

**Onderzoek stabiliteitsrisico's van inrichtingen  
waarvoor de dienst Natuurlijke Rijkdommen  
toezichtsbevoegdheid heeft, inzonderheid voor  
wat betreft de ontginningen**

**Deel I : Algemene nota**

# 1 Inleiding

## 1.1 Algemeen :

Onderhavige studie vormt een actualisering en aanvulling van de stabiliteitsstudie die in 2000 door de toenmalige bevoegde afdeling werd uitgeschreven.

De conclusies van de studie die in de periode 2000-2002 werd uitgevoerd zijn hieronder integraal overgenomen:

### 1.1.1 Evaluatie van de huidige VLAREM voorschriften (2002)

*De huidige VLAREM voorschriften zijn zeer algemeen en weinig specifiek. Er wordt geen rekening gehouden met de grondmechanische eigenschappen van de ondergrond en met de grondwaterstanden in de verschillende grondlagen. Aan de ontginner wordt geen duidelijke informatie gevraagd i.v.m. de wijze waarop de ontgraving zal gebeuren, de nodige grondwaterverlaging zal worden uitgevoerd en de wederaanvulling zal worden doorgevoerd. Er worden ook geen systematische controlemetingen gevraagd, bv van het grondwaterpeil in de omgeving of van horizontale verplaatsingen ter hoogte van delicate punten.*

*In verband met de huidige VLAREM voorschriften kunnen verder de volgende opmerkingen worden geformuleerd:*

#### *Art. 5.18.1.1 par. 6*

*Er wordt alleen gesteld dat in geval van instortingen of verzakkingen de toezichthoudende ambtenaar alsook de burgemeester moet verwittigd worden en dat elk zwaar ongeval of incident onverwijld dient te worden medegedeeld aan de burgemeester en aan de Afdeling Milieu – Inspectie en de Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie. Er wordt niet medegedeeld of er een verslag moet worden opgesteld, of er opmetingen moeten worden uitgevoerd, of er foto's moeten gemaakt worden e.d. ....*

#### *Art. 5.18.1.2 par.1 Werkplan*

*Er wordt niet duidelijk omschreven welke informatie er in feite gevraagd wordt, bv. punt 4: het al of niet veranderen van de grondwatertafel. Wat wordt hier in feite gevraagd? Wat verstaat men onder veranderen van de grondwatertafel? Het is helemaal niet duidelijk of onder het veranderen van de grondwatertafel ook een open bemaling gerekend wordt (bv. Egem).*

### *Art. 5.18.1.2 par. 3 Voortgangsrapport*

*In het voortgangsrapport moet blijkbaar geen melding worden gemaakt van incidenten of problemen. Verder is er ook nergens duidelijk aangegeven of er gegevens i.v.m. grondwaterstanden moeten worden medegedeeld, en zo ja welke.*

### *Art. 5.18.2.1 par. 3*

*De afgegraven dekgrond en/of teelaarde moet op een voldoende afstand van het front gestapeld worden om gevaar voor afschuiving te vermijden. Er wordt evenwel niet aangegeven hoe deze voldoende afstand moet bepaald worden.*

### *Art. 5.18.2.1 par. 4*

*Bij de opgave van de beschermstrook wordt een onderscheid gemaakt tussen:*

- gebouwen, kunstwerken*
- aangrenzende percelen niet in eigendom van de exploitant*
- langs wegen.*

*Er wordt niet aangegeven onder welke categorie bv. spoorwegen, kanaaldijken of hoogspanningsmasten vallen. Het is wellicht aangewezen om voor gevallen met zeer zware gevolgen in geval van incidenten een afzonderlijke categorie te creëren. In de praktijk wordt wel rekening gehouden met dergelijke speciale gevallen (bv. Mol Sibelco en Moen), maar dat wordt als dusdanig niet in de tekst aangegeven.*

*I.v.m. de aan te houden helling is vermeld onder 1: "45 t.o.v. de horizontale bij droge winningen, met name boven de natuurlijke grondwatertafel". Er wordt niet aangegeven wat er moet gedaan worden wanneer er onder de natuurlijke grondwatertafel gegraven wordt. Deze situatie komt nochtans frequent voor o.a. Egem, Moen, Steendorp, Beerse ontginningszone, Zonnebeke.*

*Ontgravingen in den droge onder het grondwaterpeil zijn mogelijk maar stellen een aantal specifiek eisen o.a. ten aanzien van wateruittrede uit de taluds, mogelijke instabiliteit van de bodem van de groeve... . Van al deze mogelijke problemen wordt geen melding gemaakt.*

*Van de literatuurstudie is gebleken dat bij uitgravingen in tertiaire kleien een talud met een helling van 45° na volledige consolidatie van de klei niet stabiel is. Daaromtrent zijn geen bepalingen opgenomen.*

*I.v.m. de aan te houden helling is vermeld onder 2:*

*"18° t.o.v. de horizontale bij natte winningen, met name onder de natuurlijke grondwatertafel."*

*Daarbij worden er geen beperkingen opgelegd met betrekking tot de hoogte waarover er in 1 fase ontgraven wordt, de wijze waarop er ontgraven wordt, het mogelijk verschil tussen het waterpeil in de put en het grondwaterpeil in het omringend terrein. Uit de literatuurstudie is duidelijk gebleken dat het voor diepe winningen aangewezen is om bijkomende beperkingen op te leggen.*

*I.v.m. de opgegeven taludhellingen wordt nergens aangegeven of daar eventueel van kan worden afgeweken en zo ja onder welke voorwaarden. Uit de stabiliteitsstudie is gebleken dat bij droge winningen op meerdere plaatsen steilere taluds worden aangehouden (bv. Lanaken, Maasmechelen) zonder dat daarbij melding gemaakt wordt van verzakkingen of incidenten.*

*Art. 5.10.2.1 par. 6*

*In deze paragraaf wordt alleen aangegeven dat de nodige schikkingen dienen te worden getroffen om het gevaar voor instortingen, afschuivingen, inklinkingen... op te vangen.*

*Er wordt niet aangegeven of daaronder ook wordt verstaan afkalvingen t.g.v. golfslag, winderosie, vorst - dooi, vervormingen van kleimassieven en dergelijke.*

*Art. 5.18.2.1 par. 7 Waterhuishouding*

*De opgenomen tekst heeft duidelijk alleen betrekking op de invloed van een eventuele grondwaterverlaging op de fauna en flora. Deze problematiek wordt normaal gezien behandeld in de MER. Er dient evenwel te worden opgemerkt dat bij het uitvoeren van een stabiliteitsstudie de waterhuishouding als dusdanig ook moet bekeken worden.*

*Art. 5.18.3.1 Nabestemming*

*Er zijn nergens bepalingen opgenomen i.v.m. de wijze waarop wederaanvullingen moeten worden uitgevoerd. Uit de stabiliteitsstudie is gebleken dat wederaanvullingen in bepaalde gevallen kunnen leiden tot gevaarlijke situaties (bv. Kinrooi, Dilsen – Stokkem).*

### 1.1.2 Voorstel i.v.m. op te nemen stabiliteitsvoorwaarden

#### *a) Voorafgaandelijk grondonderzoek:*

*Voorgesteld wordt om voor alle nieuwe ontginningen en uitbreidingen van bestaande ontginningen de uitvoering op te leggen van een voorafgaandelijk grondonderzoek dat minimaal zou moeten bestaan uit:*

- 4 diepsonderingen (bv. op de 4 hoeken van het te ontginnen terrein)*
- plaatsing van 2 peilputten om de grondwaterstand te bepalen.*

*Voor ontginningen in cohesieve gronden dienen de diepsonderingen te worden uitgevoerd tot min. 2 x de ontginningsdiepte, dit om na te gaan of er onder de bodem van de aan te leggen ontginning watervoerende lagen worden aangetroffen waarin spanningwater kan voorkomen.*

*Voor ontginningen in zandgronden dienen de diepsonderingen te worden uitgevoerd tot min. 1,5 x de ontginningsdiepte van droge ontginningen en 1,2 x de ontginningsdiepte voor natte ontginningen.*

#### *b) Stabiliteitsstudie:*

*Voorgesteld wordt om te eisen dat er voor alle nieuwe ontginningen en uitbreidingen van bestaande ontginningen een stabiliteitsstudie wordt uitgevoerd. Om zoveel mogelijk onnodige kosten te voorkomen kan eventueel worden toegelaten om deze stabiliteitsstudie te laten uitvoeren na het verlenen van de vergunning.*

*In deze stabiliteitsstudie zouden de volgende punten moeten behandeld worden:*

- nazicht van de globale stabiliteit van de aan te leggen taluds, door middel van berekeningen volgens de methode van Bishop (of gelijkaardig) of door een goed gefundeerde extrapolatie van bestaande ervaringsgegevens*
- indien er in den droge wordt uitgegraven onder het natuurlijk grondwaterpeil:*
  - studie i.v.m. de wijze waarop de grondwaterverlaging zal worden doorgevoerd (open bemaling, bemaling met filters, bemalingsputten ..)*
  - bepaling van de te verwachten invloed van de grondwaterverlaging op de omgeving*
  - maatregelen om afkalvingen t.g.v. wateruittrede tegen te gaan (bv. tussenbermen .....*
  - fasering van de ontgraving (bv. in opeenvolgende lagen)*
  - controle van het grondwaterpeil in de omgeving*

- *indien er in de natte wordt ontgraven:*
  - *fasering van de ontgraving (bv ontginning in de zone tegenaan de aan te leggen taluds)*
  - *bepaling van de maximaal toegelaten verlaging van het waterpeil in de winningsput*
  - *controle van het waterpeil in de winningsput en het grondwaterpeil in de omgeving*
  - *maatregelen om de afkalving van de taluds t.g.v. golfslag en mogelijke wateruittrede uit de taluds tegen te gaan.*

*c) veiligheidsafstanden en hellingen:*

*c1) droge ontginning van zand boven het grondwaterpeil:*

- *Helling:*
  - *Een helling van 45° is alleen aanvaardbaar voor tijdelijke taluds. Voor definitieve taluds is een flauwere helling aangewezen (34° of 26,5°) om de afkalving t.g.v. regen – en winderosie en vorst en dooi te beperken. Verder zou moeten worden opgelegd dat definitief aangelegde taluds binnen de 3 maanden moeten ingezaaid of beplant worden.*
- *Veiligheidsafstanden:*
  - 1) *Langs bestaande gebouwen en kunstwerken; waarde van VLAREM te behouden*
  - 2) *Langs aangrenzende percelen niet in eigendom van de exploitant; waarde van VLAREM te behouden*
  - 3) *Langs wegen; indien de definitieve taluds worden aangelegd onder 34° of 26,4° kan er langs wegen een veiligheidsafstand worden aangehouden zoals voorzien onder 2, voor zover de tijdelijke toestand max. gedurende 3 maanden wordt in stand gehouden. Er dient dan wel te worden op gelet dat er in het talud geen tijdelijke grondwatertafels kunnen ontstaan, bv. wanneer er in het talud leem- of kleilagen met een beperkte dikte voorkomen, en dat mogelijke erosie door oppervlaktewater beperkt blijft.*
  - 4) *Spoorwegen en kanaaldijken.*  
*Voorstel: zelfde veiligheidsafstanden als onder punt 1).*
- *Speciaal aandachtspunt:*  
*Afvoer van oppervlaktewater.*  
*In het algemeen, maar vooral bij ontginningen in een hellend terrein moet aandacht besteed worden aan de afvoer van oppervlaktewater om te voorkomen dat grote hoeveelheden oppervlaktewater op het talud terechtkomen en er erosie veroorzaken.*

*c2) Droge ontginning van leem en klei boven het grondwaterpeil:*

- *Helling:*
  - *Een helling van 45° is aanvaardbaar voor tijdelijke taluds. Voor definitieve taluds is een flauwere helling aangewezen (26,5° à 18,3°). Om de invloed van vorst -dooi tegen te gaan dienen definitieve taluds te worden bekleed met een laag zand met een minimum dikte van 1 meter. Tijdelijke taluds kunnen maximaal 1 jaar in stand gehouden worden, tenzij er op basis van ervaringsgegevens kan worden aangetoond dat de stabiliteit van het tijdelijk talud tijdens een langere periode verzekerd is.*
- *Veiligheidsafstanden:*
  - 1) Langs bestaande gebouwen en kunstwerken; waarde van VLAREM te behouden*
  - 2) Langs aangrenzende percelen niet in eigendom van de exploitant; waarde van VLAREM te behouden*
  - 3) Langs wegen; waarde van VLAREM te behouden*
  - 4) Spoorwegen en kanaaldijken;*  
*Voorstel: zelfde veiligheidsafstand als onder punt 1).*
- *In de voorschriften zou de mogelijkheid moeten worden voorzien om in de gevallen 2) en 3) onder een steiler talud af te graven indien door middel van een stabiliteitsstudie of ervaringsgegevens kan worden aangetoond dat het steiler talud gedurende een voldoende lange periode kan worden in stand gehouden. Er zou dan wel duidelijk moeten worden aangegeven wanneer en hoe er tegen aan het steiler talud zal worden aangevuld.*  
*Voorstel:*  
*Opleggen dat het steiler talud onderaan slechts mag worden vrijgegraven over een afstand gelijk aan de helft van de uitgravingdiepte en dat er nog dezelfde werkdag terug moet worden aangevuld onder een helling van 45° en met een aanvullingsbreedte van min. 5m ter hoogte van de bovenkant van het talud.*

*c3) Droge ontginning van zand onder het grondwaterpeil:*

- *Helling:*
  - *Een helling van 45° is alleen aanvaardbaar voor tijdelijke taluds en op voorwaarde dat er maatregelen worden getroffen op de niveaus waar wateruittrede plaatsvindt of kan plaatsvinden. Voor definitieve taluds is een flauwere helling aangewezen (34° à 26,5° wanneer de groeve droog blijft en 26,5° à 18,3° wanneer de groeve onder water zal komen te staan). Verder zou moeten worden opgelegd dat definitief aangelegde taluds binnen 3 maanden moeten ingezaaid of beplant worden.*
  - *Wanneer de groeve onder water zal komen te staan is het aangewezen om ter hoogte van de toekomstige waterlijn een oeverbescherming aan te brengen in het Noord - Oostelijk deel van de groeve wanneer er zich in die zone gebouwen, kunstwerken of wegen in de nabijheid van de oever bevinden.*
- *Veiligheidsafstanden:*
  - 1) *Langs bestaande gebouwen en kunstwerken; waarde van VLAREM te behouden*
  - 2) *Langs aangrenzende percelen niet in eigendom van de exploitant; waarde van VLAREM te behouden*
  - 3) *Langs wegen; indien de definitieve taluds worden aangelegd onder 34° à 26,4° kan er langs wegen een veiligheidsafstand worden aangehouden zoals voorzien onder 2, voor zover de tijdelijke toestand max. gedurende 3 maanden wordt in stand gehouden. Er dient dan wel te worden op gelet dat er in het talud geen tijdelijke grondwatertafels kunnen ontstaan, bv. wanneer er in het talud leem- of kleilagen met een beperkte dikte voorkomen, en dat mogelijke erosie door oppervlaktewater beperkt blijft.*
  - 4) *Spoorwegen en kanaaldijken.*
  - 5) *Voorstel: zelfde veiligheidsafstanden als onder punt1).*

*Speciaal aandachtspunt:*

*Afvoer van oppervlaktewater.*

*In het algemeen, maar vooral bij ontginningen in een hellend terrein moet aandacht besteed worden aan de afvoer van oppervlaktewater om te voorkomen dat grote hoeveelheden oppervlaktewater op het talud terechtkomen en er erosie veroorzaken.*

*c4) Droge ontginning van leem en klei onder het grondwaterpeil:*

- *Ontginningen in leem of klei worden als ontginningen onder het grondwaterpeil aanzien wanneer er zich boven op de leem of klei een watervoerende laag bevindt en/of wanneer er onder de leem of kleilaag een watervoerende laag wordt aangetroffen waarin de stijghoogte boven de bodem van de te realiseren ontgraving gesitueerd is, en dit ongeacht het feit of er zich al niet wateruittrede uit de taluds voordoet.*
- *Helling:*
  - *Een helling van 45° is aanvaardbaar voor tijdelijke taluds op voorwaarde dat er maatregelen worden getroffen op de niveaus waar wateruittrede plaatsvindt of kan plaatsvinden. Op deze niveaus dient telkens een berm met een minimum breedte van 5 meter te worden aangelegd, en dienen er maatregelen te worden voorzien om het uittredend water af te voeren.*
  - *Voor definitieve taluds is een flauwere helling aangewezen (26,5° à 18,3°). Om de invloed van vorst – dooi tegen te gaan dienen definitieve taluds te worden bekleed met een laag zand met een minimum dikte van 1 meter. Tijdelijke taluds kunnen maximaal 1 jaar in stand gehouden worden, behalve wanneer er op basis van ervaringsgegevens kan worden aangetoond dat de stabiliteit van het tijdelijk talud tijdens een langere periode verzekerd is.*
- *Veiligheidsafstanden:*
  - 1) *Langs bestaande gebouwen en kunstwerken; voorstel om de breedte van de veiligheidsstrook te verhogen tot 2 x de uitgravingsdiepte, dit om te voorkomen dat de klei of leem t.g.v. de uitgraving onder het gebouw of kunstwerk gaat uitdrogen en dat na het opvullen van de groeve de klei terug gaat zwellen. Een kleinere breedte van de veiligheidsafstand kan eventueel worden toegelaten indien er ter hoogte van het gebouw of kunstwerk metingen worden uitgevoerd ter controle van de verticale en horizontale verplaatsing van het grondoppervlak en de horizontale verplaatsingen tot een diepte die minimum gelijk is aan de uitgravingsdiepte.*
  - 2) *Langs aangrenzende percelen niet in eigendom van de exploitant; waarde van VLAREM te behouden*
  - 3) *Langs wegen; waarde van VLAREM te behouden*
  - 4) *Spoorwegen en kanaaldijken; voorstel: zelfde veiligheidsafstanden als onder punt1).*

- *In de voorschriften zou de mogelijkheid moeten worden voorzien om in de gevallen 2) en 3) onder een steiler talud af te graven indien door middel van een stabiliteitsstudie of ervaringsgegevens kan worden aangetoond dat het steiler talud gedurende een voldoende lange periode kan worden in stand gehouden. Er zou dan wel duidelijk moeten worden aangegeven wanneer en hoe er tegen aan het steiler talud zal worden aangevuld.*

*Voorstel:*

*Opleggen dat het steiler talud onderaan slecht mag worden vrijgegraven over een afstand gelijk aan de helft van de uitgravingdiepte mag worden aangelegd en dat er nog dezelfde werkdag teug moet worden aangevuld min. onder een helling van 45° en met een aanvullingsbreedte van min. 5m ter hoogte van de bovenkant van het talud.*

- *Diepte van de ontginning; de afstand tussen de bodem van de ontginning en de bovenkant van een dieper gelegen watervoerende laag moet minstens gelijk zijn aan de stijghoogte in de diepergelegen watervoerende laag boven de bovenkant van deze watervoerende laag gedeeld door  $1,8 \times 1,1$ . De term 1,8 houdt rekening met het volumegewicht van de grond en de term 1,1 is een veiligheidscoëfficiënt (cfr. fig. 7.1). Wanneer er onder de bodem van de ontginning een gelaagde structuur voorkomt dienen er meerdere peilfilters met een korte filterlengte te worden aangebracht ten einde de stijghoogte in de verschillende watervoerende laagjes afzonderlijk te bepalen (cfr. fig. 7.2).*

#### *c5) Natte ontginning van zand onder het grondwaterpeil:*

- *Helling :*  
*Uit de opmetingen van de bestaande ontginningsputten is gebleken dat er zich bij diepe ontginningen in het onderste gedeelte van het talud altijd een flauwere helling instelt. Uit de literatuurstudie is gebleken dat er duidelijke risico's ontstaan wanneer er binnen deze flauwere helling ontgonnen wordt. Voorgesteld wordt om de helling als volgt aan te passen:*

*1/3 tot 20m diepte ( = 18,3° t.o.v. de horizontale)*

*1/4 van 20 tot 30m diepte ( = 14,0° t.o.v. de horizontale)*

*1/6 vanaf 30m diepte ( = 9,5° t.o.v. de horizontale)*

*Indien er zich tijdens de ontginning problemen voordoen i.v.m. de stabiliteit van de taluds, dan mag de verdere ontginning binnen de helling van 1/4,5 ( = 12,5° t.o.v. de horizontale) slechts plaatsvinden in lagen met een maximum dikte van 5m en daarbij moet de ontginning tegenaan het te realiseren talud worden aangevat en verder van het talud weg worden uitgevoerd.*

*In de vergunning zou verder moeten worden aangegeven dat de zuiger moet uitgerust zijn met apparatuur waarmee de positie van de zuigmond exact kan bepaald worden. De positie van de zuigmond moet continu geregistreerd worden of minstens 1 x per uur genoteerd worden in x, y en z. Indien dergelijke apparatuur niet beschikbaar is dienen de volgende hellingen te worden aangehouden:*

*1/4,5 tot 20m diepte ( = 14° t.o.v. de horizontale)*

*1/6 tussen 20 tot 30m diepte ( = 9,5° t.o.v. de horizontale)*

*1/8 vanaf 30m diepte ( = 7,12° t.o.v. de horizontale)*

*- Veiligheidsafstanden:*

- 1) Langs bestaande gebouwen en kunstwerken: voorstel om de breedte van de veiligheidsstrook te verhogen tot 2,5 x de uitgravingsdiepte indien er geen speciale maatregelen worden getroffen bij het weggraven van de grond tegenaan het talud ( = weggraven van de grond in lagen met een max. dikte van 5 meter en telkens beginnend tegenaan het te realiseren talud en daarna verder van het talud weg). Wanneer speciale maatregelen getroffen worden bij het weggraven van de grond tegenaan het talud kan de breedte van de veiligheidsstrook beperkt worden tot 1,5 x de uitgravingsdiepte.*
- 2) Langs aangrenzende percelen niet in eigendom van de exploitant : waarde van VLAREM behouden.*
- 3) Langs wegen : waarde van VLAREM te behouden*
- 4) Spoorwegen en kanaaldijken : voorgesteld wordt om de breedte van de veiligheidsstrook te verhogen tot 3,5 x de uitgravingsdiepte wanneer geen speciale maatregelen worden getroffen bij het weggraven van de grond tegenaan het talud en tot 2,5 x de uitgravingsdiepte wanneer wel speciale maatregelen getroffen worden.*

*- Bijkomende maatregelen:*

*Bijkomende maatregelen moeten getroffen worden wanneer er zich wateruittrede voordoet op een niveau dat zich boven het normaal waterpeil in de ontginning bevindt. Het is dan aangewezen om ter hoogte van de wateruittrede een berm met een breedte van 5 meter te voorzien ofwel een degelijke oeverbescherming met een drainering zodat het uittredend grondwater geen grond kan meevoeren.*

*Verder is het aangewezen om ter hoogte van de waterlijn een oeverbescherming aan te brengen in het Noord - Oostelijk deel van de groeve, wanneer er zich in die zone gebouwen, kunstwerken of wegen in de nabijheid van de oever bevinden.*

*d) Wederaanvullingen:*

- *Wanneer wederaanvullingen worden uitgevoerd in den droge zijn er in het algemeen geen speciale maatregelen te voorzien. Voor de gronden die worden aangebracht tegenaan in leem of klei uitgegraven taluds zou wel moeten worden aangegeven dat deze gronden overwegend moeten bestaan uit zand of dat anders een flauwer talud moet worden aangehouden. Speciale controles i.v.m. de verdichting van deze gronden zijn niet noodzakelijk maar er zou wel moeten worden aangegeven dat het oppervlak van het met een wederaanvulling gerealiseerd definitief talud moet worden dichtgereden met een bulldozer of een kraan en dat het talud binnen de 3 maanden moet worden ingezaaid of aangeplant.*
- *Wanneer wederaanvullingen worden uitgevoerd in de natte moet ervoor gezorgd worden dat de aangebrachte grondmassieven voldoende verdicht worden zodat de stabiliteit ervan verzekerd is. Na het aanbrengen van dergelijke aanvullingen zouden er systematisch controlesonderingen moeten worden uitgevoerd ter hoogte van de kruinlijn van de aanvulling. Indien uit de resultaten van deze controlesonderingen blijkt dat in aangevulde zandgronden de conusweerstand minder dan 4 MPa bedraagt en in aangevulde kleigronden minder dan 2 MPa dan dienen de aangevulde gronden ter hoogte van de waterlijn bijkomend te worden verdicht. Voorstel minstens 1 controlesondering per 50m wederaanvulling.*

*e) Controlemetingen:*

*e1) Grondwaterstand in de omgeving:*

- *Bij ontginningen in den droge onder het grondwaterpeil zou de grondwaterstand in de omgeving op minstens 3 oordeelkundig gekozen plaatsen moeten worden opgevolgd. Dit houdt dan in dat op die plaatsen peilfilters worden aangebracht in alle watervoerende lagen die worden aangetroffen tot op een diepte gelijk aan 2 x de ontginningsdiepte. Het waterpeil in deze peilfilters zou minstens 1 x per maand moeten worden opgemeten en deze gegevens zouden moeten worden opgenomen in het vooruitgangsrapport.*
- *Bij ontginningen in de natte zou de grondwaterstand in de omgeving eveneens op minstens 3 oordeelkundig gekozen plaatsen moeten worden opgevolgd. Daarbij dienen telkens peilfilters te worden aangebracht in alle watervoerende lagen die worden aangetroffen tot een diepte gelijk aan 1,2 x de ontginningsdiepte. Het waterpeil in deze peilfilters zou eveneens minstens 1 x per maand moeten worden opgemeten en de aldus verkregen gegevens zouden moeten worden opgenomen in het vooruitgangsrapport. Verder zou het waterpeil in de ontginningsput continu moeten geregistreerd worden, bv. met behulp van een zelfregistrerende waterspanningsmeter (min. om de 5 min.).*

*De aldus verkregen informatie zou eveneens moeten worden opgenomen in het vooruitgangsrapport.*

*e2) Geometrie:*

- *Wanneer er zich een verzakking voordoet, waarbij meer dan 100m<sup>3</sup> betrokken is, bij een droge of natte ontginning,, dan zou de geometrie van de taluds onmiddellijk moeten worden opgemeten (zeker binnen de 7 dagen) en de aldus opgemeten geometrie zou samen met een omstandig verslag binnen de 30 dagen moeten worden overgemaakt aan Afdeling NRE. In het verslag zou er duidelijk moeten worden aangegeven waar er graafwerkzaamheden werden uitgevoerd op het ogenblik dat de verzakking zich heeft voorgedaan. Verder zou er moeten worden aangegeven hoe de herstelling werd - of zal worden uitgevoerd.*

*e3) Grondbewegingen – zettingen:*

- *Wanneer ontginningen worden uitgevoerd in de nabijheid van gebouwen, kunstwerken, wegen, spoorwegen en kanaaldijken dan zouden er vóór de aanvang van de ontginning referentiepunten moeten worden aangebracht en opgemeten in x, y en z. Bij wegen zouden deze referentiepunten om de 100m kunnen worden aangebracht. Deze verkenmerken zouden daarna jaarlijks moeten worden opgemeten. Bij het opmeten van de hoogte zou de meetnauwkeurigheid meer dan 1cm moeten bedragen. De aldus verkregen informatie zou moeten worden opgenomen in het vooruitgangsrapport.*

*e4) Grondbewegingen – horizontale verplaatsingen:*

- *Wanneer langs bestaande gebouwen, kunstwerken, spoorwegen of kanaaldijken wordt afgeweken van de voorgestelde veiligheidsafstanden, dan zou er systematisch aan deze gebouwen, kunstwerken, spoorwegen en kanaaldijken een opmeting van de horizontale verplaatsingen moeten worden uitgevoerd tot op een diepte die minstens gelijk is aan de ontginningsdiepte. Dergelijke metingen worden best uitgevoerd door middel van inclinometerbuizen die minstens 1 x per maand worden opgemeten. Het opmeten zou dienen te worden uitgevoerd tot min. 6 maanden na het uitvoeren van de wederaanvulling tegenaan het talud en tot 3 opeenvolgende metingen geen toename van de horizontale verplaatsingen hebben aangegeven.*
- *Om informatie te verkrijgen betreffende de mogelijke spreiding van de meetresultaten zouden er telkens minstens 2 inclinometerbuizen moeten geplaatst worden. Deze inclinometerbuizen moeten dan tot minstens 5 meter onder het diepste uitgravingspeil worden aangebracht.*
- *De resultaten van de aldus uitgevoerde metingen dienen te worden opgenomen in het vooruitgangsrapport.*

## **1.2 Nieuw beschikbare informatie sinds de vorige studie**

Kort na de beëindiging van de vorige studie zijn er in de groeve Maatheide-Links te Lommel een paar belangrijke bressen ontstaan, meer bepaald in 2003 en 2004. Een gedetailleerde analyse van de beschikbare informatie heeft duidelijk aangetoond dat de stabiliteit van taluds bij natte ontginning met een profielzuiger niet moet bepaald worden met de klassieke theorieën van de grondmechanica , maar wel op basis van brestheorieën. Vastgesteld werd dat de bresprofielen voorgesteld door Delft Hydraulics goed overeenstemden met de profielen die na de bressen van 2003 en 2004 werden opgemeten.

