit verschillende delen van de pilotproef monolith op stortplaats A&G Maasvlakte. De pilotproef is uitgevoerd in vier cellen, cel A tm C waren gevuld met een AVI-vliegas receptuur (recept 2100). Cel D bestond uit een mengsel van allerlei verschillende recepturen. De monstername en analyse van materiaal uit verschillende delen van de proef heeft geleid tot onderbouwing van ontwikkelde kennis over processen in een monoliet stortplaats. Daarnaast vormt dit werk een verificatie van enkele belangrijke effecten die tijdens de uitvoering van het duurzaam storten project naar voren gekomen zijn (carbonatatie, vochtgehalte in stortplaats, uitspoeling zouten, sealing en neutralisatie door grondlaag). Omdat de pilotproef een deel van de tijd gedeeltelijk onder water heeft gestaan konden niet alle processen geverifieerd worden (met name werking grondlaag en waterbalans). Er is echter veel kennis opgedaan over de processen in stortplaatsen. Tot nu toe werd een stortplaats vaak gezien als een black box (er worden allerlei afvalstoffen in gestopt en het is afwachten wat eruit komt). De resultaten van dit project in combinatie met het eerdere eindrapport van het project Duurzaam Storten laten zien dat het einde van de black box benadering nu echt in zicht is en dat deze vervangen kan worden door een procesmatige benadering.

De drie cellen die gedurende de looptijd van het project blootgesteld waren aan de lucht/regen zijn na 4 jaar zichtbaar verweerd tot een diepte van 20-30 cm. Scheurvorming en zwelling van het immobilisaat was duidelijk zichtbaar. Daarnaast is waargenomen dat er plantjes groeien op het immobilisaat met wortels die zeker enkele centimeters (cel B) tot soms tien centimeter (cel D) diep reikten. Dit betekent dat pH neutralisatie (door carbonatatie) van de bovenlaag is opgetreden. Deze conclusie wordt ook ondersteund door pH metingen in kernen van het blootgestelde immobilisaat. De pH dieper in het immobilisaat (>20 cm) was nog steeds boven de 11.

De blootgestelde stortcellen (B en D) waren gemakkelijk te verwijderen met de graafmachine. Het materiaal dat uit de dieper gelegen delen van cel B opgegraven werd was duidelijk harder dan het materiaal uit de bovenste lagen. Op diepten lager dan 50 cm kwam het immobilisaat eruit als brokken van 20-50 cm in diameter. Uit deze waarnemingen wordt geconcludeerd dat blootstelling van immobilisaat aan de lucht en regenwater een negatief effect heeft op de sterkte van het immobilisaat, waarschijnlijk onder andere doordat zouten uitspoelen waardoor de porositeit groter wordt.

De ingepakte/afgedekte cel (cel C) was veel harder en zag er anders uit in vergelijking met de blootgestelde cellen. Het materiaal in cel C was visueel niet veranderd in vergelijking met de startsituatie. Het materiaal was zeer hard, grijs in kleur en er waren geen scheuren of zwelling zichtbaar. Het immobilisaat brak bij verwijdering in zeer grote brokken van soms wel ongeveer 1 m^3. Dit betekent dat afscherming van het immobilisaat van lucht/regenwater leidt tot een toename van de sterkte na 4 jaar tijd. Waarschijnlijk zal dit uithardingsproces nog verder doorgaan in de loop van de tijd. Het is op dit moment onbekend hoe snel dit gaat en waar de eindsterkte ligt.

De omstandigheden in cel C zijn grotendeels overeenstemming met de omstandigheden in de praktijksituatie bij A&G Maasvlakte. De monoliet is namelijk tientallen meters hoog en naar alle waarschijnlijkheid binnenin droog en zonder aanwezigheid van lucht. Dit impliceert dat het immobilisaat in de stortplaats onder de juiste condities verder uithard en een hogere druksterkte ontwikkelt.

In de hypothese van het duurzaam storten project is beschreven dat diffusieremming door calciet precipitatie (reactie van Ca uit bindmiddel met koolzuur uit de lucht) in het immobilisaat kan leiden tot een lagere emissie. De resultaten van dit project laten echter duidelijk zien dat de combinatie van water en lucht negatieve effecten kunnen hebben op de sterkte van het immobilisaat. Het immobilisaat zou daarom zoveel mogelijk moeten worden afgeschermd van water om de lange termijn dichtheid en stabiliteit te verbeteren.

De pH stat metingen aan immobilisaat uit de cellen B en C komen goed overeen met de resultaten van veldmetingen en lysimeter proeven. De testresultaten laten zien dat het uitlooggedrag van verontreinigingen in gestabiliseerd afval zeer systematisch is. Uit de pH-stat uitloogproeven wordt geconcludeerd dat de emissies van bijna alle verontreinigingen (behalve Sb) voldoen aan de normen voor granulair gevaarlijk afval binnen het relevante pH bereik dat in de praktijk tussen 8 en 12 zal liggen. Hierbij wordt opgemerkt dat het immobilisaat in de praktijk niet als granulair beoordeeld wordt maar als monolithisch materiaal. De vergelijking met de granulaire norm dient uitsluitend om een referentiekader te creëren. Uit de gegevens van de kwaliteitscontrole van A&G blijkt dat de Sb emissies in de vliegasreceptuur in alle gevallen aan de norm voldoet.

De emissies van Ba, Br, Ca, Cd, Cl, Co, K, Li, Mg, Na, Ni, Pb Se, Sn en Zn nemen sterk af (tussen pH 8 en 12) na veroudering van het immobilisaat (zowel uit cel B als cel C). Dit impliceert dat de emissies op langere termijn mogelijk lager zullen zijn dan uit de proeven op vers materiaal blijkt. Deze conclusie zou verder onderbouwd moeten worden met meer gegevens van verouderd materiaal. Voor de oplosbare zouten (Br, Cl, K en Na) geldt dat hier sprake is van uitspoeling. De oplosbaarheid van de overige elementen wordt naast fysische ook door chemische processen bepaald.

Er zijn geen significante visuele en chemische verschillen waargenomen tussen monsters genomen vanuit de zijkant van het gestabiliseerd afval (in contact met het geotextiel) en de kernen die op dezelfde diepte vanuit het midden van het immobilisaat genomen zijn. Daarnaast kwamen de pH en E.C. waarden langs het geotextiel ook goed overeen met de data van de kernmonsters. Er wordt uit deze resultaten geconcludeerd dat het gebruik van een verticaal drainage systeem niet effectief is op de manier zoals deze in de pilotproef en in de huidige praktijk wordt toegepast.

Een van de hypothesen was ook dat de percolaatkwaliteit mogelijk beheerst worden door pH buffering en metaalbinding in een onder het immobilisaat aangebrachte grondlaag. Uit het eerdere duurzaam storten project (2006) bleek al dat de grondlaag een dergelijke rol zou spelen. Doordat het waterniveau in de compartimenten te hoog stond bij het afgraven, kon deze hypothese echter niet worden geverifieerd.

Samenvattend zouden de volgende maatregelen in de praktijk kunnen worden toegepast om de stortplaats meer duurzaam te bedrijven:

1. Voer hemelwater zo snel mogelijk af via een talud en zorg voor zo kort mogelijke contacttijd met het immobilisaat. Dit zorgt voor een duurzamer immobilisaat en daarmee voor lagere emissies. In de operationele fase wordt een blootgestelde bovenlaag gemiddeld binnen 2 maanden afgedekt met nieuw immobilisaat, waarmee de blootstelling veel korter is dan de 4 jaar blootstelling in de pilotproef. Hierdoor zal de aantasting door uitspoeling van mobiele zouten in die fase beperkt zijn.

2. In de afsluitfase zou de complete cel kunnen worden afgedekt met een bovenafdekking en een afwerking van de taluds met immobilisaat/afvalstoffen met een hoger bindmiddel gehalte, waardoor de afspoeling beter verloopt en indringen vermindert wordt.

3. De verticale drainagematten (geotextiel) werken in de praktijk zeer waarschijnlijk maar heel beperkt, omdat er geen noemenswaardige zoutuitspoeling in de wanden van de drains is opgetreden. Wellicht kan worden bekeken of er andere oplossingen zijn om het hemelwater snel af te voeren, bijvoorbeeld door het creëren van een groter afschot (voor zover dit niet al wordt gedaan in de praktijk).

4. Blijf de grondlaag toepassen aan de onderzijde van het immobilisaat. De grondlaag introduceert een extra veiligheid voor lagere emissies van zware metalen (alhoewel dit proces niet in detail gemeten kon worden in dit project door praktische problemen).

4.2 Aanbevelingen

Uit de beoordeling van de concentraties in de pilotproef blijkt dat de Mo concentraties in boorkernen van de ingepakte cel (cel C) constant relatief hoog zijn en weinig afhankelijk van de diepte ten opzichte van de resultaten voor cel B. Mo wordt zeer waarschijnlijk uitgespoeld in cel B. Gedurende de pilotproef zijn ook relatief hoge (gemiddeld 2.6 mg/L, 95 percentielwaarde was 9.8 mg/L) Mo concentraties waargenomen (zie van Zomeren and van der Sloot, 2006 voor meer details). Het is mogelijk dat de waarneming uit de pilotproef een relatief korte termijn effect is geweest en dat emissies op de lange termijn mogelijk lager zullen zijn door initiële uispoeling van de mobiele Mo fractie. Deze hypothese zou verder onderbouwd kunnen worden in vervolgproeven (bijvoorbeeld door het nemen van boorkernen in de bestaande stort, zie hieronder).

