|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Aan** | Gemeente Den Helder | **Van** | Nectaerra |
| **Datum** | 1 maart 2021 | **Telefoon** | +31-(0)35-2050033 |
| **Referentie** | NCT21.102-35-210301 | **E-mail** | rogier.van.opstal@nectaerra.com |
| **Uw referentie** |  | | |
| **Project** | Herinrichting en rioolvervanging Kruiszwin 1-2 | | |
| **Onderwerp** | Toetsing bemalingsadvies rioolgemaal Kruiszwin 1-2, Beemsterboer | | |

**Inhoud**

[1. Bemalingsplan 1](#_Toc65446014)

[1.1 Achtergrond 1](#_Toc65446015)

[1.2 Ondiepe bemaling 2](#_Toc65446016)

[1.3 Spanningsbemaling 2](#_Toc65446017)

[1.4 Retourbemaling 3](#_Toc65446018)

[2. Monitoring 4](#_Toc65446019)

[3. Het waterbezwaar van de bemaling (pompdebiet) 4](#_Toc65446020)

[4. Berekening opbarsting 8](#_Toc65446021)

[5. Referenties 8](#_Toc65446022)

# Bemalingsplan

## Achtergrond

In het kader van de vernieuwing van de riolering in wijk Kruiszwin, Juliandorp, zal ook een rioolgemaal worden geplaatst. De onderzijde van de fundering van dit gemaal ligt op NAP -4.37 m, dat wil zeggen 63 cm boven de onderzijde van een laag bestaande uit slappe klei en veen. Zonder bemaling zou deze laag al tijdens de ontgraving opbarsten.

Voor de bemaling die noodzakelijk is om opbarsting te voorkomen is door Fa. Beemsterboer (concept 2021, zie referentielijst) een bemalingsadvies opgesteld. Op verzoek van de opdrachtgever, gemeente Den Helder is door Nectaerra het advies van Beemsterboer nagelopen, waarvan voorliggend rapport het resultaat is.

In een eerder rapport (Nectaerra, 2021) is reeds ingegaan op de bemaling voor de te vervangen rioolbuizen zelf. Dat rapport bevat ook een overzicht van de opbouw van de bodem. De essentie van deze opbouw is de aanwezigheid van een ondiepe zandlaag tot ca NAP -1.2 m waaronder zich een laag slappe klei bevindt met daaronder een dunne veenlaag en daaronder blauwe zeeklei. Dit uit drie slecht doorlatende lagen bestaande pakket wordt in de sondering die in het advies Beemsterboer wordt gebruikt om de bodemopbouw te karakteriseren beschreven als “Slappe formatie bestaande uit klei en een veenlaag” tussen NAP -1.20 en NAP ‑5.0 m. Tussen NAP -5.00 en NAP -17 m bevinden zich fijne leem- en silt houdende zandlagen, voor het overgrote deel Holocene wadzanden. Daaronder tussen NAP -17 en NAP -19 m is klei aanwezig, de basis van het Holoceen rustend op 200 m Pleistoceen zand met een duidelijk hogere doorlatendheid.

Ter voorkoming van opbarsten van de bodem van de bouwkuip moet derhalve de laag met fijne Holocene zanden worden bemalen. Aangezien het water in deze zanden zeer zout is, moet het bemalingswater uit deze laag worden geretourneerd, waarvoor alleen het diepere Pleistocene pakket beneden NAP -19 m in aanmerking komt. Dit leidt tot de compacte bemaling die Beemsterboer adviseert, bestaande uit:

1. Een ondiepe bemaling voor het grondwater boven de slappe laag (tot NAP -1.20 m).
2. Een spanningsbemaling voor het grondwater onder de slappe laag binnen het Holoceen (NAP-5.0 tot NAP -17 m)
3. Een retourbemaling waarmee het water van de spanningsbemaling moet worden geïnjecteerd in het Pleistoceen (beneden NAP -19 m).

Chart

Description automatically generated with medium confidence

Figuur 1: Laagopbouw boven NAP -35 m met bouwput met 15 cm dikke drainagelaag plus ondiepe vacuümbemaling, onttrekkingsputten en retourputten (let op; de horizontale schaal is tweemaal zo klein als de verticale). Voor toelichting zie tekst.

