



**Aan**  
Feniks recycling

**Van**

**Kopie**  
 (second reader)

art. 10.2e

## MEMO

# Stabiliteitsberekening afdichtingsconstructie AVI terp te A4 Steenbergen

**Datum**  
30-07-2013

**Kenmerk**  
12-0291-F-M-01-JDIJ-rev0

**Pagina**  
1/10

## Inleiding

Voor het waterdicht afsluiten van een AVI-terp ten behoeve van de verlenging van de A4 te Steenbergen is een afdichtingsconstructie voorzien. De ontworpen afdichtingsconstructie bestaat uit een geotextiel met hier bovenop HDPE folie en een drainage mat. Dit alles is afgedekt met minimaal 1.0m grond.

De afdichtingsconstructie is beschouwd op haar interne stabiliteit. Hierbij worden de afzonderlijke glijvlakken tussen de verschillende lagen beschouwd. Onderhavige memo geeft het ontwerp waarbij de constructie is ontworpen conform de BRL 1131 (het ontwerp van een dichte eindafwerking van afval- en reststofbergingen, categorie 2-bouwstoffen en bijzondere categorie bouwstoffen op basis van een ontgassingsmat en of geflexibiliseerde HDPE-folie en/of bentonietmat en/of drainagemat). In de BRL wordt verwezen naar de Empfehlungen des Arbeitskreises Geotechnik der Deponien und Altlasten GDA E2 voor de berekening van de stabiliteit. Deze is na uitkomen van de BRL in 1997 in de praktijk opgevolgd door de EBGEO – hoofdstuk 8 deponiebau uit 2009. De veiligheidsfilosofie wordt apart vermeld en dient conform de "lastfall" verdeling uitgevoerd te worden, vermeld in DIN4084. De benodigde veiligheidsfactoren staan daarnaast ook vermeld in de DIN 1054:2005-01. Een afdichtingconstructie valt hierbij binnen categorie LastFall 1, GZ 1C

Het ontwerp is uitgevoerd conform de EBGEO richtlijn met de partiële veiligheidsfactoren conform DIN1054.



**MEMO**

**Datum**  
30-07-2013

**Kenmerk**  
12-0291-F-M-01-JDIJ-rev0

**Pagina**  
2/10

## Uitgangspunten en randvoorwaarden

Voor de materialen worden de volgende uitgangspunten aangenomen.

### Geotextiel

Dikte 300 gram non woven  
Leverancier en type Juta geoNETEX A PP UVLS

### HDPE Folie

Dikte 2mm  
Leverancier en type Juta Junifol Sa/Sa dubbelzijdig ruw

### Drainage laag

Dikte 6.2mm  
Leverancier en type Colbond Enkadrain 5006H/M110PP  
Gewicht voor berekening 1 kN/m<sup>3</sup>

### Afdeklaag

Gewicht 17.0 kN/m<sup>3</sup>  
Laagdikte 1.00 m (aanneمة is vanaf teen van de zandlaag onder de AVI terp)  
Interne wrijvingshoek 20°  
Cohesie 0 kN/m<sup>2</sup> (conservatieve aanname)

### Onderlinge wrijvingshoeken

De onderlinge wrijvingshoeken zijn door middel van laboratorium proeven op de toe te passen materialen bepaald. Hierbij is voor iedere materiaalovergang ofwel de zogenaamde "interface" een proef uitgevoerd. Voor de interface AVI materiaal – geotextiel zijn een drietal proeven uitgevoerd. Voor de interface drainagemat-aanvulgrond zijn 5 proeven beschikbaar. Voor deze proevenseries zijn de gemiddelde en de karakteristieke ondergrenswaarde weergegeven berekend conform NEN 9997-1+C1:2012 art. 2.4.5.2. De proefresultaten zijn bijgevoegd in Bijlage I. Voor de serie met voldoende proeven wordt in de berekeningen voor zowel de wrijvingshoek als wel de cohesie de karakteristieke ondergrens waarde gebruikt. Over deze ondergrens waarde wordt in de berekeningen een partiële veiligheid van 1.25 genomen om tot de rekenwaarde van de parameter te komen. Voor de interfaces met slechts 1 proef wordt een ondergrens waarde bepaald op basis van een conservatieve inschatting. Hierbij wordt in de berekeningen ook een partiële veiligheid van 1.25 genomen om tot de rekenwaarde van de parameter te komen.

