

Title - Editor

Het Mebradrain[®] Systeem

Verticale drainage

N.G. Cortlever

Geotechnics Holland bv



GEOTECHNICS
HOLLAND BV

Zuider IJdijk 58 1095 KN Amsterdam
Postbus 94900 1090 GX Amsterdam
Tel: +31-20-6651614
Fax: +31-20-6941457
Web: www.geotechnics.nl

Algemeen 3

Werking ▶

| | |
|----------------------------|---|
| <u>P</u> rincipe | 4 |
| <u>M</u> ebradrain | 5 |
| <u>Z</u> andpalen | 6 |
| <u>F</u> iltervlies | 6 |
| <u>K</u> waliteitscontrole | 7 |

Toepassing ▶

| | |
|-----------------------|----|
| <u>C</u> onsolidatie | 8 |
| <u>S</u> tabiliteit | 9 |
| <u>O</u> ntwatering | 11 |
| <u>V</u> oorbelasting | 11 |

| | |
|----------------------------|----|
| <u>O</u> verhoogte | 12 |
| <u>V</u> acuumconsolidatie | 12 |
| <u>B</u> ronnering | 15 |

| | |
|------------------------|----|
| <u>M</u> ilieutechniek | 15 |
|------------------------|----|

| | |
|-------------------------|----|
| <u>V</u> uilstortdepots | 15 |
| <u>S</u> libdepots | 16 |
| <u>G</u> rondreiniging | 16 |
| <u>O</u> ntgassing | 17 |

Eisen ▶

| | |
|--------------------------|----|
| <u>D</u> rainsterkte | 18 |
| <u>F</u> iltersterkte | 18 |
| <u>A</u> fvoercapaciteit | 19 |
| <u>D</u> oorlatendheid | 19 |
| <u>G</u> ronddichtheid | 20 |
| <u>S</u> amenvatting | 20 |

Installatie ▶

| | |
|-------------------|----|
| <u>A</u> lgemeen | 21 |
| <u>D</u> rukken | 21 |
| <u>T</u> rillen | 22 |
| <u>O</u> ffshore | 23 |
| <u>V</u> oorboren | 23 |

Berekening 24

Labtest ▶

| | |
|---------------------------------|----|
| <u>S</u> amendrukking | 27 |
| <u>D</u> oorstroming | 28 |
| <u>G</u> ronddichtheid | 28 |
| <u>D</u> oorlatendheid | 28 |
| <u>C</u> hemische bestendigheid | 29 |

Bestek ▶

| | |
|----------------------|----|
| <u>A</u> lgemeen | 31 |
| <u>P</u> refabdrains | 32 |

Referenties 32

Rapporten 32

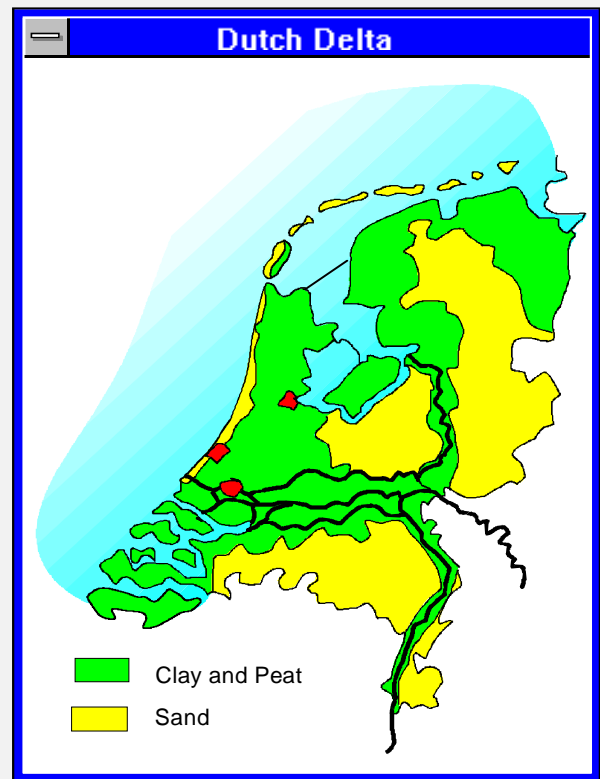
Het Mebradrain® Systeem

1. ALGEMEEN

Prefabdrains werden voor het eerst toegepast in Zweden in 1937. Deze drains werden vervaardigd van karton, de z.g. cardboard wick. Circa 10 jaar eerder werden in Californië zandpalen ontwikkeld voor het versnellen van consolidatie. Vooral in Nederland werden sinds 1950 zandpalen op grote schaal toegepast. De Nederlandse bodem bestaat hoofdzakelijk uit klei- en veenlagen die soms tot grote diepten kunnen reiken. Op plaatsen waar een industriegebied, een woonwijk of infrastructuur moest komen, werd veelal een uit zand bestaande ophoging aangebracht op de samendrukbare ondergrond. Met behulp van zandpalen werden de zettingen in deze ondergrond versneld.

De kunststofdrain werd in 1972 geïntroduceerd ten behoeve van een bouwput van de Centrale Hemweg in Amsterdam, waarna de ontwikkeling ervan in een stroomversnelling terechtwam. Kunststofdrains functioneerden beter door een grotere flexibiliteit en een betere filterwerking. Ze werden een geduchte concurrent van de zandpalen. Zandpalen worden nu nauwelijks meer toegepast.

Naar aanleiding van de grote vraag naar een hoogwaardige kunststofdrain heeft Geotechnics Holland in 1978 de Mebradrain® ontwikkeld. Mebradrain® is sindsdien uitgegroeid tot de wereldwijd meest toegepaste verticale kunststofdrain. Er is inmiddels in 342 verschillende landen meer dan 500.000.000 m Mebradrain® toegepast. In deze brochure komen veel aspecten van de kunststofdrain ter sprake, van toepassingen tot aan de kwaliteitscontrole, van ontwerpmethodiek tot laboratorium proeven.



| | |
|--------------------|---|
| Principe | 4 |
| Mebradrain | 5 |
| Zandpalen | 6 |
| Filtervlies | 6 |
| Kwaliteitscontrole | 7 |

2. WERKING

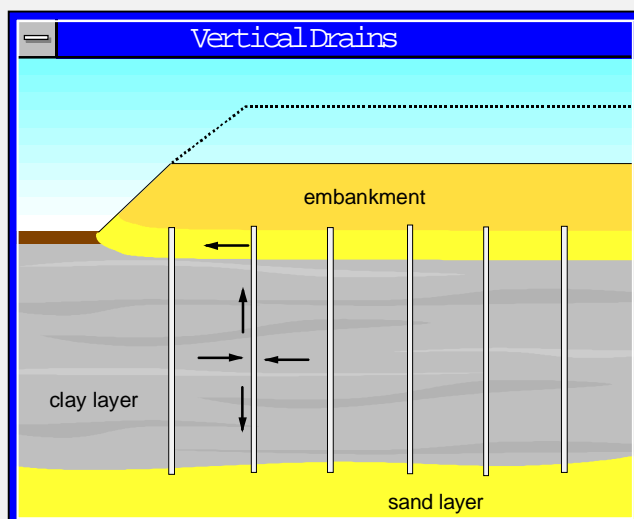
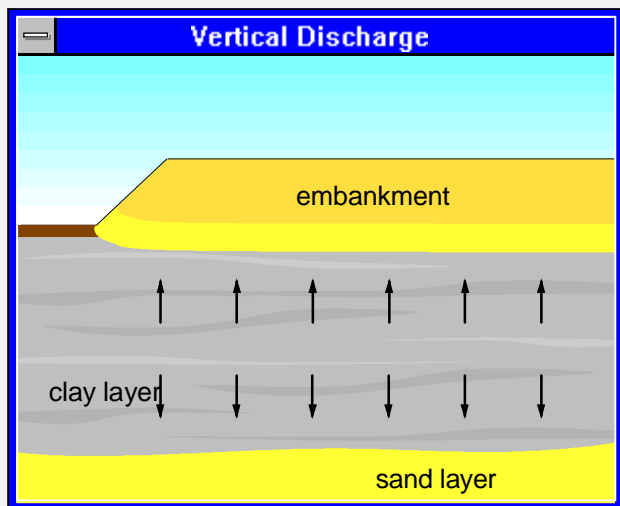
2.1. Principe

Grondstabilisatie met behulp van verticale drains wordt toegepast bij samendrukbare, met water verzadigde grondsoorten, zoals klei- en veengronden. Deze grondsoorten worden gekenmerkt door het ontbreken van een korrel structuur, terwijl de porie-inhoud gewoonlijk gevuld is met water (poriënwater). Wanneer een zware last, zoals een aardebaan, een zandophoging of een dijk, bovenop deze klei of zanderige kleigrond wordt geplaatst, kunnen door verdichting van de grond aanzienlijke zettingen plaatsvinden. Dergelijke zettingen veroorzaken vaak constructieve problemen.

De belasting die een ophoging op de ondergrond uitoefent, wordt aanvankelijk geheel opgenomen door het poriënwater. Hierdoor wordt de waterspanning initieel verhoogd met de aangebrachte belasting. Wanneer de bodem slecht doorlatend is, zal de waterspanning slechts geleidelijk kunnen afnemen doordat het poriënwater, ten gevolge van de kleine grondporiën, langzaam wegstroomt.

Verhoogde waterspanning kan, doordat de schuifweerstand van de grond afneemt, instabiliteit van de ondergrond veroorzaken, waardoor afschuivingen in de aardebaan kunnen ontstaan. Deze instabiliteit kan het ophoogtempo vertragen of bepalend zijn voor een langzaam ophoogtempo. Een verticaal drainagesysteem maakt een snellere uitvoering mogelijk en vermindert het risico van afschuiving.

Om dit zettingsproces en de afname van de waterspanning te versnellen is het nodig de weg die het poriënwater moet afleggen te verkorten. Dit kan worden bereikt door verticale drains op regelmatige afstanden van elkaar in de bodem aan te brengen. Door de aanwezigheid van dit drainagesysteem heeft het onder druk gebrachte poriënwater de mogelijkheid ook in horizontale richting naar de dichtstbijzijnde drain te stromen, waarna het verder ongehinderd kan wegstroomen. Door gebruik te maken van verticale drains kan het consolidatieproces meestal worden teruggebracht van tientallen jaren tot een half jaar of nog minder. Het op zichzelf eenvoudige principe berust dus op de verkorting van de weg waarlangs het poriënwater moet afstromen.



Hierbij neemt de consolidatietijd toe met het kwadraat van de afstand waarlangs het poriënwater moet afvloeien. Dus als deze weg twee keer zo lang is neemt de consolidatietijd met een factor 4 toe. Met behulp van een overhoogte of een vacuümsysteem kan een extra belasting aangewend worden om het zettingsproces nog extra te versnellen.

Nevenstaand figuur geeft deze aanpak grafisch weer. De bovenste kromme geeft het verloop van de zetting tegen de tijd aan van een ophoging zonder verticale drainage. De blauwe lijn geeft aan wanneer er verticale drainage wordt toegepast. De rode lijn geeft het verloop aan van een zetting waarbij een tijdelijk aangebrachte extra belasting na het bereiken van de gewenste zetting is verwijderd.

Grondverbetering met behulp van verticale drains is reeds bij talrijke civiele projecten gebruikt. Veel voorkomende toepassingen zijn:

- aanleg van wegen, spoorwegen vliegvelden en dijken
- landaanwinningsprojecten
- havenaanleg
- woon- en industriegebieden
- voorbelasting van opslagterreinen en vuilstort depots

2.2. Mebradrain®

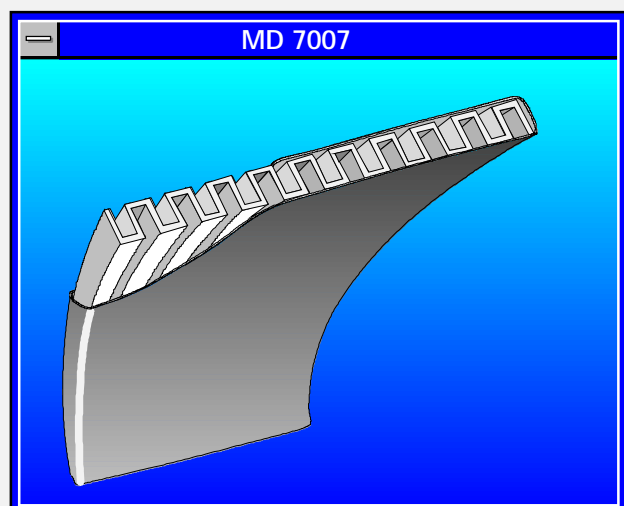
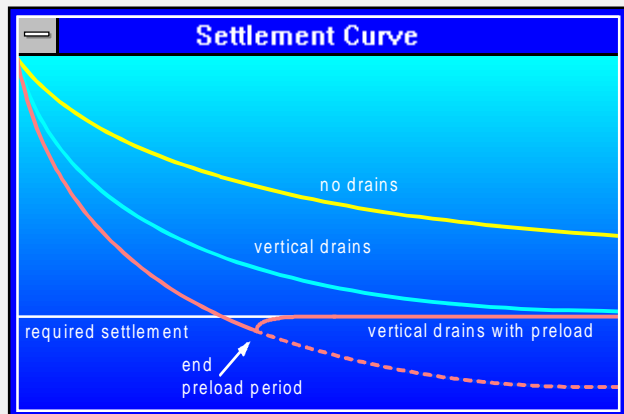
Mebradrain® is een geprefabriceerde strip drain die zeer geschikt is voor poriënwaterafvoer. De buigzame kern is gemaakt van hoogwaardig polypropyleen. Over de hele lengte lopen aan beide zijden groeven waar het water onbelemmerd doorheen kan stromen. Deze kern wordt omgeven door een sterk en duurzaam filter van ongeweven polypropyleen, dat een grote waterdoorlatendheid combineert met een uitstekende gronddichtheid. De drains worden gefabriceerd op een breedte van 100mm een maat die wereldwijd als standaard gehanteerd wordt. Mebradrain® is verkrijgbaar in drie types, te weten in type:

MD7007/MD 88

een drain die toepasbaar is tot een diepte van 25m en het type:

MD88M

Deze drain is toepasbaar tot dieptes van 50 m



Beide types zijn verkrijgbaar met een filter dat kan worden aangepast aan de grondgesteldheid. Mebradrain is in korte tijd uitgegroeid tot het meest gebruikte verticale drainagesysteem ter wereld. Mondiale toepassing van Mebradrain® in tal van projecten vormt een zichtbaar bewijs van het vertrouwen dat cliënten in Mebradrain® hebben. Eind 2002 was over de hele wereld in totaal meer dan 500 miljoen meter Mebradrain geplaatst.

