Tauw

Druk Vacuüm Compact (DVC) systeem

Een alternatief voor drukriolering?

Resultaten fase 1

16 december 2016

Kenmerk R001-1231338PTK-wga-V01-NL

Verantwoording

Titel	Druk Vacuüm Compact (DVC) systeem - fase 1
Opdrachtgever	STOWA/Stichting RIONED, Gemeente Veendam, Regio Groningen Assen (RGA)
Projectleider	Paul Telkamp
Auteur(s)	Paul Telkamp, André Visser en Jeroen Lasonder
Projectnummer	1231338
Aantal pagina's	36 (exclusief bijlagen)
Datum	16 december 2016
Handtekening	Ontbreekt in verband met digitale verwerking
	Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven

Colofon

Tauw bv
BU Water & Ruimtelijke Kwaliteit
Handelskade 37
Postbus 133
7400 AC Deventer
Telefoon +31 57 06 99 91 1

Dit document is eigendom van de opdrachtgever en mag door hem worden gebruikt voor het doel waarvoor het is vervaardigd met inachtneming van de rechten die voortvloeien uit de wetgeving op het gebied van het intellectuele eigendom.
De auteursrechten van dit document blijven berusten bij Tauw. Kwaliteit en verbetering van product en proces hebben bij Tauw hoge prioriteit. Tauw hanteert daartoe een managementsysteem dat is gecertificeerd dan wel geaccrediteerd volgens:

- NEN-EN-ISO 9001

Inhoud

Verantwoording en colofon **3**

1 Inleiding **7**

2 Aanleiding DVC-systeem **8**

3 Gedachte achter DVC-systeem **12**

4 Optimalisatie van de DVC-afsluiter **14**
4.1 Testopstelling 14
4.2 Resultaten 15
4.3 Conclusie en aanbevelingen 17

5 Theoretische 'proof of principle' **19**
5.1 Uitgangspunten 19
5.2 Verkenning afstand enkelbedrijf 20
5.3 Gelijktijdigheid 20
5.4 Scenario's en resultaten 21
5.5 Opwoelen bezonken materiaal in leiding 22
5.6 Lekverlies 22
5.7 Effect bovengrondse vacuüminstallatie 23
5.8 Conclusie 23

6 Doorkijk kansrijkheid DVC-systeem **24**
6.1 Technische uitgangspunten 24
6.2 Financiële uitgangspunten 25
6.3 Energiegebruik (duurzaamheid) 26
6.4 Financiële uitwerking 28
6.5 Gevoeligheden 30

7 Conclusies **34**

8 'Go/No Go' beslissing vervolgfase **36**

Bijlage(n)

1 Onderzoeksrapportage optimalisatie afsluiter
2 Hydraulische schema fictieve rioolstreng t.b.v. Wanda-modellering
3 Formule berekenen gelijktijdigheid drukriolering
4 Resultaten Wanda-modellering Scenario 1
5 Resultaten Wanda-modellering Scenario 2
6 Resultaten Wanda-modellering Scenario 3
7 Resultaten Wanda-modellering extra scenario met bovengrondse vacuüminstallatie
8 Bepaling energie fictief drukrioleringssysteem

1 Inleiding

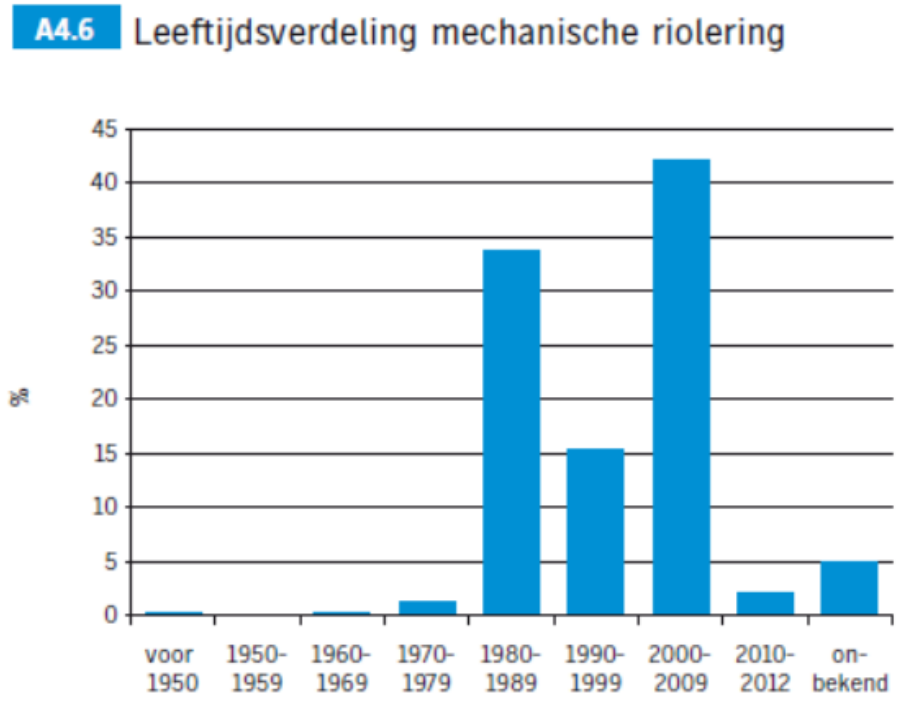
Door InnBlue is een alternatief concept bedacht voor drukriolering: het Druk Vacuüm Compact (DVC) systeem. Dit systeem lijkt een kansrijk alternatief voor drukriolering om een doelmatiger en duurzamere inzameling van afvalwater in buitengebieden te realiseren. Het DVC-systeem is echter nog niet geheel doordacht.

In de aanloop naar dit project zijn meerdere geïnteresseerde partijen gevonden (zie navolgende logo's) voor de verdere doorontwikkeling van het DVC-systeem. De doorontwikkeling van het DVC-systeem is opgedeeld in twee fasen met daartussen een 'Go/No Go' beslissing. De eerste fase is gericht op de theoretische 'proof of principle' alsmede de doorontwikkeling van de DVC-afsluiter. Als de resultaten van de eerste fase voldoende perspectief bieden en 'Go' beslissing volgt, zal het DVC-systeem in de praktijk worden getest in de gemeente Veendam.

Onderliggende rapportage bespreekt de resultaten van fase 1. In hoofdstuk 2 is eerst kort ingegaan op de aanleiding van het DVC-systeem waarna in hoofdstuk 3 de gedachte achter het DVC-systeem is toegelicht. Hoofdstuk 4 presenteert de resultaten van de optimalisatie van de afsluiter gevolgd door hoofdstuk 5 waarin de theoretische 'proof of principle' is uitgewerkt. In hoofdstuk 6 is de kansrijkheid van het DVC-systeem beoordeeld op basis van de genoemde resultaten in hoofdstuk 4 en 5 en is het effect van een tweetal gevoeligheden verkend. In hoofdstuk 7 zijn de conclusies opgenomen. In hoofdstuk 8 is tenslotte de 'Go/No Go' beslissing opgenomen voor de vervolgfase.

2 Aanleiding DVC-systeem

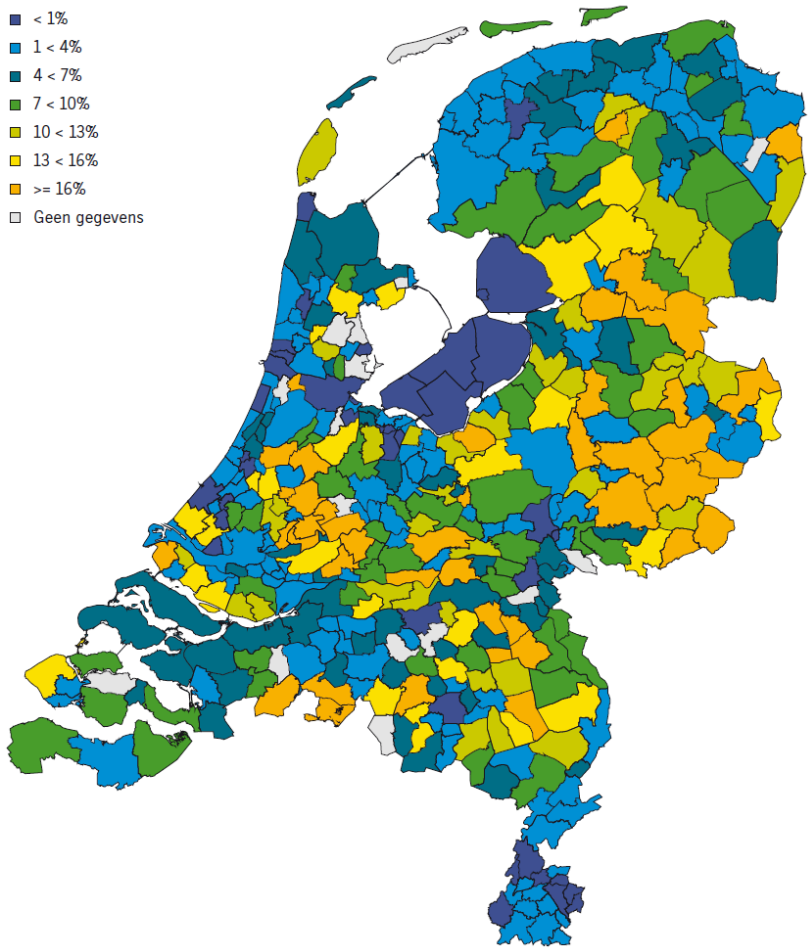
In buitengebieden ligt veel drukriolering voor de inzameling en transport van huishoudelijk afvalwater. De in Nederland aanwezige drukriolering is vooral vanaf de jaren 80 van de vorige eeuw aangelegd en kennen een piek wat betreft aanleg in de periode 1980 – 1989 en 2000 – 2009 als gevolg van subsidieregelingen. Tot 1987 was sprake van de Verfijningregeling Riolering en rond 2000 was sprake van de sanering van huishoudelijke afvalwaterlozingen. Figuur 2.1 presenteert de leeftijdsverdeling van mechanische riolering in Nederland. Mechanische riolering is een verzamelnaam voor zowel drukriolering, vacuümriolering alsmede luchtpersriolering. De hoofdmoot (98%) van de aanwezige mechanische riolering in Nederland betreft drukriolering.



Figuur 2.1 Leeftijdsverdeling mechanische riolering (bron figuur: Riolering in beeld, Benchmark rioleringzorg 2013)

De komende jaren zullen veel van deze systemen moeten worden vervangen/vernieuwd en staan we in Nederland voor een behoorlijke vervangingsopgaaf.

Figuur 2.2 presenteert een overzichtskaart van Nederland waarin het percentage woningen aangesloten op mechanische riolering is weergegeven. Hierin is de zien dat bij bijna alle gemeenten in Nederland sprake is van de aanwezigheid van drukriolering. Met name in delen van Groningen, Overijssel, Gelderland, Brabant en Zuid-Holland is het aandeel drukriolering relatief hoog.

