



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Demonstrationsanlæg ved Østerbyværket

Rapport 10 i projektet "Smart Re-design of Drinking Water Production"

MUDP Rapport

September 2023

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:
Rasmus Bærentzen
Loren Ramsay

Fotos:
Rasmus Bærentzen

ISBN: 978-87-7038-549-7

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

Forord	5
Sammenfatning	8
1. Introduktion	11
1.1 Hovedleverancer	11
1.2 Design- og anlægsaktiviteter	11
1.3 Indkørings- og driftsaktiviteter	11
2. Krav til filterdesign	12
2.1 Overordnet designbeskrivelse af Smartfilter-Fe	12
2.2 Designerfaringer fra filterprojektets tidligere faser	12
3. Design af demoanlæg	14
3.1 Beskrivelse af demonstrationsløsningen på Østerbyværket	14
3.1.1 Smartfilter-Fe	14
3.1.1.1 Flow	14
3.1.1.2 Filterdiameter	15
3.1.1.3 Filtermedie	15
3.1.1.4 Bedhøjde	15
3.1.1.5 Fribord	15
3.1.1.6 Ledeplade til tilbageholdelse af filtermedie under kraftigt skyl	15
3.1.1.7 Filterbund	16
3.1.1.8 Bærelag	16
3.1.1.9 Luftharpe	17
3.1.1.10 Filter	17
3.1.2 Råvandsforsyning til Smartfilter-Fe	17
3.1.3 Rørføring fra Smartfilter-Fe til filter 6	18
3.1.4 Filterskyl	18
3.1.4.1 Skylleluftsflow	18
3.1.4.2 Skyllevandsflow	19
3.1.4.3 Rørføring for skyllevand	20
3.2 Kortfattet styringsbeskrivelse	21
3.3 Kildeplads- og filterdrift i forsøgsperioden	22
4. Undersøgelser	23
4.1 Ø1. Bedekspansion under vandskyl	23
4.2 Ø2. Ledepladens funktion i nyt forfilter	26
4.3 Ø3. Indkøring af jern	28
4.4 Ø4. Flowets betydning for dybdefiltrering på nyt forfilter	32
4.5 Ø5. Effekt på efterfilter	35
4.6 Ø6. Skylleeffektivitet på forfilter	44
4.7 Ø7. Afdækning af filtertilstand ved forsøgsafslutning	50
5. Erfaringer og konklusion	58

Bilag 1. Prøvetagning Østerby Filterforsøg	62
Bilag 2. Ø1. Bedekspansion under vandskyl	66
Bilag 3. Ø2. Ledepladens effektivitet	67
Bilag 4. Ø3. Indkøring	68
Bilag 5. Ø4. Flows betydning for dybdefiltrering	69
Bilag 6. Ø5. Effekt på efterfilter	70
Bilag 7. Ø6. Skylleeffektivitet på forfilter	73
Bilag 8. Ø7. Afdækninger af filtertilstand efter forsøgsafslutning	74

Forord

Denne rapport er en del af fyrtårnsprojektet "Smart Re-design of Drinking Water Production", som blev udført i perioden 2018 - 2022 og finansieret af projektdeltagernes egenfinansiering samt den offentlige støtteordning Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) under Miljøministeriet. Projektets formål er at re-designe vandbehandling ved en dyb forståelse og en radikal nytænkning af vandbehandlingsprocessen. Da projektet omhandler helt almindelig dansk vandbehandling, er projektets resultater relevante for alle danske vand-forsyninger.

Fyrtårnsprojektet er formidlet gennem 12 rapporter, samt en serie konferenceindlæg, tidskrifts-artikler, og seminarer. Desuden er en række løsninger demonstreret ved fuldskalaanlæg på hhv. Østerbyværket syd for Aarhus og Lundeværket nord for Odense.

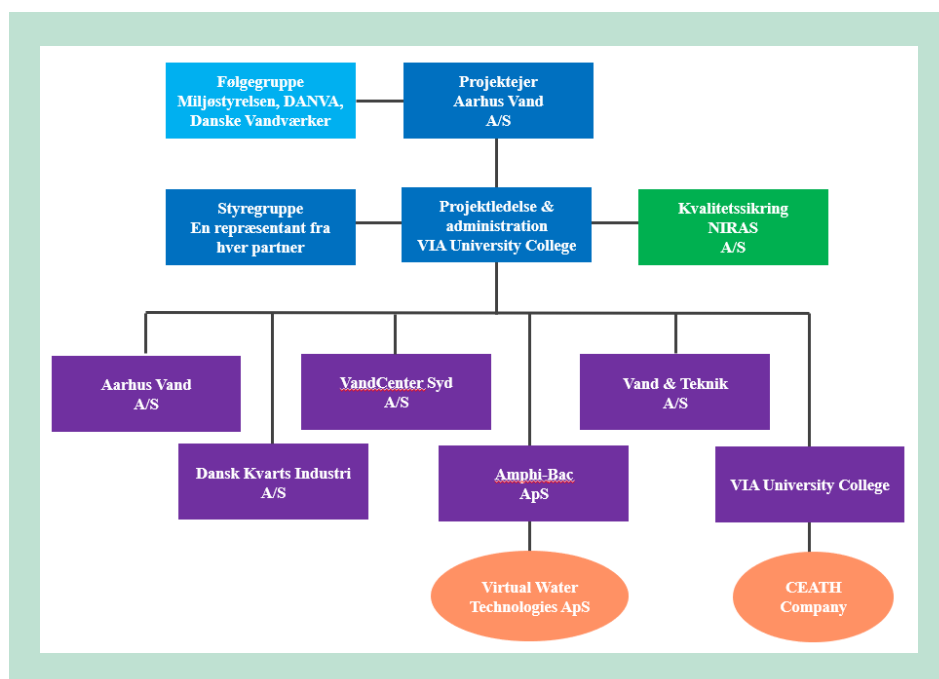
Baggrund

I Danmark er drikkevandsproduktion baseret på grundvand. Grundvandet behandles ved en ret enkelt proces, der kaldes for "normalbehandling" (Karlsen og Sørensen, 2014). Denne proces består af iltning af vandet efterfulgt af en biofiltrering med gravitations- eller trykfiltre. Biofiltrering indebærer en kompleks blanding af fysiske, kemiske og mikrobiologiske elementer. Da det indvundne grundvand ofte er kemisk reduceret, kan vandet indeholde opløste stoffer som jern, ammonium og mangan, der skal fjernes/omdannes. Avanceret vandbehandling kommer kun på tale, hvis der også er behov for at fjerne f.eks. gasser (svovlbrinte, methan, aggressiv kuldioxid), hårdhed, arsen eller pesticider. I Danmark anvendes hverken chlor eller andre former for kemisk desinfektion under behandling eller distribution af vandet.

Biofiltrering er hjertet af normalbehandling af drikkevand i Danmark. Design og drift af biofiltrering har dog ikke ændret sig væsentligt i mere end 100 år. Manglende proces- og mikrobiologisk viden kombineret med en konservativ tilgang har medført, at videreudvikling af biofiltrering har været begrænset, og at filtre har været betragtet som en black box. Nye og billigere mikrobiologiske analyser, sofistikerede prøvetagningsmetoder, at-line målinger og andre fremskridt har nu åbnet denne black box i vandbehandlingen og gjort det muligt at undersøge, forstå og manipulere processen i højere grad end før.

Projektorganisation

Projektet blev udført af syv partnere og to underleverandører, se FIGUR 1 nedenfor:



FIGUR 1. Diagram over projektorganisation.

Projektets følgegruppe og styregruppe bestod af følgende personer:

Følgegruppe

Bolette D. Jensen, Miljøstyrelsen (formand)
 Dorte Skræm, DANVA
 Robert Jensen / Henrik Hermansen, Danske Vandværker
 Flemming Fogh Pedersen, Aarhus Vand (projektejer)
 Loren Ramsay, VIA University College (projektleder)

Styregruppe

Flemming Fogh Pedersen, Aarhus Vand
 Finn Møllerup, VandCenter Syd
 Jens Kristensen, Vand og Teknik
 Claus Hove Sørensen, Dansk Kvarts Industri
 Søren Bastholm Olesen, Amphi-Bac
 John Kristensen, NIRAS
 Loren Ramsay, VIA University College

Projektets arbejdsplaner og rapporter

Projektet er inddelt i arbejdsplaner og rapporter, se nedenfor. Arbejdsplanerne og rapporterne er identificeret som "åbne" eller "kommercielle" for at tydeliggøre, hvornår resultater frit formidles til hele branchen og hvornår resultater holdes internt blandt de relevante partnere af hensyn til kommercielle interesser.

Arbejdsplan 1: Etablering af designgrundlag (åben)

Rapport 1: Indsamling af vandbehandlingsdata
 Rapport 2: Merkur: Web-baseret platform til vandbehandlingsdata

Arbejdsplan 2: Tekniske forsøg (åben)

Rapport 3: Flytning af filtermediekorn under returskyl
 Rapport 4: Jernfjernelsesdybde i biofiltre
 Rapport 5: Biostimulering med ammonium
 Rapport 6: Jernfjernelse i returskyl
 Rapport 7: Filtermediers gangtid

Arbejdsplan 3: SmartSand (kommerciel)

Rapport 8: Udvikling og produktion af SmartSand (fortrolig)

Arbejdspakke 4: SmartArkitektur (åben)

Rapport 9: Vandbehandlingsmodel

Arbejdspakke 5: Fyrtårnsdemonstration i fuldskala (åben)

Rapport 10: Demonstrationsanlæg ved Østerbyværket

Rapport 11: Demonstrationsanlæg ved Lundeværket

Arbejdspakke 6: Projektledelse

Rapport 12: Sammenfatning

Sammenfatning

Projektet "Redesign" har til hensigt at søge efter et mere optimeret design af vandværksfiltre. Overordnet er principperne baseret på, at vandbehandlingen på vandværker deles op i et Smartfilter-Fe, hvor jernfjernelsen foregår, og et biofilter, hvor fjernelsen af ammonium, nitrit og mangan foregår. Grundideen består i, at man herved kan tilpasse design og drift af de to filtertyper til den opgave, som filtrene hver især skal løse.

Der er forud for denne rapport foretaget en række forsøg i mindre skala for at afdække en del af de styrende parametre og derved kunne designe det mest hensigtsmæssige filter og tilhørende drift. Disse erfaringer havde til hensigt at skulle danne grundlag for afsluttende fuldskalaforsøg, som skulle demonstrere erfaringerne i fuld skala.

I demonstrationsprojektet er det blevet bevist, at adskillelsen af jernfjernelsen fra de øvrige mere biologiske vandbehandlingsprocesser er en klar fordel. Kapacitetsforøgelsen af filterlinjen er mangedoblet i forhold til driften før, og selvom der tages hensyn til forøgelsen af filterkapaciteten ved tilførsel af et Smartfilter-Fe, er der sket en væsentlig udvidelse af behandlingskapaciteten i filterlinjen. Det er der gode perspektiver i, da det her er bevist, at man kan få en del bedre vandbehandling ud af et filter ved blot at sætte et mindre forfilter på de eksisterende filtre og derved udvide filterkapaciteten betydeligt.

Teoretisk har en 20 % filterekspansion under skyl med vand været en målsætning for at få et godt og effektivt skyl. Det har dog vist sig, at der skal stor skyllevandskapacitet til at skylle så meget vand igennem filteret, og det ville betyde en væsentlig udvidelse af dels pumpekapaciteter, men også for rørføringer på vandværker. Det har været uforeneligt med målsætningen om at spare skyllevand, og der er ikke arbejdet videre med den ide i forsøgene. Derfor er der fortsat med de mere traditionelle skyllekapaciteter, som ses på danske vandværker på 40 – 65 m/t.

Indkøringen af et jernfilter har vist sig gennem forsøgene at tage ca. 3 dage, men efterfølgende ses der stadig forbedring af jernfjernelse i filteret, hvor der sker en slags modning og fortsat forbedring. Det er også bevist, at der med højere hastigheder i filteret sker en højere grad af dybdefiltrering, hvor jern afsættes i hele filterdybden. Filterhastigheder på ca. 20 m/t har været passende i dette filterforsøg, men der ses også dybdefiltrering ved lavere hastigheder. Der ses dog stadig en højere afsætning af jern i toppen af filteret, selv om der er dybdefiltrering, men udnyttelsen af dybden giver stadig mulighed for, at der ved denne løsning kan anvendes længere gangtider. Men ved de højere hastigheder ses der imidlertid også indikationer på, at det udfældede okker måske genmobiliseres, uden at der dog er leveret et endegyldigt bevis for det. Men det tyder måske på, at der således også er en øvre grænse for dybdefiltrering som løsning.

Filterskyl med vand og luft samtidig (ofte benævnt "lille skyl") har ved tidligere undersøgelser været udpeget som den mest effektive del af skylllet. Derfor har tankerne for en forbedring af denne proces været at øge effektiviteten ved at skrue op for hastighederne i skylllet. Det viser sig imidlertid, at øgede kapaciteter gør det svært at slippe af med luft og vand samtidig, og det til trods for at der på filterets top er mulighed for at lukke luften ud under skylllet. Det medfører dog, at trykket i filteret øges, og at udstyret derfor mister kapacitet, og det bliver en begrænsende faktor, hvis kapaciteterne skal øges til over det, der er normal dansk standard. Men det har vist sig, at det slet ikke er nødvendigt at have anordninger i filteret, som modvirker udskyl-

ning af filtermaterialer. I en eftertænkning på vurderingen af årsagen til udskylning af filtermaterialer, kan det jo være, at en væsentlig del af årsagen reelt er voksende filtre, og at filteroverfladen derved ligger tæt på udløbets højde.

Det ses af forsøgene, at den biologiske del af vandbehandlingen påvirkes betydeligt af filterskyl, og at lang tids drift uden filterskyl på biofilteret bør tilstræbes. Men observation af filterskyl i det biologiske filter har også indikeret, at der fjernes mangan fra filteret, som jo ellers efterlades i filteret. Det gør, at biofilteret også bør skylles dog med en langt mindre frekvens. En måneds gangtid har været skøn på en passende frekvens.

Tilsætning af kobber har kun haft en effekt på fjernelsen af mangan, som bliver mere effektiv. Ved andre filtre er der erfaring for, at kobbertilsætning har en betydelig effekt på fjernelsen af ammonium og nitrit. Det er dog ikke set under forsøget. Årsagen kan være, at den lavere skyllefrekvens betyder, at vi ikke hele tiden skyller den aktive biomasse ud af filteret, hvorved yderligere tilførsel af kobber ikke er nødvendig.

Forsøgene med test af 5 forskellige skyllesekvenser har formentlig været påvirket af en defekt af filterbunden under forsøget. Det har vist sig, at der stort set er ens fjernelsesgrader ved de forskellige skyllesekvenser, og der kunne ses en relativt dårlig fjernelsesgrad på omkring 60 %. Dog har der været indikationer på, at skyl med først luft og efterfølgende stort skyl gav bedre resultater, men det stemmer ikke ret godt overens med tidligere forsøg. Derfor er konklusionen, at vi måske må tage resultaterne med forbehold for effekten af den defekte filterbund. Den ringe fjernelsesgrad kunne også ses på filtermaterialerne, som havde en tilvækst på 5 – 13 %, hvor det var størst i toppen og mindst i bunden. Skylleforsøgene viste også, at lille skyl havde rollen at frigøre jern, mens stort skyl (dvs. vand alene) mere havde en funktion som efterpolering. Jernfjernelsen i henholdsvis lille skyl og stort skyl var i de fleste forsøg på henholdsvis 30 – 60 % og 5 – 10 %. Da der anvendes ret lille mængde skyllevand til lille skyl i forhold til stort skyl, må det lille skyl betegnes som mest effektivt og stort skyl nedbringer blot residualindholdet af partikulært jern i filteret. Det tyder også på, at der ikke er den store effekt i at køre med luft alene inden lille skyl, da der er ret ens fjernelsesgrader med og uden luft alene.

Forsøgsresultaterne har frembragt en ide om, at man muligvis kunne undvære det store skyl, men man må så påregne, at der transporteres jernholdigt vand til efterfilteret (dog med jern i partikulær form). Om det er hensigtsmæssigt eller ej har ikke været afdækket i forsøgsrækken, men det er en potentiel mulighed for en optimering af vandforbruget til skyl.

Forsøgene har også givet nye ideer til, at man på simple måder kan undersøge skyllenes effektivitet kvalitativt. Udtagning af skyllevandsprøver hvert halve minut og en opstilling af prøveglassene giver et godt billede af fjernelsesgraden hen over skyllet. Skyllevandsslammets højde i glassene kan anvendes som en indikation på fjernelsen.

Ved afslutningen af forsøget blev filtermaterialerne fjernet, og der blev foretaget en visuel inspektion og udtaget prøver. Filtermaterialerne så desværre mere beskidte ud end forventet, og det understøtter de ret lave fjernelsesgrader fra skyllevandsforsøgene. Den defekte filterbund er en mulig årsag, men måske kan filtermaterialet også være en del af årsagen. Filtermaterialet ser ud til at være ret effektivt til at binde jernet, men måske er det faktisk sværere at få jernet af filtermaterialerne under skyllet.

I forsøget ses der indikationer på præferentielle strømningsveje, som formentlig har baggrund i, at beluftningen ikke er så tæt fordelt i filterbunden, som man kunne ønske, og det kunne være et forbedringspunkt. I filterforsøget blev der som noget nyt anvendt glaskugler som bærelag, og de havde kun meget lidt coating sammenlignet med filterkornene (< 1%). Forventningen er, at glaskuglernes ensartede form bidrager til en god fordeling af vand under skyl.

Der er testet en ny filterbund, som er lagt ovenpå den traditionelle filterbund i filteret forberedt til isætning af dyser. Den nye filterbund består af en udskåret slidsebund i PE udformet som et "Johnson"-filter. Filterbunden har under filterforsøget løsnet sig, men det giver ikke anledning til, at det er en dårlig løsning. Den del af bunden, som ikke var defekt så fin ud, og filterbunden ville være god såfremt den blev udført i en stærkere udformning (f.eks. rustfrit stål og fastgjort til den originale filterbund). Filterbundens slidser så fine ud i den side, hvor den ikke var defekt.