In 2008 is in Nederland de CUR Aanbeveling 113 Oeverstabiliteit bij zandwinningsputten verschenen. In deze aanbeveling wordt vooral aandacht besteed aan de problematiek van de natte ontginningen met een profielzuiger.

CUR Aanbeveling 113 omvat 3 delen, namelijk:

Deel A: CUR Aanbeveling 113

Deel O: Onderbouwing rapport

Deel T: Blik op de toekomst.

De in deze nota geformuleerde aanbevelingen zijn grotendeels gebaseerd op de door Delft Hydraulics opgestelde brestheorieën en op de bresprofielen die op basis daarvan werden afgeleid.

Nieuw is wel dat in de nota ruim aandacht wordt besteed aan de risico-beschouwing die voor iedere ontginning zou moeten worden opgesteld, en aan de metingen die moeten worden uitgevoerd in de buurt van de oever bij uitvoering van zandwinning en terugstorten.

In 2008 heeft zich in de groeve van Depovan te Rumbeke een lokale afschuiving voorgedaan die zich uitstreckte tot op het naastgelegen terrein. Bij de herstelling van deze afschuiving hebben er zich heel wat problemen voorgedaan.

Deze case study was zeer leerzaam omdat er duidelijk gebleken is dat bij droge ontginning de stabiliteit van de taluds in hoofdzaak bepaald wordt door het in de grond aanwezige water:

- negatieve poriënwaterspanningen hebben een stabiliserend effect en kunnen ervoor zorgen dat er steilere taluds kunnen worden aangehouden dan hetgeen op de klassieke regels van de grondmechanica kan worden aangtoond;
- naar het talud toe gerichte grondwaterstromingen hebben een destabiliserend effect en kunnen ervoor zorgen dat ogenschijnlijk stabiele taluds gaan afschuiven. Ook tijdelijke grondwaterstromingen , bvb. na een periode van hevige neerslag , hebben een nadelige invloed op de stabiliteit van taluds.

### 1.3 Overzicht van de uitgevoerde studie

De uitgevoerde studie omvat 3 delen, namelijk:

- een literatuurstudie;
- de studie van een aantal groeves;
- het opstellen van een algemene nota met conclusies en aanbevelingen.

#### 1.3.1 Literatuurstudie.

De literatuurstudie is opgenomen als hoofdstuk 2 van onderhavige nota.

#### 1.3.2 Bestudeerde groeves.

Conform Bestek VLA08-3.2 werden de volgende groeves bestudeerd:

- ANT001 Hens – Brasschaatse Heide – Brasschaat
- ANT044 SCR-Sibelco – Witte Nete – Dessel
- ANT045 SCR-Sibelco – Pinken – Dessel
  
- LIM001 SCR-Sibelco – Blauwe Kei – Lommel
- LIM003 SCR-Sibelco – Hoge Maatheide Links – Lommel
- LIM003 SCR-Sibelco – Hoge Maatheide Rechts – Lommel
- LIM008 Velbo – Heuvelse Heide – Lommel
- LIM010 Velbo – Wateringen – Lommel
- LIM011 Winters – Hoeverbergen – Lommel
- LIM038 Hermaco – Papendaal – Zutendaal
- LIM043 en LIM 075 TV Rekin (Belmagri/Dragrassa) – Vissenakker/Boterakker – Kinrooi
  
- LIM ... Winterslag – Limcoal
- LIM ... Maasmechelen – Carrières de Retinne
  
- WVL012 – Egem – Ampe/Wienerberger
- WVL014 – Roeselare – Rumbeke – De Hukker – Depovan
- WVL065 – Zwevegem – Moen – IMOG
  
- OVL001 – Oudenaarde – Eine – Vandemoortel
- OVL003 – Oudenaarde – Volkegem – Demets
- OVL023 – Vlierzele – ILVA
- OVL069 – Temse – Bolderik – Swenden/Wienerberger
  
- VLB026 – Lubbeek – Aardebrug – Roelants

Deze groeves worden elk apart behandeld in deel II van de studie.

### 1.3.3 Algemene nota.

Onderhavige algemene nota omvat volgende hoofdstukken:

1. Inleiding;
2. Literatuurstudie;
3. Globale beoordeling van de bestudeerde groeves
4. Speciale aandachtspunten bij droge ontginningen
5. Speciale aandachtspunten bij natte ontginningen
6. Speciale aandachtspunten bij groeves van de rubrieken 18.4 en 18.5
7. Aanbevelingen

## 2 Literatuurstudie

Van volgende artikels werd een samenvatting gemaakt:

- [1] CUR-Aanbeveling 113, CUR Bouw & Infra, 'Oeverstabiliteit bij zandwinputten', Nederland, augustus 2008
- [2] "Principes voor de uitvoering van bouwputten", ir. V. Whenham - WTCB, WTCB-Dossiers, Nr. 3/2006
- [3] "Predicting the stand-up time of temporary London Clay slopes at terminal 5, Heathrow Airport", N. Kovacevic, D. W. Hight, D. M. Potts, Géotechnique 57, No. 1, p63 - p74, 2007
- [4] "Cohesion of unsaturated residual soils as a function of volumetric water content", Y. Matsushi, Y. Matsukura, Published on 5 jan 2006, © Springer – Verlag, 2006
- [5] "Finite element verification of an enhanced limit equilibrium method for slope analysis", D. Tan, S. K. Sarma, published on 3 april 2008, Géotechnique 58, No. 6, p481 – p487, 2008
- [6] "Oeverstabiliteit in zandwinputten DC 04 43 11 – rekenmodel HMBreach", D.R.Mastbergen, WL Delft Hydraulics, rapport december 2006
- [7] Historiek van het kanaal Leie-Ieper – Eigenschappen en gedragingen van de Ieperiaanse klei – Prof. Dr. Ir. E. De Beer – Rijksinstituut voor grondmechanica – 1979

## **2.1 CUR-Aanbeveling 113, CUR Bouw & Infra, 'Oeverstabiliteit bij zandwinputten', Nederland, augustus 2008 [1]**

### **2.1.1 Algemeen**

Ook in Nederland is het vinden van nieuwe locaties voor zandwinning de laatste jaren steeds moeilijker. Als gevolg daarvan bestaat ook daar de tendens bestaande zandwinningen maximaal te benutten. Door te streven naar zo steil mogelijke taluds en steeds diepere ontginningen. Deze ontwikkelingen hebben in de afgelopen jaren op een aantal locaties geleid tot oeverinscharingen, soms met aanzienlijke schade aan de omgeving.

De CUR-Aanbeveling 113 verzamelt het beschikbare inzicht, de kennis over de oorzaken van dergelijke oeverinscharingen en geeft aanbevelingen i.v.m. de mogelijkheden deze te voorkomen. De aanbeveling bestaat uit 3 delen:

Deel A: CUR Aanbeveling 113 (22 pagina's)

Deel O: Onderbouwing van CUR Aanbeveling 113 (105 pagina's)

Deel T: Blik op de toekomst

Deel A vormt in feite een samenvatting van Deel O en wordt daarom niet afzonderlijk besproken.

Zijn vooral van belang:

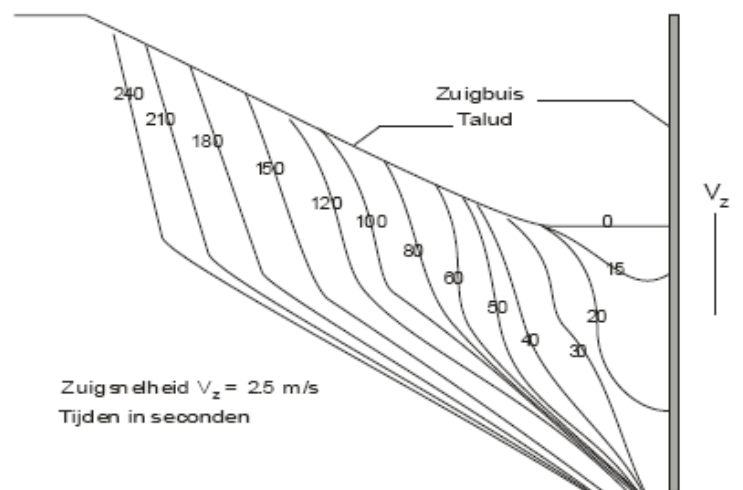
- hoofdstuk 3:  
Mechanismen die tot oeverinscharing kunnen leiden
- hoofdstuk 6:  
Analyse faalmechanismen
- hoofdstuk 8:  
Begeleiding van zandwinning en terugstorten

### **2.1.2 Hoofdstuk 3: Zandzuigproces**

De CUR aanbeveling 113 bekijkt de natte ontgraving, waarbij verschillende typen baggermaterieel worden ingezet:

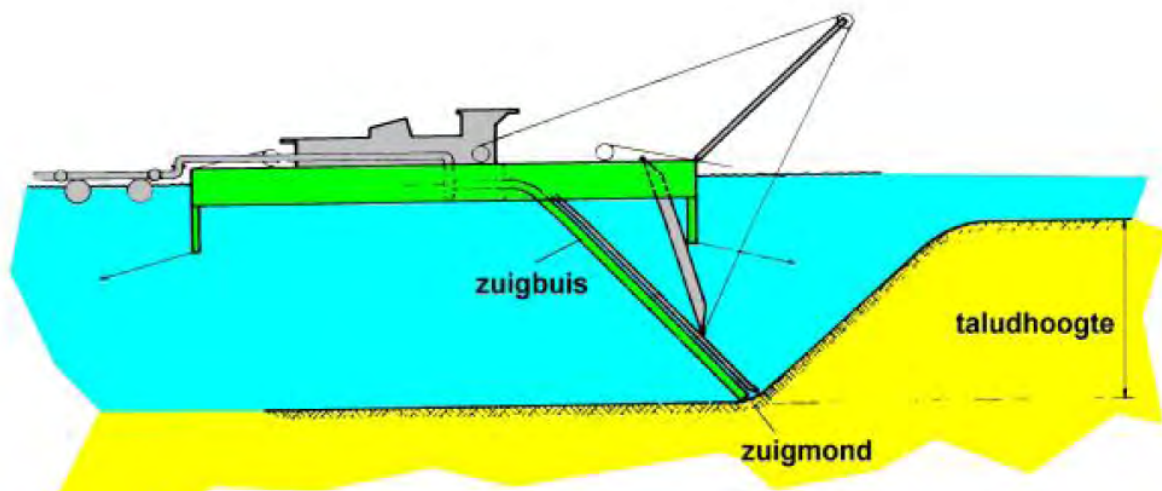
- win- of profielzuiger;
- diepzuiger;
- snijkop- of cutterzuiger;
- graafwielzuiger;
- sleephopperzuiger;
- grijperkraan.

Het winnen van zand vindt in het algemeen plaats door middel van winzuigen. Inzicht in het zandzuigproces is daarom van belang. Om het proces op gang te brengen wordt de zuigbuis aan de voet van het talud eerst een zekere diepte (circa 2 m tot 15 m) in het zand ingestoken. Door het al zuigend insteken van de zuigbuis wordt een actieve bres gevormd, die vervolgens langs het talud omhoogloopt en zand aanlevert (bressen). Het zand stroomt als een zand-water mengselstroom langs de helling naar de zuigbuis toe en neemt daarbij steeds meer zand op. Hierbij wordt een bepaald hellingverloop ontwikkeld.



**Figuur 1: Schematische voorstelling van het bresproces**

Het bresproces wordt gekenmerkt door de snelheid waarmee de bres wegloopt: de walsnelheid. Deze walsnelheid is een functie van de samenstelling en pakking van het zand en niet van de zuigparameters. De walsnelheid is ongeveer gelijk aan 25 maal de doorlatendheid van het oorspronkelijke zandpakket.



**Figuur 2: Proces van natte zandwinning met zandwinzuiger**

Een verstoring van het zandoppervlak, zoals een lokale versteiling, loopt langs het talud zolang het zand kan wegstromen en niet opnieuw bezinkt: dit wordt "nabressen" genoemd. Het bressen, dus ook het nabressen is een taludoppervlakte-verschijnsel: alleen langs het taludoppervlak komt zand in beweging en verandert de pakking van het zandpakket. Dit in tegenstelling tot een afschuiving of verwekingsvloeiing in losgepakt zand.

#### 2.1.3 Hoofdstuk 4: Mechanismen die tot oeverinscharing kunnen leiden

In de meeste situaties blijkt na onderzoek een drietal mechanismen de oeverinscharing te kunnen veroorzaken:

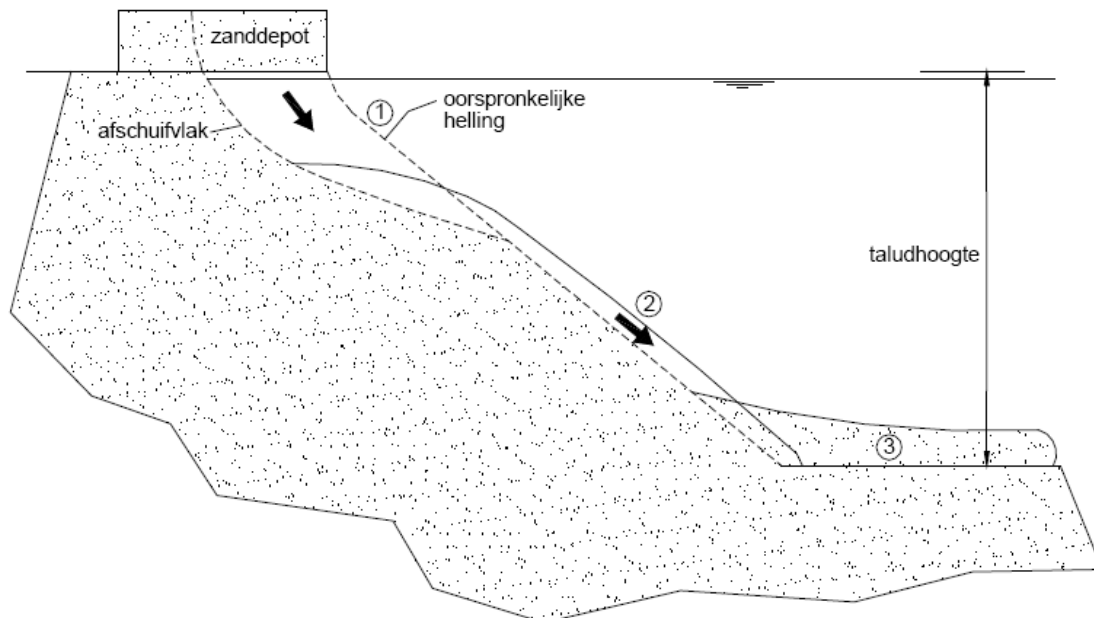
- Taludafschuiving: verlies van macro-evenwicht veroorzaakt door overschrijding van de maximaal mobiliseerbare weerstand tegen afschuiven (proces in ondergrond);
- Verwekingsvloeiing: wegvloeien van zand door verweking in losgepakte zandlagen (proces in ondergrond);
- Bresvloeiing: terugschrijdend bressen in vastgepakte zanden (oppervlakteproces).

Er zijn nog 2 bijkomende mechanismen die tot oeverinscharing kunnen leiden: verlies aan micro-stabiliteit en golfaanval.

Beide mechanismen zijn oppervlakteprocessen en spelen hooguit een ondergeschikte rol bij de initiatie van een van de andere mechanismen, zoals een verwekingsvloeiing of bresvloeiing.

#### a) Paragraaf 4.2. Taludafschuiving

Taludafschuiving, verlies aan macro-stabiliteit van een talud, is het statisch evenwichtsverlies van een grondmassa begenst door een talud, onder invloed van de aandrijvende kracht van het eigen gewicht en de maximaal mobiliseerbare afschuifweerstand langs potentiële glijvlakken.



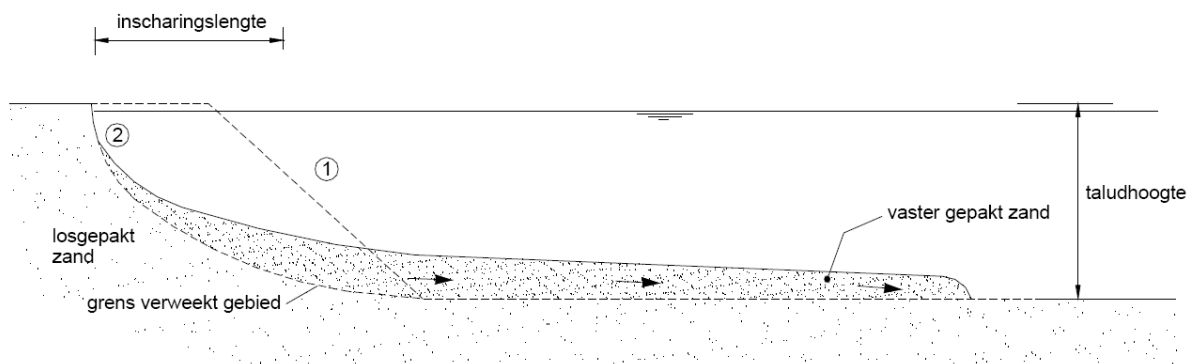
**Figuur 3: Oeverinscharing door afschuiving**

In tegenstelling tot verweking- of bresvloeiingen wordt bij afschuiving niet expliciet onderscheid gemaakt tussen initiatie en het vervolg van het falen. Vaak is er wel een aanleiding voor het optreden van een afschuiving te noemen.

Lokaal (enkele meters dik) kan er een zeer steile helling, die overblijft na zandwinning, door trillingen of schommelingen in de waterdruk afschuiven. Taludafschuivingen kunnen ook worden geïnitieerd door het aanleggen of ophogen van opslagdepots, of het verhogen van het waterpeil of het versteilen van het talud na afloop van de winning.

### b) Paragraaf 4.3. Verwekingsvervloeiing (zettingsvloeiing)

Een verwekingsvloeiing kan worden omschreven als een verschijnsel waarbij een pakket losgepakt zand onder water plotseling verweekt: er ontstaat een soort drijfzand. Door het optreden van verweking verliezen de zandkorrels onderling contact. Hierdoor neemt de schuifweerstand van het zandlichaam dramatisch af. Als het zandpakket oorspronkelijk onder een helling aanwezig is, dan zal de verweekte massa naar beneden vloeien en pas weer onder een veel flauwere helling tot rust komen.



**Figuur 4: Oeverinscharing door verwekingsvloeiing**

**1 = talud voor vloeiing en 2 = talud na vloeiing**

Gedeeltelijke verweking kan het vermogen van het zand om schuifspanning enop te nemen al zodanig doen verminderen dat het talud instabiel wordt en er een grote massa zand naar beneden vloeit.

Volledige verweking zodat de zandkorrels in het geheel geen onderling contact meer hebben, treedt niet zo vaak op.

Als de verweking aan de teen van het talud begint, zal het zand eerst daar wegvloeien en zo worden hoger gelegen delen ook instabiel. Op deze wijze ontstaat een terugschrijdend proces, zoals dat in de praktijk vaak wordt geconstateerd.

Voorwaarden voor het optreden van een verwekingsvloeiing in een winput:

- Aanwezigheid van een inleidend mechanisme;
- Verwekinggevoelig zand, dus los gepakt genoeg, over een bepaalde minimum laagdikte, die waarschijnlijk varieert van 2 m tot 5 m;
- De taludgeometrie moet ongunstig genoeg zijn: helling steil genoeg en hoogte voldoende groot.

Initiatie van een verwekingsvloeïing (inleidende mechanismen):

- Trillingen of andere plotselinge belastingwijzigingen
- Baggerschip in de nabijheid aan het werk: het baggeren zorgt voor verstoringen door insteken van de zuigmond of indirect door het veroorzaken van kleine afschuivingen
- Getijdenverschillen
- Golven
- Het passeren van een schip
- Trillingen door heiwerkzaamheden, aardbevingen of zwaar verkeer

De grootste kans op een verwekingsvloeïing is tijdens de uitvoering van de zandwinning.

Factoren die invloed hebben op het ontstaan of verloop van een verwekingsvloeïing zijn taludhoogte, taludhelling, de samenstelling van de grond en de dikte van de losgepakte laag.

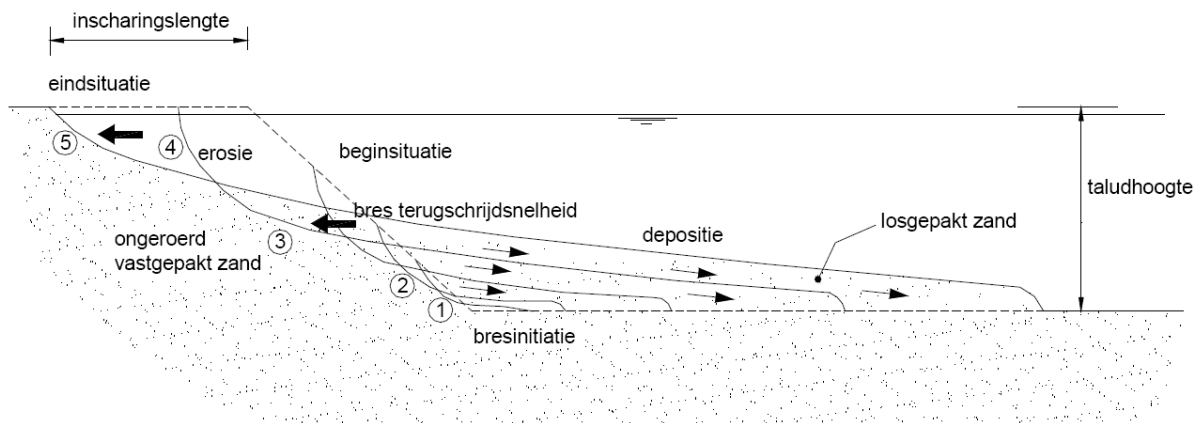
Een zuivere verwekingsvloeïing is een proces dat een paar minuten tot een kwartier of een half uur kan duren. Het zand kan hierbij in één keer over praktisch het gehele talud verweken en uitvloeien.

Zettingsvloeïing is een term die vaak ten onrechte gebruikt wordt als verzamelterm voor de mechanismen verwekingsvloeïing en bresvloeïing.

Opmerking: Aangezien er in Vlaanderen geen pakketten losgepakt zand voorkomen met een voldoende dikte, kunnen verwekingsvloeïingen enkel ontstaan bij aangevulde gronden, bv. opgespoten zeer losgepakte zanden.

### c) Paragraaf 4.4. Bresvloeiing

Een bresvloeiing in een onderwater-taludhelling is een gestaag terugschrijdend erosieproces dat resulteert in een oever- of taludaantasting met een zekere inscharingslengte.