De Sb concentraties zijn relatief hoog aan het oppervlak van de blootgestelde cel (tot 1 mg/L) en nemen af naar concentraties van ongeveer 0.05 mg/L. Deze waarneming is consistent met de resultaten van de monitoring, hier werd geconstateerd dat de Sb concentraties voornamelijk hoog waren in het run-off water (alleen contact met oppervlak) in vergelijking met het percolaatwater (door de cel gepercoleerd). Deze resultaten kunnen worden verklaard door de sterke toename van de Sb oplosbaarheid bij een pH verlaging (van 11 tot 8). Det betekent dat carbonatatie de Sb emissies verhoogd en dit is belangrijk voor de lange termijn emissies van Sb uit gestabiliseerd afval. Mede om deze reden wordt aanbevolen om het stortlichaam af te dekken (zie ook het voorstel voor praktische maatregelen op de stortplaats).

Op basis van de resultaten uit dit project zou het zeer interessant zijn om eens boorkernen te nemen uit de reguliere stort (bij voorkeur verouderd materiaal op verschillende diepten in de stort). We kunnen dan verifiëren of de in dit project geobserveerde processen zich in dezelfde mate afspelen in het stortlichaam. Deze proeven zijn onder andere belangrijk om de

ontwikkeling van de sterkte in de praktijk te toetsen en te onderbouwen. Daarnaast kunnen deze experimenten mogelijk aansluiten bij de observatie dat verouderd immobilisaat lagere emissies vertoont dan vers geproduceerd immobilisaat, zoals aangetoond in dit rapport.

Het huidige project gaf geen goed beeld van de waterbalans rondom het storten van gestabiliseerd afval. Het zal in de praktijk waarschijnlijk onmogelijk blijken om een gesloten waterbalans te creëren. Echter, een nauwkeuriger schatting van de hoeveelheid water die met het afval in contact komt zou helpen bij de lange termijn voorspellingen van emissies (o.a. de bronterm voor verspreiding van verontreinigingen). Daarom wordt aanbevolen om een aanvullende praktijkproef in te richten op de stortplaats waarbij rekening gehouden wordt met de lessen die uit het huidige project zijn geleerd. In een nieuw uit te voeren pilotproef dient ook de uitloging van verontreinigingen vanuit het immobilisaat te worden meegenomen alsmede een nieuwe poging om de onderliggende grondlaag ongestoord te kunnen bemonsteren.

Het wordt aanbevolen om de pH-stat test te gebruiken als basis voor beoordeling van oplosbaarheidcontrolerende processen. Ook als de pH in de praktijk nauwelijks verandert geeft de pH-stat proef wel inzicht in de chemische processen die de uitloging controleren. Deze processen kunnen meegenomen worden in de modellering voor de ontwikkeling van regelgeving voor gestabiliseerd afval. De regelgevingcriteria voor de oplosbaarheid-gecontroleerde elementen kunnen vervolgens berekend worden op basis van dezelfde systematiek als voor het Europese Stortbesluit voor granulair afval gedaan is. Echter, de infiltratie snelheid dient nog wel te worden vastgesteld.

De impact van oplosbare zouten kan worden gemodelleerd op basis van diffusiecontrole (met gegevens uit de tanktest) waarbij rekening gehouden wordt met nat/droog cycli. De gevolgen voor de regelgeving met betrekking tot gestabiliseerd afval zijn nog niet duidelijk. Het wordt aanbevolen om hier aandacht aan te besteden.

5. Referenties

(1) Fitch, J. R., Cheeseman, C. R., Characterisation of environmentally exposed cement-based stabilised/solidified industrial waste. Journal of Hazardous Materials, **2003**. *101*, 239-255.

(2) Sloot, H. A. van der, van Zomeren, A., Meeussen, J. C. L., Seignette, P., Bleijerveld, R., Interpretation of test method selection, validation against field data, and predictive modelling for impact evaluation of stabilised waste disposal. Journal of Hazardous Materials *141*, **2007**. 354-369.

(3) Zomeren, A. van, and van der Sloot, H. A. Monolith, stortplaats voor cement-gestabiliseerd gevaarlijk afval. ISBN-10: 90-73573-32-7, *871*. **2006**. Den Bosch, Dutch sustainable landfill foundation.

Bijlage A

Verslag monstername en inspectie duurzaam storten compartimenten VBM (27-04-'05)

André van Zomeren, 13-7-'05

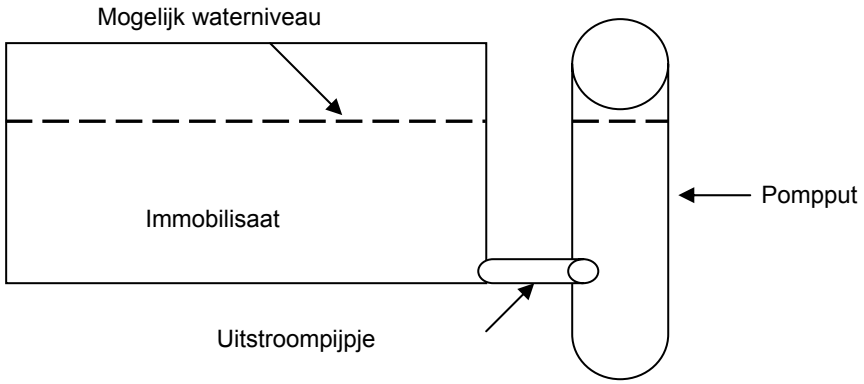
Inleiding

Op 27 april 2005 zijn de compartimenten van Duurzaam Storten weer bemonsterd en zijn foto's genomen van de actuele situatie. Dit verslag beschrijft de bevindingen en geeft aanbevelingen over te nemen acties.

Resultaten

Afvoer percolaatwater

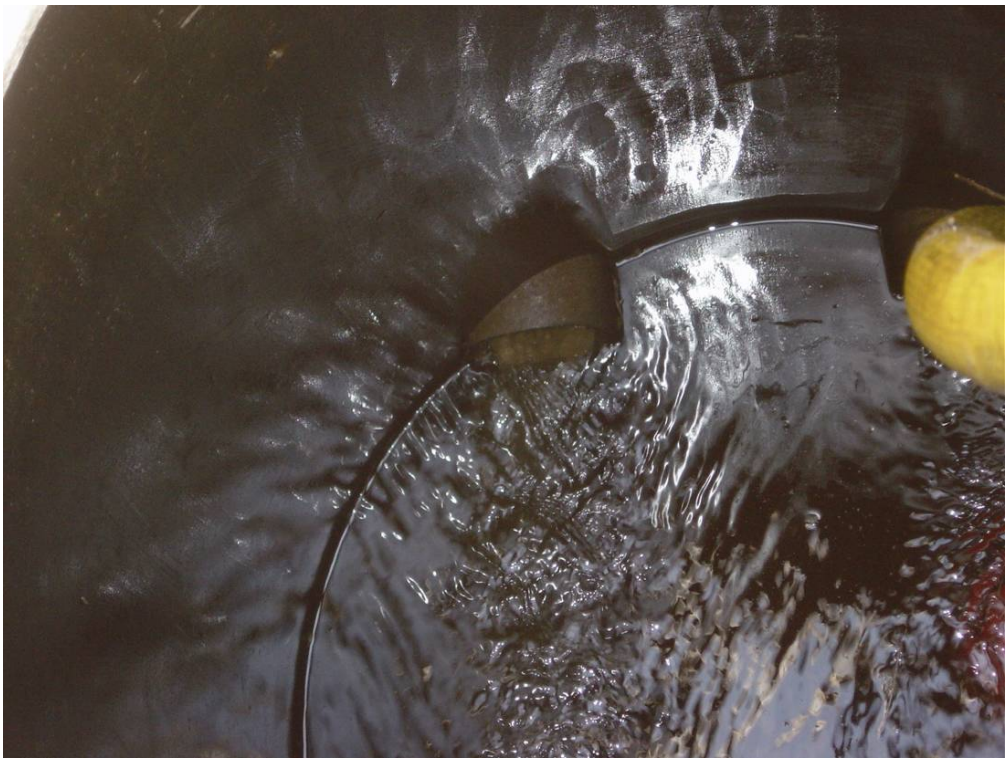
De percolaatwater putten waren enige maanden niet leeggepompt doordat er op het terrein andere urgente zaken speelde rondom de waterzuivering. In de week voor de monstername op 27 april is begonnen met het leegpompen van de putten. Het bleek dat er zeer veel water in de compartimenten aanwezig was, na het leegpompen van de putten stroomde er weer nieuw water uit het compartiment. De putten zijn verschillende keren leeggepompt totdat er geen water meer uit het compartiment stroomde.
Omdat het compartiment en de bijbehorende put fungeren als een soort communicerend vat kan aangenomen worden dat het immobilisaat gedurende een bepaalde tijd verzadigd is geweest met water. Door capillaire krachten in het immobilisaat kan een zekere (onbekende) hoeveelheid water in het compartiment worden vastgehouden. De situatie wordt schematisch weergegeven in Figuur . Het is ook mogelijk dat dit waterniveau ook in de zandlaag heeft geheerst, de discussie hierover staat hieronder.



