

Byer i Vandbalance notat 2

---

# Anlæg af DPF-Krogebjerg og DPF-Mårslet



## Indhold

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Forord .....                                                                       | 3  |
| DEL 1: DOBBELTPORØST FILTER I KØBENHAVN OG AARHUS – ANLÆG OG INSTRUMENTERING ..... | 4  |
| Baggrund .....                                                                     | 4  |
| Indledning .....                                                                   | 4  |
| Kontekst.....                                                                      | 4  |
| Roller .....                                                                       | 6  |
| Design af DPF-anlæg.....                                                           | 6  |
| DPF-plader .....                                                                   | 6  |
| Filtermaterialer .....                                                             | 7  |
| DEL 2: DPF-KROGEBJERG, OPBYGNING .....                                             | 9  |
| Placering .....                                                                    | 9  |
| Tilkoblet areal .....                                                              | 9  |
| Vandflow og dimensionering .....                                                   | 10 |
| DEL 3: GENNEMGANG AF DE ENKELTE ELEMENTER.....                                     | 13 |
| DEL 4: INSTRUMENTERING AF DPF-KROGEBJERG.....                                      | 18 |
| DEL 5: DPF-MÅRSLET, OPBYGNING.....                                                 | 21 |
| Placering og tilslutning til regnvandskloak.....                                   | 21 |
| Vandflow og dimensionering af DPF-Mårslet .....                                    | 22 |
| Bygning af DPF-Mårslet .....                                                       | 24 |
| Gennemgang af de enkelte elementer .....                                           | 27 |
| DEL 6: INSTRUMENTERING AF DPF-MÅRSLET.....                                         | 31 |
| Sammenligning af DPF-Krogebjerg og DPF-Mårslet .....                               | 32 |
| Overslagspris for fuldskalaanlæg til Krogebjerg .....                              | 33 |
| Bilag 1 .....                                                                      | 35 |
| Krav specifikationer til instrumentering af DPF-Krogebjerg.....                    | 35 |

## Forord

Gennem en innovativ proces har nedenstående projektgruppe udviklet to forskellige versioner af dobbeltporøs filtrering til rensning af regnafstrømning i København og Århus, som begge blev anlagt i 2013 og testet i 2014. Nærværende notat beskriver hvordan de to versioner er opbygget. Beskrivelsen inkluderer også ilægning af filtermateriale, samt instrumentering for prøvetagning af vandet. Se BiV-notat 7 for resultat af prøvetagningen.

I forbindelse med innovationskonsortiet Byer i Vandbalance er der udgivet følgende notater:

- Notat 1: Transport af vand på veje
- Notat 2: Dobbeltporøst filter i København og Århus – anlæg og instrumentering
- Notat 3: Anlæg af vejbede – erfaringer fra vejbede i Brøndby og København
- Notat 4: Geologisk variation og LAR
- Notat 5: Vurdering af regnafstrømningens kvalitet før og efter rensning
- Notat 6: Renseeffektivitet af filterjord – danske erfaringer
- Notat 7: Rensning af regnafstrømning med dobbeltporøs filtrering
- Notat 8: Beplantning og drift af vejbede
- Notat 9: Stormwater infiltration in Beder
- Notat 10: Erfaringsopsamling på LAR-projekter udviklet under Byer i Vandbalance 2011-2014

### Byer i Vandbalances ledelsesgruppe består af:

Ulrik Hindsberger, Teknologisk Institut  
Ida Marie Knudsen, Teknologisk Institut  
Marina Bergen Jensen, KU-Science  
Peter Engelund Holm, KU-Science

### Deltagende parter i Byer i Vandbalance:

HOFOR  
Aarhus Vand  
Vandcenter Syd  
Spildevandscenter Avedøre  
Københavns Kommune  
Århus Kommune  
Odense Kommune  
Per Aarsleff A/S  
Wavin  
Orbicon  
Københavns Universitet (KU)  
Danmarks Tekniske Universitet (DTU)  
Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser (GEUS)  
Teknologisk Institut (TI)  
DHI

Notatet er udarbejdet af Per Bjerager, Marina Bergen Jensen og Karin Cederkvist, Københavns Universitet.

Juni 2015

## DEL 1: DOBBELTPORØST FILTER I KØBENHAVN OG AARHUS – ANLÆG OG INSTRUMENTERING

Notatet er udarbejdet af Per Bjerager, Marina Bergen Jensen og Karin Cederkvist, KU

### Baggrund

I regi af Byer i Vandbalance er to forskellige versioner af dobbeltporøs filtrering afprøvet til rensning af regnafstrømning i København og Aarhus. Begge anlæg blev etableret i 2013 og testet i 2014. Nærværende notat beskriver hvordan de to anlæg er opbygget. Beskrivelsen inkluderer også ilægning af filtermateriale, samt instrumentering for prøvetagning af vandet. Afslutningsvis sammenlignes de to anlæg og der gives et prisoverslag for et fuldskalaanlæg i København. Se BiV-notat 7 for resultat af prøvetagningen vedrørende vandkvalitet efter rensning.

Projektgruppen har bestået af: Ulrik Hindsberger og Ida Marie Knudsen, Teknologisk Institut; Morten Møller Hansen og Anette Løkken, Orbicon; Ole Sørensen, Heino Toftebjerg og Manse T. Rasmussen, Aarsleff; Thomas Warberg-Kehler, Wavin; Søren Hansen og Jes Clausson-Kaas, HOFOR; Lisbet Ringgaard Davidsen, Aarhus Vand, Jan Burgdorff Nielsen, Københavns kommune, Knud Erik Klint, GEUS, Per Bjerager, Karin Cederkvist, Britta Bockhorn og Marina Bergen Jensen, Københavns Universitet.

### Indledning

Lokal håndtering af regnafstrømning fra flere veje samtidig er afprøvet i to delprojekter i regi af Innovationskonsortiet Byer i Vandbalance, dels København og dels i Aarhus. Begge steder benyttes dobbeltporøs filtrering (DPF) til sikring af vandkvalitet, og begge steder er der i samarbejde med miljømyndighederne gennemført en dokumentation af vandkvalitet før og efter rensning. De to DPF-anlæg er derfor anlagt både for at afprøve klimatilpasningsløsninger i 1:1, og for at indhente flere data om kvalitet af regnafstrømning og renseeffektivitet. Der refereres i det følgende til DPF-anlægget i København som DPF-Krogebjerg, og til anlægget i Aarhus som DPF-Mårslet efter de lokale forsøglokaliteter.

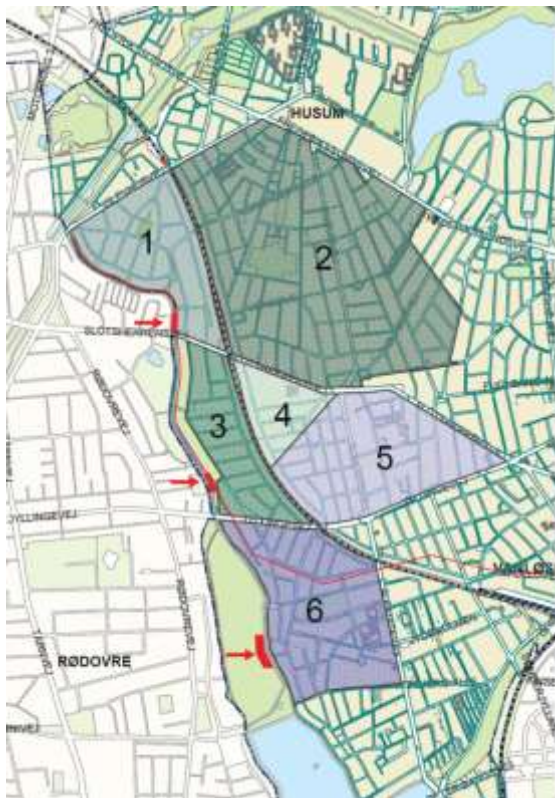
### Kontekst

Konteksten i København er afkobling af veje fra kloaknettet for at reducere risiko for oversvømmelser nedstrøms i kloaksystemet. Samtidig opnås reduktion i antallet af kloakoverløb til Harrestrup Å, samt i volumen af regnafstrømning, der sendes til Damhusåens Renseanlæg. Forsøgsområdet er et delopland i Vanløse, hvor vejvand fra to veje ledes til vandløb efter rensning i DPF-anlæg, se figur 1.



Figur 1: Oversigtfotos af forsøgsområderne i Vanløse i København (t.v.) og Mårslet ved Aarhus (t.h.). DPF-Krogebjerg i Vanløse modtager vejvand fra Harboørevej og et stykke af Krogebjerg, og er placeret i Krogebjergparken, der ses til venstre i billedet. DPF-Mårslet modtager en andel af blandet tag- og vejvand fra boligområde, der i øvrigt afvandes via separatsystem, der udleder til grøft efter forsinkelsesbassinet, der ses øverst til venstre. DPF-anlægget er placeret øst for det våde bassin. Ingen af de to DPF-anlæg kan ses på disse fotos.

Ideen er at plukke de lavthængende frugter som oplande med naturligt fald med lokale recipienter eller større grønne områder repræsenterer. Denne ide er beskrevet i en rapport udarbejdet af KU for Københavns Kommune i 2011: "Rensning af regnvand i delområde i Københavns Kommune ved brug af filterjord eller dobbeltporøs filtrering", og illustreret i Figur 2. Her er identificeret 6 del-oplande på i alt 55 reducerede ha langs Harrestrup Å nord for Damhussøen i Københavns kommune, som vil kunne afkobles og regnafstrømningen håndteres lokalt. Se BiV-notat 1 for erfaringer med afkobling af veje og transport af vand på veje.



Figur 2: Seks kloakdeloplande i Vanløse, København, der alle har terrænfald mod Harrestrup Å, og derfor principielt kan afkobles fra kloaksystemet og ved gravitation afvandes mod vandløbet. De røde pile markerer mulig placering af rensenhed. I nærværende forsøg indgår veje fra delopland 3. Fra rapporten: Rensning af vejvand i delområde i Københavns Kommune ved brug af filterjord eller dobbeltporøs filtrering, udarbejdet af KU for Københavns Kommune i 2011.