**Figuur 5: Overinscharing door bresvloeiing, chronologisch van 1 tot 5**

Voorwaarden voor het ontwikkelen van een oeverinscharing door bresvorming in een winput zijn:

- Verstoring in het talud, het te diep insteken van de zuigbuis of andere werkzaamheden op het talud
- Mogelijkheid tot afstromen van het afgebreeste materiaal in de vorm van een suspensiestroom naar dieper gelegen delen van de put en daar bezinken of worden opgezogen
- Geen evenwicht tussen putproductie en zuigerproductie

Een ongewenste bres wordt meestal geïnitieerd door:

- Een locale discontinuïteit.
- Een kleine verwekingsvloeiing of afschuiving
- In de natuur, in rivierbanken of getijdengeulen kan ook lokale erosie door stroming een initiërend mechanisme zijn.

In tegenstelling tot een verwekingsvloeiing komt bresvloeiing ook voor in vastgepakt, grof zand.

Een bresvloeiing speelt zich af binnen enkele uren tot ongeveer 24 u bij massale gebeurtenissen. De terugschrijdsnelheid ("walsnelheid") is van de orde van enkele mm/s. De hoeveelheid grond die in beweging komt is over het algemeen zeer massaal.

Bij zandwinnen is meestal sprake van beheerst bressen.

De mate van nabressen (het naleveren van zand door actieve bressen nadat de zuigmond al gepasseerd is) wordt volledig gestuurd door de operatie van de zuigbuis van het baggerwerktuig waarmee de bresvorming geïnitieerd wordt.

Bij bresvloeiing kan de bresvorming ook door een andere oorzaak (bijv. lokale afschuiving, erosie door storten van grond op het talud of verwekingsvloeiing in een losgepakte laag) geïnitieerd worden. Het vrijkomende zand stroomt vervolgens naar dieper gelegen delen van de zandwinput, zonder dat de zuiger op dat moment actief is.

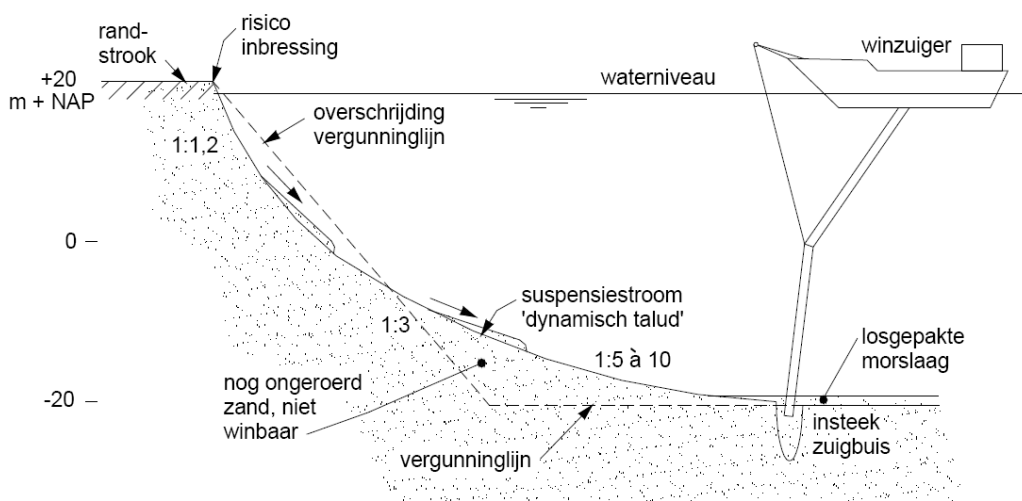
Kenmerkend voor bresvloeiing is het zichzelf versterkende proces van groei van de hoogte van de bres. Naarmate de bres hoger en steiler wordt neemt het debiet van het vrijkomende zand toe. Bij toename van dat debiet neemt de erosie van de ondergrond aan de teen van de bres toe, waardoor de bres in hoogte maar ook in breedte groeit. De actieve bres kan doorgaan zolang het geërodeerde materiaal kan wegstromen naar een dieper gelegen deel van de winput of opgezogen wordt.

Wordt het materiaal niet opgezogen, dan zal het als een suspensiestroom stroomafwaarts sedimenteren. Als gevolg daarvan ontwikkelt zich een flauwe helling, waardoor het bresproces uiteindelijk zal uitsterven.

Het bresvloeiingsproces is een vorm van oppervlakte-erosie, waardoor het talud wordt uitgesleten en niet als geheel bezwijkt.

Op basis van boringen, bodemopbouw, aanwezigheid van stoorlagen en daarnaast de keuze van geschikt materieel met afgestemde productiecapaciteit en verhaalsnelheid, kan de te verwachten taludontwikkeling bij beheerst bressen worden voorspeld als functie van de taludhoogte en de zuigdiepte.

De gemiddelde helling van het talud zal afnemen bij steeds dieper zuigen.



**Figuur 6: Taludontwikkeling in zandwinput t.g.v. zuigen**

## 2.1.4 Hoofdstuk 5: Grondonderzoek

Een overzicht van de grondkarakteristieken die bekend moeten zijn om de verschillende faalmechanismen te kunnen beoordelen is weergegeven op Tabel 1, terug te vinden in de CUR-aanbeveling op pagina O-45.

**Tabel 1: CUR113-Tabel 5.1. Grondkarakteristieken voor de 3 mechanismen die resulteren in oeverinschaling**

|                    | Bodemopbouw                        | Schuifsterkte<br>klei/veen                                                            | Verwekingsgevoeligheid<br>zand |                                                                                    | Doorlatendheid<br>zand                 |
|--------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
|                    |                                    |                                                                                       | Relatieve<br>dichtheid<br>zand | Verwekings-<br>gevoelig-<br>heid zand<br>als functie<br>van relatieve<br>dichtheid |                                        |
| Afschuiving        | relevant tot 1,2 maal de putdiepte | relevant bij:<br>- slappe klei/<br>veen<br>- steile helling<br>- zware bovenbelasting | relevant                       | niet relevant                                                                      | niet relevant                          |
| Verwekingsvloeïing | relevant tot 1,5 maal de putdiepte | niet relevant                                                                         | zeer relevant                  | zeer relevant                                                                      | alleen relevant voor vervolgschade     |
| Bresvloeïing       | relevant tot putbodem              | enigszins relevant (stoornissen)                                                      | weinig relevant                | weinig relevant                                                                    | zeer relevant: fijn zand is gevoeliger |

Tabel 2 geeft een overzicht van het grondonderzoek waarmee de in de voorgaande tabel (Tabel 1) genoemde grondkarakteristieken kunnen bepaald worden. Er dient te worden opgemerkt dat voor het uitvoeren van laboratoriumproeven steeds ongeroerde monsters (per grondlaag) nodig zijn. Tabel 3 geeft een overzicht van de toepasbaarheid en de kosten van de diverse bemonsteringstechnieken.

**Tabel 2: Tabel 5.2. Geschiktheid van grondonderzoek voor de verschillende grondkarakteristieken die van belang zijn voor het ontwerpen van zandwinputten**

| Grondkarakteristiek →                                                                                                                      |                                                                                                          | Bodemopbouw | Schuifsterkte klei/veen | Verwekingsgevoeligheid zand |                                                                 | Doorlatendheid zand |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------|
| onderzoeksmethode ↓                                                                                                                        |                                                                                                          |             |                         | Relatieve dichtheid zand    | Verwekingsgevoeligheid zand als functie van relatieve dichtheid |                     |
| Studie van archief- en kaartmateriaal, geologische kennis                                                                                  |                                                                                                          | +           | +/-                     | +/-                         | -                                                               | -                   |
| VELDONDERZOEK                                                                                                                              | Sondering                                                                                                | +           | +/-                     | +                           | -                                                               | +/-                 |
|                                                                                                                                            | Sondering met waterspanning                                                                              | ++          | +/-                     | +                           | -                                                               | +/-                 |
|                                                                                                                                            | Spoelboring                                                                                              | +/-         | -                       | -                           | -                                                               | -                   |
|                                                                                                                                            | Pulsboring met boorbeschrijving                                                                          | +           | +/-                     | -                           | -                                                               | +/-                 |
|                                                                                                                                            | Begemann boring                                                                                          | ++          | +/-                     | -                           | -                                                               | +/-                 |
|                                                                                                                                            | Sonische boring**)                                                                                       | ?           | ?                       | -                           | -                                                               | -                   |
|                                                                                                                                            | Geofysische metingen                                                                                     | +           | -                       | +/-                         | -                                                               | -                   |
|                                                                                                                                            | Elektrische dichtheidmeting*)                                                                            | -           | -                       | ++                          |                                                                 | +                   |
| LABORATORIUM ONDERZOEK                                                                                                                     | Classificatieproeven klei/veen                                                                           | -           | +                       | -                           | -                                                               | -                   |
|                                                                                                                                            | Triaxiaalproeven                                                                                         | -           | ++                      | -                           | ++                                                              | -                   |
|                                                                                                                                            | Direct Simple Shear proeven                                                                              | -           | ++                      | -                           | -                                                               | -                   |
|                                                                                                                                            | Korrelverdeling zand/zeefproeven evt. ook bezinkproeven voor fijne fractie                               | -           | -                       | -                           | -                                                               | +                   |
|                                                                                                                                            | Bepaling $n_{min}$ en $n_{max}$                                                                          | -           | -                       | ++                          | ++                                                              | -                   |
|                                                                                                                                            | Ijking voor elektrische dichtheidsmeting                                                                 | -           | -                       | ++                          | -                                                               | -                   |
|                                                                                                                                            | Doorlatendheidsproeven                                                                                   | -           | -                       | -                           | -                                                               | +                   |
|                                                                                                                                            | *) Ijking in het laboratorium is noodzakelijk om de elektrische dichtheidmeting te kunnen interpreteren. |             |                         |                             |                                                                 |                     |
| **) Sonisch boren is een relatief jonge techniek, waarbij nog de nodige ervaring moet worden opgedaan t.a.v. de kwaliteit van de monsters. |                                                                                                          |             |                         |                             |                                                                 |                     |
| Tekenvoetverklaring:                                                                                                                       |                                                                                                          |             |                         |                             |                                                                 |                     |
| ? onduidelijk; - irrelevant of ongeschikt; +/- redelijk geschikt; + geschikt; ++ zeer geschikt.                                            |                                                                                                          |             |                         |                             |                                                                 |                     |

**Tabel 3: Tabel 5.3. Waardering van monsternametechnieken**

| Waardering →                                                                                                                | Toepasbaarheid |                     |                 |                    |                          | Kosten |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------|-----------------|--------------------|--------------------------|--------|
|                                                                                                                             | cohesief, slap | niet-cohesief, vast | cohesief, stijf | niet-cohesief, los | passeren harde leemlagen |        |
| Monsternametechniek ↓                                                                                                       |                |                     |                 |                    |                          |        |
| geroerde monsters (zand):                                                                                                   |                |                     |                 |                    |                          |        |
| - puls boring                                                                                                               | +/-            | +/-                 | +/-             | +/-                | -                        | +/-    |
| - Ackermannboring of ander dunwandig open monstersteekapparaat                                                              | +              | +                   | +               | +                  | -                        | -      |
| - Standard Penetration Test                                                                                                 | +              | +                   | +               | +                  | +                        | (-)    |
| ongerode monsters:                                                                                                          |                |                     |                 |                    |                          |        |
| - dunwandig open monstersteekapparaat onderin boorgat                                                                       | +              | +/-                 | +               | +/-                | ?                        | +/-    |
| - spitsmuis of ander zuiger-monstersteekapparaat onderin boorgat                                                            | +              | -                   | +               | -                  | -                        | -      |
| - Begemannboring (66 mm)                                                                                                    | ++             | +                   | ++              | +                  | -                        | -      |
| - sonisch boren                                                                                                             | ?              | ?                   | ?               | ?                  | ?                        | -      |
| Tekenverklaring waardering: ? onduidelijk; - irrelevant of ongeschikt; +/- redelijk geschikt; + geschikt; ++ goed geschikt. |                |                     |                 |                    |                          |        |
| Tekenverklaring kosten: - hoog; - redelijk; +/- beperkt.                                                                    |                |                     |                 |                    |                          |        |

De CUR-aanbeveling stelt i.v.m. de omvang van het grondonderzoek het volgende voor:

- Sonderingen:
  - o 0,7 tot 1,5 x de maximale ontginningsdiepte.
  - o Min. dichtheid: 1 sondering per 0,3 à 1,0 km oever.
  - o Max. dichtheid: 1 sondering per 50 m à 200 m oever.
- Boringen:
  - o 1,0 tot 1,5 x de maximale ontginningsdiepte.
  - o Min. dichtheid: 1 tot 3 boringen per kilometer over.
  - o Monsters om de 1 à 2 m diepte.

Het raadplegen van archief- en kaartmateriaal (regionale geologie, voormalig gebruik van de site...) kan nuttig zijn in het opstellen van een grondonderzoeksprogramma.

## 2.1.5 Hoofdstuk 6: Analyse faalmechanismen

### a) Paragraaf 6.1. Afschuiving

Volgens de CUR-aanbeveling kan de analyse van een afschuiving op 3 manieren uitgevoerd worden:

- Eenvoudig
  - o Geen stabiliteitsberekening: toetsing van de beschouwde toestand van de taluds aan 3 elementaire voorwaarden die de stabiliteit garanderen:
    - helling  $< 1/3$
    - afwezigheid van slappe cohesieve lagen
    - geen nevenbelasting/bovenbelasting op talud
  - o Indien er aan de voorgaande voorwaarden niet wordt voldaan, dient er een stabiliteitsberekening uitgevoerd te worden met één van de bestaande rekenmethodes (bv. Bishop). De invoerparameters worden bepaald op basis van een eenvoudig grondonderzoek.
- Gedetailleerd
  - o Stabiliteitsberekening met invoerparameters gebaseerd op een uitgebreid grondonderzoek.
- Geavanceerd
  - o Bij ingewikkelde laagopbouw en/of gecompliceerde belastingsconfiguraties dient de stabiliteit te worden beschouwd met een eindig-elementenprogramma.

### b) Paragraaf 6.2. Verwekingsvloeiing

Voor het optreden van een verwekingsvloeiing moet aan 3 criteria worden voldaan:

- Het zand moet losgepakt zijn over een laagdikte van 1,0 tot 5,0 m.
- De taludgeometrie moet ongunstig zijn.
- Aanwezigheid van inleidend criterium.

Een verwekingsvloeiing kan ontstaan door:

- Terugstorten van grond
- Trillingen (baggeren, stroming...)
- Aardbeving

Verdere specificaties over het analyseren van een verwekingsvloeiing is terug te vinden in paragraaf 6.2. van de CUR-aanbeveling.

### c) Paragraaf 6.3. Beheerst bressen en onbeheerste bresvloeiing

Er wordt een overzicht gegeven van de omstandigheden waarin beheerst bressen met een stationaire taludontwikkeling mogelijk is. Afhankelijk van de bodemsamenstelling kan er op 3 manieren (eenvoudige, gedetailleerde of geavanceerde methode) de taludontwikkeling worden voorspeld.

Een belangrijke constatering is dat de zich bij het zandzuigproces ontwikkelde taludhelling afneemt met de zuigdiepte. Voorspelling van de inscharingslengte die bij onbeheerst bressen verwacht kan worden vereist een rekenmodel dat de taludontwikkeling in de tijd kan voorspellen. Dit rekenmodel is echter nog niet voorhanden, daarom wordt de inscharingslengte op basis van statistische gegevens en praktijkervaring afgeleid.

Figuur 6 geeft de taludontwikkeling in een zandwinput t.g.v. zuigen schematisch weer. Door het zuigen vormt het vrijgekomen zand een suspensiestroming welke verder versneld omlaag stroomt en het talud uitschuurt. Bij de bovenrand kan de helling maximaal de natuurlijke taludhelling van het zand bereiken. Naar de teen toe zal de helling steeds flauwer worden. De gemiddelde helling van het talud zal afnemen bij steeds dieper zuigen.

Verder omschrijft de CUR-aanbeveling de juiste werkwijze bij uitvoering met een zuiger (paragraaf 6.3.2.4).

Voor de eenvoudige bepaling van de taludontwikkeling stelt de aanbeveling volgend schema voor:

**Tabel 4: Tabel 6.3a uit CUR-aanbeveling**

Tabel 6.3a = Tabel A.2a Schema voor te handhaven taludopbouw zonder platbermen

| Van<br>diepte z<br>(m +<br>MV) | Tot<br>diepte z<br>(m +<br>MV) | Zand met, gemiddeld over<br>5m of minder, $d_{50} > 200\mu\text{m}$<br>en $d_{15} > 100\mu\text{m}$ |                             | Grind en zand met,<br>gemiddeld over 5m of<br>minder,<br>$d_{50} > 500\mu\text{m}$ en $d_{15} >$<br>$250\mu\text{m}$ |                             |
|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
|                                |                                | Lokale<br>helling                                                                                   | Gemiddelde<br>helling 0 - z | Lokale<br>helling                                                                                                    | Gemiddelde<br>helling 0 - z |
| 0                              | -5                             | 1:2                                                                                                 | 1:2                         | 1:2                                                                                                                  | 1:2                         |
| -5                             | -10                            | 1:3                                                                                                 | 1:2,5                       |                                                                                                                      |                             |
| -10                            | -15                            | 1:4                                                                                                 | 1:3                         | 1:3                                                                                                                  | 1:2,5                       |
| -15                            | -20                            | 1:5                                                                                                 | 1:3,5                       |                                                                                                                      |                             |
| -20                            | -25                            | 1:6                                                                                                 | 1:4                         | 1:4                                                                                                                  | 1:3                         |
| -25                            | -30                            | 1:8                                                                                                 | 1:4,67                      |                                                                                                                      |                             |
| -30                            | -35                            | 1:10                                                                                                | 1:5,43                      | 1:6                                                                                                                  | 1:3,75                      |
| -35                            | -40                            | 1:10                                                                                                | 1:6                         |                                                                                                                      |                             |

Er zijn enkele voorwaarden verbonden aan de toepasbaarheid van deze taludhellingen (welke overigens flauw en dus aan de veilige kant zijn):

- De bodem bestaat uit zand met  $d_{50} > 200 \mu\text{m}$  en  $d_{15} > 130 \mu\text{m}$  of zand/grind met  $d_{50} > 500 \mu\text{m}$  en  $d_{15} > 250 \mu\text{m}$
- Er zijn geen stoorlagen (klei- of leemlagen) aanwezig die dikker zijn dan 0,5 m
- Er zijn geen lagen die kunnen verweken
- Taludhoogte bedraagt maximaal 40,0 m

## 2.1.6 Aanbevelingen

**Tabel 5: Tabel 6.2 uit CUR 130: Taludproductie als functie van breshoogte en voortgangssnelheid van de zuiger**

| Breshoogte →                   |    | 3   | 5   | 10  | 20   | 40   | m                   |
|--------------------------------|----|-----|-----|-----|------|------|---------------------|
| Voortgang ↓<br>mm/s      m/uur |    |     |     |     |      |      |                     |
| 0,5                            | 2  | -   | -   | 50  | 100  | 200  | m <sup>3</sup> /uur |
| 1                              | 4  | -   | 50  | 100 | 200  | 425  | m <sup>3</sup> /uur |
| 2                              | 8  | 50  | 100 | 200 | 425  | 850  | m <sup>3</sup> /uur |
| 3                              | 10 | 100 | 150 | 325 | 650  | 1300 | m <sup>3</sup> /uur |
| 4                              | 15 | 125 | 200 | 425 | 850  | -    | m <sup>3</sup> /uur |
| 6                              | 20 | 200 | 325 | 650 | 1300 | -    | m <sup>3</sup> /uur |

### Taludontwikkeling zandwinput eenvoudige schematisatie

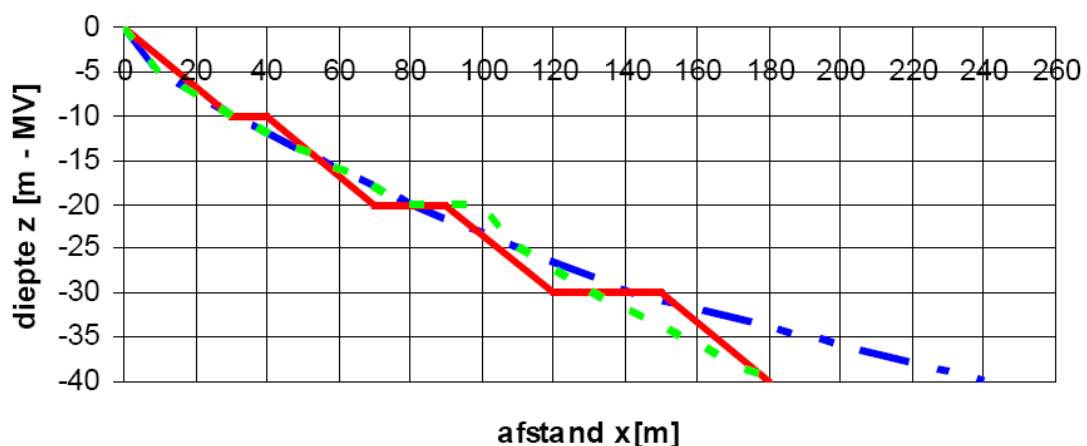


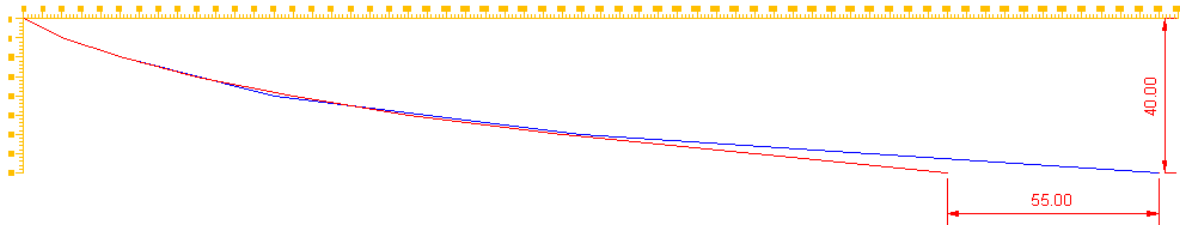
Fig. 6.6 Geschematiseerde taludopbouw volgens eenvoudige methode (Tabel 6.2):

1. doorgaand talud tot 40 m diepte (blauw -.-.)
2. laagscheiding met berm van 20 m op elke 20 m diepte (groen ----)
3. laagscheiding met berm van 10, 20 en 30 m op elke 10 m diepte (rood\_\_\_).

**Figuur 7: Taludopbouw**

Commentaar:

Het bresprofiel dat is opgenomen in CUR Aanbeveling 113 (rode lijn op onderstaande figuur) verschilt enigszins van het bresprofiel dat was voorgesteld door Delft Hydraulics (blauwe lijn op onderstaande figuur).



**Figuur 8: Vergelijking bresprofiel Delft Hydraulics (blauw) – CUR 113**

Van de figuur valt evenwel af te leiden dat het verschil vooral betrekking heeft op dieptes van 40 à 50 m. Omdat het eerder door Delft Hydraulics de veiligste benadering geeft wordt voorgesteld om dit profiel aan te houden voor het vastleggen van de veiligheidsafstanden.

## **2.2 “Principes voor de uitvoering van bouwputten” [2]**

Dit artikel onderzoekt de impact van de niet-verzadigde toestand van de grond op de stabiliteit van taluds. Eerst wordt er een algemene uitleg gegeven over de belangrijkste factoren die de stabiliteit van bouwputten beïnvloeden. Daarna worden de resultaten van het onderzoek uitvoerig besproken.

### **2.2.1 Overzicht van de fundamentele principes**

Er zijn twee benaderingen voor de keuze van de minimale helling van een talud, een eerste met empirische regels en een tweede door een stabiliteitsberekening van het talud uit te voeren. De keuze van de grondparameters gebeurt via de Nationale Bijlage bij Eurocode 7.

Het artikel maakt onderscheid tussen een rechtstreekse en een onrechtstreekse methode om de helling van een talud te bepalen. De rechtstreekse methode werkt via tabellen en geldt voor putten die niet dieper zijn dan 4 m. De taluds van putten dieper dan 4 m moet volgens de onrechtstreekse methode: een uitgebreide stabiliteitsberekening op basis van sonderingen en de Belgische Nationale Bijlage bij Eurocode 7. Bij deze berekening moet de meest kritische veronderstelde afschuivingswijze aangenomen worden.

Bij gebruik van een bemaling (verlaging van het grondwater) dient men de mogelijke gevolgen ervan (verzakkingen of eventuele vervuiling) vooraf aan een grondige studie te onderwerpen.

Enkele preventieve beschermingsmaatregelen voor bouwputten:

- Oriënterend grondonderzoek
- Bescherming van het talud tegen weersinvloeden
- Aanwezigheid van een geschikt drainagesysteem
- Vermijden van bovenbelastingen aan de randen van de bouwput
- Beperking van de levensduur van de bouwput
- Beperking van de lengte en de diepte van de niet-beschoeide delen van de bouwput tijdens de graafwerken

## 2.2.2 Resultaten van het onderzoek naar de niet-verzadigde toestand van grond.

### a) Theorie

Water kan onder verschillende toestanden in grond voorkomen:

- Vrije of zwaartekrachttoestand
- Capillaire toestand
- Geabsorbeerde of gebonden toestand (typerend voor klei)

Het vrije water overheerst wanneer de grond volledig verzadigd is (poriënwaterspanning = hydrostatische druk) met als gevolg dat de korrelspanningen verminderen en dat bijgevolg ook de schuifweerstand van de grond afneemt.

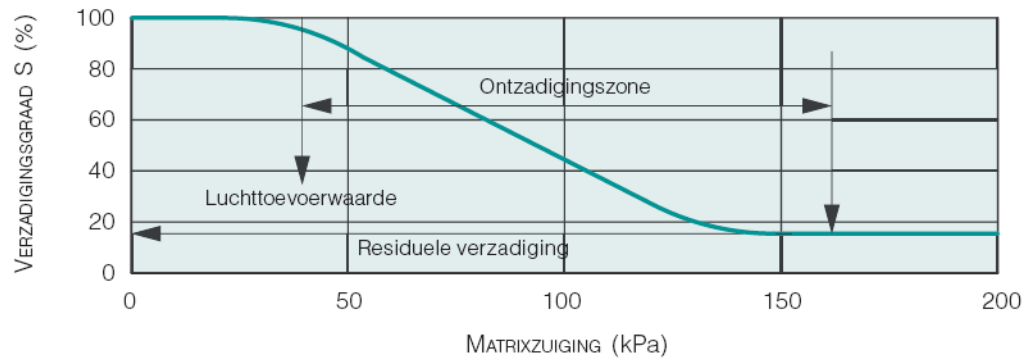
In gedeeltelijk verzadigde gronden bestaan er spanningen tussen de korrels (matrixzuiging) die worden veroorzaakt door de absorptiekrachten aan de contactpunten water-vaste stof en door de capillaire werking aan het raakvlak water-lucht.