## Ondiepe bemaling

Ondiepe bemaling tot NAP -1.20 m van de toplaag door middel van ingespoten bronnen op 2 m h.o.h. rond de bouwput. Daar is op zich geen enkel bezwaar tegen, maar het staat wel vast dat deze putten een deel van het op de slappe laag aanstromende grondwater zal laten passeren. Hierdoor zal permanent water op de slappe laag uit de bouwkuipwand treden wat zonder maatregelen afkalving van de bouwputrand kan veroorzaken. Een drain rond de bouwput op de slappe laag aangebracht kan daarom noodzakelijk blijken om te kunnen werken. Een dergelijke drain kan ook de gehele ondiepe bemaling met de ingespoten putjes vervangen en zal onder gegeven condities beter functioneren.

## Spanningsbemaling

De onderzijde van de fundering van het rioolgemaal komt op NAP -4.37 m. De bodemopbouw op en onder deze ontgravingsdiepte betreft klei/veen tot NAP -5.0 m (laagdikte 63 cm). Fa. Beemsterboer adviseert om na het ontgraven een zandbed met drain aan te leggen ten behoeve van het afvoeren van stagnerend hemel- en of grondwater.

Ervan uitgaande dat dit gebeurt, moet rekening worden gehouden met een extra ontgraving van ca. 15 cm voor het aan te brengen zandbed met drain. Dit is krap. De beloopbaarheid van dit zand zal echter slecht zijn omdat dit onvermijdelijk capillair vol staat met water aangezien naast hemelwater ook grondwater via de bovenrand van de bouwkuip, en via de slappe laag, toestroomt. Voor de werkbaarheid zullen waarschijnlijk loopplanken noodzakelijk zijn.

Beemsterboer houdt geen rekening met een extra ontgraving van 15 cm om de ruimte te creëren die nodig is voor de drainerende zandlaag op de putbodem. Dit is mogelijk te billijken omdat de overdiepte slechts kort tijd aanwezig zal zijn. Echter gezien de geringe dikte van de slappe laag onder de funderingsplaat, namelijk slechts 0.63 m, moet voor deze kortstondige overdiepte gedurende welke de dikte van de slappe laag onder de bouwkuip nog slechts ca. 48 cm zal zijn, wel rekening worden gehouden, want de situatie is kritisch voor opbarsten.

De gemeten stijghoogte in lagen 3 en 4 was resp. NAP -0.56 en -0.40 m. De stijghoogte verloopt echter gedurende het jaar. Het is daarom verstandig om rekening te houden met maximale waarden. Het is bovendien onwaarschijnlijk dat de stijghoogte in laag 3 en 4 verschillend zouden zijn. Het is in feite fysisch niet mogelijk dat de stijghoogte in laag 3 lager is dan zowel die in laag 1 en laag 4. Rekening houdend met variatie van de stijghoogte gedurende het jaar, kan beter conservatief worden uitgegaan van een stijghoogte van NAP -0.2 m in lagen 2 en 3.

Beemsterboer rekent gezien hun uitkomsten met 1500 kg/m3 voor de natte dichtheid van de slappe laag, wat veilig is te noemen. De waterdruk onder de slappe laag is dan bij gemeten stijghoogte van NAP -0.56 m gelijk aan 4.44 mwk en de daarbij berekende effectieve korrelspanning zou dan -3.50 mwk bedragen. De door Beemsterboer voorgestelde verlaging van 3.80 m leidt derhalve tot een positieve effectieve korrelspanning gelijk aan 0.3 mwk. Neemt men echter veiligheidshalve de stijghoogte voor bepaling van de waterdruk onder de slappe laag gelijk aan NAP -0.2 m, dan is de waterdruk onder de slappe laag gelijk aan 4.80 mwk en de daarbij berekende effectieve spanning gelijk aan -3.86 mwk. Om ook in dit geval een positieve korrelspanning van 0.3 mwk onder de slappe laag te behouden is dan een verlaging van 4.16 m nodig, afgerond 4.20 m in plaats van 3.80 m. Zolang de bovengenoemde drainagelaag niet is aangebracht moet bovendien een extra verlaging worden opgeteld gelijk aan de dikte van de drainagelaag. Bij 15 cm overdiepte voor de drainagelaag wordt de benodigde aanvangsverlaging derhalve 4.35 m in plaats van 3.80 m. Dit is een belangrijk punt omdat de dikte van de resterende slappe laag zo gering is nl. cm, dat hier geen enkel risico mee mag worden genomen. De bijbehorende stijghoogte is NAP -0.2 m – 4.35 m = NAP – 4.55 m. Dit is de stijghoogte die overal onder de bouwkuip in het Holocene zand maximaal mag worden toegelaten. Een belangrijk criterium is of dit kan worden gerealiseerd met de geplande bemalingsputten zonder dat daarbij het filter van de putten lucht gaat happen. De bovenkant van het filter is voorzien op NAP -6 m.