Konteksten i Aarhus er afskæring og nedsivning af blandet tag- og vejvand fra separatkloakeret boligområde, se figur 1. Regnafstrømning fra et boligområde ønskes nedsivet efter rensning i DPF-anlæg. Ideen er at kombinere afvanding af byer med grundvandsdannelse. Der er i udgangspunktet ikke problemer med kapaciteten i det eksisterende regnvandssystem, og projektet har dermed forsøgskarakter. Udover at vurdere vandkvaliteten efter rensning er formålet med projektet at afprøve geologiske kortlægningsmetoder til effektiv nedsivning i moræne. Læs mere herom i BIV-notat 4.

Doppeltporøs filtrering er tidligere testet i pilotanlæg i Ørestad, København, med tilfredsstillende resultat (<http://ign.ku.dk/forskning/landskabsarkitektur-planlaegning/landskabsteknologi/doppeltporoes-filtrering/>). Mekanismen bag DPF er illustreret i grafisk animationsfilm, figur 3.



Figur 3: Klip fra grafisk animation af dpf-teknologien på State of Green. Se filmen her:

<https://stateofgreen.com/en/profiles/copenhagen-university/solutions/dual-porosity-filtration-plants>  
<https://stateofgreen.com/en/profiles/copenhagen-university/solutions/dual-porosity-filtration-plants>

## Roller

Innovationskonsortiets partnere har haft følgende roller i forbindelse med udvikling, etablering og monitorering af de to DPF-anlæg:

- Forsyningsselskaber (HOFOR, Aarhus Vand): Bygherre (koordinering, endelige beslutninger, budget)
- Kommune (København, Aarhus): Myndighed (tilladelse til anlæg, tilladelse til udledning/nedsivning)
- Orbicon: Rådgiver (design, dimensionering, tegningsmateriale, tilsyn)
- Årsleff: Udførende (gravearbejde, opbygning af filtre, styring af anlægsproces)
- Wavin: Leverandør (brønde, rør, DPF-kassetter, DPF-plader)
- Teknologisk Institut: Koordinering af tilstødende aktiviteter (afkobling af veje, afkobling af bydel)
- Københavns Universitet: Viden om DPF og vandkvalitet (input til design, indkøring, monitorering/drift og rapportering).

## Design af DPF-anlæg

DPF-Krogebjerg og DPF-Mårslet er begge ca. 60 m lange og består af et forfilter på ca. 20 m uden filtermateriale, og et hovedfilter på ca. 40 m med kalk og okkerslam som filtermateriale. Alle filtre er opbygget af 10 lag DPF-plader, som danner 9 dobbeltporøse lag. Stakken med de 9 lag har et tværsnitsareal på 0,5 m x 0,2 m og danner i indløb en samlet indløbsspalte på 9 x 0,5 m = 4,5 m. Dimensioneret flow gennem begge DPF-anlæg er baseret på antal meter indløbsspalte. Med udgangspunkt i DPF-6-Lag i DPF-pilotanlæg i Ørestad skal der være 10 m indløbsspalte pr. L/s. Det giver begge anlæg et dimensioneret flow på 0,45 L/s, som rundes op til 0,5 L/s.

Mens DPF-Krogebjerg er linjeformet, er en zigzag løsning i tre etager afprøvet i DPF-Mårslet. En anden forskel er, at hovedfilter i DPF-Krogebjerg er opbygget ved lagvis manual ilægning af DPF-plader og kalk, mens hovedfilter i DPF-Mårslet er opbygget af præfabrikerede DPF-kassetter med 10 lag DPF-plader pr. kassette. Kalk er indlejret i DPF-kassetter på byggepladsen i Mårslet ved hjælp af en kalk-påfyldningskasse udviklet specielt til DPF-kassetterne.

## DPF-plader

Wavin udviklede i samarbejde med KU en DPF-plade bestående af en plastplade forsynet med tværgående ribber på oversiden, og afstands-dupper på undersiden (figur 4). Hver plade måler 0,5 m i bredden og er 1 m lang. Da der er 7 cm mellem ribberne, og hver ribbe er 1,4 cm bred og 1 cm høj, er der mellem ribberne et fangstvolumen på 5 L til akkumulering af forurening og placering af filtermateriale. Når pladerne placeres i en stak oven på hinanden sikrer afstandsdupperne, at der opstår 6 mm høje strømningskamre mellem pladerne. Pladerne er i enderne udformet så de kan sættes i forlængelse af hinanden med overlap. Pladerne er fremstillet i plast (PE) ved hjælp af vacuumteknik.





Figur 4. DPF-plade. Til venstre ses en enkelt plade, 0,5 m bred og 1,0 m lang og tværgående ribber. Til højre ses en afstandsdup på undersiden, der ved stabling af flere plader skaber det højporøse lag (indløbsspalten).

Til forfilter i DPF-Krogebjerg og hele DPF-Mårslet udviklede Wavin i samarbejde med KU et system til at samle DPF-pladerne i stakke á 10 til en DPF-kassette indeholdende 9 dobbeltlag (strømningslag + fangslag) (Figur 5). Kassetten har en bund- og topplade, der sikrer tilpas stivhed, og hele stakken holdes sammen med gevindstænger af rustfrit stål. Kassetterne muliggjorde hurtigere indbygning i anlæg sammenlignet med placering af DPF-plader enkeltvis.



Figur 5: DPF-kassette indeholdende 9 dobbeltporøse lag. Vandets strømningsretning er fra gavl til gavl.

### Filtermaterialer

Samme filtermaterialer benyttes til hovedfiltre i begge DPF-anlæg. Der anvendes en hård bryozokalk fra Faxe Kalkbrud af samme type som på danske vandværker til grundvandsiltning. Kornstørrelsen er 1-3 mm. I ikke-sur opløsning opløses kalken meget langsomt. Det gælder derfor også i vejvand, hvor pH ligger mellem 6,5 og 7,5. Kalken har en specifik densitet på  $2.700 \text{ kg/m}^3$  og en rumvægt på  $1.200 - 1.250 \text{ kg/m}^3$ , afhængigt af hvor tæt kalken pakkes. Hulrumsporøsiteten er dermed 53 - 55 %, svarende til at der kan aflejres sediment i godt halvdelen af volumenet i hovedfiltrenes lavporøse lag.

Der blev indlejret okkerslam afhentet fra Sjælsø Vandværk i hovedfiltrene, i alt 300 L pr. filter med et Fe indhold på i alt ca. 75 kg. Tilsætningen blev udført på samme måde til hovedfilteret begge steder. Vand blev recirkuleret over hovedfilteret ved at pumpe fra udløb mod indløb. Okkeren blev transporteret til stedet i en 700 L palletank og omrørt med en stang før aftapning til spande, der blev hældt i hovedfilterets udløb. Der blev recirkuleret i ca. 3 timer efter tilsætningen, hvorunder størstedelen af okker var indlejret i filteret ved sedimentation.



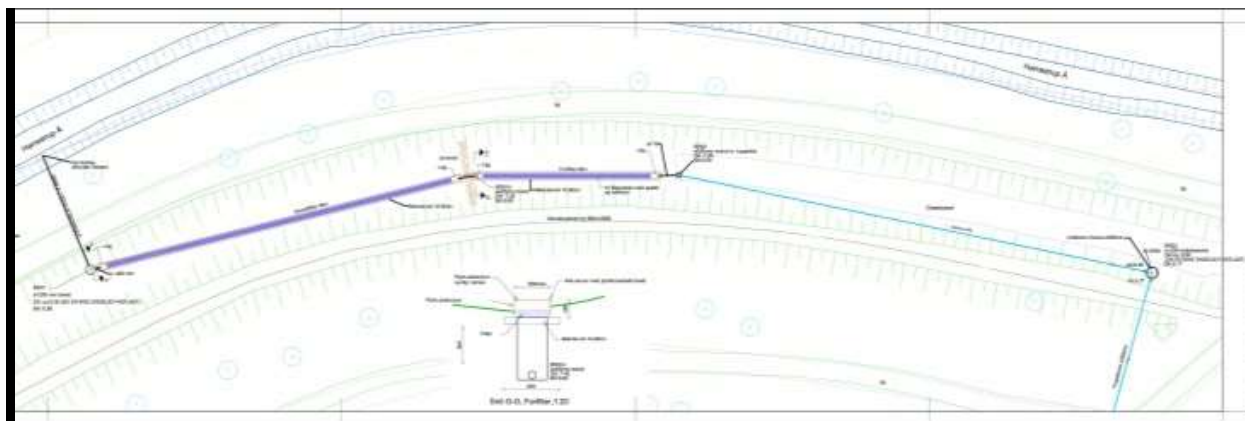
Figur 6: Indlejring af okker i DPF-Krogebjerg. Hovedfilteret fyldes med vand og vandet recirkuleres modsat almindelig retning med en pumpe i hovedfilterets indløb (gul slange) til udløbsbrønden. Okkerslam løber fra tank på trailer til spand, der tømmes ud i udløbsbrønd, hvorfra det følger vandstrømmen ind i filteret gennem filterets udløb. Efter al okkerslam er hældt i fortsættes med at recirkulere over hovedfilteret indtil recirkuleringsvandet er nogenlunde klart.



## DEL 2: DPF-KROGEBJERG, OPBYGNING

### Placering

DPF-Krogebjerg er indbygget i en grøft i Krogebjergparken, som vist på figur 7. Grøften ligger langs Harrestrup Å, med en cykelsti imellem. På parksiden ligger grøften langs en jordvold, der dækker den nedlagte vandforsyningsledning, Søndersøledningen med Ø1000.



Figur 7: Foroven ses udsnit af arbejdstegning, der viser placering af DPF-anlægget i Krogebjergparken. Øverst ses Harrestrup Å, der løber i en ret stejl, smal kanal. Langs åen er der noget buskads og nogle store træer (markeret med cirkel med prik i). Cykelstien ses markeret som to smalle parallelle streger. Langs cykelstien løber grøften, hvor DPF-anlægget er placeret. DPF-anlægget er vist som en fed mørkeblå streg, der slår et knæk efter 1/3; den første del markerer forfilteret på 20 m, og den sidste del markerer hovedfilteret på 40 m. Med turkis streg er vist vandets løb fra indløbsbrønd til højre i figuren og fra udløbsbrønd til Harrestrup i venstre side af figuren. Grøft-området mellem indløbsbrønd og forfilter fungerer som tørt bassin, og betegnes i projektet "græsbassinet". Langs grøften ses jordvolden over Søndersøledningen, der er markeret med en brunlig streg. På udsnittet er detaljtegning af udløbsbrønden kommet med. Fotoet viser området med følgende elementer fra venstre mod højre: Vold over Søndersøledning, grøft med græsbassin og DPF-forfilter, cykelsti og buskads langs Harrestrup Å (åen kan ikke ses).