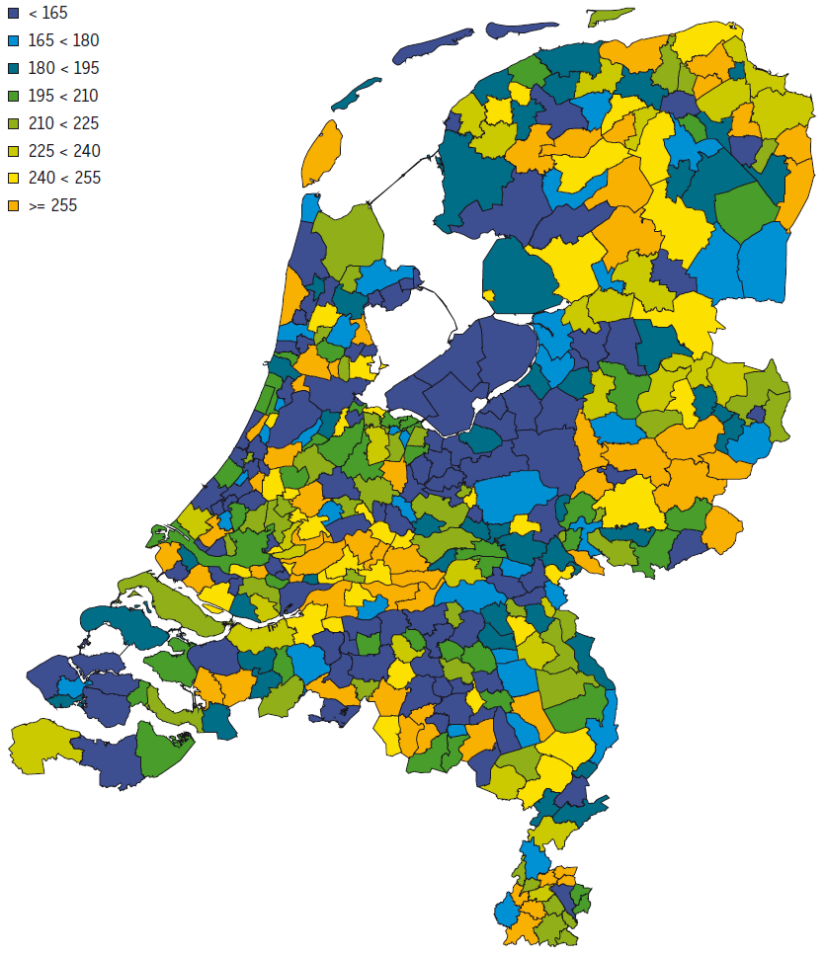


Figuur 2.2 Percentage woningen aangesloten op mechanische riolering (bron figuur: Riolering in beeld, Benchmark rioleringzorg 2013)

Drukriolering is in het algemeen een goede voorziening om het afvalwater vanuit buitengebieden in te zamelen en te transporteren. Vanwege de vele pompputten en lange lengtes aan drukriolering zijn de jaarlijkse kosten echter wel hoog. In een recente studie[1] zijn de jaarlijkse

[1] '*Feitenonderzoek mechanische riolering'* onderzoek uitgevoerd door Grontmij in opdracht van Stowa en Stichting RIONED, maart 2014.

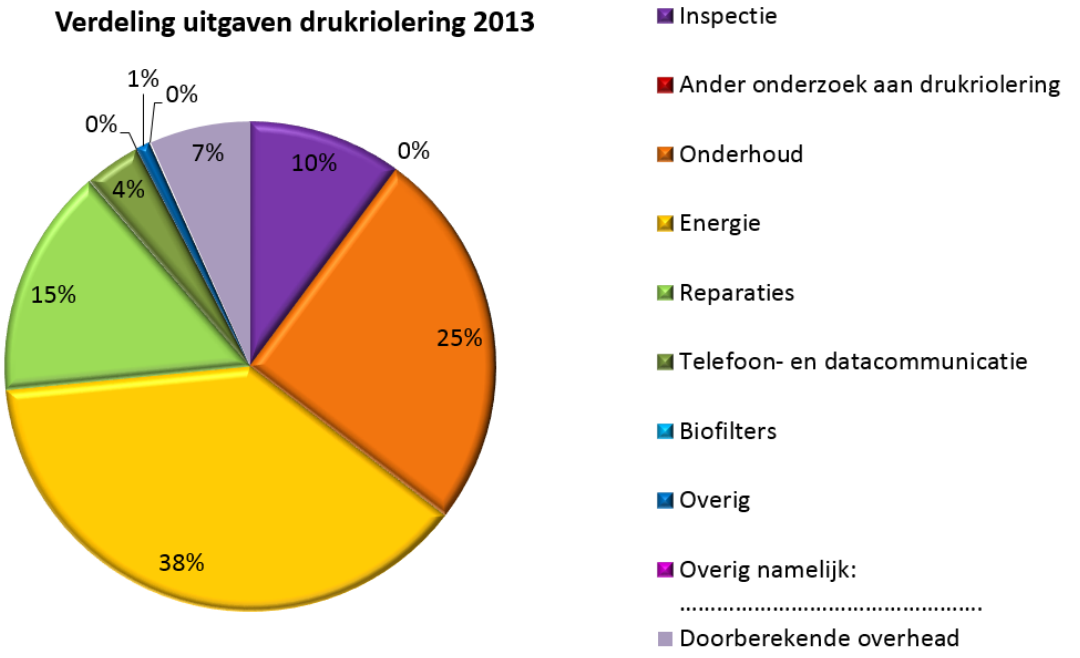
kosten per aansluiting geraamd op EUR 732, waarvan EUR 192 per jaar voor het dagelijks beheer. De rioolheffing die jaarlijks per aansluiting wordt geheven is in (bijna) alle gevallen (veel) lager dan de werkelijke kosten die in het buitengebied worden gemaakt, zie ter illustratie figuur 2.2 waarin voor meerpersoonhuishoudens de jaarlijkse rioolheffing (in EUR) is weergegeven.



Figuur 2.3 Rioolheffing 2012 meerpersoonshuishoudens (bron figuur: Riolering in beeld, Benchmark rioleringzorg 2013)

Dat de rioolheffing lager is dan de werkelijke kosten in het buitengebied is op zich niet raar. De totale kosten die een gemeente maakt voor de riolering worden namelijk evenredig verdeeld over alle huishoudens binnen een gemeente (solidariteitsbeginsel). Voorgaande is vooral illustratief bedoeld om aan te geven dat de kosten voor het inzamelen en transporteren in het buitengebied relatief hoog zijn.

Recent is in het kader van een samenwerkingsverband van gemeenten in de Achterhoek de aanwezige drukriolering binnen de gemeenten tegen het licht gehouden (zogenaamd Achterhoek+ onderzoek). Hierbij is ook nader ingezoomd waaruit de jaarlijkse kosten van drukriolering bestaan. Figuur 2.4 presenteert de verdeling van de uitgaven aan de drukriolering van de betreffende gemeenten in 2013. Het grootste deel (38%) van de uitgaven wordt bepaald door energie. Circa 2/3 van deze energiekosten blijkt te bestaan uit vastrechtskosten, ofwel kosten voor de energieaansluiting en netwerk. Circa 1/3 betreft het energiegebruik als gevolg van de vele pompen.



Figuur 2.4 Verdeling jaarlijkse uitgaven drukriolering (bron figuur: onderzoek Achterhoek+)

Voorgaande vervangingsopgaaf en weerspiegeling van de drukriolering is de aanleiding geweest voor het nadenken over een alternatief waaruit de gedachte van het DVC-systeem is ontstaan. De gedachte van het DVC-systeem is in hoofdstuk 3 toegelicht.

3 Gedachte achter DVC-systeem

De gedachte achter het DVC-systeem is om de pompen, die zich in de pompputten van een drukrioolstreng bevinden te vervangen door een mechanische afsluiter en vervolgens de streng op onderdruk te brengen met een centraal opgestelde vacuüminstallatie. De onderdruk is alleen van toepassing als het waterpeil in één of meerdere putten boven een bepaald niveau komt. De kracht van het DVC-systeem is drieledig:

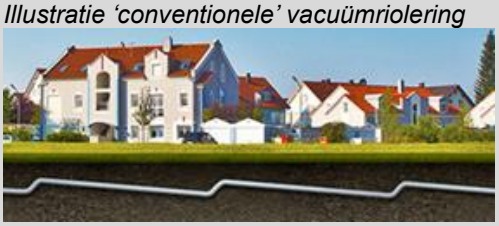
- Het kan worden toegepast op bestaande drukrioolstelsels
- Er zijn minder (storingsgevoelige) pompen nodig
- Er wordt aanzienlijk bespaard op energie(kosten)

Navolgend volgt een korte toelichting op bovenstaande opsomming

Toepassing op bestaande drukrioolstelsels
Het materiaal van de leidingen dat wordt gebruikt bij de aanleg van drukriolering, is afgestemd op de toepassing van een (over)druk en niet voor onderdruk. Bij de toepassing van een continue onderdruk is het noodzakelijk om de leidingen te vervangen door leidingen die geschikt zijn voor deze (onder)drukklasse. Doordat bij het DVC-systeem de leidingen alleen kortstondig op onderdruk worden gezet (enkel als het waterpeil in de put boven een bepaald niveau is) is het mogelijk om dit met de bestaande leidingen te doen. Dit zorgt ervoor dat het DVC-systeem relatief eenvoudig kan worden toegepast in buitengebieden, aangezien de aanwezige leidingen kunnen worden gebruikt bij het DVC-systeem en daarmee een snelle uitrol mogelijk is.

Drukleidingen liggen horizontaal en niet in een zaagtandprofiel zoals gebruikelijk is bij ‘conventionele’ vacuümriolering (zie illustratie en toelichting in grijs kader). Doordat de leidingen horizontaal liggen is het belangrijk dat bij toepassing van het DVC-systeem er geen lucht in de leidingen aanwezig is, ofwel de leidingen dienen vol te staan met water. Hiermee is rekening gehouden bij het ontwerp van het DVC-systeem door de mechanische afsluiters te laten sluiten onder het waterpeil. Zodoende wordt de kans op het aantrekken van lucht geminimaliseerd. Tevens wordt voor de zekerheid (mocht er lucht in het systeem zijn terecht gekomen) de pomp in de pompput die het verst afgelegen ligt van de vacuüminstallatie gehandhaafd om zodoende de eventueel aanwezige lucht in het systeem eruit te kunnen drukken.

Illustratie ‘conventionele’ vacuümriolering

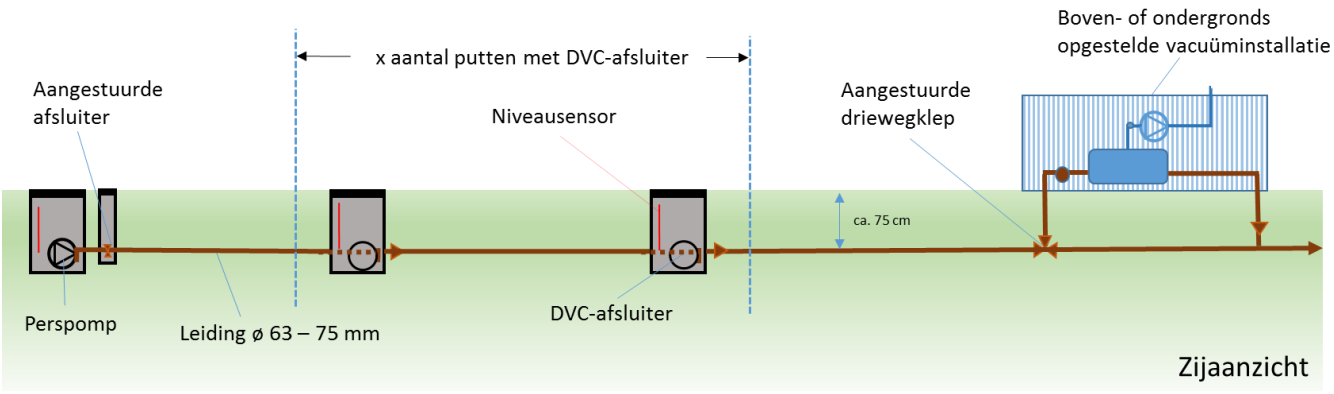


Bij ‘conventionele’ vacuümriolering wordt er naast water ook veel lucht aangezogen. Om te voorkomen dat lucht over het water wordt gezogen en daarmee het water tot stilstand komt, wordt gebruik gemaakt van een zaagtandprofiel. Het afvalwater wordt op deze manier van de ene ‘pocket’ naar de andere ‘pocket’ getransporteerd.

Minder (storingsgevoelige) pompen
Circa 25 % van de jaarlijkse uitgaven bij drukriolering zijn onderhoudskosten (zie ook vorig hoofdstuk) waarbij de hoofmoot gerelateerd is aan de pompen (verstoppingen, storing elektrische installatie). Met uitzondering van de pomp in de pompput die het verst afgelegen ligt (en de vacuümpomp van de vacuüminstallatie) worden de overige pompen in de drukrioolstreng allen vervangen door een mechanische afsluiter. Storingen aan de elektrische installatie zijn daarmee uitgesloten. In welke mate verstoppingen bij de mechanische afsluiter kunnen optreden dient nog te worden getest. Wel is bij het ontwerp van de mechanische afsluiter rekening gehouden met de mogelijke in het afvalwater aanwezige vervuilingen (denk aan tampons, vetten, condooms et cetera).

Besparing op energie(kosten)
Het transporteren van het afvalwater met een centraal opgestelde vacuüminstallatie is energetisch gezien gunstiger dan drukriolering. Hierdoor wordt bespaard op de jaarlijkse variabele exploitatiekosten. Doordat de pompen worden vervangen door mechanische afsluiters is er geen elektriciteitsaansluiting meer nodig en vervallen daarmee ook de vastrechtkosten voor het elektriciteitsnetwerk en dalen daardoor ook de jaarlijkse vaste exploitatiekosten.