Der er opnået gode erfaringer med dette fuldskalaforsøg, og der er opnået erfaringer, som har bidraget til en bedre forståelse af processerne, og som kan anvendes til at bygge videre på i fremtiden. Ikke alt er lykkedes, men det er en del af det, man må forvente, når der ændres design, og når der prøves nye ideer af. Helt overordnet har hovedideen med at adskille den fysisk-kemiske vandbehandling (jernfjernelse) fra den biologiske vandbehandling (ammonium, nitrit og mangan) bestået sin prøve og vist, at den kan give betydelig kapacitetsforøgelse. Mulighederne for kapacitetsudvidelser i eksisterende vandværker er med dette forsøg afdækket, og det har vist, at der kan laves store kapacitetsudvidelser uden at skulle ændre meget i en eksisterende vandværksløsning. Det er der store omkostningsfordele i for danske vandselskaber.

Fuldskalaforsøgene på Østerbyværket er, sammen med fuldskalaforsøgene på Lundeværket, en del af en demonstration af den læring, som er opnået gennem fyrtårnsprojektet "Redesign". Hensigten er, at disse erfaringer og designs kan bidrage til at gøre det danske drikkevand endnu bedre og give dansk eksport af vandteknologi en fordel i fremtiden.

1. Introduktion

Det primære formål med arbejdet afleveret her er at videreudvikle og demonstrere nye vandbehandlingsløsninger under reelle driftsforhold. På basis af resultater fra de øvrige arbejdsplaner i fyrtårnsprojektet "Redesign" opføres fuldskala demonstrationer på to eksisterende vandværker, Lundeværket og Østerbyværket. På disse værker vil det være muligt at sammenligne de nyudviklede løsninger med eksisterende filterlinjer med traditionel vandbehandling med præcis samme vandtype. Desuden vil anlæggene fungere som et kommercielt og teknologisk udstillingsvindue for de nyudviklede løsninger. Der sigtes mod, at det producerede vand skal være af en sådan kvalitet, at det kan sendes ud til forbrugerne. Fyrtårnsprojektet har en afgørende tilskyndelsesvirkning for, at disse demonstrationer opstilles hos forsyningerne.

1.1 Hovedleverancer

Der er følgende hovedleverancer i Fyrtårnsprojektet:

- En ny funktionsdygtig vandbehandlingslinje i fuldskala på Østerbyværket baseret på re-design principperne.
- Dokumentation af re-design fordelene ved sidestilling af re-design kontra traditionelt design på samme vandværk med samme råvandskvalitet.

1.2 Design- og anlægsaktiviteter

Formålet med disse aktiviteter var at designe og bygge et nyt fyrtårnsanlæg ved Østerbyværket på basis af resultater fra de øvrige arbejdsplaner i projektet Redesign, herunder Smart-Tank fra arbejdsplan 4 og modelleringerne i arbejdsplan 5. Anlægget er tilpasset til pladsforholdene på Østerbyværket. Aktiviteterne har omfattet:

1. Projektering og projektledelse, herunder elprojektering og beskrivelse, maskinprojektering, programmering af PLC.
2. Indkøb af komponenter, hvor design er baseret på resultater fra de øvrige arbejdsplaner. Indkøbet har indeholdt komponenter såsom filterbeholdere, skyllepumpe, rør, ventiler, frekvensomformere (til hastighedsregulering af pumper og blæser), instrumentering, el og styretavle. Derudover har der været anvendt genbrug af eksisterende materialer, hvor disse har forelagt (råvandspumpe, flowmålere, PLC'er, mv.).
3. Udførsel, herunder opsvejsning af rør, montage, fragt, kranhjælp, elinstallation, SRO-opsætning.

1.3 Indkørings- og driftsaktiviteter

Formålet med disse aktiviteter er at indkøre den nye vandbehandlingslinje på Østerbyværket og drifte den i en periode for at kunne sammenligne med en traditionel vandbehandlingslinje med samme vandtype bl.a. ved brug af KPI'er udarbejdet i Arbejdsplan 1.

1. Indkøring af fyrtårnsanlægget. Monitoring af vandkvaliteten indtil vandet kan indgå i projektion til forbrugerne.
2. Drift af fyrtårnsanlægget i en længerevarende periode. Dokumentation af fysiske, kemiske og mikrobiologiske parametre af både fyrtårnsanlæggene og en sidestillet traditionel vandbehandlingslinje.

2. Krav til filterdesign

Projektbeskrivelsen har lagt op til, at der skal etableres en fuld filterlinje på Østerbyværket indeholdende både et Smartfilter-Fe og Smartfilter-Bio, som hver især er designet og optimeret til at løse henholdsvis jern-fjernelse og fjernelse af ammonium/mangan. Det er imidlertid konstateret, at det økonomiske grundlag for at etablere et samlet fuldskala-anlæg ikke var til stede. For at sikre et grundlag for fuld skala test og udvikle de teorier, som er defineret tidligere i projektet, er der fundet en løsning, hvor Smartfilter-Fe (jernfjernelsesfilteret) testes på Østerbyværket, mens det biologiske filter (Ammonium og manganfjernelse) testes hos Vandcenter Syd. Dette giver grundlag for en god vidensopbygning og test af et optimeret anlæg for jernfjernelse og se det i funktion i et af de eksisterende filtre på vandværket, hvor driften er sammenlignelig med et nabofilter. Samtidig giver det mulighed for at teste retrofitløsningsmuligheder i praksis. Derfor vil det efterfølgende designforslag arbejde videre med Smartfilter-Fe på Østerbyværket.

2.1 Overordnet designbeskrivelse af Smartfilter-Fe

Der skal etableres et Smartfilter-Fe (forfilter) med materialer og filterdesign, som tilgodeser en isoleret fjernelse af jern i dette filter. Filteret skal producere jernfrit vand til Østerbyværkets filter 6. Den nye filterkolonnes funktion og fjernelsesrater er sammenlignet med driften af et af de eksisterende filtre på Østerbyværket (filter 1).

2.2 Designerfaringer fra filterprojektets tidligere faser

I forhold til design af et jern-fjernelsesfilter (Smartfilter-Fe) er der tidligere udført forsøg, som har været anvendt til at udarbejde et design af en fuldskala demonstrationsløsning.

Vi har en række erfaringer fra filterprojektets tidligere faser, som skal demonstreres i denne fuldskalatest:

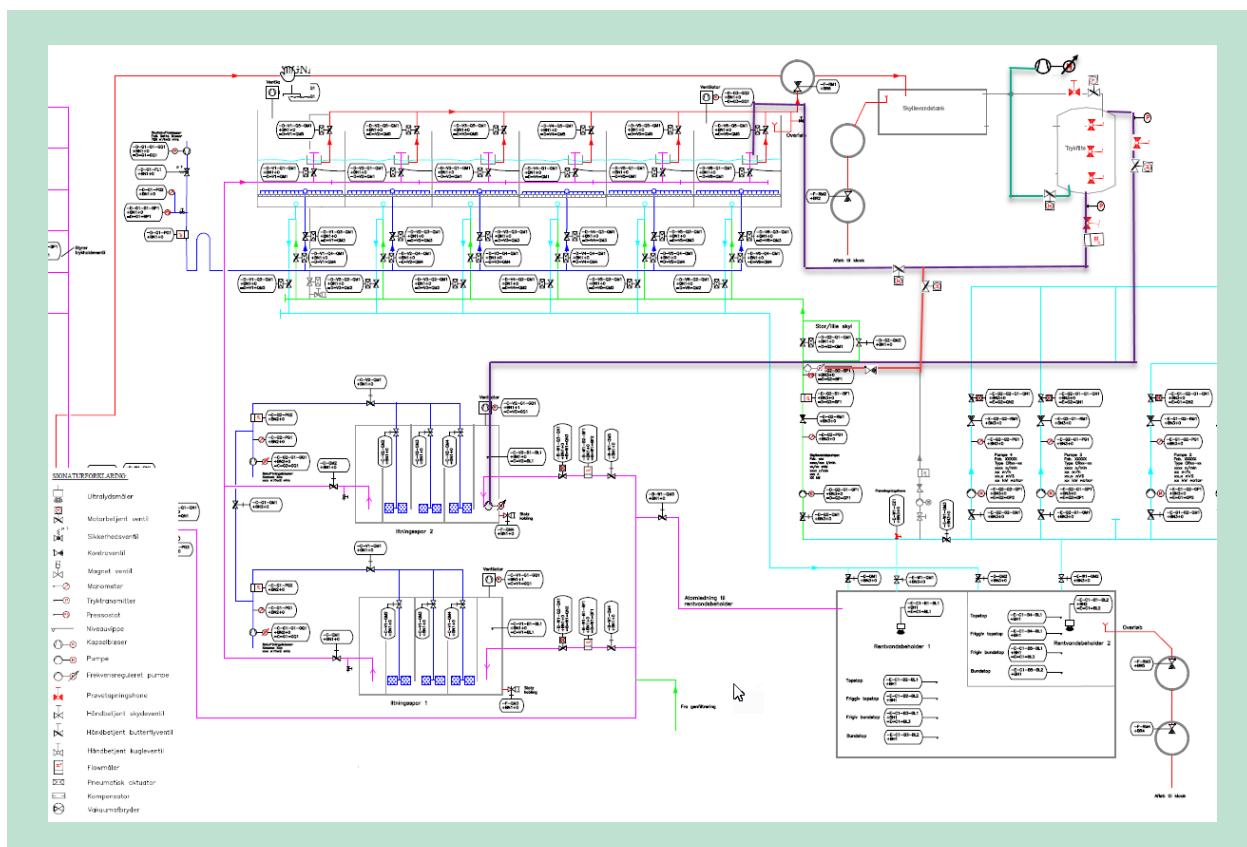
- Filterets størrelse har betydning for filterets kapacitet. Erfaringerne med testkolonnen har indgået i dimensioneringen af demo-filteret i form af modelberegningerne på jernfjernelsen. Filteret er dimensioneret til at kunne fjerne jern ved max 80 m³/t (440 m³/t delt med 6 filtre som er 73 m³/t).
- Filterskyllet fungerede ikke optimalt under driften med testkolonnen under forsøgene, og det skal optimeres i fuldskalademonstrationsanlægget baseret på erfaringer fra pilotkolonnerne. Igennem forsøg er det erfaret, at skyl med både luft og vand er mest effektivt i forhold til at kunne fjerne mest muligt af jernudfældningerne i filteret. Det har derfor været vigtigt, at Smartfilter-Fe kan skylle med både vand og luft samtidigt. Det er vigtigt, at der kan reguleres og måles på begge dele for at sikre resultater og finde den bedste sammensætning af skyllet. Tidsangivelsen af sekvenserne i SCADA-systemet for hver sekvens af flow af luft og vand fastsættes på hvert trin. En sekvens springes over, hvis den sættes til 0 sekunder. Der skal kunne måles på både luft- og vandflow under forsøgene for at kunne teste parametrene til et optimalt filterskyl. Sekvenser skal gerne kunne gentages.
- Der er lavet tests med holdbarheden af filtermaterialerne i forhold til at vurdere om de fysiske påvirkninger, som filterkornene udsættes for under filterskyl, vil kunne ødelægge/slide på filterkornene. Erfaringerne er, at E-Clay ikke har så god holdbarhed som f.eks. kvarts eller antracit, men det forventes at det til gengæld har gode evner til at udfælde jern på. Derfor ønskes dette materiale testet af i fuldskalakolonnen.
- Der er lavet tests med forskellige filtermaterialer til jernfjernelse i pilotkolonner. Erfaringerne er, at E-Clay har gode evner til at udfælde jernoxider. Der er derfor valgt

dette filtermateriale til Smartfilter-Fe-kolonnen. Der er lagt et filterlag på 100 cm E-Clay i en kornstørrelse på 2 – 4 mm.

- Der har været overvejelser omkring forskellige filterbunde. Ønsket har været at kunne fjerne bærelag, da disse har meget begrænset renseeffekt i forhold til selve filtermaterialet, og der ønskes så kompakt et filter med så lav en størrelse som muligt. Samtidig er det et ønske at kunne have filterskyl med både luft og vand samtidig, hvilket stiller krav til filterbunden. I praksis har det dog vist sig svært at undvære bærelag i forsøgsfilteret på Østerbyværket, da der har været ønske om, at filterbunden ikke giver væsentlige tryktab og dermed har et højt gennemstrømningsareal. Dette har sammen med slidestørrelserne i luftharpen medført et behov for et mindre bærelag på 10 cm lige over filterbunden og omkring luftharpen. For at sikre en god og ensartet vandgennemstrømning igennem bærelaget, er dette udført med glaskugler (3,8 – 4,4 mm).
- Det er søgt at reducere fribordet og bedhøjden så meget som muligt gennem test af en anordning, som kan sikre, at filtermaterialer ikke skylles ud af filteret selv under kraftige filterskyl. Kraftige filterskyl har til hensigt at sikre en effektiv fjernelse af filterkornenes jerncoating under filterskyl og modvirke voksende filtre. Løsningens effektivitet er undersøgt gennem tests.
- Hensigten med et fuldskaladesign er dels at gentage modellerede resultater og resultaterne i lille skala og samtidig prøve at vurdere langtidseffekterne. Dette kræver mulighed for at kunne måle og justere på forholdene.
- Det er muligt at kunne foretage reguleringer af iltindholdet via iltningssporet, men der er dog ikke foretaget væsentlige ændringer af beluftningen under forsøgene. Det er dog sikret under forsøgene, at der er rigeligt med ilt til stede til at kunne drive vandbehandlingsprocesserne. I praksis har iltindholdet ikke været under 6 mg/l ved tilgang Smartfilter-Fe (forsøgsfilteret).
- Det er gjort muligt at udtage vandprøver og filtermaterialeprøver i filteret i forskellige niveauer i filteret for f.eks. at kunne vurdere filterets filtreringsevne. Samme haner kunne anvendes til vandprøvetagning og har periodisk været rengjort løbende pga. udfældende jernoxider under drift.
- Der er etableret prøvehaner på tilgang og afgang fra filteret til dels udtagning af enkeltprøver og dels til at kunne måle online. Der er også sikret mulighed for at udtage prøver af skyllevandet under filterskyl.
- Det har også været en målsætning at kunne vurdere, om der skylles filtermaterialer ud under skyl, og løsningen er derfor også designet til at kunne vurdere dette. Der er lavet mulighed for at kunne føre skyllevandet ud af systemet for at kunne vurdere dette.
- Systemet er designet til at der kan skylles med luft, vand samt luft og vand samtidig. Der er etableret en separat luftharpe placeret lige over filterbunden.
- Der er lavet mulighed for at filterskyllets parametre kan justeres med sekvensens varighed, samt justere luftflow og vandflow. Varighed indgår som justeringsparametre i SCADA-systemet (SRO).
- Der er målt turbiditet på rentvand fra filterkolonnen. Herved kan effektiviteten af vandbehandlingen i filteret både i normal drift og lige efter filterskyllet vurderes.
- Der er installeret flowmålere på både luftskyl og vandskyl for at kunne måle og styre luft- og vandflow under skyl (Design). Luftflowmåleren er uden dataopsamling.
- Der er etableret trykmåling på både tilgang og afgang fra forsøgsfilteret, for at vurdere hvornår filteret skal skylles og for at måle tryktabsopbygningen i filteret som følge af afsætningen af jern.

3. Design af demoanlæg

Designforslaget indeholder henholdsvis jernfjernelsen på et nyt trykfilter samt fjernelsen af mangan og ammonium i et eksisterende gravitationsfilter (filter 6) på Østerbyværket. Vi har i denne løsning ønsket at sikre dels en højere grad af automation (automatisk filterskyl for at reducere arbejdstimer på driften af anlægget), online sensorer (trykmålinger, vand- og luftflowmålinger samt turbiditet) og mulighed for regulerbarhed. I de følgende afsnit angives en række designvalg forudgående forsøgets igangsættelse.



FIGUR 2. Pl diagram som illustrerer både vandværk og forsøgsfilteret.

3.1 Beskrivelse af demonstrationsløsningen på Østerbyværket

Hensigten har været at designe et nyt Smartfilter-Fe, som kombineres med filter 6, som anvendes til at fjerne ammonium, nitrit og mangan. Råvandet tages fra iltningssporet via dykpumpe som er regulerbar med en frekvensomformer til det ønskede niveau.

3.1.1 Smartfilter-Fe

Filteret er placeret i værkstedet på Østerby, da mulighederne for at få et filter ind på den placering var ret gode, da der er en stor dobbeltdør. Filteret er dog transporteret ind i bygningen liggende for efterfølgende at blive rejst op indenfor. Der er anvendt nedenstående dimensioneringsgrundlag.

3.1.1.1 Flow

AV kunne godt få gavn af en forøget produktion på Østerbyværket. AV ønsker, at værket producerer 440 m³/t. Hvis vi deler dette med 6 filtre, får vi et ønsket maksimal flow på et filter på 73 m³/t, hvor et dagligt flow ligger omkring 30 m³/t. I SmartFilter-Fe projektet hævede vi flowet

fra 27 til 55 m³/t, men vi var af den klare overbevisning, at det eksisterende filter kunne klare endnu højere flow og stadig fjerne jern og mangan. Med et filterareal på de eksisterende filtre på 14,75 m², giver et flow på 73 m³/t en filterhastighed på 4,9 m/t. For at have mulighed for at belaste det eksisterende filter endnu mere, er der derfor aftalt et maksimalt flow på 80 m³/t, hvilket svarer til en flowhastighed på 5,4 m/t.

3.1.1.2 Filterdiameter

For at opnå en dybdefiltrering og samtidig opnå så lille et areal footprint som muligt, er der anvendt en dimensioneringsfilterhastighed på det nye forfilter på 20 m/t. Det skal bemærkes, at vi ikke har kørt med så hurtigt et flow i SmartFilter-Fe projektet, og at vi i forsøget skal bruge et andet filtermedie – så der har været nogle usikkerheder, som vi ikke helt har kendt konsekvenserne af. Med et flow på 80 m³/t fås et filterareal på 4 m², svarende til en filterdiameter på 2,3 m. Det har vist sig, at der kun kunne komme et filter med en diameter på 2,0 m ind i bygningen, og derfor er det valgt som filterdiameter. Denne løsning giver et filterareal på 3,14 m², men det er en acceptabel løsning og vil formodentlig også give mulighed for at se, hvor meget Smartfilter-Fe løsningen kan yde.

3.1.1.3 Filtermedie

Vi testede 3-5 mm kvarts ved det tidligere SmartFilter-Fe projekt på et ombygget genbrugsfilter på Østerby. Det var indtrykket, at trykstigningen var acceptabel til trods for, at skylleprocessen ikke var særlig god, hvorfor 3-5 mm er rigelig stor. Til gengæld, nåede vi ikke helt op i de filterhastigheder, som vores nuværende demonstration skal, hvorfor 3-5 mm måske burde være forsøget. Men for at øge mulighederne for at kunne fluidiseret materialet under returskyl, har vi valgt at reducere kornstørrelsen. Som et kompromis, er det valgt at anvende filtermediet 2-4 mm E-clay. Slidtest har vist, at materialet ikke er så bestandigt som eksempelvis kvarts og antracit, men det forventes at have gode egenskaber til at kunne udfælde jernoxider på overfladen, så det er et aktivt valg at teste materialet på trods af, at der er mere bestandige filtermaterialer.