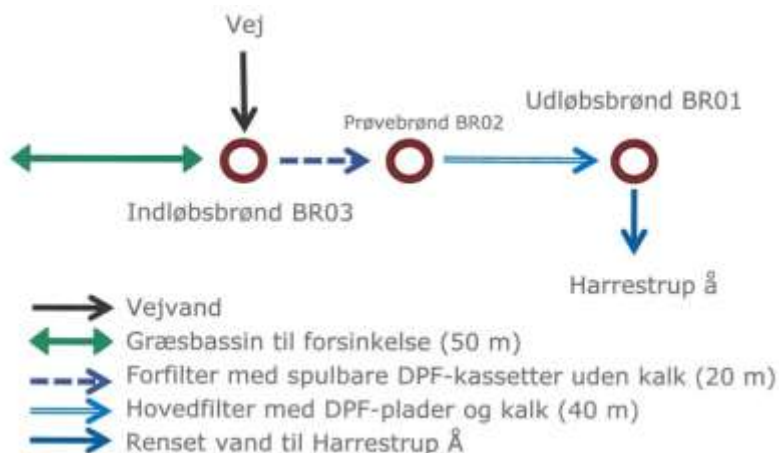


### Tilkoblet areal

Fra januar til oktober 2014 var det tilkoblede vejareal 1510 m<sup>2</sup>. Dette blev 23. oktober øget med 600 m<sup>2</sup> til i alt 2100 m<sup>2</sup>. Arealet består af den private fællesvej Harboørevej og en del af den kommunale vej Krogebjerg. Fra Miljømyndighedernes side er der for forsøget stillet krav om maksimal udledning på 2 L/s pr. ha, så den maksimale udledningshastighed er 0,42 L/s eller afrundet 0,5 L/s.

## Vandflow og dimensionering

Vejvand fra Harboørevej og Krogebjerg ledes til DPF ved afblænding af vejbrønde til fælleskloak og etablering to nye vejbrønde. Vejvandet fra Harboørevej løber langs kantsten til Krogebjerg, der krydses via en Irish Crossing med en af de nye vejbrønde. Se BiV-notat 1. Herfra løber vandet via DPF til Harrestrup Å som vist og beskrevet i figur 8.

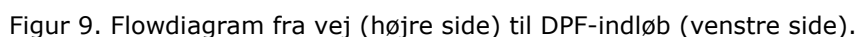


Figur 8: Flow diagram for DPF-Krogebjerg. Fra vejbrøndene løber vandet i rør under Krogebjerg-parken til forsinkelsesbassin (Græsbassin) og derfra til indløbsbrønd (BR03). Fra indløbsbrønden pumpes vandet til DPF-anlægget, hvor det ved gravitation løber gennem forfilter og hovedfilter og derfra til udløbsbrønd med udløb til Harrestrup Å.

Anlægget er designet til at vejvandet alene ved gravitation kan flyde fra villakvarteret, gennem DPF-Krogebjerg og ud i Harrestrup Å. Af hensyn til prøvetagningen af vandkvaliteten var det alligevel nødvendigt at indskyde en pumpe for at forhindre analyse af stående (gammelt) vand i rørsystemet. Rørledningen gennem Krogebjergparken er en Ø300, der måtte føres under Søndersøledningen og dermed ankomme i indløbsbrønden i kote 6,17, som er væsentligt lavere end indløb til DPF i kote 7,45. Denne forskel i kote ville føre til et stående vandvolumen på ca. 10 m<sup>3</sup> i rørledninger og indløbsbrønd, som ville komme med i analyseprøverne. Der er derfor installeret en pumpe i bunden af indløbsbrønden, som forsyner DPF med et flow på 0,5 L/s og tømmer brønd og rør efter hver regn.

Flow gennem indløbsbrønd BR03 er vist i figur 9, og beskrives her med henvisninger til figuren. I indløbsbrønden er der på Ø300 fra vejene monteret et lodret opstuvningsrør Ø250 (a), der ender i kote 7,95. I vandret forlængelse af indløbet (kote 6,45) er der monteret en flowmåler på et rør Ø100 (b). Under normale regn strømmer vejvandet gennem flowmåleren ind i brønden. I det omfang flow gennem flowmåleren ikke kan følge med, stuver vandet op i ledningsnettet opstrøms opstuvningsrøret før flowmåleren. Ved kraftig regn kan der ske overløb fra opstuvningsrøret. Det er estimeret til at ske ved et flow på 32 m<sup>3</sup>/h, når der er en gradient på 1 m mellem indløbsbrønd og opstuvningsrør. Det svarer til ca. 15 mm nedbør pr. time fra de 2100 m<sup>2</sup> tilsluttet vej. Ved overløb fra opstuvningsrør kan afstrømning fra vej ikke måles med flowmåleren.

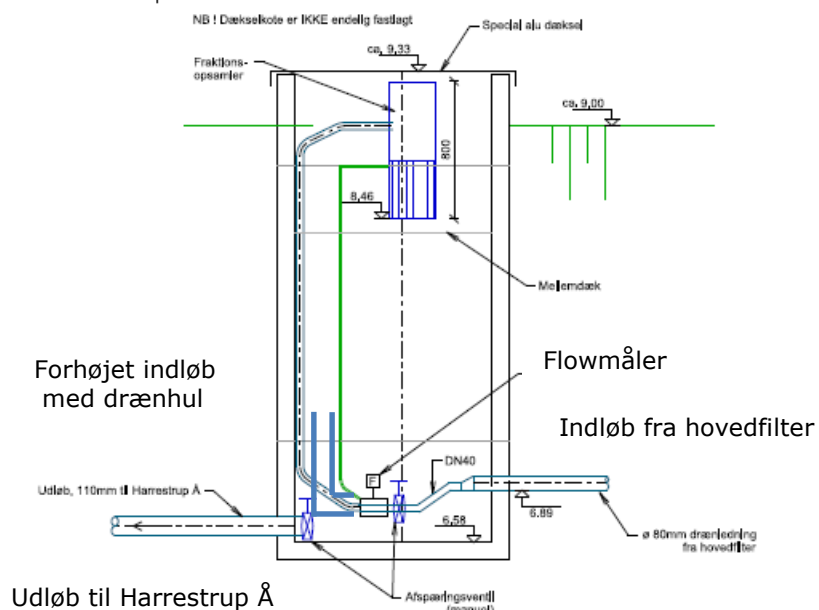
Indløbsbrønden er forbundet til græsbassinet med en rørledning Ø300 og opstuvningsbrønd BR02 (e). Ved opstuvning af vejvand i indløbsbrønden sker der samtidig en opstuvning i græsbassinet via BR02, når vandstand stiger til over kote 7,70. Pumpe til DPF (c) er placeret i bunden af brønden og trykledning DN40 leder vandet frem til forfilteret (f). Flow til DPF-forfilter (f) reguleres til 0,5 L/s på ventiler (d) efter pumpen (c). Ventilerne bruges også til regulering af flow til udtagning af vandprøve.



The diagram illustrates the cross-section of a wastewater treatment plant. It is divided into three main sections: Hovedfilter (Main Filter), Forfilter (Pre-filter), and Græsbassin (Grass Basin). The Hovedfilter section includes Kammer 2 (Lag med rørgulper, plankonsvæde struer) and Kammer 3 (Lag med rørgulper, plankonsvæde struer). The Forfilter section includes Kammer 4 (Lag med rørgulper, plankonsvæde struer). The Græsbassin section includes Kammer 5 (Lag med rørgulper, plankonsvæde struer). The diagram shows various elevations (e.g., 8.44, 7.75, 7.00, 7.45, 7.71, 7.73) and structural details like Jordvælt, Bænkens bund 10-25cm, and 10 florgulper med spalter op på 10mm. The diagram also shows the flow of water from left to right, indicated by arrows and the text 'Ternet reguleres helt med suppletz'.

Figur 10. Flow gennem forfilter og over jordvolde. Flowretning er fra højre mod venstre.

Efter hovedfilter er der placeret en udløbsbrønd, som vist på figur 11.



Figur 11 Udløbsbrønd med afløb til Harrestrup Å. Med fede blå streger er markeret forhøjet indløb fra hovedfilter gennem flowmåler. Prøvetager er placeret på et mellemdæk som ses på figur 24. Der er en ventil på udløb til Harrestrup Å, som står åben ved normal drift.

### DEL 3: GENNEMGANG AF DE ENKELTE ELEMENTER

I det følgende gennemgås de enkelte elementer i den rækkefølge vandet fra vejene møder dem.

#### *Vejbrønde*

På vejen Krogebjerg er der to vejbrønde Ø600. Den 23. oktober 2014, ca. midtvejs i monitoringsperioden, blev der etableret dykket afløb på vejbrøndene ved at sætte lodrette rør på afløb for at forebygge tilstopning af indløb til DPF med blade og grene (figur 8).

Figur 12: Dykket afløb fra vejbrønd består af et lodretstående rør med en vandret gren til afløb. Det lodrette rør er dykket ca. 15 cm ned under bunden af den vandrette gren, der er laveste vandstand i brønden. Det bevirker, at flydende blade mv. har vanskeligere ved at ryge med ind i røret.



#### *Indløbsbrønd(BR03)*

Indløbsbrønden er placeret i brinken mellem grøften og Søndersøledningen, og består af en brønd Ø1250, der er 3,28 m dyb, Figur 13. Brønden modtager vejvandet i kote 6,17. Ved opstuvning pumper en dykpumpe vejvandet med 0,5 L/s til DPF-forfilteret. Ved opstuvning over kote 7,70 sker der samtidig opstuvning i Græsbassinet, hvor vandet står ind til det via brønden bliver pumpet til DPF. Se afsnit om instrumentering for en detaljeret beskrivelse af brønden.



Figur 13. Indløbsbrønd. Venstre: Indløbsbrønd med fladt låg. Midt: Instrumentering på mellemdæk, hvoraf ¼ af dæk er aftaget for kik ned til bunden. Højre: Bund af brønd med pumpe (under T-stykke), sort opstigningsrør, blå prøvetagningsrør og orange rørledning Ø300 til Græsbassin. Dykpumpen er placeret på en 10 cm forhøjning bestående af 2 fliser oven på hinanden. Forhøjningen blev etableret i forbindelse med problemer med blade i pumpen, fordi der i starten manglede dykkede afløb i vejbrønde.