**MEMO**

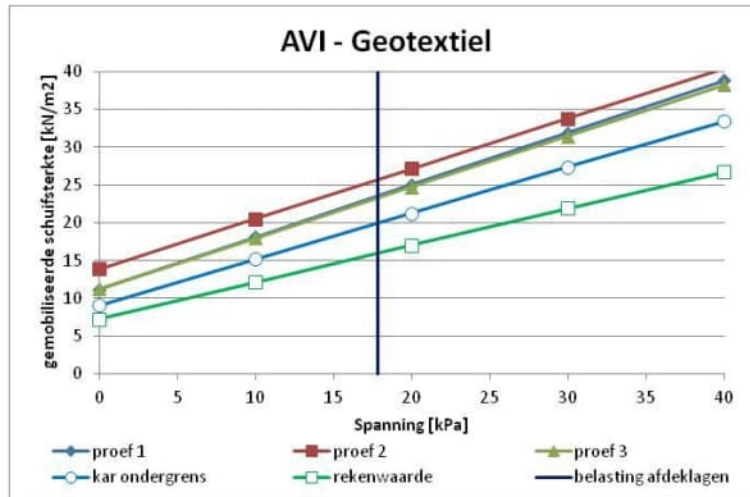
**Datum**  
30-07-2013

**Kenmerk**  
12-0291-F-M-01-JDIJ-rev0

**Pagina**  
3/10

**Interface AVI bodem-as – Geotextiel (aantal proeven :3)**

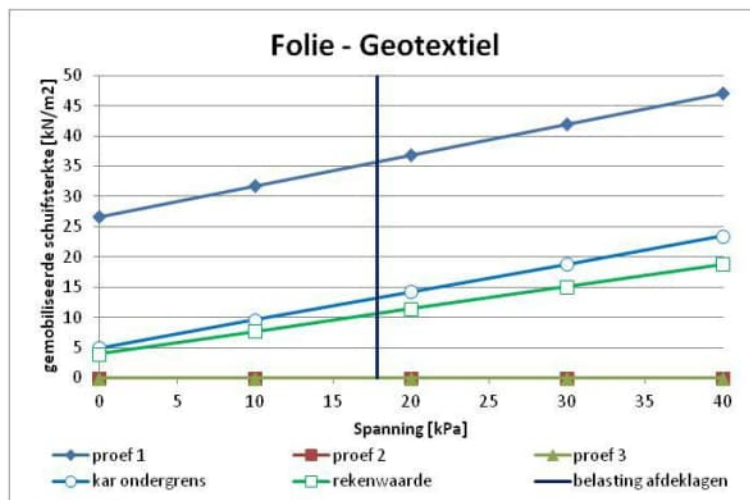
|  |                         |
|--|-------------------------|
| Gemiddelde wrijvingshoek   | 34.04°                  |
| Karakteristieke ondergrenswaarde gemiddelde wrijvingshoek                          | 31.32°                  |
| Rekenwaarde wrijvingshoek incl toepassing $\gamma_\phi$ over $\tan \phi_{gem,rep}$ | 25.95°                  |
| Gemiddelde cohesie   | 12.13 kN/m <sup>2</sup> |
| Karakteristieke ondergrenswaarde gemiddelde cohesie                                | 9.10 kN/m <sup>2</sup>  |
| Rekenwaarde cohesie incl toepassing $\gamma_c$ over $c_{gem,rep}$                  | 7.28 kN/m <sup>2</sup>  |



Figuur 1: overzicht meetwaarden en rekenwaarden voor interface AVI as en geotextiel