In navolgende figuur is het DVC-systeem illustratief weergegeven.



Figuur 3.1 Illustratie opzet DVC-systeem

De gedachte van het DVC-systeem sluit ook zeer goed aan bij de ontwikkelingen rondom het lokaal zuiveren van afvalwater in buitengebieden, ook wel nieuwe sanitatie genoemd. Mogelijk zijn er straks nog maar enkele pompen nodig om het afvalwater in het buitengebied in te zamelen én te behandelen.

4 Optimalisatie van de DVC-afsluiter

In de aanloop naar onderliggend project is een eerste prototype van de afsluiter ontwikkeld. Het prototype is hiernaast weergegeven. Voor de optimalisatie van de afsluiter is het bedrijf No Nonsense Technical Solutions (NNTS) ingeschakeld in samenwerking met de Universiteit Twente.

Prototype afsluiter DVC-systeem

Randvoorwaarden die zijn meegegeven bij de verdere optimalisatie van de afsluiter zijn:

- Afsluiter moet passen op huidige voetbocht voor pompen. Zodoende kan een pomp makkelijk worden vervangen door afsluiter
- Afsluiter moet corrosiebestendig zijn
- Afsluiter moet kunnen openen en sluiten bij een onderdruk van -0,6 bar (ofwel 0,4 bar absoluut)
- Afsluiter moet lekdicht zijn
- Afsluiter moet kunnen openen en sluiten bij een gewenst minimum en maximum waterniveau
- Bij de optimalisatie moet rekening worden gehouden met de vuilwater omstandigheden die in de riolering kunnen optreden (toiletpapier, tampons, condooms et cetera)

In bijlage 1 is de uitgebreide onderzoeksrapportage van NNTS opgenomen. Navolgend is kort de testopstelling toegelicht en zijn de belangrijkste bevindingen, conclusies en aanbevelingen van het onderzoek van NNTS samengevat.

4.1 Testopstelling

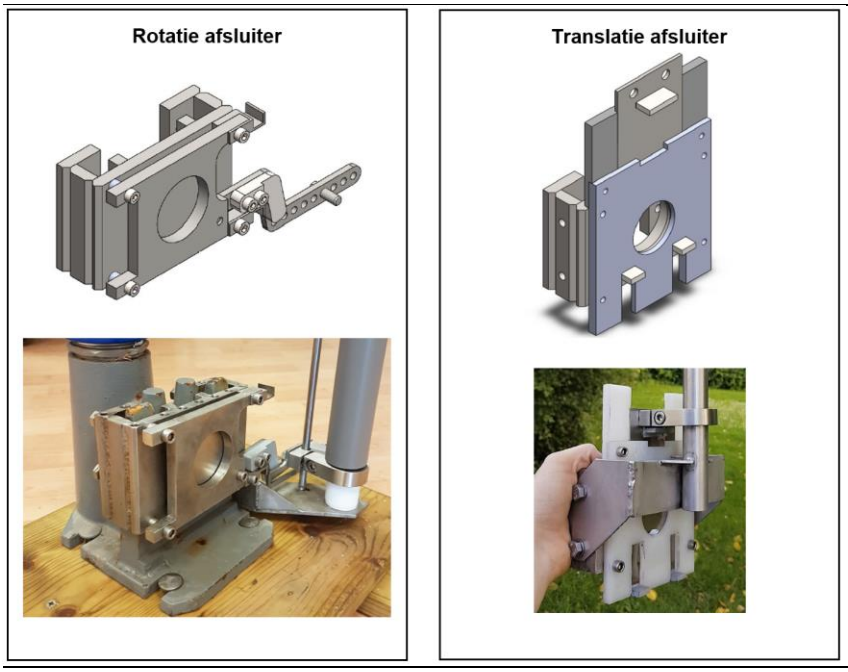
Voor het testen van de afsluiter is door NNTS een testopstelling gebouwd bestaande uit een vacuümtank, een vacuümpomp, een perspomp, een buffertank en een tank waarin de afsluiter is geplaatst. Het ontwerp van de testopstelling is dusdanig dat de praktijksituatie zo goed mogelijk wordt gesimuleerd. De testopstelling is voorzien van sensoren en regeltechniek om de testen automatisch uit te voeren alsmede de resultaten automatisch in een logbestand weg te schrijven.

Foto testopstelling

4.2 Resultaten

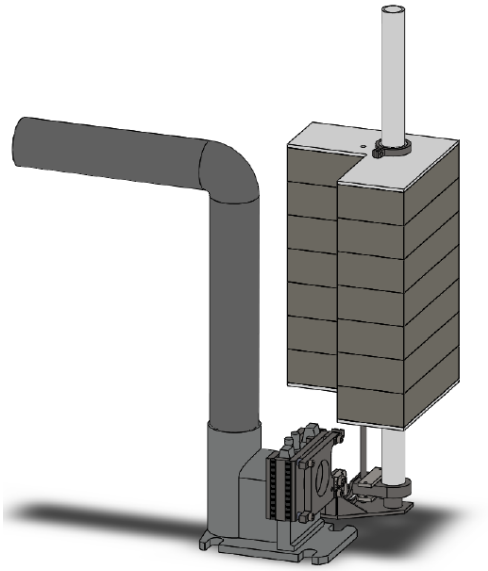
Prototype
Het prototype bleek niet in staat om aan de gestelde randvoorwaarden te voldoen. De afsluiter sloot wel goed af, maar de afsluiting blijft niet goed op zijn plaats zitten bij de uitvoering van meerdere cycli. Daarnaast voldoet de vlotter niet aan de gestelde randvoorwaarden en dient het volume van de vlotter veel groter te zijn om de vereiste drijfkracht te bereiken die nodig is voor het openen van de afsluiter. Omdat zowel de afsluiting als functionaliteit van de vlotter niet voldoen aan de gestelde eisen, is besloten een alternatief ontwerptraject te starten voor een ontwerp dat wel voldoet aan de gestelde eisen. Hierin zijn de leerpunten uit de tests van het prototype meegenomen.

Ontwerptraject
Het ontwerptraject is gestart met een brainstormsessie. Hierbij zijn onder andere diverse open- en sluitprincipes voor een afsluiter alsmede principes voor het lekdicht afsluiten verkend en beoordeeld. Het ontwerptraject heeft geleid tot twee nieuwe prototypen, waarbij het ene prototype is gebaseerd op een roterende beweging (rotatie afsluiter) en het andere prototype op een translerende beweging (translatie afsluiter). Figuur 4.1 presenteert een illustratie en een foto van beide afsluiters.



Figuur 4.1 Rotatie afsluiter en translatie afsluiter

Als vlotter is een impulsvlotter gehanteerd. Een impulsvlotter is een betrouwbare en flexibele oplossing. Figuur 4.2 presenteert illustratie van impulsvlotter. Ten behoeve van de impuls zijn op de afsluiters magneten gemonteerd (zowel aan de bovenkant als onderkant van de afsluiter). Deze zorgen ervoor dat de afsluiter snel en krachtig opent en sluit (zie toelichting in grijs kader).



Figuur 4.2 Illustratie van impulsvlotter

Toelichting werking magneetprincipe:
Als het waterpeil in de put stijgt, stijgt ook de vlotter/drijflichaam. Door de magneten wordt het drijflichaam op een gegeven moment tegengehouden terwijl het water blijft stijgen. Zodra het waterpeil hoog genoeg is en de opwaartse kracht van het drijflichaam groter wordt dan de kracht van de magneten, opent de afsluiter in 1 keer. Doordat de afsluiter in 1 keer volledig opent wordt de kans van het optreden van een vortex (wervel) met daarbij risico van aantrekken van lucht samen met het afvalwater geminimaliseerd.

De werking bij daling van het waterpeil is in principe hetzelfde als bij stijging van het waterpeil maar dan omgekeerd. De afsluiter sluit in 1 keer om het risico van aantrekken van lucht door vortexwerking te minimaliseren. En, niet onbelangrijk, doordat de klep met kracht sluit, worden eventuele aanwezige vervuilingen zoals toiletpapier ‘doorgehakt’.

Beide afsluiters zijn samen met de impulsvlotter getest in de testopstelling.

Bevindingen rotatie afsluiter
Op basis van de testen blijkt dat de rotatie afsluiter zijn functie vervult, ofwel het openen en sluiten van de afsluiter bij vooraf gespecificeerde waterniveaus in de tank. Er zijn echter nog wel aantal verbeterpunten naar voren gekomen op basis van de lektesten, functietesten en cyclustesten.

Voor de afsluiting van de klep is een nylon O-ring toegepast. Deze sluit echter niet volledig af. Er is sprake van een lekverlies van 100 ml per minuut.
Verder is gebleken dat het originele ontwerp voor de magneten niet werkt in combinatie met de roterende beweging van de afsluiter. Er is een tijdelijke oplossing bedacht om de magneetkracht toch te kunnen gebruiken. Echter deze oplossing beperkt de beweging van de vlotter. Een definitieve oplossing is er momenteel nog niet.

Bevindingen translatie afsluiter
Op basis van de testen blijkt dat de translatie afsluiter, net zoals de rotatie afsluiter, zijn functie vervult. Ook hier zijn nog aantal verbeterpunten naar voren gekomen.

Bij het prototype van de translatie afsluiter is gebruik gemaakt van een nylonplaat. Bij het verspanen is de nylonplaat iets vervormd door de warmte die tijdens het verspanen is ontstaan. Daardoor sluit de afsluiter minder goed en is er meer kracht nodig voor het openen en sluiten van de afsluiter in relatie tot de rotatie afsluiter. Er is bij de translatie afsluiter sprake van een lekverlies van 290 ml per minuut.

Een voordeel van de translatie afsluiter in relatie tot de rotatie afsluiter is dat de afsluiter wel erg stevig is doordat er een directe overbrenging is tussen de afsluiter en de vlotter. Er zijn minder bewegende delen waardoor de kans op falen ook kleiner is.

Bevindingen vlotter
Het principe van de vlotter werkt goed. Wel wordt duidelijk dat het belangrijk is om een evenwichtige dan wel symmetrische vlotter te ontwikkelen om wrijvingen onbalans te voorkomen.

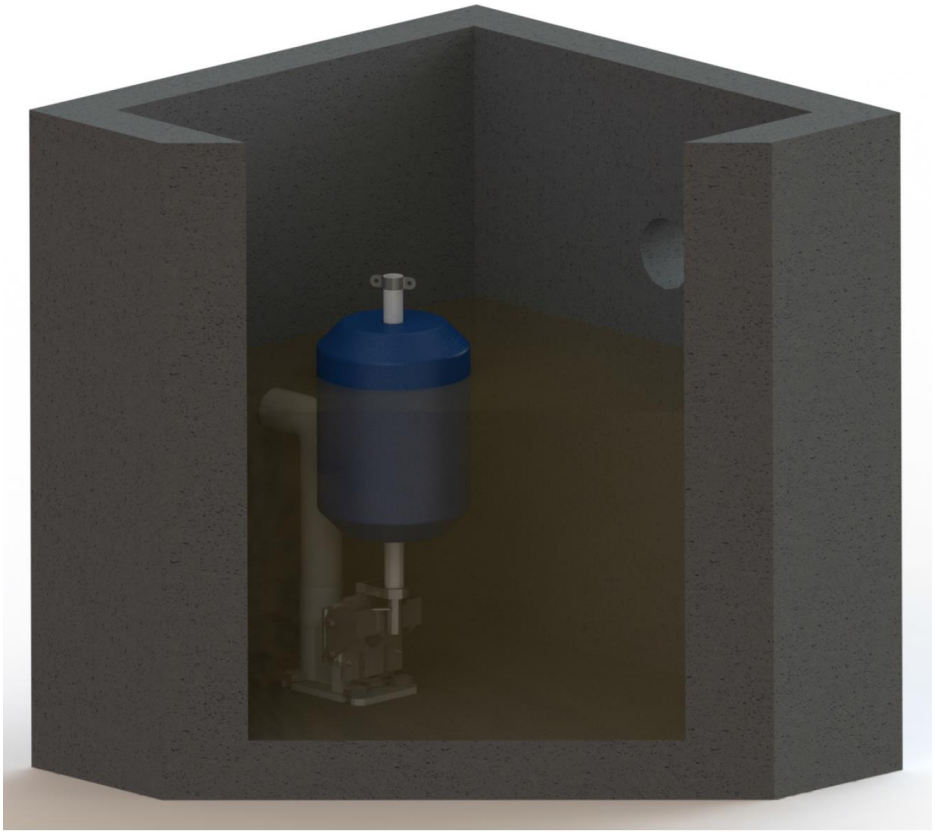
4.3 Conclusie en aanbevelingen

Uit de testresultaten blijkt dat beide afsluiters kunnen voldoen aan de gestelde randvoorwaarden, maar dat er nog wel verbeterpunten zijn voordat de afsluiters in de praktijk getest kunnen worden.