Figuur 13 Schematische weergave van het mogelijke waterniveau in immobilisaat compartiment en bijbehorende pompput

Het niveau van de pompput van Cel A op 27 april 2005 is weergegeven in Figuur 5.2. De overige putten hadden een ongeveer gelijke waterstand. In Figuur 5.2. is te zien dat het waterniveau tot bijna boven aan de rand komt. Dit betekent dat het waterniveau in het compartiment mogelijk ook op deze hoogte zal staan. Hierna is weer begonnen om de put leeg te pompen. Wanneer het waterniveau tot onder het uitstroompijpje kwam was duidelijk zichtbaar dat er opnieuw water uit het compartiment stroomde. Dit is te zien in.Figuur 5.3

Figuur 14 Foto van het water niveau van pompput Cel A op 27 april 2005

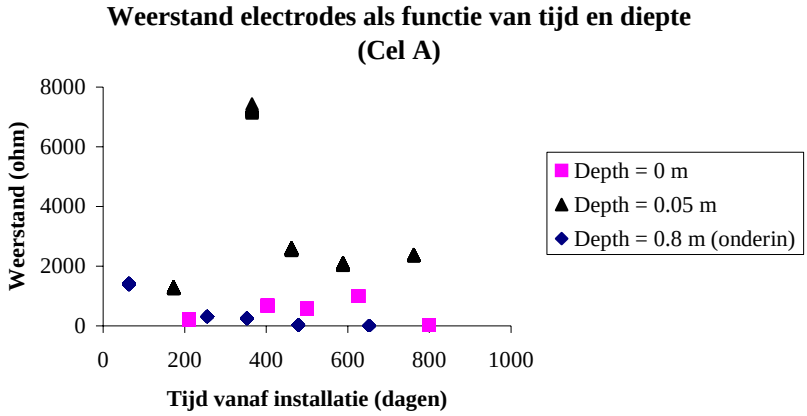


Figuur 15 Foto van het opnieuw uitstromen van percolaatwater na leegpompen van Cel A

Er zijn ook diverse sensoren in het immobilisaat geïnstalleerd om een indicatie van het vochtgehalte te kunnen krijgen. Deze sensoren meten de elektrische weerstand in een aantal metalen ringen, met behulp van een aantal ijkparameters kan de weerstand worden omgerekend naar een vochtgehalte. De ijkparameters zijn echter alleen bekend van beton. Daarom worden de metingen in deze studie kwalitatief beschouwd. Een weerstand van nul

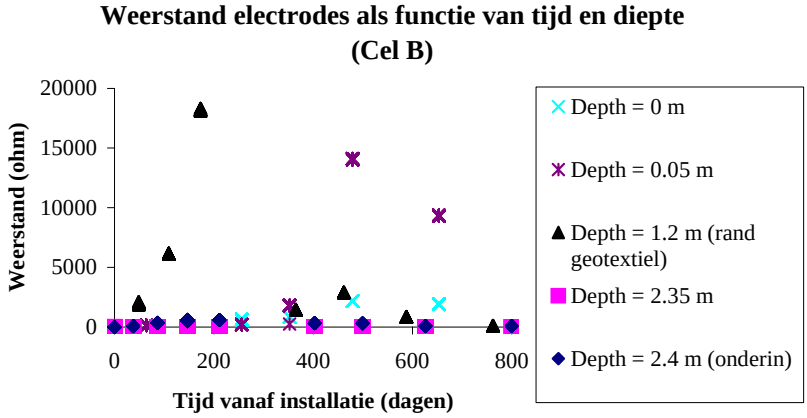
betekent dat het immobilisaat vochtig is. Wanneer de weerstand hoger wordt neemt het vochtgehalte in het immobilisaat af.

De resultaten van de metingen in Cel A staan in Figuur 5.4 weergegeven. Figuur 5.4 laat zien dat de weerstand onderin het compartiment (0.8 m) doorgaans laag is en de laatste paar metingen zelfs nul is. Dit betekent dat het immobilisaat onderin nat is, er kan echter niet gespecificeerd worden hoe nat dit deel moet zijn. Aan de bovenzijde van het immobilisaat (0 cm) en iets daaronder (5 cm) wordt een weerstand in de orde van een paar duizend ohm gemeten, behalve de laatste meting van het bovenoppervlak (21 ohm). Dit betekent dat de bovenkant van het immobilisaat doorgaans droger is dan de onderzijde. De situatie tijdens de laatste meting lijkt op basis van deze gegevens niet echt veranderd ten opzichte van de eerdere metingen.



Figuur 16 Gemeten weerstand met vochtsensoren in Cel A op verschillende diepten in het immobilisaat van de pilotproef

In Figuur 5.5 staan de resultaten van de metingen in Cel B weergegeven. Ook in deze cel is de weerstand onderin het compartiment laag (dus vochtgehalte is relatief hoog) en bovenin is de weerstand hoger. De vochtsensor op 1.2 m is aan de rand van het immobilisaat geplaatst, vlak tegen het geotextiel aan. Ook in deze sensor is de weerstand bij de laatste meting nul.



Figuur 17 Gemeten weerstand met vochtsensoren in Cel B op verschillende diepten in het immobilisaat van de pilotproef

Alhoewel deze metingen geen kwantitatieve informatie geven lijken er wel aanwijzingen dat het immobilisaat onderin nat is en in cel B op 1.2 m ook nog steeds nat is. Aan het oppervlak van het compartiment lijkt het immobilisaat relatief wat droger te zijn.

Volumina opgevangen percolaatwater

In Figuur 5.6. staat de cumulatieve percolaat produktie en de neerslag als functie van tijd weergegeven. In de periode vanaf 0.9 jaar (22-4-'05) neemt de percolaatproduktie ineens toe tot waarden die zelfs hoger zijn dan de neerslag. Er is in de periode 15-6-'05 tm 23-6-'05 (periode van het laatste meetpunt) 3 mm regen gevallen (Bron: KNMI). Op dit moment zijn de actuele neerslaggegevens van VBM nog niet in bezit. Dit zou betekenen dat er maximaal een extra bijdrage van de neerslag zou kunnen zijn van 750 L indien het totale oppervlak van de compartimenten en een omringende laag zand van 1 meter in beschouwing wordt genomen. Deze hoeveelheid is veel te klein om een bijdrage aan de hoge percolaatwater productie te kunnen leveren. Er is in de periode van 15-6-'05 tm 23-6-'05 56.7 m^3, 26.1 m^3, 16.0 m^3 en 20.7 m^3 afgevoerd uit respectievelijk de cellen A tm D.

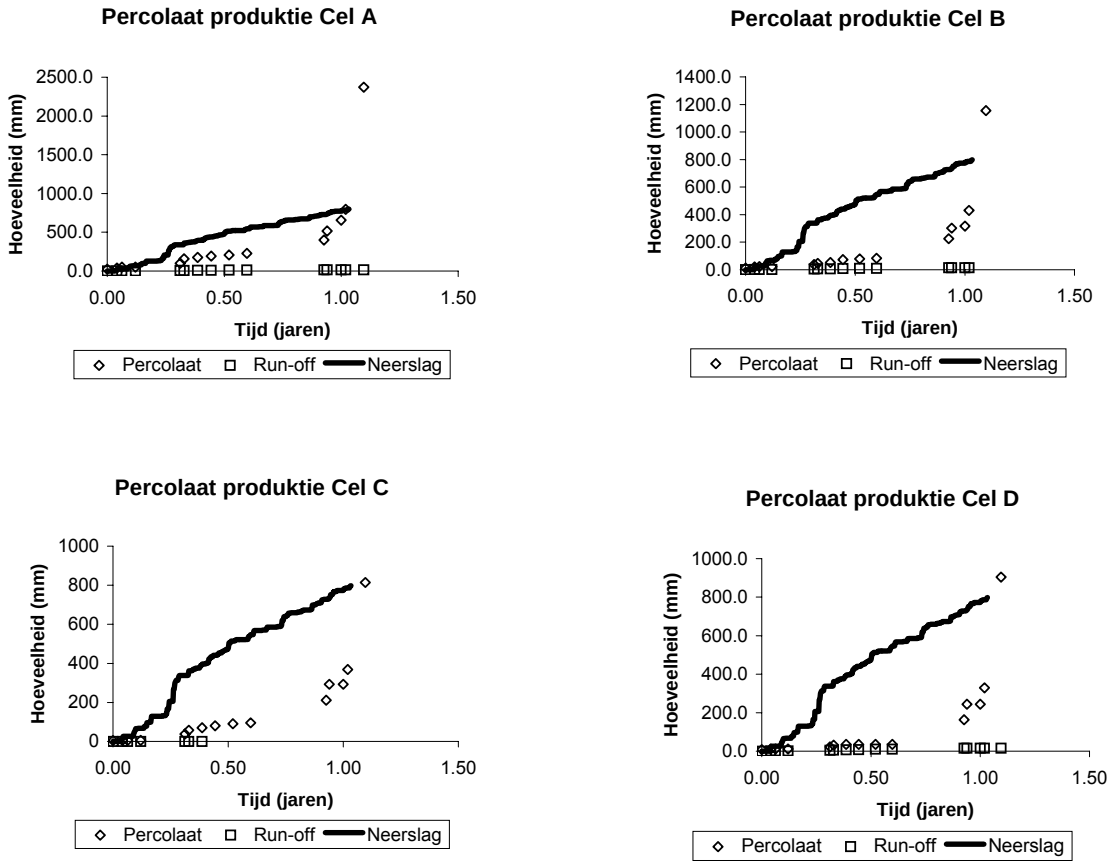
Omdat de hoge percolaatproductie niet verklaard kan worden door lekstromen vanuit de omringende zandlaag en de neerslag in de periode van 15-6-'05 tm 23-6-'05, ontstaat het vermoeden dat er water vanuit het omliggende "reguliere" compartiment (Fase 602) in de Duurzaam Storten compartimenten gestroomd is. Daarom is navraag gedaan naar de niveau's van de pompputten van dit compartiment over de afgelopen periode, zie Figuur 5.7. In deze Figuur is ook een lijn getekend die de hoogte van het het folie (bovenrand) in het Duurzaam storten compartiment weergeeft. Wanneer het niveau van de pompput hoger wordt dan de stippellijn mag worden verondersteld dat het water uit Fase 602 een bijdrage aan de hoeveelheid percolaatwater van de Duurzaam storten compartimenten geleverd heeft. Figuur 5.7. laat duidelijk zien dat het waterniveau in de periode maart tm juli 2005 aanzienlijk boven de kritische hoogte van 1.25 m ligt. De gemeten volumina in deze periode zijn dus geen maat voor de werkelijke hoeveelheden van de Duurzaam storten compartimenten en zullen worden geschrapt in verdere rapportages.