De voordelen van het Mebradrain® systeem zijn:

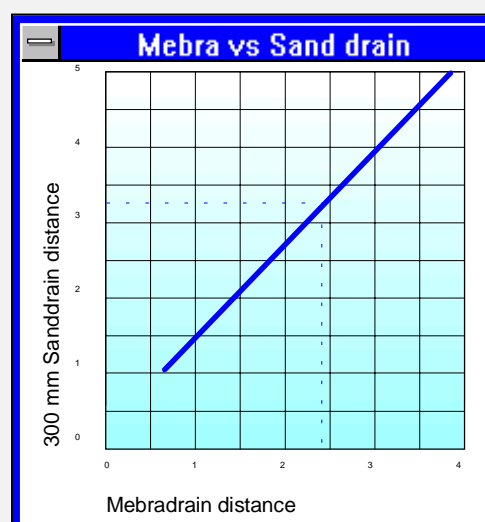
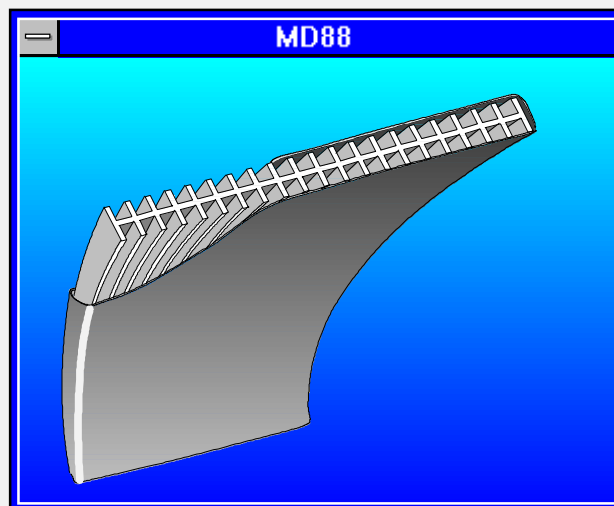
1. Geringe verstoring van de verschillende bodemlagen.
2. Gegarandeerde waterafvoer, ook bij grote gronddruk en vervorming.
3. Mogelijkheid tot aanpassing van de kern en het filtervlies aan de grondgesteldheid.
4. Snelle installatie: 4.000 tot 8.000 meter per dag.
5. Korte consolidatieperiode door toepassing van een kleine drainafstand.
6. Geen water nodig bij installeren.
7. De drains kunnen worden aangebracht tot een diepte van 40m.
8. Eenvoudige controle op de installatie

2.3. Zandpalen

De kern van de Mebradrain® garandeert een grotere verticale afvoer, dan die van een zandpaal Ø 300mm. Wanneer ervan uitgaat wordt dat de equivalente diameter van een 100mm kunststofdrain neerkomt op 65mm dan kan met behulp van de formule van Barron een vergelijking worden gemaakt tussen de drainafstanden van beide. Nevenstaande grafiek geeft aan dat er ca. 2 maal zoveel kunststof drains aangebracht moeten worden om theoretisch hetzelfde zettingsverloop te verwezenlijken. Door de aanzienlijk lagere prijs van kunststofdrains is deze methode uiteindelijk veel economischer dan de methode met zandpalen.

2.4. Filtervlies

Het filtervlies heeft een belangrijke functie. Het bestaat uit thermisch gebonden polypropyleen vezels met een willekeurige structuur.



In tegenstelling tot weefsels die een rechte doorgang bieden waar de bodemdeeltjes recht doorheen kunnen stromen, zorgt het Mebradrain® filter voor een kronkelige doorgang waardoor het in staat is de beweging van de bodemdeeltjes te limiteren en verstopping tegen te gaan.

In het algemeen zal een filter gewenst zijn dat verstoppingen door bodemdeeltjes voorkomt maar doorlatend genoeg is. De filterstructuur voldoet aan deze eisen. Wanneer de samendrukbare ondergrond in horizontale lagen doorlaatbare grond bevat, zal het onder druk gekomen poriënwater deze lagen opzoeken en via deze weg naar de dichtstbijzijnde drain stromen. Om een zo nuttig mogelijk gebruik te maken van deze doorlaatbare lagen dient de doorlatendheid van het filter minstens even groot te zijn als van de grond. Mebradrain® heeft een filter met een relatief grote doorlatendheid, zodat een doeltreffende doorstroming kan plaatsvinden in gelaagde bodems. Andere belangrijke eisen waaraan een filter moet voldoen zijn:

- grote mechanische sterkte
- hoge weerstand tegen bacteriën en micro-organismen
- bestendigheid tegen zuren, oplosmiddelen
- gelijkblijvende sterkte bij langdurig gebruik
- geringe kruip onder zware druk

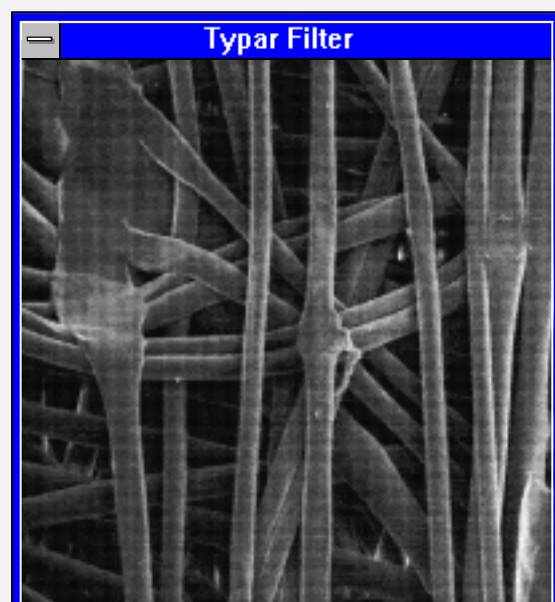
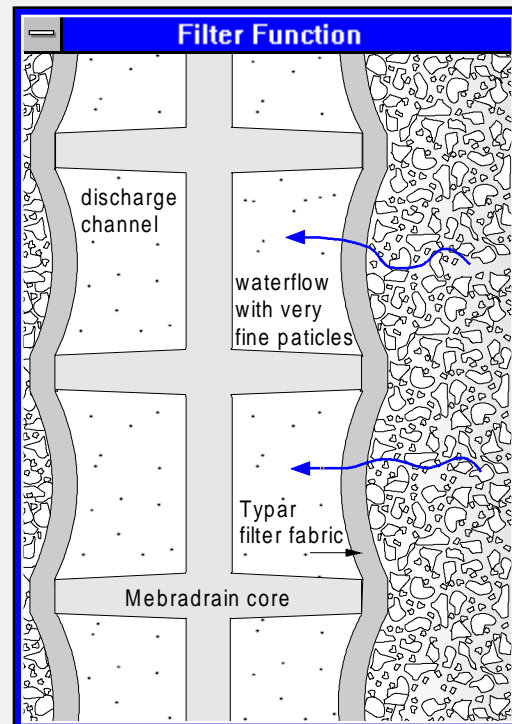
Op al deze aspecten zijn de drains uitvoerig getest en aangepast aan de gestelde vereisten.

2.5. Kwaliteitscontrole

Gedurende alle fasen van het fabricageproces van Mebradrain® wordt er een stringente kwaliteitsbewaking gehandhaafd. Er worden slechts grondstoffen gebruikt die gefabriceerd zijn onder kwaliteitsbewaking volgens NEN 9000.

Tijdens de fabricage wordt dagelijks de geometrie van de drain, de kwaliteit van de lasnaad en het gewicht van filtervlies en kern gecontroleerd. Verder worden volgens een vastgesteld schema de volgende laboratoriumproeven uitgevoerd:

1. Afmeting van de kern
2. Gewicht van kern en filtervlies
3. Treksterkte van de drain
4. Afvoercapaciteit drain in gestrekte en geknikte vorm.
5. Doorlatendheid filter
6. Grondichtheid filter



3. TOEPASSINGEN

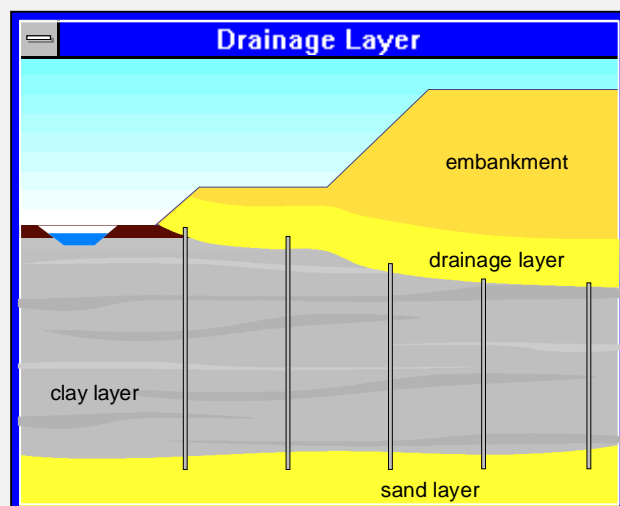
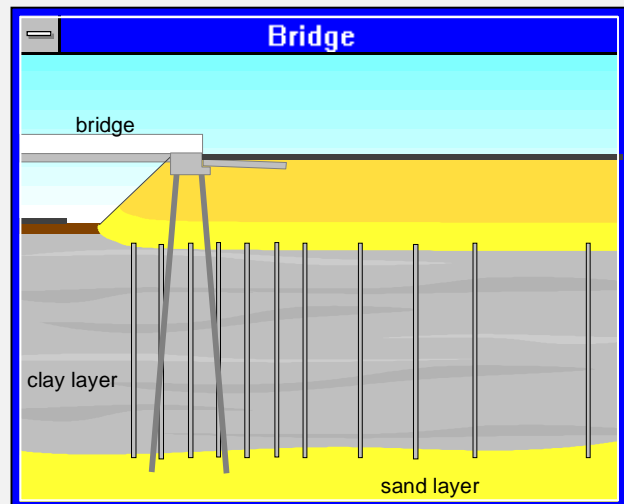
| | |
|------------------------|-----------|
| C onsolidatie | 8 |
| S tabiliteit | 9 |
| O ntwatering | 10 |
| V oorbelasting | 11 |
| M ilieutechniek | 15 |

3.1. Consolidatie

Het Mebradrain® systeem kan voor verschillende doeleinden gebruikt worden. De meest voorkomende toepassing op grote schaal is die voor het versnellen van de zettingen van samendrukbare grond. Snelwegen, landingsbanen, haven terreinen en spoorbanen moeten meestal in een zo kort mogelijke periode gerealiseerd worden, terwijl de toekomstige onderhoudskosten tot een minimum beperkt moeten blijven. Ongelijke zettingen en zettingsverschillen tussen aardebanen en kunstwerken zijn ontoelaatbaar omdat het verkeer er hinder van ondervindt.

Door gebruik te maken van het Mebradrain® systeem is het mogelijk om in korte tijd 95% van de primaire zettingen te realiseren. Secundaire zettingen op lange termijn ten gevolge van het kruipeffect zijn met verticale drainage echter niet te versnellen. Vooral bij veengronden kan de secundaire zetting groot zijn. Met behulp van een overhoogte kunnen deze zettingen echter aanzienlijk versneld worden.

Om een optimale werking van het verticale drainagesysteem te garanderen moet ervoor gezorgd worden dat het af te voeren poriënwater ongehinderd kan afstromen. Soms bevindt zich onder de samendrukbare lagen een doorlatende zandlaag die als afvoerende laag dienst kan doen. Veelal is deze laag echter niet aanwezig. De drain zal aan de oppervlakte zijn water lozen. Om de weerstand zo klein mogelijk te maken wordt er eerst een drainerende laag zand of steenslag aangebracht, eventueel voorzien van een horizontaal drainagesysteem. Deze laag zorgt ervoor dat het poriënwater ongehinderd afgevoerd wordt. Op de drainerende laag kan het minder doorlatende ophoogmateriaal aangebracht worden.



Olietanks en opslagplaatsen voor ertsen zijn in het algemeen op staal gefundeerd, zelfs in gebieden waar sterk samendrukbare lagen aanwezig zijn. Ten gevolge van het enorme gewicht (tot 300 kPa), dat sterk wisselend is doordat de tanks telkens weer gevuld en geleegd worden, ontstaat er een dynamische belasting die de zettingen en stabiliteit sterk beïnvloedt. Tanks zakken steeds verder weg in de zettingsgevoelige ondergrond. Gespecialiseerde bedrijven vijzelen de tanks weer op en brengen er een zandlaag onder aan. Dit is echter een kostbare methode. Verticale drainage gecombineerd met een tijdelijke overhoogte kan de optredende zetting in korte tijd realiseren en tevens ongelijke zettingen tijdig elimineren. Verticale drainage onder olietanks of andere milieubelastende constructies mag evenwel nooit doorgezet worden tot in de onderliggende watervoerende lagen ter voorkoming van verontreiniging van het grondwater bij eventuele calamiteiten.