Fa. Beemsterboer berekent voorts de benodigde verlaging van 1.81 m in laag 4. Deze is voor het bemalingsadvies niet van belang omdat de verlaging in laag 3 verre dominant is en beide lagen met elkaar in directe verbinding staan gezien de samenstelling van de bodemlagen.

De bemaling van de Holocene lagen 3 en 4 zal plaats vinden met twee putten, boorgat 350 mm, filter 125 mm tussen NAP -6.0 m tot NAP -13.0 m (7 m), beide met een capaciteit van 60 m3/h.

## Retourbemaling

Het water uit de twee onttrekkingsputten zal worden geretourneerd met twee retourputten op minimaal 10 m afstand van de onttrekkingsputten. Boorgat 350 mm, filter 125 mm, filterdiepte NAP -20.0 tot -30.0 m (10 m).

Door de aanwezigheid van een zandlaag boven het filter waarin bovendien de stijghoogte sterk wordt verlaagd is er nauwelijks risico op achterloops raken van de retourputten. Om lek door de overdruk rond de retourputten tegen door onderzijde van de kleilaag zoveel mogelijk te voorkomen is het toch aan te bevelen om het filter van de retourputten 2 m dieper te plaatsen, dus van NAP -22 tot -32 m.

# Monitoring

Er staat verder niets over in het advies Beemsterboer, maar gezien het risico van opbarsten lijkt monitoring toch wel noodzakelijk. Om zeker te zijn dat de vereiste stijghoogte wordt bereikt onder de gehele bouwput dient een waarnemingsput te worden geplaatst of, wat in dit geval praktischer is, een waarnemingsfilter in het boorgat van de retourputten te worden meegenomen en afgesteld aan de bovenzijde van de Holocene zanden op NAP -5.5 tot -6.0 m. Wanneer de stijghoogte in deze filters goed is, dan is dat overal onder de bouwput ook het geval.

Het is daarnaast verstandig om ook een waarnemingsfilter rond NAP -20 m te hebben om de druk buiten de retourputten te monitoren. Het meten van de druk in de retourputten zelf is wel essentieel om te volgen of zij niet verstoppen. Hier zijn echter geen afzonderlijke waarnemingsfilters voor nodig.

# Het waterbezwaar van de bemaling (pompdebiet)

De ondiepe bemaling wijst zichzelf en behoeft geen nadere beschouwing.

Het waterbezwaar (pompdebiet) van de spanningsbemaling tussen NAP -6 en -13 m is niet a priori bekend. De pompcapaciteit in elk van de twee putten in deze laag wordt door Fa. Beemsterboer op 60 m3/h gesteld. Fa. Beemsterboer geeft in haar rapport geen nadere onderbouwing of een berekeningsgrondslag.

De berekening van de spanningsbemaling zou eenvoudig zijn indien de hydraulische eigenschappen van de verschillende lagen bekend zouden zijn. Dat is echter niet het geval. Er kan dus slechts een bemaling worden berekend op basis van schattingen van deze eigenschappen. Er zal dus in de praktijk nog fijnregeling nodig zijn.

De hydraulische bodemeigenschappen zijn onderbouwd geschat in Nectaerra (2020). Voor de bodemopbouw bij het aan te leggen rioolgemaal komen deze grondsoorteigenschappen uit op:

Tabel 1: In de berekening gebruikte bodemeigenschappen (zie ook Nectaerra, 2021). De specifieke bergingscoëfficiënt voor de slecht doorlatende lagen is in de berekeningen zoals te doen gebruikelijk op nul gehouden. De verticale doorlatendheid van de zandlagen speelt in de uitgevoerde analytische modellering geen rol.

A picture containing text

Description automatically generated

De bouwput met rioolgemaal is hieronder gegeven, waarbij 1 m rond het feitelijke gemaal is genomen om de breedte en lengte van de bouwput te bepalen; deze gedraagt dan 4.30 x 4.30 m. Voor de berekening zijn de twee winputten ‘P1’ en ‘P2’ diagonaal tegenover elkaar geplaatst, evenals de twee retourput ‘R1’ en ‘R2’ (zie Figuur 2: Bovenaanzicht bouwkuip (oranje) met gemaal (grijs), twee putten voor de spanningsbemaling (P1 en P2) en twee putten voor de retourbemaling (R1 en R2). De putten bevinden zich ter hoogte van de buitenzijde van de bouwkuip (in x-richting) en op 1.5 m van de rand van de bouwkuip in y-richting). Dit geeft maximale garantie dat de verlaging onder de bouwput wordt bereikt bij de meest compacte, praktische opstelling van de putten. Uiteraard kan in de praktijk voor een wat afwijkende opstelling worden gekozen.