De onderdrukken of de zuiging heeft een positieve invloed op de schuifweerstand van de grond en bijgevolg ook op de stabiliteit van de taluds. Dit effect is omgekeerd evenredig met het watergehalte in de grond. In traditionele geotechnische berekeningen wordt dit effect niet in rekening gebracht.

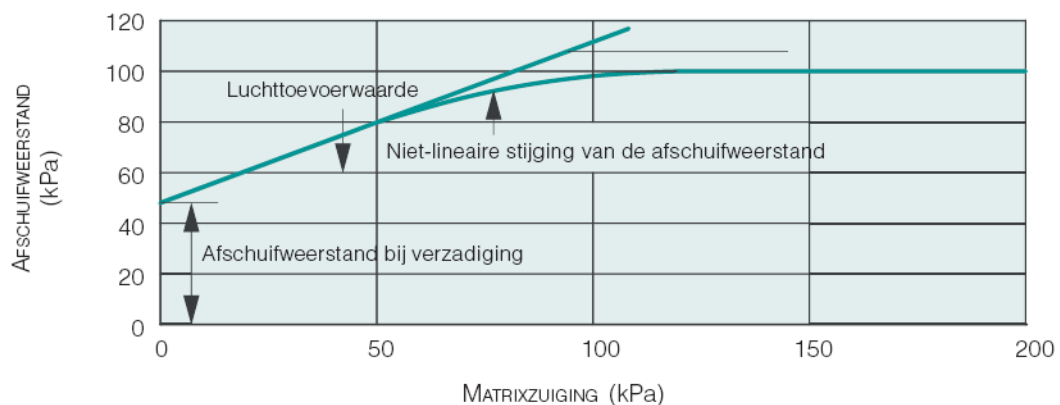
In de literatuur worden verschillende benaderingen voorgesteld waarmee men de invloed van de zuiging op het gedrag van de grond, de schuifweerstand en de berekening van de stabiliteit van taluds in aanmerking kan nemen. Het verband tussen het watergehalte en de schuifweerstand van de grond is afhankelijk van de grootte en de verdeling van de korrels waarop spanningen (zuiging) uitgeoefend wordt.

Er bestaat ook een verband tussen de waterretentiekromme en de schuifweerstand van de grond, gegeven op.

**Afb. 9 Waterretentiekromme.**



**Afb. 10 Evolutie van de afschuifweerstand, afhankelijk van de matrixzuiging [8].**



**Figuur 9: Afbeelding 9 en 10 uit [2]**

Verskillende auteurs hebben verbanden voorgesteld om de toename van de afschuifweerstand van de grond te koppelen aan het watergehalte of de zuiging, gebruik makend van een algemene vergelijking. Er worden 2 vergelijkingen beschouwd:

- Vgl. van Mohr-Coulomb

$$\tau = c' + \tan \phi' (\sigma - u_w)$$

Waarbij:

|                  |                                          |
|------------------|------------------------------------------|
| $\tau$           | = schuifweerstand                        |
| $c'$             | = effectieve cohesie (kPa)               |
| $\phi'$          | = interne wrijvingshoek van de grond (°) |
| $(\sigma - u_w)$ | = korrelspanning (kPa)                   |
| $\sigma$         | = totale spanning                        |
| $u_w$            | = poriënwaterdruk (kPa)                  |

- Vgl. van Fredlund

Deze maakt een onderscheid tussen de invloed van de zuiging en de invloed van de andere sterkteparameters van de grond.

$$\tau = c' + \tan \phi' (\sigma - u_a) + \tan \phi^b (u_a - u_w)$$

Waarbij:

|                           |                                                                                                                                    |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\tau$                    | = schuifweerstand                                                                                                                  |
| $c'$                      | = effectieve cohesie (kPa)                                                                                                         |
| $\phi'$                   | = interne wrijvingshoek van de grond (°)                                                                                           |
| $(\sigma - u_a)$          | = totale spanning (kPa)                                                                                                            |
| $\tan \phi^b (u_a - u_w)$ | = de invloed van de zuiging op de schuifweerstand van de grond, doorgaans aangeduid als de 'capillaire cohesie' of 'matrixcohesie' |
| $\phi^b$                  | = parameter die het verloop van de afschuifweerstand afhankelijk van de zuigingsgraad (of watergehalte) weergeeft (°)              |
| $(u_a - u_w)$             | = de zuiging in de grond (kPa) = negatieve poriënwaterspanning                                                                     |

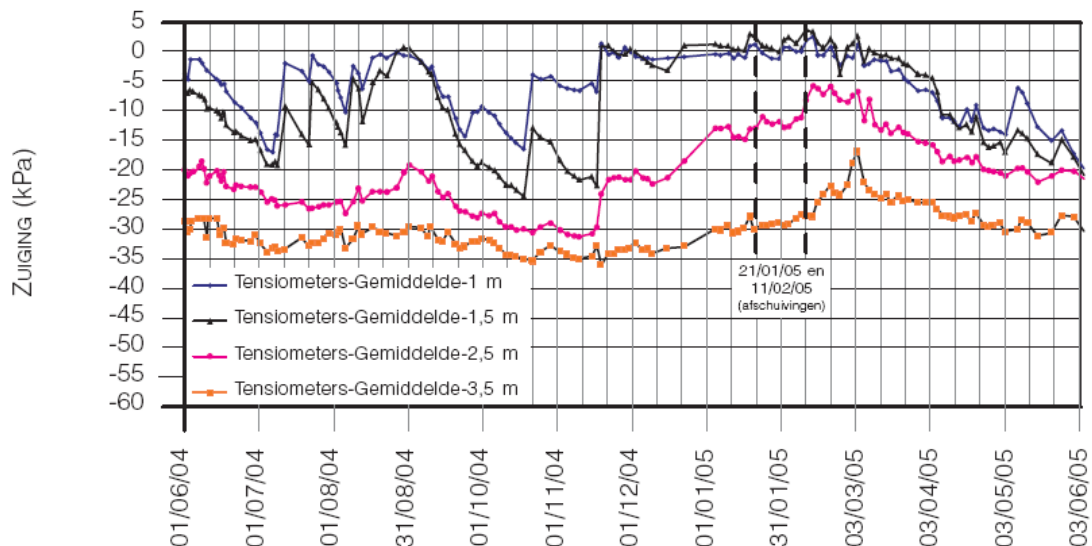
#### b) Studie van de leemgrond te Limette

Op een testsite te Limette werden er ter plaatse rechtstreekse metingen van de zuiging verricht. Aan de hand van deze metingen werden statistieken opgesteld voor het zuigingsniveau per maand (periode van 3 jaar) en per diepte.

Als alternatief voor de meting van de zuiging kan men ook metingen van het watergehalte uitvoeren. Het verband tussen het watergehalte en de zuiging kan afgeleid worden uit de waterretentiekromme van de grond. Deze methode wordt afgeraden omdat de resultaten sterk afhankelijk zijn van de correcte bepaling van de retentiekromme (= een tamelijk onzekere/erg variabele parameter).

#### c) Experimentele toepassing te Limette

Te Limette werd er een experimentele bouwput uitgegraven in gedeeltelijk verzadigde leemgrond. Vooraf werden er boringen en sonderingen uitgevoerd, evenals proeven ter bepaling van de zuiging in de grond. Hiermee werden over de periode één jaar de maximale en minimale waarde van de zuiging in de grond bepaald, afhankelijk van het seizoen, de diepte en de weersomstandigheden.



**Figuur 10: Meting van de zuiging  
(gemiddelde van de meetpunten rondom de experimentele bouwput)**

De bouwput werd dan zodanig gedimensioneerd dat de stabiliteit enkel gerechtvaardigd was wanneer de verhoging van de schuifweerstand, verbonden aan de zuiging in de droge periode in rekening werd gebracht.

A. VÓÓR DE AFSCHUIVING (5 juli 2004)



B. NA DE INSTORTING (16 februari 2005)



**Figuur 11: Experimentele bouwput Limette**

Zoals verwacht ontstonden de eerste afschuivingen van de bouwput op het ogenblik dat de kleinste zuiging in de grond gemeten werd (jan – feb 2005). De lage zuigingswaarde in de bodem in januari-februari 2005, in combinatie met zware regenval in die periode, hebben geleid tot de afschuiving. De afschuivingen zijn slechts oppervlakkig (dikte 75 cm) en traden zeer plots op.

De resultaten van het experiment blijken representatief te zijn voor een bouwput uitgevoerd in leemgrond.

Erosie, het tweede effect van de regen, heeft geen invloed op de stabiliteit van de verticale wanden. Om de impact van erosie te onderzoeken wordt de put dieper uitgegraven en van een lichte helling voorzien.

d) Middelen om de zuiging in de grond te behouden

De progressieve aantasting (door werking van water, uitdroging of vorst) van het oppervlak van een talud kan leiden tot het onverwacht afschuiven ervan.

De wand die het meest blootstond aan de regen werd beschermd d.m.v. afdekking met een waterdichte kunststoffolie. De andere wand bleef onbeschermd. De gemiddelde zuigingsgraad werd opgemeten en vergeleken voor beide wanden.

*Afb. 23 Plaatsing van de kunststoffolie (juni 2005).*



**Figuur 12: Afbeelding 23 uit [2]**

Besloten wordt dat de kunststoffolie de erosie aan de wanden beperkt, de progressieve beschadiging door bevochtigings-drogingscycli vermindert en eveneens het risico op waterinfiltratie na zware regenval inperkt.

### 2.2.3 Besluit artikel

Het onderzoek van de experimentele bouwput te Limette heeft de belangrijkste invloed van de zuiging en van de regenval op de stabiliteit van bouwputten aangetoond.

Het WTCB gaat hulpmiddelen (databank waterretentiekrommen, promotie van meetsystemen voor zuiging, opstellen van een databank met typische zuigingsniveaus...) ontwikkelen om de invloed van de zuiging mee te nemen in de berekening van de stabiliteit van taluds.

### 2.3 "Predicting the stand-up time of temporary London Clay slopes at terminal 5, Heathrow Airport" [3]

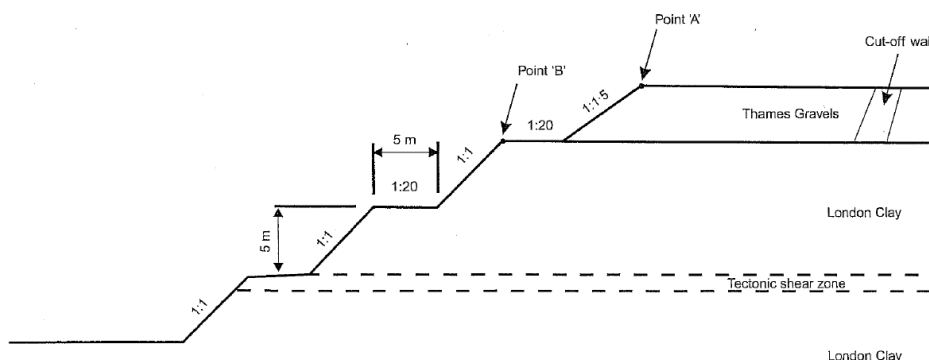
*De Londen-klei is op vlak van grondkaraktersitatieen vergelijkbaar met de Ieperse klei.*

Het artikel beschrijft de resultaten van een analyse van tijdelijke taluds in de London-klei via de eindigde elementenmethode. Het doel van deze analyse was het evalueren van de termijn waarin de beschouwde taluds het begaven en het identificeren van de betrokken faalmechanismes. Er werd ook rekening gehouden met de mogelijke aanwezigheid van een oud glijvlak. De analyse werd gebruikt om te bepalen hoe lang een tijdelijk talud mag openliggen tot wederaanvulling en hoe deze taluds zouden moeten worden opgevolgd (controle).

De meerderheid van de grondwerken voor de bouw van de nieuwe terminal 5 (T5) van de Londense luchthaven Heathrow werd uitgevoerd in open bouwputten in de Londen-klei. De hellingen moesten zo steil mogelijk zijn, om zo het grondverzet te beperken, en moesten minstens 6 maanden stabiel blijven.

Het is vrij moeilijk om de stabiliteit van taluds in de Londen-klei te begroten omdat de Londen-klei, een stijve overgeconsolideerde plastische klei, bros is en geneigd naar progressieve afschuiving.

De analyses via de eindige elementenmethode werden uitgevoerd op een "standaard" doorsnede, bestaande uit taluds van 5 m hoog onder 1:1 met tussenbanketten van 5 m, cfr. onderstaande figuur.



**Figuur 13: Gebruikt profiel [3]– Cut-off wall = bentoniet**

Table 1. Material properties assumed in the analyses

| Property                                          | Terrace Gravels                   | London Clay                          | Tectonic shear                      |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Bulk unit weight, $\gamma$ : kN/m <sup>3</sup>    | 20                                | 20                                   | 20                                  |
| Peak strength                                     | $c'_p = 0$ , $\phi'_p = 35^\circ$ | $c'_p = 8$ kPa, $\phi'_p = 25^\circ$ | —                                   |
| Residual strength                                 | —                                 | $c'_r = 2$ kPa, $\phi'_r = 13^\circ$ | $c'_r = 0$ , $\phi'_r = 13.5^\circ$ |
| Plastic strain at peak, $\epsilon_{pp}^p$ : %     | —                                 | 2                                    | —                                   |
| Plastic strain at residual, $\epsilon_{Dr}^p$ : % | —                                 | 15                                   | —                                   |
| Young's modulus, $E$ : MPa                        | 20                                | *                                    | *                                   |
| Poisson's ratio, $\nu$                            | 0.2                               | *                                    | *                                   |
| Angle of dilation, $\psi$                         | 17.5°                             | 0                                    | 0                                   |
| Coefficient of permeability, $k$                  | —                                 | See Figs 4(a) and 4(b)               | As for London Clay                  |
| Coefficient of earth pressure at rest, $K_0$      | 0.5                               | See Fig. 3                           | 1.67                                |

\*Small-strain stiffness parameters used; see Table 2.

<sup>†</sup>Not to violate the yield criterion.

**Figuur 14: Gebruikte grondkarakteristieken (aannames)**

Aan de hand van verschillende berekeningen in een eindig-elementen-programma werd de invloed van volgende factoren of parameters op de globale stabiliteit van de taluds onderzocht:

- Aanwezigheid een tektonisch glijvlak
- Omvang van de uitgraving (breedte & diepte)
- Initiële  $K_0$ -waarde (neutrale gronddrukcoëfficiënt)
- Poriënwaterspanningen op het scheidingsvlak grind – klei

Ook werd de invloed van volgende factoren of parameters op de lokale stabiliteit van de taluds onderzocht:

- De initiële doorlatendheid ( $k$  – waarde) van de London Clay
- De manier waarop de doorlatendheid  $k$  verandert wanneer de klei zwelt
- De randvoorwaarden i.v.m. de in rekening gebrachte poriënwaterspanningen aan het oppervlak
- De geometrie van het talud

Belangrijkste conclusies van het artikel:

- De berekeningen toonden aan dat de beschouwde situaties stabiel waren op korte termijn (onmiddellijk na uitgraving).
- Het kritische glijvlak lag minder diep als er een tektonisch glijvlak aanwezig was en wanneer het initiële korrelspanningen werden gereduceerd.
- Het toepassen van een uniform talud (talud zonder tussenbanketten) verhoogt de kans op het ontwikkelen van een diep glijvlak en is dus onveiliger.
- Wanneer een poriënwaterspanning van 25 kPa werd toegepast zouden er in de eerste 6 maanden na uitgraving geen diepe glijvlakken te verwachten zijn. Ondiepe glijvlakken komen wel voor, door waterinfiltratie of erosie.

De resultaten van de uitgevoerde berekeningen leidden tot installatie van inclinometers in de taluds op de werf, ten einde eventuele bewegingen in de taluds tijdens uitgraving op te kunnen meten. Ook werd de poriënwaterspanning opgemeten om na te gaan of de aanname van 25 kPa gegrond was.

## **2.4 "Cohesion of unsaturated residual soils as a function of volumetric water content" [4]**

"Cohesie van onverzadigde residuele gronden als functie van het volumetrisch watergehalte"

In dit artikel wordt de cohesie-coëfficiënt uit de formule van de schuifweerstand voorspeld aan de hand van een empirische vergelijking, met de cohesie-coëfficiënt als exponentiële functie van het volumetrische watergehalte.

Door verzadiging van de grond kan de cohesie van die grond afnemen. Deze afname kan een afschuiving tot gevolg hebben.

Om de schuifsterkte van een onverzadigde grond te voorspellen bestaan er verschillende methodes (Bishop, Fredlund). Vele onderzoekers hebben al een methode voorgesteld om de onverzadigde schuifsterkte te kunnen inschatten. Alle methodes die voorhanden zijn gebruiken een functie van matrixzuiging of negatieve poriënwaterspanning. Algemeen bestaat er geen betrouwbare waarde voor de matrixzuiging.

In dit artikel wordt een empirische formule afgeleid om de onverzadigde (gedraineerde) schuifsterkte te voorspellen als functie van het volumetrisch watergehalte. De meting van het volumetrisch watergehalte is veel eenvoudiger dan de meting van de matrixzuiging. De empirische vergelijking wordt bekomen via meervoudige lineaire regressie-analyses, toegepast op de resultaten van directe schuifproeven. Deze proeven werden uitgevoerd op ongeroerde residuele grondmonsters met variërend watergehalte.

De grondmonsters zijn genomen in de natuurlijke taluds op Mt. Kanozan, Boso schiereiland, centraal Japan. De grond bestaat uit weinig geconsolideerde, slappe zandsteen en siltsteen. Het landschap vertoont ook tekenen van verschillende afschuivingen ontstaan door hevige regenval in het verleden (1989). Er werden 28 monsters genomen uit de zandsteen en 24 monsters uit de siltsteen. De fysische eigenschappen van de grond in situ zijn gegeven in

.

De grondmonsters ondergingen een directe schuifproef, geconsolideerd en gedraineerd, met constante afschuifsnelheid van 1 mm / min uitgevoerd bij 4 normaalspanningen van 10, 20, 30 en 40 kPa.

**Tabel 6: Fysische eigenschappen van de grond**

**Table 1** Physical properties of the soils

|           | Sampling depth (cm) | Grain-size distribution (%) |      |      | Specific gravity (-) | Dry unit weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Porosity (%)          |
|-----------|---------------------|-----------------------------|------|------|----------------------|--------------------------------------|-----------------------|
|           |                     | Clay                        | Silt | Sand |                      |                                      |                       |
|           |                     |                             |      |      |                      | Av. ± SD <sup>a</sup>                | Av. ± SD <sup>a</sup> |
| Sand-soil | 70-85               | 8.4                         | 7.9  | 83.6 | 2.69                 | 12.8 ± 0.4                           | 51.6 ± 1.4            |
| Silt-soil | 35-40               | 19.4                        | 46.0 | 34.6 | 2.68                 | 11.0 ± 0.6                           | 58.3 ± 2.3            |

<sup>a</sup> ± 1σ (n = 28 for the sand-soil, n = 24 for the silt-soil)

#### Resultaten van de proeven:

- De schuifsterkte van de gronden neemt duidelijk af bij een toename van het watergehalte van de grond.
- De wrijvingshoek  $\phi$  van de vochtige gronden lijkt constant te blijven, onafhankelijk van het volumetrisch watergehalte, behalve in het droogste geval.
- De cohesie van de gronden neemt exponentieel af bij een toename van het volumetrisch watergehalte.

De volgende aannames worden gedaan:

- De wrijvingshoek  $\phi$  is constant
- Er geldt een exponentiële functie als relatie tussen schijnbare cohesie en volumetrisch watergehalte

Volgende functie wordt bekomen:

$$\tau = \sigma' \cdot \tan \phi' + C \cdot e^{-\mu \theta}$$

Met:

$\tau$  = schuifsterkte

$\sigma'$  = effectieve normaalspanning

C = hypothetische maximale waarde voor de cohesie

$\mu$  = coëfficiënt gerelateerd aan de gevoeligheid van de sterkte-afname ( $\mu > 0$ )

$\theta$  = volumetrisch watergehalte

Om de waarde van de onbekendes ( $f'$ ,  $C$  en  $m$ ) moet volgende formule opgelost worden:

$$\ln(\tau - \sigma' \cdot \tan \varphi') = \ln(C) - \mu \vartheta$$

Deze formule laat een meervoudige lineaire regressie analyse toe:  
(stappen ?)

#### Regressie-analyse

In een buitengewone droge situatie leiden een vastere pakking van de fijne korrels en/of de krimp van de grondmassa tot een grotere schuifsterkte van de grond.

#### Nauwkeurigheid van de voorspelling

De standaard fout op de cohesie bedraagt enkele kPa voor beide grondsoorten. De empirische relatie kan gebruikt worden om een inschatting van de schuifsterkte van gedraineerde residuele gronden te maken.

## **2.5 "Finite element verification of an enhanced limit equilibrium method for slope analysis" [5]**

Met behulp van een eindige-elementen-programma wordt een nieuwe methode (enhanced limit equilibrium method) voor het bepalen van het kritische glijvlak van een talud geëvalueerd voor zowel homogeen als heterogeen samengestelde taluds. Het artikel beschouwd zowel de overeenkomsten als de verschillen tussen de eindige-elementen-methode en de "enhanced limit equilibrium method"

Een voorbeeld van een 'Limit Equilibrium Method' is de methode volgens Bishop voor het bepalen van het kritische glijvlak van een talud. Deze methode deelt het talud op in verschillende kleine lamellen, waarvan het krachterevenwicht wordt bepaald, en gaat uit van een cirkelvormig glijvlak. De methode van Bishop rekent het globale rotatie-evenwicht uit langsheen het cirkelvormige glijvlak. De rotatie wordt veroorzaakt door het gewicht van de lamellen maar wordt tegengewerkt door de schuifweerstand. Op een iteratieve manier kan dan de heersende veiligheidsfactor van het beschouwde talud worden bepaald.

De 'enhanced limit equilibrium method' behandeld in dit artikel gaat verder dan de methode van Bishop. Het kritische glijvlak van een talud of helling is het oppervlak dat de kleinste veiligheidsfactor geeft in een statische analyse of een minimale kritische versnelling in een pseudo-statische analyse. De "enhanced limit equilibrium method" gebruikt de compatibiliteit van de spanningen als eerste vereiste om een stelsel van niet-lineaire vergelijkingen af te leiden. Met behulp van dit stelsel kan dan het kritische glijvlak worden bepaald.

Het artikel beschouwt 3 voorbeelden om de verschillen tussen de 'enhanced limit equilibrium method' en de eindige-elementen-methode, zowel in homogene als heterogene grond.

Met behulp van een eindige-elementen-model en aan de hand van 3 voorbeelden worden enkel de overeenkomsten en verschillen met de 'enhanced limit equilibrium method' aangetoond. De doorgevoerde verbeteringen aan het rekenmodel ten opzicht van het doorgaans gebruikte 'Limit Equilibrium Method' worden evenwel niet toegelicht in dit artikel.

De belangrijkste conclusies van het artikel zijn:

- Wanneer de dilatatiehoek  $\psi$  gelijk is aan de wrijvingshoek  $\phi$  (geassocieerde regel), dan zijn de kritische versnellingen verkregen via de nieuwe methode gelijk aan de kritische versnellingen verkregen via de eindige-elementen-methode.
- Wanneer de niet-geassocieerde regel wordt gebruikt ( $\psi \neq \phi$ ), dan zijn de kritische versnellingen verkregen via de eindige-elementen-methode kleiner dan die verkregen met de nieuwe methode.
- Als de geassocieerde regel wordt toegepast in de eindige-elementen-methode wordt een goede overeenkomst bekomen tussen de eindige-elementen-methode en de 'enhanced limit equilibrium method' betreffende de vorm en positie van het kritische glijvlak.
- De dilatatiehoek  $\psi$  beïnvloedt de richting van de toenemende verplaatsingen (incremental displacements).

Het artikel toont aan dat, gebaseerd op de vergelijking met het eindige-elementen-model, het traditionele 'Limit Equilibrium Method' (bv. Bishop) kan worden verbeterd om tot een nauwkeurigere bepaling van het kritische glijvlak, de kritische versnelling en spanningsverdeling te komen.

## **2.6 "Oeverstabiliteit in zandwinputten DC 04 43 11 – rekenmodel HMBreach" [6]**

Dit artikel vormt een soort aanvulling op de CUR-Aanbeveling 113 'Oeverstabiliteit bij zandwinputten'. Het artikel geeft een overzicht van de verschillende bevindingen en rapporten over het bresverschijnsel, gepubliceerd in de afgelopen jaren. Op basis van deze publicaties werd er een rekenmodel ('HMBreach') betreffende het onderzochte bresprofiel opgesteld, met de bedoeling dit te kunnen integreren in het reeds bestaande softwarepakket van Delft Cluster (nu GeoDelft, programma's zoals MSLIQ, MSTAB...).

Het eerste deel van het artikel geeft een toelichting over de totstandkoming van het rekenmodel en de eventuele inhoudelijke en esthetische aanpassingen aan het programma.

Het tweede deel handelt over het bresverschijnsel en geeft de theoretische achtergrond mee, overgenomen uit de CUR - Aanbeveling 113 'Oeverstabiliteit bij zandwinputten'.

Het derde deel geeft meer uitleg over het rekenmodel HMBreach: met het rekenmodel HMBreach kan de taludontwikkeling berekend worden die bij winzuigen, gegeven de bodemopbouw, zal ontstaan mits de verhaalsnelheid en daarmee de zuigcapaciteit wordt aangepast aan de putproductie. Het model werkt 1-dimensionaal (per eenheid van breedte), beschrijft enkel het bresproces en houdt geen rekening met afschuivingen of verweking. Het programma gaat ook steeds uit van voldoende vastgepakt zand.