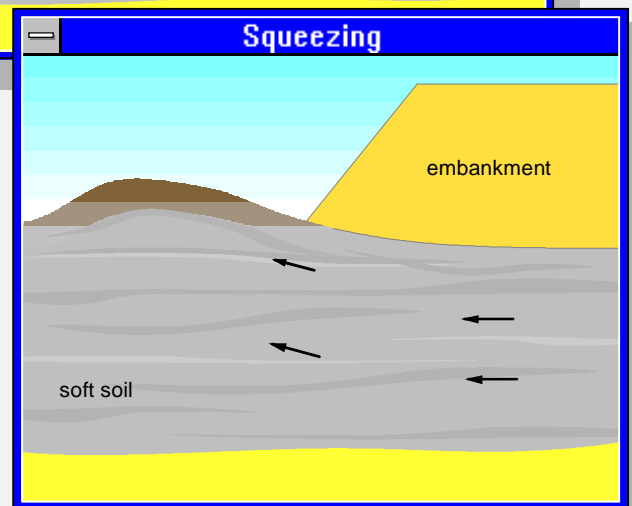
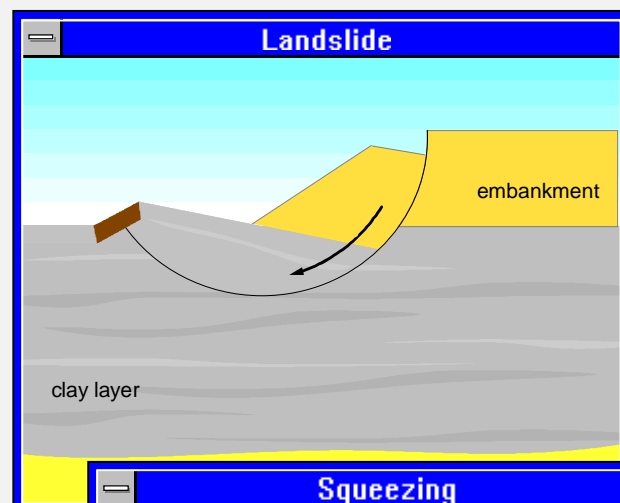
3.2. Stabiliteit

Behalve het versnellen van de consolidatie, kan een verticaal drainagesysteem een goede ondersteuning zijn bij het handhaven van de stabiliteit van een ophoging tijdens en na de uitvoering. Instabiliteit van de ondergrond kan zich op twee manieren manifesteren.

- Afschuiving van het talud waarbij een gedeelte van het dijklichaam langs een cirkelvormig glijvlak naar beneden schuift.
- Uitpersing van de slappe bodem onder de ophoging. Het talud blijft intact doch het maaiveld naast de ophoging komt omhoog en er ontstaan extra zettingen.

Instabiliteit van de ondergrond ontstaat door verhoging van de waterspanning waardoor onvoldoende schuifspanning gemobiliseerd kan worden. Het evenwicht kan op verschillende manieren hersteld worden.

- Geringere ophoogsnelheid
- Aanbrengen van een steunberm (contrafill)
- Verticale drains
- Combinatie van bovenstaande mogelijkheden



Voor een bepaalde situatie kan het evenwicht berekend worden met behulp van de glijvlakberekening volgens de algemeen toegepaste methode Bishop. Door de maximaal toelaatbare wateroverspanning te berekenen en deze gedurende het ophogen te bewaken met waterspanningsmeters kunnen afschuivingen voorkomen worden. Met behulp van het toepassen van kortere drainafstanden in die gebieden waar instabiliteit op kan treden, kan sturing gegeven worden aan het ontwerp.

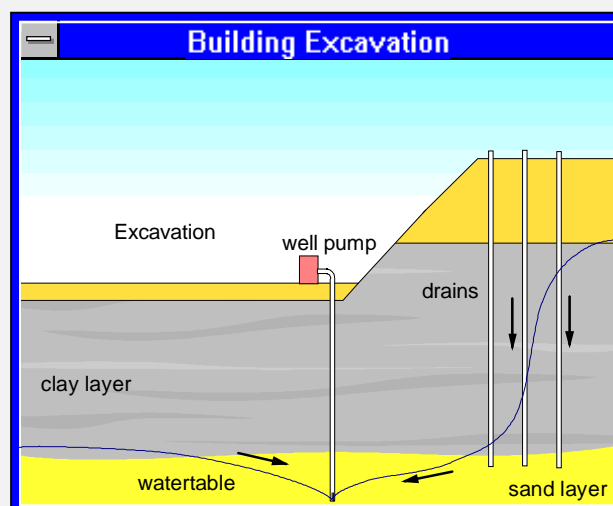
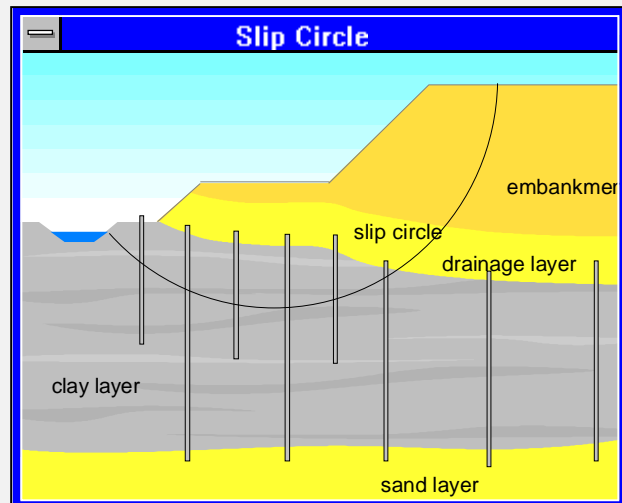
3.3. Ontwatering

Mebradrain® is voor diverse projecten gebruikt als ontwateringsmedium. In Duitsland wordt Mebradrain® op grote schaal ingezet als horizontale drainage bij betonnen autowegen. De drain wordt horizontaal aangebracht onder de voegen waardoor bij eventuele lekkage geen beschadiging van de fundering kan optreden.

Een andere voorkomende toepassing is het ontwateren van opgespoten terreinen op die plaatsen waar in de dieper liggende watervoerende lagen een lagere grondwaterstand aanwezig is. Het oppervlaktewater wordt door de drains verticaal naar deze laag afgevoerd. Er zijn geen afwateringskanalen of andere drainagesystemen nodig om het grondwaterniveau naar beneden te brengen.

Er blijft een groter oppervlak beschikbaar voor bebouwing hetgeen vooral van belang is in industriegebieden.

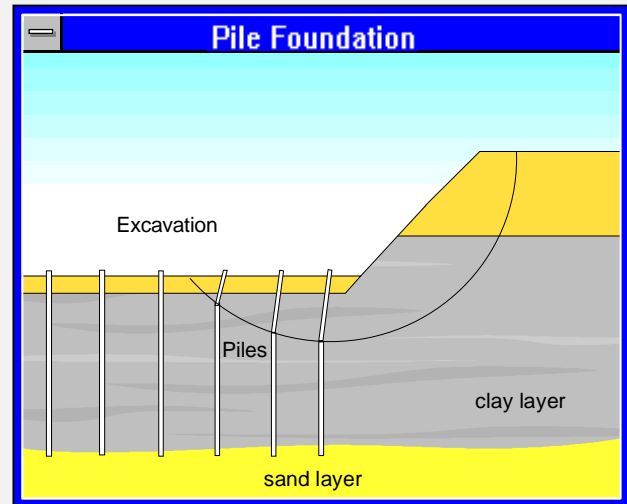
Diepe bouwputten worden vaak bemalen met een bronneringssysteem aan de bovenrand van het talud. Wanneer er echter een gelaagde structuur in de bodem aanwezig is waardoor het grondwater niet verticaal naar beneden kan zakken, treedt er uittreding van grondwater op in de taluds met alle gevolgen van dien. Een verticaal drainagesysteem rondom de bouwput zorgt ervoor dat grondwater op alle niveaus ongestoord naar beneden afgevoerd wordt. Bovendien wordt de waterdruk in de richting van de put over een groter grondprisma gespreid, hetgeen de stabiliteit bevordert. Ook bij damwandkuipen kan een verlaging van de grondwaterstand aan de actieve zijde van de wand een bijdrage leveren aan een optimaal damwandprofiel.



3.4. Paalfunderingen.

Ten gevolge van het inheien van paalfunderingen kan de waterspanning aanzienlijk toenemen. Meestal heeft dit geen consequenties voor de stabiliteit van de ondergrond. Echter wel wanneer het heiwerk in een bouwput plaatsvindt. Dan kan instabiliteit optreden waardoor paalfunderingen bezwijken. Een verticaal drainagesysteem in de bouwput of eenvoudigweg het meevoeren van drains tijdens het heien kan veel problemen voorkomen.

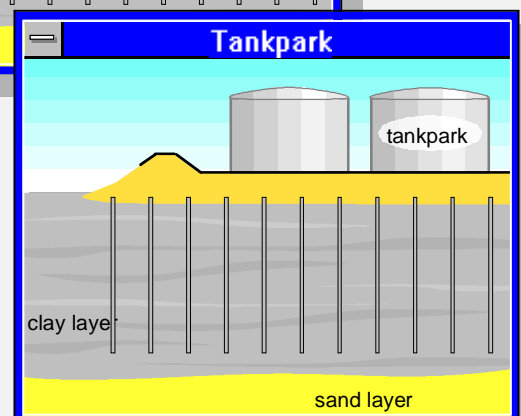
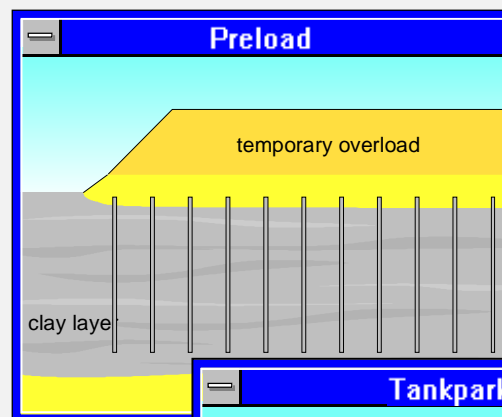
Palen worden door grondverplaatsingen extra belast waardoor het netto draagvermogen vermindert ten gevolge van negatieve kleef en/of (ontoelaatbare) buigende momenten. Het is dan ook zaak dat ophogingen eventueel voorzien van verticale drainage gereed zijn, ruim voordat het heiwerk aanvangt. Vooral bij toepassing van schoorpalen kunnen grote buigende momenten op de palen uitgeoefend worden met alle gevolgen van dien. In het verleden zijn dure paalconstructies verloren gegaan door bovengenoemde oorzaken, terwijl een relatief goedkoop drainagesysteem veel problemen voorkomen zou hebben.



3.5. Voorbelasting

Er is een aantal methoden dat in combinatie met prefabdrains zettingen aanzienlijk kunnen versnellen. Deze methoden verkorten niet alleen de zettingsperiode, maar kunnen bovendien een oplossing bieden wanneer er aanzienlijke primaire zettingen verwacht worden.

Secundaire zettingen kunnen met behulp van verticale drains niet versneld worden. Ze ontstaan door het vervormen (kruip) van het bodemskelet. Dit samendrukkingsproces verloopt logaritmisch en is onafhankelijk van de optredende waterspanning. Met behulp van een voorbelasting door middel van een overhoogte of vacuumbemaling kan evenwel ook de secundaire zetting in een korte tijd verwezenlijkt worden. De voorbelasting dient zodanig te zijn dat ook rekening wordt gehouden met het terugveren van de grond nadat de voorbelasting weer is verwijderd.

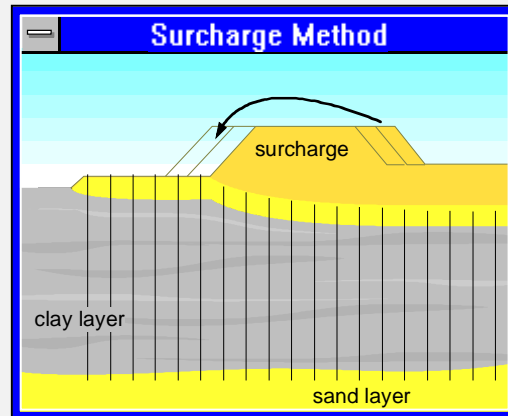


3.5.1. Overhoogte

Een overhoogte wordt veelal aangebracht op die plaatsen waar zettingen op lange termijn vermeden moeten worden, zoals bij overgangen van ophogingen naar onderheide constructies. Een goed voorbeeld daarvan is de aansluiting van aardebanen op viaducten. De extra benodigde hoeveelheid ophoogmateriaal is soms later op andere plaatsen in het cunet te gebruiken.

Wanneer echter de totale oppervlakte van een terrein met een overhoogte behandeld moet worden gaat men als volgt te werk. Aan één zijde wordt aangevangen met een aanzienlijke overhoogte. Deze wordt naar verloop van tijd weer afgegraven en op een nog onbehandeld gedeelte gestort. De benodigde hoeveelheid extra ophoogmateriaal hangt af van de consolidatieperiode en ophoogsnelheid. Gedurende het verloop van het werk moet er steeds ophoogmateriaal extra aangevoerd worden om de zettingen op te vangen. Deze methode is goed te gebruiken bij het verbreden van autowegen die zelf niet aan zetting onderhevig zijn omdat ze gefundeerd zijn op een zandcunet.

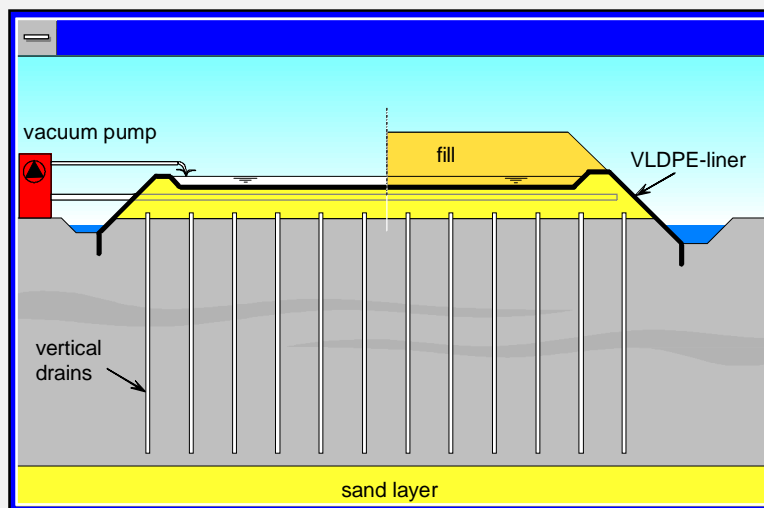
Voorbelasting door middel van overhoogte is niet altijd mogelijk doordat er instabiliteit kan ontstaan. In dat geval kan vacuümconsolidatie uitkomst bieden.