Overleg met Pieter van den Berg leerde dat Fase 602 (voorheen monodeponie) eerder altijd "leeg" gehouden werd omdat hier Big-bags opgeslagen lagen. Het compartiment wordt nu als immobilisaat stort gebruikt en het is daarom niet nodig om het niveau dusdanig laag te houden. Echter, zoals blijkt uit de resultaten in Figuur 5.6. is het voor het project Duurzaam storten van groot belang dat het waterniveau in fase 602 laag genoeg blijft. Naast de beïnvloeding van de watervolumina wordt ook de chemische samenstelling van het percolaatwater beïnvloed. Door de opbouw van de huidige immobilisatie stort in Fase 602 wordt verwacht dat het afstromende water van het immobilisaat niet gemengd kan zijn met percolaatwater van de duurzaam storten cellen. Het run-off water van de immobilisaat stort stroomt via drainagebuizen naar een andere locatie. Om deze hypothese te testen wordt voorgesteld om de pH en geleidbaarheid van het water in fase 602 een aantal malen te meten. Deze waarden kunnen vergeleken worden met de metingen die in de periode 15-6-'05 tm 23-6-'05 verzameld zijn. Hier werd wel een hoge pH en geleidbaarheid van het percolaatwater gemeten (zie volgende paragraaf).

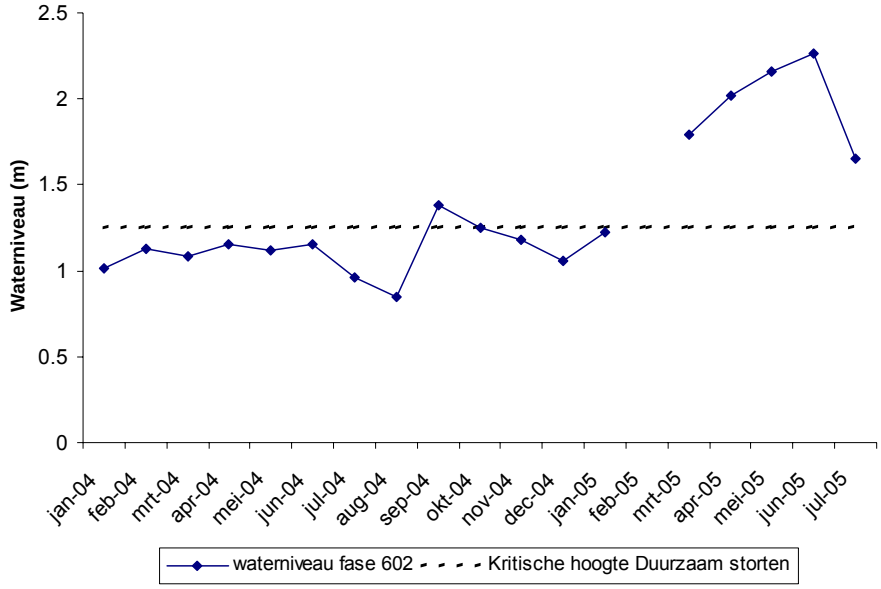
pH en geleidbaarheidsmetingen in percolaatwater

Alhoewel het bij de monitoring van de percolaatwater kwaliteit niet ideaal is om de putten dusdanig vol te laten lopen dat het immobilisaat verzadigt raakt, heeft dit wel geleid tot de mogelijkheid van monstername na verzadiging van het immobilisaat. Dit zou gezien kunnen worden als een soort diffusieproef zoals op laboratoriumschaal vaak wordt uitgevoerd (NEN

7375). De resultaten van de in-situ metingen van het percolaatwater op 27-4-'05 zijn weergegeven in Tabel 4.



Figuur 18 Cumulatieve percolaat produktie en neerslag als functie van tijd



Figuur 19 Waterniveau in de pompput van Fase 602 over de periode januari 2004 tm juli 2005. De zwarte stippellijn geeft de hoogte van het folie (bovenrand) in het Duurzaam storten compartiment weer.

Tabel 4 *In-situ metingen percolaatwater duurzaam storten, 27 april 2005*

Cel	Monstername punt	E.C. (mS/cm)	Temp. (C)	pH	Eh (mV)	Opmerkingen
A	Percolaat	32.6	10.4	12.15	-20	
B	Percolaat	85.8	11.4	7.2	113	
B	Poriewater boven grondlaag	>>	18	9.11	6	Geleidbaarheid boven meetbereik
B	Poriewater onder grondlaag	>>	18.3	7.72	1	Geleidbaarheid boven meetbereik
C	Percolaat	43.6	11.9	12.45	-47	Witte vlokken in monster
D	Percolaat	32.4	12.4	8.87	4	

In Tabel 4 valt op dat de gemeten pH waarden in het percolaatwater over het algemeen veel hoger zijn dan eerdere metingen, behalve het water uit cel B. In Cel A en C worden pH waarden van boven de 12 gemeten. Dit suggereert dat het bemonsterde water intensief in contact is geweest met het immobilisaat, door de snelle afvoer van water door de grondlaag (die doorgaans voor neutralisatie zorgt) is er waarschijnlijk niet voldoende tijd om al dit water te neutraliseren. Er dient echter op dit moment ook rekening te worden gehouden met het feit dat het percolaatwater beïnvloedt kan zijn door het water van fase 602.

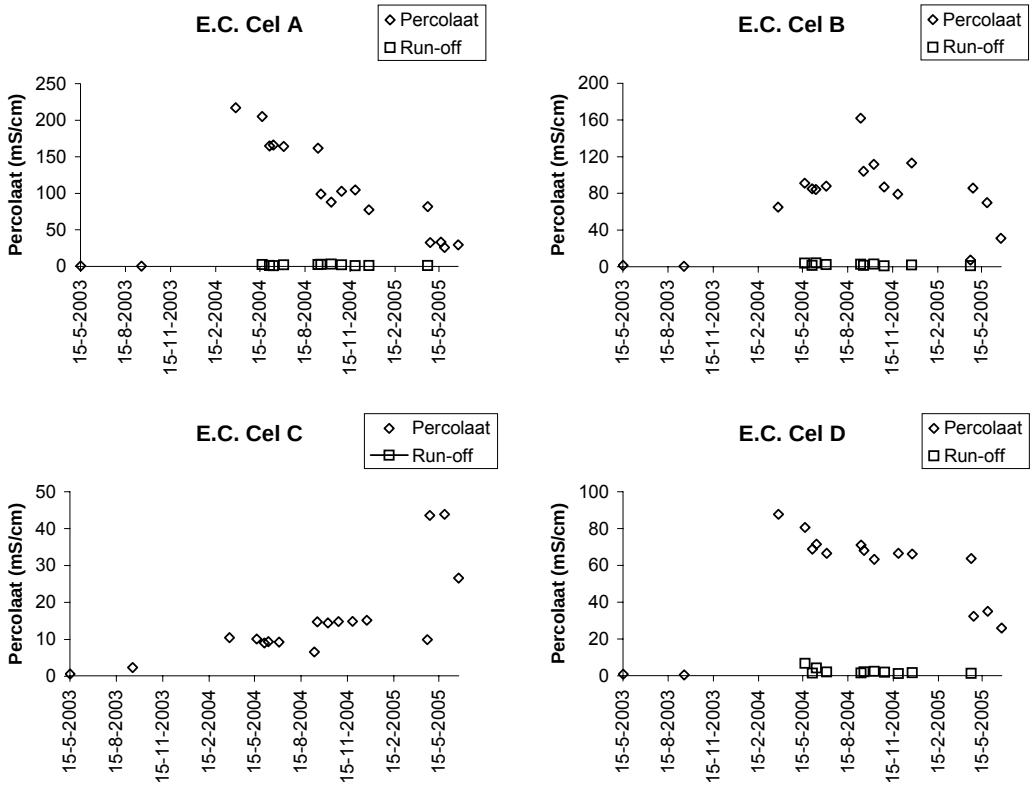
De metingen van de hoge pH in het percolaatwater van het immobilisaat zijn belangrijk, dit geeft immers heel duidelijk aan dat het geproduceerde percolaatwater wel alkalisch kan zijn maar dat dit bij normale bedrijfsvoering niet het geval is. Enerzijds door de duidelijke rol van de grondlaag en anderzijds door een minder intensief contact en door carbonatatie van het percolaatwater en van de buitenste laag van het immobilisaat.

Het bemonsterde poriewater heeft een geleidbaarheid die boven het meetbereik van de E.C. meter ligt (meetbereik 200 mS/cm). Daarnaast is het opvallend dat het poriewater dat nog niet door de grondlaag is geweest (Poriewater boven grondlaag), een hogere pH heeft dan het poriewater dat onder de grondlaag bemonsterd is. Deze metingen geven heel direct aan dat de grondlaag een belangrijke rol speelt bij de neutralisatie van percolaatwater.

In Figuur 5.8 staan de gemeten E.C. waarden als functie van de tijd weergegeven. Het is te zien dat de geleidbaarheid in cel A, B en D afneemt in de loop van de tijd. In cel A gaat dit proces het snelst, waarschijnlijk omdat de percolaatproduktie in deze cel het hoogst is. Hierdoor worden de zouten sneller uitgespoeld. De resulaten in Tabel 4 zijn in overeenstemming met de metingen zoals gepresenteerd in Figuur 5.8. Er zou op voorhand worden verwacht dat de langere contacttijd en de hoge pH ook zou resulteren in een relatief hoge geleidbaarheid. Er lijkt alleen in cel C sprake van een relatief hoge geleidbaarheid in de laatste drie metingen zoals hieronder besproken wordt. De relatief lage geleidbaarheid in het percolaatwater wijst ook op beinvloeding van water uit fase 602. Aanvullende metingen van de pH en geleidbaarheid van dit water zouden hier uitsluitsel over kunnen geven.

De geleidbaarheid van cel C (ingepakt in folie) is steeds lager geweest dan de overige cellen. Deze cel produceert onverwacht veel percolaatwater dat waarschijnlijk afkomstig is van lekstromen zoals in de paragraaf Waterbalans beschreven wordt (zie ook Figuur 22). De geleidbaarheid in deze cel is steeds relatief constant geweest. Waarschijnlijk komt dit doordat slechts een klein deel van het immobilisaat in contact komt met water dat vanaf onderin het compartiment instroomt (zie ook Figuur en de discussie hierbij). De geleidbaarheid neemt in de laatste 3 metingen toe (periode 27-4-'05 tm 23-6-'05). Omdat de percolaatputten in deze

periode helemaal vol zaten is het waarschijnlijk dat het waterniveau in het compartiment daardoor ook hoger was dan normaal gesproken het geval is. Hierdoor kan het percolaat water in contact komen met het deel van het immobilisaat in cel C dat in de voorgaande periode slechts zeer beperkt in contact is geweest met water.