Verder wordt de wiskundige beschrijving van het rekenmodel kort toegelicht en is er een gebruikershandleiding in het artikel mee opgenomen.

Commentaar:

Om het beschreven rekenmodel te kunnen toepassen moeten voor een groot aantal parameters van de grond waarden worden ingegeven. Aangezien de meeste van deze parameters slechts benaderend gekend zijn, hebben de resultaten van de uitgevoerde berekeningen ook maar een beperkte betrouwbaarheid. Het is weinig waarschijnlijk dat er met dergelijk rekenmodel ooit resultaten zullen verkregen worden die zonder meer voor het vastleggen van de aan te houden veiligheidsafstanden kunnen gebruikt worden.

## 2.7 Historiek van het kanaal Leie-Ieper – Eigenschappen en gedragingen van de Ieperiaanse klei [7]

In dit artikel worden de vele pogingen beschreven welke van 1867 werden ondernomen om een kanaal te graven van Ieper naar de Leie. Nabij de scheidingskam tussen de waterbekkens van de Leie en de IJzer diende daarvoor een uitgraving met een hoogte van 26 m te worden gerealiseerd, vooral in de Ieperiaanse klei.

Aanvankelijk werd een talud gerealiseerd met een helling van 1/1 en tussenbermen van 1,50 m breed op hoogteafstanden van 4,0 m. Dit talud werd afgezwakt tot gemiddeld 1/1,5 (6/4) nadat er zich circa 1 jaar na de aanvang van de werken enkele afschuivingen hadden voorgedaan. Enige tijd daarna hebben er zich een groot aantal afschuivingen voorgedaan en als gevolg daarvan werden de werken stilgelegd.

Daarna werden nog heel wat pogingen ondernomen waarbij o.a. op het diepste punt een tunnel werd aangelegd. Al deze pogingen zijn mislukt omdat er zich alsmaar nieuwe afschuivingen van de taluds hebben voorgedaan en de tunnels na een min of meer lange periode bezweken zijn. Door de aldus ontstane afschuivingen zijn plaatselijk zeer flauwe taluds ontstaan (helling circa 10°) welke momenteel nog zichtbaar zijn in het Provinciaal domein de Palingbeek.

De vele problemen welke zich hebben voorgedaan worden door De Beer in detail beschreven. Daarbij wordt zeer veel aandacht besteed aan het fenomeen tijd omdat dit de overgang van de niet-gedraineerde naar de gedraineerde toestand weergeeft. Het artikel wordt afgesloten met een uitgebreide bespreking van de eigenschappen en gedragingen van de Ieperse klei, op basis van de resultaten van sonderingen uitgevoerd langsheen het tracé en laboratoriumproeven op monsters van de Ieperse klei welke op een andere plaats ontnomen werden. De schuifweerstandskarakteristieken van de Ieperse klei werden daarbij bepaald door het uitvoeren van celproeven en bedroegen gemiddeld:

$$\begin{aligned}\varphi' &= 18,30^\circ \\ c' &= 0,084 \text{ kg/cm}^2 = 8,4 \text{ kPa}\end{aligned}$$

De waarde van de residuele schuifweerstand bedroeg:

$$\begin{aligned}\varphi'_{\text{res}} &= 10^\circ \\ c'_{\text{res}} &= 0\end{aligned}$$

De niet-gedraineerde schuifweerstand werd afgeleid uit de conusweerstand, namelijk:

$$c_u = q_c / 9$$

en daarbij werd verkregen:

$$c_u = 6,4 + 1,65.z \text{ ( in ton/m}^2\text{)}$$

met  $z$  = diepte onder het grondoppervlak

of  $c_u = 64 + 16,5.z \text{ ( in kPa)}$

Op basis van de aldus vastgestelde eigenschappen wordt nagegaan hoe de vastgestelde afschuivingen kunnen verklaard worden en welke maatregelen er moeten voorzien worden indien het kanaal toch nog zou aangelegd worden.

### **3 Globale beoordeling van de bestudeerde groeves**

#### **3.1 Droge ontginningen**

##### **3.1.1 OVL001 – Oudenaarde – Eine – Vandemoortel**

In de groeve zijn er geen stabiliteitsproblemen. In de periode tussen opeenvolgende ontginningen is er wel afkalving van de verticale taluds.

De grondwaterverlaging die wordt doorgevoerd tijdens de ontginning kan geen aanleiding geven tot schade aan de omliggende gebouwen en de spoorlijn. De berekende maaiveldzakking bedraagt max. 11,0 mm.

Bij een ontginning van het onder de klei gelegen zand kunnen de in VLAREM opgenomen veiligheidsafstanden worden toegepast voor ontginningen tot ca. 20,0 m. Voor diepere ontginningen dienen veiligheidsafstanden te worden vastgelegd op basis van de bresprofielen opgenomen in de Nederlandse aanbevelingen.

##### **3.1.2 OVL003 – Oudenaarde – Volkegem – Demets**

In de groeve zijn er geen stabiliteitsproblemen. Doordat het hemelwater niet op een gecontroleerde wijze wordt afgevoerd vindt er langs alle kanten erosie plaats. Daardoor kunnen grote hoeveelheden leem onbruikbaar worden.

Stabiliteits-technisch gezien zijn er geen redenen om de dijk tussen de huidige groeve en de naastgelegen groeve te behouden.

### 3.1.3 OVL069 – Temse – Bolderik – Swenden/Wienerberger

In de groeve zijn er geen stabiliteitsproblemen.

Ook bij de ontginning langsheen een pyloon zijn er geen problemen te verwachten wanneer binnen de vooropgestelde periode terug wordt aangevuld.

Van de resultaten van de in 2009 uitgevoerde sondering S2 kan worden afgeleid dat de grond die werd aangevuld ter hoogte van een pyloon helemaal niet verdicht werd over de bovenste 10,0 m. De gerealiseerde aanvulling zorgt er wel voor dat de stabiliteit van het talud ter hoogte van de pyloon met de normaal vereiste veiligheid verzekerd is.

Op basis van het waterpeil dat werd opgemeten in de onder de kleilaag aangebrachte peilfilter kan worden gesteld dat er geen gevaar is dat de bodem van de groeve wordt opgelicht door de aanwezigheid van spanningswater in de dieper gelegen lagen.

### 3.1.4 VLB026 – Lubbeek – Aardebrug – Roelants

#### a) Erosie

Tijdens het plaatsbezoek op 28-11-2008 konden zeer belangrijke uitspoelingen worden vastgesteld. Deze uitspoelingen doen zich voor op meerdere plaatsen nl.:

- Aan de bovenkant van het talud

Al het water van de bovengelegen terreinen wordt verzameld op één punt en wordt daar blijkbaar niet op een veilige manier afgevoerd.

- Op de tussenbermen

Op de tussenbermen vindt blijkbaar regelmatig stagnatie van oppervlaktewater plaats. Wanneer het stagnerend water kan doorbreken naar de taluds ontstaat er erosie in het talud. Op sommige plaatsen geeft dat aanleiding tot belangrijke uitspoelingen.

#### b) Aan te houden taludhellingen tegenaan de weg

Voorgesteld wordt om voor het tegenaan de weg gelegen talud een taludhelling aan te houden zoals voorgesteld in de nota dd. 20-04-2002, d.w.z. taludhellingen van 4/4 en met een banket van min. 7,5 m breed op peil +72.

Aangezien er mag worden aangenomen dat het talud tegenaan de weg gedurende een vrij lange periode zal moeten worden in stand gehouden wordt voorgesteld om duidelijke eisen te stellen i.v.m. de afvoer van het oppervlaktewater, dit om te voorkomen dat er zich belangrijke uitspoelingen kunnen voordoen. Daarbij moet er zowel gezorgd worden voor een goede afvoer van het oppervlaktewater afkomstig van de opwaarts van het talud gelegen gronden als van het water op de tussenberm op +72.

### 3.1.5 WVL012 – Egem – Ampe/Wienerberger

In de groeve zijn er geen stabiliteitsproblemen, behalve enkele lokale uitspoelingen.

De uitgevoerde stabiliteitsberekeningen hebben aangegeven in welke mate de globale veiligheidscoëfficiënt toeneemt in functie van de taludhelling die bij een eventuele verdieping wordt aangehouden en de breedte van de berm op +15,0 mTAW.

Gezien de onzekerheid die bestaat i.v.m. de voor de klei in rekening gebrachte grondkarakteristieken is het absoluut noodzakelijk om bij een verdieping van de groeve inclinometerbuizen aan te brengen voor het opmeten van de horizontale verplaatsingen. Op deze wijze kan dan worden gecontroleerd dat in de klei geen glijvlak gevormd wordt

### 3.1.6 WVL014 – Roeselare – Rumbeke – De Hukker – Depovan

In de groeve hebben er zich reeds meerdere afschuivingen voorgedaan. Deze werden allemaal veroorzaakt door een naar het talud toe gerichte grondwaterstroming. Zeker in de zones waar de achter het talud gelegen gronden een naar het talud gerichte helling vertonen, kunnen de naar het talud gerichte grondwaterstromingen aanleiding geven tot instabiliteiten.

Bij het aanleggen van taluds en het uitvoeren van herstellingen is het van het allergrootste belang dat de naar het talud toe gerichte grondwaterstroming beperkt wordt, bv. door het aanbrengen van horizontale drains.

De aanleg van de taluds lang de Dadizeleleestraat zal normaal gezien geen problemen opleveren zover er wordt gezorgd voor een afdoende ontwatering van de boven de klei gelegen lagen. Gezien de reeds ondervonden problemen is het in ieder geval aangewezen om het grondwaterpeil / stijghoogte in de klei op te meten en om bijkomende horizontale drains aan te brengen wanneer een waterpeil/stijghoogte wordt opgemeten op minder dan 2,0 m onder het grondoppervlak.

### 3.1.7 WVL065 – Zwevegem – Moen – IMOG

In de groeve zijn er geen stabiliteitsproblemen. Doordat de ontginning wordt uitgevoerd binnen een cement-bentonietwand zijn er geen naar het talud gerichte grondwaterstromingen die de stabiliteit van de taluds in gevaar brengen.

Ondanks het feit dat de ontginning wordt uitgevoerd binnen een cement-bentonietwand moeten er systematisch horizontale drains worden aangebracht om de berijdbaarheid te verzekeren en het watergehalte van de te ontginnen gronden te verlagen.

## 3.2 Natte ontginningen

### 3.2.1 ANT001 Hens – Brasschaatse Heide - Brasschaat

Op basis van het uitgevoerde onderzoek kan worden gesteld dat:

- De in de groeve opgemeten profielen vrij goed samenvallen met de in Nederland gehanteerde bresprofielen. Bij het verder verdiepen van de groeve kunnen de te hanteren veiligheidsafstanden best op basis van de in Nederland gehanteerde bresprofielen worden vastgelegd.
- In de wederaangevulde gronden werden geringe tot zeer geringe conusweerstand opgemeten. Er mag dus worden van uitgegaan dat deze gronden nog belangrijke zettingen zullen ondergaan, mogelijks van meerdere tientallen centimeters wanneer een extra belasting wordt aangebracht.

### 3.2.2 ANT044 SCR-Sibelco – Witte Nete – Dessel

De in de groeve opgemeten taludhellingen stemmen goed overeen met de bresprofielen die zijn opgenomen in de Nederlandse aanbevelingen, met de opmerking dat de opgemeten profielen eerder iets vlakker dan steiler zijn.

Indien de ontginning met een profielzuiger wordt uitgevoerd tot de voorziene diepte van 20,0 m zijn geen stabiliteitsproblemen te verwachten.

Indien er toch zou worden overwogen om de groeve verder uit te diepen zullen de te hanteren veiligheidsafstanden moeten vastgelegd worden op basis van de bresprofielen die zijn opgenomen in de Nederlandse aanbevelingen.

### 3.2.3 ANT045 SCR-Sibelco – Pinken – Dessel

De in de groeve opgemeten taludhellingen stemmen goed overeen met de bresprofielen die zijn opgenomen in de Nederlandse aanbevelingen, met de opmerking dat de opgemeten profielen eerder iets vlakker dan steiler zijn.

Indien de ontginning met een profielzuiger wordt uitgevoerd tot de voorziene diepte van 23,5 m zijn geen stabiliteitsproblemen te verwachten.

Indien er toch zou worden overwogen om de groeve verder uit te diepen zullen de te hanteren veiligheidsafstanden moeten vastgelegd worden op basis van de bresprofielen die zijn opgenomen in de Nederlandse aanbevelingen.

Stabiliteitsberekeningen hebben aangetoond dat de naast de ontginning aangebrachte grondstock geen nadelige invloed heeft op de stabiliteit van de taluds in de ontginning.

Stabiliteitsberekeningen hebben aangetoond dat de grondstockage die op de wederaanvulling werd aangebracht een nadelige invloed heeft op de stabiliteit van de taluds. Op basis van de resultaten van de uitgevoerde stabiliteitsberekeningen werd voorgesteld om de hoogte van de grondstockage wat te verminderen en om de helling van het bovenste gedeelte wat af te vlakken.

### 3.2.4 LIM001 SCR-Sibelco – Blauwe Kei – Lommel

In de groeve zelf zijn er geen stabiliteitsproblemen. Er zijn ook geen problemen te verwachten wanneer de ontginningsdiepte beperkt blijft.

Voorgesteld wordt bij een ontginning tot meer dan 23,0 m onder de waterlijn de te hanteren veiligheidsafstanden vast te leggen op basis van de bresprofielen opgenomen in de Nederlandse aanbevelingen.

Specifieke maatregelen zijn nodig bij een verdere ontginning in de zone van de doorgang van de zuiger doorheen de dijk. Voorgesteld wordt om op het huidige ontginningspeil een berm met voldoende breedte in stand te houden. De breedte van de berm moet zodanig worden vastgelegd dat er in geen geval een bres kan ontstaan welke reikt tot voorbij de dijk tussen de plas Rauw en de plas Blauwe Kei. Wegens het verschil in waterpeil tussen de beide plassen zou het ontstaan van een dergelijke bres catastrofale gevolgen hebben.

Verder zijn ook nog speciale maatregelen nodig ter hoogte van het spoelgat in de dijk tussen de vijvers Blauwe Kei en Stevensvennen. Voorgesteld wordt om ter hoogte van het spoelgat draineringen aan te brengen. Omdat er met het aanbrengen van draineringen in dergelijke situaties maar weinig ervaring beschikbaar is, zal de uitvoering ervan in ieder geval goed moeten worden opgevolgd.

### 3.2.5 LIM003 SCR-Sibelco – Hoge Maatheide Links – Lommel

In de groeve Maatheide Links hebben zich in 2003 en 2004 belangrijke instabiliteiten voorgedaan. Ook bij de wederaanvulling in de zuidoostelijke hoek van de groeve is een belangrijke instabiliteit ontstaan.

Door een gedetailleerde analyse van deze instabiliteiten is duidelijk gebleken dat voor diepe ontginningen de veiligheidsafstanden niet mogen vastgelegd worden op basis van de in VLAREM opgenomen criteria of van de in de uitbatingsvergunning opgenomen taludhellingen, maar dat de veiligheidsafstanden moeten worden vastgelegd op basis van de bresprofielen die zijn opgenomen in de Nederlandse aanbevelingen.

Bij de wederaanvullingen is gebleken dat daar eveneens taludhellingen ontstaan die goed vergelijkbaar zijn met deze die zijn opgenomen in de Nederlandse aanbevelingen.

### 3.2.6 LIM003 SCR-Sibelco – Hoge Maatheide Rechts – Lommel

De in de groeve opgemeten taludhellingen en de bij de bresproef verkregen taludhellingen stemmen goed overeen met de bresprofielen die zijn opgenomen in de Nederlandse aanbevelingen.

Verder werd ook vastgesteld dat bresvorming ook kan ontstaan wanneer er met een cutterzuiger wordt ontgonnen. Tijdelijke taluds welke tussen opeenvolgende ontginningsfasen ontstaan kunnen ook aanleiding geven tot bresvorming.

Voor het verdiepen van de groeve zullen nieuwe criteria in verband met de te hanteren veiligheidsafstanden moeten worden vastgelegd. Voorgesteld wordt om zich daarvoor te baseren op de bresprofielen die zijn opgenomen in de Nederlandse aanbevelingen en om de breedte van de te respecteren tussenberm vast te leggen op basis van de resultaten van de bresproef die in deze groeve nog zal worden uitgevoerd tussen 25,0 m en 50,0 m diepte.

### 3.2.7 LIM008 Velbo – Heuvelse Heide – Lommel

De in de groeve opgemeten taludhellingen stemmen goed overeen met de bresprofielen die zijn opgenomen in de Nederlandse aanbevelingen.

Indien de veiligheidsafstanden worden aangehouden zoals aangegeven in VLAREM dan is het niet uitgesloten dat er bij een ontginning tot 30,0 m diepte aanzienlijke bressen zullen ontstaan.

Voorgesteld wordt om de te hanteren veiligheidsafstanden in die zin aan te passen dat ofwel:

- veiligheidsafstanden worden gehanteerd op basis van de bresprofielen die zijn opgenomen in de Nederlandse aanbevelingen wanneer er in één slag ontgonnen wordt.
- een aan te houden bermbreedte wordt vastgelegd wanneer er in twee slagen ontgonnen wordt.

### 3.2.8 LIM010 Velbo – Wateringen – Lommel

#### a) Conclusies bresproef

De bres van 26 juni 2009 (profielen 7 en 8) toont duidelijk aan dat het theoretische bresprofiel, opgesteld op basis van de Nederlandse aanbevelingen, een ondergrens is voor de bresvorming in de groeve.

De bres op 5 mei 2009 en de profielen E, G en F gemeten op 26 juni 2009 geven echter een ander beeld van de bresvorming: het talud stelt zich in onder een flauwere helling dan het theoretische bresprofiel. Een mogelijke oorzaak voor deze flauwere taludhellingen kan liggen aan de manier van ontginnen. Een belangrijke voorwaarde om een bruikbaar bresprofiel te verkrijgen is het vrij wegstromen van zand tijdens het bresproces. Mogelijk was de bodem niet over een voldoende oppervlakte geëgaliseerd, met als gevolg dat het zand niet voldoende vrij kon wegstromen tijdens het vormen van een bres.

Het feit dat er wel degelijk een bres is geweest waarvan de opgemeten taludhellingen goed tot zeer goed overeenkomen met de hellingen van het theoretische bresprofiel, duidt erop dat het theoretische bresprofiel wel degelijk geldt voor bresvorming in het ter plaatse gevonden zand.

## b) Globale beoordeling

De in de groeve opgemeten taludhellingen en de gegevens van de bresproef stemmen goed overeen met de bresprofielen die zijn opgenomen in de Nederlandse aanbevelingen.

Indien de veiligheidsafstanden worden aangehouden zoals aangegeven in VLAREM dan is het niet uitgesloten dat er bij een ontginning tot 40,0 m diepte aanzienlijke bressen zullen ontstaan.

Voorgesteld wordt om de te hanteren veiligheidsafstanden in die zin aan te passen dat ofwel:

- veiligheidsafstanden worden gehanteerd op basis van de bresprofielen die zijn opgenomen in de Nederlandse aanbevelingen wanneer er in één slag ontgonnen wordt.
- een aan te houden bermbreedte wordt vastgelegd wanneer er in twee slagen ontgonnen wordt.

### 3.2.9 LIM011 Winters – Hoeverbergen – Lommel

De in de groeve opgemeten taludhellingen stemmen goed overeen met de bresprofielen die zijn opgenomen in de Nederlandse aanbevelingen.

Aangetoond werd dat aanzienlijke inscharingen en bressen mogelijk zijn wanneer op grote diepte met een profielzuiger wordt ontgonnen en veiligheidsafstanden op basis van de VLAREM – richtlijnen worden aangehouden.

Voorgesteld wordt om voor een ontginning dieper dan 20,0 m veiligheidsafstanden vast te leggen op basis van de bresprofielen die zijn opgenomen in de Nederlandse aanbevelingen.

### 3.2.10 LIM038 Hermaco – Papendaal – Zutendaal

#### a) Stabiliteit

In de ontginningszone zijn er geen stabiliteitsproblemen omdat de diepte van de ontginning vrij beperkt is.

Indien zou worden overwogen om de groeve verder te verdiepen dan zullen er aangepast voorwaarden moeten worden opgelegd i.v.m. de te hanteren veiligheidsafstanden.

In de aanvullingszone zijn er geen stabiliteitsproblemen, behalve dan beperkte nazakkingen in de eerste dagen nadat er is aangevuld.

#### b) Zettingen

De uitgevoerde zettingsmetingen geven aan dat de inklinking van de aangevulde gronden relatief beperkt is. Wanneer er evenwel rekening wordt gehouden met het feit dat deze inklinking normaal gezien nog gedurende meerdere jaren zal doorgaan moet ervan worden uitgegaan dat de inklinking in totaal meerdere centimeters zal bedragen. Schommelingen van het waterpeil kunnen leiden tot een toename van de inklinking.

De uitgevoerde zettingsberekeningen geven duidelijk aan dat er belangrijke zettingen te verwachten zijn wanneer er op het terrein belastingen worden aangebracht. Vooral aanvullingen geven aanleiding tot grote zettingen. De uitgevoerde berekeningen zijn enkel richtinggevend. Ten behoeve van een concreet project moet in ieder geval een gedetailleerde studie met inbegrip van een aanvullend grondonderzoek worden uitgevoerd.

Ten einde de betrouwbaarheid van de uitgevoerde zettingsberekeningen te controleren kan een belastingsproef op grote schaal worden uitgevoerd bv. door het aanbrengen van 2,0 m grond over een oppervlakte van 30,0 m x 30,0 m.

### 3.2.11 LIM043 en LIM 075 TV Rekin (Belmagri/Dragrassa) – Vissenakker/Boterakker – Kinrooi

In de groeves zijn er geen stabiliteitsproblemen, behalve een lokale afschuiving of afkalving langs de Maaskant. Doordat er na de ontginning van de grindlaag relatief steile taluds blijven bestaan, is het niet uitgesloten dat er zich lokaal nog beperkte afkalvingen voordoen. Globale instabiliteiten zijn evenwel niet te verwachten. Ook in de wederaangevulde gronden zijn er lokaal steile taluds. Ook hier kan er evenwel niet worden uitgesloten dat er zich lokaal nog beperkte afkalvingen voordoen. Globale instabiliteiten zijn ook hier niet te verwachten.

Voorgesteld wordt om bij ontginningen dieper dan 20,0 m de te hanteren veiligheidsafstanden vast te leggen op basis van de bresprofielen die zijn opgenomen in de Nederlandse aanbevelingen.

Bij ontginningen in zones waar reeds wederaanvullingen zijn uitgevoerd moeten aangepaste veiligheidsafstanden worden in acht genomen om te voorkomen dat in de zeer losgepakte aangevulde zanden zettingsvloeiingen kunnen ontstaan.

De door Fugro opgestelde beoordeling van de wederaanvullingen roept een aantal vragen op. Voorgesteld wordt dat daaromtrent duidelijkere afspraken gemaakt worden.

### **3.3 Ontginningen van groeves van de rubrieken 18.4 en 18.5**

#### **3.3.1 LIM ... Winterslag – Limcoal**

Er geen stabiliteitsproblemen, behalve enkele lokale uitspoelingen.

De uitgevoerde stabiliteitsberekeningen hebben aangegeven in welke mate de globale veiligheidscoëfficiënt toeneemt in functie van de taludhelling die bij een eventuele verdieping wordt aangehouden en de breedte van de berm op +15,0 mTAW.

Doordat een terril bestaat uit heterogeen materiaal is de samenstelling ervan altijd heterogeen. De benadering van de in dergelijke materialen aangelegde taluds is daarom verschillend van deze welke voor natuurlijke afzettingen wordt toegepast.

De uitgevoerde stabiliteitsberekeningen geven aan dat de stabiliteit van de taluds wellicht niet overal verzekerd is met de normaal vereiste veiligheid. Op het terrein werden evenwel geen aanwijzingen gevonden van overdreven vervormingen, belangrijke wateruittrede...

Er mag dan ook worden aangenomen dat er betreft de globale stabiliteit van de taluds geen problemen te verwachten zijn.

Voorgesteld wordt om gedurende een zekere periode een regelmatige monitoring van de taluds uit te voeren. Deze monitoring moet dan vooral uitsluitend geven i.v.m. mogelijke instabiliteiten t.g.v. wateruittrede uit de taluds.

#### **3.3.2 LIM ... Maasmechelen – Carrières de Retinne**

##### **a) Huidige situatie**

Momenteel wordt er op heel wat plaatsen nagenoeg verticaal ontgraven en dit over aanzienlijke hoogtes (tot ongeveer 8,0 m). Daarbij wordt duidelijk gewerkt op basis van ervaring. Aangezien het ontgraven gebeurt door middel van een hydraulische kraan, levert het graafwerk geen onmiddellijke risico's op voor het betrokken personeel. Verder mag er worden van uitgegaan dat er nooit personeel werkzaam is aan de voet van de het talud. Zodoende is het risico op ongevallen door vallende stenen ook zeer beperkt, en vergelijkbaar met deze welke bestaan bij klassieke ontginningen van grind en steenachtige materialen.

De vlakke gedeeltes van de ontginningszone zijn allemaal aangelegd onder een zekere helling zodat er op het terrein geen stagnerend oppervlaktewater kan voorkomen. Op deze wijze wordt ook voorkomen dat er te veel oppervlaktewater in de grond dringt en dat er aldus in de terril een te hoge waterstand ontstaat.

Op deze wijze wordt ook voorkomen dat er een overdreven wateruittrede uit de taluds van de terril kan plaatsvinden en dat de stabiliteit van de bestaande taluds daardoor nadelig beïnvloed wordt.

#### b) Toekomstige situatie

Het is duidelijk dat de stabiliteit van de verticale taluds welke momenteel bestaan, op lange termijn niet verzekerd is. Er moet immers worden van uitgegaan dat er door verwerking (= invloeden van neerslag en temperatuur) een afkalving van deze verticale taluds zal plaatsvinden en dat als gevolg daarvan vlakke taluds zullen ontstaan.