3.5.2. Vacuümconsolidatie

Behalve door het toepassen van een overhoogte, kan de consolidatietijd ook aanzienlijk verkort worden met behulp van vacuümconsolidatie. Bij deze vorm van grondverbetering wordt gebruik gemaakt van de atmosferische druk. Een belangrijk voordeel van deze methode kan zijn het achterwege blijven van instabiliteit van de ondergrond doordat er geen verhoging van de schuifspanning aan de rand van de ophoging optreedt.

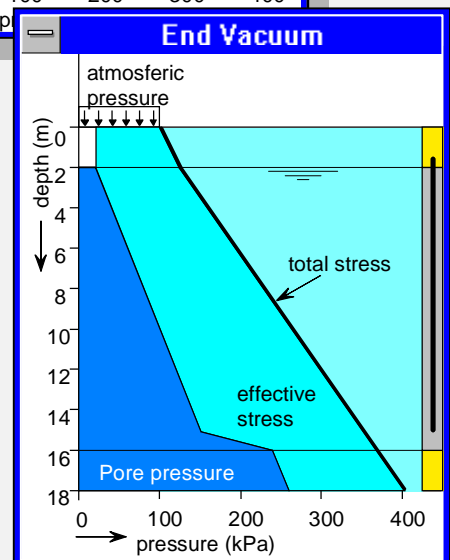
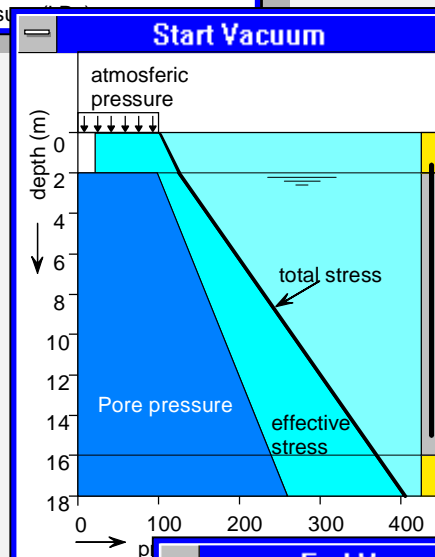
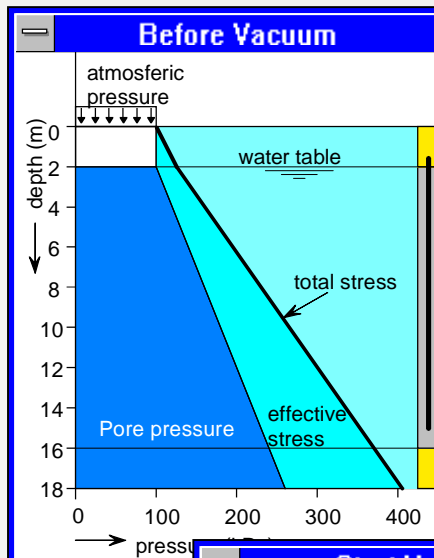
Theoretisch kan met behulp van vacuümconsolidatie een bovenbelasting van 100 kPa bereikt worden. In de praktijk kan door lucht- en waterlekage en de beperking van het toegepaste pompstelsel, een waarde van 60 kPa à 80 kPa bereikt worden, hetgeen overeenkomt met een zandpakket van maximaal 5 meter dikte.



Vacuümconsolidatie wordt als volgt gecreëerd:

Op het te consolideren terrein wordt een zandlaag aangebracht met een dikte van minstens 50 cm. Vanaf deze laag worden Mebradrain[®] geïnstalleerd tot op een diepte van maximaal 1 meter boven de dieper liggende zandlagen. De verticale drains mogen beslist niet tot in doorlatende watervoerende lagen doorlopen, daar er een te grote toevloed van water ontstaat die de vorming van een vacuüm verhindert. In de zandlaag worden h.o.h. 5 meter horizontale drains aangebracht die aangesloten worden op een vacuümpomp. Met een bronneringspomp die zowel water als lucht verpompt is het mogelijk een vacuüm van 60 kPa tot 80 kPa te realiseren. Door toepassing van een gecombineerd systeem, waarbij een vacuümluchtpomp op een ketel is aangesloten, die door een klokpomp wordt leeggepompt, kan een vacuüm van maximaal 80 kPa - 95 kPa gecreëerd worden.

Het terrein wordt afgedekt met een flexibele VLDPE-folie dik 1 mm die aan de randen ingegraven wordt, zodat geen toestroming van water en/of lucht vanaf de zijkanten kan optreden. De folie moet met de nodige zorg aangebracht en gelast worden en zetting kunnen volgen zonder dat scheurvorming optreedt. Bij een aantal projecten heeft ondeskundige uitvoering van de folieconstructie geleid tot teleurstellende resultaten. De folieconstructie moet aangebracht worden volgens de richtlijnen zoals deze zijn opgesteld voor de uitvoering van folieafdichtingen voor vuilstortplaatsen. De lasverbindingen moeten uitgevoerd worden met een dubbele las met testkanaal. Het verdient aanbeveling langs de rand van het terrein een dijk aan te brengen en het uitkomende grondwater op de folie te pompen. De doorlatendheid van eventuele gaatjes wordt daardoor aanzienlijk gereduceerd en het betreden van de folie, waardoor beschadigingen kunnen ontstaan, wordt voorkomen. De noodzakelijke pompcapaciteit is sterk afhankelijk van de hoeveelheid toestromende lucht c.q. water.



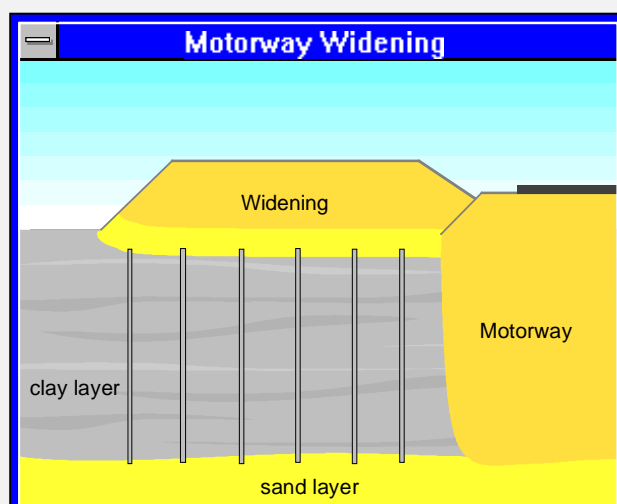
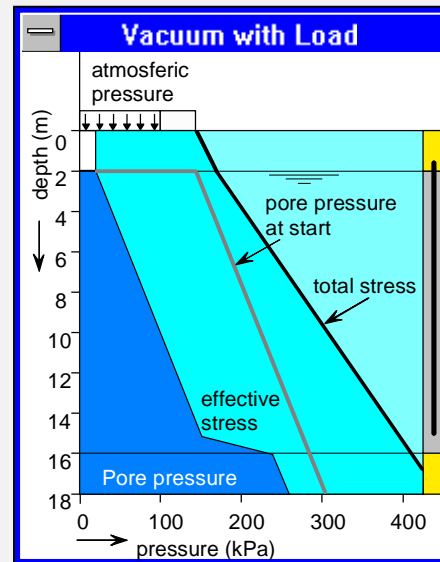
Verlaging van de grondwaterstand buiten het terrein kan leiden tot het aanzuigen van lucht door de grond. Het overtollige water dient daarom geloosd te worden in een sloot die de grondwaterstand langs de rand op peil houdt. Een uitgebreid systeem van vacuüm-, waterspannings- en hellingmeters moet de goede werking van het systeem vastleggen. Bij voorkeur moeten deze meters aan de zijkant van het terrein afleesbaar zijn zodat de doorvoeren in de folie te controleren zijn.

Wanneer na het aanbrengen van het vacuüm de waterspanning in de horizontale en verticale drains wegvalt, treedt er in de ondergrond alleen een verhoging van de effectieve spanning op. Verhoging van de waterspanning zoals die ontstaat bij de traditionele manier van ophoging treedt niet op. Stabiliteitsproblemen blijven daarmee in beginsel achterwege en de vacuümbelasting kan direct tot zijn maximale waarde worden opgevoerd.

Uitpersen van grond onder de ophoging wordt voorkomen. Een vacuümbelasting heft deze verplaatsingen in beginsel volledig op. Voorwaarde is dat de folie na beëindiging van de consolidatieperiode niet verwijderd wordt en dat er maatregelen worden getroffen om de vacuümbelastingsinrichting zeker te stellen door middel van noodaggregaten. Uitvallen van de bemaling kan immers instabiliteit van de ophoging tot gevolg hebben.

Toepassingen:

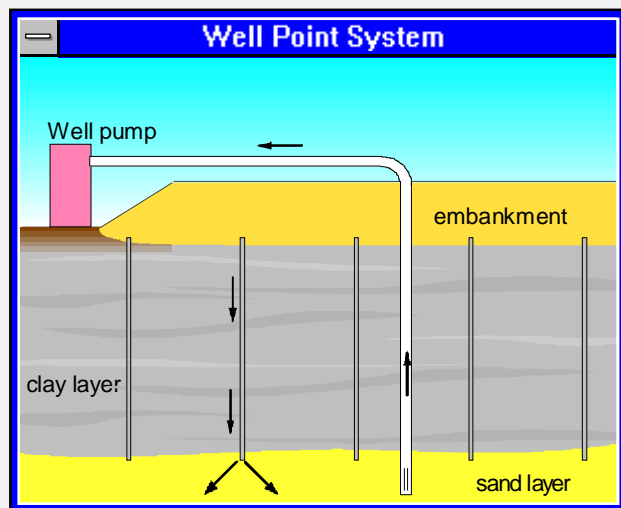
- Grondverbetering op die plaatsen waar zowel primaire als secundaire zettingen in de toekomst problemen kunnen veroorzaken, b.v. bij bruggen en andere overgangen tussen ophogingen en onderheide constructies.
- Ophogingen die in een zeer korte periode uitgevoerd moeten worden en waarbij de stabiliteit van de ondergrond een remmende factor is.
- Wegverbredingen waarbij zettingsverschillen ongewenst zijn.
- Bij slibbassins. Wanneer snelle ontwatering van het slib gewenst is om de capaciteit van het depot te verhogen.
- Voorbelasting voor op staal gefundeerde tanks



3.5.3. Diepe bronnering

Een derde methode om de consolidatie te versnellen is het in de dieper liggende grondlagen aanbrengen van een bronneringssysteem. De stijghoogte in de drain wordt hierdoor tot nul gereduceerd waardoor er een groter potentiaal verschil met de omliggende grond optreedt. Dit leidt tot een snellere consolidatie, dan zonder de diepe bronnering.

In bijgaande grafiek zijn de resultaten weergegeven van een proefproject in Zweden waarbij de zettingen van drie vergelijkbare vakken voorzien waren van verticale drainage, bronnering en vacuümbelasting.



Literatuur:

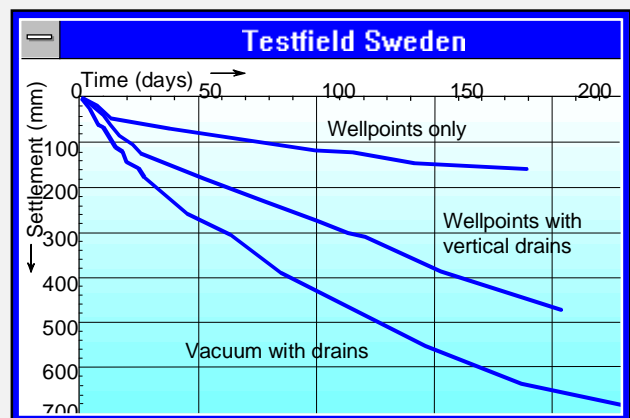
Vacuüm-consolidatie toegepast in Streefkerk, K.F. Brons, A.F. Kool, E. Janse

Construeren met grond, CUR

Soil improvement using vertical band drains and vacuum preloading at section 6/7, K.S. Sehested, Y.T. Seng

Consolidation of clay using vacuum method and wellpoint system in combination with vertical drains, B.A. Thorstenson.

Vacuümconsolidatie, KIVI



3.6. Milieutechniek

3.6.1. Vuilstortdepots

Vuilstortdepots worden vaak tot grote hoogte aangebracht. Daardoor ontstaan enorme belastingen op de ondergrond en daarmee grote zettingen. Dit kan een gevaar opleveren voor de kwaliteit van de onderafdichting. Zowel minerale afdichtingen als folies kunnen ten gevolge van onregelmatige zettingen bezwijken en verliezen daarmee hun functie, met alle gevolgen van dien.

Een verticaal drainagesysteem gecombineerd met een voorbelasting kan een groot gedeelte van de zettingen voortijdig forceren zodat grote belastingen op de onderafdichting in een later stadium uitblijven. Na voltooiing van het voorbelastingssysteem dienen de drains afgedicht of verwijderd te worden om vervuiling van de ondergrond bij eventuele calamiteiten uit te sluiten.