3.1.1.4 Bedhøjde

Der er i tidligere forsøg anvendt en bedhøjde på 1,0 m i SmartFilter-Fe projektet. Der kunne godt have været brugt lidt mere, da der var noget gennembrud af jern til biofilteret. Samtidigt er det en målsætning, at bedet kan fluidiseres. Der er anvendt 1,2 m filterlagshøjde (eksklusiv de ca. 10 cm bærelag). Bærelaget udgøres som tidligere nævnt af glaskugler. Baggrunden for valg af glaskugler som bærelag er, at glaskuglers overflade er glatte og ret bestandige overfor udfældning af jernoxider, hvilket ikke er hensigtsmæssigt i bærelaget, da dele af bærelaget ikke skylles. Dette skyldes, at filterskyllet ikke designes til at bærelaget også skylles pga. placeringen af luftharpen midt i bærelaget.

3.1.1.5 Fribord

I demonstrationsforsøget er der planlagt fluidisering af et let materiale, og der anvendes et udvidet luft-og-vand skyl for at få en aggressiv rensning og fjernelse af jern fra filtermaterialerne. Derfor er fribordet i designet tænkt at være lille. Der er valgt en løsning, hvor der er placeret en anordning på skyllevandsrøret, hvor E-clay slynges op af luft-og-vand skyl (eller fluidisering med vand-alene) og ikke skylles ud. Traditionelt designes efter et fribord på ca. 60 cm, men i det valgte design er fribordet ca. 40 cm.

3.1.1.6 Ledeplade til tilbageholdelse af filtermedie under kraftigt skyl

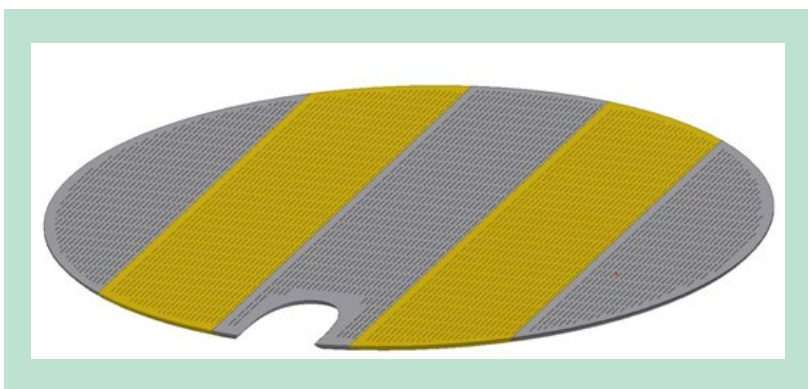
Vand og Teknik har udviklet en løsning som reducerer risikoen for at der skylles filtermaterialer ud under skyl. Ledepladeanordningen skal gøre det muligt at køre meget kraftige skyl, uden at der mistes filtermaterialer. Denne ledepladeanordning er fastgjort til skyllevandsudløbet.



FIGUR 3. Ledepladens placering i forsøgsfilteret.

3.1.1.7 Filterbund

Der er designet en ny filterbundsløsning, som er placeret ovenpå en traditionel filterbund. Denne filterbund er udarbejdet med slidseåbninger som et Johnsonfilter, hvilket udmærker sig ved at sikre en god fordeling af vand og samtidig med et lavt tryktab. Løsningen er designet sådan, at det kan komme ind i filteret i mindre stykker og det samles og fastgøres til en traditionel dysebund, som bærer den nye filterbund og de overliggende filtermaterialer. Løsningen er udviklet i et samarbejde mellem Vand og Teknik og Rotek. Slidsestørrelsen på Johnsonfilteret er på 1 mm.



FIGUR 4. Illustration af filterbundens design.

3.1.1.8 Bærelag

Det har vist sig nødvendigt med et bærelag i filterdesignet. Ideen med bærelaget er, at det har en større densitet end filtermediet for at formindske, at bærelaget skydes op i filtret under lille skyl. Et filtermedium med lille uensformighedstal medfører en højere permeabilitet, som er en ønsket egenskab for et bærelag. Endelig har det været et ønske, at bærelaget skal have så

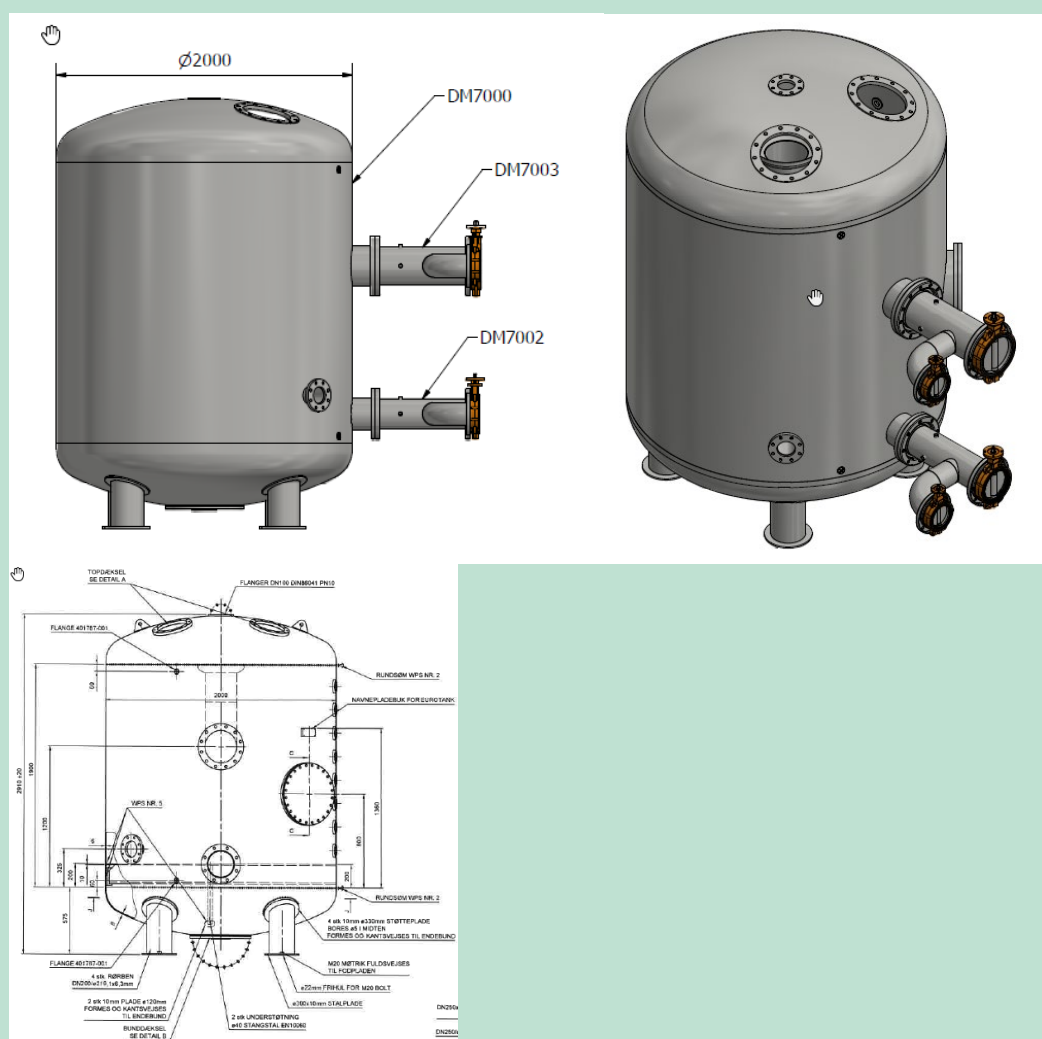
lille et overfladeareal som muligt – dels for at give mindre friktion ved skyl og dels for at give mindre areal til afsætning af jernoxider. Alle disse designmålsætninger har været opfyldt af en løsning med glaskugler. Da dette filtermedie ikke tidligere er prøvet som bærelag i Danmark, har vi haft mulighed for at få erfaringer med denne løsning. Der er anvendt et 10 cm bærelag af glaskugler SiLibeads® FM XXL (Sigmund Lindner, Warmensteinach, Tyskland) i størrelse 3.8 – 4.4 mm.

3.1.1.9 Luftharpe

Luftharpen er udført i rustfrit stål og lufrørene er udført i PVC med huller i til fordeling af luften i filteret under luftsyl. Luftharpen er placeret i bærelagene.

3.1.1.10 Filter

På nedenstående FIGUR 5 er forsøgsfilteret og tilhørende rør- og ventilarrangement på Østerbyværket vist. Til- og afgangsrør til vand er udført i DN200, mens lufttilførslen er udført i DN100.



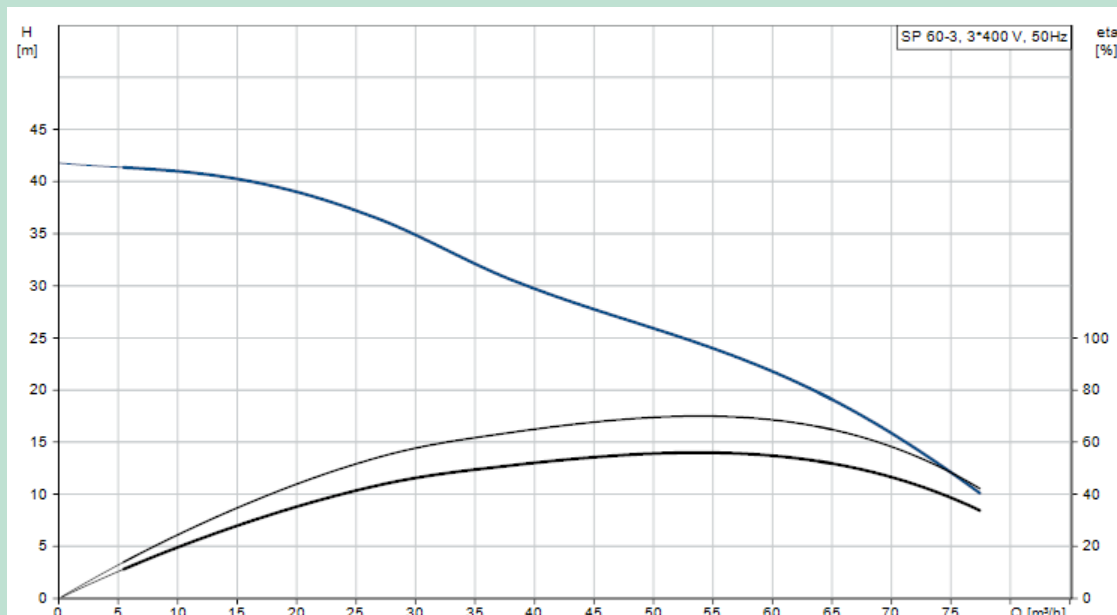
FIGUR 5. Forsøgsfilterets konstruktion og opbygning.

3.1.2 Råvandsforsyning til Smartfilter-Fe

Råvandsforsyningen til testfilteret er sket via en dykpumpe placeret i det eksisterende iltningspor, hvorfra det iltholdige vand er tilført Smartfilter-Fe. Styringen af flow til filteret er sket via

en frekvensomformer (via SCADA). Drift af dykpumpen har været betinget af, at der er nok råvand i iltningssporet, og derfor startes pumpen først, når der er tilstrækkelig drift på boringerne på kildepladsen. Herved kører filteret sammen med den drift, som der er på vandværkets øvrige filtre, og driften af filteret vil derfor kunne sammenlignes med den normale drift.

Der er etableret en dykpumpe (Grundfos SP60-3) i iltningssporet, som er styret med en frekvensomformer. QH-kurve for en Grundfos SP60-3 ses herunder:



FIGUR 6. Q-h kurve for dykpumpen i iltningssporet.

Det ses, at pumpen nominelt kan levere lidt mere end 75 m³/t, såfremt at modtrykket er ret lavt og ligger tæt på de ønskede 80 m³/t. Det har forudsat et lavt ledningstab i dimensioneringen, og rørføringen udført i DN80 ligger i den lave ende i forhold til at sikre et lavt tryktab under drift med fuld kapacitet.

Iltningen af vandet foretages af de normale styringsprocesser på vandværket. Ønsket iltindhold til normal drift er mellem 5 – 9 mg/l. Hvis man vil fremme biologisk jernfjernelse kan det være en fordel at sænke iltindholdet til 1-3 mg/L. Iltindholdet er under forsøgene tilført vandet i iltningssporet via tallerkenbeluftere.

3.1.3 Rørføring fra Smartfilter-Fe til filter 6

Rørføringen fra Smartfilter-Fe til filter 6 er delvist fælles med skyllevandspumpen og er udført i DN125, hvilket medfører et flow 1,8 m/s ved 80 m³/t.

3.1.4 Filterskyl

I det følgende beskrives komponenter til filterskyl, herunder skylleluft, skyllevand og rørføringer.

3.1.4.1 Skylleluftsflow

Der er ikke fremkommet et vidensgrundlag til at ændre på sædvanlig dimensioneringspraksis for skylleluft hastighed på 60 m/t, da dette ikke er undersøgt nærmere. Ved et filter på 3,14 m² fås derved et skylleluftsflow på 189 m³/t. Der kan formentlig bruges samme flow til lille skyl. Der er genbrugt en blæser på Østerbyværket, som netop er erstattet af en anden blæser. Blæserens data er:

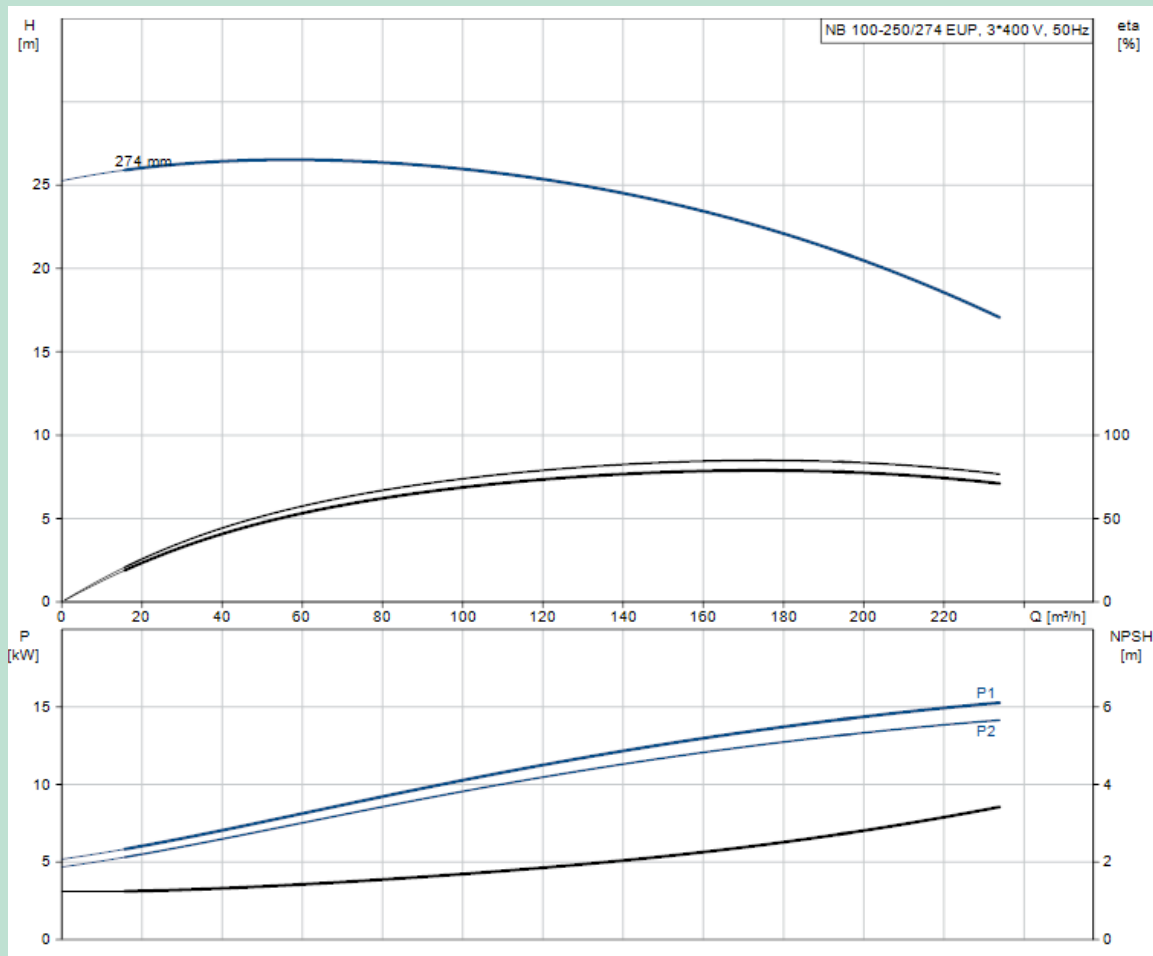
TABEL 1. Data på skylleblæser.

Fabriksdata på blæser til skylleluft	
Fabrikat	HV-Turbo
Type	BLW 65-1A
Kapacitet	200 m ³ /t ved 5 mVS
Motor	5,5 kW, 3 x 400 V og 3000 m/min

Det nominelle luftflow er på 200 m³/t og er større end de ønskede 189 m³/t. Kombineret med en frekvensomformer vil blæseren kunne reguleres til at levere det ønskede luftflow. Den eksisterende frekvensomformer er fortsat funktionsdygtig og kan derfor anvendes sammen med blæseren.

3.1.4.2 Skyllévandsflow

Skyllévandsflowet skal give mulighed for fluidisering af E-clay fyldet. 40 m/t virker som en fornuftigt skyllévands hastighed og med et filterareal på 3,14 m² fås en pumpeydelse, der kan give et skyllévandsflow på 126 m³/t. For at sikre et lille overskud er der valgt en dimensioneringskapacitet på 200 m³/t. Der er indkøbt en tilhørende frekvensomformer, men det har under nogle af de udførte test (Ø2) vist sig, at frekvensomformeren ikke levede mulighed for at komme helt ned i den lave ende af de ønskede kapaciteter. Derfor blev det et stykke inde i forsøgsrækken, valgt at lave et bypass i en mindre dimension for at introducere et tryktab, som kunne reducere pumpens flow ud over det frekvensomformeren kunne levere. Forsøgene skal bl.a. fastlægge kapaciteten af et effektivt lille skyl, hvor filterkornene bearbejdes maksimalt uden at blive skyllet ud af filteret. Herved kan der fjernes mest muligt okker. Der er indkøbt en ny pumpe, som er dimensioneret til behovet. Vi har i samarbejde med Vand og Teknik og Grundfos fundet en Grundfos NB 100-250/274 EUP med frekvensomformer og en tilhørende kontraventil, som sikrer mod tilbageløb.



