



**Miljøministeriet**  
Miljøstyrelsen

# Filterteknologi til rensning af regnvand i tætbebyggede områder

MUDP rapport

Januar 2021

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Michelle Lison Rebsdorf, Teknologisk Institut.

Anders Søgaard, ROCKWOOL / Lapinus

Kristoffer Sindby-Larsen, Teknologisk Institut

Karin Cederkvist, Teknologisk Institut

Anne Laustsen, Aarhus Vand

Grafiker/bureau: Teknologisk Institut

Teknologisk Institut

ISBN: 978-87-7038-265-6

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse

# Indhold

<b>Forord</b>	<b>4</b>
<b>Sammenfatning og konklusion</b>	<b>5</b>
<b>1. Introduktion</b>	<b>6</b>
1.1 Behov for klimatilpasningsløsninger	6
1.2 Rockflow filter som alternativ til våde regnvandsbassiner	6
1.2.1 Effektiv arealudnyttelse	6
1.2.2 Høj hydraulisk kapacitet	6
1.2.3 Stabile materialeegenskaber og lang levetid	7
1.2.4 Kombination af flere rensfunktioner	8
1.2.5 Bæredygtigt produkt	8
<b>2. Storskala testfilter</b>	<b>9</b>
2.1 Valg af egnet testsite	9
2.2 Dimensioneringskrav	9
2.3 Design og konstruktion af filterløsningen	10
2.4 Strømningsforhold i filteret	12
<b>3. Dokumentation af filterets renseseffekt og stabilitet</b>	<b>15</b>
3.1 Udvalgte analyseparametre	15
3.2 Filterløsningens renseseffekt	15
3.2.1 Suspenderet stof	17
3.2.2 Tungmetaller	18
3.2.3 Næringsstoffer	19
3.2.4 COD og andre organiske forbindelser	19
3.3 Vurdering rensfunktion over tid	19
3.4 Tilførsel og transport af partikler	20
3.5 Kemisk og biologisk filtrering	21
<b>4. Anvisninger til etablering, anvendelse og drift af et Rockflow filter</b>	<b>23</b>
4.1 Indløbs- og udløbskanaler	23
4.2 Opbygning af filter	24
4.3 Designkriterier	25
4.4 Anlægseksempel	26
4.5 Drift af anlæg	27
<b>Bilag 1. Etableringen af testfilteret under Risvang Allé</b>	<b>29</b>
<b>Bilag 2. Prøver og analyser</b>	<b>36</b>
<b>Bilag 3. Accelereret forsøg for test af den fysiske filtrering</b>	<b>39</b>
<b>Bilag 4. Filterløsningens markedspotentiale i Danmark og i EU</b>	<b>41</b>

# Forord

Dette er afslutningsrapporten for projektet *"Filterteknologi til rensning af vand fra tætbebyggede områder"* under Miljøstyrelsens tilskudsordning MUDP 2016. Projektet forløb i perioden januar 2017 til april 2020 i et samarbejde mellem ROCKWOOL / Lapinus, Aarhus Vand og Teknologisk Institut. Projektet bygger videre på et tidligere afrapporteret MUDP-projekt *"Teknologi til rensning af vand fra trafikerede områder"* (Miljøstyrelsen, 2016), hvor et mindre filteranlæg blev etableret og renseevnen undersøgt. Nye data fra dette anlæg inddrages således også i nærværende projekt.

Projektet havde til formål at udvikle en kompakt, modulær filterløsning baseret på stenuld til tilbageholdelse og rensning af regnvand i tætbebyggede områder, hvor pladmangel ofte er en udfordring. Løsningen skulle:

- placeres, hvor der ikke er plads til et vådt regnvandsbassin, fx under en vej, en legeplads eller lign.
- opsamle og rense regnvand i samme grad eller bedre end et almindeligt regnvandsbassin.

Filterløsningen blev baseret på ROCKWOOL stenuldselementer, der sælges under navnet Rockflow, og etableret på Risvang Allé i samarbejde med Aarhus Vand. Denne rapport giver et overblik over det arbejde, der er udført i projektet.

Rapporten er struktureret således, at den indledes med en præsentation af filterteknologien og det anlagte storskala testanlæg efterfulgt af en vurdering af filterets renseevne. Forsinkelse bliver ikke evalueret eller inddraget i denne renseløsning, det er udelukkende renseevnen, der evalueres. Baseret på de erfaringer, der er opnået i projektet præsenteres dernæst en række anvisninger ift. at etablere og drifte et fuldskala Rockflow filter. Herefter følger en række bilag, som detaljeret gennemgår etablering af testfilteret (Bilag 1), valg af prøvetyper og analyseparametre (Bilag 2), supplerende forsøg med testfilteranlæg (Bilag 3) samt filterløsningens markedspotentiale i Danmark og EU (bilag 4). Den nævnte struktur sikrer, at læseren hurtigt kan tilgå de erfaringer, der er gjort i projektet på en anvendelsesorienteret måde. Rapporten kan således anvendes som designmanual i projekter, hvor der er brug for en filterløsning i et tætbebygget område.

Projektets styregruppe bestod af:

- Dorthe Lybye, Programme Director, ROCKWOOL International A/S
- Anne Laustsen, fagchef, Aarhus Vand
- Michelle Lison Rebsdorf, projektleder, Teknologisk Institut.

Desuden bidrog følgende projektdeltagere til projektet:

- Anders Søgaard, ROCKWOOL / Lapinus
- Michael Emborg, ROCKWOOL International A/S
- Michael Vedel Wegener Kofoed, tidligere ansat ved Teknologisk Institut
- Kristoffer Sindby-Larsen, Teknologisk Institut
- Karin Cederkvist, Teknologisk Institut
- Peter Rosborg, Teknologisk Institut
- Lisbeth Damkjær Christensen, Teknologisk Institut
- Lotte Bjerrum Friis-Holm, Teknologisk Institut.

# Sammenfatning og konklusion

Projektet havde til formål at designe og etablere en kompakt, modulær filterløsning, der kan anvendes til tilbageholdelse og rensning af regnvand fra bynære områder. Filterløsningen skal dermed kunne bidrage til klimatilpasning i tætbebyggede områder, og samtidig sikre en effektiv rensning af regnvandet for uønskede stoffer før udledning til recipient. Rensefunktion af den stenuldsbaserede filterløsning er i projektet blevet undersøgt og sammenlignet med renseseffekten af våde regnvandsbassiner, som af mange anses for BAT, hvad angår håndtering og rensning af afstrømmet regnvand.

Den udviklede løsning, som er etableret som et storskala testfilter under Risvangs Allé i Aarhus, består overordnet set af en indløbs-/sandfangsbrønd, hvorfra vandet via et rør ledes til en indløbsmanifold med i alt 10 indgangsrør, der føres ind i og fordeler vandet i toplaget af filtermatricen. Hovedfilteret består af 240 stenulds-elementer, som kan opmagasinere et stort vandvolumen og tilmed rense vejvandet i takt med at det passerer igennem stenulden. I bunden af filtermatricen opsamles vandet i 10 rør, som fører det videre til en udløbsmanifold og –brønd, før det ledes til recipient via Aarhus Vands nyetablerede bassinanlæg.

Baseret på analyseresultaterne fra prøver udtaget i hhv. ind- og udløb af filteret vurderes det, at stenuldsfilteret etableret på Risvang Allé overordnet set renser på samme niveau som et vådt regnvandsbassin. Stenuldens renssegenskaber er blevet undersøgt og bekræftet både for filteret på Risvang Allé, som er anlagt i dette projekt, og ved supplerende analyser fra det stenuldsbaserede testfilter, som blev anlagt på Strandvejen i Aarhus i et tidligere MUDP projekt i 2014.

Anlægsanvisninger og anbefalinger til drift af et stenuldsfilter er givet i rapporten baseret på de indsamlede erfaringer fra projektet og på baggrund af supplerende analyser og tests. Det vurderes, at et stenuldsfilter, der kan anlægges under fast belægning, kan dimensioneres så det kan tilgodesee den ønskede levetid, såfremt passende driftsforanstaltninger opretholdes.

Da klimatilpasning står højt på dagsordenen både nationalt og internationalt, er der et stort eksportpotentiale for den udviklede løsning. Baseret på tal fra DANVA vurderes det, at markedet for filterløsninger til forsyninger er på ca. 1.200 -2.400 stk. i Danmark inden for de næste 10 år. Markedspotentialet for den ny renseløsning for afstrømmet regnvand i bynære områder, vurderes således at have et omfang på ca. 120-240 anlæg i Danmark per år med en årlig markedsværdi på mellem 20-40 mio. DKK. På EU niveau, er estimeret mere usikkert, men det vurderes at markedspotentialet inden for de næste 10 år og såfremt EU's vandrammedirektiv bliver implementeret, kan nå op på i alt ca. 15.000 anlæg. Dette vil betyde en samlet omsætning på omkring 2,5 mia. DKK. Tal er baseret på 2020 priser.

# 1. Introduktion

## 1.1 Behov for klimatilpasningsløsninger

Som et led i klimatilpasningen i danske byer, er der i dag stort fokus på at adskille regnvand og spildevand, bl.a. for at minimere belastningen på de danske renseanlæg. Således arbejdes der i højere og højere grad hen imod separat håndtering og behandling af regnvand, som derefter ledes direkte til recipient.

Afledning og rensning af afstrømmet regnvand – også betegnet vejvand – inden udledning til recipient, sker normalt igennem udledning til våde regnvandsbassiner, hvilket af mange p.t. betragtes som Best Available Technology (BAT) til rensning af overfladevand. Regnvandsbassinerne er relativt effektive til at tilbageholde suspenderet stof og kan tænkes ind som et rekreativt løft til et givent område. Disse bassiner fungerer dog primært ved bundfældning af partikulære stoffer og har relativt lav effekt overfor opløste stoffer. Derudover er det langt fra alle steder, der er plads til etablering af sådanne bassiner.

I mange danske byer er der behov for en opsamlings- og renseløsning, der kan passes ind i fx ældre villakvarterer og bycentre, hvor der ikke er mulighed for at anlægge våde regnvandsbassiner. Den her præsenterede og demonstrerede kompakte filterløsning skal kunne indgå i det tætte byrum og håndtere den hydrauliske belastning (L/s) og samtidig rense vandet for næringsstoffer som fosfor og kvælstof. Ud over næringsstoffer skal en ny teknologisk filterløsning kunne tilpasses fremtidige krav, der med stor sandsynlighed vil inkludere miljøfremmede stoffer som fx polyaromatiske stoffer, visse tungmetaller og kulbrinter.

I projektet designes en kompakt, modulær filterløsning baseret på stenuldselementer, der kan fungere som et pladsbesparende alternativ til våde regnvandsbassiner. Det er derfor også bestræbelsen, at den udviklede løsning skal kunne:

- tilbageholde og rense afstrømmet regnvand i samme grad eller bedre end et almindeligt regnvandsbassin
- placeres, hvor der ikke er plads til et vådt regnvandsbassin, fx under en vej eller et lille græsareal i tætbebyggede og -befæstede områder
- levere stabil rensfunktion over lang tid ved et minimum af drift og vedligehold.

## 1.2 Rockflow filter som alternativ til våde regnvandsbassiner

I forhold til at imødekomme ovenstående krav vil en filterløsning baseret på stenuld have mange fordele, som er nærmere beskrevet i de følgende afsnit.

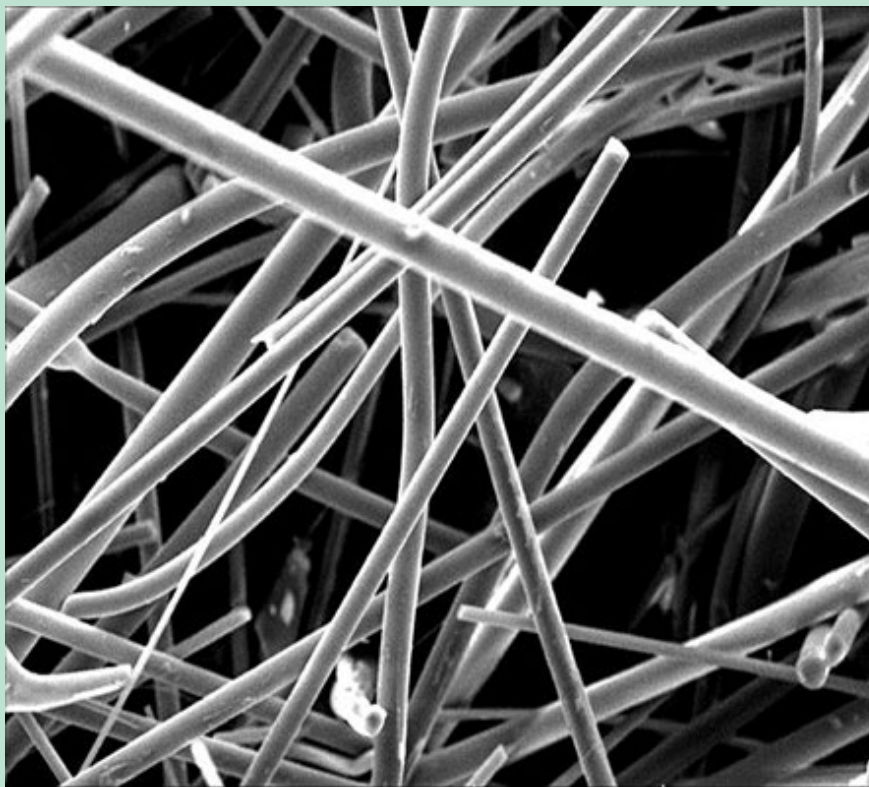
### 1.2.1 Effektiv arealudnyttelse

Et Rockflow filter udført med stenuld kan etableres i den tætte by, enten under grønne arealer, p-pladser eller veje (trafikklasse 0-4). Der kræves således væsentligt mindre areal ift. etableringen af våde bassiner. Våde bassiner er desuden klassificeret som § 3-område med de krav, en sådan klassifikation medfører. Et Rockflow filter vil ikke være omfattet af denne klassificering.

### 1.2.2 Høj hydraulisk kapacitet

Filtermaterialet i et Rockflow filter består primært af den vulkanske bjergart basaltsten, som er bundet sammen af en fenolharpiks (se FIGUR 1) og behandlet, så det er stærkt hydrofilt. Materialet er godkendt til brug som buffermagasin af regnvand, og det er undersøgt, at materialet ikke selv afgiver skadelige stoffer til det omgivende miljø. Materialet har en høj kapacitet for

optagelse af vand og kan optage op mod 960 L vand per m<sup>3</sup> på otte minutter. Stenuldsmaterialet kan således anvendes til efter skybrud at håndtere og forsinke vand, som enten kan ned-sives eller drosles til kloak. Til sammenligning med de plastelementer, som traditionelt benyttes til faskiner, giver fiberstrukturen i stenulden en stor intern overflade og samtidig et stort porrevolumen på 95 %.



**FIGUR 1.** Stenuldsmatrix.

### 1.2.3 Stabile materialeegenskaber og lang levetid

Materialeegenskaberne af stenuld forbliver stort set uforandrede i hele produktets levetid. Det gælder både formstabilitet og trykbestandighed samt den høje grad af tolerance over for kemiske, biologiske og miljømæssige faktorer<sup>1</sup>.

Stenuld, som fremstilles af basaltsten, er stort set ikke påvirket af ældning. Undersøgelser<sup>1</sup> viser, at materialeegenskaberne af stenuld ved de foreskrevne anvendelser forbliver uforandrede i mindst 40-50 år. Materialets unikke opbygning og fiberstruktur gør stenuldselementerne særdeles formstabile, og derfor påvirkes hverken bæreevne eller filteregenskaber af ændringer i vejr, temperatur, fugt- eller iltforhold. Stenulden er desuden bestandig over for påvirkning af UV-bestråling og af kemikalier som syrer, baser, olier og fedt.

Stenuldselementer er så formstabile, at de hverken nedbrydes, kryber eller vrider sig, derfor bevares materialets karakteristiske dimensionsstabilitet i hele levetiden. En undersøgelse fra Deltares, som er verificeret af GEO A/S<sup>2</sup> viste, at stenuldselementernes ydeevne selv efter 100.000 fylde-tømme-cykluser er uformindsket. Ved målinger for at teste den langsigtede

<sup>1</sup> Water management with stone wool. Whitepaper. Lapinus, 2018.

<sup>2</sup> Brug af produktet Rockflow i vejopbygning. Teknisk notat – Vurdering af Deltares Rapport. GEO. 2019.

bæreevne efter en belastning svarende til passage af 100.000 biler på vejen over systemet, ses ingen ændring af elementernes bæreevne.