Ten einde te voorkomen dat er na de stopzetting van de ontginning gevaarlijke situaties kunnen ontstaan is het aangewezen dat er wordt opgelegd dat er bij het stopzetten van de ontginning alle taluds moeten worden afgevlakt tot een helling van maximaal 45°.

Verder is het aangewezen dat er wordt opgelegd dat bij het stopzetten van de ontginning het terrein zodanig moet worden aangelegd dat stagnatie van oppervlaktewater zo veel mogelijk wordt vermeden. Dat kan best door te stellen dat de vlakke gedeeltes onder een helling van minimaal 5° moeten worden aangelegd en op een zodanige wijze dat er nergens tegenhellingen kunnen ontstaan die de natuurlijke afwatering verhinderen. Op deze wijze wordt er dan voor gezorgd dat er in het resterende gedeelte van de terril geen waterophoging kan ontstaan en dat als gevolg daarvan de resterende delen van de buitentaluds nadelig worden beïnvloed.

Doordat er bij de wederaanvulling van niet bruikbaar materiaal geen verdichting wordt toegepast, zijn de aldus gerealiseerde terreinen alleen bruikbaar als natuurgebied. Er moet immers van worden uitgegaan dat de aangevulde gronden tijdens de komende jaren of tientallen jaren een aanzienlijke inklinking zullen ondergaan. Indien toch zou worden overwogen om op deze terreinen wegen, kunstwerken of gebouwen op te richten, zal een gedetailleerd grondonderzoek moeten worden uitgevoerd ten einde vast te leggen welke maatregelen er nodig zijn voor het beperken van de te verwachten zettingen en het verzekeren van de stabiliteit.

### 3.3.3 OVL023 – Vlierzele – ILVA

In de groeve zijn er geen stabiliteitsproblemen. Er wordt gewerkt met een open bemaling en daarbij worden de nodige bermen in stand gehouden om te voorkomen dat er een afkalving van de hogergelegen taluds zou kunnen ontstaan. Wanneer er langsheen de veiligheidszones ontgonnen wordt moeten deze bermen ook in stand gehouden worden.

Het stapelen van grond op de reeds ingerichte stortplaats geeft aanleiding tot aanzienlijke zettingen. Omdat het niet uitgesloten is dat dergelijke zettingen aanleiding kunnen geven tot een beschadiging van de bovenafdichting van de stortplaats is een nazicht daaromtrent zeker aangewezen.

Stabiliteitsberekeningen hebben aangetoond dat de stabiliteit van de taluds ook nog verzekerd is wanneer bovenop het stortmateriaal nog grote hoeveelheden grond gestockeerd worden. Voorgesteld wordt om voor grondstockages van meer dan 3,0 m hoogte een minimale afstand van 10,0 m aan te houden tussen de kruin van het talud en de voet van de stockage.

## **4 Speciale aandachtspunten bij droge ontginningen**

### **4.1 Afvoer van neerslagwater**

Bij een aantal groeves werd vastgesteld dat door oppervlakte erosie aanzienlijke profielwijzigingen zijn opgetreden en grote hoeveelheden grond verplaatst werden.

Oppervlakte-erosie doet zich voor wanneer grote hoeveelheden neerslagwater in één punt verzameld worden en vandaar op een ongecontroleerde manier wegstromen.

De vastgestelde fenomenen kunnen als volgt ingedeeld worden:

- erosie door water afkomstig van bovengelegen terreinen;
- erosie door neerslagwater dat op de taluds en bermen valt;
- erosie door water dat op de bodem van een groeve verzameld wordt.

#### **4.1.1 Erosie door water afkomstig van de bovengelegen terreinen**

Wanneer de achter de kruin van een talud gelegen gronden zich onder een zekere helling bevinden die naar het talud toe gericht is, dan zijn er problemen ingevolge erosie te verwachten. Bij hevige neerslag kunnen er dan immers grote hoeveelheden water naar het talud toestromen.

Wanneer er geen speciale maatregelen getroffen worden zal er zich een oppervlakte-erosie voordoen die min of meer gelijkmatig verdeeld is over de lengte van het talud, wanneer de kruin van het talud min of meer horizontaal is. Wanneer de bovengelegen terreinen een komvorm hebben, is een meer geconcentreerde oppervlakte-erosie te verwachten. Ook landbouwdraains kunnen zorgen voor lokale erosie.

In dergelijke situaties bestaat de aangewezen maatregel erin om achter de kruin van het talud een gracht te voorzien. De doorsnede van de gracht moet voldoende groot zijn om ook bij hevige neerslag het toestromend water te kunnen afvoeren.

De ideale oplossing bestaat erin om de gracht gravitair te laten afwateren naar één of de twee zijkanten van het talud.

Wanneer de bovengelegen terreinen een komvorm hebben is een gravitaire afvoer via de gracht meestal niet mogelijk en dient het water te worden afgevoerd langsheen het talud of door middel van pompen.

- bij afvoer langsheen het talud dienen er op of in het talud buizen of greppels te worden aangebracht om het water op een gecontroleerde manier te laten afstromen;
- bij afvoer door middel van pompen moet een pomp met voldoende capaciteit voorzien worden zodat debieten overeenstemmend met hevige neerslag kunnen verpompt worden. In de meeste gevallen is het dan aangewezen om achter de kruin van het talud een bufferbekken aan te leggen. Om de stroming naar het talud toe zoveel mogelijk te beperken is het nodig om de bodem en de taluds van een dergelijk bufferbekken volledig met een folie te bedekken.

Wanneer landbouwdrains voorkomen in de ondergrond is het altijd nodig om het water dat uit deze drains (permanent of tijdelijk) stroomt op te vangen door middel van een collector of een gracht. Dergelijke gracht moet dan wel voorzien worden van een bodemafdichting (folie of beton) om het ontstaan van lokale erosie en voeding naar het talud toe te voorkomen.

Opmerking:

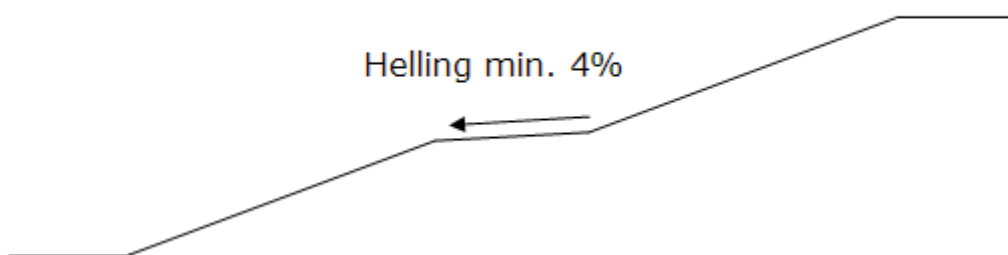
In VLAREM is niet duidelijk aangegeven of een gracht achter de kruin van het talud binnen de veiligheidszone mag worden aangelegd.

#### 4.1.2 Erosie door neerslagwater dat op de taluds en bermen valt

Voor wat betreft het neerslagwater dat op de taluds en de bermen valt, zijn er twee mogelijkheden:

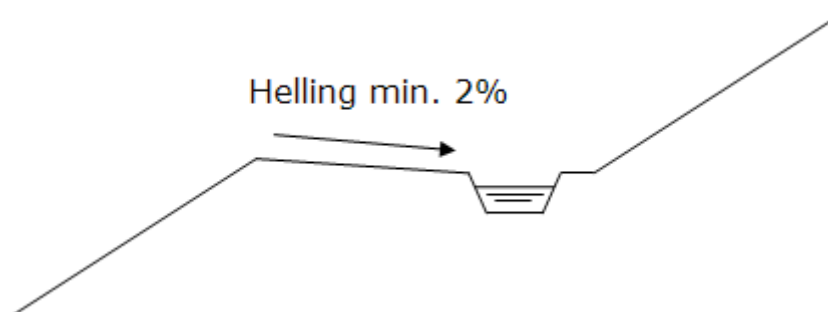
- ofwel zorgt men voor een zo gelijkmatig mogelijke afvoer;
- ofwel wordt het neerslagwater zoveel mogelijk verzameld en op een gecontroleerde wijze afgevoerd.

Wanneer er geopteerd wordt voor een zo gelijkmatig mogelijke afvoer moet ervoor gezorgd worden dat de bermen met een helling naar de kruin van het talud toe worden aangelegd en dat er op bermen geen stagnerend water kan voorkomen.



Stagnerend water (of plassen) geven altijd aanleiding tot lokale erosie en moet dus te allen tijde vermeden worden.

Wanneer er geopteerd wordt voor een gecontroleerde afvoer moet ervoor gezorgd worden dat deze gecontroleerde afvoer te allen tijde verzekerd is, d.w.z. ook bij zeer hevige neerslag. Bij een gecontroleerde afvoer worden de bermen in tegenhelling aangelegd en wordt er tegenaan de voet van het talud een gracht aangebracht.



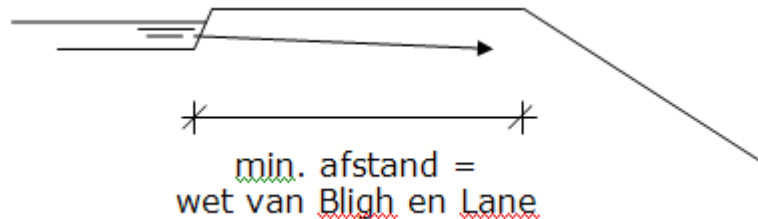
Ook deze gracht moet met een zekere helling worden aangelegd zodat er in de gracht geen of slechts gedurende een korte periode stagnerend water kan voorkomen.

Wanneer bij een gecontroleerde afvoer, de afvoer niet verzekerd is, kan er zich door de tegenhelling veel water op de berm verzamelen. Bij een doorbraak via de kruin van het talud zal er in dergelijke gevallen meestal zeer zware erosie optreden.

In een groeve moet er te allen tijde worden voorkomen dat er grote hoeveelheden water verzameld worden op een peil dat boven het grondwaterpeil gelegen is.

Wanneer dat om één of andere reden toch noodzakelijk is, moet ervoor gezorgd worden dat de plaats waar het water verzameld wordt:

- zich voldoende ver van een talud bevindt



- voorzien wordt van een waterdichte bekleding, zowel op de bodem als op de taluds.

#### 4.1.3 Water op de bodem van een groeve

Water dat zich op de bodem van een groeve bevindt hoeft op zich geen nadelige invloed te hebben. Men dient er wel rekening mee te houden dat het water dat zich op de bodem van een groeve bevindt er kan voor zorgen dat:

- de te ontginnen gronden capillair verzadigd blijven en daardoor een hoger watergehalte behouden;
- er grondwaterstromingen kunnen ontstaan bij ontginningen die begrensd worden door dijken.

In de mate van het mogelijke kan er best voor gezorgd worden dat er zich zo weinig mogelijk stagnerend water bevindt op de bodem van de groeve.

## **4.2 Invloed van waterremmende schermen**

Bij ontginningen die nadien als stortplaats gebruikt worden wordt er soms voor geopteerd om omheen de inginning een waterremmend scherm aan te brengen ten einde de mogelijke verspreiding van verontreinigingen en de stroming van grondwater naar de ontginning toe zoveel mogelijk te beperken.

De bij IMOG in Moen opgedane ervaring heeft duidelijk aangetoond dat de aanwezigheid van een waterremmend scherm ervoor zorgt dat de naar de ontginning toe gerichte grondwaterstromingen beperkt blijven, maar dat de aanwezigheid van een waterremmend scherm nagenoeg geen invloed heeft op de berijdbaarheid en het watergehalte van de te ontginnen gronden.

Ook wanneer omheen de ontginning een waterremmend scherm wordt aangebracht is het dus nodig om maatregelen te treffen ten einde de te ontginnen grond te ontwateren. De aangewezen maatregel daartoe bestaat in het aanbrengen van horizontale drains.

### 4.3 Herstelling van afschuivingen

Bij het uitvoeren van een herstelling moeten er altijd 3 fasen doorlopen worden, namelijk:

- opmeten van de na de afschuiving ontstane toestand;
- vastleggen van het bij de herstelling te realiseren talud;
- uitvoering van de herstelling.

In de meeste gevallen zal het eveneens nodig zijn om tussen fase 1 en 2 of tijdens fase 3 bijkomend grondonderzoek uit te voeren, bvb. plaatsen van peilfilters of uitvoering van sonderingen en/of boringen.

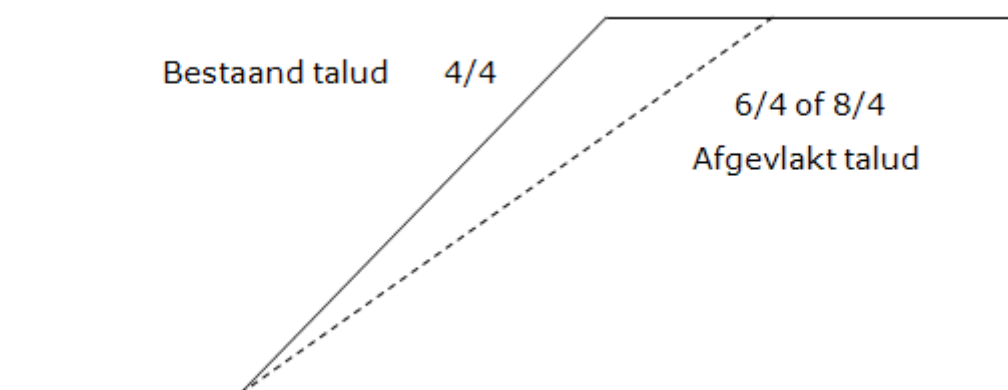
Wanneer er zich ergens een afschuiving heeft voorgedaan dient erop te worden gelet dat er:

- geen afgeschoven grond aan de voet van het talud wordt weggenomen;
- geen grond wordt aangevuld bovenaan het talud.

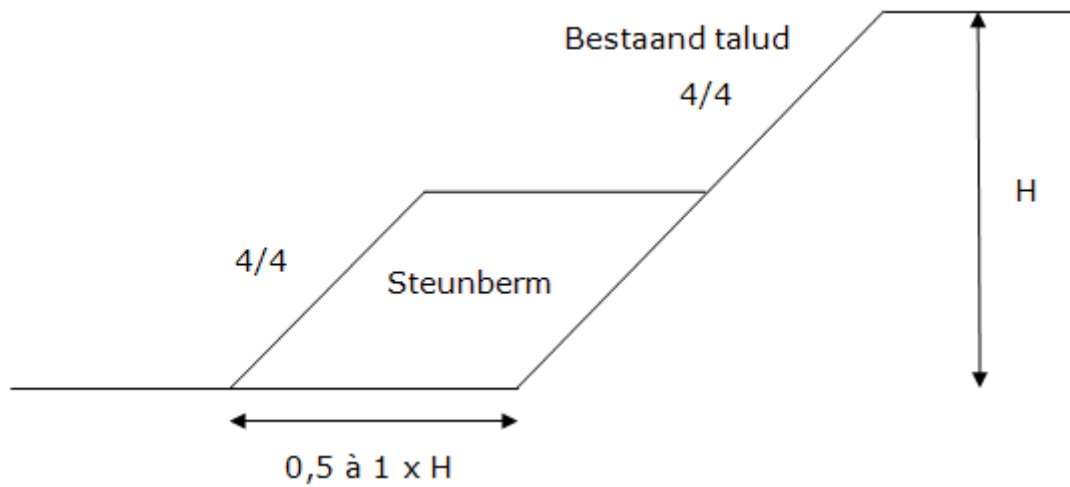
Dringende stabilisatiemaatregelen moeten altijd bestaan in het aanbrengen van grond aan de voet van het talud.

In de zones waar zich een afschuiving heeft voorgedaan is het meestal aangewezen om bij de naastgelegen niet afgeschoven taluds:

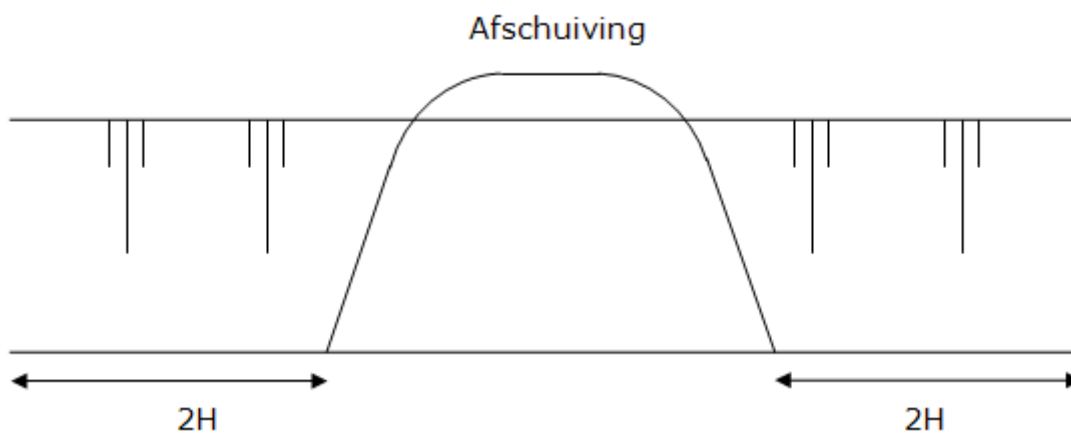
- de taludhelling verminderen;



- een steunberm aanbrengen aan de voet van het talud



- zone waarover het talud best wordt afgevlakt of steunberm aangelegd:



#### 4.3.1 Opmeten van de ontstane toestand

Omdat er na de afschuiving meestal een zeer grillig taludoppervlak ontstaan is, is het opmeten van de toestand die na de afschuiving ontstaan is in het algemeen geen eenvoudige zaak.

Om de uitvoering van de herstelling goed te kunnen voorbereiden is het van groot belang dat de na de afschuiving ontstane toestand zo goed mogelijk wordt opgemeten.

Omdat afschuivingen bij droge ontginningen zeer dikwijls worden veroorzaakt door grondwaterstromingen naar het talud toe, is het van groot belang dat er bij het opmeten van de na de afschuiving ontstane toestand zoveel mogelijk informatie wordt verzameld i.v.m. de grondwaterstand en uittrede van grondwater. Deze informatie moet worden vermeld op het opmetingsplan.

Op dit plan moeten ook de uitvoeringsplaatsen van eerder uitgevoerd grondonderzoek worden aangegeven (bvb. boringen, diepsonderingen, peilfilters).

Indien er geen informatie beschikbaar is betreffende de grondwaterstand in de achter het afgeschoven talud gelegen gronden, dan dienen er zo snel mogelijk peilfilters te worden geplaatst achter de kruin van het afgeschoven talud of in de zone van de afschuiving.

Ten einde het bestaan van een stroming naar het talud te kunnen vaststellen is het aangewezen om peilfilters aan te brengen onmiddellijk achter de kruin van het afgeschoven talud en op een zekere afstand achter de kruin van het afgeschoven talud. Voor de plaatsing van deze peilfilters kan best een droge boring worden uitgevoerd en geen spoelboring. Bij het uitvoeren van een spoelboring wordt immers een belangrijke hoeveelheid water in de grond gebracht en is er altijd een zeker risico dat er ingevolge de stroming naar het talud toe nieuwe afschuivingen ontstaan.

Indien het niet zeker is dat de opgetreden verplaatsingen van de grond volledig gestabiliseerd zijn, d.w.z. of er zich in het achter en onder het afgeschoven grondmassief nog verplaatsingen voordoen, dan is het aangewezen om in of achter het afgeschoven grondmassief één of meerdere inclinometerbuizen aan te brengen. Door deze inclinometerbuizen regelmatig op te meten kan dan een duidelijk beeld verkregen worden van de nog optredende verplaatsingen (= grootte van de verplaatsingen en hoogte waarover deze verplaatsingen zich voordoen).

Vooraf bij afschuivingen in overwegend kleiige gronden kunnen er zich nog aanzienlijke verplaatsingen voordoen nadat er een afschuiving heeft plaatsgevonden.

#### 4.3.2 Te realiseren talud

Behalve wanneer het zeer lokale en zeer beperkte afschuivingen betreft moeten er voor het vastleggen van het te realiseren talud altijd stabiliteitsberekeningen worden uitgevoerd. Om betrouwbare berekeningen te kunnen uitvoeren is het noodzakelijk dat duidelijke informatie beschikbaar is betreffende:

- de grondwaterstand in alle ter plaatse aangetroffen watervoerende lagen;
- de eigenschappen van de aanwezige grondlagen, in ongeroerde en in geroerde toestand.

Ten einde dikte en de eigenschappen van de tijdens de afschuiving geroerde lagen vast te leggen is het in de meeste gevallen noodzakelijk om een specifiek grondonderzoek uit te voeren. Diepsonderingen zijn de meest aangewezen methode maar de toegankelijkheid van het terrein zorgt nogal eens voor problemen. Dynamische sonderingen, bvb. met een Panda-apparaat kunnen in dergelijke gevallen een aanvaardbaar alternatief vormen.

Indien er peilfilters beschikbaar zijn is het van groot belang dat deze regelmatig opgemeten worden. Tijdens de periode van de stabiliteitsstudie zou er moeten voor gezorgd worden dat deze minstens dagelijks worden opgemeten. Dit is nodig om de variatie van het grondwaterpeil te kennen, en vooral dan de mogelijke invloed van de neerslag op het grondwaterpeil. Wanneer het niet mogelijk is om de peilfilters dagelijks op te meten dienen er zelfregistrerende waterspanningsmeters in de peilfilters te worden opgehangen waarmee de variatie van het grondwaterpeil dan kan worden opgevolgd.

Omdat er tijdens de uitvoering van de herstelling nadelige situaties kunnen ontstaan moeten er niet alleen stabiliteitsberekeningen worden uitgevoerd voor het uiteindelijk te realiseren talud, maar eveneens voor een aantal tussensituaties.

Op basis van de resultaten van de uitgevoerde stabiliteitsberekeningen moet de uitvoeringswijze van de herstelling worden vastgelegd en moet er worden aangegeven welke controleproeven en opmetingen er tijdens de uitvoering van de herstelling moeten worden uitgevoerd.

#### 4.3.3 Uitvoering van de herstelling.

Bij de aanvang van de uitvoering van de herstelling moet er altijd voor gezorgd worden dat de voet van het te realiseren talud wordt aangezet op niet geroerde gronden.

Verder is het van belang dat er betreffende de uitvoering van de herstelling een duidelijke uitvoeringsprocedure wordt opgesteld op basis van de stabiliteitsberekeningen, dat deze uitvoeringsprocedure nauwgezet gevolgd wordt en dat de voorgeschreven controleproeven worden uitgevoerd.

Indien tijdens de uitvoering van de herstelling blijkt dat de uitvoeringsprocedure die op basis van de stabiliteitsberekeningen werd vastgelegd, niet kan worden gevolgd, bvb. omdat de toestand van de ondergrond door neerslag gewijzigd is, dan moet een aangepaste uitvoeringsprocedure worden vastgelegd. Indien nodig dienen er bijkomende stabiliteitsberekeningen te worden uitgevoerd.

## 5 Speciale aandachtspunten bij natte ontginningen

### 5.1 Stabiliteit van de taluds

Bij de natte ontginningen moet een duidelijk onderscheid gemaakt worden alnaargelang de toegepaste ontginningsmethode, d.w.z. cutterzuigen of profielzuigen.

Op basis van de in 2000 uitgevoerde studie, de talrijke bressen die konden bestudeerd worden en de analyse van de bodemprofielen in een aantal groeves, kan zonder meer gesteld worden dat de te hanteren taludhellingen niet mogen bepaald worden aan de hand van klassieke stabiliteitsberekeningen, maar moeten worden vastgelegd op basis van hetgeen zich kan voordoen bij het ontstaan van bressen. Dit geldt zowel voor ontginningen die worden uitgevoerd met een cutterzuiger als met een profielzuiger.

Van de studie is duidelijk gebleken dat de bresvorming zich altijd voordoet tijdens of onmiddellijk na de ontginning. Er zijn in Vlaanderen geen gevallen bekend van bresvorming op plaatsen waar de ontginning reeds een zekere tijd was beeindigd of onderbroken. Ook in de literatuur werd geen informatie teruggevonden i.v.m. bressen die ontstaan zijn op plaatsen waar de ontginning reeds enige tijd geleden was stopgezet of onderbroken. Strikt genomen bestaat er daaromtrent evenwel geen zekerheid. Er kan dus niet volledig worden uitgesloten dat bresvorming nog kan worden ingeleid op plaatsen waar lokaal steile taluds bestaan met een zekere hoogte.

Op basis van de informatie die sinds 2000 verzameld werd kan worden gesteld dat het bresprofiel dat door Delft Hydraulics werd voorgesteld voor fijn zand ook in Vlaanderen toepasbaar is. Dit betekent dat wanneer het zand tijdens de ontginning vrij over een talud kan stromen er een evenwichtstoestand ontstaat met de volgende hellingen:

- van 0 tot 5 m diepte = helling 1:2
- van 5 tot 10 m diepte = helling 1:3
- van 10 tot 20 m diepte = helling 1:4
- van 20 tot 30 m diepte = helling 1:8
- van 30 tot 40 m diepte = helling 1:15
- van 40 tot 50 m diepte = helling 1:25

Hetgeen voorafgaat geldt alleen voor ontginningen die worden uitgevoerd in ongeroerde gronden. Voor ontginningen die worden uitgevoerd in de onmiddellijke nabijheid van geroerde of aangevulde gronden moeten speciale criteria worden in acht genomen, dit geldt zowel voor ontginningen met een cutterzuiger als voor ontginningen met een profielzuiger.

Voor natte ontginningen moet er een zeer duidelijk onderscheid worden gemaakt tussen ondiepe en diepe ontginningen.

Ondiepe ontginningen kunnen worden omschreven als:

- ontginningen tot ca. 15 m diepte wanneer onder een helling 1:3 mag ontgonnen worden;
- ontginningen tot ca. 25 m diepte wanneer onder een helling 1:4 mag ontgonnen worden.