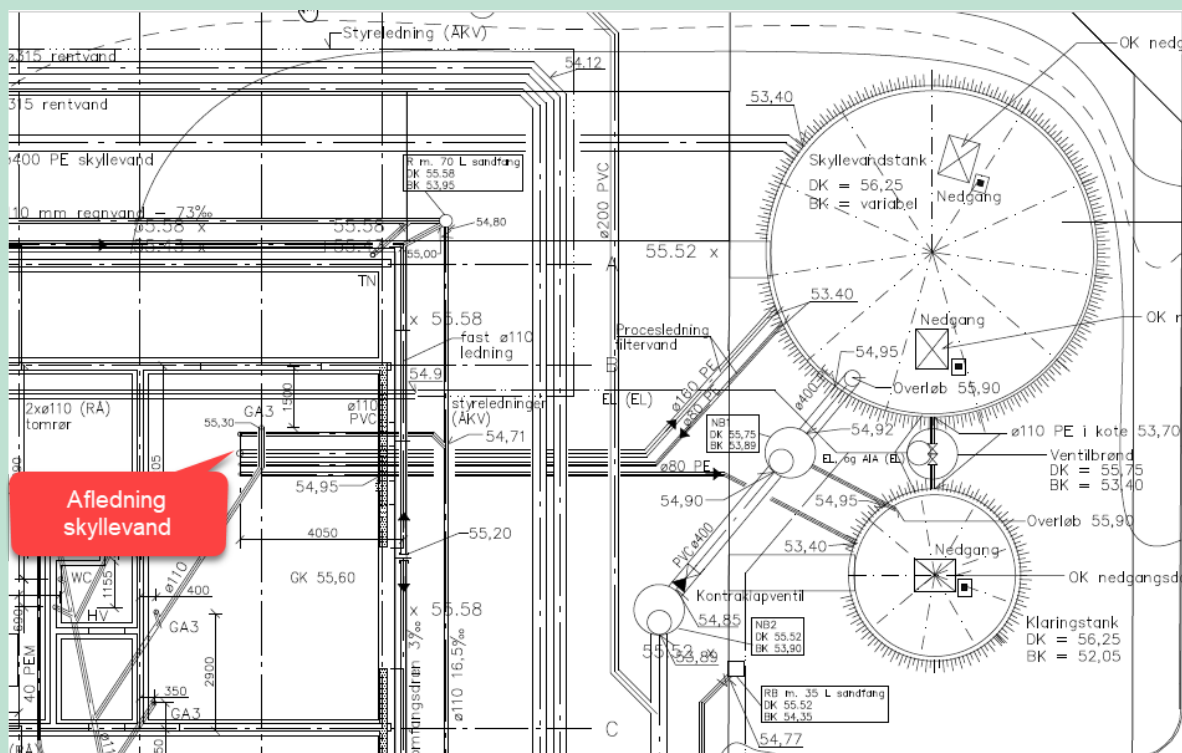
FIGUR 7. Q-h kurve for skyllevandspumpe.

Den pumpe bør kunne levere både flow til stort og lille skyl.

3.1.4.3 Rørføring for skyllevand

Der anvendes fælles rørføring til de to skyllevandspumper, og kapaciteten til det store skyl er dimensionsgivende for skyllevandsledningen. Der er anvendt en eksisterende DN125 ledning fra skyllevandspumpen til filterets placering i værkstedet.

Afledningen af skyllevand fra filteret sker via en tilkobling af skyllevandsledningen fra filteret til to afløb i gulvet som leder skyllevandet til fældebeholderen udenfor vandværket. Dog er det, af hensyn til muligheden for at kontrollere at der ikke skylles filtermaterialer ud af filteret under skyl, nødvendigt at kunne lede skyllevandet igennem andre rør/slanger, og undersøge om skyllevandet indeholder filtermaterialer. Dvs., at der er indsat et T med tilhørende ventiler, som kan anvendes under forsøg Ø2 for afdækning af, om der skylles filtermaterialer ud under skyl. På FIGUR 8 ses ledningerne til afledning af skyllevand (Ø160 mm, Ø80 mm og Ø80 mm):



FIGUR 8. Tegning som illustrerer gulvfløbenes rørføring til fældebeholder.

3.2 Kortfattet styringsbeskrivelse

Vandforsyningen til Smartfilter-Fe forsynes via en dykpumpe i iltningssporet, som er styret via en frekvensomformer. Flow kan styres og reguleres med et setpunkt for en procentsats. Ved stigende modtryk i filteret vil pumpens flow reduceres med stigende modtryk. Der er observeret flowreduktion på ca. 2 – 5 m³/t, som ses sidst i gangtiderne. Pumpen starter op automatisk, når det ønskede flow til Smartfilter-Fe er mindre end det flow, som ledes til de to iltningsspor samlet (de er udlignet ved afgang fra filtrene). Dvs., at når kildepladsen starter op, skal forsyningen med vand til Smartfilter-Fe også starte op, og når kildepladsen lukker ned, skal dykpumpen også lukke ned og forsyningen til Smartfilter-Fe stopper. I praksis betyder det, at driften af smartfilter følger vandværkets øvrige drift af filtre.

Iltning foretages i iltningssporet via blæser til et indhold på ca. 6 - 7 mg/l. Iltningsstyringen sikrer et fast iltindhold til vandværksdriften. Iltindholdet er ikke overvåget.

Filterskylningen af Smartfilter er foretaget efter følgende metoder: 1. Tid (4 døgn), og 2. Antal m³ gennem filteret (2.500 m³). I praksis har det været antal m³, som har styret filterskylningen og den indsatte tid i skylleprogrammet har udelukkende været indsat som en sikkerhed. Selve filterskyllesekvensen har indeholdt de traditionelle elementer (stop af pumpe, neddræning, åbning til kloak, start af blæser, start af lille skyl og stop af kapselblæser, stort skyl og stop af skyl og normalisering af ventilstilling. Der er dog under forsøgene eksperimenteret med forskellige sekvenser og sammensætninger af skyl, som behandles under forsøgsbeskrivelserne senere i rapporten.

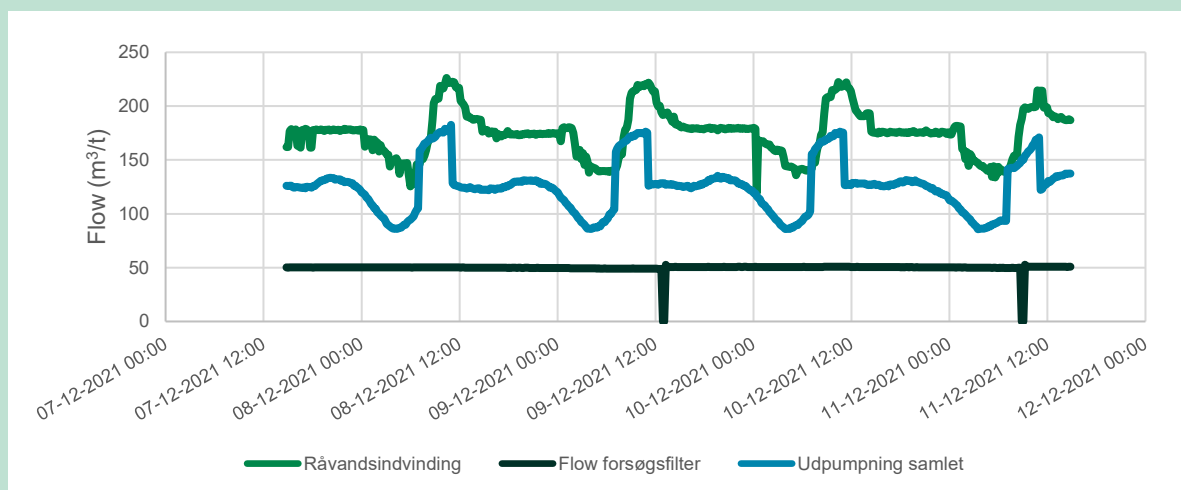
Alle sensorer har været opsat og koblet til SCADA-systemet, og der er foretaget dataopsamling på de registrerede vandflow, tryk, turbiditet, mv.

3.3 Kildeplads- og filterdrift i forsøgsperioden

Styringen af filterets drift har været udformet således, at filterets flow er startet når indvindingen på kildepladsen kommer over et bestemt niveau. Baggrunden er, at det skal undgås, at iltningssporet tømmes for vand såfremt vandmængden til filteret overstiger kildepladsindvindingen.

Oppumpningen på kildepladsen er styret primært af udpumpningen på vandværket med en korrektion for, hvor meget vand der er i beholderen (se FIGUR 9).

Boringerne kobles ind én for én som behovet for råvand øges. Der køres en gradvis indregulering af boringerne ved stigende flowdemand, sådan at pumperne kommer ind i drift én for én, og når de er ved at være fuldt indregulerede, reduceres sidste pumpe en smule for at kunne tage en ny boring med i drift. I forhold til at give en stabil kemisk sammensætning er det måske ikke ideelt, men det er performancevurderingen at demonstrationsfilteret forbedres af, at vi har et referencefilter, som kan tjene til sammenligning af behandlingsparametrenes udvikling under drift.



FIGUR 9. Driftsdata for både kildepladsdrift og forsøgsfilterdrift.

Det har til en vis grad været muligt at skabe et stabilt flow på filteret, men der har af og til været perioder, hvor flow kommer under grænsen for, at der er kommet vand nok til at forsyne filteret. Dette har forekommet mest i den periode, hvor vandet fra forsøgsfilteret har været ledt til filter 6, som har fungeret som biofilter i forsøgsperioden.

Desuden har der været variationer i hvilke boringer, der har været i drift i forsøgsperioden, og det betyder også, at der vil forekomme variationer i vandkemien. Der ses ikke store variationer i vandkemien over tid, men over døgnet sker der ændringer med baggrund i, at behovet for vand fra vandværket varierer.

Konklusionen for kildepladsdriften under forsøget er derfor:

- Der har forekommet perioder med lav oppumpning på kildepladsen, og indvindingen har stoppet om natten i perioder.
- Den kemiske sammensætning vil kunne variere en smule under testperioden, da der ikke ses samme konstante fordeling mellem boringernes indvinding.

4. Undersøgelser

Der er udført syv forskellige undersøgelser i forbindelse med indkøring og drift af den nye vandbehandlingslinje på Østerbyværket:

- Ø1 Bedekspansion: Undersøgelser af hvordan der opnås en bedekspansion under skyl.
- Ø2 Ledepladens funktion: Ledepladen skal sikre, at filtermaterialerne kan skylles meget kraftigt, uden at der skylles filtermaterialer ud af filteret.
- Ø3 Indkøring af jern: Filterets indkøring skal dokumenteres.
- Ø4 Flowets betydning for dybdefiltrering på nyt forfilter: Det skal verificeres, at der foregår dybdefiltrering i Smartfilter-Fe.
- Ø5 Effekt på efterfilter: Indsætningen af et Smartfilter-Fe medfører, at jernfjernelsen ikke længere skal foretages i det eksisterende filter 6. Det giver basis for en øget kapacitet i forhold til ammonium- og manganfjernelse, og denne måles før og efter indsætningen af Smartfilter-Fe.
- Ø6 Skylleeffektivitet på forfilter: Der skal identificeres parametre (luft- og/eller vandflow) for et effektivt filterskyl.
- Ø7 Undersøgelse af filteret og filtermediets tilstand efter længere tids drift. Denne sidste arbejdsopgave er tilføjet som en del af kvalitetssikringen af hele forsøgsrækken.

I det følgende er der en beskrivelse af de enkelte forsøg og forsøgsresultater.

4.1 Ø1. Bedekspansion under vandskyl

Baggrund

For at sikre en god rensning af filtermediet i forfiltret, var det ønsket at teste, om der kan opnås fluidisering af filtermediet (E-clay) under skyl med vand alene (dvs. "stort skyl").

Formål

At fastlægge bedekspansion af E-clay som funktion af flowhastighed af returskyllets vandskylletrin.

Tidsforløb

4. oktober 2021: Påfyldning af bærelag og filtermaterialer (E-clay, 2-4 mm)

8. november 2021: Påfyldning af vand fra rentvandstanken

8. – 10. november 2021: Filtermediet sat i blød

10. november og den 29. november 2021: Bedekspansionsforsøg foretaget med nyt medie (udført inden almindelig drift påbegyndt). Anden session gennemført med skyllevandspumpe kørt med overfrekvens for at opnå maksimalt flow med det anvendte udstyr.

Anlægsforhold

Der blev designet et pibeorgel, som forankres til mandedækslet i toppen af filteret, se FIGUR 10. Pibeorglet tjener til at kunne måle ekspansionen af filtermaterialerne under skyl med vand og luft (lille skyl) og stort skyl (vand alene). Pibeorglet er blevet designet til at kunne sættes ned i et lukket filter, og det er derfor udført med en rund form med opsamlingsrørene langs kanten for at have ens mulighed for, at filterkornene kan falde ned i rørene. Pibeorglet er udformet således, at det er fastgjort til dækslet, men er alligevel gjort så fleksibelt, at det kan sænkes ned på filteroverfladen inden start af tests. For at sikre mindst mulig påvirkning af strømningen omkring pibeorglets bund, er bunden gennemhullet, således at luft og vand kan trænge op gennem bundpladens centrale del.



FIGUR 10. Foto af pibeorgelet inden isætning og med det tilhørende dæksel.

Ledepladen var placeret i filteret under forsøgene, men forventes ikke at have den store påvirkning på det store skyl, som testes i forsøg Ø1.

Forsøgsforhold

Filteret har et areal på $3,14 \text{ m}^2$, som er anvendt til at beregne hastighederne i filteret. De beregnede hastigheder er således ikke porevandshastigheder, da der ikke er kompenseret for filterkornenes volumen. Forsøget blev udført før tilledning af råvand til det nye forfilter, og det er således filterkorn uden okkerbelægninger, der er testet under forsøget. Der er foretaget tests med forskellige skyllevandshastigheder med vand, som er gradvist forøget, og forsøgene har været foretaget med 5 minutters varighed, hvor der er skyllet med vand alene. For hvert af forsøgene undersøges bedekspansionen via pibeorglet. Dvs., at der er målt hvor mange filterkorn, som er faldet ned i pibeorglets forskellige rør. Både højden af de enkelte rør og mængden af filtermateriale i hvert rør anvendes som et mål for filtermaterialets ekspansion under skyl. Der er anvendt skyllevand fra rentvandsbeholderen på Østerbyværket og skyllevandet er ledt til kloak.

Resultater og diskussion

Resultaterne af forsøgene med bedekspansion under varierende skyllevandsflow er vist i nedenstående FIGUR 11.

Dato	Varighed	Skyllevandsflow m ³ /t	Skyllevands hastighed m/t	Tryk under filterbund bar	Tryk i bærelag bar	Trykforskel over bar	Pibeorgel										Bemærkninger
							5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm	30 cm	35 cm	40 cm	45 cm	50 cm	
10-11-2021	00:05:00	95	30,3				Korn	Korn	Korn	Korn	Korn	Korn	Korn	Korn	Korn	Korn	Her skylles der reelt kun fines og filterkorn med atypisk densitet ud. Men det er tydeligt at det øgede flow medfører at fines skylles ud.
10-11-2021	00:05:00	112	35,7				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10-11-2021	00:05:00	140	44,6				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10-11-2021	00:05:00	160	51,0				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10-11-2021	00:05:00	180	57,3				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10-11-2021	00:05:00	200	63,7	0,21	-	-	Fines	3	-	-	-	-	-	-	-	-	Bedeekspansion < 5 %
10-11-2021	00:05:00	232	73,9	0,37	-	-	3 mm fines	1 mm fines	1 mm fines	0,5 mm fines	0,25 mm fines	-	-	-	-	-	
29-11-2021	00:05:00	190	60,5	0,26	0,21	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
29-11-2021	00:07:00	230	73,2	0,36	0,30	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
29-11-2021	00:05:00	250	79,6	0,48	0,42	0,06	8	1	-	-	-	-	-	-	-	-	

FIGUR 11. Resultater fra forsøg med bedekspansion.

Det ses, at det med de anvendte kapaciteter i forsøget ikke har været muligt at opnå den ønskede filterekspansion på 20 %, til trods for at skyllevandspumpen egentlig er overdimensioneret i forhold til første estimat på hastighederne. Forsøgene er foretaget ad to omgange (10/11 2021 og 29/11 2021). Forsøgene på den sidstnævnte dato blev foretaget, hvor skyllevandspumpen kørte overfrekvens (dvs. > 50 Hz) for at øge kapaciteten under forsøgene mest muligt med det anvendte udstyr, hvilket dog viste sig kun at have begrænset effekt, da det maksimale skyllevandsflow kun blev øget til 250 m³/t (skyllevandshastighed = 79,6 m/t).

Det har med de anvendte skyllevandshastigheder kun givet en begrænset filterekspansion på under 5 % med de 250 m³/t (79,6 m/t). Der er kun set få filterkorn i 5 cm røret ved sidste filterforsøg. I forsøget udført den 10/11 2021 blev der observeret fines (dvs. finere dele af filtermaterialet) under en del af forsøgene. Det skal ikke betragtes som et egentlig mål for filterekspansion, men har baggrund i at filtermaterialet har indeholdt en andel af mindre kornstørrelser, som pga. den mindre kornstørrelsesdiameter fluidiseres ved lavere skyllevandshastigheder end den øvrige del af filtermaterialet. Det tyder således på, at kornstørrelsesdiameteren er en væsentlig parameter, hvilket også betragtes som en af de styrende parametre for filterekspansion i litteraturen. Det har nok større betydning end filtermaterialets densitet, som ellers var tænkt at kunne have stor betydning for muligheden for filterekspansion.



FIGUR 12. Fotos der illustrerer pibeorglet efter forsøgene henholdsvis uden filtermaterialer og med fines i nogle af rørene.

