Bobleprojekt - First flush og hverdagsregn

Moniteringsfaciliteter og måleprogram for testanlæg med filtermuld

Vand i Byer og Københavns Kommune

Rapport

April 2017

The expert in **WATER ENVIRONMENTS**

Denne rapport er udarbejdet under DHI's ledelsessystem, som er certificeret af Bureau Veritas for overensstemmelse med ISO 9001 for kvalitetsledelse

ISO 9001
Management System Certification
BUREAU VERITAS
Certification Denmark A/S

Godkendt af

07-04-2017

X

Approved by

Signed by: Lars Neubert

Bobleprojekt - First flush og hverdagsregn

Udarbejdet for	Vand i Byer og Københavns Kommune
Repræsenteret ved	Yngve Juul Voss

Monitering ved hjælp af passive prøvetagere

Projektleder	Bodil Mose Pedersen
Kvalitetsansvarlig	Ulf Nielsen

Projektnummer	11820697
Godkendelsesdato	2017.04.03
Revision	Endelig rapport
Klassifikation	Åben

DHI • Agern Allé 5 • • 2970 Hørsholm
Telefon: +45 4516 9200 • Telefax: +45 4516 9292 • dhi@dhigroup.com • www.dhigroup.com

INDHOLDSFORTEGNELSE

1 Sammenfatning 3

2 Indledning og formål 5
2.1 Baggrund 5
2.2 Formål 6
2.3 Uplandsgade 6
2.4 Aktivitetsplan 7

3 Udstyr til regnvandsmonitering og indretning af målepunkter 9
3.1 Overordnet beskrivelse af vejgrøft med filtermuld 9
3.2 Målesituationer og –metoder 10
3.2.1 Hverdagsregn 10
3.2.2 First flush 11
3.3 Flowmåler 12
3.4 Automatisk prøveudtager 13
3.5 Turbiditetsmålere 13
3.6 Ledningsevnemåler 14
3.7 Nedbørsmåler 14
3.8 Vandstandsmåler 14
3.9 Datahåndtering 15
3.10 Passive prøvetagere 16
3.11 Anbefalinger - måleudstyr 19

4 Moniteringsprogram 21
4.1 Analyseparametre 21
4.1.1 Karakterisering af filterjord 23
4.2 Hverdagsregn - automatisk prøvetagning 23
4.3 Hverdagsregn – passive prøvetagere 24
4.4 First flush – automatisk fraktioneret prøvetagning 24
4.5 First flush – online-målinger 25
4.6 Online-målinger, dataopsamling og dataoverførsel 25
4.7 Modellering 25
4.8 Anbefalinger – moniteringsprogram 26

5 Referencer 29

FIGURER

Figur 2-1: Den røde indramning viser strækningen på Uplandsgade, hvorfra vejvand fra den ene halvdel af vejen skal ledes til regnvandssystemet og til grøften med filterjord. 6
Figur 3-1: Principskitse for opsamling af vejvand og tilledning til grøft med filtermuld 3 samt afledning fra grøft med filtermuld 1, 2 og 3. 9
Figur 3-2: Systemoversigt for datahåndtering. 15
Figur 3-3: SorbiCell med diameter 11 mm, længde 75 mm, volumen 3 ml. Materiale: polypropylen. 16
Figur 3-4: Placering af SorbiCell i prøvebeholderen (WW50) 17
Figur 3-5: Placering af WW50 (holder til SorbiCell) på udløbssiden i regnvandsbrønd. Når vandet i forbindelse med nedbør stiger op i brønden, vil regnvandet blive presset igennem

SorbiCellerne, som sidder i WW50'erne. Opsætningen på billedet indeholder fire forskellige typer af SorbiCeller til monitering af henholdsvis næringssalte, tungmetaller, PAH og phthalater..... 19

TABELLER

Tabel 3.1: Gentagelsesperioder for 5-100 års regn. Ved dimensionering af regnvandssystemer anvendes ofte 10-års hændelser som dimensionsgivende. 11
Tabel 3.2 Gennemsnitlige antal døgn pr. år med mere end 10 mm nedbør/15/. 11
Tabel 3.3: Oversigt over fordele og ulemper ved henholdsvis at anvende passive prøvetagere og automatiske prøvetagere til regnvandsprøvetagning samt overslagspriser for anskaffelse af de to typer udstyr. 18
Tabel 3.4: Forslag til moniteringsudstyr. 20
Tabel 4.1: Forslag til analyseparametre ved automatisk og passiv prøvetagning i forbindelse med monitering af hverdagsregn og first flush. Desuden er vist forslag til måleperioder. Online-målinger kan med fordel køre kontinuert. 22
Tabel 4.2: Forslag til to niveauer af moniteringsprogram. Basisprogrammet indeholder de mest basale parametre, mens det udvidede måleprogram indeholder flere basale fysis-kemiske parametre og miljøfremmede stoffer..... 27

BILAG

BILAG A – Moniteringsudstyr
Leverandører af udstyr

1 Sammenfatning

Projektet ”Monitering af first flush og hverdagsregn i testanlæg med filtermuld” er finansieret af Innovationsnetværket Vand i Byer og Københavns Kommune. Projektet er et såkaldt bobleprojekt, hvor en af betingelserne er, at det skal have en klimavinkel.

Københavns Kommune og HOFOR vil i forbindelse med skybrudssikring og afkobling af vejvand fra Uplandsgade på Amager etablere en grøft langs med vejen, som kan modtage vejvand. Vejgrøften opbygges som et testanlæg med tre sektioner med forskellige typer filtermuld, der kan tilbageholde forurenende stoffer. I tilknytning til testanlægget etableres moniteringsfaciliteter, der gør det muligt at undersøge forureningsgraden af first flush og teste forskellige filterjordes renseeffekt.

Bobleprojektet omhandler planlægning og design af målefaciliteter og dataopsamling samt opstilling af moniteringsprogrammer. Dimensionering, design af anlægget med filtermuld og valg af filtermuld ligger uden for rammerne af dette projekt. Når anlægsarbejdet i Uplandsgade er færdigt og moniteringsfaciliteterne etableret, kan indkøring og afprøvning gå i gang. Resultaterne fra Uplandsgade skal indgå i beslutningsgrundlaget for håndtering af vejvand fra veje med samme indretning og trafikbelastning (godt 10.000 ÅDT). På nuværende tidspunkt er det stærkt begrænset, hvor mange data der eksisterer om forurening fra veje med en daglig belastning på mere end 10.000 køretøjer, det vil sige veje med en høg forureningsgrad.

Grundlæggende er der to typer af nedbørshændelser, der skal kunne moniteres i indløb og udløb fra vejgrøfterne: first flush og hverdagsregn. Forslagene til måleudstyr er beskrevet med henblik på at opnå repræsentativ prøvetagning og valid karakterisering af regnvand fra veje med høj trafikbelastning samt måling af renseeffektiviteten for forskellige typer filterjord. Karakterisering af kemiske og fysiske parametre skal ske ved traditionelle kemiske analyser i laboratoriet eller ved online sensorer, hvor der er etableret dataopsamlings- og datahåndteringssystem for realtidsmålinger fra flowmålere, prøveudtagere, turbiditets-, ledningsevne-, regn- og vandstandsmålere.

Forslagene til moniteringsprogrammer indeholder anbefalinger til analyseparametre ved monitering af first flush og under hverdagsregn. Både traditionel automatisk flowproportional prøvetagning og monitering ved hjælp af passive prøvetagere er beskrevet med hensyn til antal af prøver, måleperioder, analyseparametre, onlinemålinger m.m.

Moniteringsprogrammerne er designet med henblik på, at de kan anvendes til kalibrering af modeller til grønne løsninger i MIKE URBAN, hvor man kan modellere specifikke grønne løsninger som f.eks. vejbede, vejgrøfter, beplantede render, regnbede m.m., og modellerne inkluderer - ud over hydraulik - også stoffjernelse.

Projektets primære målgrupper er planlæggere af vejvandshåndtering, leverandører af LAR-teknologi og moniteringsteknologi samt centrale og lokale miljømyndigheder, forsyningsselskaber, rådgivere samt beslutningstagere med tilknytning til udvikling af byområder.

2 Indledning og formål

2.1 Baggrund

Dette projekt er et såkaldt bobleprojekt delvist finansieret af innovationsnetværket for klimatilpasning kaldet ”Vand i Byer”. Københavns Kommune er medlem af innovationsnetværket og finansierer ligeledes en del af projektet: I maj 2016 ansøgte Københavns Kommune, repræsenteret ved Yngve Juul Voss, ”Vand i Byer” om midler til gennemførelse af projektet, og i august 2016 blev projektet bevilliget.

I forbindelse med skybrudssikring og afkobling af vejvand fra Uplandsgade på Amager ønsker Københavns Kommune i samarbejde med HOFOR at etablere en grøft langs vejen til at modtage vejvandet. I grøften placeres tre sektioner med forskellige typer filtermuld, som kan tilbageholde forurenende stoffer. Der skal etableres moniteringsfaciliteter, som gør det muligt at måle regnvandskvaliteten under first flush og under hverdagsregn og teste forskellige typer filterjords renseeffekt. Dimensionering, design af anlægget med filtermuld og valg af filtermuld ligger uden for rammerne af dette projekt.

Aktiviteterne omkring moniteringsanlæg med filterjord er generiske i forhold til andre anlæg til regnvandsrensning, og derfor kan projektets anbefalinger vedrørende moniteringsudstyr, dataopsamlingsfaciliteter, opstilling af måleprogram m.m. anvendes, hvor man ønsker opsamling af data og større viden om regnvandskvalitet og renseeffektivitet. Data kan efterfølgende indgå i modellering af regnvandsafstrømning.

