

# Regulering vloeistof- drukken cruciaal bij aanleg HDDW

Ruben Rothuizen  
Visser & Smit Hanab



Gijsbert Cirkel  
KWR Watercycle  
Research Institute



**Figuur 1** Intrekken van de mantelbuis tijdens de pilot in Nieuwegein.

De voordelen die horizontale putten bieden ten opzichte van conventionele verticale putten en drains, maken HDDW voor specifieke toepassingen interessant. Zo kunnen er dunne watervoerende lagen aangeboord worden, is een grotere capaciteit mogelijk en is het filter goed regenererbaar. Belangrijke toepassingen zijn winning van drink- en industriewater, saneringen, WKO, verziltingbestrijding en inname van door de zeebodem gefiltreerd zeewater voor ontziltingsinstallaties [1].

Meer geotechnisch van belang is de mogelijkheid om door het ellipsvormige verlagingspatroon efficiënt waterspanningen te verlagen onder (bestaande) constructies, bouwputten en grondlichamen. Verder is uit de IJkdijk experimenten [3] gebleken dat het kunnen controleren van de waterstroom in of onder een dijklichaam een positief effect heeft op de macrostabiliteit van de dijk. Met HDDW kan met zeer beperkte vergravingschade een filter worden geplaatst, waarmee gericht gestuurd kan worden op de waterspanning in het betreffende grondlichaam. Dit in tegenstelling tot gangbare technieken zoals grindkoffers in de teen van de dijk. Bij een verhoogde waterspanning kan water onttrokken worden (en

bijvoorbeeld piping of verweking worden voorkomen) en bij een verlaagde waterspanning kan water geïnfiltreerd worden. Het laatste kan bij veendijken mogelijk de kans op bezwijken reduceren. Door een druk- en temperatuur meetsysteem in de HDDW aan te leggen, kan de waterspanning in de dijk online gemonitord worden en op de juiste tijden gestart worden met het infiltreren of onttrekken van water. Dijken zijn uiteraard cruciaal voor de veiligheid van Nederland. Boren in dijken wordt daarom logischerwijs zoveel mogelijk vermeden. Doordat bij een HDDW het boorgat volledig wordt opgevuld met zand zijn de zettingen in de dijk minimaal en kan het stoppen van het piping proces of verweking van de dijk opwegen tegen het eventuele boorrisico.

## Aanlegmethode

Een reguliere HDD-boring bestaat uit een pilot-boring, waarbij een boorgat met een kleine diameter gemaakt wordt. Boorvloeistof wordt tijdens de pilot het boorgat ingespoten, zodat het boorgat stabiel blijft en losgeboord materiaal afgevoerd wordt. Zodra deze succesvol is verlopen, wordt het boorgat geruimd. Dit houdt in dat het boorgat met een ruimer wordt vergroot tot de gewenste diameter. Tenslotte wordt de leiding

het boorgat ingetrokken en is de HDD-boring voltooid. Directe instorting van het boorgat na plaatsing van de leiding is hierbij niet noodzakelijk en vanuit het oogpunt van boorrisico zelfs onwenselijk. In de praktijk wordt aangenomen dat het boorgat binnen enkele dagen na aanleg van de leiding instort.

De aanleg van een onttrekkings- of infiltratieput door middel van HDD stelt extra eisen aan de uitvoering ten opzichte van een reguliere HDD-boring:

- Filters zijn vaak kwetsbaar en moeten met een beschermende mantelbuis worden aangebracht
- Deze mantelbuis moet na het intrekken weer uit het boorgat getrokken worden, waarbij de filterbuis in het boorgat blijft liggen.
- Na het boren moet de boorspoeling uit het filtertraject verwijderd worden om de doorlatendheid van de bodem tot op het oorspronkelijke niveau te herstellen.
- Rond het filter moet een omstorting worden aangebracht (natuurlijk of kunstmatig) om instroom van fijn zand te voorkomen.
- Bij toepassingen voor drinkwatervoorziening mogen er geen pathogene micro-organismen in contact komen met de put en mogen geen bacteriologische groei bevorderende stoffen worden gebruikt.

In dit artikel wordt uitgegaan van bentoniet als boorvloeistof. Organische (biologisch afbreekbare) boorvloeistoffen zijn ook getest, maar zijn voor drinkwatertoepassingen ongeschikt, omdat toepassing van deze stoffen sterke bacteriegroei kan veroorzaken.