#### *Græsbassin*

Græsbassinet er ca. 50 m langt og placeret mellem indløbsbrønd og forfilter (figur 14). Ind- og udløb sker via opstuvningsbrønd BR02. Bassinet har fald på ca. 1,5 % idet bundkoten i den bagerste ende ligger i kote 8,4 og opstuvningsbrønden er i kote 7,7. Dermed sikres effektiv tømning, og at små regn støver op på et mindre areal, end hvis bassinet var med vandret bund. I bassinet er der 30 cm muldjord oven på en bentonitmembran. Bentonitmembranen blev udlagt for at minimere nedsivning af urensset vand. Bassinet har skrå sider med en hældning på ca. 30 %. Til forstærkning af sider er der udlagt kokosmætter i få centimeters dybde. Der er udsået en natur-græsblanding.





Figur 14. Øverst t.v.: 50 m langt tørt bassin til forsinkelse af afstrømning for rensning og udledning. Benævnes "Græsbassin". I forgrunden ses indløbsbrønd BR03. Øverst t.h.: Vandet ankommer til græsbassinet via BR03 der er forbundet til opstuvningsbrønd BR02, som har en kuppelrist. Når der er plads i BR03 løber vandet tilbage til BR03 igen via kuppelristen. Nederst t.v.: Kig fra forfilter mod græsbassin. Nederst t.h.: Kig ned i brønden under kuppelrist. I bunden ses Ø300 rørledning, der forbinder indløbsbrønd og græsbassin. Gennem samme rør er trukket pumpeslangen, der pumper vejvand fra BR03 ind i forfilteret. Røret kl. 11 afdræner evt. forsinkelsesvolumen over forfilter.

Hvis der er mere vand end græsbassinet kan rumme (over kote 8,2) kan også området med forfilteret oversvømmes og fungere som et bassin med et forsinkelsesvolumen på ca. 40 m<sup>3</sup> (Figur 14). For at sikre at forfilteret først oversvømmes når græsbassinet er fyldt, blev der etableret en vold mellem forfilter og græsbassin, med overløb til forfilter i kote 8,20. Volden er lavet af blåler og stabiliseret med betonfliser. Til afdræning af volumen i forfilter blev der etableret en brønd med Ø110 rør til kuppelrist-brønden. I kuppelrist-brønden blev der den 23. oktober 2014 monteret et højt vandlukke af mærket Napan på røret (figur 15). Indtil denne dato var samme opstuvning over forfilter som i græsbassin. Ved opstuvning over forfilter trænger der vand ind i filteret gennem låget og det har medført en øget strømning gennem filteret i forhold til pumpens ydelse på 0,5 L/s.



Figur 15. Højt vandlukke på afløb fra bassinvolumen over forfilter. Højt vandlukket åbner kun når der er vand i bassinet over forfilter.

Mellem forfilter og hovedfilter er der etableret en vold med topkote 8,46. Dette er således en fælles maksimal kote for vandstand i græsbassin og over forfilter. Også denne jordvold er lavet af blåler med dække af muldjord.

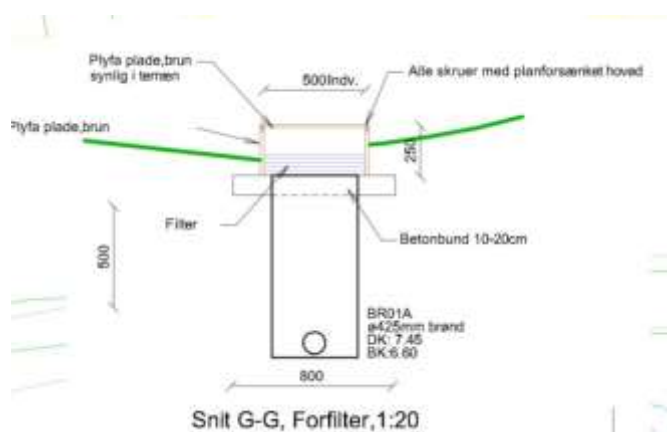
#### Forfilter

Forfilteret er vist på figur 16 til 20, hvor detaljer er beskrevet. I filteret er placeret 20 DPF-kassetter uden kalk, som kan tages op af filteret for rensning/undersøgelse af indlejret sediment. Den første meter er indløbskammer og den sidste meter er udløbskammer. Der er hængslede låg over ind- og udløbskammer.



Figur 16: Forfilter med synligt låg lavet af brune plyfaplader (=støbekrydsfiner). I forgrunden ses oppumpningsbrønd BR02 og overløbsbygværk foran forfilter. Bag bygværket ses hængsler på låg til indløbskammer. I baggrunden anes jordvold efter forfilteret.

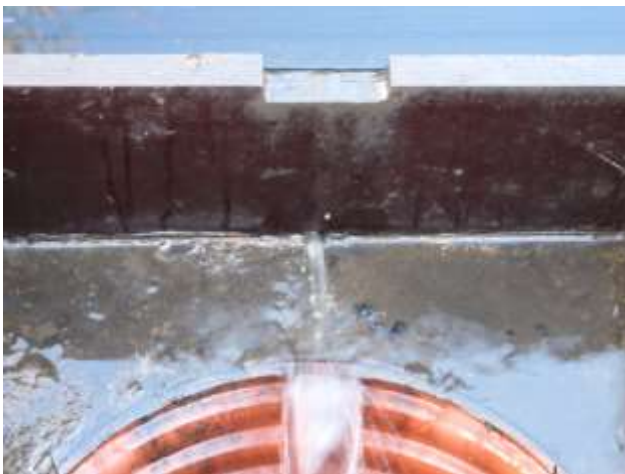
Figur 17 Lodret snit af forfilter og brønd i udløbskammer til placering af passiv-prøvetager. På afrettet grus er støbt en vandret, armeret betonbund med topkote 7,45 og en tykkelse på 15 cm. På betonbunden er opbygget en 22 m lang kasse i plyfa-plade med en højde på 25 cm. Lodrette sider er på ydersiden fastgjort til en lægte som er skruet fast i betonen. Låg af plyfaplade er i siden afstivet med lægter som går ned langs ydersiden af kassen (lægter ses ikke på figuren).





Figur 18: Forfilterets indløbskammer. Øverst ses indløbsvindue til forfilter, der er gavlen på den første DPF-kassette. I midten ses forhøjet indløb Ø110 i kote 7,64, hvor vand fra indløbsbrønden strømmer ind med et flow på 0,5 L/s. Det forhøjede indløb forhindrer afdræning af forfilter til indløbsbrønd, når pumpen stopper. Afløb med rist i højre side er til afdræning af forsinkelsesvolumen over forfilter til BR02 gennem Napan højt vandslukke.

Figur 19: Forfilterets udløbskammer. I midten ses brønd Ø425 med fyldt passiv-prøvetager. I venstre side ses DPF-kassette og forhøjet afløb fra filteret i kote 7,66 og drænafløb i kote 7,45. Det forhøjede afløb sikrer, at forfilteret bliver fyldt inden afstrømning med 0,5 L/s begynder. Rør Ø110 i højre side er til udluftning af hovedfilter.



Figur 20: Forhøjet afløb fra forfilter kote 7,66, der sikrer at alle strømningslag i DPF er vandførende, og bunddræn fra forfilter Ø12, som afdræner forfilteret på ca. 12 timer. På fotoet er bunddrænet aktivt.

#### Hovedfilter

Hovedfilteret er opbygget af løse DPF-plader med kalk, der er lagt i en 42 m lang kasse, der i princippet er opbygget på samme måde som forfilteret af plyafplader på betonbund (Figur 21). Hovedfilteret er nedgravet og uden mulighed for direkte adgang.





Figur 21: Hovedfilter under opbygning. DPF-plader er lagt i enkeltvis og klikket sammen; et lag af gangen. Der er manuelt lagt 10 mm kalk i DPF-plader mellem tværribber, hvorefter næste lag plader er lagt ovenpå. I alt 10 lag plader som danner 9 dobbeltporøse lag. Mellem øverste DPF-plade og låget er lagt et lag kalk for at minimere risiko for bypass.

#### Udløbsbrønd

Udløbsbrønden er placeret i brinken mellem grøften og cykelsti langs Harrestrup Å (Figur 22). Diameter er Ø1250, og dybde 2,25 m. Den er indrettet med flowmåler, fraktionsopsamler, telemetrimodul og afløb til Harrestrup Å i kote 6,63. Brønden har et forhøjet indløb fra hovedfilter i kote 7,17 og et drænhul i kote 6,87. Dermed fyldes også hovedfilteret inden flow for alvor begynder. Drænhullet afdræner med ca. 0,1 L/s, så hele filteret dræner af på ca. 12 timer.

Udløbet til Harrestrup Å er vist i Figur 23.



Figur 22: Udløbsbrønd. På mellemdæk står ISCO fraktionsopsamler og på væg hænger strømforsyning og kasse med telemetrimodul og flowmålerens konverter. I bunden ses flow sensor (lys prik), forhøjet afløb (sort rør) og afløb til Harrestrup å gennem drejeventil.



Figur 23: Udløb (orange) fra DPF til Harrestrup å gennem Ø110 med kontraklap (blå) med bund i kote 6,48.

## DEL 4: INSTRUMENTERING AF DPF-KROGEBJERG

DPF-Krogebjerg er instrumenteret til monitoring af flow, vandkvalitet og vandniveau.

Der er installeret to Signalix telemetrimoduler MT102, ét i indløbsbrønd og ét i udløbsbrønd. Telemetrimodulerne har følgende funktioner:

- a) Modtager signaler fra flowmålerne og niveaumålerene
- b) Styrer fraktionsopsamler. I indløbsbrønd også magnetventil og pumpe
- c) Logger og sender data til en server på Københavns Universitet.
- d) Sender SMS beskeder til overvågning af prøvetagning og flow.

De i projektet udviklede kravspecifikationer til programmering af telemetrimodulerne fremgår af bilag 1. Selve programmeringen er udviklet og udført af firmaet Signalix.