Når kommunerne etablerer LAR-løsninger til regnvandshåndtering, er der ofte ikke tænkt på etablering af passende moniteringsfaciliteter til prøvetagning, flowmåling, onlinemåler og dataopsamling, som kan give større viden om hydraulik, vandkvalitet, reseeffektivitet og styringsmuligheder (vandbremse). Dette projekt vil hjælpe kommuner og forsyningsselskaber i planlægningen af moniteringsfaciliteter og tydeliggøre, hvilke forhold der skal med i overvejelserne i forhold til måleparametre, nedbørs- og afstrømningsforhold m.m.

Forskellen mellem dette projekt og projektet om ”Udvikling og dokumentation af nedsivningsløsninger med filterjord” /13/ er, at der her er fokuseret på:

- Monitering af first flush
- Mulighed for sammenligning af flere typer filterjord
- Monitering af regnvand fra en stærkt trafikeret vej
- Sikring af, at de nødvendige hydrauliske data er til rådighed til modellering af vejgrøfter i MIKE URBAN
- Udbredt anvendelse af online-måleudstyr, der giver mulighed for hurtig dataoverførsel og fjernovervågning

Ved starten på projektet i november 2016 blev der nedsat en arbejdsgruppe for projektet med følgende medlemmer:

- Yngve Juul Voss, Københavns Kommune
- Mads Popowitz, HOFOR
- Bodil Mose Pedersen, DHI

2.2 Formål

Formålet med projektet i forhold til vejgrøfter med filterjord er:

- At beskrive, hvilke faciliteter der skal etableres for at kunne monitere og dokumentere renseeffekten af filtermuld i forhold til regnvandsafstrømning fra en vej med en trafikbelastning på mere end 10.000 køretøjer i døgnet
- At opstille forslag til et moniteringsprogram, hvor data efterfølgende kan anvendes til kalibrering af modellering for vejvandsafledning og –rensning
- Efter etablering af moniteringsfaciliteter at opnå større viden om koncentrationer af forurenende stoffer i vejvand under hverdagsregn og first flush
- At beskrivelserne af udstyr og måleprogrammer er generiske, så den indsamlede viden kan bruges ved indkøb af moniteringsudstyr og planlægning af måleprogrammer til andre typer anlæg til regnvandsrensning

Prøvetagningsfaciliteter skal tilpasses, så der bliver mulighed for at udtage prøver og måle flow under hverdagsregn. Desuden skal man kunne karakterisere regnvandsafstrømningen fra first flush med henblik på at vurdere, hvor lang tid der går fra starten af en nedbørshændelse, og indtil koncentrationen af forurenende stoffer i vejvandet er blevet så lav, at direkte udledning kan tillades.

Denne rapport kan eventuelt indgå som baggrundsmateriale ved et udbud for etablering af vejgrøften ved Uplandsgade og tilhørende målefaciliteter. Når anlægsarbejdet i Uplandsgade er færdigt (formentlig) i 2018, vil moniteringen kunne gå i gang. Resultaterne fra Uplandsgade skal indgå i beslutningsgrundlaget for håndtering af vejvand fra veje med samme indretning og trafikbelastning som Uplandsgade. En trafiktælling gennemført i maj 2014 viste, at der i gennemsnit passerer 11.400 køretøjer pr. dag (ÅDT) ved Uplandsgade 74 /11/.

2.3 Uplandsgade

I hele Uplandsgades længde - ca. 1.300 m - skal vejvandet fra den ene halvdel af vejen afkobles fra spildevandssystemet og ledes ud i grøften, der placeres langs med vejen ud mod Kløvermarken. Et luftfoto af Uplandsgade er vist i Figur 2-1. I grøften placeres filtermuld, som skal tilbageholde forurenende stoffer, inden vandet siver ned til et drænrør placeret under filtermulden. For enden af Prags Boulevard munder drænrøret ud i kanalen, der fører ud til havnen og har udløb ved Prøvestenen.

Figur 2-1: Den røde indramning viser strækningen på Uplandsgade, hvorfra vejvand fra den ene halvdel af vejen skal ledes til regnvandssystemet og til grøften med filterjord.

2.4 Aktivitetsplan

Dette projekt er første fase i den række af aktiviteter, som skal føre frem til drift og overvågning af det anlæg med filtermuld, der skal etableres i Uplandsgade til rensning, nedsivning og på sigt udledning af vejvand. Det samlede projekt kan inddeles i følgende fire aktiviteter:

1. Planlægning og design af målefaciliteter og dataopsamling
2. Opbygning, installation og implementering
3. Indkøring, afprøvning og kalibrering
4. Drift og gennemførelse af måleprogram

Fase 1 vil inkludere

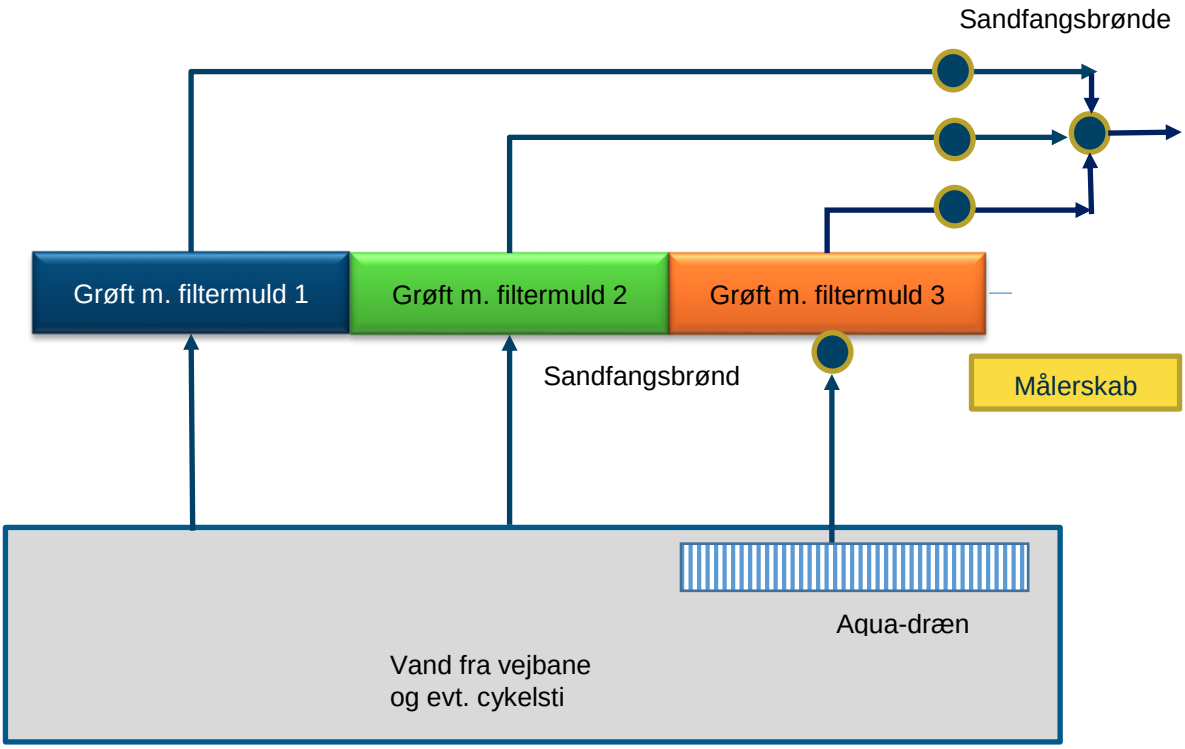
- Fastlæggelse af måleparametre, måle- og prøvetagningspunkter
- Forslag til prøvetagningsudstyr, flowmålerudstyr, online-målere og nedbørsmåler
- Forslag til overordnet datakommunikation og IT
- Moniteringsplan og kalibreringsarbejde

3 Udstyr til regnvandsmonitering og indretning af målepunkter

3.1 Overordnet beskrivelse af vejgrøft med filtermuld

Som nævnt i afs. 2.3 forventes grøften langs Uplandsgade at blive inddelt i tre sektioner med hver sin type filtermuld. Figur 3-1 viser en principskitse af anlægget med tilhørende sandfangsbrønde - én indløbsbrønd og tre udløbsbrønde. I hver brønd kan der opsættes sensorer til måling af flow, turbiditet og ledningsevne. Alternativt kan der etableres rørføringer fra hver af de tre udløbsledninger og fra sandfangsbrønden før Filter 3 til et målerskab. I målerskabet placeres en pumpe og mulighed for at skifte mellem de tre udløb. På den måde vil der kun være behov for et sæt sensorer til måling af ledningsevne og turbiditet i udløbsvand fra de tre grøfter med filtermuld.

For at opnå et jævnt strømningsforløb omkring flowsensoren vurderes det nødvendigt at etablere en sandfangsbrønd efter hver af de tre grøfter.



Figur 3-1: Principskitse for opsamling af vejvand og tilledning til grøft med filtermuld 3 samt afledning fra grøft med filtermuld 1, 2 og 3.

På Figur 3-1 er kun vist aquadræn ud for Filter 3, idet der overvejes andre løsninger for afvandingen og opsamling af regnvandet på vejstrækningen langs Filter 2 og 3 (jan. 2017). Udløbene fra alle tre filtre samles i én brønd, hvorefter regnvandet ledes til Øresund. I det aktuelle projekt vil det rensede regnvand først blive udledt, når det er dokumenteret, at kvaliteten opfylder kravene til regnvandsudledning til Øresund. Indtil da vil det rensede regnvand blive ledt til spildevandskloakken.

I rapporten fra ”Vand i Byer” om Dokumentation af Filterjord /13/ er der en beskrivelse af opbygningen af et nedsivningsanlæg med filterjord. Anlægget blev etableret i forbindelse med en P-plads. Erfaringer fra drift og monitering af dette anlæg mundede ud i en række anbefalinger, der bl.a. vedrørte sammensætningen af filterjorden, som bør have et lavt indhold af fosfor. Desuden bør man sikre sig, at grundvandsstanden er minimum 2 m under terræn. Under anlæg af filterjordsanlægget skal man undgå kompaktering af jorden, hvilket ellers vil kunne nedsætte nedsivningsevnen.