Om een functionerend filter te verkrijgen is het zaak om al tijdens het uittrekken van de mantelbuis zoveel mogelijk bentoniet uit het boorgat te verwijderen en de opgebouwde filtercake (afpleistering van de boorgatwand) te beschadigen. Hiervoor is een speciale kop met messen ontworpen die aan het uiteinde van de mantelbuis is gemonteerd.

Laboratoriumproeven hebben aangetoond dat zodra er water (met een dispergeermiddel) door

## Samenvatting

Horizontal Directional Drilled Wells (HDDW) is een innovatieve methode om horizontaal onttrekkings- of infiltratieputten aan te leggen. De afgelopen vier jaar heeft een consortium bestaande uit Brabant Water, IF Technology, KWR Watercycle Research Institute, TU Delft, Visser & Smit Hanab, Vitens, Waternet en Wavin, de HDDW techniek ontwikkeld. De ontwikkeling van HDDW is financieel mogelijk gemaakt door een InnoWator subsidie verstrekt door Agentschap NL.

Na een breed scala aan lab- en veldproeven is in maart 2010 een succesvolle pilotproef uitgevoerd in Nieuwegein [2]. Tijdens deze pilot is een complex systeem van vloeistofdrukken geconstateerd door ondermeer het gebruik van een mantelbuis. Vooraf is hier onvoldoende rekening mee gehouden. Door een tijdige constatering en het komen tot een degelijke oplossing in het veld is de aanleg van de HDDW succesvol afgerond. In het voorliggende artikel wordt nader ingegaan op de aanlegmethode van horizontale putfilters door middel van HDD.

initiële beschadigingen in de filtercake kan stromen, dit het proces van bentonietverwijdering sterk versnelt. Als de filtercake instabiel wordt zal het boorgat instorten en kan het dispergeermiddel goed in contact komen met de overgebleven resten boorspoeling. Door hoge druk jetten en met hoge capaciteit afpompen wordt de gedispergeerde bentoniet vervolgens uit de formatie rond het filter verwijderd.

Naast de messen zijn er keringen bevestigd op de ontworpen kop, die de bentoniet tijdens het uittrekken het boorgat uitduwen en ervoor zorgen dat er geen bentoniet of zand tussen de filterbuis en mantelbuis kan stromen. Dit laatste is noodzakelijk om vastlopen en daarmee schade aan het filter te voorkomen. Tenslotte is de boorkop uitgerust met nozzles waarmee water met dispergeermiddel in het nog openstaande boorgat wordt gespoten. De destabilisatie van de boorgatwand zorgt ervoor dat het boorgat snel kan instorten achter de uitgetrokken mantelbuis.

De combinatie van de messen, keringen en toegepaste dispergent zorgen ervoor dat tijdens het uittrekken van de mantelbuis, het grootste deel van de bentoniet uit het boorgat wordt verwijderd en de filtercake efficiënt beschadigd wordt. Na het verwijderen van de fijne zandfractie en de overgebleven bentoniet uit de omringende grond door hogedruk jetten en onder hoge capaciteit afpompen, kan het filter zijn maximale capaciteit bereiken. Het verwijderen van de fijne zandfractie (bijv. < M50) resulteert in een geleidelijke overgang van grof zand rondom het filter naar het oorspronkelijke formatiemateriaal. Het creëren van een dergelijke 'natuurlijke omstorting' zorgt voor:

- grotere filtercapaciteit,
- minder zandlevering,
- verlaagde stroomsnelheden,
- minder kans op putverstopping.

Een alternatieve methode om een geleidelijke overgang rond het filter te maken is door het aanbrengen van een kunstmatige omstorting. Hierbij wordt niet de fijne zandfractie uit de omringende grond verwijderd, maar wordt zand met een grotere korrel diameter dan het omringende zand

in de annulus rond het filter ingebracht. Hiervoor zijn twee methoden ontwikkeld, die beide zorgen voor een controleerbaar gevuld boorgat:

- Prefab omstorting. Hierbij wordt voor het intrekken een laag zand om de filterbuis heen geplakt. Hierna wordt de filterbuis inclusief prefab omstorting in het boorgat getrokken.
- *In situ* omstorting. Hierbij wordt tijdens het uittrekken van de mantelbuis een zand-water mengsel in de nog openstaande annulus tussen filter en boorgatwand ingespoten.