**Interface Geotextiel – HDPE folie (aantal proeven :1)**

|   |                        |
|---|------------------------|
| Wrijvingshoek   | 26.97°                 |
| Inschatting ondergrenswaarde gemiddelde wrijvingshoek                               | 24.8°                  |
| Rekenwaarde wrijvingshoek incl. toepassing $\gamma_\phi$ over $\tan \phi_{gem,rep}$ | 20.31°                 |
| cohesie   | 26.7 kN/m <sup>2</sup> |
| Inschatting ondergrenswaarde gemiddelde cohesie                                     | 5.00 kN/m <sup>2</sup> |
| Rekenwaarde cohesie incl toepassing $\gamma_c$ over $c_{gem,rep}$                   | 4.00 kN/m <sup>2</sup> |



Figuur 2: overzicht meetwaarden en rekenwaarden voor interface folie en geotextiel



**MEMO**

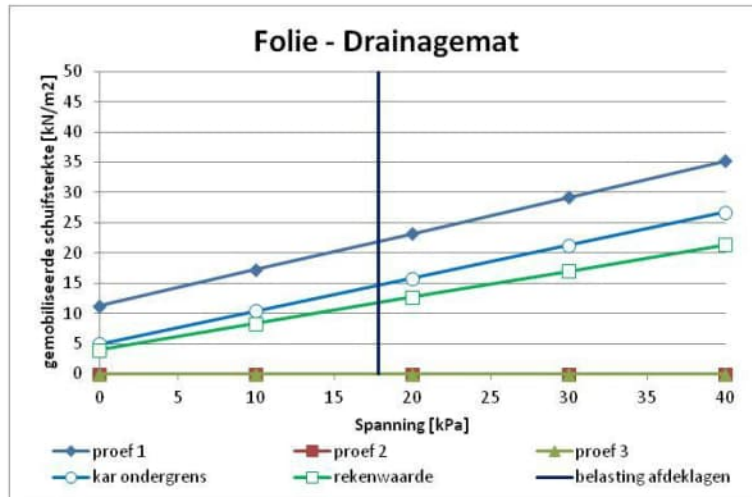
**Datum**  
30-07-2013

**Kenmerk**  
12-0291-F-M-01-JDIJ-rev0

**Pagina**  
4/10

**Interface HDPE folie - drainagemat (aantal proeven :1)**

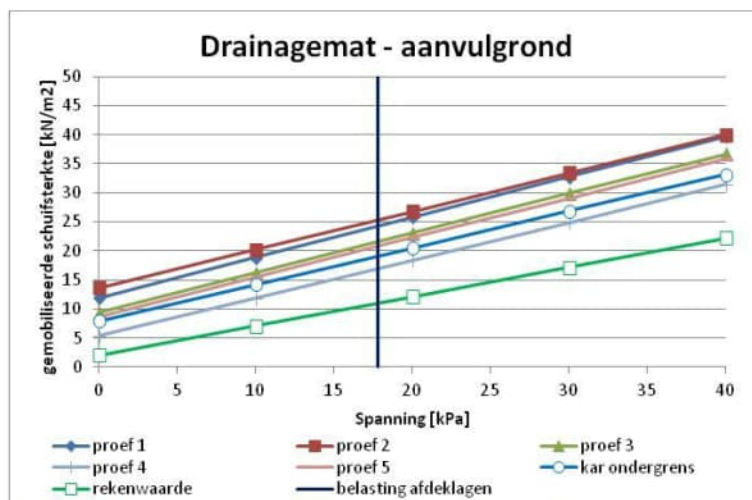
|  |                         |
|--|-------------------------|
| Gemiddelde wrijvingshoek   | 30.91°                  |
| Inschatting ondergrenswaarde gemiddelde wrijvingshoek                              | 28.5°                   |
| Rekenwaarde wrijvingshoek incl toepassing $\gamma_\phi$ over $\tan \phi_{gem,rep}$ | 23.5°                   |
| Gemiddelde cohesie   | 11.27 kN/m <sup>2</sup> |
| Inschatting ondergrenswaarde gemiddelde cohesie                                    | 5.00 kN/m <sup>2</sup>  |
| Rekenwaarde cohesie incl toepassing $\gamma_c$ over $c_{gem,rep}$                  | 4.00 kN/m <sup>2</sup>  |