3.6.2. Slibdepots

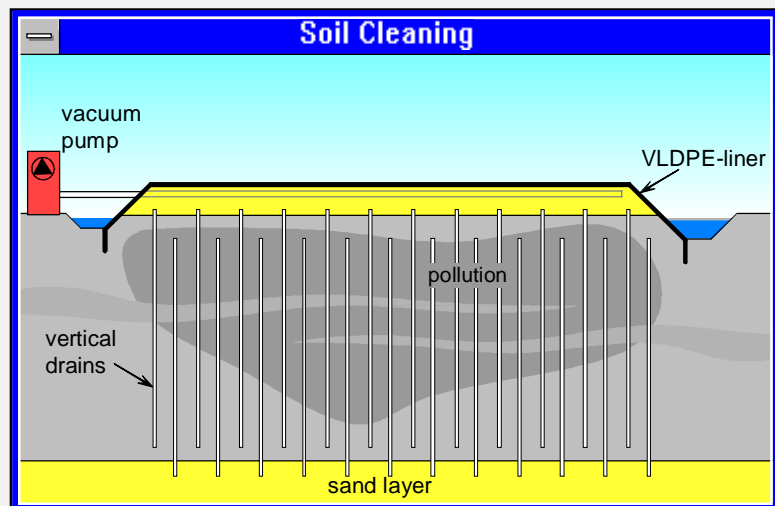
Ook vervuild havenslib dient in geïsoleerde depots te worden opgeslagen. Dit slib bezit een bijzonder hoog watergehalte dat een groot deel van de beschikbare dure opslagruimte in beslag neemt.

Met een Mebradrain® systeem al dan niet gecombineerd met een voorbelasting, kan de capaciteit van een depot aanzienlijk uitgebreid worden. De drains kunnen met behulp van speciale apparatuur vanaf het sliboppervlak tot in de boven de folieafdichting aangebrachte sliblaag geplaatst worden. Door deze drainagelaag te bemalen treedt er versnelde inklinking van het slib op. Afhankelijk van het type slib kan de opslagcapaciteit met 50% uitgebreid worden.

3.6.3. Grondreiniging

Een van de goedkoopste methodes om grond te reinigen is de in situ spoelmethode: een verticaal drainagesysteem waarbij de drains om en om aangesloten zijn op de dieperliggende zandlaag en om en om op een opgebrachte drainagelaag. Het geheel wordt vervolgens aangesloten op een vacuümsysteem. Het diepe grondwater wordt door de drains omhoog gezogen, zoekt zijn weg door de vervuilde grond en vervolgt zijn weg via de ernaast gelegen drain naar de oppervlakte, waar het grondwater gereinigd wordt met een mobiele zuiveringsinstallatie.

Mebradrain is gemaakt van polypropyleen, een materiaal dat een uitstekende bestendigheid bezit tegen een groot aantal chemicaliën.

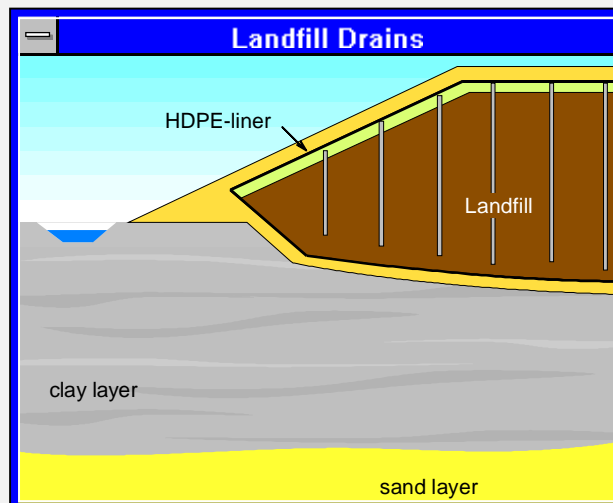


3.6.4. Ontgassing

In vuilstortdepots ontstaan bij het ontbinden van organisch afval allerlei gassen. Dit stortgas bestaat voornamelijk uit methaan (60%) en kooldioxyde (39%). Het gas treedt langzaam uit en wordt veelal afgevangen met behulp van een ingewikkeld buizensysteem, om te voorkomen dat de bovenafdekking van het depot wordt aangetast.

Met behulp van een verticaal drainagesysteem kan het uittreden van gas op een relatief goedkope manier versneld worden. Zettingen in depots worden in korte tijd gerealiseerd, waardoor de afdekking van het depot snel aangebracht kan worden. De verticale drain worden aangesloten op een gasafvangsysteem dat aangebracht wordt onder de bovenafdichting van het depot. Een tweede voordeel van een verticaal drainage systeem is het afvoeren van percolaat naar de drainagebuizen onder in het stort. Vaak ontstaan in een stort slecht doorlatende horizontale lagen die voorkomen dat dit percolaat naar beneden kan draineren, waardoor het in de taluds uittreedt. De verticale drains vormen een vrije weg voor verticaal transport.

Zowel de kern als het filter van Mebradrain® zijn gemaakt van polypropyleen, een stof met een uitstekende chemische bestendigheid. Bij het installeren moet er goed op gelet worden dat de installatiemachine de folie niet beschadigt. Er moet minimaal een afstand van 2 meter tussen het uiteinde van de lans en de afdichting aangehouden worden.



4. Eisen

De eisen waaraan een prefabdrain zal moeten voldoen hangt in grote mate af van de volgende omstandigheden:

- Grootte van de zetting
- Tijdsbestek waarin de zetting plaatsvindt
- Lengte van de drain
- Grootte van de ophoging
- Wijze van installeren

Te allen tijde moet de benodigde afvoercapaciteit ten behoeve van het poriënwater gegarandeerd worden om een optimaal verloop van de zettingen te verzekeren. In Nederland zijn de eisen die aan prefabdrains gesteld worden samengevat in een Classificatieschema dat opgesteld is door de werkgroep "Verticale drainage" van het C.R.O.W. Door deze werkgroep zijn onder meer de volgende eisen geformuleerd:

| | |
|-----------------------|----|
| Treksterkte Kern | 17 |
| Treksterkte Filter | 18 |
| Afvoercapaciteit | 18 |
| Permittiviteit Filter | 18 |
| Grondichtheid | 19 |

4.1. Sterkte van de drain

Tijdens het installeren kunnen er grote krachten in het materiaal optreden. Vooral wanneer gebruik wordt gemaakt van een dragline met trilblok voor het installeren van de drains kan een grote versnelling optreden die overgebracht moet worden op de rol. Dit gaat gepaard met grote krachten die opgevangen moeten worden door de sterkte en de rek van het materiaal. Ook de diameter van de geleiderollen is van groot belang. In het verleden ontstonden bij prefabdrains met een papieren filter nogal eens beschadigingen in het filtermateriaal die meestal niet zichtbaar waren doordat de drain tijdens de installatie aan het oog onttrokken was. Vooral de lage rek van het filterpapier was hier debet aan. Daarom worden de volgende mechanische eisen aan de drain gesteld:

$$\begin{array}{lll} \text{Rek drain} & e_d & \geq 2\% \\ \text{Sterkte drain} & F_d & \geq 0.5 \text{ kN} \\ \text{Rek drain bij } 0,5 \text{ kN} & e_{0,5\text{kN}} & \geq 10\% \end{array}$$

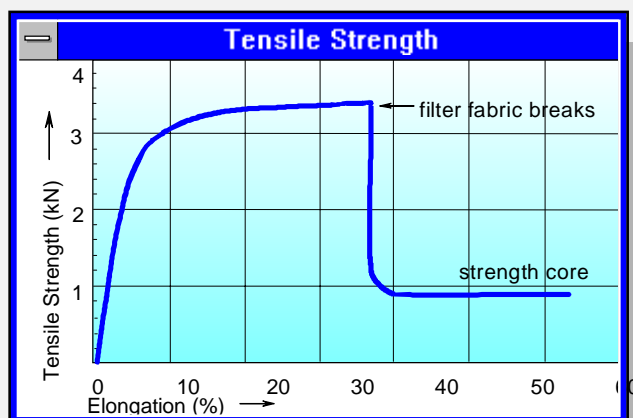
Wat betreft de heistelling geldt het volgende:

$$\text{diameter geleiderollen} > 150 \text{ mm}$$

4.2. Sterkte van het filter

Het filter mag tijdens het consolidatieproces niet in de groeven van de drain gedrukt worden en moet daarom in natte toestand zijn sterkte behouden. Daar de belasting van het filter sterk afhankelijk is van de configuratie van de kern is hiervoor geen minimum waarde vast te stellen. Daarom wordt gesteld dat het filtermateriaal bij een maximale celdruk van 300 kPa tijdens de hierna genoemde doorstroomproef niet mag bezwijken. Bovendien moet het filter strak om de kern zitten. Dit om indringen van het filter in de afvoerkanalen te voorkomen.

$$\text{Treksterkte van het filtervlies } F_f > 6 \text{ kN/m}$$



4.3. Doorstroomcapaciteit prefabdrain

Bij berekening van verticale drainagesystemen wordt ervan uitgegaan dat de weerstand in de drain nul is. De doorstroomcapaciteit wordt bepaald door het vrije volume van de drain. Het vrije volume wordt beïnvloed door de samendrukking van de kern en het indrukken van het filter in de kanalen ten gevolge van de horizontale gronddruk. Afhankelijk van de lengte van de drain, ophoogsnelheid, samendrukking en uiteindelijke belasting zal de afvoercapaciteit van een prefabdrain (q_w) globaal moeten voldoen aan de volgende eisen:

Drainlengte < 10 m en geen stabiliteitsproblemen:

$$\begin{aligned} q_{w(\text{gestrekt})} &> 10 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} = 315 \text{ m}^3/\text{jaar} \\ q_{w(\text{geknikt})} &> 7.5 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} = 236 \text{ m}^3/\text{jaar} \end{aligned}$$

Drainlengte > 10 m en/of stabiliteitsproblemen:

$$\begin{aligned} q_{w(\text{gestrekt})} &> 50 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} = 1575 \text{ m}^3/\text{jaar} \\ q_{w(\text{geknikt})} &> 32.5 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} = 1183 \text{ m}^3/\text{jaar} \end{aligned}$$

De afvoercapaciteit van prefabdrains wordt vastgesteld volgens de in hoofdstuk "labtesten" omschreven methode.

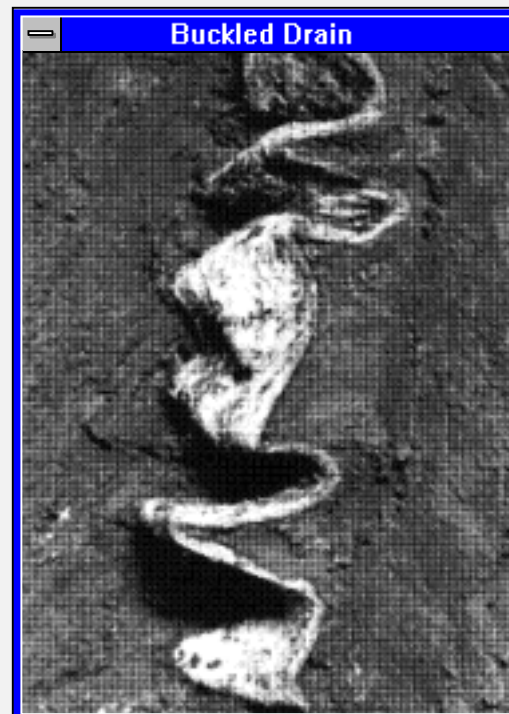
4.4. Doorlatendheid filter

Het poriënwater moet zonder al te veel weerstand te ondervinden de drain binnen kunnen dringen. Proeven met filters worden altijd uitgevoerd met schoon water en een schoon filter. Voor doorlatendheid wordt tegenwoordig meestal de permittiviteit als rekenwaarde beschouwd ($Y = k_f/d_f$). Tengevolge van het uittreden van gronddeeltjes zal het filter echter snel dichtslibben waardoor de permittiviteit met een factor 1000 kan afnemen. De permittiviteit van het filter moet daarom een factor 1000 groter zijn dan de meest doorlatende grondsoorten waarin verticale drainage wordt toegepast.

Het criterium voor het filter wordt dan:

$$Y > 5 \times 10^{-3} / \text{s}$$

De permittiviteit wordt vastgesteld conform NEN 5167.



4.5. Gronddichtheid

Meegevoerde gronddeeltjes mogen het filter niet verstopen en niet bezinken in de afvoerkanalen van de drains. Als filtercriterium kan gesteld worden dat :

$$O_{90} < 2 \times D_{90}$$

Waarin O_{90} aangeeft dat 90% van de deeltjes met een bepaalde maat wordt tegengehouden en D_{90} aangeeft dat 90% van de gronddeeltjes kleiner zijn dan de aangegeven maat.

Voor de meeste niet erosiegevoelige gronden kan als criterium worden aangehouden dat:

$$O_{90} < 160 \mu m$$

Voor erosiegevoelige klei- en siltgronden zoals havenslib is een dichter filter gewenst. In dat geval wordt als criterium aangenomen dat:

$$O_{90} < 80 \mu m$$

De gronddichtheid van een filter wordt bepaald volgens NEN 5168.

4.6. Samenvatting

Nevenstaande tabel geeft een samenvatting van eisen die gesteld worden aan een eenvoudige drain die voldoet aan klasse I en een drain die valt onder de zwaarste klasse, klasse III. Geotechnics Holland heeft de eigenschappen van al zijn drains afgestemd op het classificatieschema, waardoor de goede werking van de drain gegarandeerd is.

Referenties:

Systematic quality control of vertical drainage
W.F.J. de Jager, J.P. Oostveen, 4th Int. Conf. on Geosynthetics, The Hague 1990

| Wick Drain Requirements | | | |
|-----------------------------------|------------|------------------------|-------------------|
| Test | Symbol | Eis | Eenheid |
| Sterkte drain: | | | |
| Rek filter | e_t | >2 | % |
| Treksterkte drain | F_f | >0.5 | kN |
| Rek bij 0.5 kN | $e_{0.5}$ | <10 | % |
| Afvoercapaciteit: | | | |
| Gestrekt (300 kN/m ²) | q_w | >50x10 ⁻⁶ | m ³ /s |
| Geknikt (200 kN/m ²) | q_w | >32.5x10 ⁻⁶ | m ³ /s |
| Filter eigenschappen: | | | |
| Permittiviteit | Υ | >5x10 ⁻³ | s ⁻¹ |
| Gronddichtheid | O_{90} | <80 | μm |

5. Installatie

5.1. Algemeen

Om beschadiging en versmering van de drain te voorkomen wordt de prefabdrain geïnstalleerd met behulp van een stalen buis. De doorsnede van deze buis wordt zo klein mogelijk gekozen om de weerstand tijdens het installeren laag te houden en verstoring van de ondergrond te vermijden. In de loop der tijden zijn er talloze verschillende machines geconstrueerd om deze buis zo snel mogelijk op en neer te bewegen. In grote lijnen kunnen deze machines, de zogenaamde drainstitchers, verdeeld worden in twee groepen: de statische machines, die de lans in de grond drukken en de dynamische machines die de lans trillend in de grond brengen. Onderzoek naar het effect van beide systemen heeft geleerd dat de wijze van inbrengen geen invloed heeft op de uiteindelijke werking van de drain. In de volgende hoofdstukken worden de voor- en nadelen van deze systemen besproken.