Het opvullen van het boorgat tijdens het uittrekken van de mantelbuis wordt normaliter niet toegepast bij HDD-boringen. Dit voorkomt echter wel instorting van het boorgat en kan in zettingsgevoelige gebieden als binnensteden, (spoor)wegen of dijklichamen grote voordelen opleveren ten opzichte van reguliere HDD-boringen.

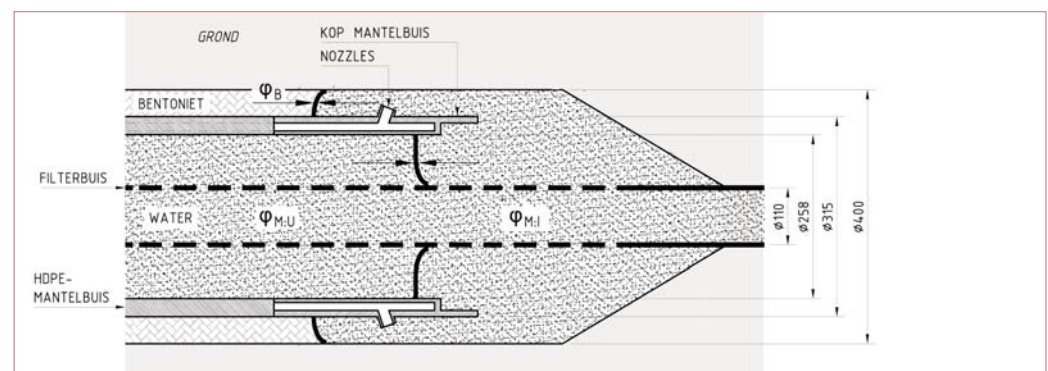
### Druk rond kop mantelbuis tijdens pilot

Tijdens een eerste proef is de filterbuis gebroken doordat er zand tussen de mantelbuis en de filterbuis instroomde, wat resulteerde in een verhoogde wrijvingsweerstand en vastlopen van de filterbuis. Na evaluatie van de boring is geconcludeerd dat het evenwicht van de druk die de verschillende vloeistoffen (water en bentoniet) in de omgeving van de kop van de mantelbuis uitoefenen, zeer gevoelig en complex is. Een schematisch overzicht van de boring met als detail de verschillende drukken rond de kop van de mantel-

buis is weergegeven in *figuur 2* en 3.

Een analyse van de optredende drukken rond de kop van de mantelbuis is gegeven in scenario 1 van het kader. Hieruit blijkt dat de stijghoogte in de bentoniet in de annulus rond de mantelbuis ( $\varphi_b$ ) maximaal 3,0 m hoger ligt dan de stijghoogte rond de kop van de mantelbuis ( $\varphi_{m;i}$ ). Door dit drukverschil kan het bentoniet-zand mengsel vanuit de annulus rond de mantelbuis over de keringen stromen richting het vrijgekomen filter. Dit kan vervolgens leiden tot terugstroom van bentoniet en zand in de ruimte tussen de mantel- en filterbuis. Bovendien kan de met de uitstroom van bentoniet gepaard gaande drukdaling in de annulus rond de mantelbuis leiden tot vroegtijdige instorting van het boorgat en het vastlopen van de mantelbuis. Bij deze berekening is uitgegaan dat de bij de nozzles opgebouwde druk volledig wordt omgezet in stroomsnelheid van het water en het drukverhogende effect van de nozzles hiermee verwaarloosd mag worden.

Om dit scenario bij de volgende boring te voorkomen zijn er maatregelen opgesteld, waardoor het evenwicht van drukken rond de kop van de mantelbuis beter gereguleerd kan worden. De eerste maatregel is het plaatsen van een overloop op de filterbuis. Door deze overloop op 3,60 m+NAP te plaatsen kan de stijghoogte in de mantelbuis verhoogd worden met ongeveer 3,1 m. Hiermee wordt het drukverschil over de keringen opge-



**Figuur 2** Detail van het boorgat bij de kop van de mantelbuis. De gedefinieerde drukken zijn  $\varphi_b$  (stijghoogte in bentoniet in annulus),  $\varphi_{m;u}$  (stijghoogte in de mantelbuis aan de uittredezijde) en  $\varphi_{m;i}$  (stijghoogte in de mantelbuis aan de intredezijde). Het boorgat is ingestort rond de filterbuis, nadat de mantelbuis is uitgetrokken.