Figuur 3: overzicht meetwaarden en rekenwaarden voor interface folie en drainagemat

**Interface drainagemat - aanvulgrond(aantal proeven :5)**

|   |                        |
|---|------------------------|
| Gemiddelde wrijvingshoek  | 33.96°                 |
| Karakteristieke ondergrenswaarde gemiddelde wrijvingshoek   | 32.26°                 |
| Rekenwaarde wrijvingshoek incl. toepassing $\gamma_\phi$ over $\tan \phi_{gem,rep}$                 | 26.79°                 |
| Gemiddelde cohesie  | 9.77 kN/m <sup>2</sup> |
| Karakteristieke ondergrenswaarde gemiddelde cohesie   | 7.91 kN/m <sup>2</sup> |
| Rekenwaarde cohesie incl. toepassing $\gamma_c$ over $c_{gem,rep}$                                  | 6.33 kN/m <sup>2</sup> |
| De rekenwaarde van de cohesie is gezien het voorkomen van 1 test met een lage waarde aangepast naar | 2.00 kN/m <sup>2</sup> |



Figuur 4: overzicht meetwaarden en rekenwaarden voor interface drainagemat en aanvulgrond

**MEMO**

**Datum**  
30-07-2013

**Kenmerk**  
12-0291-F-M-01-JDIJ-rev0

**Pagina**  
5/10

**Veiligheidsfactoren**

|               |      |  |
|---------------|------|--|
| $\gamma_G$    | 1.0  | (belastingsgeval 1, grenstoestand 1C, permanente belasting)    |
| $\gamma_Q$    | 1.3  | (belastingsgeval 1, grenstoestand 1C, veranderlijke belasting) |
| $\gamma_\phi$ | 1.25 | (belastingsgeval 1, grenstoestand 1C, wrijvingshoek)           |
| $\gamma_c$    | 1.25 | (belastingsgeval 1, grenstoestand 1C, cohesie)                 |
| $\eta_m$      | 1.1  | (belastingsgeval 1, overall veiligheid eindsituatie)           |

**Verkeersbelasting (maaien)**

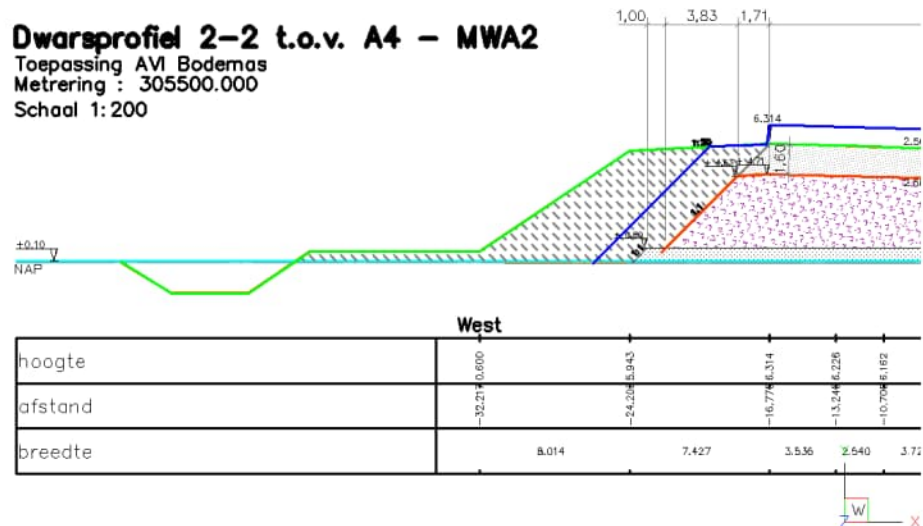
|   |        |
|---|--------|
| Gewicht   | 10 ton |
| Werkende breedte                                | 3m     |
| Minimale afstand tussen afdichting en belasting | 1.6m   |