Bij ondiepe ontginningen verschilt het bresprofiel maar weinig van het talud van Vlarem (=helling 1:3) of het vergunningsprofiel dat in een aantal groeves wordt toegepast (=helling 1:4). De kans is dan ook gering dat er bij ondiepe ontginningen een bres ontstaat die reikt tot in de veiligheidszone en de kans dat er een bres ontstaat die reikt tot voorbij de veiligheidszone is uiterst gering.

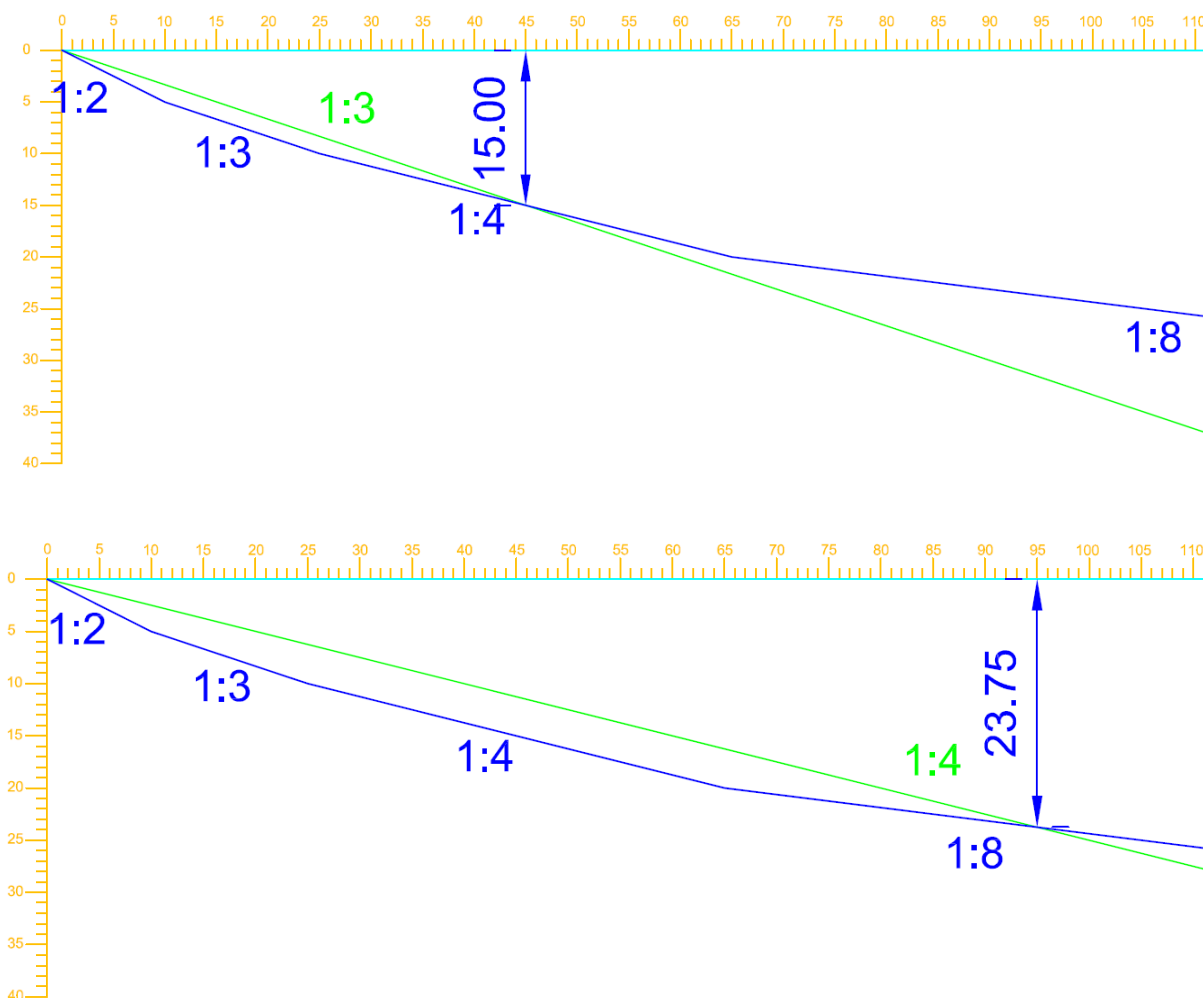
Diepe ontginningen kunnen worden omschreven als:

- ontginningen tot meer dan 15 m diepte wanneer onder een helling 1:3 mag ontgonnen worden;
- ontginningen tot meer dan 25 m diepte wanneer onder een helling 1:4 mag ontgonnen worden.

Bij diepe ontginningen is er een groot verschil tussen het bresprofiel en het talud van Vlarem (=helling 1:3) of het vergunningstalud dat in een aantal groeves wordt toegepast (=helling 1:4). De kans dat er zich een ongecontroleerde bresvorming voordoet welke reikt tot voorbij de veiligheidszone neemt dan toe met de diepte.

Het onderscheid tussen ondiepe en diepe ontginningen is zeer belangrijk omdat de voorzorgsmaatregelen die voor beide gevallen moeten voorzien worden om ongecontroleerde bresvorming te voorkomen zeer sterk verschillen.

De overgang tussen ondiepe en diepe ontginningen is op onderstaande figuur aangegeven voor de situatie waarbij het grondoppervlak zich op 3 m boven het waterpeil bevindt.



**Figuur 15: Ondiepe ontginning - vergelijking 1:3 -1:4 en theoretisch bresprofiel**

Recentelijk opgedane ervaringen hebben aangetoond dat de hierboven aangegeven diepten in bepaalde gevallen moeten gerekend worden vanaf het grondoppervlak en niet vanaf het waterpeil. Omdat daaromtrent evenwel nog geen zekerheid bestaat werd in hetgeen volgt systematisch uitgegaan van de diepte t.o.v. het waterpeil.

## 5.2 Ontginning in meerdere slagen

### 5.2.1 Beschikbare informatie

Uit de studie van de groeves met natte ontginning is duidelijk gebleken dat bij diepe ontginningen de te hanteren veiligheidsafstanden moeten worden vastgelegd op basis van de bresprofielen zoals opgenomen in de Nederlandse aanbevelingen. Bij zeer diepe ontginningen worden de te hanteren veiligheidsafstanden dan evenwel dermate groot dat er naar maatregelen moet gezocht worden om de breslengte of breshoogte te beperken. De aangewezen maatregel bestaat er dan in om in meerdere slagen te ontginnen i.p.v. in één slag.

Wanneer er in meerdere slagen ontgonnen wordt moet op de bodem van iedere slag een berm met een voldoende breedte worden in stand gehouden om te voorkomen dat er toch een doorgaande bres kan ontstaan.

Deze problematiek werd ook onderkend in CUR Aanbevelingen 113. Voor de ontginning in meerdere slagen worden in fig. 6.6. van deze nota aanbevelingen geformuleerd i.v.m. de breedte van de aan te houden bermen. Voor een ontginning tot 40m diepte wordt daarbij een onderscheid gemaakt tussen de volgende situaties:

- a. Ontginning in 4 slagen van elk 10 m hoogte:
  - breedte plasberm op 10m diepte = 10 m
  - breedte plasberm op 20m diepte = 20 m
  - breedte plasberm op 30m diepte = 30 m
- b. Ontginning in 2 slagen van elk 20 m hoogte:
  - breedte plasberm op 20m diepte = 20 m

In de CUR Aanbevelingen 113 is niet aangegeven waarop men zich gebaseerd heeft bij het vastleggen van de in fig. 6.6. aangegeven breedte van de plasbermen.

Bij het vastleggen van de breedte van de aan te houden bermen dient er normaal gezien rekening te worden gehouden met volgende elementen:

- de hoogte waarover er in één slag ontgonnen wordt;
- de nauwkeurigheid waarmee de positie van de zuigmond gekend is;
- de risico's in geval van een doorgaande bresvorming.

Op basis van hetgeen voorafgaat is het niet logisch dat in CUR Aanbevelingen 113 voor de plasberm op 20 m diepte eenzelfde breedte van 20 m wordt voorgesteld voor een ontginning in 2 of 4 slagen. Bij een ontginning in 2 slagen is de breshoogte dubbel zo groot als bij een ontginning in 4 slagen. Het risico op een ongecontroleerde bres is daardoor groter en normaal gezien zou de breedte van de plasberm bij een ontginning in 2 slagen groter moeten zijn dan bij een ontginning in 4 slagen.

In de bestudeerde groeves is geen bruikbare ervaring beschikbaar i.v.m. het ontginnen in meerder slagen. In de groeve Maatheide Rechts is een bresproef gepland voor de ontginning tussen 25 m en 50 m diepte. Verwacht wordt dat deze bresproef éénduidige informatie zal opleveren i.v.m. de breedte van de op dat peil te voorziene berm.

#### 5.2.2 Voorstel i.v.m. de houden bermbreedtes:

Voorgesteld wordt om bij het vastleggen van de aan te houden bermbreedte rekening te houden met de nauwkeurigheid waarmee de positie van de zuigmond gekend is.

- a. Situatie waarbij de positie van de zuigmond tot op ca. 2 m gekend is en ook geregistreerd wordt (= minstens 1 x per uur) :

Breedte berm = hoogte van de verdiepingsslag met als minimum 10 m.

- b. Situatie waarbij de positie van de zuigmond niet tot op ca. 2 m gekend is of niet geregistreerd wordt:

Breedte berm = 2 x hoogte van de verdieping met als minimum 20 m.

#### Zeer belangrijke opmerking:

Bij een ontginning in meerdere slagen moet de breedte van de aan te houden berm altijd gerekend worden t.o.v. de voet van het reeds werkelijk gerealiseerd talud en niet t.o.v. de voet van het theoretisch profiel.

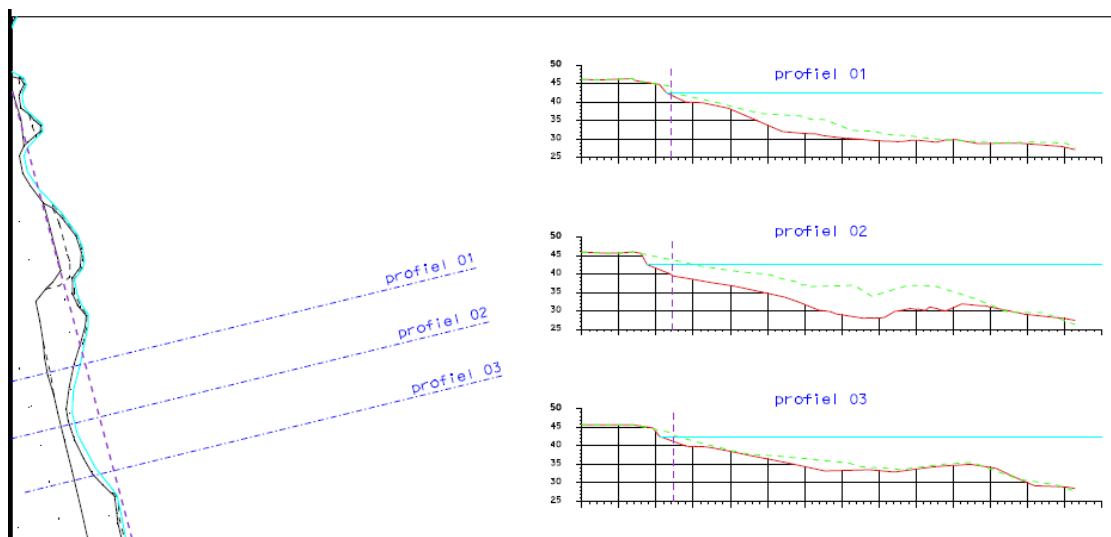
## 5.3 Herstelling van instabiliteiten

Bij het uitvoeren van een herstelling moeten er altijd 3 fasen doorlopen worden , namelijk:

- opmeten van de na de afschuiving ontstane toestand;
- vastleggen van het bij de herstelling te realiseren talud;
- uitvoering van de herstelling.

### 5.3.1 Opmeten van de ontstane toestand

Onmiddellijk nadat er zich een afschuiving heeft voorgedaan moet de na de afschuiving ontstane toestand in detail worden opgemeten en moeten er minstens 3 profielen worden getekend ter hoogte van de afschuiving , liefst met de situatie vóór en na de afschuiving, cfr. voorbeeld van figuur 1.



**Figuur 16**

Op deze profielen moet alle beschikbare informatie worden vermeld , zoals bvb. de positie van de zuigbuis of cutterwiel, de grondwaterstand..... .

Op basis van deze informatie moet dan worden nagegaan of de oorzaak van de afschuiving kan worden achterhaald

### 5.3.2 Te realiseren talud

Bij het vastleggen van de bij de herstelling aan te houden taludhelling, moet uitgegaan worden van de wijze waarop de herstelling zal worden uitgevoerd, namelijk:

- door middel van opspuiten;
- door middel van droog grondverzet;
- een combinatie van nat en droog grondverzet.

#### a) Herstelling door middel van opspuiten

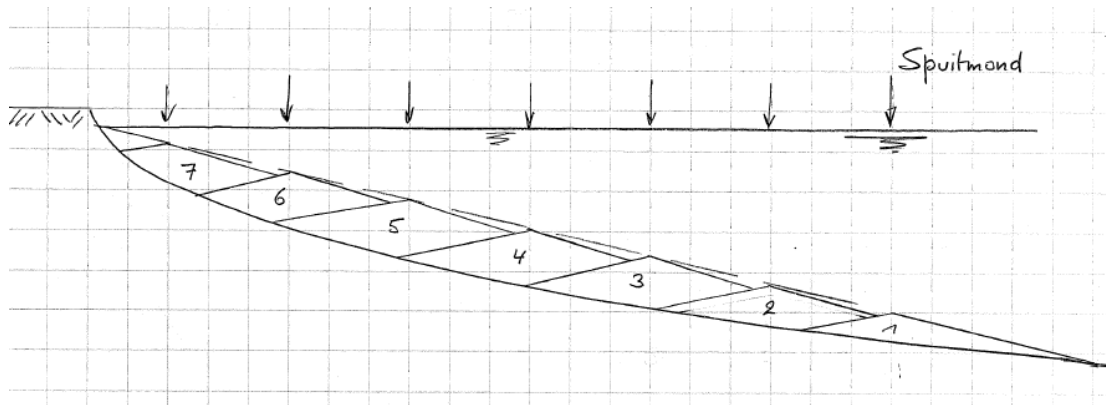
Bij een herstelling door middel van opspuiten wordt er opgebaggerd zand geloosd ter hoogte van de waterlijn (= juist erboven of juist eronder). Daarbij wordt de persleiding vastgemaakt aan een ponton of aan vlotters, zoals weergegeven op de onderstaande figuur.



**Figuur 17**

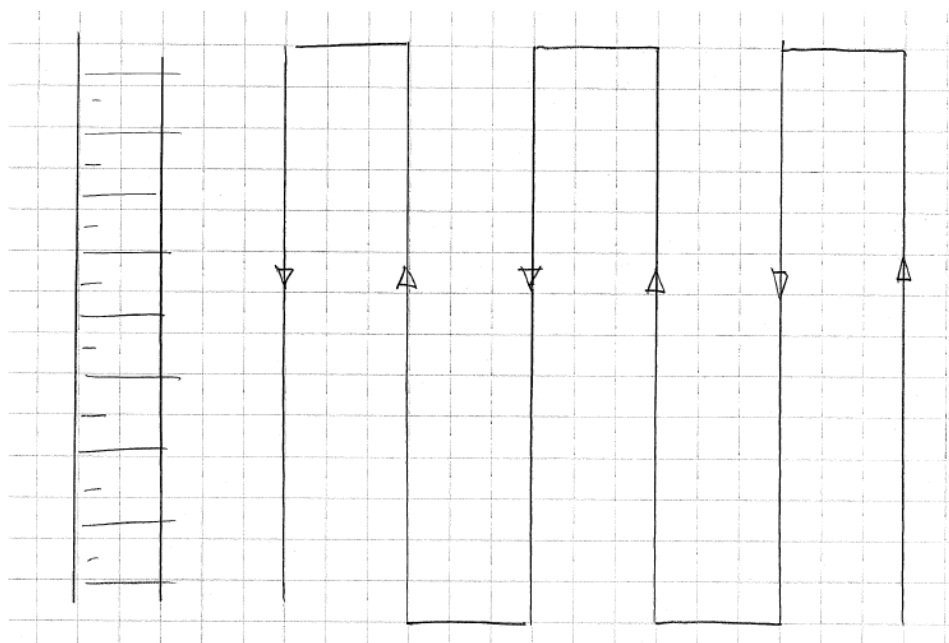
De door middel van opspuiten te realiseren taludhelling bedraagt maximaal 1:7 à 1:8.

Daarbij moet het opspuiten altijd vanaf de voet van het te realiseren talud worden uitgevoerd en in lagen met een beperkte dikte, cfr. Figuur 18.



**Figuur 18**

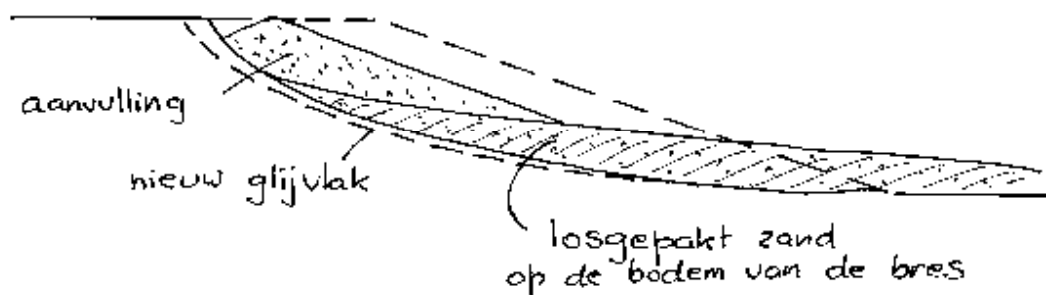
Dit betekent dus dat de spuitmond bijna continu of zeker zeer regelmatig moet verplaatst worden, eerst in de lengterichting van het talud en daarna stapsgewijs dwars op het talud, cfr. Figuur 19.



**Figuur 19**

Het opspuiten mag in geen geval ter hoogte van het bovenste gedeelte van het talud worden aangevat omdat er dan langs de kant van de plas een bresprofiel ontstaat dat zal aanleiding geven tot nieuwe afschuivingen.

Bij de bres die in 2003 in de groeve Maatheide Links (Sibelco) ontstaan is heeft men in eerste instantie opgespoten ter hoogte van het bovenste gedeelte van het talud. Na enkele dagen spuiten heeft er zich een nieuwe afschuiving voorgedaan die geleid heeft naar een bijkomende inscharing van meer dan 10 m, cfr. Figuur 20.



**Figuur 20**

Bij de herstelling van de bressen in de groeve Maatheide Links in 2003 en 2005 zijn er in de zone achter de bres telkens 4 bemalingsputten geplaatst waarmee het grondwaterpeil in het achter de bres gelegen grondmassief met 1 à 2 m werd verlaagd. De bedoeling van deze verlaging bestond erin om een grondwaterstroming van de plas naar de achtergelegen grond te bewerkstelligen en aldus de stabiliteit van de aangevulde gronden te verhogen.

Het nut van een dergelijke maatregel kan niet mathematisch worden aangetoond, maar het staat wel vast dat er zich tijdens de aanvulling geen bijkomende afschuivingen hebben voorgedaan, abstractie gemaakt van de afschuiving die zich heeft voorgedaan omdat men op het bovenste gedeelte van het talud had aangevuld.

#### b) Herstelling door middel van droog grondverzet

Bij droog grondverzet wordt er aangevuld vanaf de kruin van het na de afschuiving ontstane talud.

Indien er vanaf de kruin van het talud wordt aangevuld zal er zich een taludhelling instellen die vergelijkbaar is met het bresprofiel dat door Delft Hydraulics werd vastgelegd voor fijn zand.

d.w.z. :

- 1:2 van 0 tot 5m diepte ;
- 1:3 van 5 tot 10m diepte;
- 1:4 van 10 tot 20m diepte;
- 1:8 van 20 tot 30m diepte;
- 1:15 van 30 tot 40m diepte.

Wanneer dergelijk profiel wordt ingetekend op de bestaande toestand, zal snel worden vastgesteld dat een aanvulling met droog grondverzet alleen realistisch is wanneer de hoogte waarover er terug moet worden aangevuld beperkt is.

c) Een combinatie van nat en droog grondverzet

In bepaalde gevallen is het mogelijk om een economische oplossing te verkrijgen door eerst over een zekere hoogte nat op te spuiten aan de voet van het te realiseren talud en om daarna bvb. de laatste 5 à 10m aan te brengen met droog grondverzet, d.w.z. vanaf de kruin van het talud.

Er dient hier wel te worden opgemerkt dat er momenteel met een dergelijke wijze van herstellen nog geen ervaring beschikbaar is en dat enige omzichtigheid daarom zeker geboden is.

Het is wel zo dat wanneer de herstelling wordt uitgevoerd door middel van opspuiten, de aanvulling van de laatste 1 à 2 m en de aanvulling boven water altijd droog wordt uitgevoerd, zoals weergegeven op onderstaande figuur.



**Figuur 21**

### 5.3.3 Uitvoering van de herstelling

Omdat de bovenlagen in een afgeschoven zone altijd uit zeer losgepakt zand bestaan is de uitvoering van een herstelling altijd een zeer delicate operatie. Daarvoor is het absoluut noodzakelijk dat er bij de uitvoering van de herstelling zeer regelmatig opmetingen worden uitgevoerd van het reeds gerealiseerde talud. Dit is nodig om te voorkomen dat er nieuwe afschuivingen ontstaan, bvb. omdat er lokaal te veel werd aangevuld en er daardoor te steile taluds gecreëerd werden.

#### 5.3.4 Tijdstip waarop de herstelling moet worden uitgevoerd

In verband met het tijdstip waarop de herstelling moet worden uitgevoerd zijn er altijd 2 opties mogelijk, nml.:

- de herstelling zo snel mogelijk uitvoeren
- de herstelling uitvoeren nadat de ontginning in de bewuste zone volledig beeindigd is.

Wanneer de bres zich heeft uitgebreid tot op een naburig terrein of een belangrijke hinder voor gevolg heeft, is het uiteraard nodig om de herstelling onmiddellijk uit te voeren. Bij de verdere ontginning in de zone van de herstelling moet dan wel terdege rekening worden gehouden met de aanwezigheid van de bij de herstelling aangevulde gronden. Aanbevelingen in verband met de ontginning nabij eerder uitgevoerde wederaanvullingen zijn opgenomen in par 5.4.

Wanneer de omvang van de instabiliteit beperkt is, is het om stabiliteitsredenen niet noodzakelijk om de herstelling onmiddellijk uit te voeren. In de groeve Maarheide Rechts is er op eigen terrein sinds meer dan 2 jaar een talud dat na een ongecontroleerde bres ontstaan is. Na het ontstaan van de bres is het ontstane talud nagenoeg niet gewijzigd.

Omdat er bij een instabiliteit in de boven het water gelegen gronden nagenoeg altijd een bijna verticaal talud ontstaat is er altijd een zeker risico op instabiliteit bij het betreden of berijden van de juist achter het talud gelegen gronden. Bij instabiliteiten welke niet onmiddellijk hersteld worden is het dan ook aangewezen om het talud boven het grondwaterpeil af te vlakken tot 45°.

## 5.4 Wederaanvullingen

Onder wederaanvullingen wordt hier verstaan het terugstorten van grond in het kader van een herinrichting van de groeve. Aanvullingen die worden uitgevoerd voor de herstelling van een instabiliteit worden behandeld in par. 5.1.

### 5.4.1 Uitvoering

In de bestudeerde groeves worden wederaanvullingen ten behoeve van de herinrichting nagenoeg altijd uitgevoerd door middel van droog grondverzet, d.w.z. de aangevoerde grond wordt vanaf de kruin van het talud rechtstreeks in de put gestort of met een bulldozer in de put geduwd. Deze techniek wordt meestal omschreven als aanstorten.

In CUR Aanbevelingen 113 wordt wederaanvullen omschreven als terugstorten = het aanbrengen van grond in een put. Op pagina 34 van deel O worden de verschillende mogelijkheden van terugstorten opgesomd. Het is wel opmerkelijk dat het gewoon aanstorten van gronden niet is opgenomen als methode voor terugstorten.

In CUR Aanbeveling 113 is met betrekking tot terugstorten alleen volgende informatie opgenomen:

*Een aantal grondsoorten wordt, soms simultaan, teruggestort in de winput; fijn zand (restproduct na scheiding of retourwater depot): cohesieve grond (toplaag van veen en/of klei).*

*Er zijn diverse mogelijkheden beschikbaar voor het terugstorten:*

- *met water verpompen door een drijvende leiding en vervolgens naar de bodem brengen met een verticale pijp met diffusor aan een te verhalen ponton;*
- *vanaf de oever met een kraan boven het water loslaten;*
- *transporteren met transportband en ver van de oever boven water loslaten;*
- *transporteren met een hopper tot ver van de oever en vervolgens met een kraan boven het water loslaten;*
- *transporteren met een splijtbak tot ver van de oever en vervolgens in één keer dumpen;*
- *stortpunt voor overslag van hopper naar pijpinrichting;*
- *verspreiding door middel van sproeiponton, waarbij de laagdikte per slag nauwkeurig gecontroleerd kan worden.*

Omdat al deze technieken niet worden toegepast in de bestudeerde groeves zal in hetgeen volgt alleen de wederaanvulling door middel van aanstorten worden behandeld.