Door het simpele en daardoor betrouwbare ontwerp van de translatie afsluiter wordt aanbevolen om deze afsluiter door te ontwikkelen. Het relatief hoge lekverlies kan worden gereduceerd door het gebruik van staal in plaats van kunststof. Door het gebruik van een gestanste O-ring wordt de

oppervlaktekwaliteit verhoogd waardoor er minder weerstand ontstaan bij het openen en sluiten van de afsluiter.

Tevens dient er een symmetrische en evenwichtige vlotter te worden gemaakt, om zodoende geen onbalans en daarmee aanvullende wrijvingsweerstand te verkrijgen. Tevens wordt aanbevolen om de vlotter en de geleidestang van de vlotter te voorzien van een vuilwerende coating. Een filter of cocon rond de vlotter zou ook een mogelijke oplossing kunnen zijn. Figuur 4.3 presenteert een impressie van de translatie afsluiter met een verbeterde vlotter.



Figuur 4.3 Impressie van translatie afsluiter met verbeterde vlotter in reguliere pompput

5 Theoretische ‘proof of principle’

Parallel aan de optimalisatie is ook de theoretische ‘proof of principle’ uitgewerkt. Uit de praktijk is bekend dat met een vacuüminstallatie geen grotere onderdrukken dan 0,5 à 0,6 bar kunnen worden verkregen. De vraag die hierbij gesteld is of met deze druk voldoende afvoercapaciteit en aansluitingen kunnen worden gemaakt in combinatie met de lange leidingtracés die bij de riolering in de buitengebieden gebruikelijk zijn.

Om dit te onderzoeken is een hydraulische berekening gemaakt van een fictief systeem. Voor de berekeningen is het simulatieprogramma Wanda van Deltares gebruikt. Dit is een programma voor het hydraulisch ontwerp en optimalisatie van pijpleidingsystemen.
Bij de berekening is ook als gevoeligheid het effect van het lekverlies van de afsluiter (zoals vastgesteld bij de optimalisatie van de afsluiter, zie vorig hoofdstuk) gemodelleerd.

Navolgend zijn de resultaten besproken.

5.1 Uitgangspunten

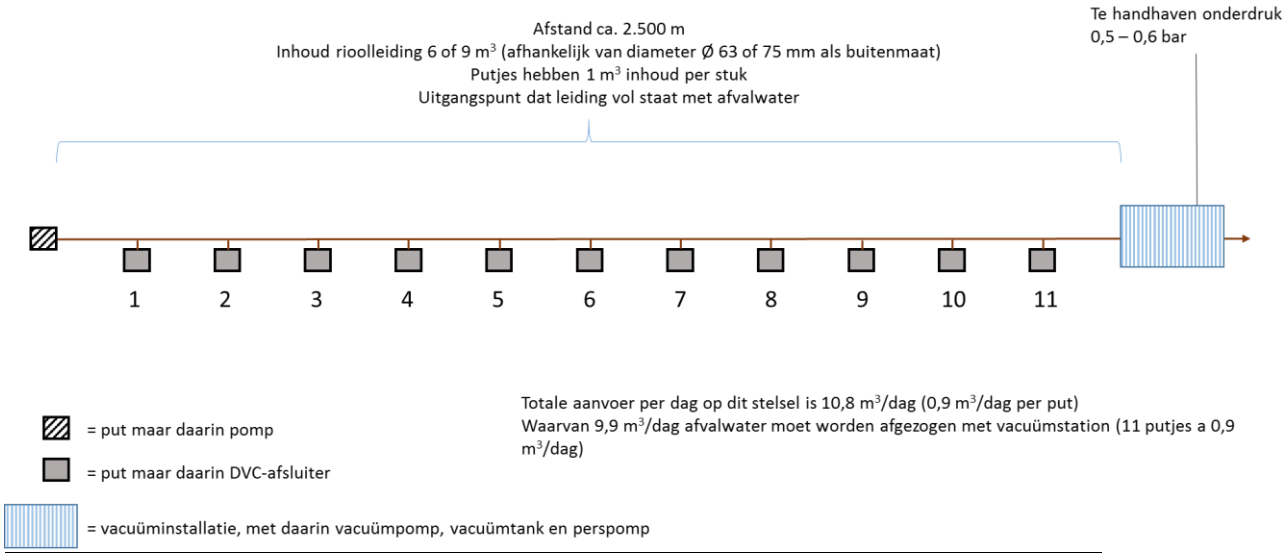
Als basis voor de berekening zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd.

- Gemiddeld aanvoerdebiet per aangesloten put : 90 l/uur[2]
- Piekaanvoerdebiet per aangesloten put : 225 l/uur[3]
- Totaal debiet per pompput : 900 l/dag
- Inwendige afmetingen put (l x b x h) : 0,8 x 0,8 x 1,2 m
- Diameter vlotterklep : 50 mm
- Openingspeil klep : 0,75 m vanaf bodem put
- Sluitingspeil klep : 0,3 m vanaf bodem put
- Drukklasse leiding : PN8
- Inwendige diameter riolering : 55,8 of 67,8 mm (= 63 of 75 mm uitwendig)
- Diepteligging riolering : 0,75 m
- Diepteligging vacuümtank : 0,75 m
- Zuigdruk (onderdruk) : 0,5 of 0,6 bar

Voor drukriolering wordt voor de gezamenlijke leiding in het algemeen een niet langere lengte dan 3 km als richtlijn aangehouden vanwege de verblijftijd van het afvalwater. Bij langere

[2] Uitgaande van 120 l afvalwater per persoon per dag. Aanname dat dit gedurende 10 uur vrijkomt (leidraad Riolering) is gemiddeld 12 l per persoon per uur. Uitgaande dat er maximaal 3 huishoudens op 1 put lozen met gemiddeld 2,5 persoon per huishouden, resulteert dit in gemiddelde aanvoerdebiet van 90 l/uur.
[3] Voor de piekaanvoer per uur is een factor 2,5 gehanteerd. Dit is een hoge factor die als worst-case wordt beschouwd.

verblijftijden is het risico op teveel waterstofdisulfide (H_2S) groot. Voor de berekening is daarom gekozen voor een ‘veilige’ lengte van circa 2,5 km waarbij om de 200 m een put is aangesloten. Dit betreft dan in totaal 12 putten, waarvan er 11 zijn voorzien van een klep. In de laatste put (gezien vanaf de vacuüminstallatie) blijft een pomp gehandhaafd. Figuur 5.1 presenteert ter beeldvorming een illustratie van de fictieve rioolstreng zoals gehanteerd voor de berekening.



Figuur 5.1 Illustratie ficitieve rioolstreng

Het hydraulisch schema van dit systeem ten behoeve van de Wanda-modellering is als bijlage opgenomen (bijlage 2).

5.2 Verkenning afstand enkelbedrijf

Verkennend is gekeken over wat voor afstand het afvalwater uit een enkele put kan worden afgezogen indien geen rekening wordt gehouden met de begrenzing van de lengte door de verblijftijd. Met een enkele put in bedrijf kan de lengte van de leiding meer dan 25 km zijn waarbij het afgezogen debiet nog boven het piekaanvoerdebiet ligt. Dit is zoals al gezegd een niet realistisch scenario en zal daarom buiten beschouwing blijven. Deze verkenning is enkel uitgevoerd om enigszins een gevoel te krijgen bij de mogelijkheden van het DVC-systeem.

5.3 Gelijktijdigheid

Bij drukriolering wordt vaak een bepaalde formule gebruikt voor het berekenen van de gelijktijdigheid. Deze formule is weergegeven in de bijlage 3 met uitleg.
Voorwaarde voor het gebruik van deze formule is dat de pompcapaciteit binnen een zekere marge constant blijft. Uit navolgende berekeningsresultaten zal blijken dat bij zuigend systeem zoals dat wordt toegepast bij het DVC-systeem, bij het gelijktijdig in bedrijf zijn van meerdere

putten er grote onderlinge verschillen zijn in de debieten. Bij een systeem met pompen zijn deze verschillen aanzienlijk kleiner, zeker als de pompen een steile pompcurve hebben. Hierdoor wordt het debiet beter vastgehouden bij wisselende gelijktijdigheid.
De gelijktijdigheidsformule kan om die reden wel toegepast worden voor een pompsysteem maar niet voor vacuümriolering.

Voor het bepalen van de invloed van gelijktijdigheid is daarom het navolgende alternatief bedacht.
Aangenomen is dat op het tijdstip nul alle putten gevuld zijn tot het openingspeil van de klep en dus open gaan staan. Put 11 (dichtstbijzijnde put van vacuümstation) zal als eerste leeg zijn, vervolgens put 10, etc. totdat uiteindelijk ook put 1 leeg is. Omdat het legen van put 1 het langst duurt, is de totale tijd die benodigd is totdat put 1 leeg is berekend. Gedurende de cyclus worden de putten die nog niet leeg zijn bijgevuld met het gemiddelde aanvoerdebiet.

5.4 Scenario's en resultaten

Een drietal scenario's zijn berekend:

- Scenario 1 met de laagste zuigdruk (0,5 bar) en de kleinste leidingdiameter (Ø 63 mm uitwendig). Dit is het ongunstigste scenario
- Scenario 2 met de laagste zuigdruk (0,5 bar) en de grootste leidingdiameter (Ø 75 mm uitwendig)
- Scenario 3 met de hoogste zuigdruk (0,6 bar) en grootste leidingdiameter (Ø 75 mm uitwendig)

De berekeningen zijn als bijlage opgenomen (bijlage 4, 5 en 6).

Resultaten scenario 1:
Twee interpretaties zijn gemaakt van de resultaten.

Interpretatie 1
Uit de berekening volgt dat put 1 leeg is na 83 minuten. Aangenomen is dat de putten zich tussentijds blijven vullen met het gemiddelde aanvoerdebiet van 90 l/uur. Het leegzuigen van put 1 begint pas na circa 60 minuten volgens de berekening. Gedurende deze 60 minuten wordt put 1 dus nog eens nagevuld met 90 liter. In de put is boven het openingspeil van de klep nog circa 130 liter buffervolume aanwezig, voldoende om de extra 90 liter te bergen voordat het leegzuigen begint.
Wordt in plaats van het gemiddelde aanvoerdebiet het maximale aanvoerdebiet van 225 l/u genomen dan is het buffervolume niet toereikend en kan de put overlopen. De kans dat in de praktijk alle putten tegelijk vol zitten en tegelijkertijd ook nog het maximale aanvoerdebiet van toepassing is, lijkt echter niet waarschijnlijk.

Interpretatie 2
In voorgaande interpretatie is ervan uitgegaan dat bij de start van de berekening alle putten vol zijn. Dat is wellicht een te conservatieve benadering en is het geoorloofd er van uit te gaan dat nooit alle putten tegelijk vol staan (behalve bij storingen van het systeem). Daarom is ter vergelijking een navolgende andere benadering gemaakt.
Per etmaal wordt in 10 uur een hoeveelheid van 900 liter naar een put afgevoerd. Een cyclus duurt maximaal 83 minuten. In 10 uur kunnen dus tenminste 10 x 60/83 = 7,2 cyclussen doorlopen worden. Per cyclus wordt per put 413 liter afgevoerd (= (0,75-0,3) x 0,8 x 0,8 x 1.000 + 83/60 x 90).
In totaal kan dus 7,2 x 413= 2.970 liter worden afgevoerd en dit is dus ruim genoeg om de theoretische etmaalproductie van 900 liter per put te kunnen verwerken.

Resultaten scenario 2 en 3:
Scenario 2 heeft een cyclusduur van 45 minuten en scenario 3 heeft een cyclusduur van 40 minuten. Duidelijk is dat met de hierboven gehanteerde benadering, met deze cyclustijden er geen capaciteitsprobleem zal zijn bij de veraf gelegen putten. Wat verder opvalt, is dat een wat lagere zuigdruk van 0,5 bar in plaats van 0,6 bar niet van grote invloed is op de afvoercapaciteit.