E-clay er et lettere filtermedie, og dette har været taget i betragtning i dimensioneringen af skyllevandspumpen. Det ses dog ved forsøget, at betydningen af filtermaterialets densitet nok desværre er overvurderet, da der stort set ikke har kunnet opnås nogen betydelig filterekspansion under forsøget. Det er til trods for, at der faktisk er anvendt ret store kapaciteter med den anvendte skyllevandspumpe. Et argument for at søge mod de 20 % filterekspansion og hermed høje skyllekapaciteter kan være, at det ville udfordre en stor del af det eksisterende udstyr på vandværkerne til filterskylning (dvs. pumpekapacitet og rørføring), men det vil også udfordre en af projektets målsætninger om at kunne spare skyllevand. Forsøget har ret tydeligt indikeret, at der nok ikke er ret mange danske vandværker, som har en væsentlig filterekspansion under filterskyl. Det virker også urealistisk at kunne opnå dette uden væsentlig forøgelse af skyllevandsforbruget, hvor et af fokuselementerne i projektet jo netop er at reducere dette.

Konklusionen på forsøget er, at vi ikke ser det som realistisk at opnå 20 % filterekspansion uden at øge vandforbruget til filterskylningen. Dette er ikke foreneligt med projektets målsætning, og det fastholdes derfor, at holde skyl med vand alene indenfor mere realistiske skyllehaastigheder på 40 – 65 m/t svarende til det udstyr, som på de fleste eksisterende vandværker er opsat. Senere forsøg vil afgøre varigheden af det store skyl (vand alene) sammen med skyllets andre sekvenser (dvs. skylleluft alene samt "lille skyl"). En løsningsmulighed kunne være at anvende en mindre kornstørrelse for at opnå ekspansion. Dette vil dog være på bekostning af kortere gangtider.

4.2 Ø2. Ledepladens funktion i nyt forfilter

Baggrund

Det nye forfilter på Østerby har til hensigt at fjerne jern. Det er derfor stærkt belastet med jernudfældninger, og skal derfor skylles meget grundigt. Den mest aggressive skyllemetode er afdækket gennem tidligere forsøg, og det har vist sig at være skyl med vand-og-luft samtidig. Ved at bruge et lettere filtermedie som E-clay er der risiko for at filtermedie skylles ud fra filtret pga. en kraftig påvirkning af filtermaterialet under skyl. Da det er valgt at udføre "lille skyl" med lang varighed (for at sikre en effektiv fjernelse af jerncoating på mediekornene), er der vurderet et behov for en ledepladeanordning i filtret, der sikrer at filterkorn, der slynges op af luftboblerne, returneres til toppen af filtret i stedet for at skylles ud under lille skyl.

Formål

Formålet med dette forsøg er at fastlægge, om den udviklede ledeplade i det nye forfilter kan forhindre filtermediet i at blive skyllet ud under lille skyl og stadig have en maksimal skylleeffektivitet ved at der kan skylles så kraftigt som muligt. Intentionen er således at fastlægge hvor stort luftflow og vandflow skyllet kan foretages med, uden at filtermaterialet skylles ud.

Tidsforløb

Ø2 blev udført d. 29. november 2021 og forsøgsrækken blev gennemført med ledepladen monteret i filteret.

Opstilling

En palletank til at modtage skyllevand blev opstillet. Der blev etableret et overløb i palletanken for at kunne aflede overskydende skyllevand og stadig fastholde eventuelt udskyllede filtermaterialer i palletanken. Hensigten er, at udskyllet filtermateriale fanges i palletanken, og derved kan man måle mængden af det filtermateriale, som skylles ud. Det giver et billede af hvor kraftigt et lille skyl kan være, uden at filtermaterialet skylles ud af filteret ved gradvist at foretage forsøgene med ændret skyllevandskapacitet. Luft blev fastholdt til de nominelle 200 m³/t (ca. 64 m/t) under alle forsøgene.

Fremgangsmåde

Returskyllets (luft + vand) varighed er fastsat efter, at der skulle være sikkerhed for, at der var opnået en situation, hvor der var gået tid nok til, at materialerne kunne nå at blive skyllet ud og blive opfanget i palletanken. Der er etableret overløb fra palletanken, og der er evidens for, at filtermaterialerne ikke kunne skylles ud af palletanken. Skyllets længde blev holdt fast på 3 minutter under hvert forsøg for derved at have ens prøveforhold. Efter afsluttet skyl blev evt. bundfald i palletanken undersøgt ved at tømme palletanken og suge bundfældede filtermaterialer i palletanken op med en industristøvsuger. Resten af skyllevandet blev ledt til kloak. Bundfaldet blev undersøgt i forhold til hvorvidt det var repræsentativt for filtermaterialet i filteret, eller om det var fines eller ukurante filtermaterialer (mindre kornstørrelser eller unormal filterkornsdensitet). Bundfaldet blev beskrevet kvalitativt.

I forsøget blev filterekspansionen også målt ved at placere samme pibeorgel i filteret, som blev anvendt under forsøg Ø1. Hensigten med målingen var at få en indikation af hvor meget filtermaterialerne påvirkes under skyllet med luft og vand samtidig og kan derved give indikationer ift. filtermediets ekspansion under lille skyl.

Det blev inden filterforsøgets igangsættelse besluttet at fjernede filtermedium ikke blev erstattet med nyt medie pga. kontamineringsrisiko.

Forsøgsforhold

Der blev startet med et lavt skyllevandsflow, som blev gradvist øget igennem forsøgsrækken. Der blev planlagt et vandflow på 5, 10, 15 og 20 m³/t, svarende til 16, 31, 47 og 63 m³/t og et luftflow på ca. 64 m³/t, svarende til de nominelle ca. 200 m³/t. De faktisk testede kapaciteter fremgår af FIGUR 13.

Resultater og diskussion

De målte resultater er gengivet i nedenstående FIGUR 13. Som det ses, er der i alle tilfælde fundet ret få filterkorn i palletanken ved hvert forsøg. Det er dog vores vurdering, at de fundne korn er ukurante filterkorn, som enten har en lavere kornstørrelse (i nogle tilfælde er der tale om fines) eller filterkorn med en lav densitet. I nogle tilfælde har der været filterkorn, som flød ovenpå vandoverfladen, hvilket må skyldes, at der er luft indeni det enkelte filterkorn. I alle tilfælde betragtes de fundne filterkorn ikke som repræsentative for øvrige del af filtermassen i filteret, men mere som snavs og fines. Konklusionen er derfor, at der ikke skylles filtermaterialer ud med skyllevandskapaciteter på over 45 m³/t (14,3 m/t).

Dato	Startid	Sluttid	Varighed	Med/uden ledeplade	Blæser frekvens Hz	Observeret filtermateriale palletank	Skyllevandsflow m ³ /t	Skyllevandshastighed filter m/t	Pibeorgel									
									5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm	30 cm	35 cm	40 cm	45 cm	50 cm
29-11-2021	10:57	11:00	00:03	Med	50	Max. 10 filterkorn	13,3	4,2	2,5	1,3	0,6	0,6	<0,5	<0,5	<0,5	-	-	-
29-11-2021	11:13	11:16	00:03	Med	50	Max. 10 filterkorn	37,5	11,9	2,0	1,2	0,7	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	-	-
29-11-2021	11:32	11:35	00:03	Med	50	Max. 10 filterkorn	45	14,3	0,8	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	-	-	-
29-11-2021	11:48	11:55	00:07	Med	50	Max. 10 filterkorn	55	17,5	2,5	2,1	1,3	1,0	<0,5	<0,5	<0,5	-	-	-

FIGUR 13. Resultater fra filterforsøg Ø2 med vurdering af ledepladens funktion.

Ved det sidste forsøg udført ved 55 m³/t (17,5 m/t) viste det sig desværre, at blæserens overtryksventil blev aktiveret. Derved er en del af blæserens luft sivet ud gennem overtryksventilen og derved ikke kommet ind og påvirke filtermassen under skyllet. Det kunne endvidere høres, at der var stort besvær med at komme af med både luft og vand samtidig i skyllevandsafløbet. Rørføringen kan derfor ikke udelukkes at være dimensionsgivende for hvor meget luft og vand, der kan sendes afsted samtidig. Det skal dog bemærkes, at en del af luften også lukkes ud af filteret gennem den installerede udluftningsventil placeret i toppen af filteret.

Når man ser på resultaterne fra pibeorglet i tabellens højre side (FIGUR 13), ses det, at der er en ret uensartet påvirkning, men det skal påpeges, at målingerne er ret svære at foretage, da de måles i millimeter. Så man skal forholde sig til, at ingen af rørene på pibeorglet på noget tidspunkt har været fyldte og det er kun de nederste millimeter af rørene, der har været materiale i. Det tyder derfor på, at påvirkningerne inde i filteret er ret små, hvilket jo også bekræftes ved, at der ikke ser ud til, at der er skylles reelle filterkorn ud af filteret under skyllet. Et væsentligt element kan være, at vi ofte sammenligner skyllet med det, der sker i åbne filtre, hvor det ser ud som om, at filteroverfladen koger pga. lufttilførslen. Men da filteret for en stor dels vedkommende er vandfyldt under filterskyllet (da luftpuden over lukkes ud af filteret), kommer denne mere voldsomme filterkornsbevægelse i filteroverfladen måske ikke til udtryk i samme omfang i et lukket filter. Man bør hæfte sig ved, at de testede skyllevandshastigheder ligger omkring og over de normale skyllevandshastigheder, som ses på typiske nyere filteranlæg med lukkede filter i Aarhus Vand, hvor vi ser skyllevandshastigheder på omkring 10 m/t ("lille skyl").

Det må således konkluderes fra forsøgsrækken, at påvirkningerne af filtermaterialerne i filteret desværre er så små, at ledepladen opsat i filteret reelt ikke er en nødvendig konstruktion under de givne forsøgsforhold. Denne konklusion er baseret på, dels at de observerede mængder af filtermaterialer i pibeorglet er små, og dels at der ikke skylles materialer ud af filteret (undtaget de førnævnte ukurante filterkorn). Når man i filtre på andre vandværker konstaterer, at der er skyllet filtermaterialer ud i fældebeholderne, kan det måske i højere grad have baggrund i, at filtrene er vokset og at filteroverfladen har nærmet sig udløbskanten på skyllerenden, hvilket vil øge risikoen for at filtermateriale skylles ud. Det skal dog blot også påpeges, at der selvfølgelig også kan være andre årsager til at filtermaterialer ender skylles ud på andre vandværker, idet skyllevandshastigheder og filtermaterialestørrelse, -form og -densitet kan have betydning for risikoen for udskyldt filtermateriale.

4.3 Ø3. Indkøring af jern

Baggrund

I det tidligere SmartFilter-Fe projekt blev der anvendt groft filtersand (3-5 mm) samt et højt flow (ca. 11 m/t). Begge dele kan forlænge opstarten af jernfjernelsen i filteret. Resultater fra det tidligere projekt viste, at filtret var indkørt efter 5 dages kontinuert drift.

I fuldskalafilteret i det nuværende demonstrationsprojekt, er der anvendt et anderledes filtermateriale (2-4 mm E-clay) og en større hastighed på 15,9 m/t svarende til et flow på 50 m³/t. Der er med de ovennævnte valg basis for, at indkøringen af jern sker hurtigere og mere ensartet i filterets højde pga. muligheden for dybdefiltrering med den øgede strømningshastighed. Dette undersøges ved udtagning af vandprøver ned gennem filteret over tid. En væsentlig begrænsning i indkøringen er desværre også, at kildepladsstyringen i et vist omfang vil kunne medføre variationer i jernindholdet, da oppumpningen på kildepladsen ikke kan holdes fast under forsøget, hvilket har baggrund i varierende produktionsbehov. Men mulighederne for dels at se udviklingen i jernfjernelsen under indkøringen og dels vurdere varigheden af indkøringen forventes fortsat at være til stede.

Formål

Formålet med forsøget er at dokumentere indkøring af jernfjernelse over de allerførste dage på forfiltret med nyt E-clay medie (2-4 mm) og endvidere se på langtidseffekten. Denne vil også kunne ses ved at sammenholde data fra Ø3 og Ø4.

Tidsforløb

Ø3 blev udført fra d. 1. december 2021 og frem i 19. dage.

Forsøg

Forsøget Ø3 påbegyndes fra det øjeblik, at filtret får tilført råvand med indhold af opløst jern. Det skal bemærkes, at pumpen i iltningssporet hvirvlede mange jernoxidpartikler op ved SmartFilter-Fe projektet, men da der i dette forsøg er valgt en frekvensregulering af pumpen, ser vi ikke samme ophvirvlen af okkerpartikler, hvorved den øgede tilførsel af partikulært jern ikke bør være en påvirkning i dette forsøg. Vurderingen ved de tidligere forsøg har været, at disse partikler har kunnet fungere som en slags podning til Smartfilter-Fe filteret under indkøringen. Denne påvirkning har vi i højere grad undgået i dette forsøg, ved at dykpumpen i iltningssporet er blevet frekvensreguleret. Alligevel kan en påvirkning ikke helt udelukkes, da der ses partikler i iltningssporet, idet der jo tilsættes ilt, som jo medfører flokkulering af jernpartikler, men omfanget er langt mindre end i det tidligere udførte forsøg.

Forhold

Indløbsvandet til filteret er iltet råvand, og da filteret ikke er helt bakterielt rent ved opstart, blev udløbet ledt til kloak under hele indkøringen, ved at det blev ledt til overløbet i filter 6 (som er det filter som under Ø5 anvendes som biofilter). Flow blev holdt fast på 50 m³/t når pumpen kørte. Der var enkelte perioder om natten, hvor pumpen var slukket, når indvindingen på kildepladsen blev for lavt. Filteret blev ikke skyllet i løbet af denne del af forsøget. Der blev udført et sæt målinger af jernindholdet ned gennem filteret efter 1 time, 3 timer, 19 timer og 2. samt 3. døgn. Efter de 3 døgn sås der pæne jernfjernelsesprofiler ned igennem filteret, og der opstod også et stigende modtryk i filteret som indikation på, at jernoxiderne bindes til filtermaterialet og medfører mindre permeabilitet og dermed stigende modtryk. Sidstnævnte er indikationer på, at man bevæger sig i retning af et stigende behov for skylning af filteret og at gendanne filterets permeabilitet og fjerne jernoxiderne ("okker").

Prøver

Filteret er fabrikeret med udtag for hver 10 cm, og under dette forsøg udtages der samhör-ende vandprøver fra prøvetagningshanerne på filteret. Der blev udvist forsigtighed ved prøvetagning for ikke at medtage okkerudfældninger, der samles i og omkring hanerne. Hanen blev åbnet og lukket 3 - 5 gange, og vandet løb roligt i ca. 30 sekunder inden hver prøvetagning. Der blev målt et udtaget volumen for at sikre, at der blev udtaget prøver fra filteret og ikke det vand, som stod inde i prøvehanen. Prøvehanen var ført 25 cm ind i filteret for at undgå påvirkninger for strømning langs filterets væg. Der blev udtaget ufiltrerede og filtrerede jernanalyser (0,45 µm sprøjtefilter) prøver for hvert prøvested. Herved kan både andelen af opløst jern og udfældet jern i vandprøverne bestemmes og indgå i vurderingen af filterets indkøring. Prøvetagning blev udført fra filterbunden og oppefter. En egentlig beskrivelse af prøvetagningen ligger i bilag 1, som dokumentation for prøvetagningsproceduren.

Analyser

Jern blev målt med DR 3900 (Hach) og analysekit LCK 321. Periodisk ligger analyseresultaterne under detektionsgrænsen på LCK 321, som er på 0,2 mg/l, og i fortolkningen af data skal man være opmærksom på, at under denne grænse, bliver resultaterne i stigende grad mere usikre. I forbindelse med prøvetagningen blev der foruden flow også aflæst tryk for ind- og udløb af filteret. Dato og klokkeslæt for hver prøvesæt blev ligeledes noteret.

Resultater og diskussion

Der er udtaget prøver ned gennem filtret fra filterets prøvehaner, og i de kommende figurer er der vist resultaterne for totaljern, filtreret jern og differencen mellem de to målinger, som er det partikulære jern, som findes i vandfasen.

I nedenstående FIGUR 14 ses det målte indhold af totaljern i det vand, som blev udtaget af filteret i den pågældende dybde. Resultaterne viser udviklingen i resultaterne over prøveperioden.

Indhold i filteret								
Prøvehane	Dybde fra filterbund	1 time efter start 01-12-2021 11:47	3 timer efter start 01-12-2021 14:30	19 timer efter start 02-12-2021 05:50	2. dag 02-12-2021 11:55	3. dag 03-12-2021 12:57		19. dag (17-12-2021 11:10)
		Fe(tot)	Fe(tot)	Fe(tot)	Fe(tot)	Fe(tot)		Fe(tot)
Ind	200	3,56	2,99	1,44	2,07	3,62	Filteret foretaget	1,41
P15	140	3,21	2,93	1,4	2,15	3,43		5,46
P14	130	2,67	2,89	1,43	2,31	3,51		1,98
P13	120	2,85	2,92	1,46	1,93	3,51		2,61
P12	110	5,35	3,17	1,55	1,88	1,83		3,4
P11	100	2,79	2,81	1,29	2,41	3,16		0,945
P10	90	3,88	3,67	3,31	2,94	-		0,934
P9	80	3,95	2,65	1,36	1,79	2,08		0,743
P8	70	4,07	2,61	1,24	1,72	2,91		0,732
P7	60	3,01	2,57	1,14	1,19	1,76		0,445
P6	50	3,15	3,35	1,04	0,974	1,43		0,302
P5	40	2,89	2,54	0,987	0,917	0,831		0,309
P4	30	2,45	2,51	0,905	0,794	0,513		0,298
P3	20	2,57	2,47	0,845	0,492	-		0,622
P2	10	2,60	2,48	0,968	0,791	0,278		0,20
P1	13	2,70	2,48	0,812	0,596	0,178		0,32
Ud	0	2,72	2,49	0,826	0,56	0,11		0,09

FIGUR 14. Resultater for totaljern under indkøringen af Smartfilter-Fe.

Det ses af FIGUR 14, at der efter en times drift stort set ikke rigtigt fjernes noget jern i filteret, men hen over tid forbedres fjernelsen af totaljern ned gennem filteret. Dette illustrerer, at jernet gradvist begynder at afsættes i filteret fremfor at forefindes i vandbanen. Der ses dog indslag med stigninger ned gennem filteret, hvilket formentlig har baggrund i prøvetagningsforhold, hvor udtagningen af vandprøven ikke kan udelukkes at have mobiliseret partikulært jern, som har været afsat i prøvehanen. Deraf kommer også den tidligere nævnte prøvetagningsvejledning, hvor partikulært jern fjernes fra prøvehanen ved gentagne små flush, som derved skulle imødegå problemstillingen. Alle efterfølgende prøver er udtaget med baggrund i denne vejledning. Den lyseblå baggrundsfarve i tabellen illustrerer, at vandprøven er udtaget i vandfasen henholdsvis over og under filterlaget. Den gulbrune baggrundsfarve illustrerer, at prøven er udtaget i selve filterlaget eller i den nederste del i bærelaget. Den hvide baggrundsfarve i skemaet illustrerer indløbsmålinger fra filteret.