Chart, box and whisker chart

Description automatically generated

Figuur 2: Bovenaanzicht bouwkuip (oranje) met gemaal (grijs), twee putten voor de spanningsbemaling (P1 en P2) en twee putten voor de retourbemaling (R1 en R2)

Wanneer we de stijghoogten in het hart van de bouwput berekenen met de bodemgegevens zoals hiervoor getabelleerd, met 2x60 m3/u onttrekking in de 2 putten voor de spanningsbemaling (NAP -6 - -13) en eveneens 2x60 m3/u teruggebracht in de 2 retourputten, dan ontstaat het volgende verloop in de tijd voor de grondwaterstand in de toplaag en de stijghoogte in de Holocene zandlaag en in het Pleistoceen daaronder (zie Figuur 4). De stijghoogte in het Pleistoceen gaat uiteraard omhoog. Bij de berekening (zie resultaat voor het hart van de bouwput in Figuur 3) is voor de grondwatertand in de toplaag geen rekening gehouden met de ontgraving. De berekening is dus in feite voor de situatie met spannings- en retourbemaling zoals getekend in Figuur 1 en Figuur 2 (en de bodemconstanten in Tabel 1), maar zonder de ontgraving. Voor de stijghoogte in het Holoceen en het Pleistoceen maakt dat niet uit. De grondwaterstand in de toplaag wordt geheel afzonderlijk bemalen zoals beschreven in Beemsterboer, met nuances zoals hiervoor zijn gegeven.

Chart, line chart

Description automatically generated

Figuur 3: Berekende ontwikkeling van de grondwaterstand voor de drie lagen ter plekke van het hart van de bouwkuip bij een spannings- en retourbemaling van 60 m3/h per put. De bouwput zelf is buiten de berekening gehouden, overigens zonder consequenties voor de interpretatie.

Figuur 3 laat zien dat een maximale verlaging wordt bereikt na ca. 5 d (layer 1, oranje lijn). Verdere daling wordt verhinderd door lek tussen het Holocene zand en het Pleistocene pakket daaronder. De verhoging in het Pleistocene pakket door de retourbronnen is de groene lijn (layer 2). Verder zien we dat het ondiepe grondwater in de toplaag (blauwe lijn, layer 0) op den duur ook gaat meezakken. Dat begint na ca. 10 dagen en is voltooid na ca. een jaar. Dit vermindert na enkele weken de drainage van de toplaag, maar is te traag om de afzonderlijke geplande (hier niet meegemodelleerde) drainage in de toplaag te vervangen.

De berekening met 60 m3/h onttrekking in beide retourputten laat zien dat de verlaging veel te groot wordt, ruim 13 m in de Holocene laag na 1 dag, terwijl maar 4.55 m nodig. We kunnen dus met een veel geringer onttrekkingsdebiet volstaan. Figuur 5 laat dit zien dat dit ook met 20 m3/h in elk van de pompputten na 1 dag bereikt kan worden.

Chart, line chart

Description automatically generated

Figuur 4: Berekende ontwikkeling van de grondwaterstand voor de drie lagen in het hart van de bouwkuip bij een spannings- en retourbemaling van 20 m3/h per put

Figuur 5 laat zien dat ook ter plekke van retourput ‘R1’ de gewenste verlaging van 4.55 m gehaald wordt, zij het ca. 1 dag later. De verlaging bij retourput ‘R2’ is overigens even groot en is het geringste onder de bouwput.

Chart, line chart

Description automatically generated

Figuur 5: Berekende ontwikkeling van de grondwaterstand voor de drie lagen ter plekke van retourput 1 bij een spannings- en retourbemaling van 20 m3/h per put

Van belang is echter ook de verlaging in de onttrekkingsputten zelf omdat het filter deels droog zou kunnen vallen. Figuur 6 laat de ontwikkeling van de verlaging zien op de boorgatwand van onttrekkingsput ‘P1’. De verlaging is groter dan 6 m, waardoor het bovenste deel van het putfilter droog zal vallen. Verstopping van de boorgatwand en onvolkomen penetratie van het putfilter in de Holocene laag zijn ook redenen waarom de verlaging in de put zelf groter zullen zijn dan hier berekend (op basis van de aanname dat de boorgatwand geen weerstand heeft en het filter over de hele hoogte van de Holocene laag is aangebracht). Hierdoor is ontgassing van het water mogelijk waardoor de retourputten kunnen verstoppen.