Figuur 20 Geleidbaarheid als functie van de tijd in percolaat- en run-off water van de pilotproef gestabiliseerd afval

Eerder werd gedacht dat de relatief lage E.C. waarden bij deze langere contacttijden in het percolaatwater te maken zouden kunnen hebben met een systematische fout in een van de geleidbaarheidsbepalingen (van VBM of ECN). Naar nu blijkt uit de discussie hierboven heeft dit waarschijnlijk te maken met beinvloeding van water uit fase 602. Omdat de resultaten wel belangrijk zijn voor de onderlinge vergelijking van metingen met verschillende apparatuur worden de resultaten toch behandeld in deze rapportage.

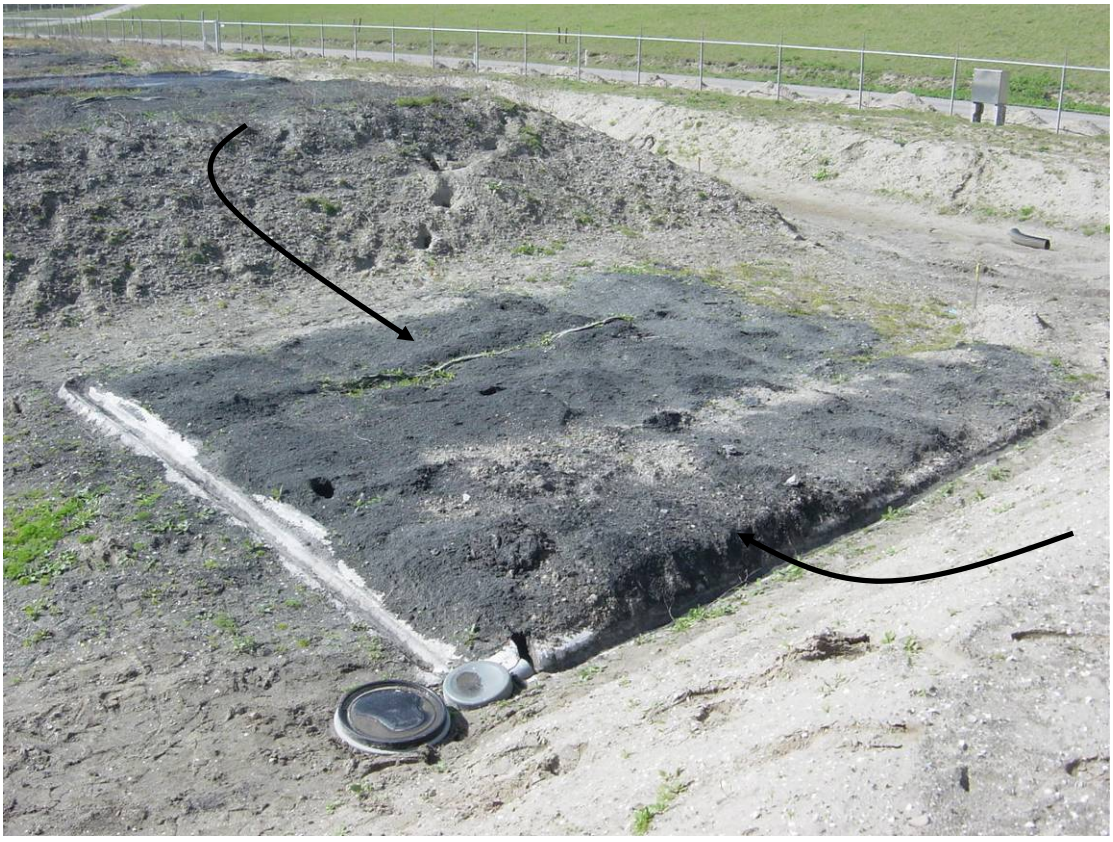
Doorgaans wordt de geleidbaarheid met een apparaat van VBM bepaald, ditmaal is de geleidbaarheid met een apparaat van ECN bepaald. Op 26-5-05 zijn monsters van het percolaatwater genomen. Op deze monsters zijn analyses van pH en E.C. uitgevoerd door VBM. Daarna zijn deze monsters luchtdicht in een glazen fles verstuurd naar ECN waar deze parameters nogmaals met twee verschillende meetinstrumenten bepaald zijn. De resultaten van deze analyses in Tabel 5 laten zien dat er onderling geen significante verschillen tussen de gemeten EC waarden zijn. Er is dus geen sprake van een foutieve meting van de geleidbaarheid. Tussen de verschillende cellen is wel verschil in geleidbaarheid waar te nemen.

Tabel 5 *pH en geleidbaarheidsmetingen op percolaatwater monsters (26-5-05) door VBM en ECN*

Naam	VBM	ECN (Andre)	ECN (Petra)	VBM	ECN (Andre)	ECN (Petra)
Datum	26-5-2005	31-5-2005	31-5-2005	26-5-2005	31-5-2005	31-5-2005
parameter	EC	EC	EC	pH	pH	pH
Eenheid	mS/cm	mS/cm	mS/cm	(-)	(-)	(-)
Cel A 26-5-2005	25.7	25.9	25.6	11.6	11.88	11.14
Cel B 26-5-2005	69.9	66.9	69.5	7.3	7.58	7.22
Cel C 26-5-2005	43.9	43	42.2	12.4	12.82	12.22
Cel D 26-5-2005	35.3	33.9	34.3	10.3	9.78	9.60

Waterbalans

In het vorige verslag over de waterbalans binnen de pilotproef kwam reeds naar voren dat Cel A waarschijnlijk beïnvloedt wordt door afstromend water van het naastliggende talud waar de compartimenten B tm D gelegen zijn. Tijdens het laatste bezoek bleek dat er aan de andere zijde van compartiment A ook een talud is gemaakt, dit talud was nodig voor de normale bedrijfsvoering. De situatie is weergegeven in Figuur 21. Het nieuwe talud ligt vlak tegen Cel A aan, het is daarom moeilijk om hier een extra afwatering te realiseren zoals was voorgesteld aan de andere zijde van cel A.



Figuur 21 Foto van talud aan beide zijden van Cel A op 27 april 2005

Het is op dit moment onbekend wat de precieze reden voor de aanleg van dit talud was, mogelijk kunnen hier nog aanpassingen plaatsvinden om beïnvloeding van Cel A te minimaliseren. In de huidige situatie is het niet meer mogelijk om kwantitatieve informatie over de waterstromen in cel A te verkrijgen.

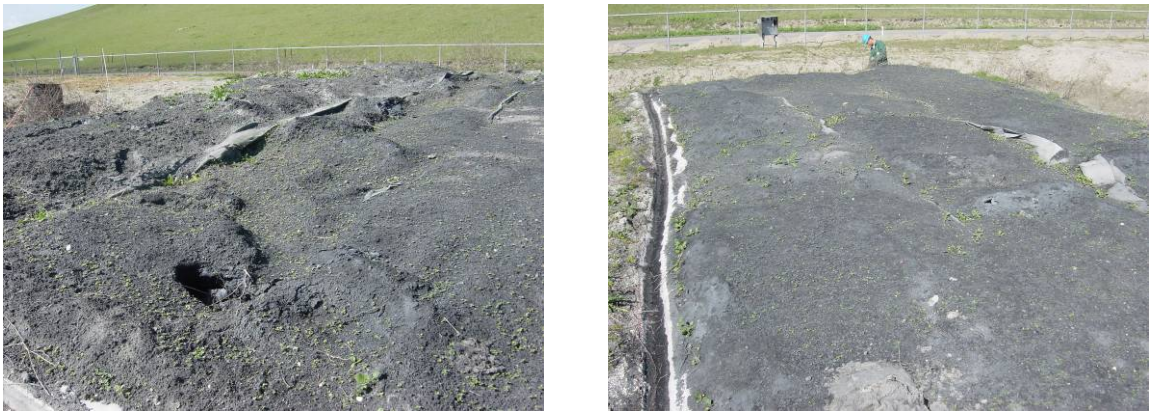
In Figuur 22 is de situatie van Cel C weergegeven. Dit afgedekte compartiment produceert toch veel percolaatwater, er is al gesuggereerd dat dit komt door afstroming in een van de hoeken waardoor het regenwater toch onder in de drainage terechtkomt. Figuur 22 laat ook duidelijk het weggespoelde zand zien, de situatie is verder gelijk aan die van 4 november 2004.
Voor deze situatie ligt de vraag nog open of het mogelijk is om specifiek in deze hoek van Cel C een voorziening te creëren die ervoor zorgt dat het regenwater weg kan stromen naar een plek waardoor Cel C niet meer beïnvloedt wordt.

Figuur 22 Afstroomroute van neerslag op Cel C

Run-off water opvangvoorzieningen en zwelling van immobilisaat

Bij de laatste inspectie werd duidelijk dat de betonnen run-off afvoergoten op sommige delen grote scheuren vertonen. Hierdoor zal het afstromende water niet meer efficient opgevangen kunnen worden. In Figuur 23 is een voorbeeld opgenomen van een scheur in de run-off goot van Cel A. Het is wenselijk dat de scheuren gedicht worden om de afstromende volumina beter te kunnen kwantificeren.
Een bijkomend probleem is echter dat het immobilisaat in de compartimenten A, B en D behoorlijk gezwollen is, dit is ook duidelijk te zien in Figuur 23. De zwelling leidt enerzijds tot scheurvorming in de run-off goten en het is niet duidelijk of de zwelling nu gestopt is. Anderzijds zorgt de zwelling van het immobilisaat voor een onregelmatig bovenoppervlak waardoor het afstromende water niet meer preferent in de richting van de run-off goten stroomt. We zullen moeten beslissen of we de compartimenten aan vier zijden van run-off goten gaan voorzien waardoor de kwantitatieve informatie over deze waterstroom behouden blijft. Een andere optie is om te beslissen dat we alleen de scheurvorming herstellen om in staat te blijven om monsters van het run-off water te nemen voor chemische analyse zonder kwantitatieve informatie over de volumina (door verhoogde afstroming aan de zijden zonder run-off goot).