## Stijghoogte berekeningen

De druk is op drie plaatsen gedefinieerd:

- stijghoogte in de bentoniet:  $\varphi_b$
- stijghoogte in de ruimte voor de mantelbuis rond het vrijgekomen filter:  $\varphi_{m;i}$
- stijghoogte in de mantelbuis voor de binnenste keringen:  $\varphi_{m;u}$

### Uitgangspunten voor de berekening

Maaiveld uittredepunt	$\varphi_1 = 1,26 \text{ m+NAP}$
Maaiveld intredepunt	$\varphi_2 = 0,50 \text{ m+NAP}$
Bentoniet niveau mudpit uittredepunt	$\varphi_3 = 0,76 \text{ m+NAP}$
Max. waterniveau mudpit intredepunt	$\varphi_4 = 0,50 \text{ m+NAP}$
Max. hoogte stijgleiding intredepunt	$\varphi_5 = 3,10 \text{ m+NAP}$
Slootniveau/schijngroundwaterspiegel	$\varphi_6 = 0,33 \text{ m-NAP}$
Stijghoogte watervoerend pakket	$\varphi_7 = 0,94 \text{ m-NAP}$
Max hoogte mantelbuis op rollenstellen	$\varphi_8 = 3,36 \text{ m+NAP}$
Max diepte boring	$\varphi_9 = 10,20 \text{ m-NAP}$
Soortelijk gewicht boorspoeling	$\rho_b = 1259 \text{ kg/m}^3$
Soortelijk gewicht water	$\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$

### Scenario 1: geen maatregelen

De stijghoogte in de bentoniet ( $\varphi_b$ ) wordt bepaald door het bentonietpeil in de mudpit en het verschil in dichtheid tussen bentoniet in water:

$$\begin{aligned}\varphi_b &= (\rho_b / \rho_w) * (\varphi_3 - \varphi_7) + (\varphi_9 - \varphi_7) * ((\rho_b - \rho_w) / \rho_w) \\ &= (1259 / 1000) * (0,76 + 0,94) + \\ &\quad (10,20 - 0,94) * ((1259 - 1000) / 1000) \\ &= 4,54 \text{ m} \\ &= 3,60 \text{ m+NAP}\end{aligned}$$

De stijghoogte in de ruimte rond het vrijgekomen filter ( $\varphi_{m;i}$ ) t.g.v. het maximale waterpeil in de mudpit aan intredezijde is:

$$\varphi_{m;i} = \varphi_4 - \varphi_7 = 0,50 + 0,94 = 1,44 \text{ m} = 0,50 \text{ m+NAP}$$

Opmerking hierbij is dat om deze stijghoogte te garanderen constant water aangevoerd moet worden in de mudpit, omdat anders de stijghoogte in de mantelbuis gelijk wordt aan de stijghoogte in het watervoerend pakket. Dit houdt in dat er verschil in stijghoogte van 3,10 m is. Dit kan resulteren in een stroming van bentoniet over de buitenste keringen en daaruit volgend een stroming van bentoniet tussen de filter- en mantelbuis in.

### Scenario 2: overloop en toevoeging van water aan de mantelbuis, boorgat open

De stijghoogte in de bentoniet blijft hetzelfde als bij scenario 1. Het stijghoogteverschil over de keringen in de mantelbuis wordt bepaald door de overloop aan de uittredezijde en het maximale mudpit niveau aan de intredezijde.

$$\varphi_{m;i} = \varphi_4 - \varphi_7 = 0,50 + 0,94 = 1,44 \text{ m} = 0,50 \text{ m+NAP}$$

$$\varphi_{m;u} = \varphi_8 - \varphi_7 = 3,36 + 0,94 = 4,30 \text{ m} = 3,36 \text{ m+NAP}$$