I FIGUR 15 ses udviklingen i de målte værdier for det filtrerede jern, dvs. den del af jern, som er på opløst form i vandfasen.

På FIGUR 15 ses det tydeligt, at der i starten stort set ikke rigtigt fjernes noget opløst jern i filteret, og der er behov for indkøring af filteret. Gradvist begynder filteret at fjerne mere opløst jern og på 3. døgn er jernfjernelsen godt i gang. Sidste kolonne illustrerer, at der efter 19 døgn ses en pæn fjernelse ned gennem filteret, men man kan godt sige, at indkøringen er opnået efter 3 døgn drift. Dette illustreres af, at udløbskoncentrationen for opløst jern efter 3 dage/døgn og efter 19 døgn er reduceret til samme slutniveau. Det er dog værd at bemærke, at der forinden sidste prøvetagningsrunde er foretaget filterskyl af filteret.

Indhold i filteret								
Prøvehane	Dybde fra filterbund	1 time efter start 01-12-	3 timer efter start 01-	19 timer efter start 02-	2. dag 02-12-2021	3. dag 03-12-2021		19. dag (17-12-2021
		2021 11:47	12-2021 14:30	12-2021 05:50	11:55	12:57		11:10
	cm	Fe(filt)	Fe(filt)	Fe(filt)	Fe(filt)	Fe(filt)		Fe(filt)
Ind	200	2,71	2,46	1,21	1,19	2,110		1,34
P15	140	2,65	2,44	1,22	1,28	2,210		2,01
P14	130	2,1	2,44	1,2	1,25	2,150		0,955
P13	120	2,13	2,5	1,17	1,25	2,130		0,943
P12	110	2,03	2,47	1,19	1,71	1,510		0,846
P11	100	1,98	2,45	1,08	1,18	1,930		0,537
P10	90	1,95	2,43	1,03	0,503			0,424
P9	80	1,73	2,33	0,931	0,822	1,460		0,368
P8	70	1,79	2,29	0,942	0,894	1,660		0,267
P7	60	1,78	2,27	0,861	0,68	1,130		0,222
P6	50	1,68	2,35	0,872	0,722	1,050		0,189
P5	40	1,72	2,26	0,794	0,58	0,554		0,145
P4	30	1,60	2,29	0,794	0,619	0,331		0,14
P3	20	1,67	2,22	0,756	0,387			0,103
P2	10	1,66	2,26	0,737	0,556	0,167		0,097
P1	13	2,29	2,28	0,73	0,49	0,145		0,094
Ud	0	2,41	2,24	0,727	0,469	0,090		0,084

FIGUR 15. Resultater for filtreret jern (opløst jern) under indkøringen af Smartfilter-Fe.

Af FIGUR 16 er det beregnede partikulære jern (differensen mellem totaljern og filtreret jern) vist.

Indhold i filteret								
Prøvehane	Dybde fra filterbund	1 time efter start 01-12-	3 timer efter start 01-	19 timer efter start 02-	2. dag 02-12-2021	3. dag 03-12-2021		19. dag (17-12-2021
		2021 11:47	12-2021 14:30	12-2021 05:50	11:55	12:57		11:10
	cm	Partikulært jern (Fe(tot)- Fe(filt)	Partikulært jern (Fe(tot)- Fe(filt)	Partikulært jern (Fe(tot)- Fe(filt)	Partikulært jern (Fe(tot)- Fe(filt)	Partikulært jern (Fe(tot)- Fe(filt)		Partikulært jern (Fe(tot)- Fe(filt)
Ind	200	0,85	0,53	0,23	0,88	1,51		0,07
P15	140	0,56	0,49	0,18	0,87	1,22		3,45
P14	130	0,57	0,45	0,23	1,06	1,36		1,025
P13	120	0,72	0,42	0,29	0,68	1,38		1,667
P12	110	3,32	0,7	0,36	0,17	0,32		2,554
P11	100	0,81	0,36	0,21	1,23	1,23		0,408
P10	90	1,93	1,24	2,28	2,437	-		0,51
P9	80	2,22	0,32	0,429	0,968	0,62		0,375
P8	70	2,28	0,32	0,298	0,826	1,25		0,465
P7	60	1,23	0,3	0,279	0,51	0,63		0,223
P6	50	1,47	1	0,168	0,252	0,38		0,113
P5	40	1,17	0,28	0,193	0,337	0,277		0,164
P4	30	0,85	0,22	0,111	0,175	0,182		0,155
P3	20	0,9	0,25	0,089	0,105	-		0,519
P2	10	0,94	0,22	0,231	0,235	0,111		0,099
P1	13	0,41	0,2	0,082	0,106	0,033		0,225
Ud	0	0,31	0,25	0,099	0,091	0,02		0,007

FIGUR 16. Resultater for indholdet af partikulært jern (Totaljern fratrasket filtreret jern) under indkøringen af Smartfilter-Fe.

Her ses det, at der er en stor del partikulært jern i vandfasen i starten. Det betyder, at en pæn del af jernet fælder ud, men i starten bindes det ikke til filtermaterialerne, men forbliver i vandfasen. Der ses dog en faldende tendens ned gennem filteret, hvilket må skyldes, at jernpartiklerne til en vis grad er så store, at de tilbageholdes i filteret. Det ses, at flere steder forekommer der udsving. Det kan have 2 årsager: Partiklerne fanges i bestemte niveauer eller også kan det skyldes, at prøvetagningen har mobiliseret det partikulære jern, og at det derved måles i den udtagne vandprøve. Det overrasker dog ikke, at der kan ses større indslag af partikulært jern i filteret allerøverste indtag, da opholdstiden fra iltningen til vandet når filteret medfører, at noget af jernet allerede vil fælde inden det når ned i filteret. Det ses også af målingerne

i den frie vandfase i filteret (P13 – P15). Disse partikler vil til en vis grad fanges i filterets øverste lag og derved øge koncentrationen af partikulært jern der. En væsentlig observation ud fra resultaterne er således, at et design med en iltning placeret meget tæt på filteret vil være et godt design, da det giver bedst mulighed for at jern fælder ud nede i filteret fremfor i vandfasen inden det når filteret. Risikoen ved forholdene under dette forsøg er, at der kan dannes en filterkage i toppen af filteret, som medfører, at gangtiderne forkortes pga. stigende modtryk. Endvidere er det heller ikke en fordel for et effektivt filter at have en stor vandfase over filtermaterialerne, da det i sig selv øger opholdstiden og dermed kan fremme dannelsen af en filterkage på filteroverfladen og i de øverste få cm af filteret. Vandfasen kan sidestilles med tidligere tiders reaktionsbassin, som man i dag ofte fjerner fra behandlingsanlæggene. Det kan jo også derfor forstyrre afdækningen af, hvorvidt der er gode muligheder for dybdefiltrering i filteret eller ej.

Vi ser en generel udvikling i retning af, at jernfjernelsen sker igennem hele filterets dybde. Med det anvendte flow på 50 m³/t under indkøringen er der dog stadig en tendens til, at der stadig sker en større afsætning af jern i toppen af filteret. Det undersøges i det næste forsøg (Ø4) hvorledes jernfjernelsen i Smartfilteret ændrer sig under forskellige flowsituationer. Men det ses allerede her ret tydeligt, at en stor del af filteret udnyttes til dybdefiltrering i modsætning til f.eks. traditionelle åbne filtre, som er vidt udbredte i Danmark. I disse filtre afsættes jern kun i de øvre dele af filteret og giver større risiko for dannelse af filterkage.

Konklusionen er, at der i løbet af ca. 3 døgn drift dannes en stabil jernfjernelse, hvor jernudfældningen gradvist overgår fra at forekomme i vandfasen til, at opløst jern bindes på filterkornene. Fjernelsen af jern forbedres i filteret gradvist i løbet af de 3 døgn således, at den kommer under drikkevandskriteriet på 0,2 mg Fe/l.

4.4 Ø4. Flowets betydning for dybdefiltrering på nyt forfilter

Baggrund

Ideen bag et SmartFilter-design er, at man udnytter dybdefiltrering af jern for at opnå længere gangtider i filterets drift. Allerede under indkøringen ses der tendenser til, at en stor del af filterets dybde udnyttes i jernfjernelsen. Betegnelsen "dybdefiltrering" er defineret som jernfjernelse i mindst 75% af dybden (dvs. jern < 0,2 mg/L opnås først 75 % nede i filtermaterialet). I dette forsøg undersøger vi jernfjernelsen ved forskellige filterhastigheder.

Formål

Formålet med dette forsøg er at fastlægge flowets betydning for dybdefiltrering.

Forsøg

Der udtages et sæt vandprøver ned gennem SmartFilter ved forskellige strømningshastigheder i filteret. Sættene består af vandprøver fra niveauspecifikke haner på filteret og udføres ved flere forskellige vandflow, for at se udviklingen i jernfjernelsen i filteret ved de ændrede belastninger af filteret. Forsøget er udført efter indkøring af forfiltret og før tilkobling til efterfiltret (dvs. før den endelige skylleprocedure er fastlagt, se Ø6). Forsøget blev gentaget nogle gange, så der også kan ses på en tidlig udvikling.

Forhold

Der udtages vandprøver til analyse for totaljern og filtreret jern for at kortlægge jernfjernelsen ned gennem filteret ved forskellige flowhastigheder. Der anvendes prøvetagningshaner på filteret samt prøvehaner ved udløbet og på tilgangen til filteret. Da der er risiko for udfældninger i prøvehanerne, er de blevet testet og rengjort efter behov med anvendelse af trykluft inden forsøgene. Trykopbygningen over tid måles på indløb og udløb fra filteret.

Indløbsvandet var iltet råvand, og når der ikke blev udtaget prøver, kørte forfiltret med flow på 45 - 50 m³/t (dvs. flowhastighed på op til 16 m/t). Flowhastigheden reduceres en smule ved stigende modtryk i filteret, og udløbet fra filteret er indledningsvist afledt til recipient.

Undervejs i forløbet har det flere gange været nødvendigt at rense rørføringen fra iltningen til forsøgsfilteret pga. okkerudfældninger. Det indikerer, at det er fornuftigt i et design at have så kort afstand som muligt mellem iltning og filter. Der kunne ses okkerudfældninger med en tykkelse på godt en cm.



FIGUR 17. Udfældninger af jern i rørføring mellem iltning og forsøgsfilter før og efter rensning.

Dette er opstået efter ca. 1,5 måneds drift, og det er valgt at foretage en rensning med nogle rensegrise, for at sikre kapacitet til forsøgene. Det er således også en erfaring, at man må påregne et udfældningspotentiale så snart jernholdigt vand (opløst jern) tilføres ilt. Dette er også erfaringer som ses på Aarhus Vands øvrige vandværker og er ikke unikt for Østerbyværket.

Prøver

Der blev udført tre flowtests i alt:

- Efter 17 døgns drift
- Efter 1 måneds drift (kun ved lavt og normalt flow)
- Efter 5 måneders drift (kun ved normalt flow ~50 m³/t)

Hver test bestod af udtagning af vandprøver fra filterets prøvetagningshaner for hver 10 cm ved tre forskellige flows. Ved ændring af flow blev der ventet 1 time før udtagning af prøver for at sikre et ensartet strømningsmønster i filtret og for at sikre, at vandet i filteret er udskiftet. Flow er blevet fastsat efter et mindste og et største flow og et normalt flow på filteret. De forskellige flows og dermed hastigheder ses nedenfor (filterareal af forfilteret er 3,14 m²):

- Minimums flow på ca. 30 m³/t (svarende til 9,6 m/t)
- Normalt flow på ca. 50 m³/t (svarende til 15,9 m/t)
- Maximums flow på ca. 63 m³/t (svarende til 20,1 m/t)

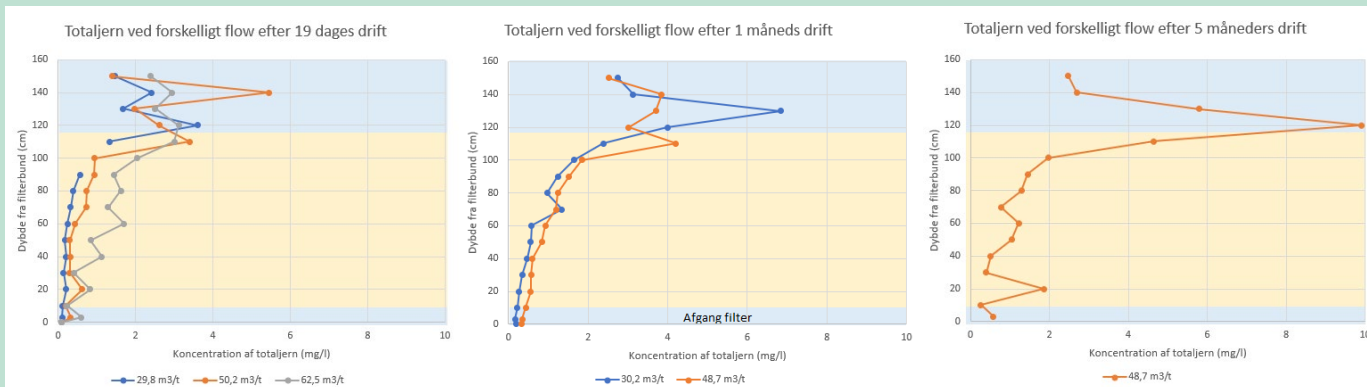
Analyser

- Totaljern og filtreret jern (udført LCK 321/521)

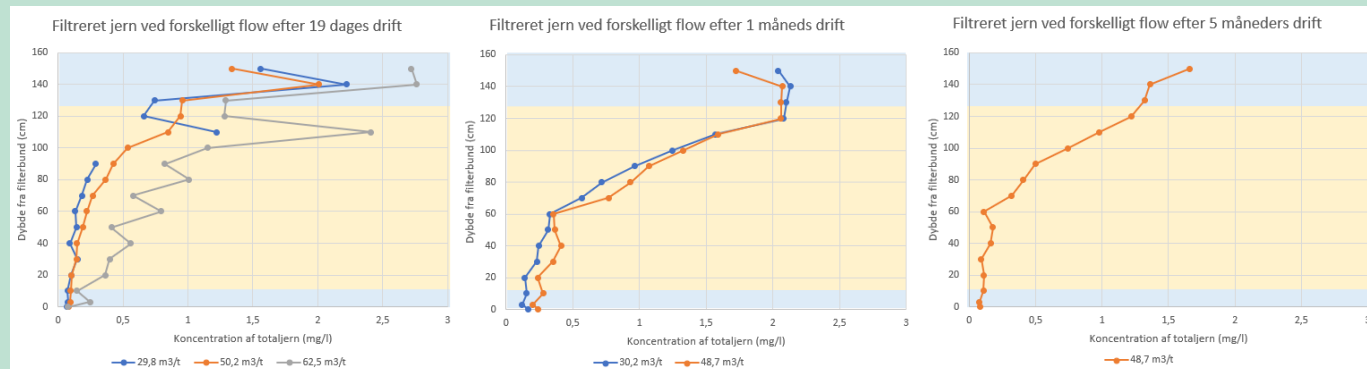
- Trykmåling (blev droppet, da der ikke var nok opløsning af trykforskelle i de digitale måleinstrumenter)

Resultater og diskussion

Der blev udtaget vandprøver over 3 perioder ved forskelligt flow, men der var generelt en udvikling i at både rørføringer og pumper gradvist blev påvirket af den udfældende okker, og anlægget tabte dermed kapacitet. Selv med rengøring og rensning kunne disse ikke oparbejdes til det initiale niveau. Men data var fint anvendelige til at kunne analysere på, som det ses af nedenstående diagrammer. På diagrammerne afspejler de gulbrune områder niveauer med filtermaterialer og bærelag, mens de blålige områder afspejler prøvetagningssteder i vandfyldte kamre uden filtermaterialer og afspejler ligeledes ind- og udgang af filteret.



FIGUR 18. Indholdet af totaljern over tid ved forskellige filterhastigheder i forsøgsfilteret.



FIGUR 19. Indholdet af filtreret jern (opløst jern) over tid ved forskellige filterhastigheder i forsøgsfilteret.

Det ses, at der faktisk ikke ses den store forskel mellem 30 m³/t (10 m/t) og 50 m³/t (16 m/t), mens vi ser en tydeligere forskel når hastigheden øges til det maksimale på 62,5 m³/t (20 m/t). Ved det øgede flow ses der mere udpræget dybdefiltrering, mens der ved de lavere filterhastigheder opnås et indhold af opløst jern på ca. 0,3 mg/l ved en dybde på ca. 60 cm over filterbunden, hvorunder fjernelsen reduceres en del. Dette betyder i praksis, at den væsentligste del af jernfjernelsen sker i de øverste 2/3 af filtermassen. Kun når hastigheden øges til de 62,5 m³/t (20 m/t) ser vi, at hele filterets dybde udnyttes. Det kunne derfor tyde på, at filterets maksimale kapacitet i forhold til jernfjernelse ligger omkring de 20 m/t. Ved endnu højere hastigheder må man måske påregne, at der også vil være behov for en lille del jernfjernelse i det efter-

følgende filter, hvilket i f.eks. spidsbelastninger også kunne være en acceptabel løsning, såfremt der er plads til den øvrige del af vandbehandlingen (ammonium, nitrit og mangan). De 20 m/t er gældende for det anvendte filter og råvandets jernindhold, men ved andre råvandskvaliteter, filterstørrelser og hastigheder vil resultaterne være anderledes. Men det kan her konkluderes, at der var rimelig overensstemmelse mellem den modellerede filterkapacitet fra designberegningerne og den observerede filterkapacitet. Modellering (en af de tidligere arbejdsplaner i projektet) kan derfor være en fin måde at dimensionere filteranlægget.

Ved det højeste flow på 62,5 m³/t (20 m/t) kan man se, at indholdet ikke har samme pæne forløb, som ved de lavere hastigheder. Det har været diskuteret, om årsagen er, at den højere hastighed mobiliserer okker fra filterkornene, hvilket kan være et forhold som udfordrer driften af filteret, da man må påregne, at okker kan ende enten i kammeret under filterbunden eller i efterfilteret, hvor det måske kan medføre en tilklogning af filteret.