#### 1.2.4 Kombination af flere rensfunktioner

Stenulden har hele tre typer af rensfunktioner, som afhængigt af anlægsdimensioner, belastning og drift kan komme mere eller mindre i spil: 1) fysisk filtrering, som bl.a. fjerner partikulært materiale, 2) kemisk filtrering/sorption, der binder bl.a. tungmetaller og 3) biologisk filtration, som omsætter/nedbryder organisk stof, bl.a. oliekomponenter og pesticider.

Fiberstrukturen, se FIGUR 1, i stenuld giver en stor intern overflade og samtidig et stort porevolumen på 95 %. Stenuldens struktur gør, at partikler over 45 µm tilbageholdes, mens partikler under 45 µm kan passere (se BILAG 3).

Stenulden er således effektiv ift. at tilbageholde partikulært materiale, men den store interne overflade giver samtidig rig mulighed for vækst af mikroorganismer, som kan omsætte en række af de kemiske forbindelser, der findes i vejvand<sup>3</sup>. Den mikrobiologiske aktivitet vil dog afhænge af betingelserne i det omgivende miljø, men der er en klar forventning om, at den biofilm, der dannes i stenulden, bidrager til at forbedre filterets renssevne generelt.

#### 1.2.5 Bæredygtigt produkt

Stenuld er et naturprodukt baseret på et bæredygtigt råstof (basalt), der stammer direkte fra jorden og er stort set udtømmeligt. Hvert år producerer Jorden mange gange mere basalt, end der forbruges til produktionen af stenuld. Stenuld produceres både bæredygtigt og miljøvenligt og er 100 % genanvendelig. Den højteknologiske produktionsproces sikrer, at også stenuldsprodukter fremstilles på en yderst bæredygtig og miljøvenlig måde.

Stenuld kan gendannes 100 % til ny stenuld. Rockflow er derfor en cirkulær løsning. Stenulds-elementerne til vandreguleringssystemer fremstilles delvis af genanvendt stenuld. I produktionsprocessen benyttes, hvor det er muligt, restmaterialer fra andre industrier. ROCKWOOLs genanvendelsesprogram (se FIGUR 2) sikrer, at udtjent stenuldsmateriale indsamles og genanvendes i nye produkter.



FIGUR 2. ROCKWOOLs genanvendelsesprogram, Rockcycle®.

<sup>3</sup> Teknologi til rensning af vand fra trafikerede områder. Miljøministeriet (Naturstyrelsen). 2016.



## 2. Storskala testfilter

Den stenuldbaserede filterløsning til håndtering og rensning af regnvand blev i projektet etableret som et testfilter i stor skala. Filterløsningen skulle kunne håndtere meget varierende flow og koncentrationer af forurenende stoffer. Kravspecifikationerne til filterløsningen blev derfor opstillet specifikt med henblik på at opfylde Aarhus Vands behov for hydraulisk kapacitet og rensesgrader. Desuden blev der udvalgt et testsite, som var repræsentativt ift. de udfordringer, som Aarhus vand står overfor, hvad angår håndtering af regnvand i tætbebyggede områder (dvs. begrænset plads til etablering af renseløsning, stort opland med tung trafik og grad af be-fæstning osv.).

### 2.1 Valg af egnet testsite

I forhold til at kunne teste den udviklede løsning under realistiske betingelser blev Risvang Allé i Aarhus N vurderet som et egnet testsite (se FIGUR 3). Området omkring Risvang Allé har i de seneste år gennemgået en stor udvikling, idet Aarhus Vand i samarbejde med Aarhus Kommune har indført en række nye løsninger til håndtering af regnvand i det tætbebyggede og trafikbelastede område. Etableringen af et fuldskala(test)filter ville derfor passe godt med de øvrige tiltag og planlagte anlægsarbejder. Ved at etablere testfilteret øverst på Risvang Allé blev det muligt at tilkoble et stort, befæstet oplandsareal til filteret (ca. 1 hektar) ved at skyde en ledning tværs under Vejlbj Ringvej. Samtidig kunne udløbsvand og overløbsvand fra filter-løsningen ledes videre i forsinkelsesbassiner ned ad Risvang Allé.



FIGUR 3. Placeringen af testsite i Aarhus N fremgår af den blå markering på kortet.

### 2.2 Dimensioneringskrav

I forhold til den aktuelle placering af løsningen var filterets primære formål at rense vejvand fra oplandet omkring Risvang Allé, mens den hydrauliske tilbageholdelse var sekundær. Dette skyldtes, at der i forlængelse af filteret blev anlagt en række forbundne bassiner, som kan tilbageholde store mængder regnvand, inden det gradvist udledes til recipient.

Som udgangspunkt blev der designet en løsning, der kan håndtere hverdagsregn og regnhændelser med en estimeret hyppighed på overløb fem gange årligt. På baggrund af dette blev filteret dimensioneret til at kunne håndtere afstrømmet regnvand fra 1 ha primært befæstet opland og et flow på 75 L/s. Filteret blev altså ikke konstrueret med henblik på forsinkelse og opmagasinerings, hvilket betyder, at selv mindre hændelser på 5 mm hurtigt vil overstige filterets kapacitet. Filteret forventes således heller ikke kunne håndtere ekstreme nedbørshændelser. I stedet ledes regnvandet via et overløbsrør forbi filterløsningen og videre til de forbundne bassiner.

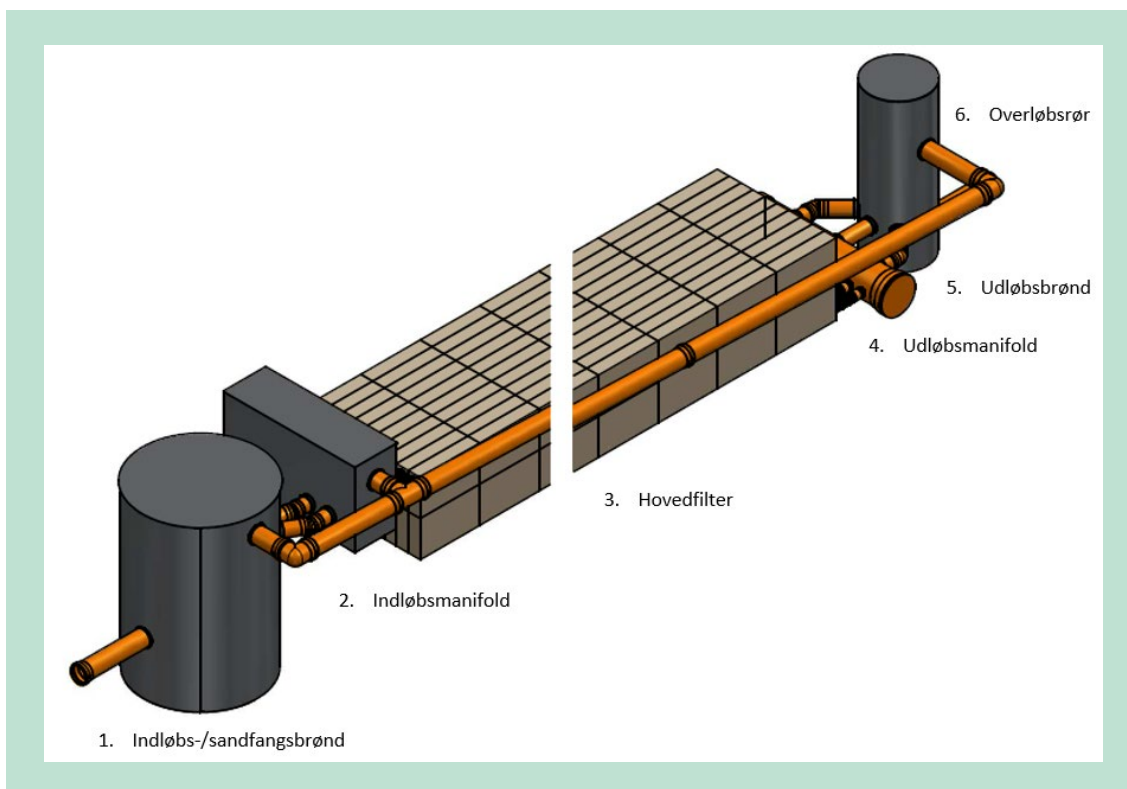
## 2.3 Design og konstruktion af filterløsningen

I løbet af projektperioden har der været overvejet en række forskellige designs af filterløsningen, som både tilgodeser de fysiske rammer, der gør sig gældende på det valgte testsite, og den hydrauliske opholdstid og kapacitet af filteret. En række andre aspekter er ligeledes blevet inddraget i designprocessen, herunder bl.a. de hydrauliske forhold i stenuldselementerne, som ad flere omgange blev undersøgt ved forsøg i pilotskala hos ROCKWOOL før det endelige design af filterløsningen blev fastlagt.

Med henblik på at minimere tilstopning og dermed forlænge levetiden af stenuldsmaterialet blev der arbejdet på at identificere en egnet løsning til at tilbageholde partikler i vejvandet opstrøms filterløsningen. Der blev således foretaget en teknologiscreening og en vurdering af anlægsomkostninger ift. at etablere en velegnet løsning til forfiltrering/sedimentering af vejvandet. De fleste mulige løsninger viste sig imidlertid at være for dyre, ift. hvad der ifølge Aarhus Vand kan forventes at blive budgetteret med i den pågældende sammenhæng. Disse løsninger vil derfor ikke komme i betragtning i et kommercielt fuldskala anlæg. På baggrund heraf blev det besluttet ikke at etablere en forfiltreringsenhed som en del af storskala testanlægget. I stedet blev det vurderet, at en forsimplet løsning bestående af en stor sandfangsbrønd økonomisk set ville være langt mere hensigtsmæssig. Løsningen blev en specialkonstrueret sandfangsbrønd i rustfrit stål med en større diameter (ø2000 mm) end de tilgængelige standardløsninger.

Filteret blev anlagt i november 2017 under Risvang Allé i Aarhus N, og i december 2017 blev vejvand koblet til filteret ved at skyde en ledning tværs under Ringvejen. Aarhus Vand har haft en stor rolle i hele designfasen, således at filteret overholder forsyningens krav til materialevalg, hydraulisk kapacitet, anlægsomkostninger, vedligehold og andre praktiske forhold. Baseret på de erfaringer, der er opnået siden etableringen af filterløsningen, er der blevet foretaget nogle enkelte justeringer for at optimere det hydrauliske flow igennem filteret (fx er enkelte rør blevet afproppet eller fået reduceret diameter). De seneste justeringer fandt sted i november 2019. Den samlede filterløsning, som er vist i FIGUR 4-FIGUR 6 og yderligere beskrevet i BILAG, består overordnet set af følgende elementer:

1. Indløbs-/sandfangsbrønd (rustfrit stål, ø2000 mm), hvori vandet fra den tilkoblede regnvandsledning (ø250 mm) opsamles. Vandet ledes herfra videre til en manifold gennem et rør (PVC, ø110 mm).
2. Indløbsmanifold (rustfrit stål), der via 10 separate indgangsrør i filteret (PVC, ø110 mm) fordeler vandet ud til 10 parallelle filterlinjer.
3. Hovedfilter bestående af i alt 28,8 m<sup>3</sup> stenuld (B 2m\*L 12m\*D 1,2m).
4. Udløbsmanifold (PVC, ø500 mm), der via 10 separate udløbsrør (PVC, ø110mm) fra hovedfilteret samler udløbsvandet fra filteret.
5. Udløbsbrønd (beton, konisk topring ø600-1260 mm, bundring ø1260 mm), som gennem et rør (PVC, ø200 mm) modtager vandet fra udløbsmanifolds. Fra udløbsbrønden ledes vandet videre ud til "vandterrasserne" i midten af Risvang Allé. På udløbsrøret er der monteret en kontraklap med flyder for at undgå tilbageløb til filteret, når vandstanden i udløbsbrønden er høj i forbindelse med overløb.
6. Overløbsvand ledes via en rørledning (PVC, ø250 mm, 20 ‰ hældning) fra indløbsbrønd og indløbsmanifold direkte til udløbsbrønden.



**FIGUR 4.** Oversigtstegning over den samlede filterløsning.



**FIGUR 5.** Etableringen af filterløsningen på Risvang Allé i Aarhus. Fra venstre ses a) sandfangsbrønd med indløb til manifold efterfulgt af tre sensorbrønde og udløbsbrønd, b) indløbsmanifolden, som leder vandet fra sandfangsbrønd og videre ind i filteret og evt. overløbsledning, c) udløbsrør med kontraklap.





**FIGUR 6.** Stenuldselementerne, der udgør filterløsningen på Risvang Allé i Aarhus.

## 2.4 Strømningsforhold i filteret

Den øverste række af stenuldselementer er anlagt med fordelingskanaler, som var udkåret på forhånd. I den første række af stenuldselementer forsynes kanalerne med slidsede rør, og i de to yderste filterlinjer (linje 1 og linje 10) er der indlagt slidsede rør i hele fordelingskanalens længde. Via kanalerne fordeles vandet mere jævnt i stenulden, således at filterets kapacitet udnyttes optimalt. De partikler, som kommer ud i filtermatricen forventes, afhængigt af deres størrelse, enten at bundfælde som slam på bunden af filteret eller blive udvasket fra filteret. Dette er nærmere beskrevet i afsnit 3.4 og BILAG 3.

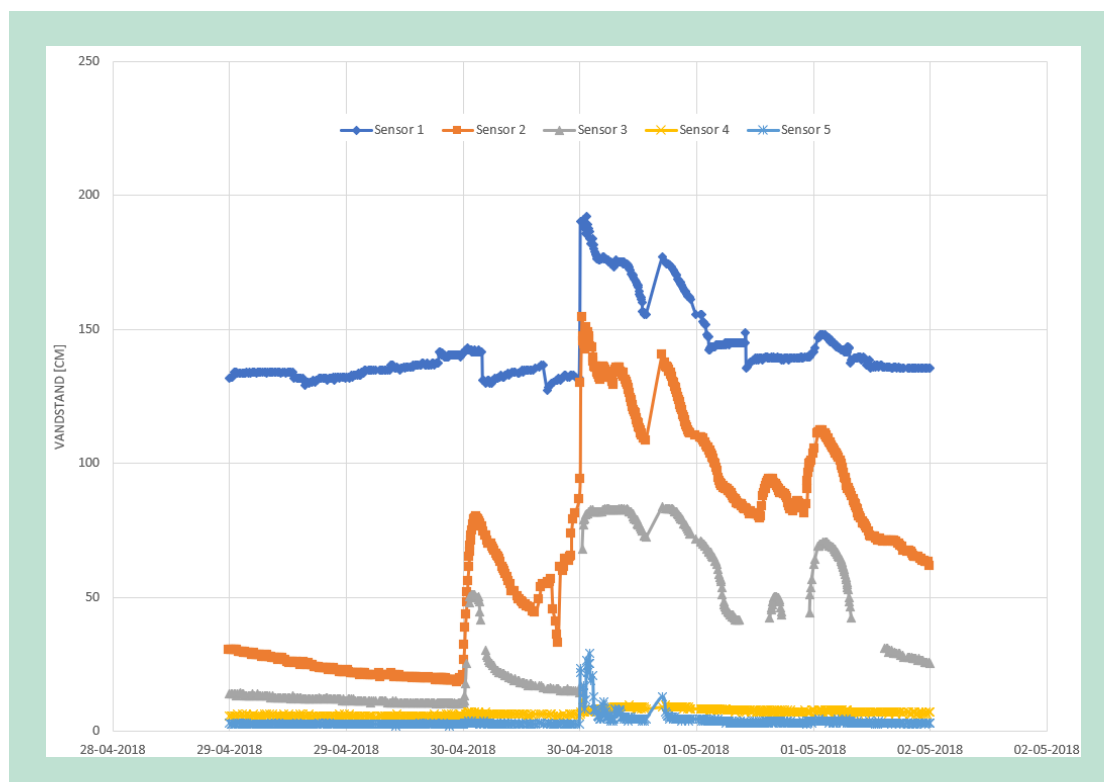
Stenuldsfilterets evne til at tilbageholde forureningskomponenter som f.eks. PAH'er, tungmetaller og næringsstof antages, at være, delvist betinget af filterets hydrauliske belastning. Hvis den hydrauliske belastning bliver for stor, kan allerede sedimenterede partikler i filterulden risikere at blive re-suspenderet. Rensekapaciteten i et Rockflow filter er således optimal ved lav til moderat hydraulisk belastning.