I nærheden af udløbsbrøndene etableres et målerskab, som forsynes med lys og el-tavle (230 V). I målerskabet placeres to automatiske prøveudtagere til udtagning af prøver fra indløb til Filter 3 samt fra udløb fra Filter 1, 2 eller 3. Der etableres rørføringer således, at der udføres online-målinger på indløbet til Filter 3, og tilsvarende skal der skiftevis kunne gennemføres online-målinger fra de tre udløb. Desuden etableres udstyr til dataopsamling, datakommunikation m.m.

3.2 Målesituationer og –metoder

Grundlæggende er der to typer af nedbørshændelser, der skal kunne moniteres i indløb og udløb fra vejgrøfterne:

- Hverdagsregn
- First flush

I afs. 3.2.2 og 3.2.1 er de to typer nedbørshændelser beskrevet, og i de efterfølgende afsnit (3.3 - 3.10) er forslag til prøvetagnings- og måleudstyr præsenteret.

3.2.1 Hverdagsregn

I projektet om ”Rensning af hverdagsregn” /6/ blev hverdagsregn defineret som regnhændelser, der **ikke** er skybrud. Den meteorologiske definition på skybrud er >15 mm nedbør på 30 min. Også i dette projekt er hverdagsregn alle nedbørstyper, der ikke kan karakteriseres som skybrud. Ved dimensionering af afløbssystemer går man typisk efter, at de skal have en kapacitet svarende til afstrømning ved en 10-års regn (10 års gentagelsesperiode). Sammenhængen mellem varighed, gentagelsesperiode og nedbørsmængden målt i mm er vist i Tabel 3.1.

Fra nedbørsmålinger forskellige steder i Danmark er der samlet en såkaldt lands-regnrække for 1933-62. Disse nedbørsmålinger viser, at der i gennemsnit én gang hvert 10. år kan forventes en nedbørshændelse over 15 min. med en gennemsnitlig intensitet på 190 liter/(s ha), og at der én gang hvert 2. år kan forventes en nedbørshændelse over 10 min. med en gennemsnitlig intensitet på 140 liter/(s ha). I et notat udarbejdet af VandCenter Syd i 2014 er den dimensionsgivende regn for en 2-års hændelse foreslået ændret til 160 l/(s ha) for 10 min /14/. Anbefalingerne vedrørende dimensionsgivende regn ændres i takt med udviklingen i nedbørsmønsteret og den sikkerhed politikere og myndigheder ønsker i forhold till beskyttelse af infrastruktur.

I forhold til at vurdere, hvilken hydraulisk kapacitet et anlæg til regnvandsrensning bør have, er der tillige behov for at præcisere designkriterierne ud over regnintensiteter. Eksempelvis kan man anvende 90 eller 80% af overfladeafstrømningen på årsbasis som den vandmængde, der skal renses. Den resterende vandmængde by-passes renseanlægget. Alternativt kan det eksempelvis accepteres, at anlægskapaciteten dimensioneres, så der tillades 10 gange bypass pr. år.

Tabel 3.1: Gentagelsesperioder for 5-100 års regn. Ved dimensionering af regnvandssystemer anvendes ofte 10-års hændelser som dimensionsgivende.

	5 år	10 år	20 år	50 år	100 år
Antal mm regn ved varighed på 30 min.	17,7	21,8	26,1	33,0	39,0
Antal mm regn ved varighed på 2 timer	27,2	33,2	39,6	49,7	58,5
Antal mm regn ved varighed på 4 timer	32,9	39,9	47,3	59,0	59,0

Ved tidligere måleprogrammer for anlæg med filterjord /13/ viste det sig, at 10-15 mm regn var optimalt i forhold til at opnå til strækkeligt flow i udløbet fra anlægget til at kunne udtage repræsentative prøver. Det gennemsnitlige antal døgn, hvor der i Danmark falder mere end 10 mm nedbør, fremgår af Tabel 3.2. Data er baseret på nedbørsmålinger fra hele landet fra 1988 til 2002. Antal døgn pr. år med mere end 10 mm nedbør varierede mellem 13,7 og 25,7 døgn i det nævnte årsinterval. På baggrund af klimamodeller forventes antallet af døgn pr. år med mere end 10 mm at stige med 3 døgn frem mod 2050.

Tabel 3.2 Gennemsnitlige antal døgn pr. år med mere end 10 mm nedbør/15/.

Gennemsnitlige antal døgn med nedbør i Danmark (Jylland/Øerne minus Bornholm 1988-2002)	
Nedbør	**Antal døgn pr. år**
Mindst 10 mm/døgn	19,87
Mindst 15 mm/døgn	8,36
Mindst 20 mm/døgn	3,58
Mindst 25 mm/døgn	1,69
Mindst 30 mm/døgn	0,82
Mindst 40 mm/døgn	0,23

3.2.2 First flush

Det er en almindelig antagelse, at den første regnvandsafstrømning i byområder har et forhøjet indhold af forurenende stoffer, og dette fænomen kaldes first flush. Forurenende stoffer akkumuleres i tørvejrsperioder, og stofkoncentrationen falder i takt med, at overfladerne afvaskes. En almindelig anvendt regel for first flush er ”Half inch rule”, ifølge hvilken 90% af en regnhændelses totale forurening vil være til stede i den første halve inch (12,7 mm) /1/, /2/. I Danmark er der imidlertid ikke mange nedbørshændelser om året på mere end 12 mm, og bl.a derfor er definitionen ikke anvendelig her. Der er dog også andre faktorer såsom overfladens forureningsgrad, den forudgående tørvejrsperiode og afstrømningskoefficienten, der er bestemmende for stofbelastningen under first flush.

Kendskabet til first flush har stor betydning i forhold til styringen af vandkvaliteten i det vandområde, hvortil regnvandet udledes, men en præcis definition af first flush er mindre væsentlig. Det er vigtigere at beskrive udviklingen i forureningen i løbet af forskellige typer nedbørshændelser, f.eks. korte nedbørshændelser med høj regnintensitet, hvor der i den forudgående periode har været en længere tørvejrsperiode, og eksempelvis længere nedbørshændelser med lav regnintensitet, hvor den forudgående periode er karakteriseret ved hyppige nedbørshændelser.

Udviklingen i forureningen vil tillige afhænge af forureningen af de overfladetyper, der er repræsenteret i afstrømningsoplandet. I det aktuelle projekt sker afstrømningen fra Uplandsgade, der har asfaltbelægning og en trafikbelastning på >10.000 køretøjer pr. døgn.

Når renseanlæg eller faciliteter til behandling og håndtering af regnvand skal dimensioneres, er det vigtigt at kende vandmængden og mængden af forurenende stoffer, der skal behandles. Hvis Uplandsgades længde tredeles, vil vejstrækningen, hvorfra regnvandet afstrømmer, være ca. 430 m. Vejarealet, inklusive cykelsti, bliver herefter ca. 2.600 m^2. Hvis der regnes med et gentagelsesinterval på 5 år for den dimensionerende regnhændelse over 10 min., en koncentrationstid på 10 min., et initialtab på 0,6 mm og en hydrologisk reduktionsfaktor på 0,8, kan regnvandsafstrømningen ved hjælp af MOUSE modellering beregnes til ca. 38 l/sek. Til beregningen af den dimensionerende 5-årshændelse er anvendt data fra SVK-nedbørsmåleren på Kløvermarksvej.

Monitering af first flush skal bidrage med viden om de nedbørssituationer, hvor regnvandet er så forurenet, at det skal behandles inden udledning. First flush kan defineres som det aktuelle regnvandsvolumen og de aktuelle koncentrationer af forurenende stoffer, der afstrømmer fra et givet areal. Ud fra disse data kan fastlægges guidelines for management strategier og design af faciliteter til behandling og håndtering af regnvandet.

3.3 Flowmåler

Ud fra en forudsætning om, at vandkvaliteten i tilløbet til Filter 3 vil være tilnærmelsesvist den samme i tilløbet til Filter 1 og 2, har Københavns Kommune valgt kun at måle flow og vandkvalitet for det regnvand, der tilføres Filter 3. Alt andet lige vil der være større usikkerhed forbundet med at opstille massebalancer for Filter 1 og 2, hvis disse baseres på flow målt for Filter 3.

Man kan eventuelt vælge at montere en flowsensor i udløbet fra Filter 2, som kan flyttes til Filter 3. Dermed er der mulighed for at gennemføre moniteringsprogrammer samtidigt på to af filtrene.

Bilag A indeholder en oversigt over leverandører af flowmålere og link til datablade med informationer om måleområde, usikkerhed, krav til installation, loggefrekvens m.m. Der kan enten monteres en magnetisk induktiv flowmåler beregnet til at måle på delvist fyldte rør, eller der kan benyttes flowsensorer, som er baseret på Doppler-princippet, og hvor flowet beregnes ud fra vandhastighed, vanddybde samt rørets konfiguration.

Design og opbygningen af vejgrøfterne er ikke en del af dette projekt. Listen nedenfor er tænkt anvendt ved vurdering af tilbud på vejgrøfter og moniteringsudstyr og beskriver faktorer, som er vigtige at være opmærksomme på ved valg af flowmåler og dens placering /8/:

- Hydrauliske forudsætninger (der må ikke være turbulens umiddelbart opstrøms eller nedstrøms målestedet). Flowmålere placeres bedst før brønde.
- Måleområde fastsættes normalt ud fra maksimalt forventet flow. Man skal dog være opmærksom på, at flowet er størst ved lav vandhastighed og lav vanddybde. I den aktuelle situation ønskes flowmåling både under hverdagsregn og first flush, hvor afstrømningen er størst. Det optimale er en flowmåler, der kan måle ved lave vanddybder (ned til ca. 2 cm) og samtidig har en maksimal kapacitet på omkring 100 m^3/time. Normalt øges nøjagtigheden, jo mindre forskel der er mellem det normale og det maksimale flow.
- Hvis flowmålingerne efterfølgende skal bruges til modellering, skal man regne med, at loggefrekvensen skal være 10 sek.
- Ved placering af flowmåleren/-sensorerne er det en fordel, at man i umiddelbar nærhed kan kontrollere vanddybde og –hastighed og sammenligne med flowmålerens målinger.
- Opsamling, overførsel, lagring og styring af data skal kunne koordineres (synkroniseres tidsmæssigt) med data fra online målere (turbiditet og ledningsevne).