### Scenario 3 (ideale scenario): overloop en toevoeging water aan de mantelbuis, boorgat ingestort

De stijghoogte in de bentoniet blijft hetzelfde als bij scenario 1 en 2. Het stijghoogteverschil over de keringen in de mantelbuis wordt bepaald door de overloop aan zowel de intrede- als de uittredezijde. Er ontstaat een stroming, doordat de stijghoogte aan de uittredezijde hoger ligt dan aan de intredezijde.

$$\varphi_{m;i} = \varphi_5 - \varphi_7 = 3,15 + 0,94 = 4,09 \text{ m} = 3,15 \text{ m+NAP}$$

$$\varphi_{m;u} = \varphi_8 - \varphi_7 = 3,36 + 0,94 = 4,30 \text{ m} = 3,36 \text{ m+NAP}$$

Het verschil in stijghoogte tussen de mantelbuis en de bentoniet is nu teruggebracht tot 0,35 m. Aangenomen wordt dat dit drukverschil kan worden opgevangen door de keringen.

heven en zal geen bentoniet meer over de keringsstromen. De tweede maatregel is het opleiden van de mantelbuis aan de uittredezijde tot een maximale hoogte van 3,36 m+NAP en het toevoegen van water. Met het verhogen van de mantelbuis aan de uittredezijde en het daar toevoegen van water is het mogelijk een uitwaartse stroming te handhaven over de binnenste keringen. Hiermee wordt instroming van bentoniet en zand voorkomen.

Om de uitwaartse stroming te garanderen is een drukverschil over de binnenste borstels noodzakelijk ( $\varphi_{m;u} - \varphi_{m;i} > 0$ ). De hoogte van de overloop van de filterbuis aan de intredezijde mag hierdoor niet hoger zijn dan 3,36 m+NAP. Rekening houdend met een foutenmarge van ongeveer 25 cm, is gekozen voor een overloop tot 3,10 m+NAP. Hiermee wordt de kans op instroming van water met disperseermiddel in de annulus rond de mantelbuis, wat kan leiden tot destabilisatie van het boorgat en vastlopen van de mantelbuis, geminimaliseerd. Dit houdt echter wel in dat mogelijk bentoniet over de buitenste keringen gaat stromen richting de ruimte rond het vrijgekomen fil-

ter. Het hierdoor ontstane afbreukrisico wordt echter acceptabel geacht.

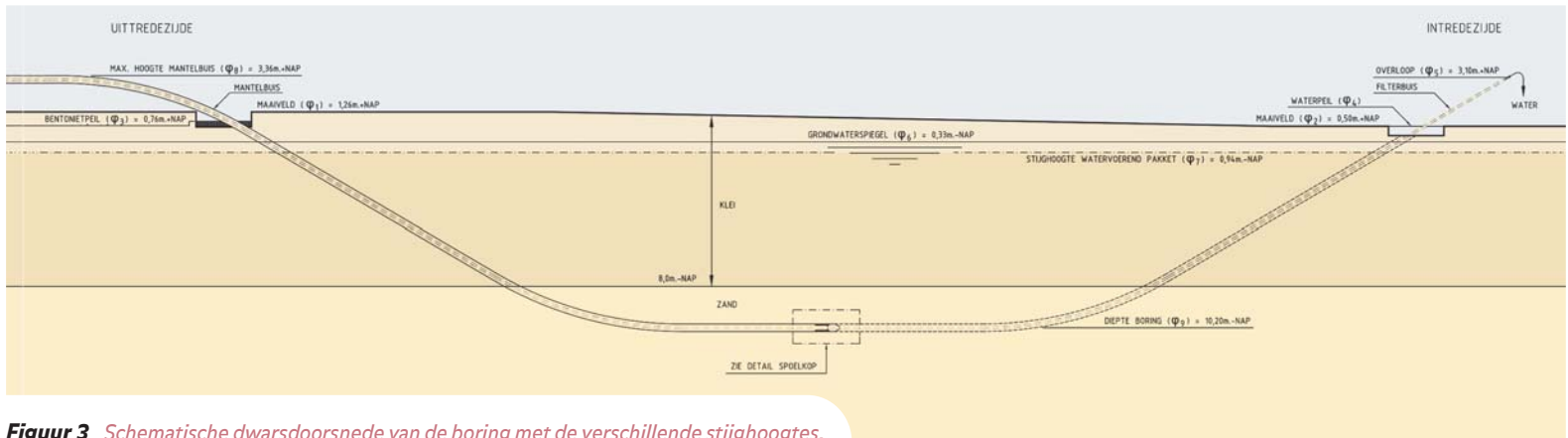
Het effect van de maatregelen zijn voor twee situaties doorgerekend. De situaties zijn: (1) een open boorgat en (2) de ideale situatie met een ingestort boorgat achter de mantelbuis. De berekeningen voor deze situaties zijn opgenomen in het kader als scenario 2 en 3.