Vandprøver til analyse af vandkvalitet udtages fire steder i anlægget på forskellige måder:

- 1) Indløb til indløbsbrønd: flowproportional fraktionsopsamler
- 2) Indløbsvand til forfilter: flowproportional bulkprøver styret af magnetventilen.
- 3) Indløbsvand til hovedfilter: passiv sampler
- 4) Udløb fra hovedfilter: flowproportional fraktionsopsamler

Prøvetager (1) og (4) er almindelig benyttet flowproportional prøvetagning med fraktionsopsamler af mærket ISCO 3400 compact med 24 delprøver af 500 ml. På figur 11, 13 og 24 ses prøvetager i indløb. På figur 22 og 25 ses prøvetager i udløb.

Prøvetager (2) er en flowproportional bulk-prøvetager udviklet i projektet. Der udtages en lille delstrøm fra tryksiden af pumpen gennem magnetventilen til en 9 L dunk i HDPE. Telemetrimodulet åbner magnetventilen i 10 sekunder for hver 10 minutter. Denne løsning tilgodeser prøvetagning over lang tid uden overløb fra dunken. Dunken ses monteret midt i billedet på figur 19.

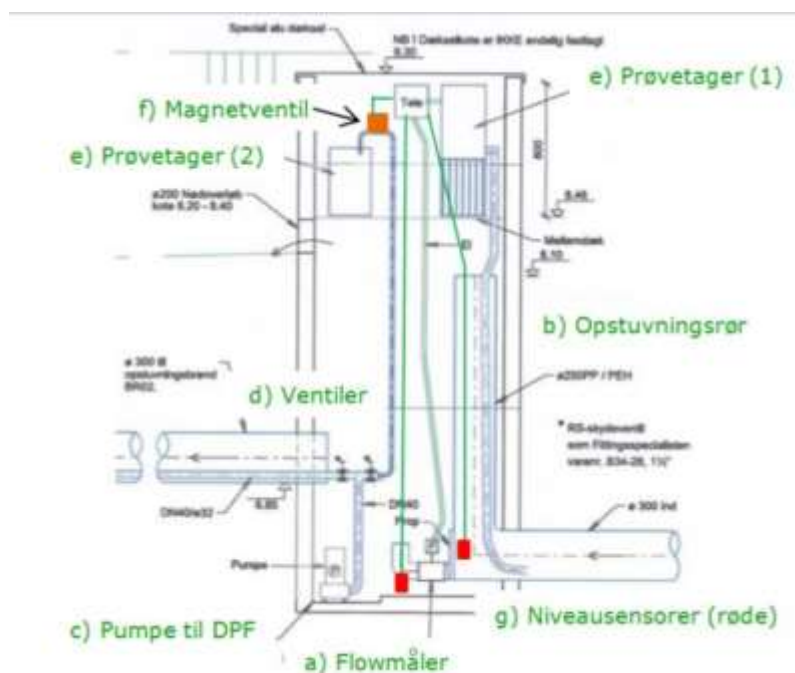


Figur 24: Prøvetager (1) ses til venstre, og til højre flowproportional bulk prøvetager (2) med magnetventil og 9 L dunk.

Prøvetager (3) er en passiv-prøvetager udviklet i projektet til udtagning af en bulkprøve over tid fra forfilterets udløbskammer i en 9 L dunk (se figur 19). Prøvetageren er konstrueret, så der ved forhøjet vandstand (i forhold til tørvejr) er en lille delstrøm ind i beholderen i dunken. Når DPF-Krogebjerg er i fuld drift vil der over prøvetageren være både en konstant vandstand og vandstrøm, så prøvetagningen tilnærmelsesvis bliver flowproportional. Delstrømmen kan justeres, så det tager fra 0,5 til 4 timer at fylde passiv-samleren.



Måling af flow gennem indløb er en udfordring, da intensitet i nedbør og dermed afstrømning varierer meget, og flowmåleren i indløb har et begrænset måleområde. Til denne problemstilling er udviklet følgende løsning i indløbsbrønden, som ses på figur 25. På indløb Ø300 fra vej er der monteret et lodret opstuvningsrør b), der ender i kote 7,95. I vandret forlængelse af indløbet (kote 6,45) er flowmåleren a) monteret på et Ø100. Flowmåleren har en rektangulær indsnævring omkring en målesensor på ca. 5 x 8 cm, som sikrer en høj præcision. Efter flowmåler er monteret en 90° bøjning med udløb til brønd i ca. kote 7,65, for at sikre at flowmåler altid er vandfyldt.



Side 19 af 36

præcisionsventil, men flow kunne ikke reguleres tilstrækkeligt langt ned. Derfor blev magnetventilen monteret i stedet.

Niveausensor i indløbsbrønd bruges til styring af pumpe start/stop og til måling af vandstand i indløbsbrønd = niveau i græsbassin.

Niveausensor i udløbsbrønd bruges til måling af høj vandstand ved høj vandstand i Harrestrup Å.

Registrering af nedbør er baseret på en nærliggende SVK-måler nr. 5705, Åvendingen.

## DEL 5: DPF-MÅRSLET, OPBYGNING

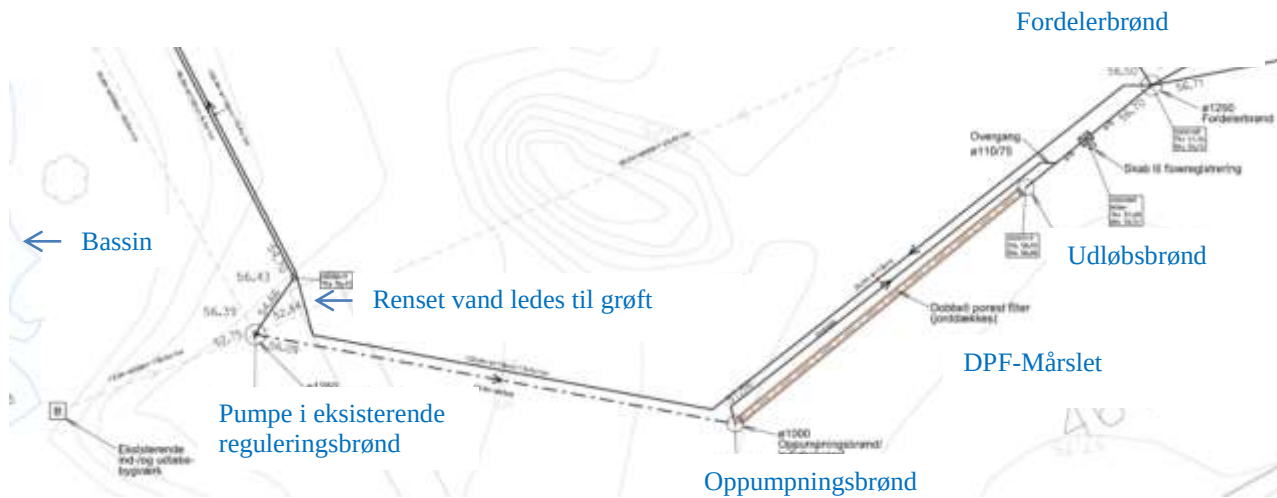
### Placering og tilslutning til regnvandskloak

DPF-anlægget i Mårslet er placeret på en offentlig fælled nord for Hørretløkken i Mårslet, 12 km sydvest for det centrale Aarhus. Anlægget er koblet på en separat regnvandsledning i Hørretlykken, og modtager således blandet tag- og vejvand, hver gang der løber vand i separatledningen.



Figur 26. Omtrentlig placering af DPF-Mårslet nord for Hørretlykken i Mårslet (rektangel). Den eksisterende regnvandsledning er vist med stiptet blå linje. DPF-anlægget modtager vand via brønd tæt ved forsinkelsesbassinet til venstre i billedet.

Det overordnede flow gennem DPF-anlægget er vist og beskrevet på figur 27.



Side 22 af 36



==> Forfilter med DPF-kassetter uden kalk (20 m)  
 ==> Hovedfilter med kalk i DPF-kassetter (2 x 20 m)

DPF-Mårslet er opbygget af samme DPF-kassetter som er anvendt til forfilteret i DPF-Krogebjerg (se figur 5). DPF-Mårslet er således også dimensioneret til et flow på  $0,5 \text{ l/s} = 1,8 \text{ m}^3/\text{h}$ . Pumpen har i drift et målt maksimalt flow på  $18 \text{ m}^3/\text{h}$ . Det samlede vandvolumen i DPF-Mårslet inklusiv brønde er beregnet til  $6,0 \text{ m}^3$ . Hvis der er nok regnafstrømning til rådighed, kan pumpen således i teorien fylde DPF-anlægget på ca. 20 minutter. I praksis tager det længere tid, da der samtidig med opfyldning foregår afstrømning gennem udløb, ligesom der også tabes lidt vand gennem utætheder i anlægget.

## Bygning af DPF-Mårslet

Bygningen af DPF-anlægget i Mårslet er vist og beskrevet på figur 29 - 33



Figur 29. Venstre: DPF-Mårslet er bygget oven på terræn, hvor øverste lag muld er erstattet med komprimeret grus. Midt 1+midt 2: Wavin har til DPF-Mårslet udviklet en oppumpningsbrønd og en udløbsbrønd. De har firkantede huller til DPF-kassetter og manchetter i PE-membran. DPF-kassetterne skubbes ind i hullerne under bygning. Højre: Brøndene blev sat i koter så manchetterne passer til DPF-kassetterne i zigzag opbygningen. En PE-membran omslutter filteret. Under opbygningen blev PE-membranen lagt på gruset og derefter blev zigzag opbygningen lavet af DPF-kassetter.

Til fyldning af kalk i hovedfilterets DPF-kassetter blev der udviklet en særlig kalk-påfyldnings-kasse. Kassen er lavet af 12 mm og 18 mm krydsfiner, der er forstærket med lægter 38 mm x 45 mm. Kassen har en aftagelig side med låsebeslag til ilægning og udtagning af DPF-kassette. Til påfyldning af kalk er den ene side af kassen udformet som et trug, der som bund har en skydeplade.



Figur 30. Kalk-påfyldnings-kasse. Venstre: Først lægges DPF-kassetten i kassen ved at afmontere en side. Når siden er sat på stilles kassen på højkant. Midt: Kassen står på højkant, og en plade er skudt ind i bunden af truget, der er fyldt op med den afmålte mængde kalk. Højre: Skydeplade er trukket ud og al kalken er rutsjet ned i DPF-kassetten med en jævn fordeling mellem alle DPF-plader. Når kassen igen lægges ned kan kalken fordeles vandret på hver pladeved hjælp af nogle rystebevægelser.