- Flowmåleren skal kunne benyttes til styring af en automatisk prøveudtager (flowproportional prøvetagning).
- I relation til overførsel af målinger er det vigtigt at kende mulige dataformater og indlæsning i f.eks. Excel.
- Fjernovervågning bør være mulig.

3.4 Automatisk prøveudtager

Til udtagning af regnvandsprøver i indløbet til Filter 3 anbefales det at opstille en automatisk prøveudtager, som styres af flowmåleren i indløbet. Tilsvarende opstilles en automatisk prøveudtager, som kan udtage prøver i udløbet fra Filter 3. I Bilag A findes en liste over mulige leverandører af prøveudtagere og links til datablade med specifikationer.

Af praktiske hensyn kan det være fordelagtigt, at der er endnu en prøveudtager til rådighed til udtagning af regnvandsprøver i udløbet fra Filter 1 og 2 således, at der kan udtages prøver fra to af filtrene samtidigt – enten Filter 1 og 3 eller Filter 2 og 3. Der kan enten etableres stationære prøvetagere, hvor der samtidig er mulighed for at skifte mellem prøvetagningsstederne, eller der kan benyttes transportable prøveudtagere, som kan anvendes til andre prøvetagningsopgaver i kommunen.

Oftest vil det være tilstrækkeligt at kunne karakterisere en flowproportional regnvandsprøve, som repræsenterer en enkelt regnhændelse eller flere regnhændelser inden for det samme døgn. Ofte defineres to uafhængige regnhændelser som hændelser, der sker med mere end tre timers mellemrum. I sådanne situationer opsamles prøven i én beholder. Hvis der er behov for en detaljeret karakterisering af first flush, kan de fleste prøvetagere indstilles til fraktioneret prøvetagning. Dette kræver, at prøveudtageren har en karrusel med flasker, som skifter efter et forud fastlagt tidsinterval eller flow. Ved analyse af prøverne kan udviklingen i stofkoncentrationer f.eks. følges over tid.

Der må påregnes en periode til indkøring af prøveudtagerne, hvor der indhentes erfaring med indstilling af delprøvestørrelse og frekvens af delprøver.

3.5 Turbiditetsmålere

Ved karakterisering af first flush er en af de vigtigste parametre suspenderet stof (SS). En stor del af de forurenende stoffer, herunder specielt tungmetaller og PAH, adsorberes til SS, og når koncentrationen af SS efter first flush er blevet mindre, er det et tegn på, at koncentrationen af forurenende stoffer er reduceret.

Turbiditet er et mål for, hvor transparent en væske er, og dermed et udtryk for koncentrationen af uopløste stoffer. Enheden for turbiditetsmålingen er ofte FNU (Formazin Nephlometric Unit). Nogle turbiditetsmålere bruger NTU (Nephlometric Turbidity Unit) i stedet for FNU, men basalt set kan de to enheder sidestilles. I Bilag A findes en liste over mulige leverandører af turbiditetsmålere og links til datablade med specifikationer.

For at kunne omsætte de loggede turbiditetsmålinger til koncentrationer af suspenderet stof (SS) kan der under en nedbørshændelse udtages et antal stikprøver i indløbet og i udløbet samtidig med, at turbidimeteret aflæses. Stikprøverne analyseres derefter i laboratoriet for SS, hvorefter sammenhørende værdier af FNU og SS kan afbildes i et diagram, og regressionskoefficienten beregnes og anvendes til beregning af SS-koncentrationer ved de efterfølgende turbiditetsmålinger.

Der placeres to turbiditetsmålere, som måler i indløbsvandet til Filter 3 og på skift i udløbsvandet fra de tre filteranlæg. Der kan opnås større fleksibilitet, hvis der monteres endnu en turbiditetsmåler, som på skift kan sidde i udløbet fra henholdsvis Filter 2 og 3. Målerne bør

monteres med en målesonde til at måle turbiditeten svarende ca. til intervallet 0,001 til 4000 FNU (svarende til et indhold af TS på mellem 1 og 50.000 mg/l). Et snævrere interval kan være fordelagtigt. Typisk er usikkerheden <5% af måleværdi ± 0,01 FNU.

Placeringen og monteringsretningen af målesonderne i indløb og udløb er vigtige i forhold til at sikre repræsentative målinger. Turbidimeteret opfatter luftbobler som partikler, idet lyset fra luftbobler bliver reflekteret. Luftbobler i vandet kan således resultere i falske signaler.

På nogle målesonder er der foran målevinduet monteret en visker, som skal holde målevinduet rent. Sætter der sig snavs på målevinduet, kan det selvfølgelig føre til ukorrekte målinger.

3.6 Ledningsevnemåler

Mange kommuner søger i deres spildevandsplanlægning at undgå nedsivning af vejvand i byzoner, idet indholdet af salt i grundvandet er et stigende problem. Karakterisering af vejvandet med hensyn til saltindhold giver større viden om saltbelastningens omfang og behovet for eventuel indgriben.

I regnvand måles salt typisk enten som chlorid eller som ledningsevne. Begge parametre kan med en vis tilnærmelse omregnes til en saltkoncentration (NaCl). Måleresultater er stærkt påvirkede af vejsaltning, nedbørsvariationer, trafikbelastning m.m. I forbindelse med udledning af regnvand til ferskvandsområder eller nedsivning af regnvand bør saltindholdet vurderes eller måles. Ferskvand er overordnet set karakteriseret ved, at saltholdigheden er mindre end 5‰. I danske vandløb er saltholdigheden ofte betydeligt lavere.

I Uplandsgade foreslås opsat ledningsevnemålere i ind- og udløb ved Filter 3. Afhængigt af filterjordtyperne kan det overvejes, om der også skal opsættes ledningsevnemålere i udløbet fra Filter 1 og 2. Visse filterjorde kan føre til en stigning i ledningsevnen efter, at regnvandet er passeret.

I Bilag A findes en liste over mulige leverandører af ledningsevnemålere og links til datablade med specifikationer.

3.7 Nedbørsmåler

I umiddelbar nærhed af prøvetagningsstedet bør der opsættes en regnmåler, som eventuelt kan kobles til prøveudtagerne, så de startes, når der er faldet en forud fastlagt mængde nedbør. Automatiske nedbørsmålere kan typisk indstilles til at logge nedbøren for hver 0,1 mm.

I Bilag A findes en liste over mulige leverandører af nedbørsmålere og links til datablade med specifikationer.

3.8 Vandstandsmåler

Til måling af vandstanden i de tre grøfter med filtermuld anbefales det at opstille en niveaumåler (tryktransducer) i hver sektion. Princippet i målingen er, at et mekanisk signal omsættes til et elektrisk signal. I tryktransduceren er der en membran af titanium, og vandtrykket forårsager, at der sker en indbøjning i membranen. Jo større vandstand, jo højere vandtryk og følgelig større påvirkning af membranen /8/. Tryktransduceren placeres i bunden af et borehul.

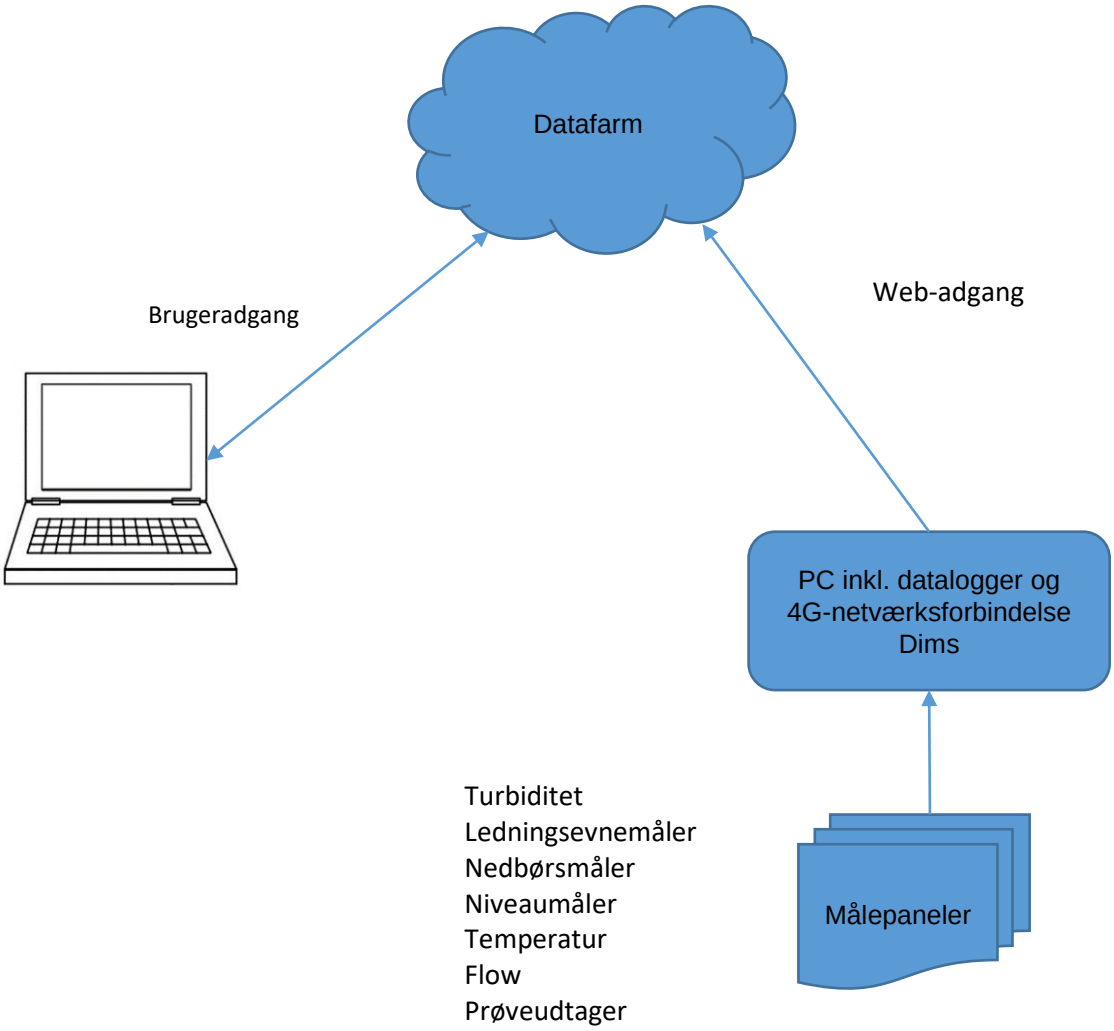
Data for vandstanden skal bl.a. anvendes ved modellering af de hydrauliske forhold i vejgrøfterne, hvor andelen af filterjord, der er vandmættet/ikke-vandmættet skal kendes for at kunne beregne ud- og nedsivningen fra filterjorden til den omgivende jord.