Twee meter dieper plaatsen van het putfilter is een remedie hiertegen, maar dan wordt het door de onvolkomenheid van het filter lastiger om de gewenste verlaging direct onder de slappe laag beneden de bouwput te bereiken. De in de praktijk gerealiseerde verlaging is echter gemakkelijk vast te stellen met waarnemingsfilters die op NAP -5.5 m in het boorgat van de retourputten zijn aangebracht. Als de verlaging daar voldoende is, is die dat elders ook. Indien de gerealiseerde verlaging nog tekortschiet zouden in de hoeken van de retourputten nog twee putten (eventueel in de bouwput) kunnen worden gemaakt met filter tussen NAP -6 en -10 m.

Graphical user interface, chart, application, Excel, line chart

Description automatically generated

Figuur 6: Berekende ontwikkeling van de grondwaterstand voor de drie lagen ter plekke van retourput 1 bij een spannings- en retourbemaling van 20 m3/h per put

Men zou kunnen veronderstellen dat de spanningsbemaling en de retourbemaling elk met één in plaats van twee putten kan worden gerealiseerd met een debiet van 40 m3/h. Door de concentratie van de onttrekking in een bron wordt de berekende verlaging in het boorgat 2 m groter dan bij bemaling met twee bronnen. Hierdoor valt een nog groter deel van het filter droog, waardoor uiteindelijk ook de bron in de praktijk minder zal kunnen leveren. Minimaal twee putten zijn derhalve in deze omstandigheden noodzakelijk. Enige reserve is uiteraard verstandig.

Het probleem bij deze bemaling is de geringe dikte van de resterende slappe laag onder de bouwkuip, zodat het resterende eigen gewicht nauwelijks gewicht in de schaal legt tegen opdrukken, en praktisch alles neer komt op de bemaling die daardoor zo groot moet zijn dat de geconcentreerde verlaging bij de put zelf ertoe kan leiden dat het filter deels droogvalt. Hierdoor kan de levering van deze putten en dus ook de verlaging tegenvallen en bovendien kan door het ontstaan van gasbellen verstopping gaan optreden van de retourputten.

Het benodigde onttrekkingsdebiet hangt sterk af van de doorlatendheid van de Holocene zanden. Het is er bijna omgekeerd evenredig mee. Voor deze doorlatendheid is 10 m/d aangehouden. Wanneer de doorlatendheid slechts 5 m dag is wat hier ook mogelijk is, halveert het benodigde onttrekkingsdebiet en bij 2 m/d nogmaals. Er is echter een proef nodig met controle van de daadwerkelijk optredende verlaging om dit benodigde debiet definitief te bepalen.

# Berekening opbarsting

Onderstaande tabellen geven de berekening van de waterspanning en effectieve spanning met en zonder verlaging met 4.3 m verlaging door de bemaling. De rode getallen zijn de essentiële. Links staat NAP -4.37 m als top van de resterende slappe laag (in de tekst staat dat met nogmaals 15 cm meer is gerekend om ruimte te maken voor een laag van 15 cm drainagezand onder in de bouwput). De kolom `*rhowet*` geeft de natte dichtheid van de slappe laag waarmee is gerekend. NAP -0.2 m is de stijghoogte zonder bemaling waarmee is gerekend. 4.80 mwk is dan de stijghoogte (of waterspanning in mwk) van het water boven de onderzijde van de slappe laag oftewel de bovenzijde van laag 3, het Holocene zand. De `*PeffTop*` van -3.86 mwk is de daarbij behorende effectieve of korrelspanning aan de bovenzijde van laag 3, het Holoceen. Die is duidelijk sterk negatief zonder bemaling. De tweede tabel geeft de situatie met bemaling waarbij 4.35m verlaging is aangebracht. De waterspanning boven de onderzijde van de slappe laag is dan 0.45 mwk en de korrelspanning 0.50 m berekend als mwk. Dus positief. Bij extra ontgraving van 15 cm voor de drainagelaag onder in de bouwkuip gaat er 0.15 m vanaf tijdens de ontgraving. Maar na aanbrengen van het drainagezand is dit weer zoals in deze tabel is weergegeven.

Tabel 2: Berekening water en effectieve spanning zonder bemaling



Tabel 3 Berekening water- en effectieve spanning met 4.35 m verlaging door bemaling



# Referenties

Beemsterboer Boringen, Bemalingen en Sonderingen BV. Project: Rioolgemaal aan de Kruiszwin te Julianadorp. Bemalingsadvies en technisch bemalingsplan. Kenmerk 20529, 19 januari 2021 (concept). Opdrachtgever: Structon Civiel West bv. Postbus 1, 1633 ZG Avenhorn.

Nectaerra, 2021. Hydrologische analyse Kruiszwin, kenmerk NCT20.084-35-210217, d.d. 17 februari 2021