Trin for brug af kalk-påfyldnings-kassen:

- DPF-Kassette sættes i kassen og kassens side lukkes.
- Kassen sættes på højkant med truget opad og kalk fyldes i truget
- Skydepladen trækkes hurtigt ud, så kalken strømmer jævnt ned i kassetten og fordeler sig mellem DPF-pladerne
- Kassen lægges på siden og rystes på en transportvogn, så kalken fordeler sig jævnt på pladerne. Rystningen udføres i praksis ved at skubbe transportvogn frem og tilbage mellem to stopklodser, og selve rystningen sker ved sammenstød med stopklodserne. Sammenstødene gøres gradvist svagere for at sikre en jævn fordeling af kalken.
- DPF-kassetten tages ud af kassen og lægges på plads i anlægget



Figur 31. Montage af DPF-kassetter Venstre: Fyldning af DPF-kassetter med kalk i felten. Midt: DPF-kassette lægges i anlægget. Højre: Zigzag opbygning er næsten færdig (PE-membraner blev efterfølgende lagt under forfilter og svejst på siden af hovedfilter).



Figur 32: Omsluttende PE-membran tættes ved svejsning omkring manchetterne og i samlingen på oversiden af filteret. Det var ikke muligt at svejse PE-membranen ordentligt fast omkring manchetterne på brødene pga. tykke kanter på manchetterne. Trods flere forsøg lykkedes det ikke at gøre filteret 100 % tæt. For at sikre at vandet strømmer korrekt gennem filteret blev der lagt en ekstra membran mellem forfilter og øverste sektion af hovedfilteret. Der blev også svejset ekstra PE-membran på siden af DPF-kassetterne i hovedfilteret. Efter bygning blev anlægget dækket med jord, og der blev lagt flis på gangstier til brøndene (Figur 33).





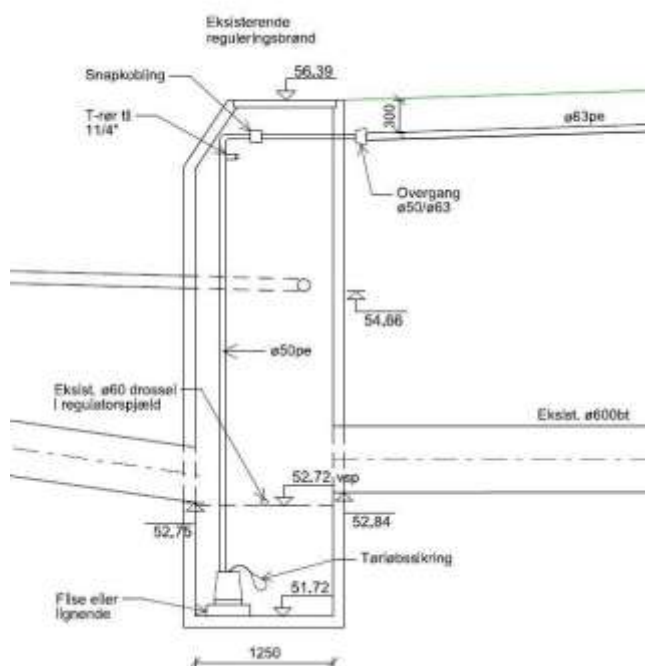
Figur 33: DPF-Mårslet, nogle gange kaldet "hvalen", dukker op i tågen ved ankomst en morgen. Oppumpningsbrønd er i venstre side, udløbsbrønd i midten og fordelerbrønd i højre side. Det mørkegrønne skab indeholder flowmålerens display, konverter og telemetri. Der er lagt flis på gangstier til brøndene.

## Gennemgang af de enkelte elementer

Her beskrives de enkelte komponenter i DPF-Mårslet med undtagelse af filterets zigzag opbygning, der er vist og beskrevet på figur 29 til 33.

### Pumpestation

Pumpen er som nævnt placeret i en eksisterende brønd, se figur 34. Der er tale om en dykpumpe, der går i gang så snart den nederste del af brønden står med vand. Hvis vandstanden i brønden er højere end kote 52,72 er der afløb til grøft gennem en vandbremse (regulatorspjæld på figuren). Hvis vandstanden stiger over kote 55,44 sker der opstuvning i forsinkelsesbassinet, som efterfølgende kan dræne af til kote 55.10 gennem et rør Ø110, som har indløb til pumpebrønden i kote 54.66. I pumpebrønd og rørledninger er der et betydeligt forsinkelsesvolumen, som skal fyldes før der sker opstuvning i bassinet.

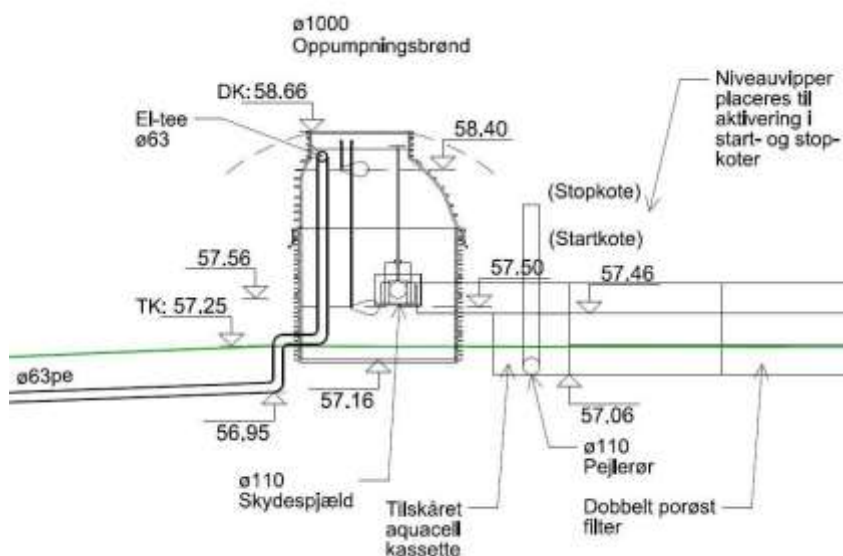


Figur 34. Snit gennem brønd med pumpe. Dykpumpen står på et par fliser, så den er hævet ca. 30 cm over bunden. Fra dykpumpen fører en trykleddning Ø63 til DPF-anlægget. Øverst i brønden er der på trykleddningen T-rør 1 1/4" til en prøvetager, der beskrives i afsnit om instrumentering.



### Indløbsbrønd (oppumpningsbrønd)

Indløbsbrønden, der også refereres til som oppumpningsbrønden, er vist og beskrevet på figur 35 og 36.



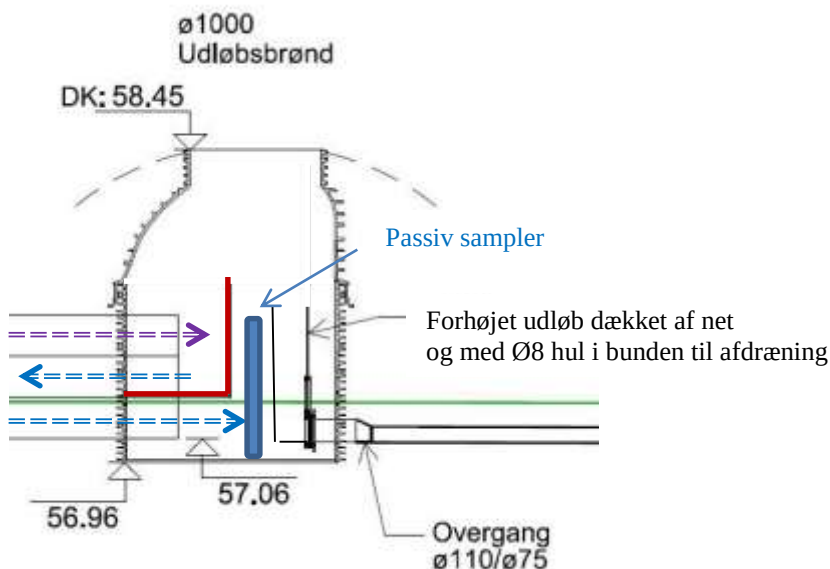
Figur 35. Snit gennem indløbsbrønden til DPF, hvor vandet ankommer fra pumpen via trykrør Ø63 i venstre side, og strømmer ind i DPF i højre side. Trykrøret ender i et T-rør, så vandet plasker vandret ud i brønden i stedet for opad.. Vandniveauet styres via to niveaupper, der kan starte og stoppe pumpen. Pumpen slukker når øverste niveaupper registrerer vand i kote 58.40, og starter når nederste registrerer vand i i kote 57.50. I praksis blev start og stop optimeret i forhold til prøvetagning i udløbsbrønden. Indgang (vindue) til DPF har bundkoten 57,46. Midt i brønden ses et skydespjæld med rørledning til bypass af filteret. Grøn linje markerer terræn før etablering.



Figur 36. Fotos af Indløbsbrønd. Venstre: Trykledning fra pumpe, der ender i T-stykke, skydespjæld til bypass af filteret (øverst), indløb til forfilter i form af første DPF-Kassette i forfilteret, der er skudt ind i brønden (nederst til højre). De orange kugler er de to niveaupper til styring af pumpen. Højre: Vand strømmer ind i brønden.

### Udløbsbrønd med vende-L

Udløbsbrønden er vist og beskrevet på figur 37 og 38. I udløbsbrønden er der placeret en passiv prøvetager af samme type som i DPF-Krogebjerg. Se nærmere i afsnit om instrumentering.