3.9 Datahåndtering

I målestationen etableres et dataopsamlings- og datahåndteringssystem for realtidsmålinger fra flowmålere, prøveudtagere, turbiditets-, ledningsevne-, regn- og vandstandsmålere.

I praksis kan man installere en lille DIMS-database (DIMS = data integrations system) lokalt på en PC i målestationen, eksempelvis en NUC (kraftig minicomputer). Denne sender så data op i skyen til datafarmen, hvor data også lægges i en DIMS database. DIMS er et system til datahåndtering i realtid samt til databearbejdning.

Fra bruger-PC'en kan der enten være adgang til data via en DIMS-klient (hvor der er fuld mulighed for at anvende funktioner i DIMS), eller der kan laves en adgang via en browser. I så fald er der dog kun adgang til at se de data, man har valgt at gøre tilgængelige. Derefter kan man gemme data i Excel på egen PC, hvis man skal arbejde videre med dem. DIMS vil være installeret på NUC'en og kan også lægges på bruger-PC'en.



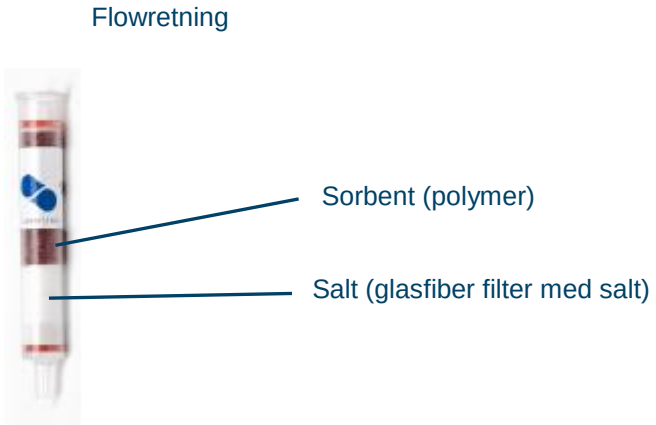
Figur 3-2: Systemoversigt for datahåndtering.

3.10 Passive prøvetagere

Et alternativ til konventionel, automatisk flowproportional prøvetagning kan være prøvetagning ved hjælp af passive prøvetagere, som er baseret på, at forurenende stoffer, der ønskes bestemt i en vandstrøm, passerer en lille beholder indeholdende en stofspecifik sorbent (se Figur 3-3). De forurenende stoffer adsorberes til sorbenten og akkumuleres. Når den passive prøvetager efter en vis periode (2-3 uger) tages op, er mængden af stof, som findes i sorbenten, et udtryk for den akkumulerede mængde stof. Sorbenten elueres, eluatet analyseres for specifikke forurenende stoffer, og koncentrationen omregnes til gennemsnitskoncentration i vandstrømmen.

Passive prøvetagere har i 2015-16 været afprøvet til monitering af regnvand, som ledes ud i Slotsholmskanalen i det indre København /9/. Resultaterne fra bestemmelse af næringssalte, tungmetaller og PAH'er var så lovende, at en ny målerunde blev igangsat i nov. 2016. I den efterfølgende målerunde blev der indført en række forbedringer i forhold til opsætningen af de passive prøvetagere, og kapaciteten af adsorbenterne til opsamling af forurenende stoffer og parametrene blev udvidet med en række phthalater.

Anvendelse af passive prøvetagere forbedrer mulighederne for at detektere miljøfremmede stoffer (herunder tungmetaller og PAH) i regnvand, som typisk forekommer i lave koncentrationer i forhold til detektionsgrænserne og samtidig varierer over tid. I de passive prøvetagere sker en akkumulering af stofferne i sorbenten. Også ved kortvarige nedbørshændelser vil de miljøfremmede stoffer kunne detekteres. Ofte er det med konventionelle prøvetagningsmetoder vanskeligt at få startet en automatisk prøveudtager på det rigtige tidspunkt i forhold til tilstrømningen af det første regnvand. Længere måleperioder og mindre tilsyn gør prøvetagning i flere punkter mere overkommelig rent økonomisk.



Figur 3-3: SorbiCell med diameter 11 mm, længde 75 mm, volumen 3 ml. Materiale: polypropylen.

Ved de to ovennævnte måleprogrammer blev der anvendt passive prøvetagere leveret af Sorbisense. På Figur 3-3 er vist, hvordan SorbiCell er opbygget, og Figur 3-4 viser placering af SorbiCell i WW50 (prøvebeholder). Endelig viser Figur 3-5, hvordan fire WW50 er anbragt på et V-overfald ved udløbet fra en regnvandsbrønd.

Figur 3-4: Placering af SorbiCell i prøvebeholderen (WW50)

Uanset om man vælger automatisk prøvetagning eller prøvetagning ved hjælp af SorbiCells, vil der være behov for at etablere flowmåling i indløb til Filter 3 og i udløb fra Filter 1, 2 og 3, således at der er mulighed for beregning af belastning og opsamling af forurenende stoffer i de forskellige filtertyper.

Tabel 3.3: Oversigt over fordele og ulemper ved henholdsvis at anvende passive prøvetagere og automatiske prøvetagere til regnvandsprøvetagning samt overslagspriser for anskaffelse af de to typer udstyr.

Prøvetagningsmetode	Anskaffelsespris kr.	Fordele	Ulemper	Kommentarer
SorbiCell	WW50 ca. 1.300 kr. pr. stk. SorbiCells 300-400 kr. pr. stk.	Monitering over flere nedbørshændelser. Ingen strømforsyning. Ingen rørføringer.	Kun opløste og kolloide stoffer kan analyseres. Vanskeligt at monitere enkelte regnhændelser. Ved analyse af f.eks. næringssalte, tungmetaller og PAH skal anvendes tre typer SorbiCells og dermed tre WW50.	WW50 kan i en regnvandsbrønd monteres på en overfaldskant, se billede på forsiden af rapporten (ekstra udstyr).
Automatisk prøveudtager	ISCO 3700 incl. sugeslange og kassette, der muliggør fraktioneret prøvetagning. Ca. 35.000 kr.	Mulighed for udtagning af flowproportionale prøver. Både totale og opløste stoffer kan analyseres i prøven. Mulighed for fraktioneret prøvetagning.	Strømforsyning. Lav vandstand på prøvetagningsstedet kan forhindre optagning af prøver. Hyppigt tilsyn og prøveafhentning er nødvendig.	Prøveudtagere bør placeres i et målerskab, og der skal etableres rørføringer fra prøvetagningsstedet til prøveudtageren (ekstra udstyr).

Figur 3-5: Placering af WW50 (holder til SorbiCell) på udløbssiden i regnvandsbrønd. Når vandet i forbindelse med nedbør stiger op i brønden, vil regnvandet blive presset igennem SorbiCellerne, som sidder i WW50'erne. Opsætningen på billedet indeholder fire forskellige typer af SorbiCeller til monitering af henholdsvis næringssalte, tungmetaller, PAH og phthalater.

3.11 Anbefalinger - måleudstyr

Det vil være fordelagtigt, at det på et tidligt tidspunkt - f.eks. i udbudfasen – besluttes, hvilket moniteringsudstyr der basalt set skal monteres til overvågning af tilløbsvandet og ved udløbet fra de tre filterjordsanlæg.

Tabel 3.4 indeholder forslag til basisudstyr og til udstyr, der giver flere muligheder for kontinuerlig overvågning og måling af regnvandskvaliteten. Indledningsvis skal man gøre sig klart, om der skal etableres udstyr til automatisk prøvetagning, eller om monitering skal ske ved hjælp af passive prøvetagere (se afs. 3.10). Ved opsætning af online-målere, og specielt det tilhørende udstyr til dataopsamling, er det vigtigt at tage højde for, at der senere eventuelt kan opsættes flere online-målere.

I stedet for at opsætte en regnmåler på stedet kan der anvendes nedbørsdata fra Spildevandskomiteens (SVK) regnmålersystem, som drives af DMI og omfatter 154 målere spredt over hele Danmark

Ofte er der i turbiditets-, ledningsevne- og pH-målere indbygget en temperaturmåler, og derfor er det ikke nødvendig med en selvstændig temperaturmåler. Ved valg af leverandør af moniteringsudstyr er det nærliggende at vælge en leverandør, som kan levere hovedparten af det udstyr, man beslutter sig for at indkøbe. Dermed er der større sandsynlig hed for, at de enkelte udstyrskomponenter til dataopsamling kan fungere sammen.