Vi ser lidt variationer i indløbskoncentrationen på både totaljern og filtreret jern (opløst jern), og det skyldes ikke variationer i boringssammensætning, da der er anvendt de samme boringer med fastholdt oppumpning. Det vurderes i stedet at skyldes, at der er ret langt fra iltningssporer til selve filteret. Det betyder, at noget af jernet reelt set fælder ud undervejs og enten kommer til filteret som partikulært jern eller afsætter sig i pumper og rør og medfører tab af kapacitet i begge elementer. Læringen må derfor være, at iltning må placeres så tæt på filteret som muligt for at sikre, at udfældningen sker på filtermaterialerne og ikke i det anvendte udstyr.

Konklusionen er således, at det er veldokumenteret i dette fuldskalaforsøg, at der forekommer øget dybdefiltrering når filterhastighederne øges, og man her med en filterhastighed på ca. 20 m/t får god dybdefiltrering. Der er en mulig risiko for, at der pga. de øgede filterhastigheder måske forekommer genmobilisering af partikulært jern. Det er dog væsentligt at påpege, at det ikke er endeligt bevist i forsøget, men der ses kun indikationer på det. Jernets indløbskoncentration og ikke mindst strømningshastigheden gennem filteret er parametre, som er væsentlige for dimensioneringen af filterets maksimale kapacitet, men ved de lavere hastigheder ses der ikke væsentlig forskel i filterudnyttelsen, da jernfjernelsen sker i de samme filterniveauer.

4.5 Ø5. Effekt på efterfilter

Baggrund

Under det tidligere SmartFilter-Fe projekt skete der under forsøgene en betydelig forbedring af ammoniumfjernelsen på et eksisterende efterfilter (Filter 6). Forbedringerne kunne ses et sted mellem 1 dag og 4 uger efter tilkobling af forfilteret, som fjernede jernet. Ved forsøget Ø5 er denne forandringsproces undersøgt nærmere for at kunne dokumentere mekanismerne. Der er desuden undersøgt, hvilken indflydelse returskyl har på efterfiltret.

Formål

Formålet er at fastlægge eventuelle forbedringer af ammoniumfjernelse på et modent filter ved at gå over til ren biofiltrering ved tilslutning af et forfilter, der fjerner jern. Hermed oplever det modnede filter (som blev til et efterfiltret) stort set ingen tilledning af jern. Desuden fastlægges det om et almindeligt returskyl på efterfiltret (efter en lang gangtid på mere end 1 måned) medfører en forringelse af ammoniumfjernelsen. Endelig er det undersøgt, om der ses en yderligere positiv indvirkning på vandbehandlingen ved tilsætning af kobber, som der tidligere har været erfaring for at det forbedrer især ammoniumomsætningen.

Forsøg

Forsøget er baseret på udtagning af dybdeprofiler ved hjælp af juletræet i biofilteret (filter 6). De udtagne prøvesæt var:

1. Før tilkobling af det nye forfilter (25-01-2022) med samme kapacitet på 50 m³/t (også samme kemiske sammensætning) som i de efterfølgende forsøg for ens sammenligningsgrundlag. Dagen før blev der foretaget filterskyl, hvor juletræet blev isat, og der var 1 døgn normal drift på filteret. Dette er forsøgets referencemåling.
2. Koble vand fra Smart filter på filter 6 og der blev kørt med 50 m³/t fra Smartfilter til filter 6, der nu fungerer som et efterfilter. 1 døgn efter blev der foretaget fornyede prøver fra filter 6 via juletræet.
3. Prøvetagning juletræ efter 1 uge.
4. Prøvetagning lige inden filterskyl (6 uger drift uden skyl).
5. Prøvetagning 1 døgn efter skyl af filter 6.
6. Prøvetagning 6 uger efter opstart af kobbertil sætning til filter 6.

Analyseparametre

Ammonium, nitrit, jern, mangan samt feltparametre (ilt, pH, redox, ledningsevne og temperatur). Prøverne for jern og mangan blev også filtreret for også at kunne måle fordelingen mellem udfældet og opløst jern/mangan. Feltparametre blev målt af Aarhus Vand, mens øvrige analyser blev udført af Eurofins.

Resultater og konklusion

Forsøgsresultaterne har til hensigt at afdække, om der er fordele ved at opdele vandbehandlingen i en del med jernfiltrering (forsøgsfilter) og en del med biologisk fjernelse (ammonium, nitrit og mangan). Det første forsøg har været at se hvilken forskel det gør at fjerne jernfjernelsen fra det eksisterende filter (filter 6), og se effekten på de øvrige vandbehandlingsparametre efter 1 døgn drift. Dette er illustreret i nedenstående FIGUR 20.

Referencemåling før tilledning af vand fra forfilter til filter 6												
Dato:		25-01-2022	Tidspunkt:	10:30	13:30							
Flow råvand:		199,00	Flow filter	49,8	m³/t							
Prøvested	Niveau	Feltmålinger					Eurofins målinger					
		Ilt	pH	Redox	Ledningsevne	Temperatur	Totaljern	Filt. Jern	Mangan	Filt. mangan	Ammonium	Nitrit
Tilgang iltningspor		2,60	7,00	-50,4	629,0		1,900	1,800	0,190	0,190	0,410	<0,001
Afgang iltningspor		7,40	7,10	-29,5	629,0		1,900	1,700	0,190	0,190	0,410	<0,001
Tilgang filter 6	0	8,00	7,20	-42,2	628,0	9,20	2,600	1,700	0,230	0,200	0,400	<0,001
Juletræ udtag nr. 15	10	7,90	7,30	-33,6	626,0	9,20	1,500	1,300	0,190	0,200	0,430	<0,001
Juletræ udtag nr. 14	20	8,00	7,30	-20,3	626,0	9,20	1,000	0,990	0,190	0,210	0,420	<0,001
Juletræ udtag nr. 13	30	7,90	7,20	-5,2	625,0	9,20	0,750	0,610	0,190	0,190	0,380	<0,001
Juletræ udtag nr. 12	40	7,80	7,20	6,2	619,0	9,30	0,620	0,540	0,220	0,210	0,370	<0,001
Juletræ udtag nr. 11	50	7,70	7,20	9,7	618,0	9,20	0,420	0,350	0,220	0,210	0,360	<0,001
Juletræ udtag nr. 10	60	7,70	7,20	59,2	618,0	9,20	0,200	0,140	0,190	0,190	0,360	<0,001
Juletræ udtag nr. 9	70	7,60	7,20	101,4	619,0	9,20	0,095	0,043	0,180	0,180	0,340	<0,001
Juletræ udtag nr. 8	80	7,60	7,20	132,6	621,0	9,30	0,067	0,030	0,160	0,170	0,340	<0,001
Juletræ udtag nr. 7	90	7,60	7,20	175,5	621,0	9,30	0,041	<0,01	0,150	0,160	0,320	<0,001
Juletræ udtag nr. 6	100	7,60	7,20	184,6	620,0	9,20	0,033	<0,01	0,096	0,096	0,320	<0,001
Juletræ udtag nr. 5	110	7,50	7,20	201,5	621,0	9,20	0,029	<0,01	0,026	0,026	0,300	<0,001
Juletræ udtag nr. 4	120	7,40	7,20	215,1	621,0	9,30	0,029	<0,01	0,017	0,018	0,270	0,0013
Juletræ udtag nr. 3	130	7,30	7,20	224,5	621,0	9,30	0,024	<0,01	0,015	0,015	0,270	0,0053
Juletræ udtag nr. 2	140	7,30	7,20	215,6	620,0	9,30	0,017	<0,01	0,005	0,005	0,230	0,0059
Juletræ udtag nr. 1	150	7,20	7,20	234,0	620,0	9,20	0,015	<0,01	0,003	0,003	0,200	0,0095
Afgang filter 6	160	7,00	7,20	247,3	620,0	8,80	<0,01	<0,01	0,010	<0,002	0,180	0,0072

Måling af profil 1 døgn efter tilledning af vand fra forfilter til filter 6												
Dato:		26-01-2022	Tidspunkt:	09:23	11:45							
Flow forsøgsfilter:		49,90	m³/t									
Prøvested	Niveau	Feltmålinger					Eurofins målinger					
		Ilt	pH	Redox	Ledningsevne	Temperatur	Totaljern	Filt. Jern	Mangan	Filt. mangan	Ammonium	Nitrit
Tilgang iltningspor		2,78	7,15	-82,5	667,0	9,00	1,800	1,800	0,180	0,190	0,470	<0,001
Afgang iltningspor		6,31	7,11	-19,7	620,0	8,80	1,900	1,700	0,190	0,190	0,430	<0,001
Tilgang forsøgsfilter		6,89	7,25	-22,3	621,0	8,90	1,700	1,500	0,180	0,180	0,430	<0,001
Afgang forfilter		6,15	7,15	81,7	615,0	8,90	0,130	0,099	0,170	0,180	0,390	0,063
Tilgang filter 6	0	7,62	7,13	107,7	619,0	8,90	0,140	0,110	0,180	0,180	0,390	0,053
Juletræ udtag nr. 15	10	7,97	7,22	180,4	619,0	9,20	0,110	0,042	0,180	0,180	0,360	0,050
Juletræ udtag nr. 14	20	7,98	7,25	187,1	621,0	9,30	0,130	0,018	0,180	0,180	0,350	0,048
Juletræ udtag nr. 13	30	7,98	7,24	195,7	622,0	9,30	0,100	0,012	0,160	0,170	0,330	0,043
Juletræ udtag nr. 12	40	7,93	7,22	208,2	621,0	9,30	0,025	<0,01	0,160	0,160	0,320	0,040
Juletræ udtag nr. 11	50	7,91	7,20	232,8	621,0	9,30	0,023	<0,01	0,150	0,150	0,310	0,039
Juletræ udtag nr. 10	60	7,90	7,20	240,1	622,0	9,30	0,014	<0,01	0,140	0,140	0,300	0,032
Juletræ udtag nr. 9	70	7,73	7,19	240,4	621,0	9,30	0,016	<0,01	0,120	0,110	0,280	0,023
Juletræ udtag nr. 8	80	7,76	7,19	243,4	621,0	9,30	0,012	<0,01	0,092	0,089	0,260	0,023
Juletræ udtag nr. 7	90	7,73	7,19	252,1	621,0	9,30	0,014	<0,01	0,089	0,084	0,250	0,025
Juletræ udtag nr. 6	100	7,70	7,20	255,7	621,0	9,30	0,012	<0,01	0,056	0,056	0,240	0,020
Juletræ udtag nr. 5	110	7,58	7,21	258,1	621,0	9,30	0,010	<0,01	0,012	0,013	0,190	0,011
Juletræ udtag nr. 4	120	7,45	7,20	260,5	621,0	9,30	<0,01	<0,01	0,006	0,007	0,220	0,014
Juletræ udtag nr. 3	130	7,45	7,20	266,4	620,0	9,40	0,014	<0,01	0,008	0,007	0,140	0,020
Juletræ udtag nr. 2	140	7,43	7,19	270,5	620,0	9,40	<0,01	<0,01	0,004	0,003	0,110	0,018
Juletræ udtag nr. 1	150	7,28	7,21	271,5	621,0	9,40	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	0,063	0,020
Afgang filter 6	160	7,06	7,15	280,5	619,0	8,90	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	0,036	0,010

FIGUR 20. Måleresultater fra niveauspecifikke vandprøver ("juletræ") i filter 6 henholdsvis ved normal drift (øverst) og efter 1 døgn's tilsætning af jernfrit vand fra forsøgsfilter (nederst).

I tabellerne (FIGUR 20) afspejler de gulbrune områder igen niveauer med filtermaterialer og bærelag, mens de blålige områder afspejler prøvetagningssteder i vandfyldte kamre uden filtermaterialer og afspejler ligeledes ind- og udgang af filteret. Som det ses af ovenstående tabeller (FIGUR 20), er vandbehandlingen i filter 6 ret udfordret i forhold til ammonium, nitrit og mangan i den normale situation, hvor der også foregår jernfjernelse i filteret. Det ses, at jernfjernelsen foregår i de øverste 60 cm af filteret, og i de niveauer sker der ikke væsentlig omsætning af mangan, ammonium omsættes stort set ikke og nitrit er stort set ikke til stede, da ammonium ikke er omsat. Det ses, at ca. 40 % af filteret anvendes til fjernelse af jern. Til sammenligning, kan vi se fra forsøg Ø4, at der i forsøgsfilteret anvendes de samme 60 cm filterhøjde, men filterarealet på forsøgsfilteret er langt lavere i forhold til filter 6 (3,14 m² mod 15 m²). Det tyder derfor på, at forsøgsfilteret har ca. 4 - 5 gange så høj en effektivitet i forhold til jernfjernelsen. Det ses derfor at jernfjernelsen optager så stor plads i filter 6, at der ikke er nok filter til omsætningen af ammonium, som faktisk begynder at falde en del i filterets nederste del og omsætningen af nitrit sker kun i mindre grad. Fjernelsen af mangan sker parallelt med ammoniumomsætningen og overholder kravene på afgang fra filteret.

Når der sammenlignes med den nederste del af ovenstående tabel (FIGUR 20) (dvs. efter 1 døgn's drift), ses der tilsyneladende en udvikling hvor ammoniumomsætningen ret hurtigt udnyttes i den øverste del af filteret, og omsætningen fra ammonium til nitrit medfører også, at omsætningen af nitrit til nitrat kommer i gang. Omsætningen af mangan er ikke så påvirket af

skiftet. Det viser sig også, at kravværdier for alle parametre nu kan overholdes på afgang fra filteret.

En uge efter at jernfjernelsen blev fjernet fra filter 6, blev der igen foretaget niveaubestemt prøvetagning i filter 6 (med "juletræ") for at afdække, om den længere driftstid forbedrede omsætningen af mangan, ammonium og nitrit. Resultatet af den prøvetagning ses i nedenstående FIGUR 21.

Måling af profil 1 uge efter tilledning af vand fra forfilter til filter 6												
Dato:		02-02-2022		Tidspunkt:		07:44		10:16				
Flow forsøgsfilter:		48/50,2		m³/t								
Prøvested	Niveau	Feltmålinger					Eurofins målinger					
		Ilt	pH	Redox	Ledningsevne	Temperatur	Totaljern	Filt. Jern	Mangan	Filt. mangan	Ammonium	Nitrit
Tilgang iltningsspor		3,34	7,09	-49,8	733,0	8,80	1,7	1,7	0,19	0,19	0,42	<0,001
Afgang iltningsspor		6,58	7,17	-40,4	620,0	8,80	1,9	1,6	0,18	0,19	0,42	<0,001
Tilgang forsøgsfilter		6,69	7,14	-29,9	619,0	8,90	1,4	1,9	0,18	0,19	0,40	0,0013
Afgang forfilter		6,29	7,11	137,2	615,0	8,90	0,056	0,044	0,18	0,18	0,33	0,075
Tilgang filter 6	0	7,68	7,13	160,5	615,0	8,90	0,084	0,048	0,18	0,18	0,34	0,070
Juletræ udtag nr. 15	10	7,90	7,21	201,8	612,0	9,20	0,031	0,018	0,17	0,17	0,32	0,064
Juletræ udtag nr. 14	20	7,94	7,22	216,2	613,0	9,20	0,025	<0,01	0,16	0,16	0,31	0,063
Juletræ udtag nr. 13	30	7,97	7,20	229,8	613,0	9,20	0,013	<0,01	0,14	0,13	0,29	0,053
Juletræ udtag nr. 12	40	7,82	7,22	242,2	613,0	9,30	0,014	<0,01	0,12	0,12	0,26	0,048
Juletræ udtag nr. 11	50	7,85	7,21	245,2	613,0	9,20	<0,01	<0,01	0,11	0,11	0,24	0,047
Juletræ udtag nr. 10	60	7,75	7,20	251,1	613,0	9,20	<0,01	<0,01	0,094	0,092	0,23	0,036
Juletræ udtag nr. 9	70	7,68	7,21	256,1	612,0	9,20	<0,01	<0,01	0,059	0,060	0,19	0,025
Juletræ udtag nr. 8	80	7,55	7,19	258,5	612,0	9,20	<0,01	<0,01	0,030	0,030	0,17	0,024
Juletræ udtag nr. 7	90	7,53	7,18	260,3	612,0	9,30	<0,01	<0,01	0,043	0,042	0,17	0,027
Juletræ udtag nr. 6	100	7,46	7,18	265,9	612,0	9,20	<0,01	<0,01	0,021	0,019	0,14	0,017
Juletræ udtag nr. 5	110	7,26	7,16	271,8	611,0	9,20	<0,01	<0,01	0,003	0,003	0,089	0,016
Juletræ udtag nr. 4	120	7,05	7,17	277,8	610,0	9,30	<0,01	<0,01	0,003	0,003	0,048	0,024
Juletræ udtag nr. 3	130	7,02	7,19	286,6	609,0	9,30	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	0,036	0,012
Juletræ udtag nr. 2	140	6,87	7,14	291,1	608,0	9,30	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	0,010	0,0066
Juletræ udtag nr. 1	150	6,87	7,17	297,4	608,0	9,20	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	<0,005	0,0023
Afgang filter 6	160	7,02	7,13	307,2	607,0	8,90	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	<0,005	0,0020

FIGUR 21. Måleresultater fra niveauspecifikke vandprøver ("juletræ") i filter 6 efter 1 uges tilsætning af jernfrit vand fra forsøgsfilter.

På tabellen (FIGUR 21) afspejler de gulbrune igen områder niveauer med filtermaterialer og bærelag, mens de blålige områder afspejler prøvetagningssteder i vandfyldte kamre uden filtermaterialer og afspejler ligeledes ind- og udgang af filteret. Det ses af ovenstående tabel, at der efter en uges drift uden behov for jernfjernelse i filteret, er opbygget en bedre omsætning af mangan, ammonium og nitrit. Fortolkningen af resultaterne er, at den ekstra uges drift har medført, at bakterierne til at foretage omsætningen af mangan, ammonium og nitrit er blevet opbygget i den del af filteret, hvor der ellers var jernfjernelse. Det tyder derfor på, at jernfjernelsen i filtre har en negativ påvirkning på den biologiske fjernelse af ammonium, nitrit og mangan, bl.a. med baggrund i det forskellige behov for filterskyl. En mulig årsag kan være, at vækstbetingelserne ikke er gunstige for bakterierne i jernfjernelseszonen, og det ses da også, at redoxforholdene i de filterlag, hvor jernfjernelsen normalt forgik i filteret, har ændret sig signifikant.

Men det ses, at der faktisk er opbygget en overskudskapacitet i filteret ved omstillingen, og lidt indkøring har givet hurtige forbedringer.