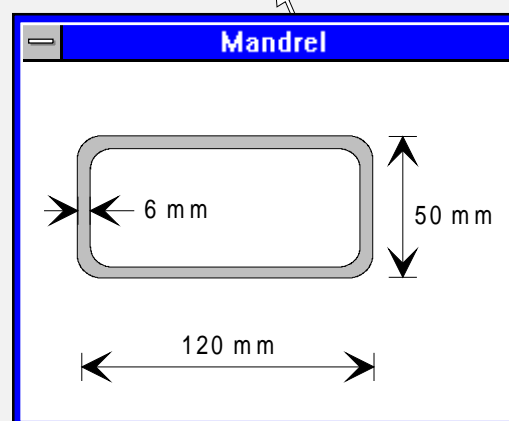
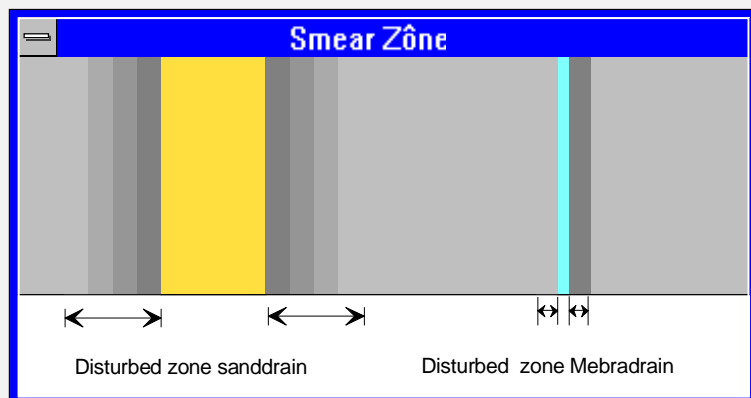
Afhankelijk van het inbrengsysteem, de ondergrond en de omstandigheden kan de dagproductie variëren van 1.000 tot 10.000 m. In nevenstaande grafiek is de invloed van de inbrengdiepte op de productie weergegeven. Daar de installatiekosten minstens 50% uitmaken van de totale kosten, blijkt dat hele korte drains of hele lange drains relatief aanzienlijk duurder uitvallen. Bij korte drains speelt bovendien de prijs van het ankerplaatje mee.

5.2. Drukken

De verscheidenheid van machines die installatie buizen de grond indrukken is groot. Bij de eerste machines werd een qua doorsnede ruitvormige lans met behulp van kettingen door een rollen geleiding getrokken. De vrij slappe inbrenglans diende over de volle lengte ondersteund te worden. Daarna zijn er drainstitchers ontworpen die met behulp van een staalkabel, aangedreven door een hydraulische lier of cilinder, de buis de grond in trekken. Ook hier zijn voorzieningen nodig om de kniklengte te beperken.

Daarnaast zijn er machines ontwikkeld die met een directe aandrijving de lans naar beneden drukken. Hiertoe behoort de rollenstelling, waarbij met behulp van

| | |
|-----------|----|
| Algemeen | 20 |
| Drukken | 21 |
| Trillen | 22 |
| Voorboren | 22 |
| Offshore | 23 |



rubberen of stalen wielen de lans naar beneden beweegt of de tandheugelstelling, waarbij een op de lans gelaste tandheugel door een hydromotor met tandwiel aangedreven wordt. Bij het laatste type stelling is de kniklengte beperkt tot 1 m waardoor er geen ondersteuning van de lans nodig is en de stelling lichter uitgevoerd kan worden.

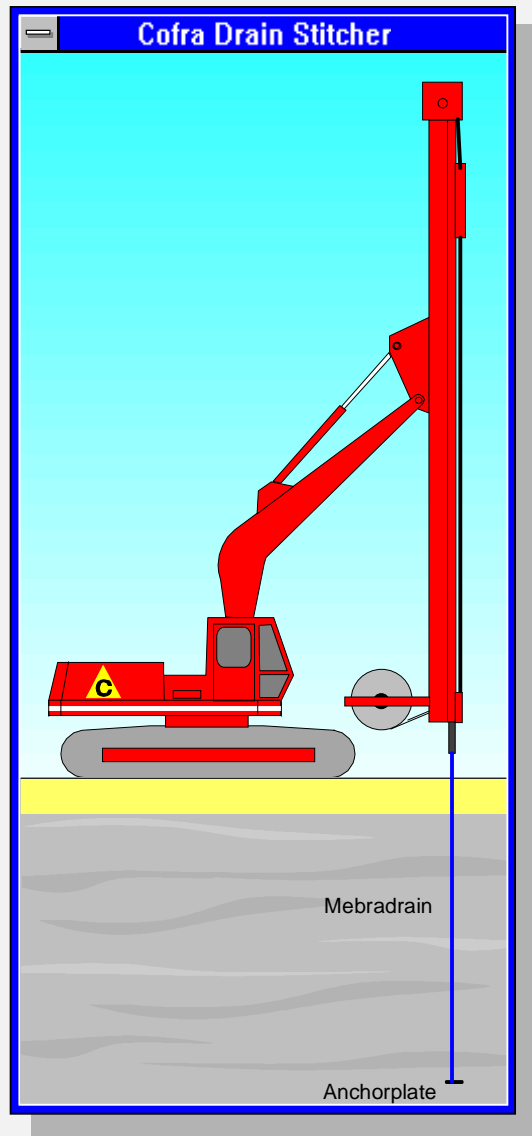
Het inbrengprincipe verloopt als volgt:

1. Het uiteinde van een rol stripdrain, die aan de zijkant van de stelling is aangebracht, wordt in de stelling omhoog gebracht, over een geleiderol gevoerd en naar beneden in de lans geleid. Onderaan de lans wordt de drain voorzien van een ankerplaatje dat tegen de onderzijde van de lans getrokken wordt.
2. De lans wordt in de grond gedrukt met een kracht die varieert van 50 kN tot 200 kN. Zodra de vereiste diepte bereikt is, wordt deze direct weer omhoog getrokken, om te voorkomen dat de zachte bodem in de lans gedrukt wordt. Door de cohesieve werking van de grond blijft de ankerplaat waaraan de drain bevestigd is in de grond achter.
3. Zodra de onderzijde van de lans omhoog is getrokken, wordt de drain afgeknipt, waarna er een nieuw ankerplaatje bevestigd wordt. De stitcher wordt naar het volgende inbrengpunt verzet en de cyclus herhaalt zich.

Rollen drains kunnen aan elkaar gelast worden door de draineinden in elkaar te schuiven en vast te nieten. Op deze wijze is een continu proces mogelijk. De drainstelling moet altijd verticaal blijven. Elke afwijking van de verticaal kan op grotere diepte afwijkingen veroorzaken in het drainstramien, met het gevolg dat verstoringen in het consolidatie-proces optreden.

5.3. Trillen

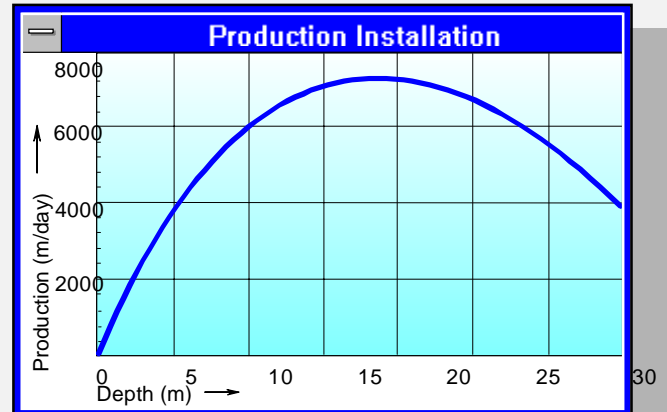
Ook vibratiestellingen komen in diversen vormen voor. Het trilblok kan zowel centrisch als excentrisch op de lans geplaatst worden. Hydraulische en elektrische trilblokken kunnen toegepast worden en ook hoogfrequente trilblokken komen steeds meer voor. Elektrische trilblokken hebben echter als nadeel dat de rem zeer snel slijt door het veelvuldig aan- en uitzetten van het trilblok. Voordeel van het toepassen van trilblokken is dat er hardere grondlagen mee kunnen worden gepenetreerd.



Een nadeel is echter dat de drain beschadigd kan worden wanneer de lans met trilblok plotseling in een slappe laag naar beneden valt en de drainrol de versnelling niet kan volgen. Er ontstaan dan te grote spanningen op de drain waardoor het filter kan scheuren. Dit komt meestal niet aan het licht omdat de drain grotendeels aan het oog onttrokken is. Bovendien is de installatie capaciteit laag terwijl de inbrengkosten hoger zijn. Al deze zaken hebben ertoe bijgedragen dat trilstellingen steeds minder worden gebruikt.

Een nieuwe ontwikkeling is het toepassen van een trilnaald in de punt van een lans, waarmee harde lagen doorboord kunnen worden.

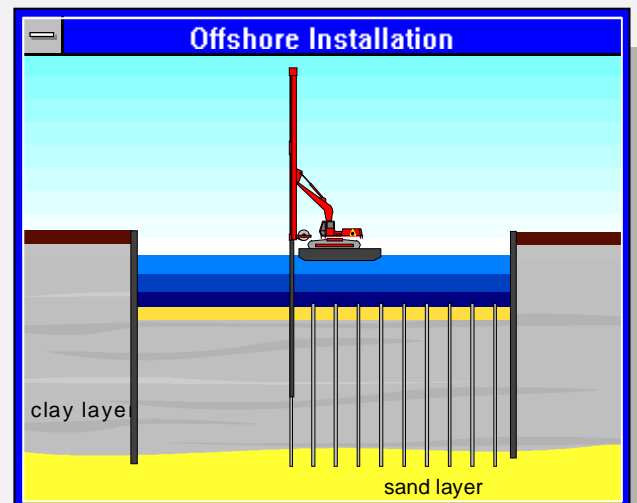
De inbrengprocedure bij trilstellingen is hetzelfde als bij drukstellingen.



5.4. Offshore

Veel verticaal drainage werk wordt tegenwoordig geïnstalleerd vanaf het water. Het dempen van oude havens of zeearmen om nieuw land te creëren wordt steeds meer toegepast als oplossing voor ruimtegebrek. Een ponton met daarop een drainstelling wordt als werkplatform gebruikt. De positie van het ponton wordt gecontroleerd om een doorlopend drainstramien te creëren. In tegenstelling tot installatie op het land, wordt de drain van tevoren op lengte afgekort en aan de onderzijde in de lans gevoerd. Dit heeft het voordeel dat de drain aangebracht kan worden vanaf de inbrengdiepte tot aan de bodem van de haven. De drains hoeven niet onder water afgeknipt te worden en er zweven geen lange uiteinden in het water.

Met behulp van speciale apparatuur is het mogelijk om drains in slibputten te plaatsen. In dit geval wordt geen ponton gebruikt maar is de stichter voorzien van grote pontonrupsen waarmee de machine zich over het slib kan voortbewegen.



5.5. Voorboren

Harde lagen aan de oppervlakte worden meestal voorgeboord. Als drainagelaag wordt vaak verdicht gravel of zand gebruikt. De voertuigen waarmee dit materiaal aangevoerd wordt, rijden over de drainagelaag en vergroten daarmee de verdichting. Voorboren met behulp van een avegaar of voorspuiten is meestal goedkoper dan langdurig trillen met een drainagestelling. Voorboren voorkomt vertraging in de installatie.

6. Berekeningsmethode

Het principe van verticale drainage is betrekkelijk eenvoudig. De theoretische beschrijving van het werkingsmechanisme is complex. Het vaststellen van de drainafstand wordt in het algemeen berekend met behulp van onderstaande formule van Barron.

$$C_h = D^2/8t [\ln D/d - 3/4 + 1/4(d/D)^2] \ln (1-U)^{-1} \quad (2)$$

waarin:

- t = consolidatie tijd (s)
- C_h = consolidatie coëfficiënt voor horizontale afstroming
- d = draindiameter (m)
- D = diameter van de invloedzone van de drain (m)
- U = gemiddelde consolidatiegraad bij horizontale afstroming

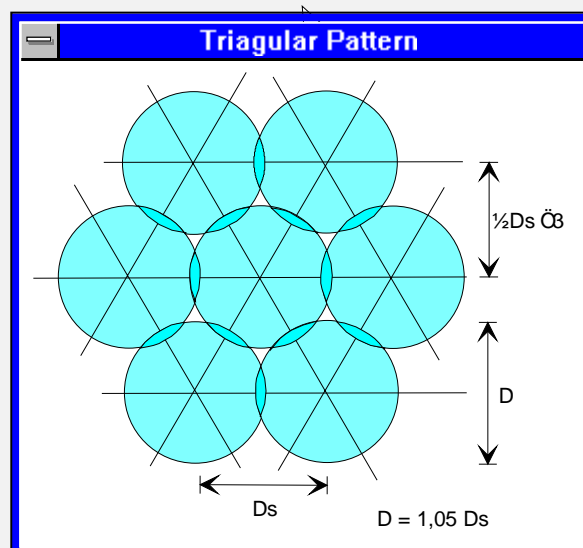
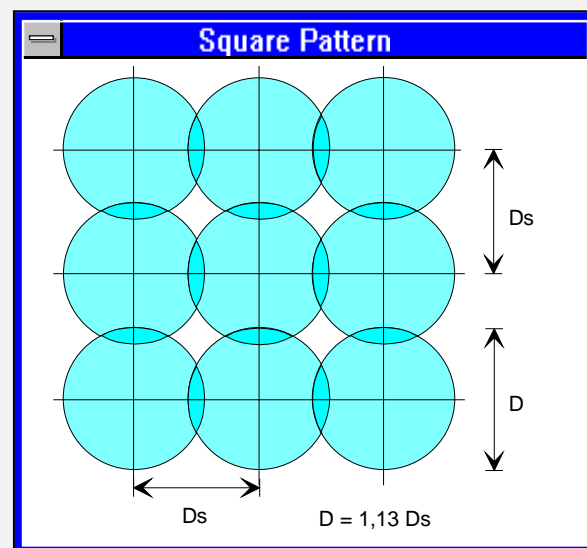
De C_h -waarde wordt bepaald wordt afgeleid uit laboratoriumonderzoek op grondmonsters. Samen-drukkingsonderzoek met behulp van de Vt-methode van Taylor is hierbij de meest toegepaste methode. Uit de bij dit onderzoek gevonden C_v -waarde wordt de C_h -waarde herleid. Bij kleigrond is $C_h = 1$ à $4 C_v$. Drains worden over het algemeen geplaatst in een driehoekig stramien. De diameter van de invloedzone (D) in de formule (2) is echter gebaseerd op het bestaan van een grondcilinder. De aan te houden drainafstand is daarom bij een driehoekig stramien 1,05. Bij een vierkant stramien is dit 1,13 maal kleiner dan D.