Til måling af vandstanden og dermed vandgennemstrømningen igennem filteret, er der i filterløsningen på Risvangs Allé installeret i alt fem tryksensorer: en i indløbsbrønd (sensor 1), en i udløbsbrønd (sensor 5) og en i hver af de tre sensorbrønde (sensor 2, 3 og 4) i filteret (se FIGUR 5). Sensorerne registrerer, vandstanden, når der kommer vand ind i filteret.

Af FIGUR 7 ses et eksempel på et datasæt fra sensorerne (29. april 2018). Grafen viser, at hele anlægskapaciteten den pågældende dato ikke udnyttes, idet vandstanden i filteret falder til omkring 15 cm allerede ved den tredje sensor i filteret (S4, gul).

FIGUR 8 viser et andet dataeksempel fra sensorerne (3.-4. december 2019). Af grafen kan det ses, at der i denne periode er en god fyldning af filterets første del. Den nedsatte tilløb til filteret viser, at vandet kommer bedre ind til midten af filteret: der er en fyldning på ca. 85 cm over sensor 3 (placeret i anden sensorbrønd i midten af filteret) mod ca. 45 cm over sensor 2 (placeret i første sensorbrønd i starten af filteret). Af grafen fremgår det også, at der er et permanent tryk over sensor 2 og 3, hvilket kan skyldes, at vandet ikke kan komme helt ud af røret. Dette kan være et udtryk for at sensorrørene er slammet til. I tilfælde af, at der er kommet slam i sensorbrøndene er det muligt at rense brøndene op, hvilket med fordel kan gøres i forbindelse med den regelmæssige oprensning af manifolderne. Oprensningen foretages ved at af-tage brønddækslet, trække sensorerne op og suge brøndene fri for slam med en sugeslange.

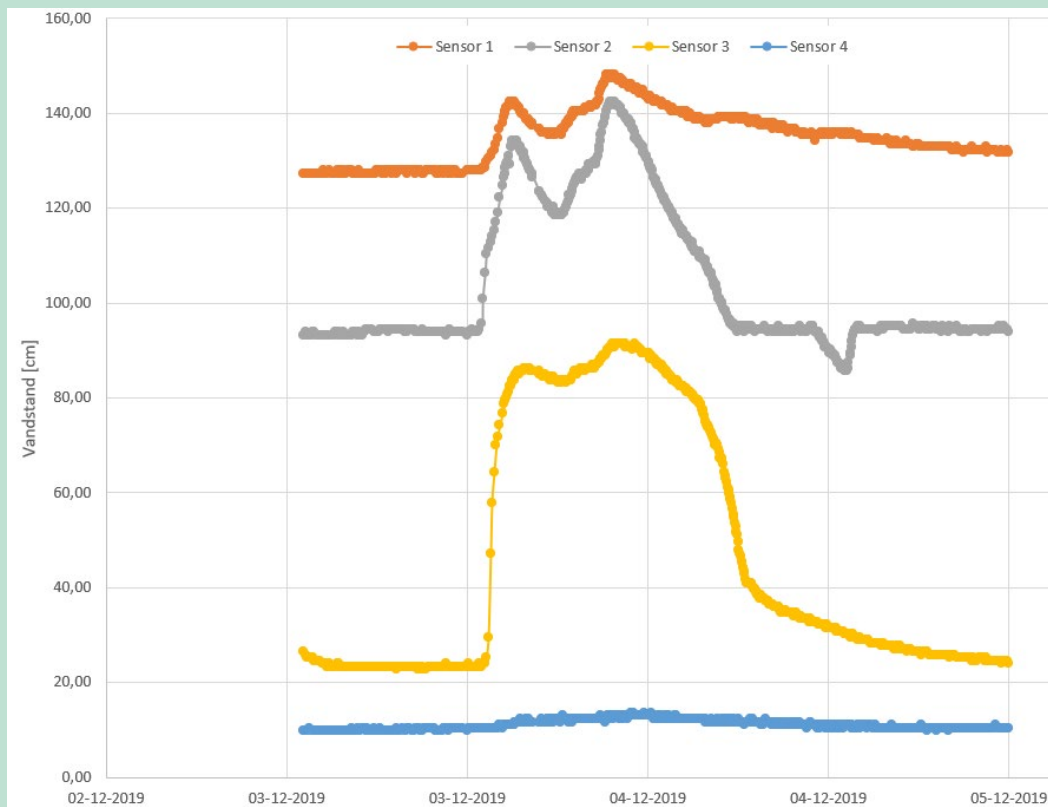
Når sensorerne skal sættes på plads igen, er det vigtigt at de monteres i samme dybde og efter følgende kalibreres. Dette for at sikre at der ikke kommer fejl i måledata.



**FIGUR 7.** Datasæt fra sensorerne d. 29. april 2018 – 2. maj 2018. S1 (mørkeblå): Indløbsbrønd; S2 (orange): sensor i første del af filteret; S3 (grå): sensor i midten af filteret; S4 (gul): sensor i sidste del af filteret; S5 (lyseblå): Udløbsbrønd.

Af graferne ses det, at det første vand der kommer til sandfangsbrønden har en direkte virkning på filteret. First flush løber således direkte til filteret. Det ses desuden, at når filteret fyldes, er der en hurtig tømmeperiode ved stor trykhøjde, mens hastigheden flader meget ud som trykhøjden falder.

Ved sammenligning af data fra d. 28. april 2018 og 3.-4. december 2019 ligner tømmeperioderne af filteret hinanden. Det ses, at der i december 2019 er en længere tømmeperiode over sensor 3 (ca. 1 døgn). Ved sensor 4 ses også en lille stigning ved hurtige, intense regn. Begge dele kan være et udtryk for, at kontraklappen er aktiveret af overløbsvand i udløbsbrønden, og derfor tilbageholdes vandet i filteret til der er plads i udløbsbrønden.



**FIGUR 8.** Datasæt fra sensorerne d. 3.- 4. december 2019. S1 (orange): Indløbsbrønd; S2 (grå): sensor i første del af filteret; S3 (gul): sensor i midten af filteret; S4 (blå): sensor i sidste del af filteret. Ingen data fra S5 i udløbsbrønden.

# 3. Dokumentation af filterets renseseffekt og stabilitet

## 3.1 Udvalgte analyseparametre

Vejvand indeholder en række stoffer, der potentielt kan være problematiske, hvilket vil afhænge af de overflader og kilder, som vandet har haft kontakt med, fx udstødning fra biler, slid af dæk og bremsekloer, bygningsmaterialer og nedfald fra træer. De problematiske kemiske stoffer i afstrømmet vand udgøres hovedsageligt af<sup>45</sup>:

- Tungmetaller, fx Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni (µg/L)
- Miljøfremmede organiske forbindelser/xenobiotiske stoffer (XOC), fx polyaromatiske kulbrinter (PAH'er), pesticider, olie (BTEX'er, kulbrinter) phenoler, DEHP, PCB, MTBE (µg/L)
- Næringsstoffer, herunder fosfor, kvælstof samt organisk stof (mg/L).

En anden væsentlig parameter er suspenderet stof (opslæmmede partikler), fx ler, grus, sand, mikroplast, mikrogummi og naturligt organisk materiale. Udover at de i sig selv forurener vandet, kan disse partikler også være bærere af de ovenstående forureninger.

Hos Aarhus Vand og Aarhus Kommune har man især fokus på næringsstoffer (kvælstof og fosfor), når der udledes til en naturlig recipient, og derfor indgik rensegraden af disse parametre naturligvis i vurderingen af filterløsningen. Herudover blev der analyseret for forskellige PAH'er samt en række tungmetaller, herunder kobber og zink. Kobber og zink er gode indikatorparametre for effekten af renseløsninger for regnvand, idet kobber og zink er nogle af de hyppigst forekommende tungmetaller i vejvand og oftest i høje koncentrationer. Derudover findes en væsentlig del af tungmetallerne også på opløst form, mens eksempelvis bly er stærkt bundet til de suspenderede stoffer. Den fuldstændige liste over analyseparametre og baggrunden for valget af disse er nærmere beskrevet i Bilag 2.

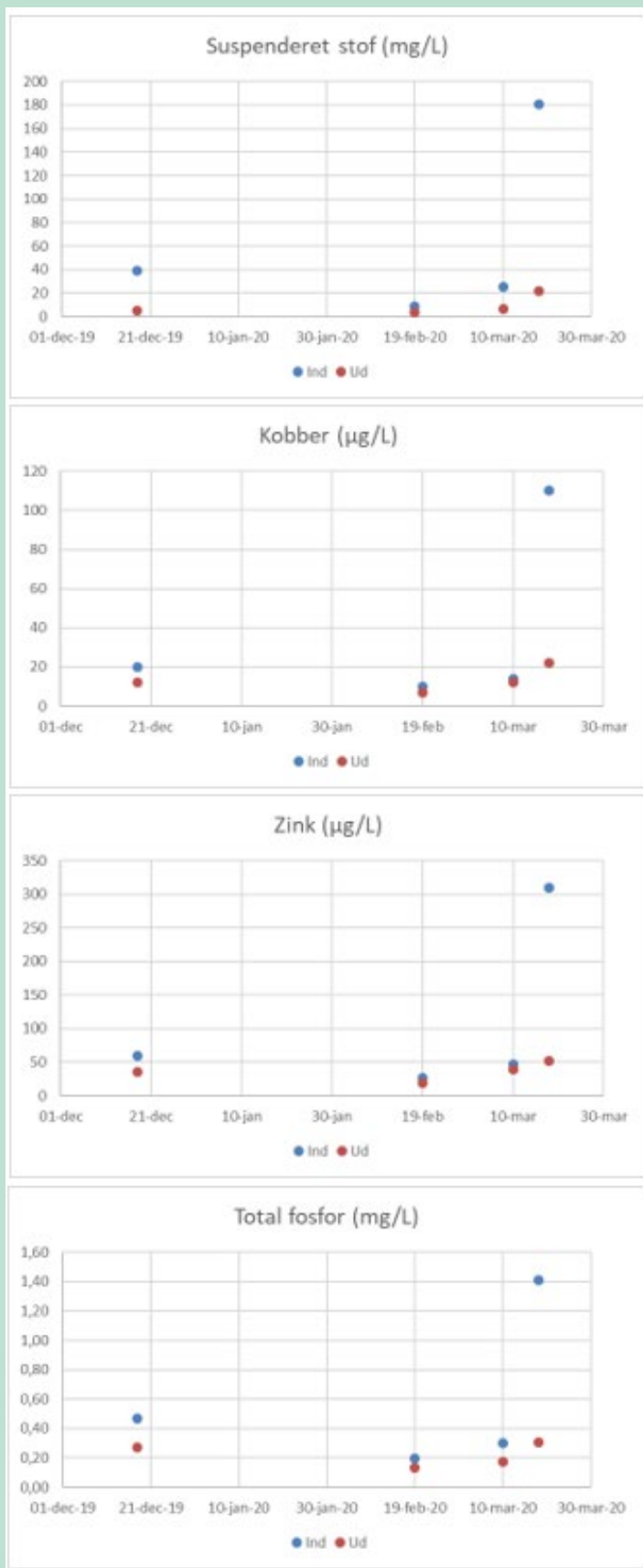
## 3.2 Filterløsningens renseseffekt

Efter de seneste designjusteringer af filteret, som blev foretaget i november 2019, blev der i de efterfølgende måneder udtaget i alt fire prøvesæt i forbindelse med regnhændelser. Resultaterne for udvalgte parametre i indløb og udløb er vist i FIGUR 9. Desuden er resultaterne fra de fire målinger sammenfattet i TABEL 1, hvor de sammenlignes med rensegraderne af våde bassiner.

---

<sup>4</sup> "A Minimum Data Set of Water Quality Parameters to Assess and Compare Treatment Efficiency of Stormwater Facilities" (Simon Toft Ingvertsen, Marina Bergen Jensen, and Jakob Magid, Journal of Environmental Quality, Volume 40, September–October 2011)

<sup>5</sup> "Method for assessment of stormwater treatment facilities – Synthetic road runoff addition including micro-pollutants and tracer" (Karin Cederkvist, Marina B. Jensen, Peter E. Holm, Journal of Environmental Management 198, 2017)



**FIGUR 9.** Grafisk fremstilling af stofkoncentrationer i indløb, sammenlignet med stofkoncentrationer i udløb for udvalgte stoffer.



**TABEL 1.** Data fra filteranlægget på Risvang Allé sammenholdt med data fra faktaark for ren-segrader fundet for våde bassiner<sup>6</sup>

Komponent	Enhed	Våde rensebassiner*			Stenuldsfilter		
		Typisk ind-løbskonc	Middel-værdi for udløb	% reduktion	Middel-værdi for indløb	Middel-værdi for udløb	% reduktion
Kobber (Cu)	µg/l	15	5	75	38	13	65
		(5-100)	(2-8)	(60-80)	(10-110)	(7-22)	(14-80)
Zink (Zn)	µg/l	100	30	75	111	36	67
		(20-200)	(5-60)	(40-85)	(27-310)	(19-52)	(17-83)
Kvælstof (N), total	mg/l	2	1,2	40	2	1,3	37
		(1-3)	(0,7-2)	(20-60)	(1,0-3,5)	(0,9-1,6)	(13-59)
Fosfor (P), total	mg/l	0,3	0,09	70	0,6	0,22	63
		(0,1-0,5)	(0,05-0,2)	(60-80)	(0,20-1,4)	(0,13-0,31)	(32-78)
Fosfor (P), opløst	mg/l	0,15	0,05	70	0,11	0,10	12
		(0,05-0,3)	(0,03-0,1)	(50-75)	(0,07-,15)	(0,09-0,11)	(-44-43)
Suspenderet stof (SS)	mg/l	90	12	80	64	10	84
		(30-300)	(5-20)	(70-90)	(10-180)	(5-22)	(19-88)
COD	mg/l	55	30	45	63	17	73
		(20-100)	(10-60)	(30-60)	(10-180)	(5-22)	(19-88)
BOD	mg/l	6	4	30	N/A	N/A	#
		(2-10)	(1-8)	(20-40)	N/A	N/A	#
Kulbrinter >C5-C10, urensset	µg/l	N/A	N/A	#	<25	<25	#
		N/A	N/A	#	<25	<25	#
Kulbrinter >C10-C25, urensset	µg/l	N/A	N/A	#	115	68	41
		N/A	N/A	#	(56-160)	(<50-68)	(48-100)
Kulbrinter >C25-C40, urensset	µg/l	N/A	N/A	#	487	220	55
		N/A	N/A	#	(170-670)	(120-320)	(52-100)
Totalkulbrinter >C5-C40, urensset	µg/l	N/A	N/A	#	597	250	58
		N/A	N/A	#	(220-790)	(<100-380)	(52-100)

\*) I kolonnen for de våde bassiner er der i de hvide felter angivet hhv. typiske indløbskoncentrationer og gennemsnitlige udløbsværdier. Af de grå felter fremgår måleintervallet.

\*\*) I kolonnen for stenuldsfilteret er der i de hvide felter angivet middelværdierne for de fire målinger af hhv. ind- og udløb. Af de grå felter fremgår måleintervallet.

### 3.2.1 Suspenderet stof

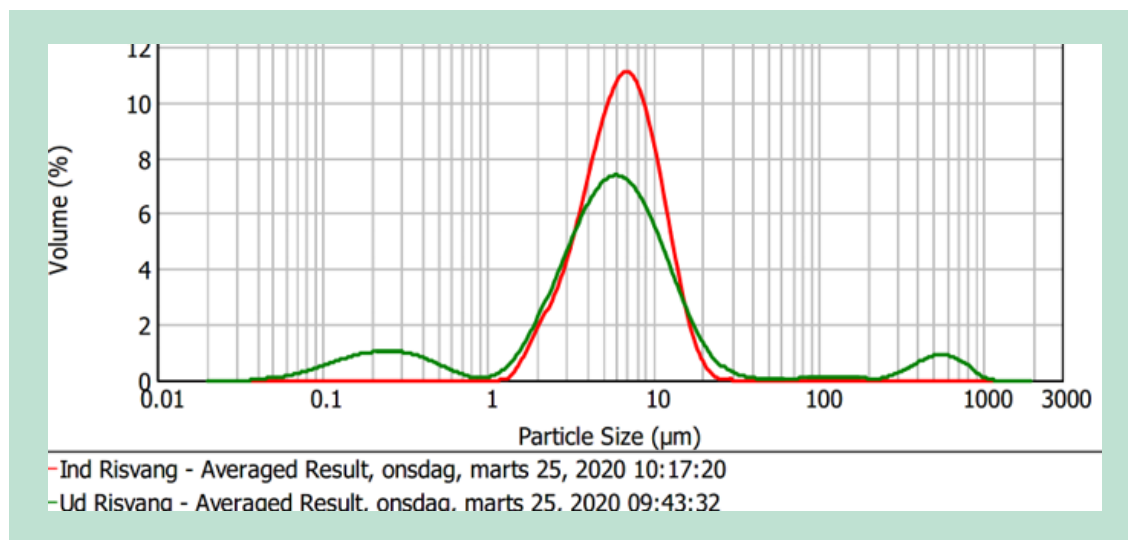
Koncentrationerne af det suspenderede stof i indløbet ligger i intervallet 10-180 mg/L og ses i alle tilfælde at blive væsentligt reduceret ved gennemløb i filteret; ned til koncentrationer i intervallet 5-22 mg/L. Et meget sammenligneligt interval med de våde bassiner.