Figuur 23 Voorbeeld van scheurvorming in run-off afvoergoot Cel A.



Figuur 24 Voorbeelden van zwellingen in bovenoppervlak immobilisaat. Links is het bovenoppervlak van Cel B te zien, rechts een opname van het bovenoppervlak van Cel D. Cel D vertoont de meeste zwelling.

Een paar andere voorbeelden van de zwellingen in het immobilisaat staan in Figuur 24. Hierin is duidelijk te zien dat het immobilisaat gezwollen is, vooral Cel D vertoont een onregelmatig oppervlak. Ook in Figuur 23 is de zwelling van Cel A goed te zien.
Het is hierbij belangrijk te noemen dat Cel C (ingepakt in folie) geen zwelling vertoont en juist meer ingeklonken lijkt (Figuur 5.13). Waarschijnlijk wordt de zwelling van het immobilisaat veroorzaakt door verwering, alhoewel het precieze mechanisme nog niet duidelijk is. De relatief zachte toplaag van de cellen A, B en D worden waarschijnlijk ook veroorzaakt door verwering, waarschijnlijk speelt de uitspoeling van zouten uit de bovenlaag ook een rol. Er is al eerder vastgesteld dat de bovenste laag van het immobilisaat gecarbonateerd is, ook is vegetatie waargenomen op het immobilisaat (zie bijvoorbeeld Figuur 23). Deze effecten zijn ook

waargenomen door Fitch en Cheeseman (Fitch and Cheeseman, 2003) in een pilotstudie met gestabiliseerd afval. Het is zeer waarschijnlijk dat de processen die optreden in de bovenlaag van de Duurzaam Storten cellen ook optreden langs de schuine zijden van de compartimenten in de normale bedrijfsvoering. Er zal in overleg met VBM moeten worden vastgesteld of het wenselijk is om te zoeken naar oplossingen voor deze effecten. Momenteel worden de schuine zijden in de normale bedrijfsvoering tijdelijk afgedekt met een folielaag.

Figuur 25 Foto van bovenoppervlak Cel C. Op de foto is zowel de voorkeursrichting van afstromend water te zien (zie ook Figuur 22) als het relatief vlakke verloop met enkele kuilen.

Conclusies

- De percolaatwater putten waren enige maanden niet leeggepompt doordat er op het terrein andere urgente zaken speelden rondom de waterzuivering. In de week voor de monstername op 27 april is begonnen met het leegpompen van de putten. Omdat het compartiment en de bijbehorende put fungeren als een soort communicerend vat kan aangenomen worden dat het immobilisaat gedurende een bepaalde tijd verzadigd is geweest met water. Het is echter niet bekend of het gehele compartiment dan wel delen ervan verzadigd zijn geweest.

- Omdat de hoge percolaatproductie niet verklaard kan worden door lekstromen vanuit de omringende zandlaag en de neerslag in de periode van 15-6-'05 tm 23-6-'05, ontstond het vermoeden dat er water vanuit het omliggende "reguliere" compartiment in de Duurzaam Storten compartimenten gestroomd is. Uit analyse van de waterniveau's in de pompput van fase 602 blijkt dat het niveau in de periode maart tm juli 2005 continue boven de zogenaamde kritische hoogte van 1.25 m is geweest. Er wordt geconcludeerd dat de

gemeten volumina in deze periode geen maat zijn voor de werkelijke hoeveelheden van de Duurzaam storten compartimenten en deze metingen zullen worden geschrapt in verdere rapportages.

- Door de opbouw van de huidige immobilisatie stort in Fase 602 wordt verwacht dat het afstromende water van het immobilisaat niet gemengd kan zijn met percolaatwater van de duurzaam storten cellen. Het run-off water van de immobilisaat stort stroomt drainagebuizen naar een andere locatie. Het water uit fase 602 zou dan relatief onbelast zijn en slechts leiden tot verdunning van de gemeten concentraties in deze periode. Nader onderzoek zou moeten uitwijzen of het water in fase 602 inderdaad relatief onbelast is en dus een neutrale pH en lage geleidbaarheid heeft.

- De gemeten pH waarden in het percolaatwater zijn bij de bemonstering van 27 april veel hoger dan eerdere metingen, behalve het water uit cel B. In Cel A en C worden pH waarden van boven de 12 gemeten. Dit suggereert dat het bemonsterde water intensief in contact is geweest met het immobilisaat, door de snelle afvoer van water door de grondlaag (die doorgaans voor neutralisatie zorgt) is er waarschijnlijk niet voldoende tijd om al dit water te neutraliseren.

- Het is opvallend dat het poriewater dat nog niet door de grondlaag is geweest (Poriewater boven grondlaag), een hogere pH heeft dan het poriewater dat onder de grondlaag bemonsterd is. Deze metingen geven heel direct aan dat de grondlaag een belangrijke rol speelt bij de neutralisatie van percolaatwater.

- De metingen van de hoge pH in het percolaatwater van het immobilisaat is belangrijk, dit geeft immers heel duidelijk aan dat het geproduceerde percolaatwater wel alkalisch kan zijn maar dat dit bij normale bedrijfsvoering niet het geval is. Enerzijds door de duidelijke rol van de grondlaag en anderzijds door een minder intensief contact en door carbonatatie van het percolaatwater en van de buitenste laag van het immobilisaat.

- Tijdens het laatste bezoek bleek dat er aan de andere zijde van compartiment A ook een talud is gemaakt, dit talud was nodig voor de normale bedrijfsvoering. Het nieuwe talud ligt vlak tegen Cel A aan, het is daarom moeilijk om hier een extra afwatering te realiseren zoals was voorgesteld aan de andere zijde van cel A. Het is op dit moment onbekend wat de precieze reden voor de aanleg van dit talud was, mogelijk kunnen hier nog aanpassingen plaatsvinden om beïnvloeding van Cel A te minimaliseren. In de huidige situatie is het niet meer mogelijk om kwantitatieve informatie over de waterstromen in cel A te verkrijgen.

- Bij de laatste inspectie werd duidelijk dat de betonnen run-off afvoergoten op sommige delen grote scheuren vertonen. Hierdoor zal het afstromende water niet meer efficiënt opgevangen kunnen worden. Het is wenselijk dat de scheuren gedicht worden om de afstromende volumina beter te kunnen kwantificeren.

- De scheurvorming in de betonnen run-off goten wordt veroorzaakt door zwelling van het immobilisaat, het is niet duidelijk of de zwelling nu gestopt is. De zwelling en de verminderde sterkte van het immobilisaat van de toplaag is waarschijnlijk het gevolg van verweringsprocessen en de uitspoeling van zouten. Het is zeer waarschijnlijk dat de processen die optreden in de bovenlaag van de Duurzaam Storten cellen ook optreden langs de schuine zijden van de compartimenten in de normale bedrijfsvoering.

- Cel C (ingepakt in folie) vertoont geen zwelling en lijkt juist meer ingeklonken. Waarschijnlijk wordt de zwelling van het immobilisaat veroorzaakt door verwering, alhoewel het precieze mechanisme nog niet duidelijk is. De relatief zachte toplaag van de cellen A, B en D worden waarschijnlijk ook veroorzaakt door verwering, waarschijnlijk speelt de uitspoeling van zouten uit de bovenlaag ook een rol.

Aanbevelingen

- Voor de onverwachte percolaatproductie van Cel C ligt de vraag nog open of het mogelijk is om specifiek in deze hoek van Cel C een voorziening te creëren die ervoor zorgt dat het regenwater weg kan stromen naar een plek waardoor Cel C niet meer beïnvloedt wordt. Er wordt voorgesteld om in overleg met VBM tot een oplossing te komen.

- De zwelling van het immobilisaat zorgt voor een onregelmatig bovenoppervlak waardoor het afstromende water niet meer preferent in de richting van de run-off goten stroomt. We zullen moeten beslissen of we de compartimenten aan vier zijden van run-off goten gaan voorzien waardoor de kwantitatieve informatie over deze waterstroom behouden blijft. Een andere optie is om te beslissen dat we alleen de scheurvorming herstellen om in staat te blijven om monsters van het run-off water te nemen voor chemische analyse zonder kwantitatieve informatie over de volumina (door verhoogde afstroming aan de zijden zonder run-off goot).

- Het waterniveau in fase 602 dient laag genoeg te zijn (lager dan 1.25 m) om geen verstoring van de Duurzaam storten metingen te hebben. Er dient overlegt te worden over manieren om dit te bereiken.

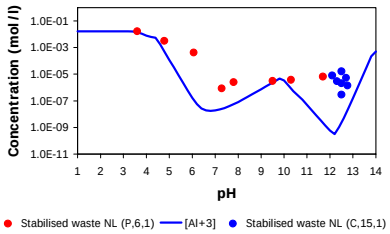
- Er dient te worden overlegt over de situatie van Cel A. Er is nu aan beide kanten een talud gemaakt waardoor afstromend water het compartiment in stroomt. In deze situatie is het niet mogelijk om kwantitatieve informatie over de waterstromen van cel A te verkrijgen.

- Er wordt voorgesteld om de pH en geleidbaarheid van het water in fase 602 een aantal malen te meten om te kunnen verifiëren of dit water relatief onbelast is (dus een neutrale pH en een lage geleidbaarheid heeft). Deze waarden kunnen vergeleken worden met de metingen die in de periode 15-6-'05 tm 23-6-'05 verzameld zijn. Hier werd wel een hoge pH en geleidbaarheid van het percolaatwater gemeten.