5.5 Opwoelen bezonken materiaal in leiding

De stromingssnelheid zal in het grootste deel van de hoofdleiding te laag zijn om bezinking in de leiding te voorkomen. Om het bezonken materiaal weer op te woelen is bij het DVC-systeem rekening gehouden met een pompput aan het eind van de rioolstreng (verste weg van vacuüminstallatie). Deze pomp dient voldoende capaciteit te hebben om het bezonken materiaal in de leiding op te woelen[4]. Voor drukriolering wordt een snelheid van tenminste 0,7 m/s aangehouden. Wij hebben voor de berekening 0,8 m/s aangehouden. Hogere snelheden zijn niet mogelijk zonder dat de persdruk te hoog oploopt. Bij de kleine leidingdiameter is hiervoor een capaciteit van 7,0 m^3/uur nodig bij een persdruk van 6,5 bar. Hogere snelheden geven al snel een druk boven 10 bar en vereisen leidingen met een hogere drukklasse.

5.6 Lekverlies

In de testopstelling voor de optimalisatie van de afsluiter is een lekverlies van 100 ml/min (rotatie afsluiter) tot 290 ml/min (translatie afsluiter) gemeten bij een onderdruk van 0,6 bar (0,4 bar absoluut) over de afsluiter in de put. Aangezien het hogere lekverlies van de translatie afsluiter veroorzaakt is door een iets vervormde nylonplaat als gevolg van verspanen en dit niet representatief is voor de eindsituatie, is het effect van een lekverlies van 100 ml/min gehanteerd. Er is geverifieerd of een dergelijk lekverlies mogelijk een probleem is. Het resultaat is dat dit

[4] Het volledig doorspoelen van de leiding zal niet mogelijk zijn, aangezien de inhoud van het leidingstelsel ca 6 of 9 m^3 is afhankelijk van de leidingdiameter en de waterinhoud van de pompput ca. 0,9 m^3 is.

lekverlies verwaarloosbaar klein is ten opzichte van de afzuigdebieten en de werking van het systeem niet nadelig zal beïnvloeden.

5.7 Effect bovengrondse vacuüminstallatie

In de berekeningen van de drie scenario's is ervan uitgegaan dat de vacuümtank zich op gelijke diepte bevindt als de riolering. Bij de geplande pilot in Veendam[5] is het de bedoeling dat de vacuüminstallatie in een zeecontainer bovengronds wordt geplaatst. Om deze reden is ook verkend wat het effect is op de werking van het DVC-systeem indien de vacuümtank niet ondergronds, maar bovengronds staat opgesteld. Een bovengrondse opstelling zal een verlies aan zuigdruk geven van circa 0,1 bar. Het effect hiervan is in een extra scenario toegevoegd (zie bijlage 7). Hieruit blijkt dat put 1 na 97 minuten leeg is. De invloed van iets minder druk is, zoals bij scenario 2 en 3 al opgemerkt, niet erg groot (97 versus 83 minuten). Een bovengrondse opstelling van de vacuümtank bij de pilot is dus geen probleem.

5.8 Conclusie

De gebruikelijke gelijktijdigheidsberekeningen voor drukriolering kunnen niet zonder meer worden toegepast voor een vacuümsysteem. Uit de alternatieve benadering blijkt dat voor scenario 2 en 3 geen problemen zijn te verwachten met de afvoercapaciteit. Scenario 1 zou een probleem kunnen geven bij de laatste putten indien het piekaanvoerdebiet meer dan 35 minuten (130/225 x 60 = 35 minuten) aanhoudt in een cyclus.
Samenvattend mag uit de berekeningen geconcludeerd worden dat met de gegeven uitgangspunten een DVC-systeem volgens scenario 2 en 3 hydraulisch gezien goed kan functioneren. Scenario 1 is wat onzekerder als de meest conservatieve benadering voor de gelijktijdigheid wordt toegepast. De kans dat in de praktijk alle putten tegelijk vol zitten en tegelijkertijd ook nog het maximale aanvoerdebiet van toepassing is, lijkt echter niet waarschijnlijk.

[5] De aangewezen drukrioolstreng in Veendam is ook ca. 2.500 m, weliswaar met minder putten.

6 Doorkijk kansrijkheid DVC-systeem

Op basis van de uitgevoerde optimalisatie van de DVC-afsluiters en de uitgevoerde theoretische ‘proof of principle’ is verkend wat de kansrijkheid is van het DVC-systeem. De drukriolering is als referentie gehanteerd. Als uitgangspunt is dezelfde fictieve rioolstreng gehanteerd, zoals ook gebruikt voor de theoretische ‘proof of principle’ (zie vorig hoofdstuk) waarbij is aangenomen dat de werktuigbouwkundige en elektrotechnische onderdelen (pompen en schakelkasten) vervangen moeten worden. Waarbij de hoofdvraag dan is; is het interessant om het DVC-systeem toe te passen? Of kan beter de drukriolering worden gehandhaafd (ofwel het vervangen van de pompen en schakelkosten door nieuwe exemplaren)? Dit is een reële casus zoals deze ook de komende jaren van toepassing zal zijn bij veel gemeenten.

Met drukriolering is de afgelopen decennia al veel ervaring opgedaan en zijn daarmee de kosten goed te bepalen. Voor het DVC-systeem zijn de kosten vanzelfsprekend nog minder bekend en zijn realistische inschattingen gemaakt van de kosten van de onderdelen van het DVC-systeem (bandbreedten).

De investeringskosten, exploitatiekosten alsmede de jaarlijkse kosten (inclusief afschrijving) zijn inzichtelijk gemaakt. Hierbij gaat het alleen om de verschilkosten, ofwel onderscheidende kosten. Dus stel dat de terugslagklep in de leiding tussen de pomp en de hoofdriolering vervangen moet worden, dan zal deze ook vervangen moeten worden indien gekozen wordt voor het DVC-systeem. Deze kosten zijn dan niet onderscheidend en niet meegenomen in de kostenvergelijking.

In paragraaf 6.1 zijn de technische uitgangspunten samengevat gevolgd door de financiële uitgangspunten in paragraaf 6.2. Paragraaf 6.3 presenteert de doorkijk van het energiegebruik gevolgd door paragraaf 0 waarin het resultaat van de financiële verkenning is opgenomen. In paragraaf 6.5 is nog het effect van een verdubbeling van het rioolstelsel als gevoeligheid gepresenteerd.

6.1 Technische uitgangspunten

Algemeen

- Rioleringsstreng van 2.400 m met om de 200 m een (pomp)put, ofwel in totaal 12 (pomp)putten

Drukriolering

- Vervangen van pomp + schakelkast bij elke pompput door nieuwe pompen en schakelkasten, capaciteit pomp 5 m^3/uur

DVC-systeem

- Vervangen van pomp + schakelkast van de pompput die het verst afgelegen is van de vacuüminstallatie door nieuwe pomp en schakelkast, capaciteit 10 m^3/uur [6]
- In de overige 11 putten wordt de pomp en schakelkast vervangen door DVC-afsluiter, inclusief vlotter met niveauschakeling
- Niveauschakeling geeft signaal aan module (ook opgesteld bij put) die signaal draadloos communiceert naar vacuüminstallatie. De zeer beperkte energievraag hiervoor wordt opgewekt met klein zonnepaneeltje + accu
- Realisatie vacuüminstallatie bestaande uit vacuümpomp, vacuümtank, perspomp, besturing, gestuurde driewegklep en gestuurde afsluiter

6.2 Financiële uitgangspunten

Algemeen

- De afschrijvingstermijn voor werktuigbouwkundige (W) en elektrotechnische (E) onderdelen is 15 jaar
- De afschrijvingstermijn voor civiele onderdelen is 30 jaar. Deze afschrijvingstermijn is alleen van toepassing voor opstelplaats voor vacuüminstallatie (klein gebouwtje of ondergrondse put)
- De jaarlijkse onderhoudskosten zijn gelijk verondersteld[7]
- Voor de elektriciteitsprijs is gerekend met tarief van EUR 0,11 per kWh (grootgebruikers tarief)
- Voor de jaarlijkse afschrijvingskosten is de annuïteitenmethode gehanteerd met daarbij een rente van 5 %
- Pomp capaciteit 5 - 10 m^3/uur EUR 1.200 (bron: Dusseldorp)
- Voor de stroomvoorziening is in het buitengebied doorgaans sprake van 1 moederkast waarop 3 dochterkasten zijn aangesloten (bron: Dusseldorp). De moederkast voorziet een pompput van stroom alsmede de dochterkasten ook elk een pompput. Op deze manier worden in totaal 4 pompputten van stroom voorzien. Enkel voor de moederkast zijn vastrechtkosten van toepassing voor het elektriciteitsnetwerk
- Investeringskosten moederkast t.b.v. elektriciteit EUR 2.500 (bron: Dusseldorp)
- Investeringskosten dochterkast t.b.v. elektriciteit EUR 1.000 (bron: Dusseldorp)
- Jaarlijkse vastrechtkosten moederkast EUR 174 (bron: Liander.nl, kosten 2016)

[6] Capaciteit van deze pomp is hoger dan van de pompen bij drukriolering, aangezien deze pomp zowel moet zorgen voor het wegdrukken van lucht dat onvoorzien in de riolering is gekomen alsmede dat deze pomp ook een doorspoelfunctie heeft (bezonken materiaal in leiding wegspoelen).

[7] Bij het DVC-systeem zijn er minder (storingsgevoelige) pompen aanwezig, waardoor minder onderhoud aannemelijk is. Daarvoor in de plaats wordt een mechanische afsluiter, inclusief vlotter geplaatst. In welke mate verstoppingen bij de mechanische afsluiter en vlotter optreden dient nog in de praktijk te worden getest. Redelijkerwijs mag worden verwacht dat de mechanische afsluiter, inclusief vlotter en de vacuüminstallatie ook onderhoud zullen behoeven. Voor de doorkijk is daarom besloten om de onderhoudskosten gelijk te veronderstellen.

DVC-systeem

- Investeringskosten mechanische afsluiter, inclusief vlotter EUR 150 – 185 per stuk (bron: pers. comm. Jurre Kuijper, NNTS)
- Investeringskosten niveaudetectie met zonnecel en datatransmitter EUR 400 per put[8]. Dit is inclusief abonnementskosten voor de eerste 5 jaar. Daarna zijn de abonnementskosten EUR 2,50 per maand per put (bron: pers. comm. Richard Ydema, Innlue)
- Investeringskosten vacuüminstallatie (vacuümpomp, vacuümtank, besturing, gestuurde driewegklep en gestuurde afsluiter) EUR 15.000 – EUR 18.000 (bron: Busch + eigen ervaring)
- Opstelplaats vacuüminstallatie EUR 4.000 – 6.000

6.3 Energiegebruik (duurzaamheid)

Om een beeld te krijgen bij de duurzaamheid van het DVC-systeem versus een drukrioleringsssysteem - alsmede ten behoeve van de exploitatiekosten - is ook nader gekeken naar het energiegebruik van beide systemen.

Het energiegebruik is verkend voor het fictieve stelsel zoals ook gehanteerd bij de theoretische 'proof of principle' (zie hoofdstuk 5), ofwel een stelsel van circa 2.500 meter met in totaal 12 putten.

Drukriolering

Er is geen eenduidige manier om het energiegebruik van drukriolering goed vast te stellen. Tevens circuleren er diverse kengetallen voor het jaarlijkse energiegebruik van een drukrioleringspompput die een brede bandbreedte laten zien variërend van 100 tot 500 kWh per drukrioleringspompput per jaar. Om een beeld te krijgen bij het energiegebruik zijn twee theoretische aanvliegroutes gekozen voor de bepaling van het energiegebruik van drukriolering.

Aanvliegroute 1

Aanvliegroute 1 is het meest rechttoe rechtaan, waarbij als uitgangspunt is genomen dat iedere pompput is voorzien van pomp van 5 m^3/uur en dat er per pompput 900 liter per dag moet worden verpompt (zie ook uitgangspunten in paragraaf 5.1). Dit resulteert in een totaal aantal draaiuren van 66 uur per pompput per jaar. Het opgenomen vermogen voor een pomp van 5 m^3/uur is doorgaans 1,7 kW (bron: Dusseldorp). Dit resulteert in 112 kWh per pompput per jaar, ofwel afgerond 1.340 kWh per jaar voor het fictieve stelsel met 12 putten.