De draindiameter (d) wordt in de formule beschouwd als een ronde drain. De equivalent diameter van de Mebradrain® is theoretisch $d = \text{omtrek}/\pi$. Bij een breedte van 100mm en een dikte van 3 mm betekent dit een d van 65mm. Afstroming van een platte drain wordt echter nadelig beïnvloed vergeleken met afstroming naar een ronde drain. Daarom wordt als draindiameter over het algemeen een waarde van 50mm aangehouden.

De gemiddelde consolidatiegraad (U) wordt meestal uitgedrukt in een percentage of een getal tussen 0 en 1. $U = 0.9 = 90\%$ consolidatie.

Uit ervaring blijkt dat de drainafstand meestal groter is dan 1m. Dit betekent dat $(d/D)^2$ voor Mebradrain® met een d van 0.05m kleiner is dan $2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ en dus nauwelijks van invloed zal zijn op de uitkomst van de berekening. Daarom kan met de vereenvoudigde formule worden volstaan:

$$C_h = D^2/8t (\ln D/d - 3/4) \ln (1-U)^{-1} \quad (3)$$



In deze formule wordt er ondermeer vanuit gegaan dat de drainafvoerweerstand nul is. Mebradrain® heeft echter een beperkte afvoercapaciteit ($q_w = 10^{-4}$ tot $10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$) die de consolidatietijd vooral bij lange drains behoorlijk kan beïnvloeden. De afvoer capaciteit kan, volgens de theorie van Hansbo, als volgt in de formule betrokken worden:

$$C_h = D^2/8t [\ln D/d - 3/4 + p \cdot z(2L-z)k_c/q_w] \ln(1-U)^{-1} \quad (4)$$

waarin:

z = afstand tot het afstromingspunt (m)

L = lengte van de drain bij éézijdige afstroming (m) (halve lengte bij tweezijdige afstroming)

k_c = doorlatendheid van de grond (m/s)

q_w = afvoercapaciteit van de drain (m^3/s)

De afvoercapaciteit (q_w) van de Mebradrain® is ca. $5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, ca 10 maal zo groot als een zandpaal met een diameter van 300mm. De doorlatendheid van sterk samendrukbare grond (k_c) varieert van 10^{-7} tot 10^{-11} m/s . Nevenstaande tabel geeft de k -waarden en de verhouding k_c/q_w in de orde van grootte weer voor verschillende grondsoorten. Hierbij is uitgegaan van een q_w van $10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$.

De afvoercapaciteit van de drain zal van invloed zijn op het verloop van de consolidatie wanneer de verhouding is $k_c/q_w > 10^{-4} \text{ m}^2$. Voor Mebradrain® betekent dit dat bij een grondsoort met een doorlatendheid $> 10^{-9} \text{ m/s}$ het consolidatieproces wordt beïnvloed.

Formule (4) geeft de mogelijkheid op een bepaalde diepte z de consolidatie voor horizontale afstroming te bepalen. Het verloop van de gemiddelde consolidatie over de dikte van het lagenpakket is gelijk aan de consolidatie op een diepte die varieert van 0,3 tot 0,5 l . Wanneer als gemiddelde waarde $z=0,4l$ wordt gesubstitueerd in formule (4) wordt de volgende formule verkregen.

$$C_h = D^2/8t [\ln D/d - 3/4 + p0,64L^2k_c/q_w] \ln(1-U)^{-1} \quad (5)$$

Aan belangstellenden stellen wij een MSDOS rekenprogramma, gebaseerd op de berekenings-theorie van Barron beschikbaar voor het calculeren van de meest economische drainafstand. Met behulp van dit programma wordt simultaan de gemiddelde consolidatiegraad berekend voor verticale- en horizontale afstroming. Ook wordt met behulp van de theorie van Carrillo de gemiddelde consolidatiegraad berekend voor het gecombineerd optreden van verticale- en horizontale afstroming.

| Soil Permeability | | |
|-------------------|----------------------|----------------------------|
| Grondsoort | k (m/s) | k_c/q_w (m^2) |
| Grof zand | $10^{-2} - 10^{-3}$ | 1000 - 1000 |
| Zand | $10^{-3} - 10^{-4}$ | 100 - 10 |
| Fijn zand | $10^{-4} - 10^{-5}$ | 10 - 1 |
| Leemachtig zand | $10^{-5} - 10^{-6}$ | 1 - 10^{-1} |
| Zanderig leem | $10^{-6} - 10^{-9}$ | $10^{-1} - 10^{-4}$ |
| Veen | $10^{-7} - 10^{-9}$ | $10^{-2} - 10^{-4}$ |
| Klei | $10^{-9} - 10^{-11}$ | $10^{-4} - 10^{-6}$ |

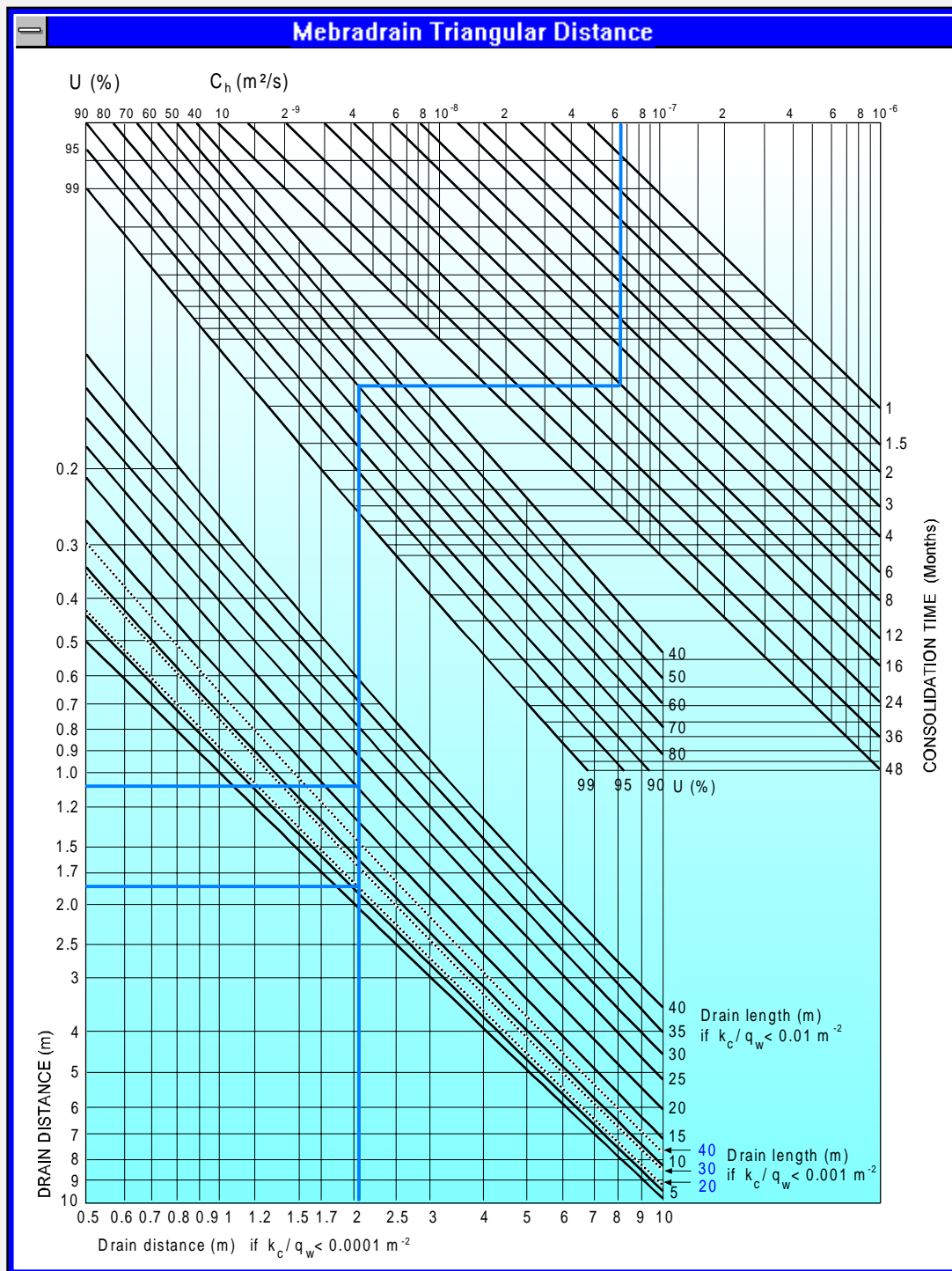
Formule (5) is uitgewerkt in onderstaande grafiek. De blauwe lijn geeft een voorbeeld van hoe de grafiek gebruikt kan

Literatuur:

Barron R.A. (1948) 'Consolidation of fine-grained soils by drain wells', Trans Am. Soc. Civ. Engrs, 113, Paper 2346, 718-54.

Hansbo, S (1981) 'Consolidation of fine-grained soils by prefabricated drains', Proceedings, 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Volume 3, Stockholm pp 677-82.

Carrillo, N (1942) 'Simple two- and three-dimensional cases in the theory of consolidation of soils, Math. & Phys, 21, 1-5.



7. Labtest

De eigenschappen en werking van Mebradrain® zijn bestudeerd in onafhankelijke laboratoria. Van deze testen, waarbij de afvoercapaciteit van de drain zowel in gestrekte als geknikte vorm vastgesteld is, zijn rapporten beschikbaar. Bovendien is een uitvoerige rapportage beschikbaar van testvelden en gerealiseerde projecten

7.1 Samendrukkingsproeven

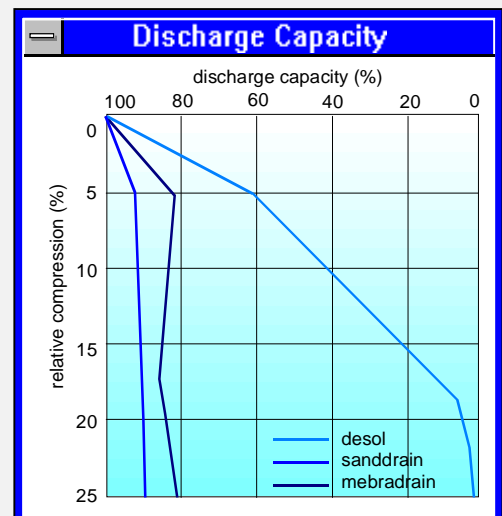
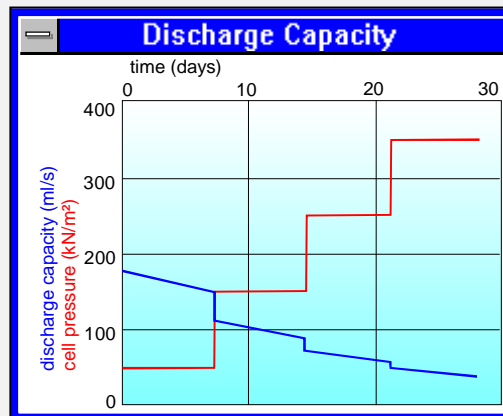
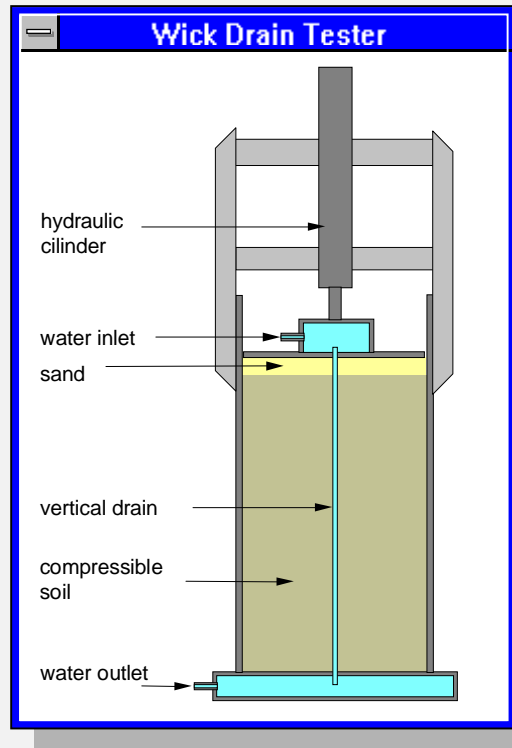
Om op een praktische manier een inzicht te krijgen in het gedrag van Mebradrain® in samendrukbare grond is met behulp van een proefopstelling een aantal samendrukkingsproeven uitgevoerd met verschillende typen drains.