**Geometrie**

|              |   |
|--------------|---|
| Helling      | 1:1 (45 graden) tekening COM-SIT-0-REA72 rev 2. |
| Talud lengte | 5.42m   |
| Hoogte       | 3.83m (doorsnede 2-2)                           |

**Dwarsprofiel 2-2 t.o.v. A4 - MWA2**

Toepassing AVI Bodemas  
Metrering : 305500.000  
Schaal 1: 200



Figuur 5: principe doorsnede afdichting.

Uit de tekeningen is geïnterpreteerd dat de terp aangelegd wordt met aan alle zijden brede grondlichamen onder andere hellingshoeken naast de terp. Hierbij blijft de AVI terp aangelegd worden met een 1:1 helling. Figuur 5 geeft een doorsnede 2-2 van tekening COM-SIT-0-REA72 rev 2. Als conservatieve aanname wordt de maatgevende berm breedte van 8m (bepaald uit tekening COM-SIT-0-REA72 rev 2 doorsnede 2-2) met een continu talud van 1:1.5 tot een hoogte van 5.5 meter boven maaiveld aangenomen. In de berekening is dit aangenomen als een 8m brede steunberm met een hoogte van 2.75m over de volledige breedte.

Voor de berekeningen wordt aangehouden dat de ondergrond waarop de afdichting wordt aangebracht reeds stabiel is.

**MEMO**

**Datum**  
30-07-2013

**Kenmerk**  
12-0291-F-M-01-JDIJ-rev0

**Pagina**  
6/10

## Berekening

Voor de berekening van de stabiliteit dient het krachterevenwicht tussen de verschillende lagen beschouwd te worden. Hierbij wordt de aandrijvende kracht, de component van de zwaartekracht langs de helling, vergeleken met de wrijvingskrachten in de bovenafdichting.

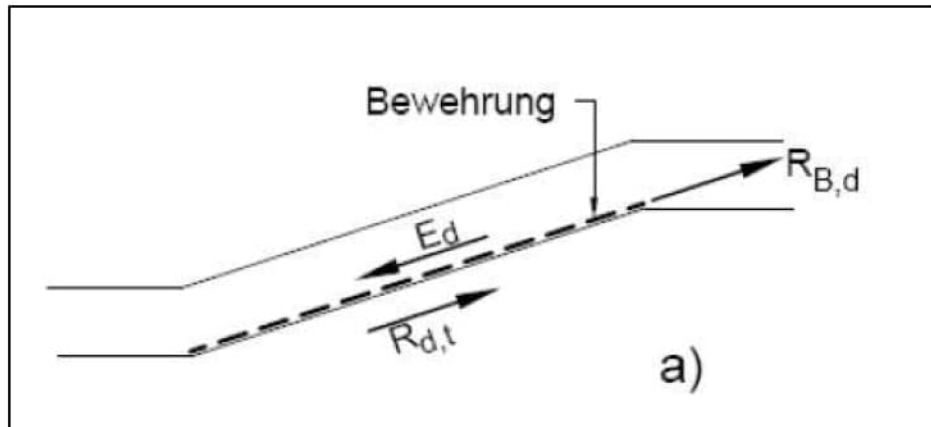
Voor de stabiliteit van de ophoging geldt dat alle krachten overgedragen dienen te worden op de ondergrond zonder instabiliteit in de ophoging. Hierbij dienen alle scheidingslagen tussen de verschillende lagen van de afdichting bekeken te worden op hun stabiliteit. Voor ieder glijvlak tussen de verschillende lagen wordt de veiligheid berekend. Indien de veiligheid niet voldoende is, dan zullen er aanvullende maatregelen genomen moeten worden om de stabiliteit te verhogen doormiddel van het toepassen van andere materialen of wapeningselementen.