Endelige skal det besluttes, hvordan dataopsamlingssystemet skal opbygges, hvem der skal have adgang, om data skal være tilgængelige med kortere eller længere tids forsinkelse, mm.

Tabel 3.4: Forslag til moniteringsudstyr.

Udstyr	Basisudstyr	Udvidet liste med udstyr
Flowmåler	X	X
Automatisk prøveudtager		X
Passive prøvetagere	X	
Turbiditetsmåler	X	X
Ledningsevnemåler		X
Vandstandsmåler	X	X
Regnmåler		X
pH-måler		X
Temperatur		X
Datahåndtering batchvis overførsel	X	
Dataoverførsel realtid		X

Under ”Vand i byer” gennemførtes i 2013-2015 et projekt om ”Realtids monitering af distributionsnet”, dvs. overvågning af flow og vandkvalitet i drikkevandssystemer /16/. Udgifterne til etablering af målestationer med udstyr til måling af pH, ilt, ledningsevne, turbiditet og flow samt opstilling af et absorbans spektrofotometer blev opgjort til 660.000 kr. ekskl. moms. I prisen indgår også pc, monitor mm.

Projektrapporten indeholder detaljerede beskrivelser af udstyret, der blev sat op i målestationerne. Udstyrsmæssigt er moniteringen af drikkevand og regnvand ikke fuldstændig sammenlignelig, men udstyrsbeskrivelsen med prisoverslag angiver størrelsesordenen for udgifterne til en målestation til regnvandsmonitering. Ved regnvandsmoniteringen vil det være hensigtsmæssigt at opstille automatiske prøveudtagere, hvilket ikke er tilfældet med drikkevandsmonitering. Til gengæld blev der ved monitering af drikkevand anvendt et absorbans spektrofotometer til monitering af TOC og DOC (Total Organic Carbon og Dissolved Organic Carbon).

4 Moniteringsprogram

Formålet med monitering af et anlæg med filterjord er typisk at dokumentere belastning og renseeffektivitet i en eller flere af følgende situationer:

- Under hverdagsregn
- Under first flush
- I skybrudssituationer
- I forbindelse med årstidsvariationer
- Udviklingen i hele anlæggets levetid

I dette kapitel er opstillet forslag til moniteringsprogrammer, der skal dokumentere belastning og renseeffektivitet for udvalgte parametre under hverdagsregn og under first flush.

4.1 Analyseparametre

Ved valg af analyseparametre er der her taget udgangspunkt i rapporten om Regnkvalitet og klimatilpasning /4/. I rapporten er udpeget seks stofgrupper omfattende i alt 30 parametre. Parametrene er valgt ud fra en gennemgang af litteratur reviews, indsamlede danske og udenlandske data, eksisterende miljøkvalitetskrav samt målsætninger for vandområder. Indikatorparametrene omfatter almindelige spildevandsparametre, næringssalte, udvalgte metaller, PAH, phthalater, bisphenol A og pesticider. Begrundelser for valg af de nævnte parametre findes i /4/. Parametrene er vist i Tabel 4.1, hvor det desuden er markeret, hvilke parametre det vil være relevant at medtage i følgende fire prøvetagningssituationer:

- Hverdagsregn - automatisk prøvetagning
- Hverdagsregn – passive prøvetagere
- First flush – automatisk fraktioneret prøvetagning
- First flush – online-monitering

Bly, kobber og zink er i regnvand næste altid tilstede i koncentrationer over detektionsgrænserne. Overfladeafstrømning fra industriområder kan indeholde andre spormetaller end de tre nævnte, og i disse situationer vil det være relevant at analysere for f.eks. cadmium, chrom, kviksølv og nikkel.

Tabel 4.1: Forslag til analyseparametre ved automatisk og passiv prøvetagning i forbindelse med monitering af hverdagsregn og first flush. Desuden er vist forslag til måleperioder. Online-målinger kan med fordel køre kontinuert.

	Hverdagsregn		First flush	
	Automatisk prøvetagning	**Passiv prøvetagning**	**Automatisk fraktioneret prøvetagning**	**Online måling**
Måleperiode	10 regn-hændelser	4 gange 2-6 uger	5 regnhændelser	2-3*) regnhændelser
Parametre				
Ledningsevne	Online	Online	Online	Online
Suspenderet Stof/Turbiditet	X	Online	**X**	Online
BOD	X		**X**	
COD	X		**X**	
Næringssalte				
Total-P	X		**X**	
Opløst P (ortho-P)	X	X	**X**	
Total-N	X	X**)	**X**	
Spormetaller				
Zink	X	X	**X**	
Zink filt	X		**X**	
Kobber	X	X	**X**	
Kobber filt	X		**X**	
Bly	X	X	**X**	
Bly filt	X		**X**	
PAH				
Acenapthen	X	X	X	
Fluoren	X	X	X	
Phenanthren	X	X	X	
Fluoranthen	X	X	X	
Pyren	X	X	X	
Benz(a)pyren	X	X	X	
Benz(bjk)fluoranthen	X	X	X	
Indeno(1,2,3cd)pyren	X	X	X	
Benz(ghi)perylen	X	X	X	
Phthalater				
DBP	X	X	X	
BBP	X	X	X	
DEHP	X	X	X	
DEHA	X	X	X	
Øvrige org. stoffer				
Bisphenol A	X	X	X	
Pesticider				
2,6-diklorbenzamid (BAM)	X		X	
Isoproturon	X		X	
Mechlorprop	X		X	
Glyphosat	X		X	
AMPA	X		X	

**) Under 2-3 regnhændelser udføres samtidige bestemmelser af ledningsevne og suspenderet stof i stikprøver*

***) Kun nitrit+nitrat bestemmes.*

4.1.1 Karakterisering af filterjord

Filterjord er en homogen jordblanding, der for at fungere optimalt skal opfylde en række krav til f.eks. indholdet af ler, silt, sand og organisk materiale. I Danmark er der ingen nationale standarder for sammensætningen af filterjord, men referencerne /12/ og /13/ indeholder en række anbefalinger til filterjords sammensætning og karakteristika. Det samlede indhold af ler (<0,002 mm) og silt (<0,063 mm) bør ligge mellem 5 og 10 vægt%, indholdet af organisk materiale bør ligge mellem 1 og 3 vægt%, mens pH bør ligge mellem 6,5 og 7.

I det færdige filterjordsanlæg bør følgende parametre måles:

- Porevolumen
- Hydraulisk ledningsevne
- Koncentrationen af næringssalte (N og P)
- Tørstof (vandprøve filtreret og tørret ved 105 °C) og Glødetab (TS-prøven glødes i en ovn og det organiske materiale svarer til glødetabet)
- pH

4.2 Hverdagsregn - automatisk prøvetagning

Efter installering af flowmåler og prøvetagningsudstyr er det nødvendigt med en **indkøringsperiode** på en til tre måneder afhængigt af nedbørsfrekvensen, -intensiteten og -mængden. Der vil altid være forskelle i afstrømningsforhold fra sted til sted, og derfor er der behov for en kortere eller længere indkøringsperiode. I indkøringsperioden skal der indhentes erfaringer med indstilling af prøveudtageren under forskellige typer af nedbørshændelser, hvor regnintensitet, varighed og længde af tørvejrsperioderne varierer. Hermed opnås erfaring med hensyn til delprøvefrekvens, delprøvestørrelse, flow for igangsætning af prøveudtager, loggefrekvens, dataopsamling, dataoverførsel m.m.

Normalt vil prøvetagningen blive igangsat i det øjeblik, indløbsflowet til grøften med filterjord når et vist niveau. Dette fastlægges i indkøringsperioden. Tilsvarende indstilles prøveudtageren placereret i udløbet fra grøften. Udløbsflowet vil være tidsmæssigt forskudt i forhold til tilløbet og afhænge af længden på den forudgående tørvejrsperiode, vandmætningsgraden af filterjorden og nedsivningshastigheden. Under indkøring er det vigtigt at indhente erfaringer om størrelsen af udløbsflowet for at kunne indstille prøveudtageren og udtage repræsentative prøver.

Under drift skal opsamlede regnvandsprøver modtages på analyselaboratoriet inden for 24 timer efter, at prøvetagningen er afsluttet. Den opsamlede prøve opbevares nedkølet under udtagning (så vidt muligt) og forsendelse til analyselaboratoriet.

For at opnå et solidt datagrundlag for vurdering af regnvandssammensætningen før og efter rensning anbefales det at

- Udtage prøver fra 10 nedbørshændelser
- Fordele prøvetagningerne, så de dækker en stor del af året
- Udtage prøver, der dækker tørvejrsperioder af varierende længde
- Gennemføre fraktioneret prøvetagning (se afs.4.4)

Nedbørshændelserne, der karakteriseres, kan også bestå af flere hændelser opstået på samme dag. Det kan være relevant at kassere opsamlede prøver, som ligner nedbørssituationer, der allerede er karakteriseret.

4.3 Hverdagsregn – passive prøvetagere

I afs. 3.10 er beskrevet, hvordan passive prøvetagere af typen SorbiCell kan placeres i regnvandsbrønde, der fungerer som sandfang. Erfaringer med anvendelse af SorbiCell til monitering af næringssalte, tungmetaller og PAH'er i regnvand viser, at der i løbet af en måleperiode bør falde 10-20 mm regn, hvoraf flere nedbørshændelser bør resultere i mere end 4 mm nedbør over 2-4 timer. Ved nedbørshændelser af denne størrelse opnås et stabilt vandniveau over prøvebeholderen (WW50), og dermed sikres gennemstrømning i de passive prøvetagere og adsorption af forurenende stoffer.