Med henblik på at undersøge det suspenderede stof nærmere blev partikelstørrelsesfordelingen i enkelte prøver undersøgt. I FIGUR 10 og FIGUR 11 ses eksempler på data fra hhv. Risvangs Allé og Strandvejen. I indløbsprøven fra Risvangs Allé gælder det, at 10 % af partiklerne (volumen, d<sub>0,1</sub>) er mindre end 3,0 µm, mens 50 % af partiklerne (volumen, d<sub>0,5</sub>) er mindre end 6,4 µm og 90 % af partiklerne (volumen, d<sub>0,9</sub>) er mindre end 12,3 µm. I udløbsprøven

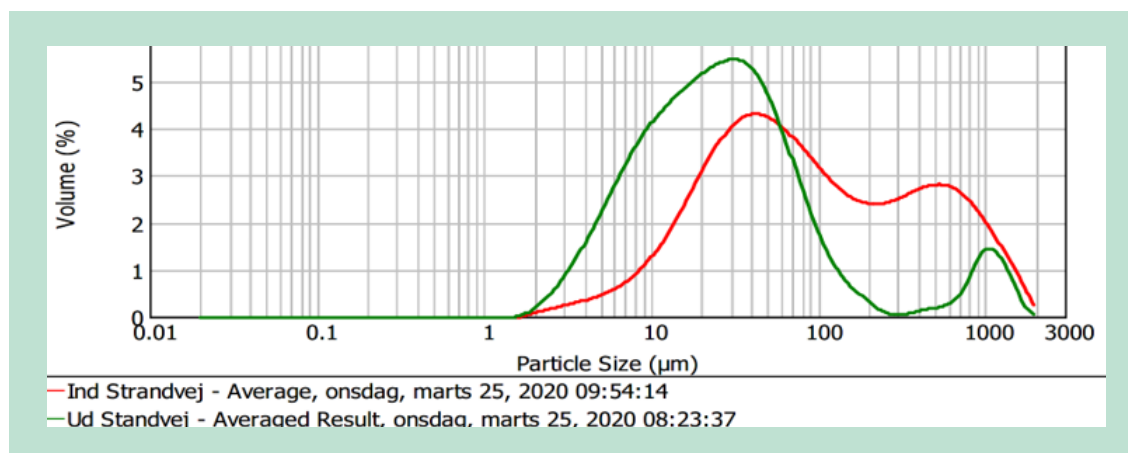
<sup>6</sup> [http://separatvand.dk/download/Faktablad\\_V%C3%A5de%20bassiner\\_3.pdf](http://separatvand.dk/download/Faktablad_V%C3%A5de%20bassiner_3.pdf)

var tallene hhv.  $d_{0,1} = 0,5 \mu\text{m}$ ,  $d_{0,5} = 5,6$  og  $d_{0,9} = 17,3 \mu\text{m}$ . Forskellen mellem de to prøver er desuden, at SS fra indløb til udløb er reduceret med 88%.

I indløbsprøven fra Strandvejen udgøres SS af større partikler. Her gælder det, at 10 % af partiklerne (volumen,  $d_{0,1}$ ) er mindre end  $15,3 \mu\text{m}$ , mens 50 % af partiklerne (volumen,  $d_{0,5}$ ) er mindre end  $78,1 \mu\text{m}$  og 90 % af partiklerne (volumen,  $d_{0,9}$ ) er mindre end  $732,1 \mu\text{m}$ . I udløbsprøven var tallene hhv.  $d_{0,1} = 6,2 \mu\text{m}$ ,  $d_{0,5} = 25,1$  og  $d_{0,9} = 113,5 \mu\text{m}$ . Forskellen mellem de to prøver er desuden, at SS fra indløb til udløb er reduceret med 90%.



**FIGUR 10.** Partikelstørrelsesfordelingen i hhv. indløb (rød) og udløb (grøn) i vandprøver udtaget fra anlæg på Risvang Allé.



**FIGUR 11.** Partikelstørrelsesfordelingen i hhv. indløb (rød) og udløb (grøn) i vandprøver udtaget fra anlæg på Strandvejen.

### 3.2.2 Tungmetaller

Koncentrationen af kobber i indløbsvandet ligger i intervallet  $10\text{-}110 \mu\text{g/L}$  og reduceres i alle fire tilfælde betydeligt til en koncentration på  $7\text{-}22 \mu\text{g/L}$ . Dog er de  $22 \mu\text{g/L}$  i udløbet højere end det maksimale i udløbet fra de våde bassiner, men den højeste reduktionsgrad er i begge tilfælde 80 %. Det er også interessant at bemærke, at koncentrationsniveauerne for kobber følger de suspenderede stoffer, hvilket tyder på, at meget kobber sidder bundet til det suspenderede materiale. Det samme mønster observeres for zink (som ellers kan have en tendens til oftere at optræde på opløst form end kobber). Med indløbskoncentrationer på  $27\text{-}310 \mu\text{g/L}$  og en reduktion ned til  $19\text{-}52 \mu\text{g/L}$  tyder det på, at filteret for zinks vedkommende renser på

samme niveau som de våde bassiner. Om det er tilbageholdelsen af suspenderet stof alene, eller om der også sker en sorption af opløst kobber og zink, er svært at vurdere, da der alene er målt på de totale stofkoncentrationer.

### 3.2.3 Næringsstoffer

Det totale indhold af kvælstof i indløbet blev målt i intervallet 1,0-3,5 mg/L, mens der i udløbet observeres koncentrationer på 0,9-1,6 mg/L. Igen ses en rensning, der er meget lig de våde bassiners, endda med en lidt lavere udløbskoncentration.

Indholdet af total fosfor følger også samme tendens som det suspenderede stof, hvilket ligeledes indikerer, at meget fosfor her findes på partikulær form. Indløbskoncentrationerne er i intervallet 0,20-1,4 mg/L og udløbskoncentrationerne fra 0,13-0,31 mg/L. Udløbskoncentrationerne er således lidt højere, end hvad der observeres for de våde bassiner. Men hvis indløbskoncentrationerne sammenlignes, så er de observerede indløbskoncentrationer for total fosfor i de våde bassiner også lavere, end hvad der observeres ved stenuldsfilteret, og dette skal ligeledes tages med i vurderingen.

Det opløste fosfor følger ikke samme mønster som de suspenderede stoffer, hvilket er forventeligt, da dette fosfor jo er på opløst form. Intervallet for indløbskoncentrationer er 0,07-0,15 mg/L og for udløb 0,09-0,11 mg/L. I de to første hændelser overstiger udløbskoncentrationerne indløbskoncentrationerne. Dette kan skyldes, at noget partikulært fosfor frigives i filteret og skylles med ud. Ses der på de to sidste målinger, observeres der dog en reduktion fra indløb til udløb – endda en væsentlig reduktion ved den sidste hændelse.

### 3.2.4 COD og andre organiske forbindelser

COD, som er et indirekte mål for vandets indhold af organisk stof, blev fundet i koncentrationer på 10-180 mg/L i indløbet til filteret. Udløbskoncentrationerne ligger i intervallet 5-22 mg/L, hvilket er væsentligt lavere end for de våde bassiner.

Reduktionen i COD ses også via kulbrinteanalyserne, hvor totalkulbrinte-koncentrationen falder fra intervallet 220-790 µg/L til <100-380 µg/L.

## 3.3 Vurdering rensfunktion over tid

I maj 2014 blev det første stenuldsbaserede testfilter installeret i forbindelse med en regnvandsledning ved Strandvejen i Aarhus som en del af MUDP-projektet "*Teknologi til rensning af vand fra trafikerede områder*"<sup>7</sup>. I forbindelse med nærværende projekt har det været et ønske at undersøge effekten af dette første testfilter ift. at vurdere et levetiden af et stenuldsbaseret filter. Der er således blevet udtaget et sæt vandprøver i februar 2020 fra hhv. ind- og udløb af filteret, som er blevet analyseret for en række kemiske parametre.

På baggrund af analyseresultaterne, som fremgår af TABEL 2, kan det konkluderes, at anlægget efter seks års drift fortsat har en rensgrad svarende til niveauet for våde bassiner med undtagelse af fosfor og Zink (se TABEL 1). Eksempelvis reduceres vandets indhold af suspenderede stoffer med 90 %. Her skal det tilføjes, at testfilteret er etableret uden anden forfiltrering, end hvad der opnås gennem en traditionel sandfangsbrønd (ø315 mm).

---

<sup>7</sup> Teknologi til rensning af vand fra trafikerede områder, Miljøstyrelsen-Naturstyrelsen, 2016.

**TABEL 2.** Kemiske data hentet fra filteranlæg på Strandvejen. Der er i alt indsamlet tre datasæt, som ligger til grund for vurderingen.

Komponent	Enhed	Ind	Ud	Reduktion
Bly (Pb)	µg/l	14,00	4,80	66 %
Cadmium (Cd)	µg/l	0,12	0,10	17 %
Chrom (Cr)	µg/l	10,00	3,70	63 %
Kobber (Cu)	µg/l	33,79	12,29	64 %
Nikkel (Ni)	µg/l	<DG	<DG	I/T
Zink (Zn)	µg/l	200,00	120,00	40 %
Kvælstof (N), total	mg/l	3,1	1,1	63 %
Fosfor (P), total	mg/l	0,97	0,30	69 %
Fosfor (P), opløst	mg/l	0,08	0,11	-28 %
Suspenderet stof (SS)	mg/l	149	14,5	90 %
COD	mg/l	110,75	19,60	82 %
Kulbrinter >C5-C10, urensset	µg/l	<DG	<DG	I/T
Kulbrinter >C10-C25, urensset	µg/l	150,00	83,00	45 %
Kulbrinter >C25-C40, urensset	µg/l	620,00	370,00	40 %
Totalkulbrinter >C5-C40, urensset	µg/l	780,00	450,00	42 %

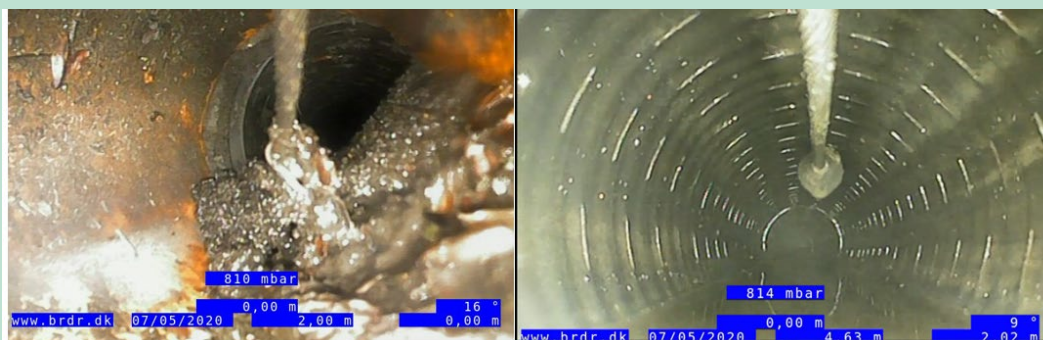
DG: Detektionsgrænse, I/T: Ikke tilgængelig.

### 3.4 Tilførsel og transport af partikler

Med udgangspunkt i filteranlægget på Strandvejen, der blev etableret i maj 2014, var det ønsket at vide, hvor meget SS, der var opsamlet over de seks år, anlægget havde været i drift. Et teoretisk estimat for tilført mængde SS kan beregnes ud fra opland, årsnedbør og middel-SS-koncentration. Med en årsnedbør på 650 mm samt en antaget middel-indløbskoncentration af SS på 90 mg/l, der også anvendes som middelkoncentration i TABEL 1, skønnes det, at der i forsøgsperioden i alt er ledt 460 m<sup>3</sup> vand til filteret med samlet 42 kg SS, hvilket giver et volumen af SS på ca. 25 L, (der er antaget en vol. vægt på 1.700 kg/m<sup>3</sup> for SS). Hvis der tages højde for et vandindhold på ca. 50 %, fås, at der i sandfangsbrønd, indløbsbrønd og kanalen i anlægget skulle være samlet omkring 50 L slam. Indløbskanalen i filteranlægget er seks meter lang og har et volumen på 57 L. Hertil kommer en traditionel sandfangsbrønd og en mindre indløbsmanifold på ca. 5-10 L.

Ved en TV-inspektion den 7. maj 2020 blev indgangsrør i filteret på hhv. Risvangs Allé og Strandvejen inspiceret og rensset (se FIGUR 12). Inspektionen viste med al tydelighed hvordan SS over tid akkumuleres i indløbsrørene, som derfor bør renholdes med jævne mellemrum.

Inspektionen af anlægget på Strandvejen og Risvang Allé giver imidlertid ingen information om, hvad der sker med partikler, som vandrer ud af rørene og ud i matrixen. Dette er i stedet undersøgt i et separat projekt, som er nærmere beskrevet i BILAG 3. I det projekt blev partikler i form af Millisil (partikelstørrelse 0,8-120 µm) tilført et mindre testfilter under kontrollerede forhold, for netop at undersøge, hvor SS ender i filteret.



**FIGUR 12.** Billeder fra TV-inspektion af rør inden spuling. Til venstre ses et billede af et filterindgangsrør fra filteranlægget på Risvang Allé efter to et halvt års drift. Til højre ses indgangsrøret i filteranlægget på Strandvejen efter seks års drift og oprensning ved spuling med vand.

Testen viste, at partiklerne primært blev tilbageholdt i de udskårne kanaler i filterulden, men ca. 3 % blev udvasket med præferencestrømning bl.a. via de revner, der er mellem stenulds-elementerne. Kun en meget lille del af partiklerne trængte ind i selve filtermatricen, og der var ikke tegn på videre transport af partiklerne i stenulden. Idet kanaler og rør i filteret kan renholdes ved med jævne mellemrum at spule filteret, vil den største, begrænsende faktor for filterets levetid udgøres af den begrænsede udsivning af små partikler til filtermatricen. Udskiftning af filterelementer vurderes derfor først at være relevant, når der er akkumuleret så meget SS i selve filtermatricen, at det er begrænsende for yderligere rensning af tilført vand.

Fra testforsøgene beskrevet i BILAG 3 kunne det ydermere konkluderes, at partiklerne, føres ind i filteret og afsættes i bunden af kanalerne, mens mængden af SS falder frem mod indløbet. Baseret på TV-inspektionen af filteret på Risvangs Allé, som kunne afsløre store mængder SS allerede i filterets første del, formodes det, at kanalen har været tæt på helt fyldt bagerst i filteret, når den fremme ved indløbet er halvt fyldt. Indløbsmanifolden var helt fyldt med slam, som forventes at have et højere vandindhold, og derfor mindre SS end den mængde, der var at finde i indløbskanalen. Det er værd at bemærke, at der trods en næsten fyldt kanal fra anlægget på Strandvejen fortsat er en tilbageholdelse af SS på 90 % og at der fortsat er gennemløb i anlægget. Der lader således ikke til at ske en øget udvaskning af finpartikulært materiale fra akkumuleret SS i indgangsrørene, selvom de er tilnærmelsesvis var fyldt med skidt.

### 3.5 Kemisk og biologisk filtrering

Der er for nuværende gode indikationer på, at et stenuldsfilter i tillæg til den fysiske filtration, også yder kemisk og biologisk filtrering. Det har ikke været en del af formålet med dette projekt at beskrive disse processer i detaljer, men de inddrages i en general levetidsbetragtning. Særligt har der været interesse for, hvad der sker med BOD, COD og oliekomponenter i et Rockflow filter. Ligeledes har der været efterlyst information om, hvorvidt en eventuel biologisk aktivitet vil medføre tilstopning på grund af dannelsen af biofilm.