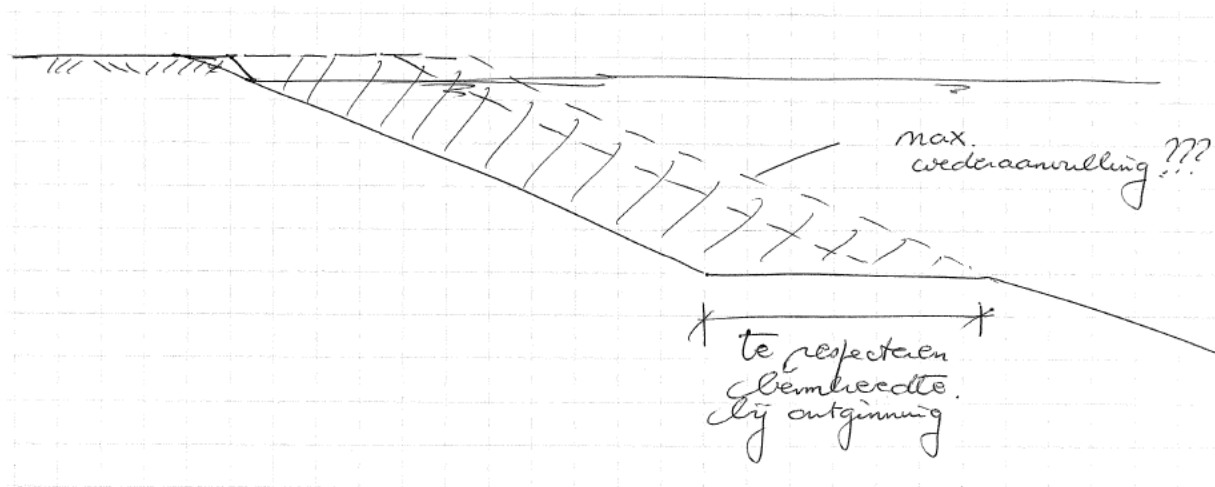
#### 5.4.2 Helling van de gerealiseerde taluds

In verband met de helling van de bij terugstorten gerealiseerde taluds is niets opgenomen in CUR Aanbevelingen 113. In de literatuur werd daaromtrent ook geen informatie teruggevonden.

Door een gedetailleerde analyse van de taluds die zijn ontstaan bij wederaanvullingen in de bestudeerde groeves kon worden afgeleid dat de taluds die bij aanstorten ontstaan vrij goed overeenstemmen met het bresprofiel dat door Delft Hydraulics werd afgeleid en dat is opgenomen in de Nederlandse aanbevelingen, en dit ongeacht van de aard van de grond waarmee er wordt aangestort. Dit is op zich niet verwonderlijk omdat bij aanstorten vanaf de kruin, de grond ook naar beneden schuift langsheen het talud. De fenomenen die zich voordoen bij aanstorten zijn dus goed vergelijkbaar met deze die zich voordoen bij bressen.

##### Belangrijke opmerking:

Wanneer er in meerdere slagen ontgonnen wordt is het in principe slechts mogelijk om weer aan te vullen tot op de eerste tussenberm, cfr. onderstaande figuur.



Wanneer de aangevulde grond voorbij de tussenberm terecht komt ontstaat er een reëel gevaar dat er zich een doorgaand bresprofiel gaat vormen. Ook bij wederaanvullingen zal er dus moeten worden aangegeven welke minimum breedte er moet behouden blijven tussen de voet van de wederaanvulling en de kruin van het diepergelegen talud.

Bij diepe ontginningen die in meerdere slagen worden uitgevoerd houdt een wederaanvulling altijd belangrijke risico's in.

#### 5.4.3 Stabiliteit van de wederaangevulde gronden

Op basis van de beschikbare informatie kan worden gesteld dat er zich bij het aanstorten van gronden alleen nazakkingen en beperkte afschuivingen voordoen in de eerste dagen na het aanstorten. Er werd nergens melding gemaakt van instabiliteiten of belangrijke nazakkingen die zich nog zouden hebben voorgedaan nadat het aanstorten reeds enkele dagen was beëindigd. Er mag dan ook worden aangenomen dat de bresprofielen die ontstaan na het aanstorten van gronden voldoende stabiel zijn zolang er niet verder wordt aangestort.

In de groeve Pinken te Dessel werd een belangrijke grondstock aangebracht op een recentelijk uitgevoerde wederaanvulling. Stabiliteitsberekeningen hebben aangetoond dat de klassieke stabiliteitsberekeningen opnieuw kunnen worden toegepast van zodra er geen bresfenomenen meer plaatsvinden.

Dit betekent dus dat de klassieke stabiliteitsberekeningen kunnen worden aangewend voor het beoordelen van de stabiliteit van aangestorte grondmassieven en voor het beoordelen van de activiteiten die op aangestorte gronden plaats vinden.

#### 5.4.4 Kwaliteit van de wederaangevulde gronden

De door Afdeling Geotechniek vastgelegde richtlijnen voor de beoordeling van de kwaliteit van wederaanvullingen zijn weergegeven in de nota "Kwaliteitsrichtlijnen – aanvulling van ontginningsgebieden Limburg." Deze richtlijnen zijn alleen bindend voor de grintontginningen in Limburg.

In verband met de beoordeling van de kwaliteit van wederaangevulde gronden werden in het kader van onderhavige studie de volgende acties ondernomen:

- de rapporten die door Fugro werden opgesteld voor de groeves LIM.043 en LIM.075 werden geanalyseerd;
- de "kwaliteitsrichtlijnen van Afdeling Geotechniek werden toegepast bij alle wederaanvullingen in de bestudeerde groeves.

a) Rapporten Fugro voor groeves LIM.043 en LIM.075.

In de door Fugro opgestelde rapporten worden de volgende punten behandeld:

a1) Stabiliteit:

Achtereenvolgens worden de macrostabiliteit, de microstabiliteit en het mogelijk ontstaan van zettingvloeiingen gecontroleerd.

- Macrostabiliteit :

Voor het nazicht van de macrostabiliteit worden klassieke stabiliteitsberekeningen uitgevoerd volgens de methode van Bishop. Aangezien de taludhellingen altijd flauwer zijn dan 1:3 levert dat nooit problemen op.

- Microstabiliteit:

Nagegaan wordt of er belangrijke uittredende waterstromingen naar het talud kunnen plaatsvinden. Daarbij wordt evenwel geen gebruik gemaakt van objectieve gegevens.

Normaal gezien zouden daarvoor de opgemeten grondwaterpeilen moeten worden vergeleken met het waterpeil in de plas.

- Zettingvloeiing:

Het beoordelen van het mogelijk ontstaan van zettingvloeiingen gebeurt op basis van de in de kwaliteitsrichtlijn aangegeven criteria.

Wanneer de globale helling flauwer is dan 1:7 is er geen risico op het ontstaan van zettingvloeiingen. Bij wederaanvullingen aangebracht door middel van opspuiten is dat bijna altijd het geval.

Commentaar:

De in de "kwaliteitsrichtlijnen opgenomen criteria met betrekking tot het ontstaan van zettingvloeiingen zijn niet op een eenvoudige wijze toepasbaar voor wederaanvullingen uitgevoerd door middel van aanstorten.

a2) Zettingen.

De beoordeling van de te verwachten zettingen is zuiver subjectief. De te verwachten zettingen worden ingeschat rekening houdend met:

- het al of niet aanwezig zijn van een morslaag (= sliblaag tussen de grond in-situ en de wederaanvulling);
- de te verwachten klink van de wederaanvulling, meestal geraamd op 2% van de laagdikte;
- de te verwachten verdere verdichting van de aangevulde lagen door trillingen.

Commentaar:

De door Fugro gevolgde redenering is niet altijd éénduidig te volgen.

a3) Draagvermogen.

Wanneer er geen voetpaden, fietspaden of rijwegen worden aangelegd geldt als enige eis dat het maaiveld moet toegankelijk zijn voor tractoren of gelijkwaardig zowel bij droog als bij nat weer.

Het is niet duidelijk welke proeven of controles er daarvoor moeten worden uitgevoerd. Vooral de toegankelijkheid bij nat weer is nogal problematisch omdat heel wat landbouwgronden in zeer natte periodes ook niet toegankelijk zijn.

- c) Toepassing van de kwaliteitscriteria van Afdeling Geotechniek bij wederaanvullingen in de andere bestudeerde groeves.

Omdat de kwaliteitsrichtlijnen van Afdeling Geotechniek weinig objectieve criteria bevatten werd de beoordeling uitgevoerd op basis van de conusweerstand die in natuurgebieden moet beschikbaar zijn onder de aanzet van kunstwerken of  $q_c > 2 + (2/14) \times z$  (in MPa) .

Op basis van de uitgevoerde controles kan er alleen maar geconcludeerd worden dat het criterium bij geen enkele wederaanvulling bereikt werd, d.w.z. dat er nergens kunstwerken kunnen worden opgericht op de wederaangevulde gronden zonder dat er een voorafgaandelijke grondverbetering wordt doorgevoerd.

- d) Besluit.

De door Afdeling Geotechniek vastgelegde "Kwaliteitsrichtlijnen aanvulling van ontginningsgebieden Limburg" bevatten te weinig éénduidige criteria om deze veralgemeend te kunnen gebruiken voor de beoordeling van wederaanvullingen. Vooral de criteria m.b.t. de zettingen en draagkracht zijn niet duidelijk.

Voorgesteld wordt om éénduidiger criteria te formuleren voor het controleren van de zettingen en de draagkracht.

Voor wat de zettingen betreft kan worden overwogen om te stellen dat de te verwachten zettingen op basis van de uitgevoerde controlesonderingen moeten worden berekend voor een gelijkmatig verdeelde belasting van  $30 \text{ kN/m}^2$ . Dergelijke belasting stemt overeen met een aanvulling van ca. 2 m. Daarbij kan dan eventueel worden gesteld dat een voorbelasting moet worden aangebracht indien de berekende te verwachten zettingen groter zijn dan 30 cm.

Voor wat de draagkracht betreft zou moeten worden aangegeven hoe de berijdbaarheid moet worden gecontroleerd.

## 5.5 Ontginningen nabij eerder uitgevoerde wederaanvullingen

### 5.5.1 Algemeen

Bij ontginningen in de nabijheid van eerder uitgevoerde wederaanvullingen is enige omzichtigheid geboden omdat de wederaangevulde gronden meestal een zeer losse pakking hebben en er daardoor niet kan worden uitgesloten dat er in deze aangevulde gronden zettingvloeiingen kunnen ontstaan.

Voorgesteld wordt dan ook om bij het vastleggen van de breedte van de bermen die moeten worden aangehouden t.o.v. de voet van de wederaangevulde gronden rekening te houden met de helling waaronder de wederaanvulling is uitgevoerd.

Daarbij dient dan een onderscheid te worden gemaakt tussen volgende situaties:

- geen risico of zettingvloeiing = globale taludhelling 1:7 of flauwer en lokaal geen lagen met een dikte van meer dan 5 m en een helling groter dan 1:4;
- wel risico op zettingvloeiingen = globale taludhelling steiler dan 1:7 of lokaal lagen met een dikte van 5m of meer en een helling groter dan 1:4.

### 5.5.2 Voorstel i.v.m. de aan te houden bermbreedtes

Geen risico op zettingvloeiing = voorgesteld wordt om de bermbreedtes aangegeven in par. 5.2.2. voor de ontginning in meerdere slagen ook hier aan te houden.

Risico op zettingvloeiing = voorgesteld wordt om de in par. 5.2.2 aangegeven bermbreedtes te verdubbelen, d.w.z. :

- a) Situatie waarbij de positie van de zuigmond tot op ca. 2 m gekend is en ook geregistreerd wordt (= min. 1 x per uur) :

Breedte berm = 2 x hoogte van de verdieping met als minimum 20 m

- b) Situatie waarbij de positie van de zuigmond niet gekend is tot op ca 2m of niet geregistreerd wordt :

Breedte berm = 4 x hoogte van de verdieping met als minimum 40 m

## **6 Speciale aandachtspunten bij groeves van de rubrieken 18.4 en 18.5**

Van de uitgevoerde studies kan worden afgeleid dat bij deze ontginningen de stabiliteit helemaal niet met de klassiek gebruikte methodes kan benaderd worden. De heterogeniteit van de aanwezige materialen is te groot.

### **6.1 Limcoal Genk**

Voor Limcoal werd gesteld dat de stabiliteit van de taluds wellicht verzekerd is maar dat het toch aangewezen is om daaromtrent een bevestiging te krijgen door een regelmatige monitoring van de meeste steile taluds.

### **6.2 Carrières de Retinnes**

Voor Carrières de Retines werd gesteld dat er momenteel geen stabiliteitsproblemen zijn maar dat er bij het stopzetten van de ontginning een aantal te steile taluds moeten worden afgevlakt. Voorgesteld wordt om na te gaan hoe zo iets moet vertaald worden in de vergunningsvoorwaarden.

### **6.3 ILVA Vlierzele**

De uitgevoerde stabiliteitsberekeningen hebben aangetoond dat er geen instabiliteiten te verwachten zijn wanneer op het stortmateriaal grondstocks worden aangelegd tot 10 m van de kruin van het talud.

De belastingsproef heeft duidelijk aangetoond dat er belangrijke zettingen ontstaan wanneer belangrijke hoeveelheden grond op het stortmateriaal gestockeerd worden. Bij het stockeren van grond op het stortmateriaal moet er in ieder geval worden nagegaan of de te verwachten zettingen geen schade kunnen teweegbrengen aan de bovenafdicthting van het stort.

## **7 Aanbevelingen**

### **7.1 Droge ontginningen**

In de bestudeerde groeves werden als dusdanig geen belangrijke instabiliteiten vastgesteld. De problemen die werden vastgesteld hebben allemaal te maken met de evacuatie van oppervlaktewater en grondwater:

- in enkele groeves werd een belangrijke erosie vastgesteld ingevolge een niet oordeelkundige afvoer van oppervlaktewater, cfr. groeve Demets en groeve Roelants.

In groeves waar belangrijke erosies worden vastgesteld dringen maatregelen zich op wanneer de ontginning wordt uitgevoerd tegenaan de beschermingszone.

Voorgesteld wordt om op te leggen dat voor dergelijke situaties een uitvoeringsprocedure i.v.m. de afvoer van oppervlaktewater moet worden voorgelegd vooraleer de ontginning tegenaan de beschermingszone mag worden aangevat;

- bij Depovan te Rumbeke werd een belangrijke afschuiving veroorzaakt door de stroming van grondwater naar de groeve toe. Het betrof in feite een combinatie van erosie door afstromend oppervlaktewater en een afschuiving veroorzaakt door de stroming van grondwater naar het talud van de groeve. Ondanks het feit dat er zich in de groeve reeds eerder afschuivingen hadden voorgedaan in gelijkaardige omstandigheden was er geen informatie beschikbaar i.v.m. de grondwaterstroming naar het talud toe.

Voorgesteld wordt dat in dergelijke omstandigheden op te leggen dat een gedetailleerde uitvoeringsmethode i.v.m. de afvoer van oppervlaktewater en grondwater moet worden voorgelegd.

## 7.2 Natte ontginningen

### 7.2.1 Ontginning met een profielzuiger

Wanneer er met een profielzuiger ontgonnen wordt moet er een onderscheid worden gemaakt naargelang er in één slag tot op de gewenste diepte ontgonnen wordt dan wel in meerdere slagen.

#### a) Ontginning in één slag:

Van de in het kader van de studie verzamelde informatie kan worden afgeleid dat de gerealiseerde taludhellingen vrij goed overeenstemmen met het bresprofiel dat door Delft Hydraulics werd voorgesteld.

Besluit: Wanneer er met een profielzuiger in één slag wordt ontgonnen kan er best voor gezorgd worden dat de zuigmond zich nooit binnen het door Delft Hydraulics voorgestelde bresprofiel bevindt.

#### b) Ontginning in meerdere slagen:

I.v.m. de ontginning met een profielzuiger in meerdere slagen is in Vlaanderen zeer weinig ervaring beschikbaar.

Belangrijk is wel dat er bij het vastleggen van de breedte van de aan te houden veiligheidsberm niet wordt uitgegaan van het boven het peil van de veiligheidsberm gelegen theoretisch profiel, maar van het werkelijk bestaand (= opgemeten) profiel.

In paragraaf 5.2 werd een voorstel geformuleerd i.v.m. de aan te houden bermbreedtes.

### 7.2.2 Ontginning met een cutterzuiger

Theoretisch gezien is er geen enkel probleem om met een cutterzuiger een talud onder een helling 1:3 te realiseren.

Praktisch gezien is de uitvoering van een dergelijk talud evenwel niet altijd eenvoudig omdat er ook tijdens het cutteren moet voor gezorgd worden dat er zich geen bresvorming kan voordoen, d.w.z. dat er geen tijdelijke taluds kunnen ontstaan die kunnen aanleiding geven tot bresvorming.

Wanneer er tijdens het cutteren een bres ontstaat gelden dezelfde regels als bij het profielzuigen, d.w.z. er ontstaan taludhellingen zoals bepaald door Delft Hydraulics.

Tijdens het realiseren van een talud d.m.v. een cutterzuiger moet er dus ten altijd voor gezorgd worden dat er geen lokale instabiliteiten ontstaan die aanleiding kunnen geven tot bresvorming.

Dit heeft voor gevolg dat er bij de uitvoering van een talud met een cutterzuiger niet alleen aandacht moet besteed worden aan de regelmatigheid van het gerealiseerde talud, maar eveneens aan de taluds die dwars op het te realiseren talud kunnen ontstaan, bvb. tussen 2 opeenvolgende uitvoeringsfasen. Bij de ontginning met een cutterzuiger moet daarom een zeer strikte ontgravingsprocedure worden vastgelegd waarbij niet alleen aandacht wordt besteed aan het te realiseren talud maar eveneens aan alle mogelijke tijdelijke taluds. Vooral taluds tussen opeenvolgende uitvoeringsfasen moeten zeer aandachtig bekeken worden.

### 7.2.3 Registratie uitvoeringsgegevens

Tijdens het uitvoeren van de studie werd vastgelegd dat de positie van de zuigmond van de profielzuiger in de meeste gevallen slechts benaderend gekend is. De positie van het ponton wordt meestal visueel gecontroleerd t.o.v. punten die zich op de oever bevinden en de positie van de zuigmond wordt op basis daarvan dan verder afgeleid. Er zijn geen gevallen bekend waarbij de geregistreerde gegevens toegankelijk zijn voor buitenstaanders.

De wijze waarop de ontginning wordt opgevolgd verschilt sterk van groeve tot groeve:

- in de meeste gevallen wordt de gerealiseerde ontginning slechts heel sporadisch opgemeten. Daardoor is het nagenoeg onmogelijk om eenduidige en betrouwbare informatie te verkrijgen i.v.m. het verloop van de ontginning;
- in een beperkt aantal gevallen wordt de bodem van de ontginning regelmatig opgemeten. Op deze wijze is het mogelijk om eenduidige informatie te verkrijgen i.v.m. het verloop van de ontginning en om een gedetailleerde analyse uit te voeren wanneer er zich calamiteiten voordoen.

Momenteel is het zo dat er bij het vastleggen van de breedte van de te hanteren veiligheidszone geen rekening wordt gehouden met:

- de wijze waarop de positie van de zuigmond wordt bepaald en gecontroleerd,
- de wijze waarop het verloop van de ontginning wordt opgevolgd.

Dat is niet erg logisch. Naarmate er minder controles worden uitgeoefend zouden er grotere veiligheidsafstanden moeten worden in acht genomen.

#### Opmerking:

Wanneer de bodem van een ontginning wordt opgemeten worden nooit de opgemeten profielen als dusdanig medegedeeld, maar de hoogtelijnen (of dieptelijnen) welke uit deze gegevens werden afgeleid.

Voorgesteld wordt dat op deze plannen ook altijd de vaarlijnen zouden worden aangegeven zodat de gebruiker zich een idee kan vormen van de interpolaties die gemaakt werden bij het opstellen van de plannen met de hoogtelijnen / dieptelijnen.

#### 7.2.4 Melden van instabiliteiten

Momenteel is het zo dat aan de ontginners is opgedragen dat iedere instabiliteit in de groeve onmiddellijk moet gemeld worden. Er wordt evenwel nergens aangegeven welke informatie er moet verstrekt worden en op welke wijze deze moet worden overgemaakt.

Voorgesteld wordt dat er op een formele wijze zou worden vastgelegd welke informatie er moet worden overgemaakt, bvb.:

- foto's;
- opmetingen van de zone ter hoogte van de bres;
- gegevens betreffende de produktie.

#### 7.2.5 Wederaanvullingen

De profielen die worden verkregen bij wederaanvulling door middel van aanstorten zijn goed vergelijkbaar met het bresprofiel dat werd voorgesteld door Delft Hydraulics.

Omdat wederaanvullingen bij diepe ontginningen die in meerdere slagen worden uitgevoerd belangrijke risico's inhouden, wordt voorgesteld om eens na te gaan of het niet mogelijk is om plasbermen te creëren door het gedeeltelijk afgraven van binnen de veiligheidszone gelegen gronden. Er is immers gebleken dat éénmaal de ontginning gestopt is de stabiliteit van de taluds altijd verzekerd is, en de aanwezigheid van de veiligheidszone met een breedte gelijk aan de ontginningsdiepte niet langer vereist is.

De criteria opgenomen in de door Afdeling Geotechniek opgestelde nota "Kwaliteitsrichtlijnen – Aanvulling van ontginningsgebieden Limburg" zijn niet éénzijdig genoeg voor het opmaken van een éénzijdige beoordeling. In par. 5.2 werden voorstellen geformuleerd om te komen tot een meer éénzijdige beoordeling van de kwaliteit van wederaanvullingen.

### 7.2.6 Te hanteren veiligheidsafstanden

De veiligheidsafstanden die momenteel worden gehanteerd zijn wellicht te veilig bij ondiepe ontginningen en zijn zeker onveilig bij diepe ontginningen.

Voorgesteld wordt om de te hanteren veiligheidsafstanden eerder vast te leggen op basis van een risicoanalyse dan op basis van algemene regels. Bij een risicoanalyse kan onder meer rekening worden gehouden met:

- de wijze waarop de ontginning wordt uitgevoerd = profielzuiger of cutterzuiger , één of meerdere slagen;
- De controles die tijdens de ontginning worden uitgevoerd;
- de risico's in geval van ongecontroleerd bressen;
- de aanwezigheid van werderangevulde gronden.

Voorgesteld wordt om voor alle ontginningen een veiligheidsafstand aan te houden gelijk aan 1 x de diepte van de ontginning, en om de risico's te beperken bij het vastleggen van de begrenzing waarbinnen er mag ontgonnen worden, bvb.:

- langsheen eigendomsgrenzen en lokale wegen = ontginning volgens de hierboven beschreven begrenzingen;
- langsheen spoorwegen, kunstwerken , gebouwen en dijken = ontginning volgens het bresprofiel volgens de Nederlandse aanbevelingen en voor de volledige hoogte van de ontginning , en dit ongeacht of er in één of meerdere slagen ontgonnen wordt.

Bovenstaand voorstel geldt alleen indien de positie van de zuigmond nauwkeurig gekend is en er regelmatige controles worden uitgevoerd van de gerealiseerde taluds (min. 1 x per maand).

Indien de positie van de zuigmond niet nauwkeurig gekend is en/of er geen regelmatige controles worden uitgevoerd moet de breedte van de veiligheidsstrook verhoogd worden tot 1,5 x de diepte van de ontginning.

### 7.2.7 Risicoanalyse

Voorgesteld wordt om op te leggen dat er voor diepe ontginningen systematisch een risicoanalyse moet worden uitgevoerd. Dergelijke risicoanalyse zou dan de volgende gegevens moeten bevatten:

- overzicht van de beschikbare informatie:
  - grondonderzoek;
  - bresprofielen in de groeve;
  - productiegegevens.
- overzicht van de instabiliteiten die zich in de groeve of in nabijgelegen groeves hebben voorgedaan;
- gedetailleerde omschrijving van de mogelijke risico's, met betrekking tot de naburige eigendommen, kunstwerken, wegen ... ;
- omschrijving van de maatregelen die eventueel moeten voorzien worden.

Voorgesteld wordt om dergelijke risicoanalyse te laten opstellen bij de aanvang van de ontginning en verder bvb. om de 3 of 5 jaar en na iedere instabiliteit in de groeve.

## 7.3 Aanbevelingen groeves van de rubrieken 18.4 en 18.5

Voorgesteld wordt om per groeve en risicoanalyse te laten opstellen waarin volgende informatie is opgenomen:

- overzicht van de beschikbare informatie;
- omschrijving van mogelijke risico's door instabiliteiten of overdreven vervormingen;
- omschrijving van de maatregelen die eventueel moeten voorzien worden.

## 7.4 Mogelijk verder onderzoek

Uit de resultaten van het literatuuronderzoek en de studie van een groot aantal groeves is duidelijk gebleken dat er nog altijd maar een beperkt inzicht is betreffende de fenomenen die zich voordoen tijdens een natte ontginning, vooral wat de bresvorming betreft.

I.v.m. mogelijk verder onderzoek zijn er 2 opties mogelijk, namelijk:

- het uitvoeren van diepgaand onderzoek door middel van laboproeven en uitgebreide in-situ proeven, waarbij veel instrumentatie wordt aangebracht in de grond;
- het verzamelen van zoveel mogelijk informatie betreffende de aan de gang zijnde ontginningen.

Omdat het lang niet zeker is dat een diepgaand onderzoek snel bruikbare resultaten zal opleveren wordt voorgesteld om te opteren voor het verzamelen van zoveel mogelijk informatie betreffende de aan gang zijnde groeves. Bij een aantal groeves heeft een gedetailleerde analyse van de beschikbare informatie reeds bijgedragen tot een beter inzicht i.v.m. bresvorming.

Punten waaraan een bijzondere aandacht zou moeten besteed worden zijn:

- de aanwezigheid van cohesieve lagen en de invloed ervan op het bresprofiel;
- de grondwaterstand, en meer bepaald het verschil tussen het waterpeil in de plas en het grondwaterpeil;
- de productie;
- de wijze van ontginning = verplaatsing van de zuigmond dwars op het talud of evenwijdig.

Verder wordt voorgesteld om onderzoek uit te voeren naar de mogelijkheden om de elementen van het ontginningsproces zo goed mogelijk te registreren, o.a.:

- de positie van de zuigmond of het cutterwiel;
- de productie (= debiet en densiteit);
- het grondoppervlak (= de bodem van de ontginning).

Voor diepe ontginningen zou er ook moeten worden onderzocht hoe informatie kan worden verkregen i.v.m. bressen die onder water ontstaan. In CUR-Aanbeveling 113 is in par. 8.2.6. sprake van signaliseringsboeien die onder water in het talud worden ingezet en op komen drijven, zodra het zand ter plaatse in beweging komt, maar daaromtrent werd nog geen praktische informatie gevonden.