Deze proefopstelling bestond uit zes stalen cilinders Ø500 mm en 1200mm hoog. In de aslijn werd een drain gespannen, waarna de cilinder gevuld werd met een laag slappe grond met daarop een laag filterzand. De drain werd aan de onderzijde vastgeklemd in de bodemplaat. Aan de bovenzijde werd de drain door een stalen deksel gevoerd die met behulp van een hydraulische cilinder belast kon worden met een druk van 70 kPa.

De luchtkamers onder- en bovenin de testopstelling werden gebruikt om de stijghoogte, de hoeveelheid consolidatie water en de afvoerweerstand van de drain te meten.

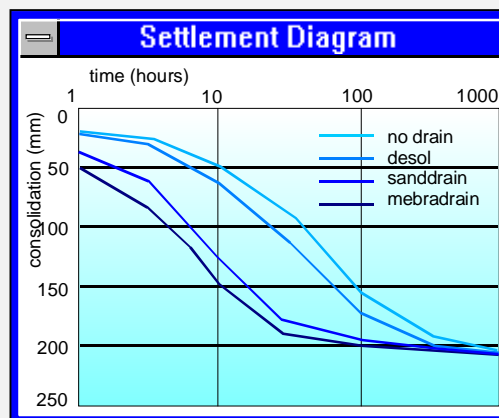
Er werden proeven uitgevoerd met diverse types verticale drains en een 50 mm zandpaal. De gebruikte slappe grond bestond uit slappe klei, veen of havenslib. Afhankelijk van de toegepaste grondsoort werden relatieve zettingen bereikt van 25 tot 50%. In nevenstaand zetting/tijdsdiagram is het resultaat weergegeven van een proef met veen.

Er is een aanzienlijk verschil in het verloop van de zettingen. Eén van de oorzaken voor het achterblijven van zetting bij bepaalde drains is gelegen in het feit dat de drains ten gevolge van de verticale samendrukking vouwen en een groot gedeelte van hun afvoercapaciteit verliezen. In figuur "Vertical Discharge" is deze teruggang grafisch weergegeven. Het aantal knikken in de drain is sterk afhankelijk van z'n stijfheid. Vooral bij stijve drains zoals Desol ontstaat een scherpe knik die de afvoerkanalen volledig dichtdrukt.



7.2 Doorstromingsproeven

Door de TU-Delft is een proef ontwikkeld waarbij een 300mm lang drainmonster zowel in gestrekte als geknikte vorm op doorstroming onderzocht kan worden. Het drainmonster wordt daartoe in een dunne latexfolie gehuld en geplaatst in een druk-tank. Door de druk in de tank en het debiet te variëren kunnen praktijkomstandigheden gesimuleerd worden. Om ook de invloed van een langdurige belasting op de drain te meten is de proef uitgesmeerd over een periode van 30 dagen, waarbij de belasting stapsgewijs wordt opgevoerd van 50, 150, 250 naar 350 kPa. De testresultaten zijn gerelateerd aan een watertemperatuur van 20°C. Nevenstaande grafiek geeft het resultaat weer van deze proef op een Mebradrain® type MD7007.

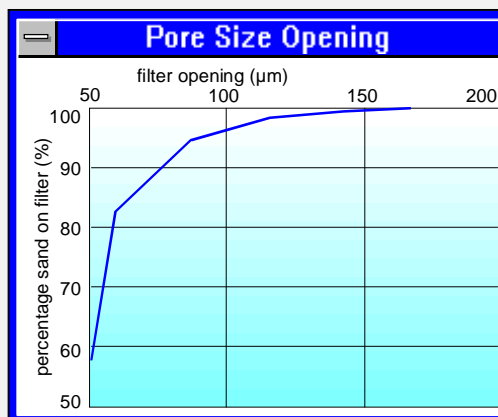


7.3 Grondichtheid filter

De grondichtheid van het filter wordt vastgesteld aan de hand van NEN 5168. Droge stof verdeeld in fracties met de volgende afmetingen:

- 150 - 180 mm
- 125 - 150 mm
- 106 - 125 mm
- 75 - 106 mm
- 53 - 75 mm

wordt door het filter gezeefd waarbij een korrelverdelingsdiagram wordt samengesteld van deeltjes die door het filter gaan. De maat van die deeltjes waarvan 90% op het filter achterblijft noemen we O_{90} . Voor het filtervlies van Mebradrain type MD88 is het korrelverdelingsdiagram weergegeven in nevenstaande grafiek. Uit deze grafiek blijkt dat de gemiddelde O_{90} van dit vlies overeenkomt met 76 μ m.



7.4. Permittiviteit filter

De permittiviteit van het filter is onafhankelijk van de filterdikte en daardoor geschikter als bepaling voor de specifieke waterdoorlatendheid van het materiaal. Permittiviteit is de waterdoorlatendheid/filterdikte en wordt uitgedrukt in s^{-1} . ($\gamma = k/d$)
De permittiviteit van een filterdoek wordt volgens NEN 5167 gerelateerd aan de gemiddelde waarde bij een watertemperatuur van 10°C en een filtersnelheid van 10 mm/s. Het filter wordt onderworpen aan een waterstroom loodrecht op het filteroppervlak.

De toevoer wordt stapsgewijs opgevoerd, waarbij steeds het optredende verval dh over het kunststof-filter en het afvoerende debiet Q wordt gemeten. Uit de gevonden waarden wordt de waterdoorlatendheid (k -waarde) berekend in m/s.

7.5 Chemische bestendigheid

Zowel de kern als het vlies van Mebradrain® is gefabriceerd van polypropyleen (PP). Deze polymeer heeft een uitstekende chemische bestendigheid die vergelijkbaar is met HDPE. Nevenstaande tabel geeft de bestendigheid weer van PP bij een temperatuur van 20°C. Deze hoge bestendigheid tegen allerlei chemicaliën maakt Mebradrain® uitstekend geschikt voor milieutechnische toepassingen.

8. Besteksbepalingen

8.1 Algemeen

- 8.1.1. De relevante gegevens van het grondonderzoek zijn vermeld in de bijlagen van het bestek c.q. liggen ter inzage te
- 8.1.2. Het aanbrengen van verticale prefabdrains geschiedt vanaf een goed drainerende laag ter dikte van tenminste 0,5 m en met een korrelverdeling, overeenkomend met die van de drainagelaag ten behoeve van de zanddrains.
- 8.1.3. De verticale drains dienen volgens het op tekening aangegeven stramien te worden aangebracht.
- 8.1.4. De maximaal toegestane afwijking van de plaats van aanbrengen van een drain ten opzichte van het uitgezette punt is 0,15 m. De maximaal toegestane afwijking van de verticaal is 50:1, tenzij er obstakels aanwezig zijn zoals bovengrondse leidingen en funderingsresten.
- 8.1.5. Op die plaatsen waar het als gevolg van obstakels niet mogelijk is een drain aan te brengen, moet binnen een afstand van 0,15m een andere drain geplaatst worden.

| Chemical Resistance | |
|--------------------------|--------------|
| Agent | Effect |
| Acids | |
| Acetic | none |
| Chromic | none |
| Hydrobromic | none |
| Hydrochloric | none |
| Sulfuric | none |
| Phosphoric | none |
| Alkalis | |
| Ammonia | none |
| Sodium hydroxide | none |
| Sodium hypochlorite | none |
| Organic chemicals | |
| Acetone | none |
| Benzene | moderate |
| Cyclohexanone | none |
| Ethanol | none |
| Ethylene Glycol | none |
| Dimethyl | none |
| Gasoline | considerable |
| Methylene chloride | considerable |
| Trichloorethene | considerable |

8.1.6. De drains moeten worden aangebracht tot op de op tekening aangegeven diepte(n). De geprefabriceerde drains worden op 0,15 m boven de werkvloer afgesneden.

8.1.7. Tijdens de installatie moet de inbrengdiepte op de machine kunnen worden afgelezen.

8.1.8. Er dient een lijst bijgehouden te worden waarop het aantal, de lengte en de plaats van de drains en de datum van installatie zijn aangegeven.

8.1.9. De aannemer dient er van uit te gaan dat op het werk instrumentatie met een totale waarde van f aanwezig is. De aannemer dient er op toe te zien dat de instrumentatie ter controle van de ontwikkeling van de consolidatie tijdens de uitvoering van het werk niet wordt beschadigd. Ontstane schade wordt op aanzegging van de directie hersteld voor rekening van de aannemer c.q. de aannemer wordt beboet met een bedrag groot f voor ieder door zijn schuld in het ongereede geraakt instrument.

8.2.. PREFABDRAINS

8.2.1. Het werk is ingedeeld in categorie van de classificatie-indeling zoals omschreven in de publikatie "Verticale Drainage" van C.R.O.W. De op het werk toegepaste prefabdrains moeten voldoen aan de bij deze klasse behorende kwaliteitscriteria (tabel 8 uit de C.R.O.W. publikatie "Verticale drainage").

8.2.2. Prefabdrains die onder een erkende certificering met keurmerk overeenkomstig de voor het werk vereiste klasse worden geleverd en door de directie op het werk zijn geïnspecteerd, worden geacht te zijn gekeurd in de zin van par.18 van de AVW 1968.

8.2.3. Prefabdrains die van een producent worden betrokken die niet gerechtigd is om onder een erkend certificaat met keurmerk overeenkomstig de voor het werk vereiste

klasse te leveren, dienen per betreffende partij te worden geleverd volgens een partij-keuringssysteem, gebaseerd op NEN-ISO 9003.

Bij levering van een partij volgens een partijkeuringssysteem van een erkend keuringsinstituut dient aan de volgende punten te worden voldaan:

- type keuring, niet ouder dan 6 maanden conform de C.R.O.W. publikatie "Verticale drainage" en onderstaande tabel, is in overeenstemming met de voor het werk vereiste klasse.

- Tijdens de productie en bij levering op het werk wordt de kwaliteit van de drain gecontroleerd volgens de in de nevenstaande tabel aangegeven beproevingen en frequenties. Geen van de resultaten van deze controles zullen de in de tabel vermelde toelaatbare afwijking ten opzichte van de bij de typekeuring vastgestelde gemiddelde waarde overschrijden. Bij overschrijding van de toelaatbare afwijking wordt de gehele geproduceerde c.q. geleverde partij afgekeurd.

8.2.4 De apparatuur en de wijze van installeren behoeven de goedkeuring van de directie.

8.2.5 De drain mag door middel van trillen of drukken, worden ingebracht. In overleg met de directie mag in de harde lagen worden voorgeboord of gespoten.

8.2.6 De drain dient op de aangegeven diepte te worden verankerd.

8.2.7 Al het afvalmateriaal dat tijdens het werk ontstaat, dient van de bouwplaats te worden verwijderd. Eventueel omhoog gekomen slib moet worden afgevoerd.

8.2.8 Tijdens de opslag moet het drainmateriaal afdoende beschermd worden tegen weersinvloeden.

| Quality Control Scheme | | | | | |
|---------------------------|--------------|----------------|-------------------|------------------|------------|
| aspecten | type keuring | | fabrieks controle | controle op werk | toel. afw. |
| beproeving | norm | aantal proeven | 1 monster per | | |
| 1 geometrie van de kern | EN ISO 9863 | 5 | 2.000m | 10.000m | 5% |
| 2 massa kern per opper. | EN ISO 9864 | 5 | 2.000m | 10.000m | 10% |
| 3 massa filter per opper. | EN ISO 9864 | 5 | 2.000m | 10.000m | 25% |
| 4 massa drain per meter | EN ISO 9864 | 5 | 2.000m | 10.000m | 25% |
| 5 trekproef op drain | CROW publ. | 5 | 1.000km | — | 25% |
| 6 doorstroomproef | CROW publ. | 3 | 2.000km | — | 25% |
| 7 doorstroomproef geknikt | CROW publ. | 3 | 2.000km | — | 25% |
| 8 doorstroomproef filter | EN ISO 12958 | 3 | 1.000km | — | 25% |
| 9 grondichtheid filter | EN ISO 12956 | 3 | 1.000km | — | 25% |

9. Referentie Projecten

In de loop der tijd is door Geotechnics Holland een groot aantal projecten in alle continenten uitgevoerd Een aantal relevante projecten is hieronder weergegeven:

| | | |
|-----|---------------------------|--------------|
| '78 | Ringweg Amsterdam | 3.170.000 m |
| '81 | Basrah Airport Iraq | 3.200.000 m |
| '81 | IJzererts opslag Lissabon | 1.100.000 m |
| '83 | Bintulu haven Maleisië | 1.740.000 m |
| '84 | Spoorweg Jijel Algerije | 1.050.000 m |
| '84 | Annacis brug Vancouver | 1.420.000 m |
| '86 | Bombay haven, India | 2.000.000 m |
| '88 | Kanaaltunnel Calais | 2.200.000 m |
| '88 | Estevan dam Canada | 1.500.000 m |
| '89 | Highway Subang Jaya | 1.600.000 m |
| '90 | Highway Turku Finland | 925.000 m |
| '91 | Bonny terminal Nigeria | 1.270.000 m |
| '92 | Osaka Airport Japan | 1.500.000 m |
| '93 | Spoorweg Thailand | 6.000.000 m |
| '93 | Madras haven, India | 1.200.000 m |
| '99 | Changi Airport | 25.000.000 m |
| '00 | Bangkok Airport | 15.000.000 m |
| '01 | Tuas View | 20.000.000 m |
| '01 | Pulau Tekong | 26.000.000 m |
| '02 | Airbus Hamburg | 19.000.000 m |
| '02 | Escravos Nigeria | 5.500.000 m |

10 Rapporten

Geotechnics Holland BV heeft voor belangstellenden de volgende rapporten beschikbaar:

1. Diemen, Test sections in Highway 1.
2. Samendrukkingsproef Rotterdams havenslib.
3. Typar filterproeven, Delft Hydraulics.
4. Standard Drain Discharge Test, TU Delft
5. Mebradrain® Test Report, Frobel USA
6. Verticale Drainage, CROW/TU Delft
7. Vervorming van kunststof drains, v.d. Griend