I et laboratorieforsøg<sup>8</sup> med kunstigt spildevand blev stenuldsmaterialets filteregenskaber sammenlignet med et sandfilter. De to filtre havde omtrent samme reduktion i BOD og COD, hhv. 89 % og 87 % for sand og 98 % og 86 % for stenuld. Indholdet af opløst ilt i udløbsvandet blev i forsøget målt som værende højere i stenuldsmaterialet end i sandfilteret. Det tyder på en hø-

<sup>8</sup> Biological filtration with stone wool: comparative assesment with sand and coco fiber, I Cube laboratory, 2014.

jere gennemluftning i stenuld sammenlignet med sand. Det forklares ved et højere porerums-volumen i stenulden sammenlignet med et sandfilter til trods for, at de har omtrent samme overfladeareal.

I forsøget er det konstateret, at der opbygges en større biomasse (målt som VSS: volatile suspended solids) i stenulds materialet sammenlignet med sand. Sandfilteret stoppede til 2/3 inde i forsøget (dag 53), hvor stenuldsfilteret ikke stoppede til. Fra test med stenuld som fordeleranlæg efter septiktanke til enfamiliehuse er der efter ca. fem års drift ikke konstateret tilstopning af stenuldsanlæggene. Det tyder på en høj grad af robusthed i et stenuldsfilter over for tilstopning grundet biofilm.

Rensning af olie i vejvand med stenuld som filtermateriale er på nuværende tidspunkt ikke blevet undersøgt tilbundsgående. Det er dog vist med analyser i denne rapport, at oliefraktionen (C5-C40) reduceres eller helt fjernes i et stenuldsfilter (se TABEL 1). Et laboratorieforsøg har vist, at benzen, toluen, naftalen og fenol ligeledes kan reduceres eller elimineres fra eluatet<sup>9</sup>.

Ydermere er det vist i laboratorieforsøg, at opløste PAH'er og opløste tungmetaller sorberer til stenulden med 62 % for acenaphthen, 91 % for phenanthren, 88 % for Cu og 51 % for Zn<sup>10</sup>. Ovenstående gennemgang danner baggrund for antagelsen om, at der sker både kemisk og biologisk filtrering/nedbrydning sted i et stenuldsfilter. Det er dog ikke muligt ud fra det nuværende datagrundlag at vurdere levetiden af disse processer. Fra filteret på Strandvejen kan der dog konstateres reduktion i indholdet af både olie og COD i udløbsvandet sammenlignet med koncentrationerne i indløbsvandet seks år efter, at filteret er taget i brug (se TABEL2).

---

<sup>9</sup> At-platform biofiltration of discharge water, K. B. Sørensen et al, DTI. 2020

<sup>10</sup> Sorption of acenaphthene, phenanthrene, zinc, copper and dissolved phosphate to stonewool, Wagingen, 2019.

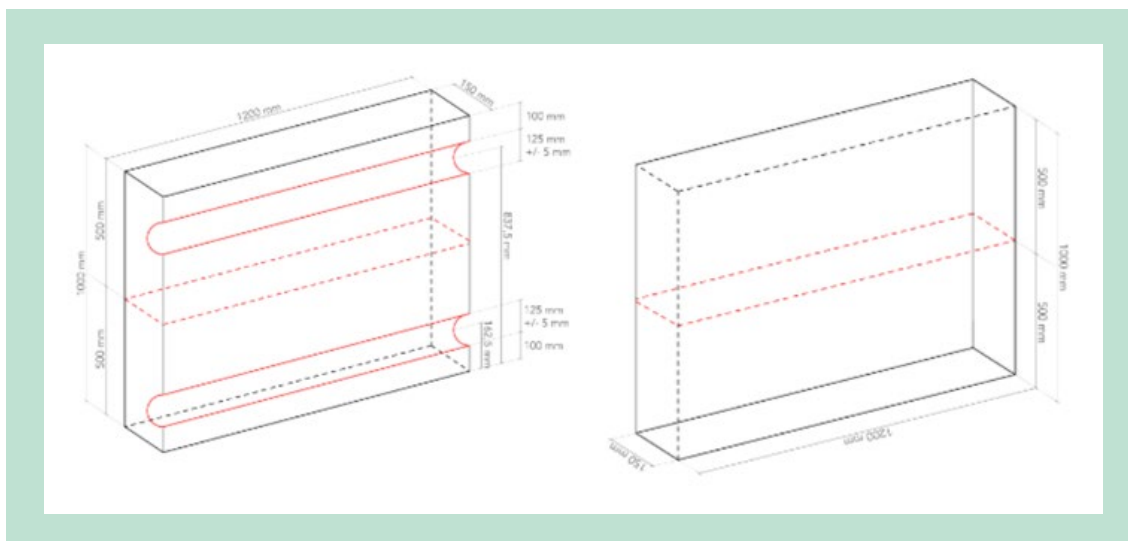
## 4. Anvisninger til etablering, anvendelse og drift af et Rockflow filter

I dette afsnit sammenfattes de observationer, der er gjort for anlæggene på Risvang Allé (stort testfilter) og Strandvejen (lille testfilter), og der gives anvisninger til, hvordan dimensionering af et Rockflow filter kan foretages for andre lokaliteter.

### 4.1 Indløbs- og udløbskanaler

Vand tilføres et Rockflow filter via udskårne kanaler i stenuldselementerne. Kanalerne er udskåret på fabrikken og Rockflow elementer kan leveres med og uden disse udskæringer. Kanalerne er som standard skåret i  $\varnothing 110$  mm og elementernes højde er 1 meter, se FIGUR 13. Kanalerne ( $\varnothing 110$  mm) vil med en energilinjegradient (tryktab) på fx 10 promille (tryktab på 1 cm pr. løbende meter) kunne aflede ca. 5 L/s pr. kanal. Energilinjegradienten kan sikres ved at lade filterelementerne hælde med 10 promille fra indløbet mod udløbet. Kanalerne er placeret 100 mm fra hhv. overside og underside. Filterets effektive højde er således ca. 0,68 m målt fra bund af indløbskanal til bund af udløbskanal. Filteret kan maksimalt etableres med to batts oven på hinanden, hvorved den effektive filterhøjde kan øges til 1,68 m.

Stenuldselementernes maksimale hydrauliske kapacitet (lodret strømning) kan antages til at være ca. 2 l/s/m<sup>2</sup> filteroverflade – svarende til en maksimal vandhastighed i filteret på ca. 200 m/døgn. For at undgå hydraulisk overbelastning af filteret anbefales det at designflow reduceres til 25 % af den maksimale hydrauliske kapacitet. Filteret anbefales derfor designet til en hydraulisk belastning, der ikke overstiger 0,5 l/s/m<sup>2</sup> filteroverflade.



FIGUR 13. Standard-Rockflow stenuldselementer med og uden udskårne kanaler.

Filterets kapacitet designes efter det maksimale tilløb, der skal kunne passere filteret uden at dette overbelastes. Ved større regnmængder afledes overskydende vand via et by-pass til recipienten. Filteret bør ikke overbelastes hydraulisk eller udsættes for trykvand fra indløbet, da dette kan medføre, at tilløbsvandet opstaves i indløbskanalerne og efterfølgende søger bag-

læns ud af kanalerne. Herved vil en del af vandmængden løbe ned langs filterets "indløbsfacade" og derfra igennem omkringfyldningsgruset langs filterets sider og bund, hvilket vil reducere renseseffekten. Kraftig hydraulisk belastning må desuden forventes at kunne medføre en vis gennemskylning af filteret, hvorved allerede opsamlet partikulært materiale vil kunne blive presset ud af filteret.

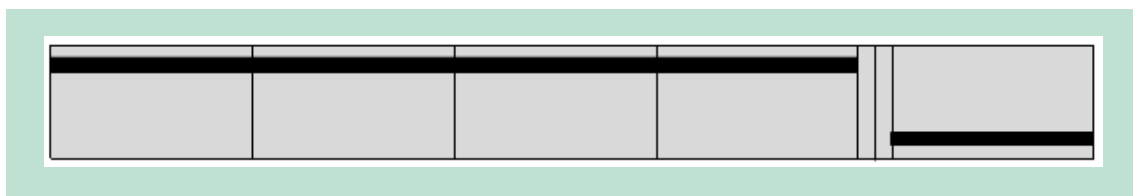
For at sikre, at vandet fordeles ligeligt over hele filterets areal, installeres i indløbskanalen halvslidsede rør med åbningen opad. Herved fordeles det tilløbende vand over hele filterfladen og sikrer maksimal udnyttelse af filterkapaciteten. Det kan overvejes at lægge rørene med et bagfald for derved at gøre rørledningerne delvist selvrensende.

Eftersom der sker en høj grad af tilbageholdelse af SS i filteret, er det også hensigtsmæssigt at arbejde med så mange indløb/meter kanal i filteret som muligt. Kanalerne vil under almindelig brug af anlægget med tiden blive fyldt af aflejret SS som en del af rensfunktionen. Aflejringerne vil gradvist nedsætte den hydrauliske kapacitet af anlægget, hvilket kan regenereres ved spuling af kanalerne.

Mindre partikler vil kunne afsættes i selve filtermatricen, hvilket er beskrevet yderligere i BILAG 3. Dette vil i sidste ende er afgørende for filterets renssevne og dermed levetiden af stenulden, da det ikke vil være muligt at spule filtermatricen eller evt. præferenceveje rene. Når det observeres at SS ikke længere tilbageholdes i tilstrækkelig høj grad, bør stenuldelementerne derfor udskiftes.

## 4.2 Opbygning af filter

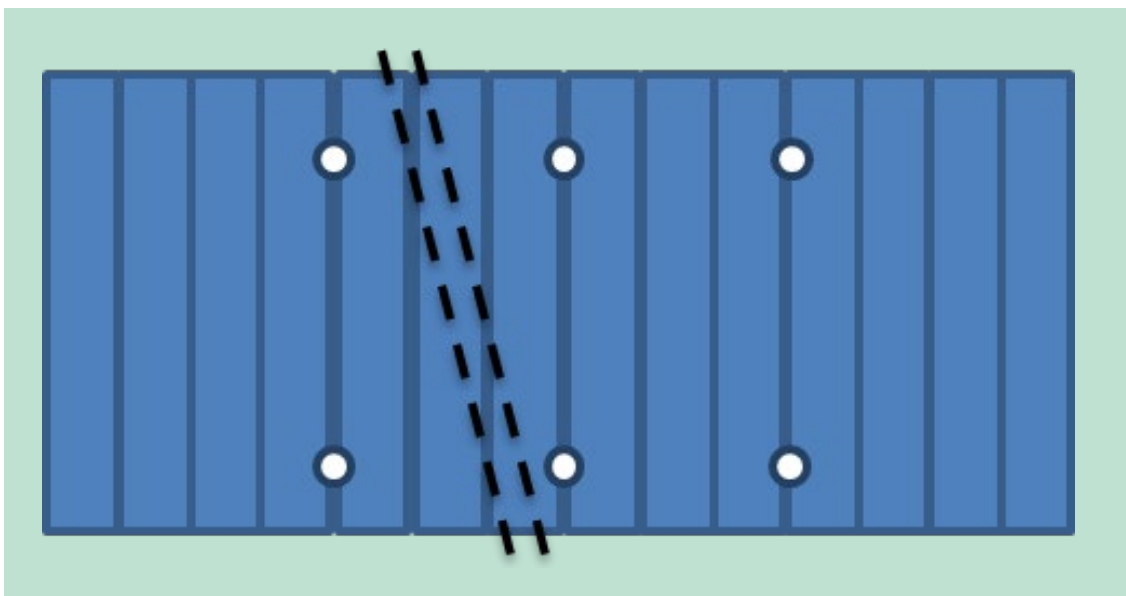
Filterets elementer skal samles helt tæt, og holdes samlet under monteringen, således at der ikke findes sprækker/fuger mellem elementerne, hvor vandet kan passere, uden at det ledes gennem selve stenulden. Særligt lodrette sprækker/fuger vil reducere filterets effektivitet, idet der kan forekomme præferencestrømning heri, hvis disse har direkte adgang til udløbet. Derfor anbefales det også at bryde sådanne eventuelle præferencestrømme ved at adskille ind- og udløb med min. to sæt elementer i halvforbandt, som anvist i FIGUR 14.



**FIGUR 14.** Forslag til opbygning af filter med to sæt elementer i halvforbandt.

Indløbskanalerne skal etableres frem til elementerne i halvforbandt, men de restende elementer 1-2 meter frem til udløbet er massive. Herved undgås det, at det tilledte vand strømmer direkte til udløbet uden at have passeret stenulden undervejs. Filterets lodrette ydersider skal opbygges af 2-3 lag massive elementer uden kanal som vist i **Fejl! Henvissningskilde ikke fundet.** Derved undgås, at vand når elementernes yderside og løber via det omkringliggende afretningsand uden at passere igennem stenulden som tiltænkt.





**FIGUR 15.** Opbygning af filteret set som et tværsnit. For hver to elementer med en udskåret kanal sættes et helt element. På siderne sættes tre hele elementer for at undgå præferencestrømning.

### 4.3 Designkriterier

I dette afsnit gennemgås en række centrale designkriterier, som er anvendt i det efterfølgende anlægseksempel.

De primære designkriterierne er:

- Peak flow til filteret (L/s)
- Opland (red. ha)
- Middel suspenderet stof i indløbsvand (mg SS/l)
- Regnmængde per år (mm/år)
- Ønsket levetid af anlæg (år).

I designfasen skal det først fastsættes, hvad det maksimale flow (peak) til filteret skal være, inden der ledes til overløb. Herudfra kan filterarealet beregnes, da filteret maksimalt må modtage et flow på  $0,5 \text{ L/s/m}^2$ . Herefter beregnes antallet af kanaler baseret på, at der sættes én meter kanal per  $0,45 \text{ m}^2$  (højde af anlæg er 1 m).

Den ønskede levetid af filteret bør tage udgangspunkt i en forventning om, at der vil ske en gradvis tilslemning af selve stenulden, som med tiden vil medføre, at filteret mister sin evne til at tilbageholde tilstrækkeligt SS.

Den teoretiske hydrauliske og partikulære belastning samt ønskede levetid er således afgørende for at designet af filterløsningen: Først defineres oplandet, den gennemsnitlige mængde af SS i vandet, der ledes til filteret, årlig middelnedbørsmængde og ønsket levetid. Med en antagelse om, at maksimalt 30 % af det tilførte SS vil blive ført ud fra kanalen, og at slamlaget på bunden af filteret ikke må være højere end 10 cm, som er den højde, hvor udløbskanalen begynder, kan filterets areal justeres herefter. Heri indgår også en antagelse om, at slammet vil have et vandindhold på 50 %. Stenuldens porevolumen er 95 %. Der kan desuden overvejes etableringen af forfiltrering, som vil reducere SS belastningen af filteret.

Ud fra disse tal kan det ønskede antal kanaler (maksimalt flow  $1 \text{ L/s}$ ) fastlægges og herefter arealet af filteret. Hertil lægges som anført tidligere tre elementer på ydersiden, to elementer

på tværs i halvforbandt til at reducere præferencestrømning i filteret, og endelig sættes der én række elementer med kanaler i bunden til at lede vandet ud af filteret.

#### 4.4 Anlægseksempel

I dette eksempel er oplandet på 4 red. ha, og det maksimale flow til anlægget, inden vandet ledes til overløb, er 25 L/s. Den ønskede levetid er min. 20 år. Flow, levetid og opland kan variere og evt. krav om forsinkelse kan også inddrages.

Det er væsentligt at nævne, at forsinkelse ofte er et krav i en udledningstilladelse og noget som opnås med et vådt bassin. Forsinkelsesfunktionen kunne have været inddraget i dette anlægseksempel for at anvise, hvorledes en kombineret løsning af forsinkelse og rensning opnås i den tætte by, på niveau med det, som opnås i et vådt bassin. Som nævnt i forordet er det valgt ikke at inddrage forsinkelse og fokusere på rensfunktionen i nærværende rapport. Der findes flere velbeskrevne løsninger til at forsinke regnvand med nedgravede bassiner. Disse forsinkelsesløsninger kan kombineres efter behov med den her anviste renseløsning for derved at opfylde de samlede krav i en udledningstilladelse.

For ikke at overbelaste filteret hydraulisk med et flow på 25 L/s kræves der min. et filterareal på 50 m<sup>2</sup>. Hertil kommer krav om, at filteret skal have en minimumslevetid på 20 år, som for nuværende er bestemt af, der ikke må sætte sig mere end 10 cm SS i bunden af filteret. Det er derfor nødvendigt at beregne den mængde SS, som løber til filteret i levetiden.