Voor voldoende talud stabiliteit dienen de aandrijvende kracht en de wrijvingskracht met elkaar in evenwicht zijn. In de norm wordt gesteld dat de uiteindelijke constructie een veiligheid ( $\eta$ ) tegen afschuiven heeft van 1.1. Dit wordt weergegeven met de volgende formule:

$$R_{t,d} + R_{B,d} / E_d \geq 1.1$$

Waarin

|           |  |
|-----------|--|
| $R_{t,d}$ | Berekende wrijvingsweerstand                   |
| $R_{B,d}$ | Berekende treksterkte wapening (wanneer nodig) |
| $E_d$     | Gecombineerde belastingen                      |



Figuur 6: berekeningsprincipe stabiliteit

**MEMO**

**Datum**  
30-07-2013

**Kenmerk**  
12-0291-F-M-01-JDIJ-rev0

**Pagina**  
7/10

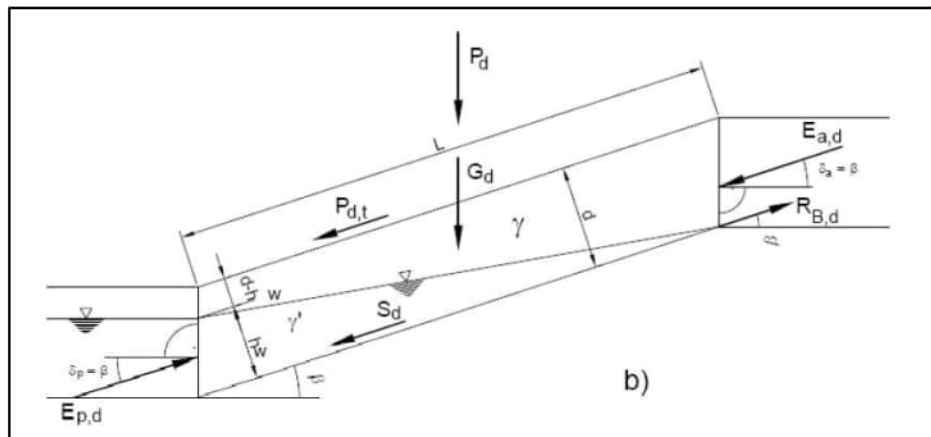
## Aandrijvende kracht $E_d$

De aandrijvende kracht wordt beschreven met de volgende formule.

$$E_d = G_d * \sin \theta + P_d * \sin \theta + P_{dt} + S_{d'} + E_{a,d}$$

Waarin

|           |   |
|-----------|---|
| $G_d$     | Eigen gewicht grond   |
| $\beta$   | Hellingshoek van de afdichting  |
| $P_d$     | verkeersbelasting op de helling   |
| $P_{dt}$  | Dynamische verkeersbelasting (remkracht)                                    |
| $S_{d'}$  | Stromingsbelasting water  |
| $E_{a,d}$ | Gronddruk (volgens EBGEO verwaarloosbaar en wordt derhalve niet meegenomen) |



Figuur 7: overzicht verschillende krachten binnen de constructie

### Eigengewicht $G_d$

Het eigengewicht van de grond wordt berekend conform:

$$G_d = \gamma_G * (\gamma_k * (d_1 - 0,5 * h_w) + \gamma'_k * 0,5 * h_w) * L + \gamma_G * \gamma_k * d_2 * L$$

Waarin

|             |  |
|-------------|--|
| $\gamma_G$  | belastingsfactor permanente belasting      |
| $\gamma_k$  | soortelijk gewicht droog materiaal         |
| $\gamma'_k$ | effectief soortelijk gewicht nat materiaal |
| $d_1$       | dikte zandlaag                             |
| $d_2$       | dikte afdekgrond                           |
| $h_w$       | hoogte waterstand in materiaal             |
| $L$         | Lengte talud                               |