På den ene side er det vigtigt, at prøvebeholderne sidder så længe i prøvetagningspunktet, at der bliver adsorberet en tilstrækkelig mængde forurenende stoffer i de passive prøvetagere til, at mængden kan bestemmes, og middelkoncentrationen beregnes. På den anden side må de passive prøvetagere ikke sidde så længe i prøvetagningspunktet, at adsorptionskapaciteten er opbrugt. Det optimale tidsrum for moniteringen afhænger tillige af mængden af forurenende stoffer i regnvandet.

Med passive prøvetagere kan man vælge at gennemføre fire måleperioder af to til seks ugers varighed afhængigt af nedbøren. Måleperioderne bør fordeles over året, så de dækker de fire årstider.

Ud over analyseusikkerheden er der også knyttet usikkerhed til placeringen af prøvebeholderen (WW50) i en regnvandsbrønd. Hvis beholderen (WW50) er placeret for højt i forhold til en overfaldskant, vil der ved små vandstandsstigninger ikke blive ledt vand igennem den passive prøvetager, og dermed vil stofkoncentrationerne blive underestimeret. Derfor er det vigtigt at have en veldefineret overfaldskant og sikkerhed for, at prøvebeholderen bliver siddende i samme niveau i hele måleperioden.

Ved modellering af overfladeafstrømning og renseeffekten i LAR-løsninger anvendes typisk data for de enkelte regnhændelser. Derfor er regnkvalitetsmålinger udført ved hjælp af passive prøvetagere ikke umiddelbart anvendelige ved modellering, idet stofkoncentrationerne er udtryk for middelværdier for flere regnhændelser. Til gengæld er metoden fordelagtig, hvis man ønsker at opgøre den samlede belastning med forurenende stoffer for en længere periode. Det kræver så, at den udledte vandmængde er kendt og dokumenteret gennem flowmålinger.

4.4 First flush – automatisk fraktioneret prøvetagning

Karakterisering af vandkvalitet i forbindelse med first flush kan ske på to niveauer:

- Fraktioneret prøvetagning med analyse for udvalgte parametre i alle opsamlede fraktioner
- Online-målinger af flow og turbiditet og evt. andre parametre (se afs.4.5)

Hvis fraktionerne dækker et kvarter til en time, kan det resultere i mange prøver, som skal analyseres. Det er dog altid muligt at blande to eller flere prøvefraktioner sammen. Derfor er det som regel bedre at vælge korte tidsrum mellem fraktionerne end lange. Ved lange nedbørshændelser er der den risiko, at der ikke er tilstrækkeligt med flasker i den automatiske prøveudtager til opsamling af fraktionerne.

For at reducere analyseomkostningerne kan parametrene i de fraktionerede prøver f.eks. reduceres til at omfatte: Suspenderet stof, BOD, COD, Total-N, Total-P samt tungmetallerne bly, kobber og zink.

4.5 First flush – online-målinger

Formålet med online-målinger af turbiditet er at kæde målingerne sammen med den karakterisering, der sker gennem fraktioneret prøvetagning. Således kan belastningen med forurenende stoffer både før og efter vejgrøfterne relateres til turbiditetsmålingerne, idet der er en forventning om, at en høj andel af forurenende stoffer bundet til partikler resulterer i en høj turbiditet. Turbiditetsmålinger kan dermed blive en styrringsparameter i de situationer, hvor man eksempelvis kan vælge mellem af lede vejvand i kloakken eller udlede vejvandet til vandområder, når indholdet af forurenende stoffer er lavt.

Ledningsevnemålinger afspejler regnvandets indhold af opløste salte, og ledningsevnen målt i mS/m ganget med en faktor 7 angiver tilnærmelsesvist indholdet af opløste salte i g/m^3. I vinterperioder med saltning på veje vil chlorid- og natriumioner dominere og bidrage til forhøjet ledningsevne. Saltindholdet i regnvand kan være kritisk, hvis vandet udledes til et ferskvandsområde. Ferskvand er overordnet set karakteriseret ved, at saltholdigheden er mindre end 5‰. I danske vandløb er saltholdigheden ofte betydeligt lavere.

Som nævnt i afs. 3.5 skal der udføres sammenhørende bestemmelse af suspenderet stof og ledningsevnemålinger i et antal regnvandsprøver. Under to til tre nedbørshændelser udtages fem til ti stikprøver, som analyseres for suspenderet stof i laboratorium efter en standardiseret analysemetode, f.eks. ISO/EN 872:2015. I de samme prøver måles ledningsevnen.

Målinger af turbiditet og ledningsevne kan gennemføre også uden for de planlagte prøvetagningsperioder, og dermed er der mulighed for at etablere et solidt datagrundlag for modellering af vejgrøfter.

4.6 Online-målinger, dataopsamling og dataoverførsel

Et system til dataopsamling og -håndtering er beskrevet i afs. 3.9

4.7 Modellering

I MIKE URBAN kan man modellere specifikke grønne løsninger som f.eks. vejbede, vejgrøfter, beplantede render, regnbede m.m. Det detaljerede niveau af modellen inkluderer - ud over hydraulik - også stoffjernelse. Ved hjælp af ECOLAB er det muligt at koble den hydrauliske beregning til vurdering af vandkvaliteten. I ECOLAB har brugeren adgang til alle procesbeskrivelser gennem en template og mulighed for at ændre og udvide med flere processer samt opstille simple renseprocesser til vurdering af renseeffekten i forskellige LAR-elementer. Man kan således lave sin egen ECOLAB template til beskrivelse af stoffjernelsen og koble den til MIKE URBAN. Måleprogrammet er designet med henblik på, at data kan anvendes til kalibrering af modellering af vejgrøfter med filterjord i MIKE URBAN.

I en rapport udarbejdet under projektet ”Byer i Vandbalance” /10/ er opstillet en række forslag til modellering af renseeffekten for udvalgte LAR-teknologier - herunder vejbede, som i en vis udstrækning kan sammenlignes med grøfter med filtermuld. Fra både vejbede og grøfter kan udsivning til det omgivende jordmiljø ske gennem sider og bund. Over tid vil udsivning gennem bunden dog stoppe pga. tilstopning, hvorfor det i MIKE URBAN er muligt at slå udsivning fra bund fra.

I filterjorden vil der dels ske en mekanisk filtrering, som vil have karakter af overfladefiltrering, samt en større eller mindre grad af dybdefiltrering og adsorption af opløste stoffer, afhængigt af filterjordens karakteristika. Organisk materiale afsat i filterjorden vil give anledning til mikrobiel aktivitet, der kan være aerob i toppen af filterjorden og anaerob i de dybere lag. Plantevækst i

overfladen kan via rodnettet påvirke filterjorden i retning af øget hydraulisk ledningsevne og øget mikrobiel omsætning.

I /10/ er opstillet forslag til modellering af vejbede/anlæg med filterjord, hvor der som udgangspunkt er gjort en række antagelser vedrørende tilbageholdelse af suspenderet stof, konstant hydraulisk ledningsevne, konstant fjernelsesgrad m.m. Forudsætningerne munder ud i en antagelse om, at fjernelse af opløst stof sker ved en 1. ordens reaktion. I beregningerne af vandkvaliteten efter rensning indgår tillige en række konstanter: filterjordens porøsitet, den omgivende jords ledningsevne, fraktionen af ikke filtrerbart suspenderet stof samt reaktionskonstanter for de forurenende stoffer.

Forud for modellering af hydraulik og vandkvalitet efter rensning skal der indhentes en række data:

- Flowet ind i filterjordsanlægget vil blive logget med en valgt frekvens, f. eks. 5 sek. intervaller
- Overfladeafstrømningen kan også beregnes ud fra nedbøren og vejarealet tilknyttet filterjordsanlægget
- Infiltrationshastighed (konstant eller beregnet som funktion af vandstand, areal, hydraulisk ledningsevne og porøsitet af filterjord)
- Vandstand i vejbedet

Vandkvaliteten, der ledes ind i anlægget, kan bestemmes ved:

- Online målinger, f.eks. måling for hvert 5. sek. (turbiditet/suspenderet stof, evt. andre parametre, som kan måles online, N og P)
- Flowproportional prøvetagning giver en middel stofkoncentration under én nedbørshændelse
- Fraktioneret prøvetagning giver konstant stofkoncentration i et kortere tidsinterval (f.eks. 1 time)
- Passive prøvetagere, som måler de gennemsnitlige stofkoncentrationer over flere nedbørshændelser

De karakteriseringsmetoder, der er relateret til en enkelt regnhændelse, giver de mest anvendelige data til modellering.

4.8 Anbefalinger – moniteringsprogram

Når først online-målinger og tilhørende dataopsamling er etableret og indkørt, vil tilsyn under prøvetagningskampagner samt håndtering og analyse af prøver være en betydelig omkostning, og her kan det være en fordel at gennemføre mere eller mindre intensive moniteringsprogrammer afhængigt af det specifikke formål (drift, kravoverholdelse, renseeffektivitet). Tabel 4.2 indeholder forslag til et basismoniteringsprogram og et udvidet moniteringsprogram.

Tabel 4.2: Forslag til to niveauer af moniteringsprogram. Basisprogrammet indeholder de mest basale parametre, mens det udvidede måleprogram indeholder flere basale fysisk-kemiske parametre og miljøfremmede stoffer.