Bijlage B

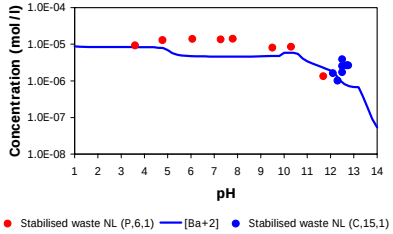
Resultaten pH-stat experimenten vers geproduceerd gestabiliseerd afval (recept 2100)

[Al+3] as function of pH



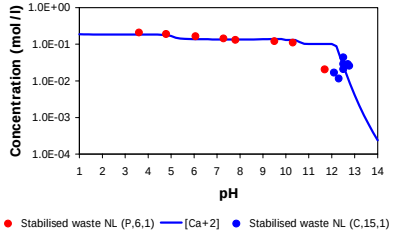
Stabilised waste NL (P,6,1) [Al+3] Stabilised waste NL (C,15,1)

[Ba+2] as function of pH



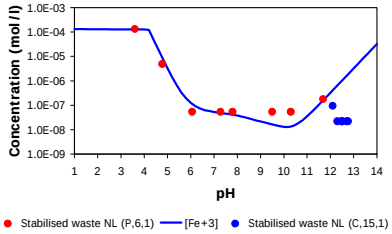
Stabilised waste NL (P,6,1) [Ba+2] Stabilised waste NL (C,15,1)

[Ca+2] as function of pH



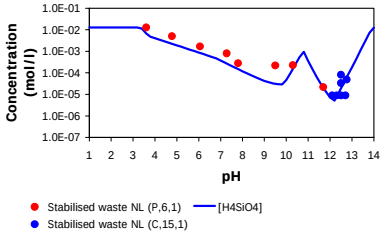
Stabilised waste NL (P,6,1) [Ca+2] Stabilised waste NL (C,15,1)

[Fe+3] as function of pH



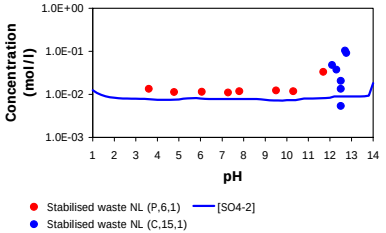
Stabilised waste NL (P,6,1) [Fe+3] Stabilised waste NL (C,15,1)

[H4SiO4] as function of pH



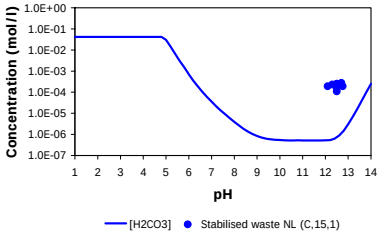
Stabilised waste NL (P,6,1) [H4SiO4]
Stabilised waste NL (C,15,1)

[SO4-2] as function of pH



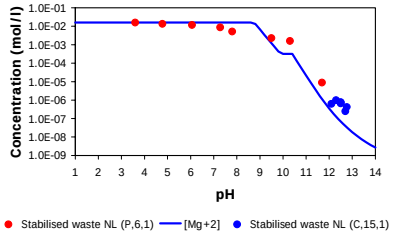
Stabilised waste NL (P,6,1) [SO4-2]
Stabilised waste NL (C,15,1)

[H2CO3] as function of pH



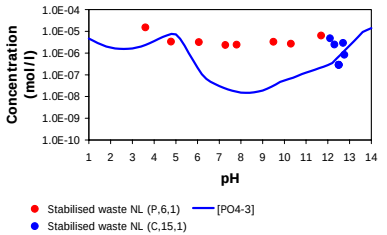
[H2CO3] Stabilised waste NL (C,15,1)

[Mg+2] as function of pH



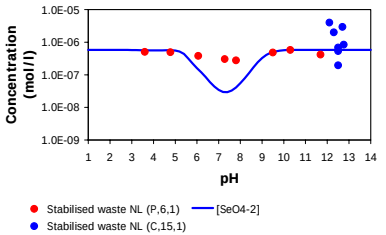
Stabilised waste NL (P,6,1) [Mg+2] Stabilised waste NL (C,15,1)

[PO4-3] as function of pH



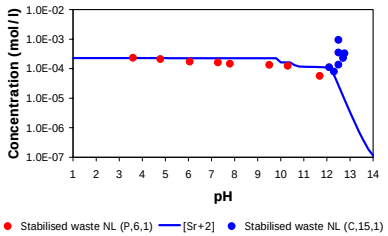
Stabilised waste NL (P,6,1) [PO4-3]
Stabilised waste NL (C,15,1)

[SeO4-2] as function of pH



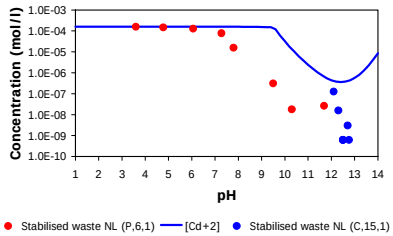
Stabilised waste NL (P,6,1) [SeO4-2]
Stabilised waste NL (C,15,1)

[Sr+2] as function of pH



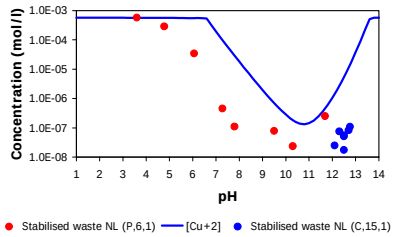
Stabilised waste NL (P,6,1) [Sr+2] Stabilised waste NL (C,15,1)

[Cd+2] as function of pH

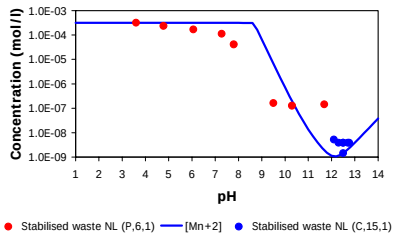


Stabilised waste NL (P,6,1) [Cd+2] Stabilised waste NL (C,15,1)

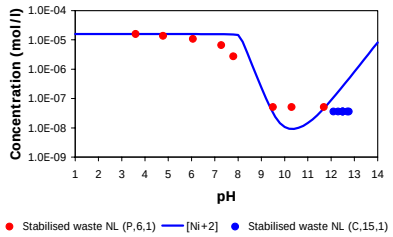
[Cu+2] as function of pH



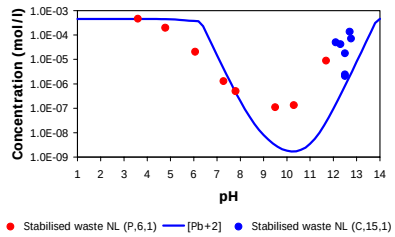
[Mn+2] as function of pH



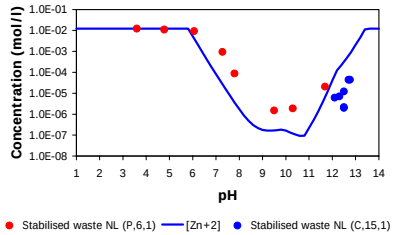
[Ni+2] as function of pH



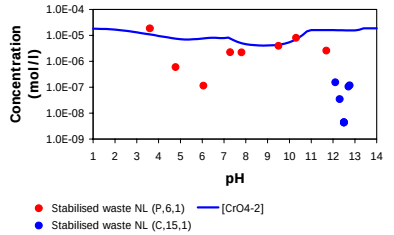
[Pb+2] as function of pH



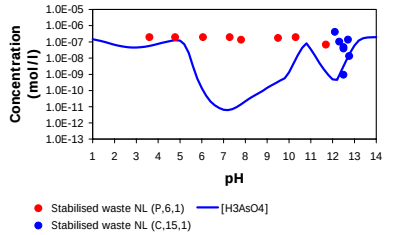
[Zn+2] as function of pH



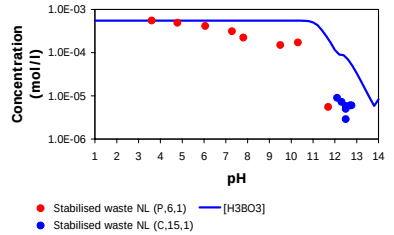
[CrO4-2] as function of pH



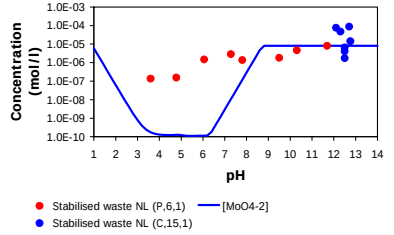
[H3AsO4] as function of pH



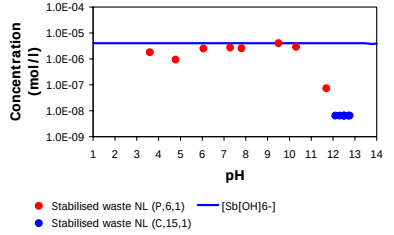
[H3BO3] as function of pH



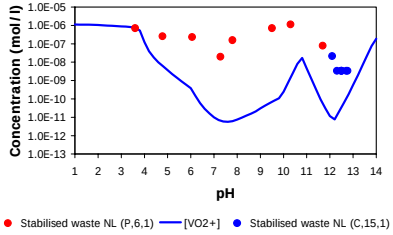
[MoO4-2] as function of pH



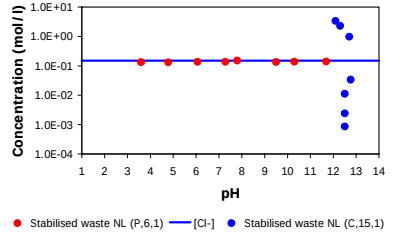
[Sb[OH]6-] as function of pH



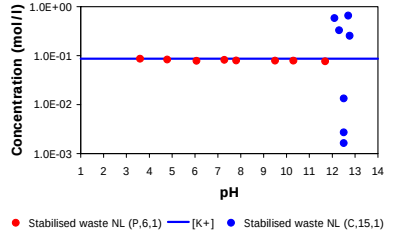
[VO2+] as function of pH



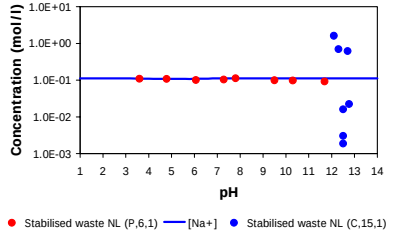
[Cl-] as function of pH



[K+] as function of pH



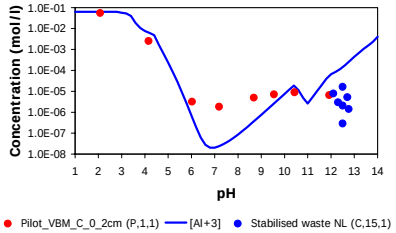
[Na+] as function of pH



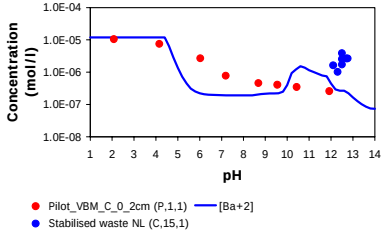
Bijlage C

Resultaten pH-stat experimenten gestabiliseerd afval (recept 2100) uit cel C (ingepakt)