[8] Niveaudetectie is nodig zodat er signaal aan vacuuminstallatie wordt gegeven om systeem op onderdruk te zetten. Het systeem continu op onderdruk zetten (en dan zonder niveaudetecties) is niet mogelijk, omdat de bestaande drukrioolstelsels daar niet op zijn berekend. Hierbij wordt gedoeld op de moffen die bij drukriolering doorgaans worden gebruikt. Deze zijn niet geschikt voor een continue onderdruk met als gevolg dat sprake zal zijn van een lekverlies en lucht zal worden aangetrokken. Bron: pers. comm. Richard Ydema

Aanvliegroute 2
Voor aanvliegroute 2 is gebruik gemaakt van een Wanda-modellering. In Wanda is het fictieve drukrioolstelsel gemodelleerd waarbij ook de manometrische drukhoogte is bepaald. In bijlage 8 zijn de uitgangspunten en resultaten van de Wanda-modellering opgenomen. Samengevat is het energiegebruik op basis van de Wanda-modellering, afgerond 1.150 kWh per jaar.

Op basis van de theoretische aanvliegroutes is te zien dat er een verschil van circa 200 kWh per jaar is tussen de beide aanvliegroutes. Dit is circa 15 %.

DVC-systeem
Voor de bepaling van het energiegebruik van het DVC-systeem is een soortgelijke aanpak gekozen als bij aanvliegroute 1 bij de drukriolering. De bepaling van de draaiuren van de vacuümpomp zijn echter niet rechtevenredig met het debiet, zoals dat bij aanvliegroute 1 bij de drukriolering is gehanteerd. Om deze reden is contact gezocht met Busch Vacuümpompen en Systemen om op basis van hun expertise een inschatting te maken van de draaiuren van de vacuümpomp voor het fictieve stelsel. Busch verwacht dat de vacuümpomp hooguit een half uur per dag in gebruik zal zijn. Het opgenomen vermogen van de vacuümpomp is 1,1 kW. Dit resulteert in een energiegebruik van 200 kWh per jaar voor de vacuümpomp. Het afvalwater wordt door het tijdelijk drukloos maken van de vacuümtank onder vrijverval geloosd op hetzij een lokaal behandelingssysteem of een aanwezig vrijvervalriolering of een put waaruit het verder wordt getransporteerd.

Naast de vacuümpomp is er ook nog een perspomp aan het eind van de rioolstreng (verst afgelegen van vacuüminstallatie) noodzakelijk. Aangezien deze pomp ook als functie heeft om de bezinking in de rioolstreng om te woelen (zie ook paragraaf 5.5) is uitgegaan van een sterkere pomp van 10 m^3/uur met een opgenomen vermogen van 2,5 kW in plaats van 1,7 kW. Dit resulteert in een energiegebruik van circa 80 kWh per jaar voor de perspomp.

Het totale energiegebruik voor het DVC-systeem is dan circa 280 kWh per jaar. Dit is dus factor 4 tot 5 lager in relatie tot het berekende energiegebruik bij drukriolering. Op basis van het energiegebruik kan worden geconcludeerd dat het DVC-systeem duurzamer is dan de drukriolering.

Voor de exploitatiekosten is rekening gehouden met 280 kWh voor het DVC-systeem en 1.150 kWh (de laagst berekende waarde) voor drukriolering.

6.4 Financiële uitwerking

Tabel 6.1 presenteert het overzicht van de kostenberekening. De totaal jaarlijkse kosten voor drukriolering worden geraamd op afgerond EUR 3.600. De totale jaarlijkse kosten voor het DVC-systeem worden geraamd op afgerond EUR 3.500 tot EUR 3.950 afhankelijk van of de onderkant of bovenkant van de bandbreedten zijn gehanteerd. De besparing aan pompen bij het DVC-systeem wordt grotendeels weer teniet gedaan door de benodigde investering voor de vacuüminstallatie. Op basis van deze verkennende kostenberekening kan worden geconcludeerd dat het DVC-systeem min of meer even doelmatig is als drukriolering en minder doelmatig is indien de bovenkant van de bandbreedten worden gehanteerd.

Noot: Bij het DVC-systeem is sprake van lagere stroomsnelheden in het rioolstelsel waarbij het optreden van bezinking in het rioolstelsel een reëel aandachtspunt is. Om de mate van bezinking alsmede de benodigde beheersmaatregelen te bepalen is pilotonderzoek noodzakelijk. Op basis van de ervaringen met drukriolering is redelijkerwijs wel te verwachten dat hiervoor maatregelen moeten worden getroffen. De kosten hiervoor zijn nu niet meegenomen in de uitgevoerde verkennende kostenberekeningen, omdat deze kosten vooralsnog niet kunnen worden bepaald. De berekende jaarlijkse lasten voor het DVC-systeem moeten hiermee feitelijk lager uitvallen in relatie tot drukriolering om zodoende financiële ‘ruimte’ te verkrijgen voor de beheersmaatregelen.

Tabel 6.1 Overzicht kostenberekening voor rioolstelsel van 2.400 m met in totaal 12 putten

DRUKRIOLERING				DVC-SYSTEEM			
Investeringskosten							
Werktuigbouwkundige en elektrotechnische (W/E) onderdelen							
Aantal pompunits		12	stuks	Aantal pompunits		1	stuks
Kosten pomp (5 m3/uur)	€	1.200	per stuk	Kosten pomp (10 m3/uur)	€	1.200	per stuk
Aantal moederkasten		3	stuks	Aantal moederkasten		2	stuks
Kosten moederkast	€	2.500	per stuk	Kosten moederkast	€	2.500	per stuk
Aantal dochterkasten		9	stuks	Aantal dochterkasten		0	stuks
Kosten dochterkast	€	1.000	per stuk	Kosten dochterkast	€	1.000	per stuk
				Kosten vacuuminstallatie	€	15.000	bandbreedte € 15.000 - 18.000
				Aantal DVC-afsluiters		11	stuks
				Kosten DVC-afsluiter per stuk	€	150	bandbreedte € 150 - 185
				Aantal niveaudetecties		11	stuks
				Kosten niveaudetectie per put met zonnecel en datatransmitter	€	400	per stuk
TOTAAL investeringskosten W/E	**€**	**30.900**			**€**	**27.250**	
Civiele onderdelen							
				Kosten opstelplaats vacuüminstallatie	€	4.000	bandbreedte € 4.000 - 6.000
TOTAAL investeringskosten civiel		**0**			**€**	**4.000**	
TOTAAL investeringskosten	**€**	**30.900**			**€**	**31.250**	
Jaarlijkse lasten							
Kapitaalslasten							
Annuiteit							
Rente		5%					
Afschrijvingstermijn W/E		15	jaar				
Afschrijvingstermijn C		30	jaar				
Annuiteit W/E		0,096					
Annuiteit C		0,065					
Kapitaalslasten W/E	€	2.977		Kapitaalslasten W/E	€	2.625	
Kapitaalslasten C		0		Kapitaalslasten C	€	260	
TOTAAL kapitaalslasten	**€**	**2.977**	**per jaar**		**€**	**2.886**	**per jaar**
Exploitatiekosten							
Energieprijs	€	0,11	per kWh				
Energiegebruik		1.150	kWh/jaar	Energiegebruik		280	kWh/jaar
Energiekosten	€	127	per jaar	Energiekosten	€	31	per jaar
Aantal moederkasten		3	stuks	Aantal moederkasten		2	stuks
Vastrechtkosten moederkast	€	174	per jaar	Vastrechtkosten moederkast	€	174	per jaar
Vastrechtkosten per jaar	€	522	per jaar	Vastrechtkosten per jaar	€	348	per jaar
				Abonnementskosten voor datatransmitten niveaudetecties	€	30	per jaar per put na 5 jaar
						330	totaal per jaar voor 11 putten
						220	totaal per jaar gecorrigeerd met factor 10/15
TOTAAL exploitatielasten	**€**	**649**	**per jaar**		**€**	**599**	**per jaar**
TOTAAL jaarlijkse lasten	**€**	**3.625**	**per jaar**		**€**	**3.484**	**per jaar**
				o.b.v. onderkant bandbreedten	€	3.484	per jaar
				o.b.v. bovenkant bandbreedten	€	3.941	per jaar

6.5 Gevoeligheden

Op basis van het gestelde fictieve rioolstelsel van circa 2,5 km en in totaal 12 putten is gebleken dat het DVC systeem even of minder doelmatig is als drukriolering. Als gevoeligheid is verkend wat een verdubbeling van de leidinglengte en het aantal putten betekent voor de jaarlijkse kosten (gevoeligheid 1) en is verkend wat het effect is van een versimpeling van het DVC-systeem op de jaarlijkse kosten (gevoeligheid 2). Bij gevoeligheid 2 is geen rekening gehouden met een niveauschakeling met datatransmitter op iedere put.

Gevoeligheid 1: Verdubbeling leidinglengte en aantal putten

Hierbij zijn bij de drukriolering het aantal te vervangen pompen, moederkasten en dochterkasten verdubbeld. Tevens is voor deze gevoeligheid het energiegebruik verdubbeld. In de praktijk zal een verdubbeling van de leidinglengte niet recht evenredig zijn met het energiegebruik, dit ligt iets genuanceerder (zie ook de eerder uitgevoerde Wanda-modellering in bijlage 8). Aangezien de energiekosten niet bepalend zijn, zijn ze voor deze verkenning verdubbeld.

Voor het DVC-systeem is nu ook rekening gehouden met in totaal 24 putten, waarvan 1 put met pomp en de overige 23 met een DVC-afsluiter samen met niveaudetectie. De vacuüminstallatie is vergroot resulterend in hogere kosten alsmede ook hogere kosten voor de opstelplaats. Ook voor het DVC-systeem is nu aangehouden dat de energiekosten verdubbelen.

Noot: Of een verdubbeling van de lengte van het rioolstelstel representatief is voor een drukrioolstreng in het buitengebied is niet nader verkend. Tevens kan een verdubbeling niet zondermeer worden doorgevoerd voor het DVC-systeem, omdat bijvoorbeeld rekening moet worden gehouden met de ledigingstijd van het stelsel (zie ook de eerder uitgevoerde Wanda-modellering in hoofdstuk 5). De gevoeligheid is nu alleen bedoeld om het effect te verkennen op de kosten.

Tabel 6.2 presenteert het overzicht van de kostenberekening van deze gevoeligheid. De totaal jaarlijkse kosten voor drukriolering worden geraamd op afgerond EUR 7.250. De totale jaarlijkse kosten voor het DVC-systeem worden geraamd op afgerond EUR 5.050 tot EUR 5.750 afhankelijk van of de onderkant of bovenkant van de bandbreedten zijn gehanteerd. Op basis van deze verkennende kostenberekening kan worden geconcludeerd dat het DVC-systeem doelmatiger is als drukriolering en een besparing van 20 tot 30 % mogelijk is.