Der tilløber filteret i alt 42.120 kg SS i dets levetid (antaget en middelkoncentration af SS på 90 mg/l); der er her regnet med 10 % tab af SS i et sandfang. Det svarer til 24.776 L (vol. vægt for SS er sat til 1.700 kg/m<sup>3</sup>). Med 10 % SS, som passerer ud af filteret, er der 22.299 L tilbage i filteret. Det svarer til 23 cm slam på bunden af filteret med et areal på 50 m<sup>2</sup>. Ved at øge filterets areal med en faktor 3 opnås, at slamlaget ikke overstiger 10 cm i bunden af filteret.

Det samlede areal og vol. af filteret kan nu beregnes. Der sættes tre lag massive elementer uden kanaler på filterets sider for at undgå udsivning af ufiltreret vand i et evt. sand/gruslag langs filterets sider. Disse placeres langs filterets lodrette sider i flowretningen. Hertil kommer to elementer på tværs af flowretningen, som stilles i halvforbandt for at reducere præferencestrømning imellem stenuldselementerne. Afslutningsvis kommer én ekstra længde massive batts med en udløbskanal. Dimensionerne af filteret bliver herefter 12 m i bredden og 14,7 m i længden. Det bringer filterets volumen op på 177 m<sup>3</sup> og 25 kanaler.

**TABEL 3.** Eksempel på dimensioner på filter til håndtering af tag- og overfladevand fra 4 red. ha med en levetid på min. 20 år og et maksimalt flow på 25 L/s.

Tilløbskapacitet (L/S)	Filterareal (m <sup>2</sup> )	Filterbredde (m)	Filterlængde (netto m)	Kanaler (stk.)	Vol (m <sup>3</sup> )
25	177	12	14,7	25	177

Et Rockflow filteranlæg anslås at kunne anlægges for ca. 3.800 DKK/m<sup>3</sup> og ca. 5.500 DKK/m<sup>3</sup> med membran. Prisen for anlægseksemplet bliver derved: 177\*3,800 DKK/m<sup>3</sup> = 672.600 DKK eller 17 DKK per m<sup>2</sup> opland.

Udskiftning af filtermaterialet inkluderer opgravning og bortkørsel af stenuldselementerne samt køb og installering af nyt materiale. Det anslås at kunne udføres for 2.000-2.600 DKK/m<sup>3</sup>. Priser er ekskl. moms og baseret på 2020-tal.

## 4.5 Drift af anlæg

For at undgå, at stenudden tilføres uhensigtsmæssigt mange partikler, som med tiden kan føre til tilstopning, skal både indløbsbrønd og manifold med jævne mellemrum tilses og om nødvendigt oprensnes. I efteråret 2018 kunne det konstateres, at både indløbsbrønd og manifold på Risvangs Allé efter ét års drift trængte til en oprensning (se FIGUR 16). Både sandfangsbrønd og indløbsmanifold blev således for første gang oprenset af Aarhus Vand i slutningen af januar 2019. Herefter blev det besluttet at foretage en oprensning af både indløbsbrønd og manifold hvert kvartal.



**FIGUR 16.** Oprensningen af indløbsbrønd og manifold foretaget i januar 2019.

Anlæggene på hhv. Riavangs Allé og Stranvejen har ikke vist tegn på tilstopning af indløbskanalerne, men skulle disse stoppe til, kan de inspiceres med standardudstyr og renses med drændyser ved et vandtryk på maksimalt 100 bar, men det anbefales at køre med lavest muligt tryk fx 35-50 bar.

På Risvang Allé viste TV-inspektion udført primo maj 2020, at alle ti kanaler var omtrent 3/4 fyldt med skidt (se FIGUR 17).



**FIGUR 17.** Tv. TV-inspektion af kanal 1 i filteret under Risvang Allé inden spuling. Kameraet er ca. 1 m inde i kanalen, som her er fyldt ca. halvt op med slam. Længere inde forventes mere slam, da dette bliver skubbet ind i kanalerne. Th. Indløbskanalen ca. 8 meter inde i filteret. Efter spuling er kanalen helt tømt for slam, og tilbage ligger kun lidt vand, som vil sive ud i filteret.

Vandtilstrømning til filtermatricen kan ske i hele kanalens omkreds. Selv hvis kanalen er mere end halvt fyldt, vil det ikke påvirke fyldningshastigheden under forudsætning af et maksimalt flow per kanal på 1 L/s. Selvom anlæggene stadig fungerer efter designkriterierne, må det forventes, at kanalerne skal spules rene. Indløbskanalen i testfilteret på Strandvejen skal forventeligt spules hvert sjette år, mens indløbskanalerne i anlægget på Risvang Allé skal spules hvert 2-2,5 år. Sådanne "erfaringstal" er det dog ikke umiddelbart muligt at overføre til andre anlæg, da de afhænger både af mængden af SS i indløbsvandet og en eventuel forfiltrering, inden vandet når filterkanalerne. Derfor anbefales det, at der ved etablering af et stenuidsfilter udføres TV-inspektion to gange det første driftsår og herefter én gang årligt for at vurdere fyldningen af kanalerne og behovet for spuling.

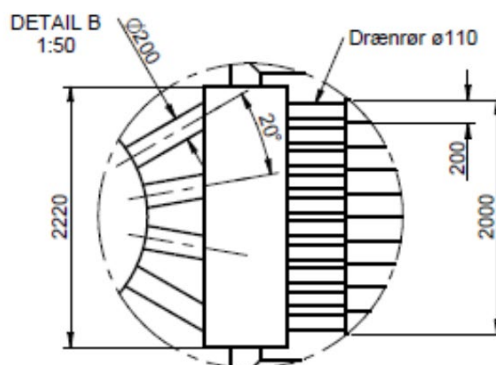
# Bilag 1. Etableringen af testfilteret under Risvang Allé

I dette bilag findes en detaljeret beskrivelse af den anlagte filterløsning.

## Indløbsbrønd

Indløbsbrønden fungerer som et sandfang. Brønden har en diameter på 2000 mm for at forbedre sedimenteringen og lette tilgangen i forbindelse med prøvetagning. Indløbsbrønden er konstrueret i rustfrit stål og med stige trin. Trinnene vil efter projektets ophør blive fjernet, da Aarhus Vand af sikkerhedsmæssige årsager ikke vil have faste trin i deres brønde. Brønddækslet er ligeledes udført i rustfrit stål og aflåses for at undgå, at uvedkommende har adgang til brønden.

Der er installeret 200 mm stenuld i bunden af brønden, så vandet løbende kan sive ud, og stillestående vand dermed undgås. Filterulden kan udskiftes, da den med tiden forventes at stoppe til med partikulært materiale. Der skal som udgangspunkt være 90 cm fra bund til indløb i sandfangsbrønd.



*Tv. indløbsbrønd med trappetige, indløbsrør til manifolden og overløbsrør. Th. arbejdstegning. Undervejs i projektet blev antallet af indløbsrør reduceret fra fire til et.*

## Indløbsmanifold

Et indløbsrør (ø200mm) leder vandet fra indløbsbrønden til indløbsmanifolden, mens 10 rør (ø110mm) fører vandet videre ind i selve filtermatricen. Rørføringerne til manifold og hovedfilteret er udført således, at der er mulighed for at lukke enkelte indløbsrør og filterlinjer og dermed variere belastningen af hovedfilteret. Af samme grund blev det fundet mest hensigtsmæssigt at fremstille manifolden i et rektangulær design udført i rustfrit stål frem for PVC-rør.



*Indløbsmanifold med fire indløbsrør fra indløbsbrønden og 10 filterindgangsrør.*

### Hovedfilter

I hovedfilteret fordeles vandet ud til 10 parallelle filterlinjer, som hver især er 12 elementer lang og 2 elementer dyb. Hovedfilteret består således af 240 filterelementer (dimensioner: B 2m\*L 12m\*D 1,2m). Filteret er anlagt med et fald på 5 ‰.

For at sikre en god fordeling af vandet i filtermaterialet ledes vandet ind i hovedfilteret via 10 rør (Ø110 mm) i de øverste lag af stenuldelementer. De første 50 cm fra manifolden består indgangsrørene af glatte rør, hvorefter der er indsat drænrør i den resterende del af 1. og 2. række af filterelementer.

I de sidste to filterelementer (11. og 12. række af filterelementer) i alle 10 filterlinjer er der indsat drænrør (Ø110), som leder vandet til udløbsmanifolden. I de to yderste linjer (linje 1 og 10) er der desuden indsat drænrør hele vejen igennem hele filterlinjen (samtlige 12 rækker af filterelementer) for at stabilisere stenuldelementerne.

Aarhus Vand efterspurgte en så kompakt løsning som muligt. Det var derfor vigtigt at kunne belaste filteret på forskellige måder og dermed klarlægge, om filteret kunne gøres mindre/dimensioneres anderledes uden at gå på kompromis med renseseffekten. Filteret blev derfor anlagt med mulighed for at sætte propper i udvalgte indgange til filteret (tilgås via manifolden). Hver af filterlinjerne nr. 2 og 9 er desuden omkranset af en plastpresenning, hvilket gør det muligt helt at afkoble dele af filteret, eksempelvis ved at benytte de to linjer separat eller i kombination med hhv. linje 1 og/eller 10 og/eller linjerne 3-8. Tilsvarende er det muligt at afskærme de to yderste linjer (1-2 samt 9-10) og dermed kun benytte de seks midterste linjer (3-8).

I forbindelse med nedgravningen af hovedfilteret blev der lagt et lag afretningsand under selve hovedfilteret. Filterelementerne er ligeledes dækket med et lag afretningsand (5-10 cm) for at undgå, at stenulden og trykfordelingspladerne skulle tage skade af lerklumper ved til-dækning af løsningen.





Stenuldselementer med afgangsrør (drænrør) forbundet med udløbsmanifold i bunden af filteret.



Plastdugen, der omkranser 2. og 9. filterlinje



Etableringen af hovedfilteret

### Udløbsmanifold

Via 10 separate afgangsrør (Ø110mm) fra hovedfilteret ledes vandet til udløbsmanifolden, hvorfra et udløbsrør fører vandet videre til udløbsbrønden.



*Udløbsmanifold med tilkoblede drænrør*

### **Udløbsbrønd**

Udløbsbrønden er udført i beton og designet med henblik på at lette tilgangen i forbindelse med prøvetagning og installering af måle- og prøvetagningsudstyr. Topringen har således et konisk design (øverst  $\varnothing 600$  mm, nederst  $\varnothing 1260$  mm), mens bundringen er cylindrisk ( $\varnothing 1260$  mm). Fra udløbsbrønden ledes vandet videre ud til "vandterrasserne" i midten af Risvang Allé. Ved større regnhændelser ledes overløbsvand via en  $\varnothing 250$  mm rørledning med 20 % hældning fra indløbsbrønd og indløbsmanifold direkte til udløbsbrønden.



*Tv. udløbsmanifold og udløbsbrønd. Th. udløbsbrønden set fra oven. Undervejs i projektet blev antallet af udløbsrør reduceret fra tre til et, og der blev monteret en kontraktlap for at undgå tilbageløb af urensset vand fra overløbsledningen.*

### **Monitorering af strømningsforhold**

For kontinuerlig monitorering af de hydrauliske forhold i filteret er der i samarbejde med eksternt leverandør blevet udviklet et sensorsystem, som registrerer vandstanden i fem sensorbrønde i filteret. Herved kan vandføringen igennem filtermaterialet og udnyttelsesgraden af filterkapaciteten bestemmes.

Til måling af vandhøjen (trykhøjden) og dermed vandgennemstrømningen igennem filteret, er der installeret fem tryksensorer i anlægget fordelt i indløbsbrønd, i udløbsbrønd og i hver af de



tre sensorbrønde hhv. først i, midt i og sidst i filteret. Sensorbrøndene består øverst (over filteret) af et stykke  $\varnothing 425$  mm PVC-rør, mens der i selve filtermatricen er indsat et pejlrør ( $\varnothing 55$  mm) ved at skære hjørner af de tilstødende filterelementer og herefter indsætte rør og placere sensorerne.

Sensorerne, som er placeret i forbindelse med 2., 6. og 10. element (talt fra indløbsbrønden) i midten af filteret mellem række 5 og 6., aktiveres, når der kommer vand ind i filteret. Data opsamles løbende og kan tilgås online. Mellem indløbsbrønden og indløbsmanifolden er placeret en teknikbrønd ( $\varnothing 600$  mm), hvori styringsboksen til sensorsystemet kan tilgås.



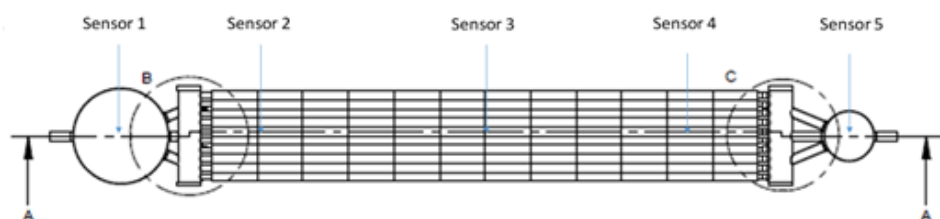
De tre sensorbrønde.



Et kig ind i en af de tre sensorbrønde.



Teknikbrønden.



Placering af de fem installerede sensorer til måling af vandstanden i filteret. Sensor 1 er placeret i indløbsbrønd, sensor 2-4 er placeret i filteret, og sensor 5 er placeret i udløbsbrønd.

**PID over filterløsningen**

Pos.	Draw. No.	Titel	Rev.	Pos.	Materiel
1	000002	Filterbæls 1000x600x200	01	120	Filterbæls
2	000002-1	Filterbæls 1000x600x200 m-Pul	01	120	Filterbæls
3	000010	Brønd ø 2000	03	1	
4	000011	Brøndbæksæl ø 2000	03	1	
5	000012	Brønd ø 1000	04	1	
6	000013	Brøndbæksæl ø 1000	04	1	
7	000014	Mændild	04	1	
8	000019	Mændilds Dæksel	02	1	
9	192774111	Instalu 110x127x60 NER	20	NER	
10	192774201	Instalu 200x217x75 EP DM	14	NER	
11	193672125	LM50 Mandrel 250x162x50	5	SER	
12	193957110	KGEM-Coex pipes SN 4 ø 110x600	20	PVC	
13	197031005	J-PVC armeret med special silis	20	PVC	
14	223010	KGEM-Coex pipes SN 4 ø 200x600	12	PVC	
15	223010	KGEM-Coex pipes SN 4 ø 200x1000	1	PVC	
16	223010	KGEM-Bend 15°, ø 200	2	PVC	
17	223010	KGEM-Bend 30°, ø 200	2	PVC	
18	223020	KGEM-Bend 45°, ø 200	2	PVC	
19	224010	KGEM-Coex pipes SN 4 ø 250x1000	3	PVC	
20	224050	KGEM-Blench 87 ø 250xW250	1	PVC	
21	224050	KGEM-Coex pipes SN 4 ø 250x5000	4	PVC	
22	224240	KGEM-Bend 87°, ø 250	2	PVC	
23	227050	KGEM-Coex pipes SN 4 ø 500x5000	1	PVC	
24	227620	KGEM-Flug ø 500	1	PVC	
25	227630	KGEM-C ø 500	1	PVC	

**Rockwool**

Titel: Renseanlæg

Part no.:

Design: JH

Dato: 24-10-2017

Dim.:

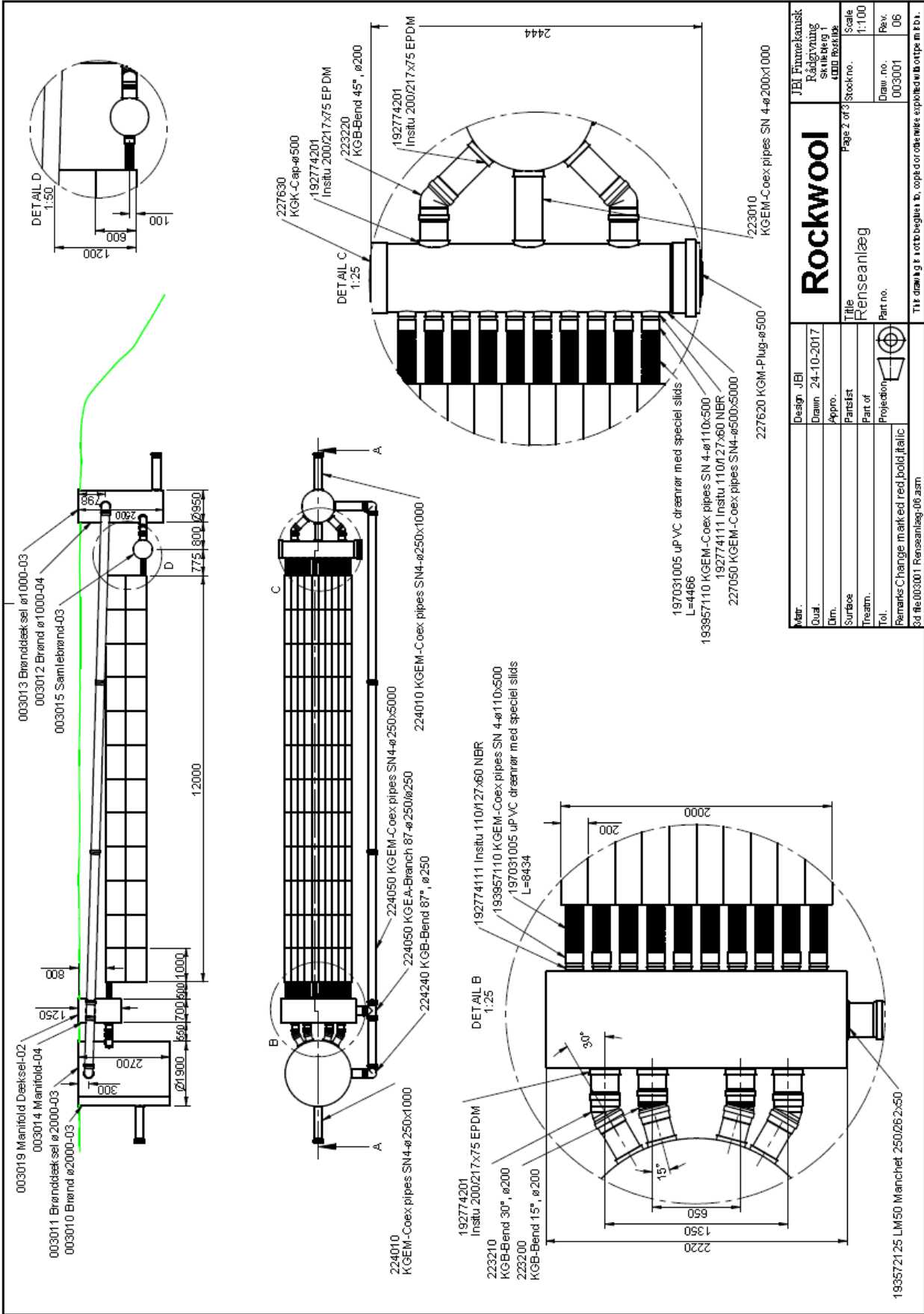
Scale: 1:1

Rev. no.: 000001

Rev.: 06

Reference: Charge matrix red, bold italic  
32 file 000001 Renseanlæg 00.dwg

Titel, Dim. og A. er obligatoriske. De øvrige er anbefalede. De obligatoriske er angivet i de enkelte tegninger.



<b>Rockwool</b> JBI Finnerkærsk Rådgvang Skive Bleg 1 4800 Roskilde		Page 2 of 3 Stockno.	Scale 1:100
Design: JBI Drawn: 24-10-2017 Appr.: Partist: Part of: Projection:	Title Renseanlæg Part no.:	Rev. 003001 06	11x drawing k. rotbøglet b. cop. do onerwise epobed i b. optje m. b.
Remains: Change marked red, bold, italic! \$d file: 003001 Renseanlæg_06.dwg			

# Bilag 2. Prøver og analyser

## Prøvetyper

For at opnå en tilstrækkelig dokumentation af filterets renseevne blev der efter etablering af filterløsningen løbende udtaget prøver til analyse. Prøvetagningsprogrammet omfattede som udgangspunkt følgende prøvetyper:

- Vandprøver, som blev udtaget manuelt i forbindelse med regnhændelser (udgjorde den primære dokumentation af filteret).
- SorbiCells, som blev installeret i prøvetagningsenheder, og som løbende opsamlede en vandprøve i forbindelse med, at der blev ledt vand til/fra filteret (supplement til vandprøverne).
- Sedimentprøver, som blev udtaget for at få et billede af størrelsesfordelingen af partikler, der blev tilført/tilbageholdt i filteret (supplement til vandprøverne).

Prøvetyperne er nærmere beskrevet herunder.

## Vandprøver

I forbindelse med regnhændelser blev der udtaget vandprøver manuelt i hhv. ind- og udløb af filteret. Prøverne blev udtaget i prøvebeholdere af glas og/eller plast afhængigt af analyseparametre. Denne type prøver giver et øjebliksbillede/mulighed for at undersøge stofkoncentrationerne under en enkelt regnhændelse. Desuden kan prøven analyseres for opløste såvel som partikulære stoffer.

## SorbiCells

Med SorbiCells er det muligt at opsamle prøver over tid, således at der kan opnås viden om stofkoncentrationer i vandet opsamlet over en længere periode, dvs. længere eller flere regnhændelser. Der er i anlægget på Risvang Allé monteret i alt fem prøvetagningsenheder til SorbiCells (WW50) med henblik på analyse for hhv. metaller (SorbiCell CAN) og PAH'er (SorbiCell VOC). I manifolden efter indløbsbrønden blev prøvetagningsenhederne monteret på en wire, således at toppen af enheden flugtede med bunden af tilløbsrør til filteret. I udløbsbrønden blev prøvetagningsenhederne monteret i rørbøjninger på udløbsrør (se figur herunder).



Prøvetagningsenheder (WW50) indsat i testanlægget på Risvang Allé hhv. ved indløb til filteret (tv) og i udløbsbrønden (th).

## Sedimentprøver



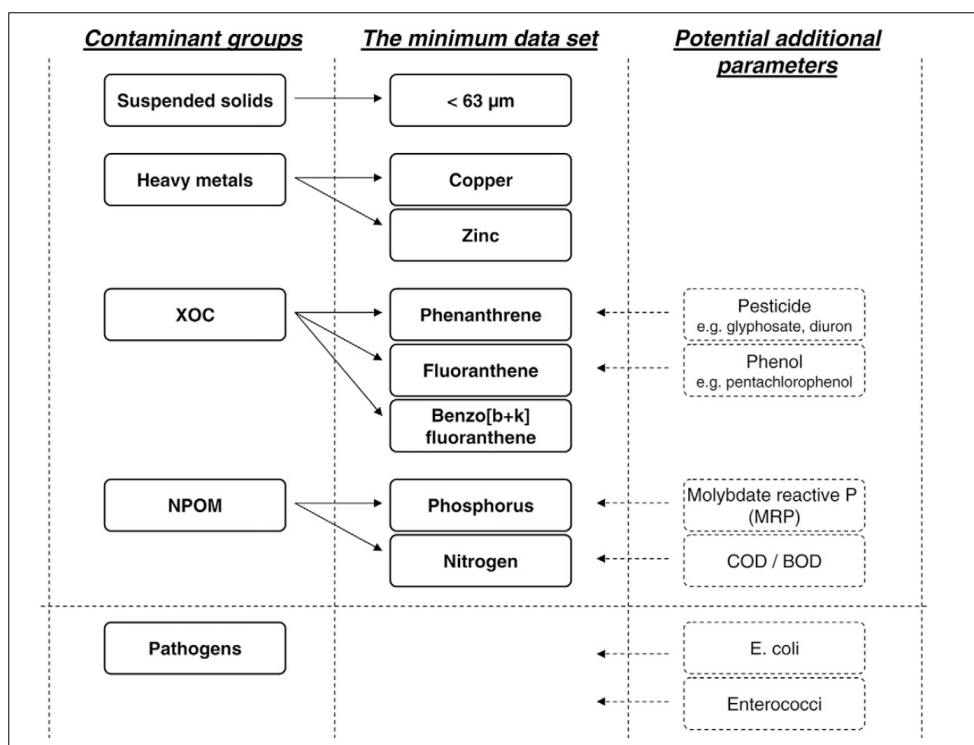
For at kunne undersøge, hvad der afsættes af sediment i filteret og dermed også vurdere risikoen for tilstopning af filteret, er der i løbet af måleperioden udtaget en række sedimentprøver i hhv. indløbsmanifold og udløbsbrønd, som vist herunder.



Prøver til måling af partikelstørrelsesfordeling. Tv. markering af indløbsrør til manifold og tilgangsrør til filteret, hvor sedimentet udtages. Th. rørføring til udløbsbrønd, hvor der udtages vandprøver.

### Analyseparametre

Listen af stoffer, der findes i vejvand, er lang, og hvis man skulle måle for alle parametre, ville det hurtigt blive meget dyrt og omstændeligt. Derfor fremkom forskere fra Københavns Universitet i 2011 med forslag til et minimum af parametre<sup>4</sup>, som man bør måle for, når renseløsninger skal testes. Disse er valgt ikke kun på baggrund af deres forekomst i regnafstrømning, men også på baggrund af deres fysisk-kemiske opførsel, så de fungerer som indikatorparametre for andre stoffer og dermed for renseløsningens overordnede renssevne. "A Minimum Data Set of Water Quality Parameters to Assess and Compare Treatment Efficiency of Stormwater Facilities" giver således et oplæg til et "minimumsdatasæt", som i dette projekt har dannet grundlag for at udvælge relevante analyseparametre til at dokumentere filterløsningens renseseffekt:



"The minimum data set" ifølge Ingvertsen et al. 2011<sup>4</sup>.

På baggrund af ovenstående blev effekten af filterløsningen vurderet med udgangspunkt i fjernelsesgraden af de parametre, som fremgår af tabellen herunder:

*Analyseprogram til dokumentation af filterløsningens renskapacitet.*

Næringsstoffer	Tungmetaller	PAH'er	Øvrige parametre
Fosfor (P)	Bly (Pb)*	Acenaphthen*	Suspenderet stof (SS)
Kvælstof (N)	Cadmium (Cd)	Acenaphtylen*	Tørstof (TS)
	Krom (Cr)*	Anthracen*	PSD
	Kobber (Cu)*	Benzo(a)antrachen*	
	Nikkel (Ni)*	Benzo(a)pyren*	
	Zink (Zn)*	Benzo(b)fluoranthen*	
		Benzo(ghi)perylen*	
		Benzo(k)fluoranthen*	
		Chrysen*	
		Dibenzo(a,h)antracen*	
		Fluoranthen*	
		Fluoren*	
		Indeno(1,2,3-cd)pyren*	
		Naphthalen*	
		Phenanthren*	
		Pyren*	

\*) Akkrediterede analyser

### Indledningsvise erfaringer

Analyseresultaterne fra de første prøvecampagner i 2018 viste, at PAH'erne alene kunne kvantificeres i faststofprøver og til dels i vandprøver, mens PAH'erne ikke kunne måles i prøverne udtaget med SorbiCells. Af tungmetallerne var det kun kobber, kviksølv, nikkel og zink, som kunne kvantificeres med SorbiCells, mens det var det muligt at kvantificere alle de målte metaller i vandprøverne. De installerede prøvetagningsenheder til SorbiCells blev ydermere udfordret af tilstopning af jord/sand m.m., der ledes til manifolden med vejvandet. Det blev derfor besluttet ikke at fortsætte med prøvetagningerne baseret på SorbiCells. I stedet blev dokumentationen af filterets renssevne i den resterende projektperiode baseret på analyse af vandprøver og enkelte faststofprøver fra ind- og udløb.

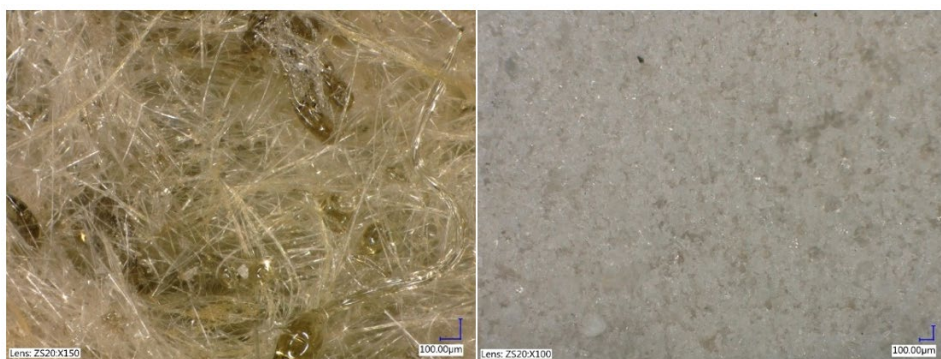
# Bilag 3. Accelereret forsøg for test af den fysiske filtrering

Lapinus har i accelererede forsøg undersøgt langtidseffekten af den fysiske filtration<sup>11</sup>. Med termen "accelereret forsøg" henvises til en praksis, hvor det i laboratoriet forsøges at genskabe den belastning, som anlægget udsættes for over tid. I accelererede forsøg med Rock-flow filter er der således tilført suspenderet stof (SS) under kontrollerede forhold i form af Millisil, som ledes til testopstillingen over i alt 17 gange med samlet ca. 7 kg materiale. Formålet var at undersøge, hvornår et filter mættes med SS. Testfilteret havde et volumen på 1.400 L og en rørføring på 2,4 m.

Testen viste, at Millisil, som ligger i partikelstørrelsesintervallet 0,8-120 µm, primært tilbageholdes i den udskårne kanal. En mindre del, ca. 3 %, udvaskes med præferencestrømning via de revner, der er mellem stenuldselementerne, og de render, der er udskåret i stenuldselementerne. Yderligere er det også undersøgt med mikroskopi, hvor Millisil sidder i elementerne - se billeder herunder.

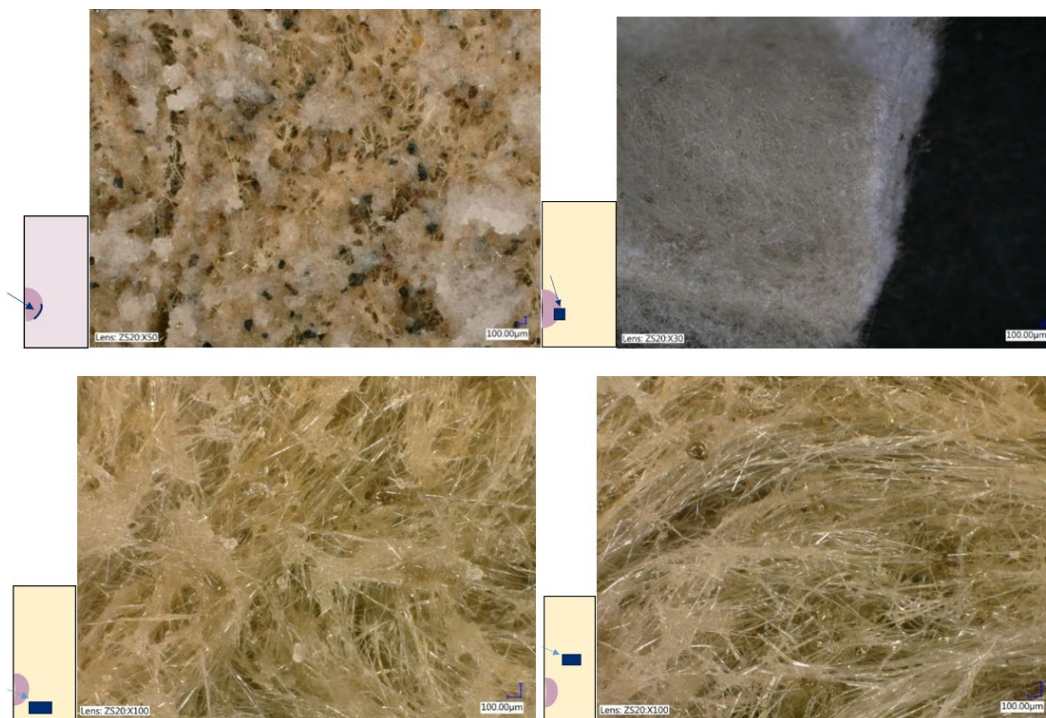


*To stenuldselementer med udskæringer efter åbning af testanlæg, hvor der er testet for accelereret belastning med Millisil. Transportvejene for Millisil ses tydeligt at være via de render, som er udskåret i siderne på elementerne. Th. forside af testanlæg på 1,4 m<sup>3</sup> med en rørføring (Ø110) på 2,4 m skåret i stenulden*



*Tv. ren stenuld forstørret en faktor 50. Th. ren Millisil forstørret en faktor 100.*

<sup>11</sup> Lapinus Manta – Testrapport. Teknologisk Institut, 2019



*På billedet øverst tv. ses kanalens kant forstørret faktor 50. Her ses en del Millisil særligt i overgangszoner mellem stenulden og kanalen. Disse zoner opstår ved savekanten. På billedet øverst th. ses overgangen mellem kanalen og stenuldsmatrixen. Her ses, at Millisil ikke er trængt mere end få mm ind i matrixen fra kanalen. Nederst tv. og th. ses billeder af hhv. under og ovenfor kanalen. Ingen synlige spor af Millisil at spore i stenuldsmatrixen sammenlignet med foto af ren stenuld.*

Med undtagelse af den lille del af Millisil, som antages at blive udvasket via præferencestrømning, kan der ikke konstateres nogen egentlig matrixtransport. Derfor konkluderes det, at langt den største del af SS vil blive tilbageholdt i filterets indløbsrør, som kan renses ved spuling. Det vurderes, at den største, begrænsende faktor for filterets levetid udgøres af den begrænsede udsivning af små partikler, som føres ud i filtermatrixen. Det vurderes, at disse partikler under 45 µm vil blive akkumuleret i bunden af filteret og gradvist bliver udvasket fra filteret via udløbet.