In het geval van een open boorgat is de annulus tussen filter en boorgatwand de weg van de minste weerstand en zal aan de uittredezijde toegediend water door de annulus stromen en niet over de overloop. Hierdoor kan de maximale stijghoogte aan de intredezijde niet worden verhoogd tot 3,10 m+NAP, maar is deze beperkt tot het maximale niveau van de mudpit. Door het grotere stijghoogteverschil tussen in- en uittredezijde zal de uitstroom over de binnenste keringen wel worden vergroot. De kans op instroming van bentoniet en zand over de binnenste keringen en daardoor het vastlopen van de filterbuis is hierdoor minimaal. De kans op vroegtijdig instorten van het boorgat neemt door het verminderen van de

bentonietdruk in de annulus rond de mantelbuis echter sterk toe. Op basis van bestaande ervaringen met HDD boringen is de kans op het niet instorten van het boorgat als klein ingeschat.

De genomen maatregelen, zijn een compromis tussen het minimaliseren van de bentonietstroom over de buitenste borstels, het voorkomen van instroom van water met disperseermiddel richting de annulus rond de mantelbuis en het voorkomen van instroom van een bentoniet-zand mengsel over de binnenste keringen. Bij de uiteindelijk uitvoering bleek het boorgat tegen de verwachting in niet geheel in te storten achter de mantelbuis (scenario 2), waardoor het risico op vastlopen van de mantelbuis toenam. In de toekomst zal de annulus tussen boorgatwand en stijgbuis preventief worden opgevuld om voldoende drukopbouw mogelijk te maken.

Door analyse van in het veld geconstateerde problemen is door middel van enkele eenvoudige berekeningen tot passende maatregelen gekomen. De HDDW is na toepassing van de maatregelen met succes aangelegd in Nieuwegein.



**Figuur 3** Schematische dwarsdoorsnede van de boring met de verschillende stijghoogtes.

### Conclusie

Bij de aanleg van een HDDW filter is het belangrijk om rekening te houden met de verschillende vloeistofdrukken rond de kop van de mantelbuis. Zonder passende maatregelen kan er zand tussen de mantel- en filterbuis terecht komen, wat resulteert in schade en mogelijk breken van de filterbuis. Door het complexe systeem van vloeistofdrukken ter plaatse van de boring te analyseren, is tot een oplossing gekomen, waarbij nog wel

rekening gehouden dient te worden met het al dan niet instorten van het boorgat achter de mantelbuis en een minimale stroom van bentoniet over de buitenste keringen. Ervaring leert dat een boorgat instort wanneer dit niet gewenst is en vice versa. Door het creëren van een stroming over de binnenste keringen is voorkomen dat er zand en bentoniet tussen de mantel- en filterbuis terecht kan komen.

[www.hddw.nl](http://www.hddw.nl)

### Literatuur

- [1] Rothuizen, R.D. en Cirkel, D.G. (2010). *Horizontal Directional Drilled Wells – HDDW: Nieuwe techniek voor horizontale filters*. Civiele Techniek, 65-7, pp 30-32.
- [2] Rambags, F., Cirkel, D.G., van der Hoeven, I., Pittens, B. en van der Wens, P. (2010). *Doorbraak met geslaagde horizontaal gestuurd geboorde put*. H2O, 2010, Nr. 17, pp 9-11.
- [3] Stichting IJkdijk, [www.ijkdijk.nl](http://www.ijkdijk.nl). ●



## Samen houden wij Nederland droog

Jana Steenbergen-Kajabová, Grontmij'er sinds 1998: 'Water is een super inspirerende materie. Creatieve en innovatieve ideeën duiken vanzelf op.' Wil je meer informatie? [www.werkenbijgrontmij.nl/Jana](http://www.werkenbijgrontmij.nl/Jana)