Tabel 6.2 Overzicht kostenberekening gevoeligheid 1 (rioolstelsel van 4.800 m met in totaal 24 putten)

DRUKRIOLERING				DVC-SYSTEEM			
Investeringskosten							
Werktuigbouwkundige en elektrotechnische (W/E) onderdelen							
Aantal pompunits		24	stuks	Aantal pompunits		1	stuks
Kosten pomp (5 m3/uur)	€	1.200	per stuk	Kosten pomp (15 m3/uur)	€	1.700	per stuk
Aantal moederkasten		6	stuks	Aantal moederkasten		2	stuks
Kosten moederkast	€	2.500	per stuk	Kosten moederkast	€	2.500	per stuk
Aantal dochterkasten		18	stuks	Aantal dochterkasten		0	stuks
Kosten dochterkast	€	1.000	per stuk	Kosten dochterkast	€	1.000	per stuk
				Kosten vacuuminstallatie	€	20.000	bandbreedte € 20.000 - 25.000
				Aantal DVC-afsluiters		23	stuks
				Kosten DVC-afsluiter per stuk	€	150	bandbreedte € 150 - 185
				Aantal niveaudetecties		23	stuks
				Kosten niveaudetectie per put met zonnecel en datatransmitter	€	400	per stuk
TOTAAL investeringskosten W/E	**€**	**61.800**			**€**	**39.350**	
Civiele onderdelen							
				Kosten opstelplaats vacuüminstallatie	€	6.000	bandbreedte € 6.000 - 8.000
TOTAAL investeringskosten civiel		**0**			**€**	**6.000**	
TOTAAL investeringskosten	**€**	**61.800**			**€**	**45.350**	
Jaarlijkse lasten							
Kapitaalslasten							
Annuiteit							
Rente		5%					
Afschrijvingstermijn W/E		15	jaar				
Afschrijvingstermijn C		30	jaar				
Annuiteit W/E		0,096					
Annuiteit C		0,065					
Kapitaalslasten W/E	€	5.954		Kapitaalslasten W/E	€	3.791	
Kapitaalslasten C		0		Kapitaalslasten C	€	390	
TOTAAL kapitaalslasten	**€**	**5.954**	**per jaar**		**€**	**4.181**	**per jaar**
Exploitatiekosten							
Energieprijs	€	0,11	per kWh				
Energiegebruik		2.300	kWh/jaar	Energiegebruik		560	kWh/jaar
Energiekosten	€	253	per jaar	Energiekosten	€	62	per jaar
Aantal moederkasten		6	stuks	Aantal moederkasten		2	stuks
Vastrechtkosten moederkast	€	174	per jaar	Vastrechtkosten moederkast	€	174	per jaar
Vastrechtkosten per jaar	€	1.044	per jaar	Vastrechtkosten per jaar	€	348	per jaar
				Abonnementskosten voor datatransmitten niveaudetecties	€	30	per jaar per put na 5 jaar
						690	totaal per jaar voor 11 putten
						460	totaal per jaar gecorrigeerd met factor 10/15
TOTAAL exploitatielasten	**€**	**1.297**	**per jaar**		**€**	**870**	**per jaar**
TOTAAL jaarlijkse lasten	**€**	**7.251**	**per jaar**		**€**	**5.051**	**per jaar**
				o.b.v. onderkant bandbreedten	€	5.051	per jaar
				o.b.v. bovenkant bandbreedten	€	5.740	per jaar

Gevoeligheid 2: Geen niveauschakeling en datatransmitter op iedere put
Bij de financiële uitwerking van het 'basis' DVC-systeem (zie vorige paragraaf) is rekening gehouden met een niveauschakeling met datatransmitter per put. Bij een projectgroepoverleg is door de gemeente Veendam de vraag gesteld of een dergelijke niveauschakeling met datatransmitter per put echt noodzakelijk is. De ervaring is namelijk dat de aanvoer op een put vrij voorspelbaar is over een dag. Mede vanwege de relatief grote buffer in een put is het wellicht ook mogelijk om het DVC-systeem gewoon een x aantal keer per dag (aantal keer nader te bepalen) op onderdruk te brengen in plaats van dat het op onderdruk brengen van het DVC-systeem wordt aangestuurd door een niveauschakeling in de put. Door middel van een debietdetectie (flowdetectie) bij het vacuümstation kan eenvoudig worden geconstateerd of één of meerdere DVC-afsluiters open staan (detectie van debiet) of dat allen dicht staan (geen debiet). Als er geen debiet wordt gedetecteerd wordt de onderdruk opgeheven.

Tabel 6.3 presenteert het overzicht van de kostenberekening van deze gevoeligheid. De totaal jaarlijkse kosten voor drukriolering worden geraamd op afgerond EUR 3.625 (zie ook paragraaf 6.4). De totale jaarlijkse kosten voor het DVC-systeem worden geraamd op afgerond EUR 2.840 tot EUR 3.300 afhankelijk van of de onderkant of bovenkant van de bandbreedten zijn gehanteerd. Op basis van deze verkennende kostenberekening kan worden geconcludeerd dat het DVC-systeem doelmatiger is als drukriolering en een besparing van 10 tot 20 % mogelijk is.

Tabel 6.3 Overzicht kostenberekening gevoeligheid 2 (geen niveauschakeling en datatransmitter op put)

DRUKRIOLERING				DVC-SYSTEEM			
Investeringskosten							
Werktuigbouwkundige en elektrotechnische (W/E) onderdelen							
Aantal pompunits		12	stuks	Aantal pompunits		1	stuks
Kosten pomp (5 m3/uur)	€	1.200	per stuk	Kosten pomp (10 m3/uur)	€	1.200	per stuk
Aantal moederkasten		3	stuks	Aantal moederkasten		2	stuks
Kosten moederkast	€	2.500	per stuk	Kosten moederkast	€	2.500	per stuk
Aantal dochterkasten		9	stuks	Aantal dochterkasten		0	stuks
Kosten dochterkast	€	1.000	per stuk	Kosten dochterkast	€	1.000	per stuk
				Kosten vacuuminstallatie	€	15.000	bandbreedte € 15.000 - 18.000
				Aantal DVC-afsluiters		11	stuks
				Kosten DVC-afsluiter per stuk	€	150	bandbreedte € 150 - 185
TOTAAL investeringskosten W/E	**€**	**30.900**			**€**	**22.850**	
Civiele onderdelen							
				Kosten opstelplaats vacuüminstallatie	€	4.000	bandbreedte € 4.000 - 6.000
TOTAAL investeringskosten civiel		**0**			**€**	**4.000**	
TOTAAL investeringskosten	**€**	**30.900**			**€**	**26.850**	
Jaarlijkse lasten							
Kapitaalslasten							
Annuiteit							
Rente		5%					
Afschrijvingstermijn W/E		15	jaar				
Afschrijvingstermijn C		30	jaar				
Annuiteit W/E		0,096					
Annuiteit C		0,065					
Kapitaalslasten W/E	€	2.977		Kapitaalslasten W/E	€	2.201	
Kapitaalslasten C		0		Kapitaalslasten C	€	260	
TOTAAL kapitaalslasten	**€**	**2.977**	**per jaar**		**€**	**2.462**	**per jaar**
Exploitatiekosten							
Energieprijs	€	0,11	per kWh				
Energiegebruik		1.150	kWh/jaar	Energiegebruik		280	kWh/jaar
Energiekosten	€	127	per jaar	Energiekosten	€	31	per jaar
Aantal moederkasten		3	stuks	Aantal moederkasten		2	stuks
Vastrechtkosten moederkast	€	174	per jaar	Vastrechtkosten moederkast	€	174	per jaar
Vastrechtkosten per jaar	€	522	per jaar	Vastrechtkosten per jaar	€	348	per jaar
TOTAAL exploitatielasten	**€**	**649**	**per jaar**		**€**	**379**	**per jaar**
TOTAAL jaarlijkse lasten	**€**	**3.625**	**per jaar**		**€**	**2.840**	**per jaar**
				o.b.v. onderkant bandbreedten	€	2.840	per jaar
				o.b.v. bovenkant bandbreedten	€	3.297	per jaar

7 Conclusies

Navolgend zijn de conclusies van de eerste fase van de doorontwikkeling van het DVC-systeem samengevat.

Optimalisatie afsluiter:
Het oorspronkelijke prototype van de afsluiter bleek niet in staat om aan de gestelde randvoorwaarden te voldoen. Zowel de afsluiting als functionaliteit van de vlotter voldeed niet aan de gestelde eisen. Om deze reden is een alternatief ontwerptraject gestart.
Het ontwerptraject heeft geleid tot twee nieuwe prototypen, waarbij het ene prototype is gebaseerd op een roterende beweging (rotatie afsluiter) en het andere prototype op een translerende beweging (translatie afsluiter).
Uit de testresultaten blijkt dat beide afsluiters kunnen voldoen aan de gestelde randvoorwaarden, maar dat er nog wel verbeterpunten zijn voordat de afsluiters in de praktijk getest kunnen worden. Door het simpele en daardoor betrouwbare ontwerp van de translatie afsluiter leent deze afsluiter zicht het beste voor nadere doorontwikkeling.

Theoretische 'proof of principle':
Voor de theoretische 'proof of principle' van het DVC-systeem is een fictieve maar realistische rioolstreng gemodelleerd in het simulatieprogramma Wanda. Hierbij zijn diverse scenario's gemodelleerd (effect van meer of minder onderdruk, effect van grotere en kleinere leidingdiameter en combinatie van beide). Tevens is ook het effect verkend van lekverlies alsmede het effect van een bovengrondse opstelling van de vacuüminstallatie versus de basis opstelling die ondergronds is verondersteld.

Samenvattend mag uit de berekeningen geconcludeerd worden dat met de gegeven uitgangspunten het DVC-systeem hydraulisch gezien goed kan functioneren. Bij één scenario (met laagste onderdruk en kleine leidingdiameter) is het hydraulisch functioneren iets onzekerder. Dit is geldt echter alleen als sprake is van een piekaanvoerdebiet die langer duurt dan 35 minuten en alle putten tegelijk vol zitten. De kans dat deze situatie zich in de praktijk voordoet, lijkt niet waarschijnlijk.

Het effect op het hydraulisch functioneren van een beperkt lekverlies over de afsluiter (zoals vastgesteld bij de testopstelling) is verwaarloosbaar klein is ten opzichte van de afzuigdebieten en zal de werking van het DVC- systeem niet nadelig zal beïnvloeden. Dit geldt ook voor het hetzij bovengronds- of ondergronds opstellen van de vacuüminstallatie. Het effect hiervan is verwaarloosbaar voor het hydraulisch functioneren.

Doorkijk kansrijkheid DVC-systeem
Op basis van de uitgevoerde optimalisatie van de DVC-afsluiters en de uitgevoerde theoretische 'proof of principle' is verkend wat de kansrijkheid is van het DVC-systeem. De drukriolering is als referentie gehanteerd. Als uitgangspunt is dezelfde fictieve rioolstreng gehanteerd, zoals ook gebruikt voor de theoretische 'proof of principle' waarbij is aangenomen dat de werktuigbouwkundige en elektrotechnische onderdelen (pompen en schakelkasten) vervangen moeten worden.

Wat betreft duurzaamheid kan worden geconcludeerd dat het energiegebruik van het DVC-systeem een factor 4 tot 5 lager is in vergelijking met drukriolering. Op basis van het energiegebruik kan worden geconcludeerd dat het DVC-systeem duurzamer is dan de drukriolering.

Op basis van de verkennende kostenberekening voor het fictieve stelsel van circa 2,5 km met 12 putten kan worden geconcludeerd dat het DVC-systeem min of meer even doelmatig is als drukriolering en iets minder doelmatig is indien de bovenkant van de bandbreedten van de kosten worden gehanteerd.

Als gevoeligheid is verkend wat een verdubbeling van de leidinglengte en het aantal putten betekent (gevoeligheid 1) en wat het effect is als geen niveauschakeling met datatransmitter per put nodig is (gevoeligheid 2). Noot bij gevoeligheid 1 is dat het verdubbelen van de leidinglengte en het aantal putten niet zondermeer kan worden doorgevoerd in de praktijk in verband met de ledigingstijd van het stelsel (zou met Wanda-modellering nader bepaald moeten worden). Deze gevoeligheid is alleen bedoeld om het effect te verkennen op de kosten.
Een verdubbeling van de leidinglengte en het aantal putten heeft als resultaat dat het DVC-systeem jaarlijkse 20 – 30 % (afhankelijk van of de onderkant of bovenkant van de kostenbandbreedten worden gehanteerd) goedkoper is dan de drukriolering. Hierbij is dan wel aandachtspunt hoe representatief een dergelijk lang rioolstelsel is in het buitengebied.
Indien geen niveauschakeling en datatransmitter op iedere put nodig is bij het DVC-systeem wordt een kostenbesparing van 10 – 20 % (afhankelijk van of de onderkant of bovenkant van de kostenbandbreedten worden gehanteerd) gerealiseerd.

8 ‘Go/No Go’ beslissing vervolgfase

Op 7 november 2016 heeft een projectgroepoverleg plaatsgevonden waarbij voorgaande resultaten zijn besproken. Hierbij waren aanwezig:

- Martin Jonker Gemeente Veendam
- Dries Jansma Gemeente Groningen, mede namens stichting RIONED
- Jan Egberts Eleveld Waterschap Hunze en Aa’s
- Elias Bos Waterschap Hunze en Aa’s
- Bert Palsma STOWA/Stichting RIONED
- Jurre Kuiper NNTS
- Nathan Baak NNTS
- Richard Ydema InnBlue
- Paul Telkamp Tauw

Vanwege het verwachte lagere energiegebruik en het perspectief dat het DVC-systeem ook doelmatiger kan zijn dan drukriolering is een ‘Go’-beslissing genomen voor de volgende fase. Hierbij is ook belangrijk argument van onder andere de gemeente Veendam en gemeente Groningen dat praktijkonderzoek essentieel is naast de nu uitgevoerde bureaustudie en uitgevoerde testen met schoon water.