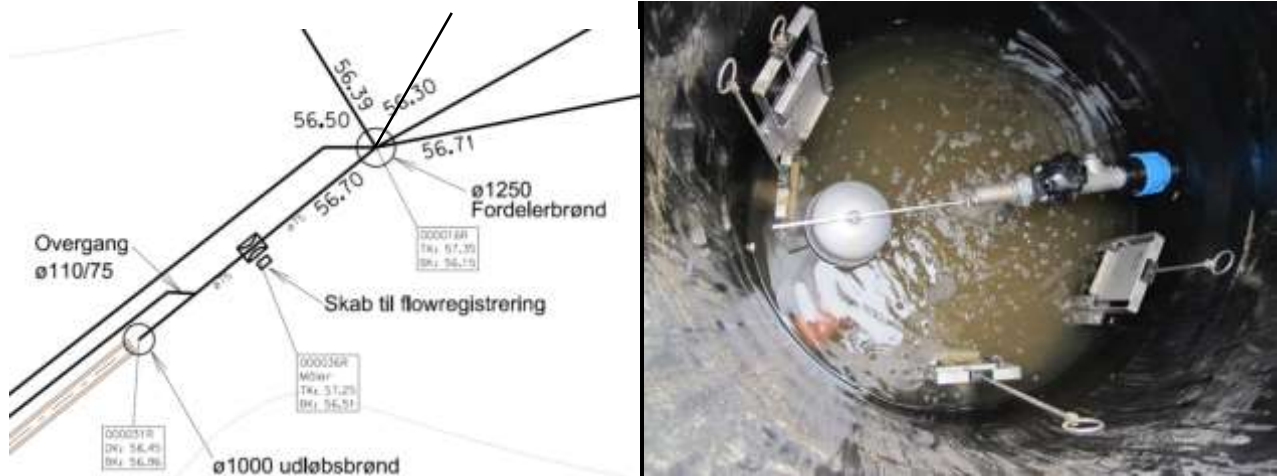
Figur 37. Udløbsbrønd med et "vende-L" (rød markering), der er hydraulisk adskilt fra resten af brønden. Vende-L bruges i zigzag-opbygningen til at vende vandstrømmen fra forfilteret (lilla pil) til øverste sektion af hovedfilteret (blå pil mod venstre). Fra nederste sektion i hovedfilteret strømmer vand ind i udløbsbrønden i bundkote 57.06 (blå pil mod højre). Der er etableret et forhøjet udløb fra udløbsbrønden ca. kote 57.90. Det forhøjede udløb sikrer at filteret er vandfyldt inden udløb begynder. I bunden af udløbsrøret er der boret et lille drænhul Ø8, der sikrer afdræning af filteret på ca. 24 timer. Passiv-prøvetageren er vist med blå signatur. Den grønne linje er terrænniveau før etablering.



Figur 38. Fotos af udløbsbrønd. Venstre: Kig ned i hjørne af brønd afskåret fra resten af brønden med 'vende-L' i form af to tilpassede plader, tætnet med silikone mod brøndvæggen. Øverst ses udløbskassetten fra forfilteret, der ligger over indløbskassetten til hovedfilteret. Midt: Kig ned i resten af udløbsbrønden, bagved "vende-L". Udløb fra hovedfilter sker under bunden. Til venstre ses passivprøvetageren (dunk med blå låg) og til højre ses det forhøjede udløb. Højre: Net monteret på forhøjet udløb for at undgå tilstopning af flowmåler med flis fra gangstier omkring anlægget.

### Fordelerbrønd

Fordelerbrønden modtager rensat vand og er tænkt til at fordele dette vand til terrænfaskinerne for nedsivning. Fordelerbrønden er vist og beskrevet på figur 39.



Figur 39. Fordelerbrønden modtager vand fra udløbsbrønden, og kan enten lede vandet til terrænfaskiner, eller retur til den normale regnvandsledning. Mellem de to brønde sidder en flowmåler. Indløb til fordelerbrønden sker gennem en præcisionsventil og en flyderventil. Præcisionsventilen bruges til regulering af maksimalt flow til 0,5 L/s. Flyderventilen er tiltænkt standsning af flow ved høj vandstand i faskiner. Fordelerbrønden har 5 afløb, hvoraf 4 er gennem skydespæld til de fire forskellige nedsivningsrender. Det 5. afløb, der åbnes og lukkes med en prop, går langs med filteret og er koblet til regnvandsledningen nedstrøms brønd med pumpe. I forsøget blev der som nævnt kun afledt rensat vand til regnvandsledningen.

## DEL 6: INSTRUMENTERING AF DPF-MÅRSLET

DPF-Mårslet er instrumenteret til monitoring af flow, vandkvalitet og vandstande. Instrumenteringen er mere enkel end DPF-Krogebjerg, da der ikke har været ønske/krav om opsamling af delprøver med fraktionsopsamlere, men kun flowproportionale bulkprøver.

Flow måles efter udløbsbrønd med en flowmåler af mærket Kohne waterflux 3000 Ø25 (se placering på figur 39). Data registreres hvert 10. minut og sendes en gang i døgnet via telemetri til en server hos Kohne, hvorfra data downloades.

Vandprøver til analyse af vandkvalitet udtages to steder i anlægget, se figur 40 og 41.



Figur 40. I brønden med pumpen kan der udtages flowproportional bulkprøve af indløbsvand til DPF-Mårslet. Der udtages en delstrøm fra tryksiden af pumpen gennem en præcisionsventil (rødt rundt håndtag) til en 25 L dunk i HDPE, der er placeret i en holder af vandfast krydsfiner.

I udløbsbrønden anvendes en passiv-prøvetager, der af samme type som prøvetager (3) i DPF-Krogebjerg. I DPF-Mårslet udtages bulkprøve over tid fra udløbsbrønden i en 25 L dunk af HDPE-plast (figur 41). Når vandstand i brønden er i niveau med det forhøjede afløb, er der en lille strømning af vand ind i prøvetageren, som tilnærmelsesvist er flowproportional med flow gennem udløb. Strømningen ind i prøvetageren kan justeres, så det tager fra 0,5 til 8 timer at fylde dunken.





Figur 41. Passiv-prøvetager i udløb. Venstre: Til fastholdelse og optagning af prøvetageren er der bundet en snor i prøvetageren. Midt: På bunden af udløbsbrønden er en bundplade med snoretræk. Højre: Prøvetager monteret og snor til optagning fastgjort på siden af brønden. På billedet ses et skydespjæld, der under indkøringen af anlægget blev udskiftet med det forhøjede udløb for at sikre fuld og hurtigere fyldning af DPF-anlægget.

Fyldningsforløb i passiv-prøvetagerne registreres med niveauloggere af mærket HOB0 U20 water level logger, placeret i prøvetagningsbeholderne. Det er en tryksensor med indbygget datalogger og batteri. Data overføres til bærbar PC via USB-adapter. Niveauloggeren har hukommelse til 23.000 registreringer som svarer til 1 registrering pr. minut i 16 døgn.

Vandstande i oppumpningsbrønd og udløbsbrønd registreres også med HOB0 U20 water level logger.

Til nedbør anvendes en nærtstående SVK-måler nr. 5175, Tranekær Renseanlæg.

### Sammenligning af DPF-Krogebjerg og DPF-Mårslet

DPF-Mårslet er på flere måder en videreudvikling af DPF-Krogebjerg. Mens DPF-Krogebjerg blev anlagt som forsøg til mulig permanent løsning, blev DPF-Mårslet anlagt alene som midlertidigt forsøg, hvilket gav nogle ekstra frihedsgrader. F.eks. kunne anlægget i Mårslet placeres oven på terræn, mens anlægget i Krogebjerg skulle indpasses i den fredede Krogebjergparken. Her fremhæves de væsentligste forskelle:

- Areal-forbrug: DPF-Mårslet er kun 20 m langt, altså 1/3-del af længden af DPF-Krogebjerg. Den samlede flowvejs længde, kapacitet og opholdstid er identisk for de to anlæg, men ved hjælp af zig-zag opbygningen kunne der i Mårslet spares på terrænbearbejdningen.
- Afretning: Begge anlæg står på vandret afrettet underlag. I DPF-Krogebjerg blev der støbt en betonbund oven på et afretningslag af grus. I DPF-Mårslet blev det aftalt at forsøge blot med etablering på komprimeret stabilgrus, hvilket ikke gav problemer i forsøgsperioden.
- Placering i terrænet: Begge anlæg er i princippet placeret oven på terræn. Frostfri dybde er ikke nødvendigt da et DPF-anlæg altid dræner af efter regn, og derfor er at sammenligne med et tørt rør. I DPF-Krogebjerg er anlægget indpasset i en eksisterende grøft, og bemærkes nærmest ikke, selv om forfilteret står synligt i bunden af grøften (figur 16). I DPF-Mårslet er det midlertidige anlæg placeret oven på jorden, men da det er dækket med et jordlag er den æstetiske påvirkning af fælleden begrænset.
- DPF-enkeltlag versus DPF-kassetter: DPF-kassetter er smartere end DPF-enkeltlag, der blev benyttet ved opbygning af hovedfilteret i DPF-Krogebjerg. Her blev kalk manuelt lagt i lag for lag, hvilket var nervepirrende langsomt og besværligt. I DPF-Mårslet blev DPF-kassetterne ikke kun benyttet til forfilteret, men også til hovedfilteret, idet der blev udviklet en kalk-påfyldningsboks til kasettevis ilægning af kalk. Dette gjorde arbejdet betydeligt lettere.
- Plyfaboks versus PE-membran: I DPF-Krogebjerg blev DPF-pladerne lagt ned i en 'kiste' bestående af betonbunden og plyfablader i siderne, der til sidst blev lukket med et låg. Dette fungerede ok, men blev ikke tæt, så der var en del vandtab under forsøgskørslen. I DPF-Mårslet

blev kassetterne omsluttet af en membran. Dette fungerede bedre, men også her var det svært at få alle samlinger, især op imod ind- og udløbsbrøndene 100 % tætte, så også her var der et vandtab under forsøgskørslen, om end mindre.

### **Overslagspris for fuldskalaanlæg til Krogebjerg**

Aarsleff har på baggrund af erfaringerne fra de to anlæg lavet en overslagspris for etablering af et fuldskalaanlæg i Krogebjerg til håndtering af vejvand fra i alt 5 ha vej, svarende til alle veje i delopland 3 vist på figur 2. Her beregnes en overslagspris baseret på en kommerciel DPF-boks, som er udviklet af firmaet Watercare, der har opnået licens på DPF. DPF-boksen har dimensionerne L:B:H på 3,5 m: 1,2 m: 0,6 m og kapacitet på 3 L/s. For at opnå samme renseseffektivitet som i pilotanlæg, skal der være en samlet strømningsvej på 60 m, hvilket svarer til en streng med 18 bokse i alt, fordelt på 6 DPF-bokse uden filtermateriale til forfilter, og 12 DPF-bokse med filtermateriale til hovedfilter. Boksene er vandtætte og kan tåle jorddække. Forfilteret kan spules med almindeligt slamsugerudstyr via spulerør. Watercare har oplyst en overslagspris på 0,6 mio for levering af 18 bokse på stedet, med filtermateriale ilagt i hovedfilter, og tilhørende ind- og udløbsbrønde, samt rør til samling af bokse. Drift i form af spuling forventes at være spuling af forfilter én gang årligt (en mand med spulevogn, ½ dag) og hovedfilteret forventes at skulle regenereres efter 20 år. DPF-boksenes levetid forventes at være meget lang, da de ligger beskyttet mod solens UV-stråler.