Dit maakt:

$$G_d = 1.0 * (11 * (0.064 - 0.5 * 0.064) + 10 * (0.5 * 0.064)) * 5.42 + 1.0 * 17.0 * 1.0 * 5.42$$

$$= 95.61 \text{ kN/m helling}$$



**MEMO**

**Datum**  
30-07-2013

**Kenmerk**  
12-0291-F-M-01-JDIJ-rev0

**Pagina**  
8/10

**Verkeersbelasting Pd**

De verkeersbelasting wordt berekend conform:

$$P_d = \gamma_Q * GR / b_i$$

Waarin:

|            |   |
|------------|---|
| $\gamma_Q$ | belastingsfactor dynamische belasting tijdelijk                                     |
| $G_R$      | gewicht verkeer (kN)  |
| $b_i$      | gespreide invloedsbreedte van de belasting<br>$b_i = 2 * (b_R + 2 * d_i * \tan 30)$ |
| $b_R$      | breedte tracks  |
| $d_i$      | totale dikte boven afdichtingsconstructie   |

Dit maakt:

$$P_d = 1.3 * 100 / (2 * (3 + 2 * 1.6 * \tan 30)) = 13.41 \text{ kN/m}$$

**Remkrachten**

De remkracht wordt berekend conform:

$$P_{dt} = \gamma_Q * P_k * \sin \beta * (\varphi - 1)$$

Waarin:

|            |   |
|------------|---|
| $\gamma_Q$ | belastingsfactor dynamische belasting     |
| $\beta$    | Hellingshoek van de afdichting            |
| $P_k$      | $G_R / b_i$                               |
| $\varphi$  | $1.4 - 0.1 * d_i$                         |
| $d_i$      | totale dikte boven afdichtingsconstructie |

Dit maakt

$$P_{dt} = 1.3 * 10.31 * \sin 45 * (1.4 - 0.1 * 1.6 - 1) = 2.28 \text{ kN/m}$$

**Stromingsbelasting**

De stromingsbelasting wordt berekend conform:

$$S_d = \gamma_G * 0.5 * \gamma_w * i * h_w * L$$

Waarin

|            |  |
|------------|--|
| $\gamma_G$ | belastingsfactor permanente belasting  |
| $\gamma_w$ | soortelijk gewicht water   |
| $i$        | $\sin \beta$ (bij aanname dat de verhanglijn evenwijdig aan het talud loopt) |
| $\beta$    | Hellingshoek van de afdichting   |
| $h_w$      | hoogte waterstand in materiaal   |
| $L$        | Lengte talud   |

Dit maakt bij het volledig verzadigd zijn van de zandlaag

$$S'd = 1.0 * 0.5 * 10 * 0.707 * 0.062 * 5.42 = 1.19 \text{ kN/m}$$



**MEMO**

**Datum**  
30-07-2013

**Kenmerk**  
12-0291-F-M-01-JDIJ-rev0

**Pagina**  
9/10

**Totaal aandrijvende kracht**

De aandrijvende kracht wordt:

$$95.61 * \sin 45 + 13.41 * \sin 45 + 2.28 + 1.19 = 80.55 \text{ kN/m}$$

**Wrijvingsweerstand  $R_{t;d}$**

De wrijvingskracht in de ophoging wordt berekend met de volgende formule:

$$R_{t;d} = [(G_k + P_k) * \cos \beta * (\tan \delta_k) / \gamma_d + a_k / \gamma_a * L] + E_{p;d}$$

Waarin

|            |  |
|------------|--|
| $G_k$      | karacteristiek gewicht grond                           |
| $P_k$      | karacteristiek gewicht verkeersbelasting $P_k = Gr/bi$ |
| $\beta$    | hellingshoek   |
| $\delta_k$ | wrijvingshoek interface                                |
| $\gamma_d$ | materiaal factor op wrijvingshoek                      |
| $a_k$      | adhesie tussen twee interface lagen                    |
| $\gamma_a$ | materiaal factor adhesie                               |
| $L$        | Lengte helling   |
| $E_{p;d}$  | tegendruk vanuit steunberm                             |