Oorspronkelijk was het de gedachte om bij een ‘Go’-beslissing een volledige drukrioolstreng om te bouwen naar het DVC-systeem. Gezien het feit dat de mechanische afsluiter en vlotter nog niet geheel zijn doorontwikkeld (zie paragraaf 4.3) alsmede om eerst op beperktere schaal ervaring op te doen met de werking van de mechanische afsluiter in huishoudelijk afvalwater, is besloten om eerst op kleinere schaal praktijktesten uit te gaan voeren. Hierbij is het de gedachte om op relatief korte rioolstreng met 3 putten het DVC-systeem te testen. Voorafgaand aan de praktijktest zal nog een doorontwikkelstap worden uitgevoerd voor de mechanische afsluiter en vlotter. Hierbij zal het materiaal en toleranties van de voorplaat worden aangepast om het lekverlies alsmede de interne wrijving van de afsluiter te reduceren.

Bijlage

1

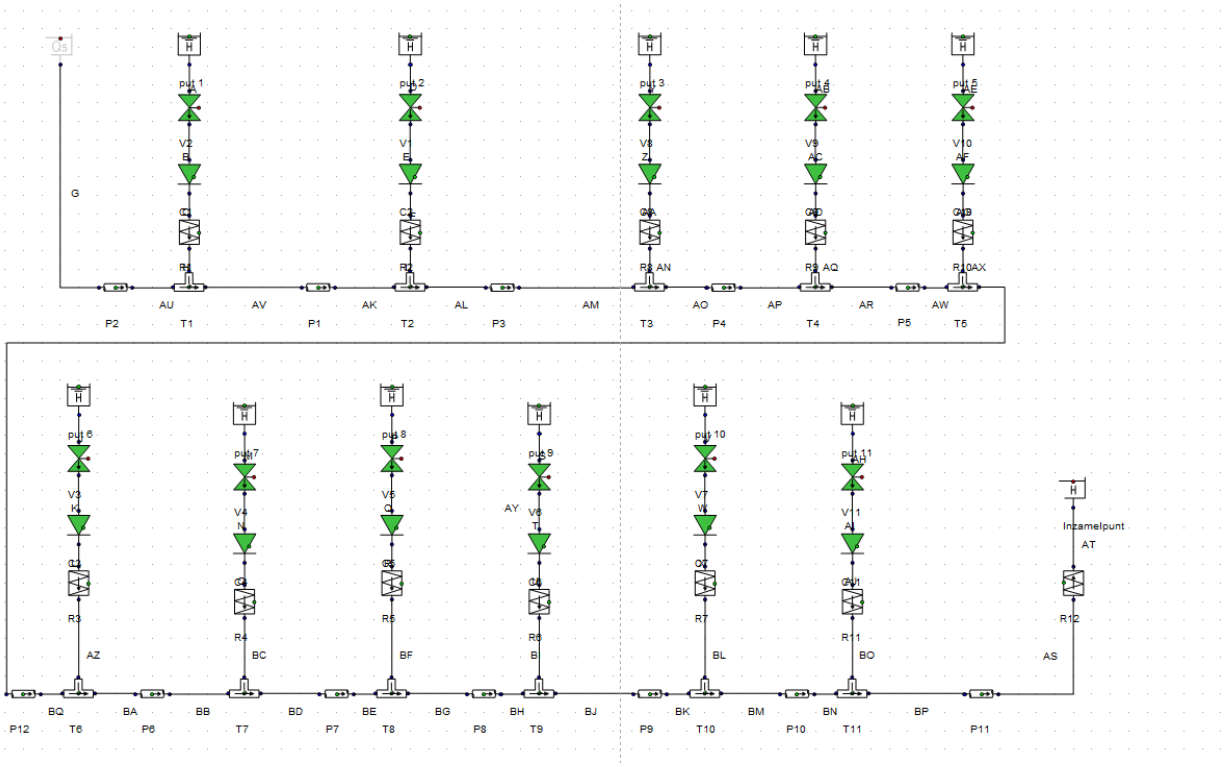
Onderzoeksrapportage optimalisatie afsluiter

Zie separaat meegestuurd bestand

Bijlage

2

Hydraulische schema fictieve rioolstreng t.b.v. Wanda-modellering



Qs
G
put 1
put 2
put 3
put 4
put 5
V2
V1
V8
V9
V10
AF
AN
AQ
AX
AU
AV
AK
AL
AM
AO
AP
AR
AW
P2
T1
P1
T2
P3
T3
P4
T4
P5
T5
put 6
put 7
put 8
put 9
put 10
put 11
V3
V4
V5
V6
V7
V11
AY
Inzamelpunt
AT
R3
R4
R5
R6
R7
R11
R12
AZ
BC
BF
BL
BO
AS
BQ
BA
BB
BD
BE
BG
BH
BJ
BK
BM
BN
BP
P12
T6
P6
T7
P7
T8
P8
T9
P9
T10
P10
T11
P11

Bijlage

3

Formule berekenen gelijktijdigheid drukriolering

Bij drukriolering wordt vaak onderstaande formule gebruikt voor het berekenen van de gelijktijdigheid:

$$\mathrm{P}=\frac{N!}{R!\,(N-R)!}\left(1-\frac{Qin}{Quit}\right)^{N-R}\left(\frac{Qin}{Quit}\right)$$

Waarin:

P	: waarschijnlijkheid bij het gekozen aantal pompen inbedrijf
N	: het totaal aantal aangesloten pompen
R	: het gekozen aantal pompen gelijktijdig in bedrijf
Qin	: Het gemiddelde debiet naar de pompput
Quit	: de pompcapaciteit

Vervolgens wordt bepaald bij welk aantal pompen, die gelijktijdig in bedrijf zijn, een waarschijnlijkheidspercentage van 10 % hoort. Er zijn twee uitkomsten: met een laag en een hoog aantal pompen. Die met het hoge aantal moet gekozen worden.

Met het gevonden aantal pompen kan het stelsel verder gedimensioneerd worden.

Bijlage

4

Resultaten Wanda-modellering Scenario 1

Zie separaat meegestuurd bestand

Bijlage

5

Resultaten Wanda-modellering Scenario 2

Zie separaat meegestuurd bestand

Bijlage

6

Resultaten Wanda-modellering Scenario 3

Zie separaat meegestuurd bestand

Bijlage

7

Resultaten Wanda-modellering extra scenario met bovengrondse vacuüminstallatie

Zie separaat meegestuurd bestand

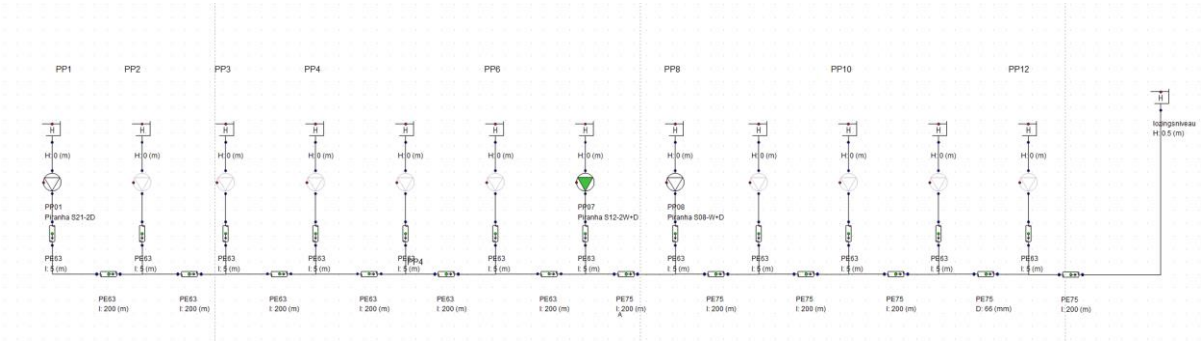
Bijlage

8

Bepaling energie fictief drukrioleringssysteem

Uitgangspunten modellering

De ‘layout’ van het drukrioleringssysteem is conform de Wanda-modellering zoals deze is uitgevoerd voor het DVC-systeem, ofwel een totale lengte van 2.400 m met 12 putten.



Overige uitgangspunten

- 3 woningen per pompput
- 2,5 inwoners per woning
- Lozingsdebiet 120 l/dag en 12 l/uur
- afmetingen pompput inwendig 0,8 x 0,8 x 1,2 m
- berging in pompput 0,4 m^3 (0,8 x 0,8 x 0,6 m)
- Ontwerpniveau van alle pompputten is gelijk
- Statische opvoerhoogte aangenomen op 0,5 m
- Minimum stroomsnelheid die regelmatig moet voorkomen 0,7 m/s (dit hoeft niet bij enkelloop te zijn)

Diameters en pomptypen zijn bepaald op basis van de minimum stroomsnelheid en lediging systeem. In het systeem zijn 3 typen vuilversnijdende pompen gebruikt om te voldoen aan de eis met betrekking tot de stroomsnelheid.

Voor het bepalen van de afvoercapaciteit en ledigingstijd is het zelfde uitgangspunt gehanteerd als bij het DVC-systeem, ofwel dat op het moment dat alle pompputten gevuld zijn ze na elkaar geleegd worden. In de praktijk kunnen meerder pompputten gelijktijdig geleegd worden en is de werkelijke ledigingstijd van het systeem aanzienlijk korter dan nu berekend.

Rekenresultaten

Met Wanda is het afvoerdebiet en de manometrische drukhoogte van de pompen bepaald. Afvoerdebiet en ledigingstijd van de pompputten in enkelloop zijn weergegeven in navolgende tabel.

Pompput	Debiet enkelloop [m^3/uur]	Hman. [mwk]	Inhoud pompput [m^3]	Ledigingstijd [uur]	Ledigingstijd [min.]
PP01	6,0	27,5	0,4	0,067	4,0
PP02	4,9	16,5	0,4	0,082	4,9
PP03	5,2	16,0	0,4	0,077	4,6
PP04	5,4	15,5	0,4	0,074	4,4
PP05	6,0	14,9	0,4	0,067	4,0
PP06	6,6	14,2	0,4	0,061	3,6
PP07	7,3	12,5	0,4	0,055	3,3
PP08	6,0	7,3	0,4	0,067	4,0
PP09	6,2	6,4	0,4	0,065	3,9
PP10	6,4	5,2	0,4	0,063	3,8
PP11	6,7	3,9	0,4	0,060	3,6
PP12	7,0	2,4	0,4	0,057	3,4
Totaal				0,792	47,5

De totale ledigingstijd van het systeem bedraagt afgerond 0,8 uur, ofwel 48 minuten uitgaande dat de pompputten na elkaar worden geleegd. De berekende afvoerdebieten en manometrische drukhoogten dienen als input voor de berekening van de benodigde energie.

Energiegebruik

Navolgende tabel presenteert het energiegebruik per pomp per jaar. Hierbij is uitgegaan van 25 % hydraulisch rendement van de pompen en 85 % elektrisch rendement. Daarnaast is uitgegaan van een minimum pompvermogen van 1,7 kW (ondergrens voor drukrioleringspompen).

Op basis van de Wanda-modellering is het jaarlijkse energiegebruik voor het drukrioleringssysteem afgerond 1.150 kWh/jaar.

Werktuig	**Volume-stroom [m3/h]**	**Hman [mwk]**	**Pas [kW]**	**Pmotor [kW]**	**Aantal draaiuren* [uur/jr]**	**Energie-gebruik [kWh/j]**
Pomp 1	6,0	27,5	1,83	2,5	55	137
Pomp 2	4,9	16,5	0,90	1,7	67	114
Pomp 3	5,2	16,0	0,93	1,7	63	107
Pomp 4	5,4	15,5	0,93	1,7	61	103
Pomp 5	6,0	14,9	0,99	1,7	55	93
Pomp 6	6,6	14,2	1,04	1,7	50	85
Pomp 7	7,3	12,5	1,01	1,7	45	77
Pomp 8	6,0	7,3	0,49	1,7	55	93
Pomp 9	6,2	6,4	0,44	1,7	53	90
Pomp 10	6,4	5,2	0,37	1,7	51	87
Pomp 11	6,7	3,9	0,29	1,7	49	83
Pomp 12	7,0	2,4	0,19	1,7	47	80
Totaal						1.149