Det antages at myndighederne stiller krav om maksimal udledningshastighed på 1 L/s pr. ha. Da det samlede vejopland er på 5 ha skal et fuldskala DPF-anlæg kunne rense 5 L/s. Eftersom en 18-boks DPF-streng fra Watercare kan rense 3 L/s, skal der benyttes 2 DPF-streng, svarende til 36 bokse i alt. Forsinkelsesbassinet skal være i størrelsesordenen 2000 m<sup>3</sup>. Hertil benyttes den eksisterende grøft. Anlægget opbygges på 80 m langt afretningslag af grus. Der regnes ikke med udgifter til prøvetagning, eftersom teknologien er veldokumenteret. Evt. monitorering af kvalitet af udløbsvand kan eftermonteres i udløbsbrønd.

Forsinkelsesbassin på 2000 m<sup>3</sup> i grøft

- Profilering af grøft og bortskaffelse af ca. 500 m<sup>3</sup> jord, ca. 900 ton, bortskaffet som byjord koster ca. 250 kr/ton, svarende til kr. 225.000

Vandret afretning af forsinkelsesbassin over ca. 80 m, i 3 m bredde og ca. 0,6 m under bassinets bundkote for placering af to DPF-streng á hver 18 bokse. Boksene skal placeres på afretningslag af grus.

- Udgravning og bortskaffelse af ca. 150 m<sup>3</sup> jord, ca. 270 ton á 250 kr/ton. Levering af grus og afretning koster overslagsmæssigt kr. 150.000

Placering af 36 DPF-bokse. Løftes af med kran. Kalkfyldte bokse vejer ca. 1,5 ton. Boksene samles med A-rør. Etablering af ind- og udløbsbrønd. Jorddækning m.v..

- Placering af DPF-bokse, tildækning, etablering/fjernelse af kørevej, skurvogn, græssåning, ind- og udløbsbrønd m.v. skønnes overslagsmæssigt til kr. 350.000,-

Pris for 36 bokse leveret på stedet med filtermateriale (kalk + okkerslam) ifyldt, samt ind- og udløbsbrønd, og diverse rør

- Watercare oplyser en ca. pris på 0,6 mio. pr. 18 bokse, dvs. i alt kr. 1.200.000

Ialt overslagspris for DPF-anlæg til Krogebjerg til 5 ha afkoblet vej, inkl. forsinkelsesbassin =  
1.925.000 kr.

Prisoverslag for den tilhørende nødvendige vejbearbejdning findes i BiV-notat 1. Hvis det antages at den samlede vejlængde er ca. 10 gange større end i forsøget, og at der evt. skal anlægges endnu en Irish Crossing kan vejarbejderne anslås til

- Kanstensopretning:  $10 \times 160.000 \text{ kr} = 1.600.000$
- Hvis der er behov for opretning af indkørsler kan prisen pr. løbende meter stige fra ca. 300 kr. pr. meter til op til 1500 kr. pr. meter, så en ekstraudgift på op imod 2,3 mio. kan ikke udelukkes.
- Evt. ekstra Irish Crossing = 400.000

Samlet overslagspris for permanent afkobling af 5 ha vej og rensning før udledning til å kommer dermed til at ligge på:

Minimum = 1,925 mio + 1,6 mio = 3,525 mio

Maximum = 1,925 mio + 1,6 mio + 2,3 mio + 0,4 mio = 6,225 mio.

Denne overslagsberegning peger dermed på en anlægspris på omkring 1 mio. kr pr. ha vej afkoblet, inklusiv rensning af vejvandet og en maksimal udledningshastighed på 1 L/s pr. ha.

## Bilag 1

### Krav specifikationer til instrumentering af DPF-Krogebjerg

Grundlag for prisoverslag fra Signalix, udarbejdet af Per Bjerager, 11. oktober 2013

#### *Beskrivelse af DPF-Krogebjerg*

DPF-Krogebjerg er et Dobbeltporøst filter (DPF) til rensning af regnvand fra veje omkring Krogebjerg parken ved Harrestrup Å i Københavns Kommune. Regnvandet forsinkes i et græs bassin og rensed vand fra DPF ledes ud til åen. Der udtages vandprøver af kvaliteten af afstrømning fra vejene i indløbsbrønd til græs bassin (BR03), og der udtages prøver af vandkvalitet i udløbs fra DPF i en udløbsbrønd (BR01). I begge brønde udtages vandprøverne med flowproportionale fraktionsopsamlere af mærket ISCO 3700 med 24 delprøver.

#### *Indløbsbrønd til græs bassin (BR03)*

BR03 er forsynet med en flowmåler på indløb fra vej, et overløb før flowmåler i kote 8:20, ISCO, Rørføring til græs bassin, pumpe der forsyner DPF med vand; flow: 0,4 L/s = 1,44 m<sup>3</sup>/t. Vandprøve fra indløbsvand til DPF aftappes flowproportionalt efter pumpe og overføres til prøvebeholder. Pumpen tømmer brønd og kloaknet for vand mellem nedbør. Brønden tilsluttes el-net 230 V via eget HPFI relæ.

Normal afstrømning af regnvand måles i indløb til brønden med en flowmåler af mærket Krohne Waterflux 3000, **DN100** IP68, med separat signal konverter Krohne IFC 50 med display og Modbus 485 (tjekkes med Fagerberg og Signalix). Stor afstrømning ledes via overløbsrøret i kote 8:10 til brønden. Forskel i vandniveau før og efter flowmåleren (gradient) er ved normal drift op til 40 cm (græs bassin har bundkote i kote 7:70). Ved en gradient over flowmåleren på 40 cm er det grafisk bestemt at overløb forekomme ved et flow på ca. 70 m<sup>3</sup>/h, som svarer til 17 mm nedbør pr. time. Flowmåleren måler præcist ned til 0,4 m<sup>3</sup>/time.

Signalix indbygger et telemetrimodul, signal konverter og pumpstyring i en vandtæt kasse IP68.

#### **Telemetrimodul i indløbsbrønd til græs bassin (BR03) (foreløbig beskrivelse)**

Telemetrimodulet modtager signal fra flowmåler og niveaumålere, samt styrer ISCO fraktionsopsamler og pumpe.

Niveaumåler 1: Måler niveau i opstigningsrør før flowmåler (måler samtidig vandstand i kloakken til vejvand)

Niveaumåler 2: Måler niveau i brønden (Samme niveau i græs bassin, når vandstand er over kote 7,70).

Pumpe: Pumpen startes når niveau er over kote 6.80 og slukkes når niveau er under kote 6.50. For vedligehold af pumpe ved lav aktivitet tændes pumpen i 10 sek. hver 7. dage.

Lav aktivitet = Standby: Telemetrimodulet har lav aktivitet, når der ikke er målt flow i 2 timer (mindre end 0,4 m<sup>3</sup> på 10 minutter) **OG** niveau i brønd er under kote A (ca. 6,80). Under lav aktivitet logges data to gange pr. døgn (kl. 6 og kl. 18).

Høj aktivitet = Drift: Flow over 0,4 m<sup>3</sup> på 10 minutter **ELLER** vandstand i brønd er over kote A ca. 6,80. Data logges hvert 10. minut.

Styring af ISCO: Når niveau før flowmåler er under kote 8:08 sendes en puls til ISCO for prøvetagning for hver 2 m<sup>3</sup> gennem flowmåler (24 delprøver = 96 m<sup>3</sup> svarende til 24 mm nedbør). Når niveauet er over kote 8:08 sendes 1 puls pr. time til ISCO (første gang en time efter niveau er højere end 8:08).

Der sendes en SMS til prøvetagningsvagt, for hver 5. puls til ISCO-sampler.



#### *Udløbsbrønd fra DPF (BR01)*

BR01 er forsynet med en flowmåler på indløb fra DPF, ISCO-sampler, og afløb til Harrestrup Å. Brønden tilsluttes el-net 230 V via eget HPFI relæ.

Afstrømning fra DPF måles med en flowmåler af mærket Krohne Waterflux 3000, **DN25** IP68, med separat signal konverter Krohne IFC 50 med display og Modbus 485 (er tjekket med Fagerberg og Signalix). Flow er ved normal drift 0,4 L/s = 1,44 m<sup>3</sup>/h. Forskel i vandniveau før og efter flowmåleren (gradient) er ved normal drift større end 5 cm. Tryktab over flowmåler er ifølge beregning 2,2 cm ved et flow på 1,4 m<sup>3</sup>/h. Flowmåleren måler præcist ned til 0,025 m<sup>3</sup>/time.

Signalix indbygger et telemetrimodul og signal konverter i en vandtæt kasse IP68.

#### **Telemetrimodul i BR01 (foreløbig beskrivelse)**

Telemetrimodulet styrer ISCO fraktionsopsamler på basis af signal fra flowmåler.

1 stk. niveau logger måler vandstand i brønden.

Lav aktivitet - Standby: Telemetrimodulet har lav aktivitet, når der ikke er målt flow i 2 timer (mindre end 0,025 m<sup>3</sup> på 10 minutter). Under standby logges data to gange pr. døgn.

Høj aktivitet - Drift: Der logges data hvert 10. minut, når der er flow større end 0,025 m<sup>3</sup> på 10 minutter.

Styring af ISCO: Der sendes en puls til ISCO for prøvetagning for hver 2 m<sup>3</sup> gennem flowmåler. Der forventes færre prøvetagninger i udløb end indløb, da der er et betydeligt vandtab i græsbassin ved normal drift. Der sendes en SMS til prøvetagningsvagt, for hver 5. puls til ISCO-sampler.

Data sendes dagligt til server på KU, og data skal kunne hentes på vilkårlige tidspunkter.

Alle niveaumålere skal kunne måle i intervallet 0-5 m og være forsynet med 10 m ledning.