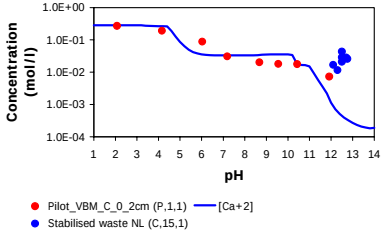
[Al+3] as function of pH



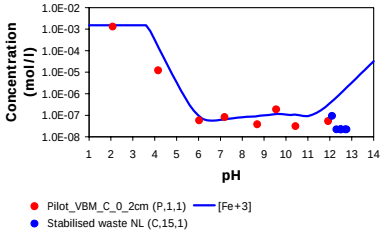
[Ba+2] as function of pH



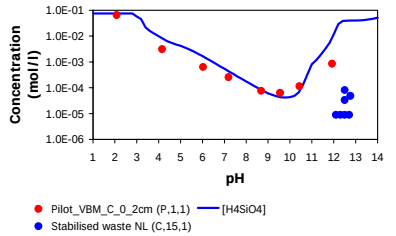
[Ca+2] as function of pH



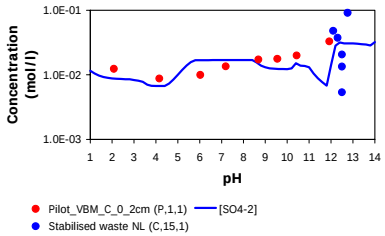
[Fe+3] as function of pH



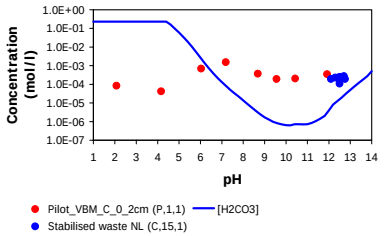
[H4SiO4] as function of pH



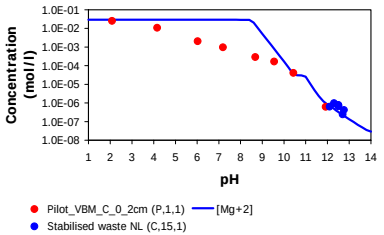
[SO4-2] as function of pH



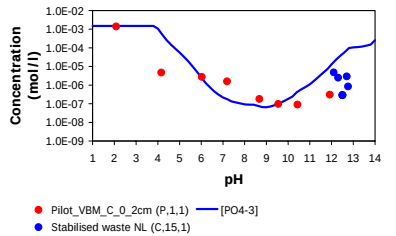
[H2CO3] as function of pH



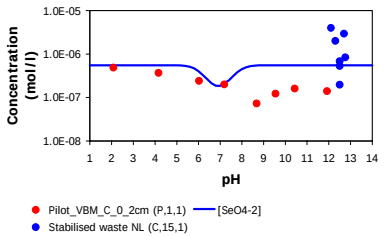
[Mg+2] as function of pH



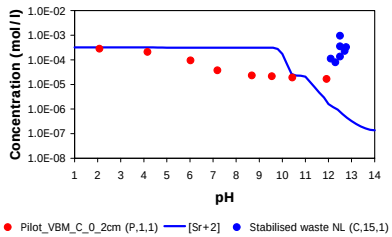
[PO4-3] as function of pH



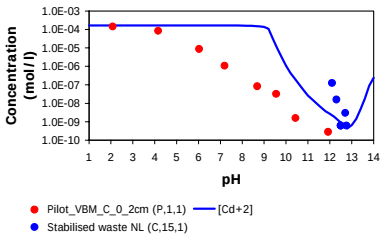
[SeO4-2] as function of pH



[Sr+2] as function of pH

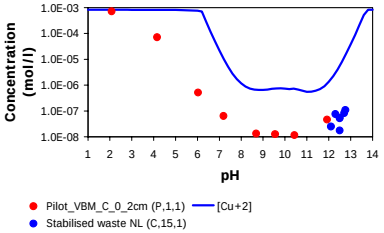


[Cd+2] as function of pH

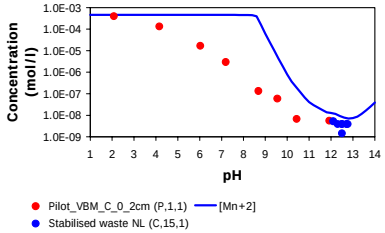


STICHTING DUURZAAM STORTEN

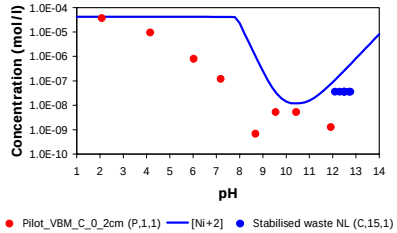
[Cu+2] as function of pH



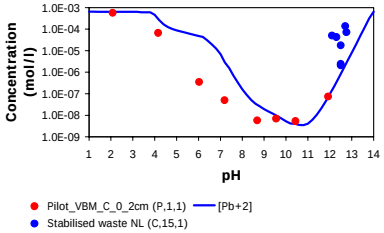
[Mn+2] as function of pH



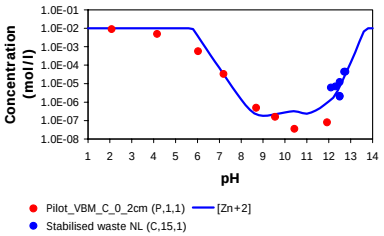
[Ni+2] as function of pH



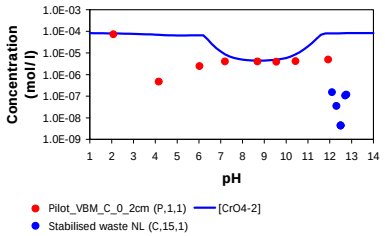
[Pb+2] as function of pH



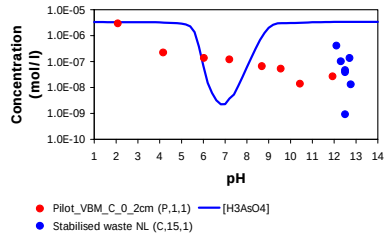
[Zn+2] as function of pH



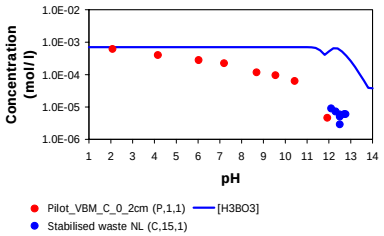
[CrO4-2] as function of pH



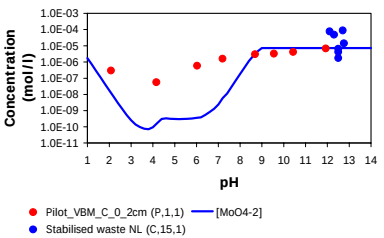
[H3AsO4] as function of pH



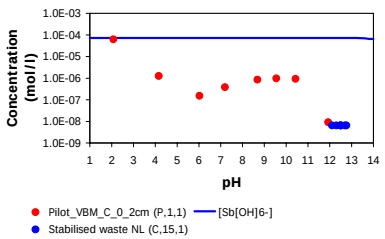
[H3BO3] as function of pH



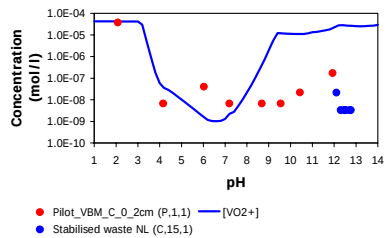
[MoO4-2] as function of pH



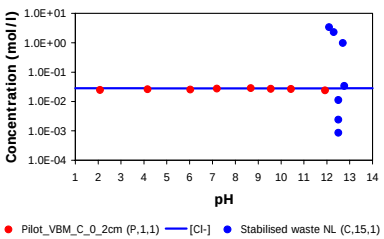
[Sb[OH]6-] as function of pH



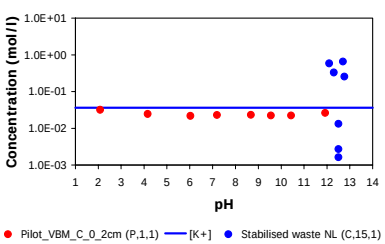
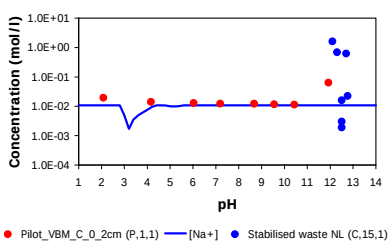
[VO2+] as function of pH



[Cl-] as function of pH



[K+] as function of pH



[Na+] as function of pH