Det antages, at den andel af partikler, som bundfældes, maksimalt udgør 30 % af den mængde SS, som tilføres filteret. Det vurderes, at dette slamlag med et forventet tørstofindhold på 50 % ikke må blive højere end maksimalt 10 cm, da det så vil nå den højde, som udløbskanalerne i filteret har og derved accelerere udvaskningen af SS.

Det vurderes ikke at være praktisk muligt at spule det SS, der akkumuleres i filtermatrixen, ud af materialet i et omfang, som vil regenerere filtermatrixen. Derfor er anbefalingen, at stenulds-elementerne udskiftes med nye elementer, når slamlaget har nået denne højde (maks. 10 cm).

Levetiden af filteret kan derved beregnes ud fra følgende parametre: tilført mængde SS til filterets kanal i levetiden og areal af filter. Omvendt kan der også regnes bagud, hvis en minimumslevetid af filteret ønskes, fx hvis det installeres under en P-plads eller en vej.

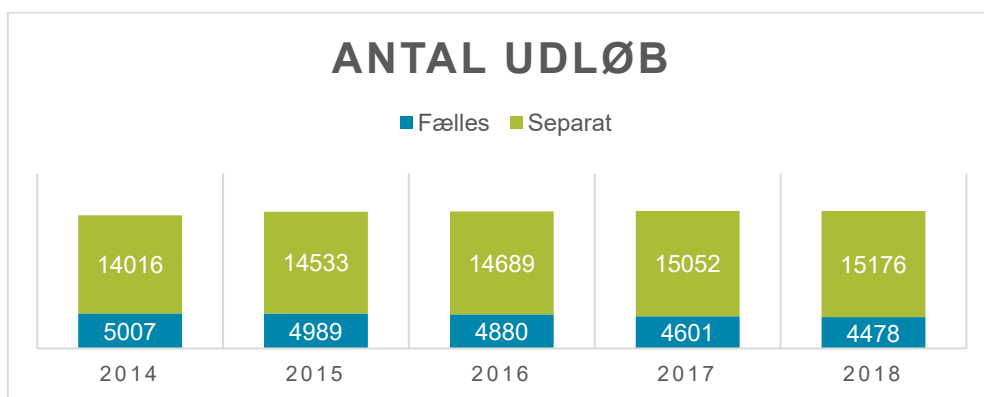


# Bilag 4. Filterløsningens markedspotentiale i Danmark og i EU

## Filterløsninger i Danmark

Omlægningen til separatkloakering medfører, at tag- og overfladevand udledes til recipienter, med krav om rensning til niveau med nuværende BAT, jf. krav om, at miljømålene for recipienter overholdes, og at citat: "Miljø- og Fødevareklagenævnet har i afgørelse fastslået, at det er BAT med henblik på reduktion af udledningen af miljøfarlige forurenende stoffer at rense tag- og overfladevand i vådbassiner med et vådvolumen på 180 – 250 m<sup>3</sup>/red. ha."

Denne udvikling er godt i gang. I perioden fra 2014 til 2018 steg antallet af udløb fra separatkloakerede oplande med 1.160 stk. I samme periode faldt antallet af udløb fra fælleskloakerede områder med 471 stk., se figur herunder.



Antal udløb fra fælles- og separatkloakerede områder opgjort for perioden 2014-2018.

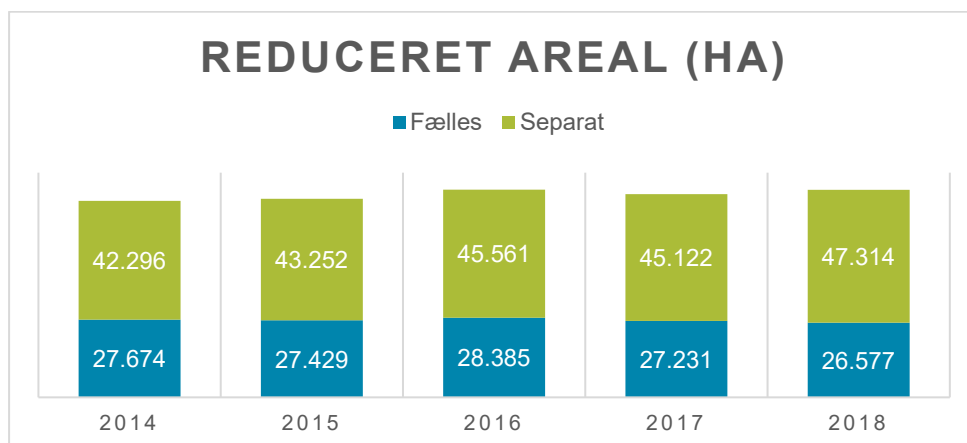
For 2018 er det i Miljøstyrelsens Punktkilderrapport (2018) oplyst, at bassinvolumen samlet er på 9,1 mio. m<sup>3</sup> fordelt med 1,6 mio. m<sup>3</sup> på fælleskloak og 7,6 mio. m<sup>3</sup> på separatkloak. Ud fra tallene oplyst i ovenstående figur fås, at volumen i bassinerne i gennemsnit er på 123 m<sup>3</sup> per red. ha med et gennemsnit på 161 m<sup>3</sup> for separatkloak og 60 m<sup>3</sup> for fælleskloakerede oplande. Tallet for separatkloakerede oplande vidner altså om, at nye bassiner anlægges ud fra minimumskrav på 180-250 m<sup>3</sup> per red. ha.

Der etableres altså flere udløb til recipienter fra separatkloakerede oplande, mens fællesudløb fra fælleskloakerede oplande falder. I områder, med mangel på plads, kan det større pladskrav være en udfordring. Sådanne områder vil kunne gøre brug et kompakt filter som alternativ til et vådbassin.

For at kunne vurdere det potentielle marked for en kompakt filterløsningen i Danmark er det nødvendigt at kende:

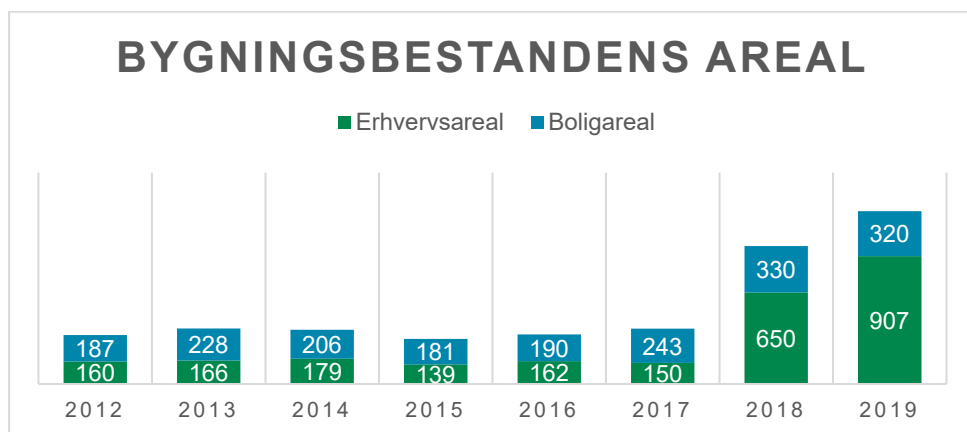
- antallet af udledninger til recipienter, der stammer fra regnvandssystemer
- andelen af de udledninger, hvor det ikke er praktisk muligt at anlægge et vådbassin, hvorfor der er brug for en alternativ renseløsning.

For at svare på det, er det nødvendigt at kende størrelsen af det areal, som er under fælleskloak og hvor hurtigt det omlægges til separat kloak. I figuren herunder ses det, at antal red. ha, som er separatkloakeret, er vokset med 5.018 ha i perioden fra 2014 til 2018.



Reduceret areal (ha) for perioden 2014-2018.

I perioden fra 2012 til 2019 er der anlagt i alt nye 4.200 ha fordelt på bolig og erhverv, se figuren herunder. I samme periode er der også udgået arealer, hvilket bringer nettoarealet fra bygningsbestanden ned på 450 ha. Dette skyldes primært tab af udgået areal fra fabrikker, værksteder o.lign.<sup>12</sup>.



Bygningsbestandens areal opgjort for beboelse og erhverv i bruttohektar for perioden 2012-2019.

Det antages, at de nyudviklede områder, hvad enten de er anlagt som green field eller brown field, skal have omlagt ledningsnettet og søge en ny udledningstilladelse for regnvand. Hvis der ses bort fra årene 2018-2019 som værende år med en særlig høj byggeaktivitet, fås, at der i gennemsnit årligt anlægges ca. 370 ha nyt red. areal til bebyggelse og erhverv. Til sammenligning opgør DANVA transportnettets fornyelsesgrad til et gennemsnit på 1 % årligt eller ca. 740 ha. Altså det dobbelte areal. Dette tal tæller også fornyelse af ledningsnettet i eksisterende bebyggelse samt veje og anden infrastruktur.

For at give et estimat på antallet af mulige filterinstallationer årligt antages det, at rensning af vandet i 1/3 af tilfældene for udvikling af ny bebyggelse kan lade sig gøre eller ikke ønskes udført med et vådt bassin - evt. for at opnå bedre arealudnyttelse, som ofte er et ønske ved erhvervsbyggeri for at optimere det lejebærende areal. Herved kan det konkluderes, at der årligt

<sup>12</sup> Danmarks statistik. BYG34. Udtræk fra marts 2020.

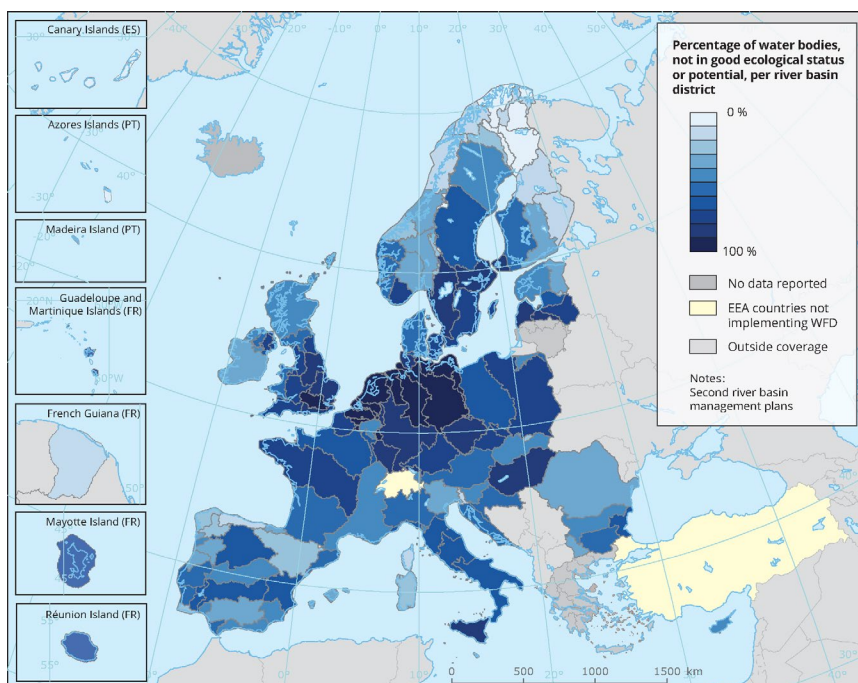
skal findes en alternativ filterløsning for ca. 120 red. ha per år. Hvis anlægget anlagt på Risvang Allé (1 red. ha) kan bruges som en rettesnor for størrelse af opland, så svarer det altså til ca. 120 anlæg per år. Hvis veje og infrastruktur regnes med kommer tallet op på 240 anlæg per år.

Baseret på det anvendte anlægseksempel, se afsnit "Anlægseksempel" anslås markedsværdien for filterløsningen at udgøre ca. 20 mio. DKK pr. år. Hvis der til sammenligning anvendes tallet for det samlede ledningsnets fornyelse, bliver tallet dobbelt så stort eller 40 mio. DKK årligt.

## Markedet i EU

Markedspotentialet målt på EU-niveau er baseret på en mere overordnet analyse af behovet for filterløsninger til behandling af overfladevand. Denne analyse er behæftet med væsentligt større usikkerhed end markedspotentialet for Danmark, primært fordi analysen tager udgangspunkt i antallet af recipienter og ikke udledningpunkter.

På EU-niveau er det vandrammedirektivet, som lægger et pres på medlemslandene om, at vandområder skal opnå minimum god økologisk kvalitet inden 2027, og at denne kvalitet skal beskyttes, hvorfor bl.a. forurenede overfladevand ikke må tilføres recipienterne uden forudgående rensning, hvilket sikrer, at recipientens kvalitet som et minimum bevares. Skandinavien, Estland, Slovakiet, Rumænien og flere områder omkring Middelhavet har alle en høj andel af vandoplande med en høj eller god økologisk status, som er målet for EU's vandrammedirektiv med opfyldelse senest i 2027. I modsætning hertil har flere af de centraleuropæiske lande en udfordring. Fx er de hollandske recipienter svært belastede.



*Percentage of water bodies, not in good ecological status or potential, per river basic district.*

I Danmark indgår 16.881 vandløb, 940 søer og 162 indre farvande i EU's overvågningsprogram<sup>13</sup>. Samlet er der 130.000 overflade- og grundvandsområder, som overvåges i EU. I Danmark er der ca. 19.500 udledningpunkter, hvor spildevand udledes til en recipient. Det er dog ikke umiddelbart ligetil at omregne antal udledningpunkter ud fra antallet af recipienter

<sup>13</sup> [https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/pdf/3rd\\_report/CWD-2012-379\\_EN-Vol9\\_DK\\_dk.pdf](https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/pdf/3rd_report/CWD-2012-379_EN-Vol9_DK_dk.pdf)

endsige at godtgøre, at der er tale om et separatkloakeret opland. Men hvis det skønnes, at der i gennemsnit er et udløb per recipient, et tal med stor variation, kan det løseligt anslås, at der på EU-niveau er ca. 130.000 udløb. Hvis halvdelen af disse er fra separatkloakeret opland, er der ca. 65.000 udløb. Et forsigtigt skøn er, at i 25 % af disse sager, vil der inden for de næste 10 år være brug for et kompakt filter for at rense overfladevandet. Det giver et potentielt marked for den undersøgte filterteknologi på ca. 15.000 anlæg eller 2,5 mia. DKK. Dette marked forventes primært at være drevet af efterspørgslen i de skandinaviske lande og lande som Holland og England.

## **Filterteknologi til rensning af regnvand i tæt bebyggede områder**

Dette er afslutningsrapporten for projektet "*Filterteknologi til rensning af vand fra tæt-bebyggede områder*" under Miljøstyrelsens tilskudsordning MUDP 2016.

Projektet forløb i perioden januar 2017 til april 2020 i et samarbejde mellem ROCKWOOL / Lapinus, Aarhus Vand og Teknologisk Institut.

Projektet bygger videre på et tidligere afrapporteret MUDP-projekt "*Teknologi til rensning af vand fra trafikerede områder*" (Miljøstyrelsen, 2016), hvor et mindre filteranlæg blev etableret og renssevnen undersøgt. Nye data fra dette anlæg inddrages således også i nærværende projekt.

Projektet havde til formål at udvikle en kompakt, modulær filterløsning baseret på stenuld til tilbageholdelse og rensning af regnvand i tætbebyggede områder, hvor pladsmangel ofte er en udfordring.

Filterløsningen blev baseret på ROCKWOOL stenuldselementer, og er etableret på Risvang Allé i samarbejde med Aarhus Vand. Rapporten giver et overblik over det arbejde, der er udført i projektet.

Baseret på analyseresultaterne fra prøver udtaget i hhv. ind- og udløb af filteret vurderes det, at stenuldsfilteret etableret på Risvang Allé overordnet set renses på samme niveau som et vådt regnvandsbassin



Miljøstyrelsen  
Tolderlundsvej 5  
5000 Odense C

[www.mst.dk](http://www.mst.dk)