**Tegendruk steunberm**

naast de afdichting is een grote steunberm aanwezig. Bij een schuifvlak aan de onderzijde van de steunberm wordt de tegendruk

$$E_{p;d} = \gamma_G * (\gamma_k * d_3) * k_{ph} * L_2$$

|            |  |
|------------|--|
| $\gamma_G$ | belastingsfactor permanente belasting                    |
| $\gamma_k$ | soortelijk gewicht droog materiaal                       |
| $d_3$      | gemiddelde dikte steunberm                               |
| $K_{ph}$   | passieve gronddrukcoëfficiënt = $\tan^2 (45 + \phi / 2)$ |
| $L_2$      | breedte steunberm  |

$$E_{p;d} = 1.0 * (17.0 * 2.75) * \tan^2 (45 + 20 / 2) * 8 = 762.8 \text{ kN/m}$$

**Totaal**

Dit maakt totaal:

**Interface AEC bodem-as – Geotextiel**

$$R_{t;d} = (95.61 + 13.41 / 1.3) * \cos 45 * \tan 31.32 / 1.25 + 9.10 / 1.25 * 5.42 + 762.8 = 838.70 \text{ kN/m}$$

**Interface Geotextiel – HDPE folie**

$$R_{t;d} = ((95.61 + 13.41 / 1.3) * \cos 45 * \tan 24.8 / 1.25 + 5.00 / 1.25 * 5.42 + 762.8 = 812.16 \text{ kN/m}$$

**MEMO**

**Datum**  
30-07-2013

**Kenmerk**  
12-0291-F-M-01-JDIJ-rev0

**Pagina**  
10/10

**Interface HDPE folie - drainagemat**

$$R_{t,d} = (95.61 + 13.41/1.3) * \cos 45 * \tan 28.50 / 1.25 + 5.00 / 1.25 * 5.42 + 762.8 = 817.31 \text{ kN/m}$$

**Interface drainagemat - aanvulgrond**

$$R_{t,d} = (95.61 + 13.41/1.3) * \cos 45 * \tan 32.26 / 1.25 + 2.5 / 1.25 * 5.42 + 762.8 = 160.29 \text{ kN/m}$$

## Veiligheidsfactor

De veiligheidsfactor wordt:

$$R_{t,d} + R_{B,d} / E_d \geq 1.1$$

**Interface AEC bodem-as – Geotextiel**

|              |           |
|--------------|-----------|
| aandrijvend  | 80.55 kN  |
| tegenwerkend | 838.71 kN |
| veiligheid   | 10.41     |

**Interface Geotextiel – HDPE folie**

|              |           |
|--------------|-----------|
| aandrijvend  | 80.55 kN  |
| tegenwerkend | 812.16 kN |
| veiligheid   | 10.08     |

**Interface HDPE folie - drainagemat**

|              |           |
|--------------|-----------|
| aandrijvend  | 80.55 kN  |
| tegenwerkend | 817.31 kN |
| veiligheid   | 10.14     |

**Interface drainagemat - aanvulgrond**

|              |           |
|--------------|-----------|
| aandrijvend  | 80.55 kN  |
| tegenwerkend | 811.47 kN |
| veiligheid   | 10.07     |

Voor alle interfaces is de veiligheid ruim boven 1.1. Dit wordt veroorzaakt door de steunberm. Het is dus ook van groot belang dat tijdens het afdekken van de folie constructie met de aanvulgrond, de aanvulling van onderaf over de volle breedte van de steunberm aangebracht wordt.

## Conclusie

De berekende constructie bestaande uit een Juta geoNETEX geotextiel onder een Juta HDPE Junifold 2mm folie en Colbond Enkadrain drainagemat voldoet met de gebruikte uitgangspunten aan de EBGeo richtlijn. Hierbij geldt dat, indien de steunberm negatief afwijkt (kleiner is) van de, op de vier ter beschikking gestelde doorsneden, weergegeven afmetingen, er een aanvullende beschouwing gemaakt moet worden. Het is daarnaast van groot belang dat tijdens het afdekken van de folie constructie met de aanvulgrond, de aanvulling van onderaf over de volle breedte van de steunberm aangebracht wordt.