Afstrømningstype	Basismoniteringsprogram	Udvidet moniteringsprogram
Hverdagsregn – automatisk prøvetagning	Online turbiditets- og flowmålinger, vandstandsmåling	Fuldt måleprogram som beskrevet i Tabel 4.1, inkl. online turbiditet, ledningsevne, temperatur, nedbørsmåling, pH
Hverdagsregn passiv prøvetagning	Online turbiditets- og flowmålinger, vandstandsmåling Nitrat+nitrit, ortho-P, tungmetaller	Fuldt måleprogram som beskrevet i Tabel 4.1, inkl. online turbiditet, ledningsevne, temperatur, nedbørsmåling, pH, vandstandsmåling
First flush - automatisk fraktioneret prøveudtagning	5-10 fraktioner udtages i løbet af en nedbørshændelse, og hver fraktion analyseres i laboratoriet for SS, TN, TP, COD, Pb, Cu, Zn	Fuldt måleprogram som beskrevet i Tabel 4.1, inkl. online turbiditet, ledningsevne, temperatur, nedbørsmåling, pH, vandstandsmåling
First flush – online-målinger	Online turbiditets- og flowmålinger, vandstandsmåling Udtagning af stikprøver som analyseres i laboratoriet (SS, TN, TP, COD, Pb, Cu, Zn)	Turbiditet, ledningsevne, temperatur, nedbørsmåling, pH, vandstandsmåling Udtagning af stikprøver, som analyseres i laboratoriet (alle parametre nævnt i Tabel 4.1).

Analysedata bør altid vurderes efter hver målerunde, så man sikrer sig, at der ikke analyseres for parametre, som kan forventes at ligge under detektionsgrænsen i efterfølgende målerunder. Ved vurdering af analysedata vil vurderingen ske ud fra viden om eksempelvis trafikbelastning, tørvejrsperiodens varighed forud for nedbørshændelsen, årstidsvariationer, saltning m.m.

Turbiditetsmålinger bør altid under indkøringsfasen kombineres med samtidig aflæsning af turbiditetsmåleren og udtagning af stikprøver, som analyseres for suspenderet stof efter en standardiseret metode.

Fraktioneret automatisk prøvetagning er den dyre løsning til karakterisering af first flush. Dels er der omkostninger til anskaffelse af udstyret og dels til prøvehåndtering og analyser. Omkostninger stiger proportionalt med antallet af prøver, der skal karakteriseres.

5 Referencer

/1/ Peter M. Bach, David T. McCarthy, Ana Deletic: Redefining the stormwater first flush pnenomenon. Water Research 44 (2010) pp. 2487-2498.

/2/ J. L. Bertrand-Krajewski, G. Chebbo, A, Saget (1998): Distribution of pollutants mass vs volume in stormwater discharges and the first flush phenomenon. Water Research 32, pp. 2341-2356.

/3/ Miljøministeriet, By- og Landskabsstyrelsen: Tilførsel af lokalt renset regnvand til ferskvandsområder. Rapport udarbejdet af DHI 2010.

/4/ Regnvandsforum: Regnvandskvalitet og klimatilpasning – Planlægningsværktøjet RegnKvalitet. Jan. 2015.

/5/ RegnKvalitet 1.2 www.regnvandskvalitet.dk. Dec. 2016.

/6/ Københavns Kommune: Rensning af hverdagsregn - Renseteknologier. Rapport udarbejdet af DHI. Jan. 2016.

/7/ Teknologisk institut, Flowcenter Danmark: Flowmåling af regn- og spildevand – Problematik, test og vejledning. Marts 2016.

/8/ http://www.teknologisk.dk/undersoegelsesmetoder/5-vandfoerings-og-vandstandsmaaling/20887,6

/9/ Københavns Kommune: Karakterisering af regnvand ”Ved Stranden” og ”Havnegade” – Passive prøvetagere. Rapport udarbejdet af DHI. Sep. 2016.

/10/ Forsknings- og Innovationsstyrelsen: Byer i Vandbalance - Modellering af renseeffektiviteten for udvalgte LAR-teknologier. December 2014.

/11/ Københavns Kommune: Teknik og Miljøforvaltningen, Center for Trafik og Byliv. Manuel trafiktælling på tællested 341 tirsdag d. 6. maj 2014.

/12/ Simon Toft Ingvertsen, Karin Cederkvist, Marina Bergen Jensen: Sammensætning og brug af filterjord. Videnblad Park og Landskab maj 2015.

/13/ Københavns Universitet, Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning: Baggrundsrapport vand i Byer IP02: Dokumentation af Filterjord, februar 2015.

/14/ Vandcenter Syd: Notat om udviklingen af regnen i forhold til dimensionering af udstykninger. Januar 2014.

/15/ http://www.expo-net.dk/Standard/Produkter/Bygge%20-%20anl%C3%A6g/Nedsivning%20af%20regnvand/Regn-hyppigheder.aspx

/16/ Vand i Byer: Nordhavn – En bydel i Vandbalance, Projekt C: Realtidmonitering af distributionsnet. September 2015.

BILAG

BILAG A – Moniteringsudstyr

Leverandører af udstyr

Leverandører af udstyr

Moniteringsudstyr	Producent/leverandør	Produkt	Beskrivelse	Link til produkt
Flowmålere				
	Fagerberg/Krohne www.fagerberg.dk	Tidalflux DN200- DN1600	Magnetisk induktiv flowmåler til delvist fyldte rør. Ved lav fyldningsgrad (<10%) stiger usikkerheden på flowmålingen.	http://www.fagerberg.dk/cgi-files/mdmgfx/22658-td_tidalflux2300f_en_130627_4002489802_r02.pdf
	Aquasense www.Aquasense.dk	ISCO 2150	Baseret på Doppler princip med måling af vandhastighed og vanddybde. Måler ned til en vanddybde på ca. 1,5 cm.	http://www.aquasense.dk/index.php/produkter/flowmalere/kloak-og-kanal/item/55-isco-2150-flowmåler
	MJK Automation www.mjk.com	Sontek IQ	Baseret på Doppler princip med måling af vandhastighed og vanddybde. DN 500 –DN 5000 mm.	http://mjk.com/da/mjk-produkter/flow-maling/doppler-flowmaling
	Danova ApS www.danova.dk	NIVUS Stationær flowmåler OCM PRO CF Mobil flowmåler PCM4	Til alle rørprofiler. Doppler princip.	www.danova.dk
Prøvetagningsudstyr	Fagerberg	MAXX stationær og transportabel prøveudtagning	Den stationære prøveudtager kan leveres som specialdesignede målestationer med integreret flow og pH-måling.	http://www.fagerberg.dk/Produkter/MAXX-TP4-W
	Aquasense	ISCO transportabel eller stationær	Med og uden mulighed for køling. Mulighed for fraktioneret prøvetagning. Kan være relevant ved karakterisering af first flush.	http://www.aquasense.dk/index.php/produkter/proveoptagere
	Hach www.dk.hach.com	Bühler	Stationære prøvetagere med og uden køling. Mulighed for fraktioneret prøvetagning.	http://dk.hach.com/buhler-tryk-vakuumpr-veoptagere/station-re-pr-veoptagere/family?productCategoryId=51090709103
	MJK Automation	Vandprøvetager 780	Tryk – vacuum. Kan kobles til MJK flowmåler 713.	http://mjk.com/da/mjk-produkter/analysemaling/provetagning

Moniteringsudstyr	Producent/leverandør	Produkt	Beskrivelse	Link til produkt
Prøvetagningsudstyr (fortsat)	Endress + Hauser www.dk.endress.com	Liquistation CSF48	Automatisk stationær prøveudtager.	http://www.endress.com/en/Field-instruments-overview/liquid-analysis-product-overview/sampler-stationary-csf48
Turbiditetsmåler	Fagerberg	WTW	VisoTurb 700 IQ.	http://www.fagerberg.dk/Produkter/Analyse/Digital-procesanalyseudstyr-IQ/Elektrodersensorer/Turbiditet/?highlight=turbiditet
	Aquasense	S::CAN	Turbi::lyser med temperatur måling.	http://www.aquasense.dk/index.php/rensningsanlaegget/brochure
	Hach	Ultraturb sc turbidtetsmåler	Med automatisk rensesystem.	http://dk.hach.com/suspenderede-stoffer/solitax-sc-sensorer/family?productCategoryId=25034625098
	MJK Automation	SuSix	Turbiditets- og tørstofmåler. Måleområde 0,001-9999 FNU/NTU.	http://mjk.com/da/mjk-produkter/analysemaling/torstofmaling
	Endress + Hauser	Turbidity sensor Turbimax CUS52D	Anvendelig til drikkevand og procesvand.	http://www.endress.com/en/search?highlight=conductivity&highlight=conductivity&highlight=conductivity&highlight=conductivity&filter.text=turbidity
Regnmåler	MJK	rainAhead	Max. 2,4 mm pr. min. 0,2 mm pr. puls.	http://mjk.com/da/mjk-produkter/analysemaling/provetagning/rainahead
	Aquasense	PRONAMIC Rain-O-Matic Professional Rain Gauge	Max. 2,4 mm pr. min. 0,2 mm pr. puls.	http://www.aquasense.dk/index.php/rensningsanlaegget/meteorologi
Ledningsevne	Fagerberg	WTW	TetraCon 700.	http://www.fagerberg.dk/Produkter/Analyse/Analog-procesanalyseudstyr/Elektrodersensorer/Ledningsevne/?highlight=ledningsevne

Moniteringsudstyr	Producent/leverandør	Produkt	Beskrivelse	Link til produkt
	Aquasense	S::CAN	Condu::lyser, inklusive temperatur måling.	http://www.aquasense.dk/index.php/rensningsanlaegget/brochure
	Hach	Hach	3400 konduktivitetssensorer med digitalkontakt.	http://dk.hach.com/konduktivitetssensorer/3400-konduktivitetsensorer-med-digital-kontakt/family?productCategoryId=25113673880
	Endress + Hauser	Digital conductivity sensor Condumax CLS21D	Anvendelig til miljømålinger.	http://www.endress.com/en/Field-instruments-overview/liquid-analysis-product-overview/conductivity-conductive-sensor-cls21d?highlight=conductivity
Niveaumåler	MJK Automation	MJK Expert	Tryktransducer til anvendelse i borehuller.	http://www.xylemwatersolutions.com/scs/denmark/da/applikationer/renvatten/vandbehandling/tryktransmitter/Documents/Expert%20tryktransmitter%20datablad.pdf