Måling af profil 6 uger efter tilledning af vand og lige inden filterskyl f6													
Dato:		01-03-2022	Tidspunkt:	08:27									
Flow forsøgsfilter:		49,60	m³/t				Eurofins målinger						
Prøvested	Niveau	Feltmålinger											
		ilt	pH	Redox	Ledningsevne	Temperatur	Totaljern	Filt. Jern	Mangan	Filt. mangan	Ammonium	Nitrit	
Tilgang iltningsspor		3,70	7,06	-59,6	626,0	8,70	2,0	1,9	0,18	0,20	0,44	0,0049	
Afgang iltningsspor		6,77	7,11	-90,5	612,0	8,70	2,1	1,8	0,18	0,19	0,40	0,0056	
Tilgang forsøgsfilter		6,84	7,14	-26,0	612,0	8,80	2,0	1,7	0,18	0,18	0,41	0,0033	
Afgang forfilter		6,13	7,08	133,7	606,0	8,80	0,27	0,19	0,17	0,17	0,21	0,046	
Tilgang filter 6	0	7,96	7,18	163,3	607,0	8,80	0,27	0,18	0,17	0,16	0,22	0,043	
Juletræ udtag nr. 15	10	7,90	7,18	207,3	605,0	9,00	0,19	0,059	0,14	0,14	0,14	0,049	
Juletræ udtag nr. 14	20	7,52	7,16	231,8	605,0	9,00	0,089	0,029	0,12	0,12	0,11	0,048	
Juletræ udtag nr. 13	30	7,37	7,15	259,1	604,0	9,00	0,046	0,011	0,073	0,063	0,058	0,038	
Juletræ udtag nr. 12	40	7,26	7,15	274,2	604,0	9,00	<0,01	0,030	0,041	0,040	0,031	0,029	
Juletræ udtag nr. 11	50	7,27	7,13	285,2	604,0	9,00	0,019	<0,01	0,020	0,019	0,021	0,030	
Juletræ udtag nr. 10	60	7,17	7,14	296,1	603,0	9,10	0,022	<0,01	0,014	0,012	0,005	0,0099	
Juletræ udtag nr. 9	70	7,15	7,13	306,1	604,0	9,10	0,011	<0,01	0,007	0,005	0,008	0,0046	
Juletræ udtag nr. 8	80	7,14	7,13	312,9	604,0	9,10	<0,01	<0,01	0,004	0,004	<0,005	0,0036	
Juletræ udtag nr. 7	90	7,07	7,13	316,8	606,0	9,10	0,019	<0,01	0,008	0,007	<0,005	0,0036	
Juletræ udtag nr. 6	100	7,08	7,10	319,2	606,0	9,00	<0,01	0,010	0,018	0,017	<0,005	0,0033	
Juletræ udtag nr. 5	110	7,10	7,10	322,8	607,0	9,10	<0,01	<0,01	0,014	0,012	<0,005	0,0033	
Juletræ udtag nr. 4	120	7,07	7,12	325,3	608,0	9,10	<0,01	<0,01	0,007	0,007	<0,005	0,0026	
Juletræ udtag nr. 3	130	7,07	7,12	328,0	608,0	9,10	<0,01	<0,01	0,024	0,024	<0,005	0,0030	
Juletræ udtag nr. 2	140	7,07	7,13	329,2	608,0	9,00	<0,01	<0,01	0,025	0,022	<0,005	0,0030	
Juletræ udtag nr. 1	150	7,07	7,13	331,0	608,0	9,10	<0,01	<0,01	0,035	0,035	<0,005	0,0026	
Afgang filter 6	160	7,01	7,07	320,1	608,0	8,80	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	<0,005	0,0023	

FIGUR 22. Måleresultater fra niveauspecifikke vandprøver ("juletræ") i filter 6 ca. 5 uger efter tilsætning af jernfrit vand fra forsøgsfilter.

På tabellen (FIGUR 22) afspejler de gulbrune områder igen niveauer med filtermaterialer og bærelag, mens de blålige områder afspejler prøvetagningssteder i vandfyldte kamre uden filtermaterialer og afspejler ligeledes ind- og udgang af filteret. Som det ses af ovenstående tabel (FIGUR 22) (efter 5 ugers drift), ses der en yderligere udvikling i filterets evne til at omsætte ammonium, nitrit og mangan efter længere tids drift. Det ses, at der er betydelig overskudskapacitet i filteret, og at det enten kunne behandle mere vand og/eller at filtermassen kunne reduceres og stadig få udført en god vandbehandling. Førstnævnte forudsætter, at en øget vandmængde rent hydraulisk ved gravitation kan løbe igennem filteret, da det ikke er et lukket filter, hvor vandet kan trykkes igennem.

Efterfølgende er betydningen af at foretage et filterskyl af det biologiske filter undersøgt (dvs. filter 6), hvilket er illustreret i nedenstående FIGUR 23.

Måling af profil 6 uger efter tilledning af vand til filter 6 og lige efter filterskyl f6													
Dato:		02-03-2022	Tidspunkt:	07:35									
Flow forsøgsfilter:		49,75	m³/t										
Prøvested	Niveau	Feltmålinger					Eurofins målinger						
		ilt	pH	Redox	Ledningsevne	Temperatur	Totaljern	Filt. Jern	Mangan	Filt. mangan	Ammonium	Nitrit	
Tilgang iltningsspor		3,36	7,19	-40,3	607,0	8,70	1,7	1,6	0,18	0,17	0,39	0,0043	
Afgang iltningsspor		6,83	7,18	-17,3	601,0	8,70	1,7	1,5	0,18	0,16	0,40	0,0033	
Tilgang forsøgsfilter		6,80	7,19	0,9	601,0	8,80	1,6	1,5	0,18	0,17	0,38	0,0030	
Afgang forfilter		6,08	7,14	147,4	596,0	8,80	0,17	0,12	0,15	0,13	0,19	0,045	
Tilgang filter 6	0	8,47	7,22	148,3	596,0	8,80	0,19	0,13	0,16	0,15	0,20	0,044	
Juletræ udtag nr. 15	10	8,38	7,24	207,8	596,0	9,10	0,049	0,023	0,14	0,13	0,15	0,041	
Juletræ udtag nr. 14	20	8,15	7,20	229,1	596,0	9,10	0,033	0,013	0,12	0,12	0,14	0,038	
Juletræ udtag nr. 13	30	7,88	7,18	249,9	595,0	9,10	0,023	<0,01	0,081	0,077	0,10	0,033	
Juletræ udtag nr. 12	40	7,86	7,18	259,8	595,0	9,10	0,020	<0,01	0,049	0,045	0,099	0,027	
Juletræ udtag nr. 11	50	7,81	7,16	268,9	594,0	9,10	0,021	<0,01	0,028	0,022	0,053	0,032	
Juletræ udtag nr. 10	60	7,76	7,17	277,1	595,0	9,10	0,017	<0,01	0,013	0,011	0,030	0,016	
Juletræ udtag nr. 9	70	7,64	7,17	286,0	597,0	9,10	0,012	<0,01	0,007	0,004	0,010	0,0099	
Juletræ udtag nr. 8	80	7,57	7,17	293,5	597,0	9,10	0,011	<0,01	0,003	0,002	0,018	0,011	
Juletræ udtag nr. 7	90	7,51	7,17	299,7	597,0	9,10	0,010	<0,01	0,003	0,002	0,009	0,011	
Juletræ udtag nr. 6	100	7,47	7,16	302,9	597,0	9,10	0,230	<0,01	0,070	0,002	<0,005	0,0030	
Juletræ udtag nr. 5	110	7,45	7,16	305,9	597,0	9,10	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	<0,005	0,0030	
Juletræ udtag nr. 4	120	7,44	7,17	308,7	597,0	9,10	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	<0,005	0,0023	
Juletræ udtag nr. 3	130	7,43	7,17	309,9	597,0	9,10	0,016	<0,01	0,008	0,004	0,009	0,0026	
Juletræ udtag nr. 2	140	7,43	7,16	311,2	598,0	9,10	<0,01	<0,01	0,006	0,005	<0,005	0,0020	
Juletræ udtag nr. 1	150	7,40	7,15	313,1	597,0	9,00	0,083	<0,01	0,017	0,006	<0,005	0,0020	
Afgang filter 6	160	7,30	7,11	308,5	597,0	8,80	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	<0,005	0,0020	

FIGUR 23. Måleresultater fra niveauspecifikke vandprøver ("juletræ") i filter 6 ca. 5 uger efter tilsætning af jernfrit vand fra forsøgsfilter og prøver er taget dagen efter filterskyl.

På tabellen (FIGUR 23) afspejler de gulbrune områder igen niveauer med filtermaterialer og bærelag, mens de blålige områder afspejler prøvetagningssteder i vandfyldte kamre uden filtermaterialer og afspejler ligeledes ind- og udgang af filteret. Det ses af tabellen (FIGUR 23), at den biologiske vandbehandling påvirkes af filterskyllet, sådan at behandlingen forringes lidt. Derfor er den umiddelbare konklusion også, at man bør have så lange gangtider som muligt. Det har været diskuteret, hvor lange gangtider man bør have, men det har ikke været muligt at identificere så mange styrende parametre for valg af gangtid. Vandbehandlingen forbedres ved længere tids drift, men også tilstedeværelsen af en stor biomasse kan potentielt give anledning til f.eks. forhøjede kimtal og begrunde filterskylning. Prøver har ikke kunnet afsløre væsentlige niveauer på kimtal med de anvendte gangtider på 5 – 6 uger. Det vil nok kræve længere tids drift for at erkende denne grænse, og i det hele taget afdække om der er en bakteriel effekt af at fortsætte længere tid uden filterskyl af filteret.

Der blev udført enkelte filterskyl på efterfilteret undervejs i filterforsøget og kun et enkelt blev observeret. Der var ikke forventning til, at der blev fjernet ret meget materiale fra filteret i og med, at jernfjernelsen primært foregår i Smartfilter-Fe. Men som det ses af nedenstående tabel, så det ud til, at der blev fjernet en del sort materiale, som sagtens kunne være mangan. Ofte har man opfattelsen af, at mangan ophobes i filtrene og ikke fjernes under skyl. Her kunne det måske godt tyde på, at det ikke er hele sandheden, selvom det selvfølgelig ikke kan udelukkes, at en del af farvningen af skyllevandet også kan stamme fra de bakterier, som forstå den biologiske omsætning af f.eks. ammonium, nitrit og mangan. Men når man ser nedenstående billede fra filterskyllet, ses der en tydelig farvning af skyllevandet, og dette står jo lidt i kontrast til den foregående observation, hvor filterets vandbehandlingsevne forbedres jo længere tids drift, der er uden filterskyl. For det tyder så på, at der er noget belægning, der skal fjernes fra filteret fra tid til anden, selvom der ikke er behov for samme frekvens som forfilteret. Man må også forvente, at jernoxiderne fylder en del mere på filterkornene end de tilsvarende for mangan. Man må forvente, at ophobning af mangan også kan medføre voksende filtre på lige fod med jern, men dog i en mindre skala. Der er ikke afdækket en egentlig gangtid for efterfilteret, men et forsigtigt bud på en balance mellem de to forhold kunne være en gangtid på ca. 4 uger. Indenfor denne tidsramme bør stillestående vand i rør til filterskyl heller ikke være en bakteriel problemstilling, da dette er afdækket gennem prøvetagning på pumper (analyser for kimtal). Det betyder dog også, at behovet for et komplet skylleudstyr med både vand og luft til skylleprocessen er nødvendig, men i og med at det allerede er til stede til forfilteret, bør det ikke være en problemstilling.



FIGUR 24. Billede fra filterskyl af biofilteret (filter 6) efter 6 ugers drift. Bemærk skyllevandets sorte farve.

Inden afslutningen af forsøget blev det besluttet at undersøge effekten af tilsætning af kobber til filteret. Kobbertilsætningen har i en del andre tilfælde givet en forbedring af omsætningen af især ammonium. Det skal dog bemærkes at der ikke er foretaget en måling af kobbertilsætningen men tidligere målinger har vist en tilsætningsrate på 3 – 7 µg Cu/l. Tilsætningen af kobber er meget lavpraktisk, i og med at der tages en lille delstrøm af rent vand, som sendes igennem et kobberrør, som afgiver en meget lille mængde kobber. Kobber er essentielt for de bakterier, som står for vandbehandlingen og kan derfor have en forbedrende effekt. Vi har set en betydelig effekt på flere andre filtre, som har kørt dårligt, og der var derfor nysgerrighed på, om det kunne forbedre behandlingsprocesserne yderligere. Sammenligningsgrundlaget var næstsidsste profil af vandprøver udtaget med juletræet og et nyt sæt prøver blev taget med fuldstændig samme drift af borer. Resultatet ses i nedenstående FIGUR 25.

Måling af profil efter kobbertilsætning												
Dato:		18-05-2022	Tidspunkt:	08:30								
Flow forsøgsfilter:		49,40	m ³ /t									
Prøvested	Niveau	Feltmålinger					Eurofins målinger					
		ilt	pH	Redox	Ledningsevne	Temperatur	Totaljern	Filt. Jern	Mangan	Filt. mangan	Ammonium	Nitrit
Tilgang iltningsspor		Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	1,7	1,6	0,20	0,18	0,40	<0,001
Afgang iltningsspor		Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	1,7	1,6	0,21	0,18	0,39	<0,001
Tilgang forsøgsfilter		Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	1,8	1,5	0,18	0,18	0,39	<0,001
Afgang forsøgsfilter		Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,078	0,069	0,15	0,12	0,12	0,012
Tilgang filter 6	0	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,078	0,067	0,17	0,12	0,13	0,011
Juletræ udtag nr. 15	10	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,031	0,014	0,11	0,074	0,054	0,016
Juletræ udtag nr. 14	20	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,027	<0,01	0,044	0,038	0,043	0,010
Juletræ udtag nr. 13	30	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,034	<0,01	0,035	0,020	0,04	0,0069
Juletræ udtag nr. 12	40	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,033	<0,01	0,011	0,006	0,017	0,0026
Juletræ udtag nr. 11	50	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,026	<0,01	0,009	0,006	<0,005	0,0013
Juletræ udtag nr. 10	60	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,013	<0,01	0,013	0,010	0,019	0,0013
Juletræ udtag nr. 9	70	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,015	0,012	0,015	0,012	0,025	0,0013
Juletræ udtag nr. 8	80	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	<0,01	<0,01	0,014	0,010	0,0077	<0,001
Juletræ udtag nr. 7	90	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,013	<0,01	0,010	0,007	0,010	<0,001
Juletræ udtag nr. 6	100	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,012	<0,01	0,011	0,010	0,023	<0,001
Juletræ udtag nr. 5	110	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,014	<0,01	0,035	0,022	0,018	0,0016
Juletræ udtag nr. 4	120	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,011	<0,01	0,006	0,004	0,0065	<0,001
Juletræ udtag nr. 3	130	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	<0,01	<0,01	0,014	0,013	0,018	<0,001
Juletræ udtag nr. 2	140	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,026	<0,01	0,029	0,020	0,021	<0,001
Juletræ udtag nr. 1	150	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,130	<0,01	0,039	0,021	0,018	0,0013
Afgang filter 6	160	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	0,013	<0,001

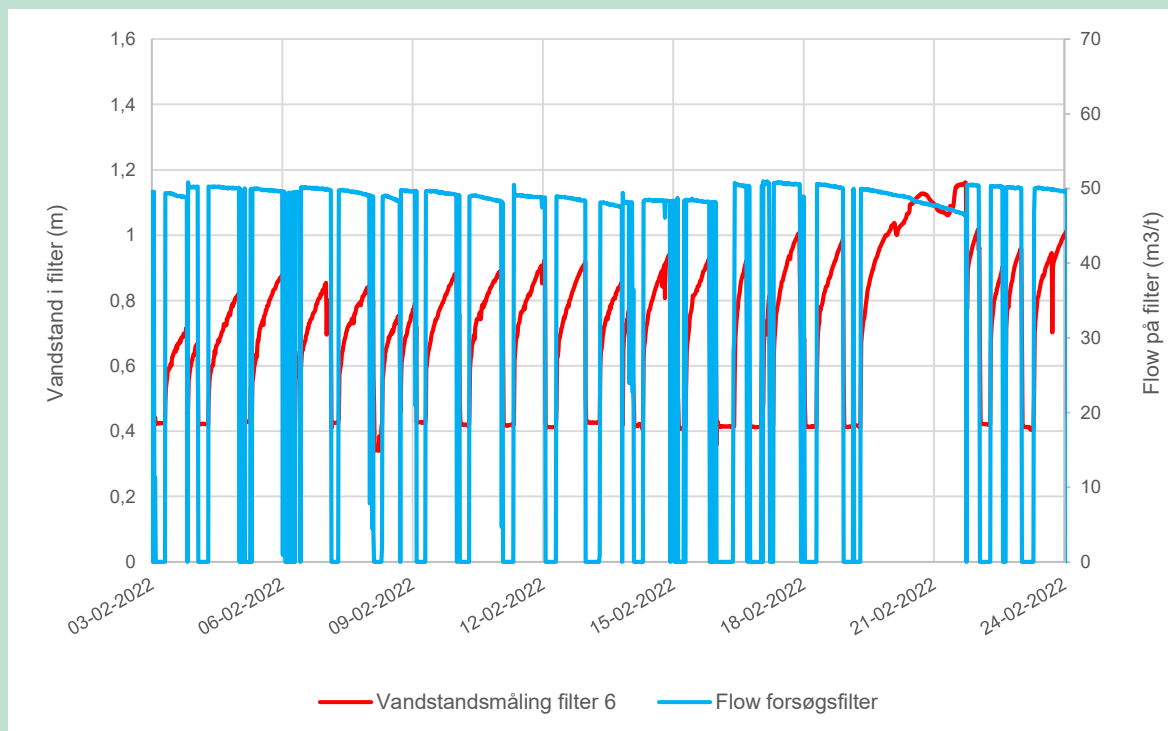
FIGUR 25. Måleresultater fra niveauspecifikke vandprøver ("juletræ") i filter 6 efter 6 ugers drift med tilsætning af kobber.

På tabellen (FIGUR 25) afspejler de gulbrune områder igen niveauer med filtermaterialer og bærelag, mens de blålige områder afspejler prøvetagningssteder i vandfyldte kamre uden filtermaterialer og afspejler ligeledes ind- og udgang af filteret. Umiddelbart kunne man fortolke det, som at der ses en effekt på ammonium og nitrit, men når man nærlæser tallene, ses det, at der faktisk ikke er den store påvirkning på de to parametre, da indholdet af både ammonium og nitrit reduceres inden det tilgår efterfilteret.

Men der ses en påvirkning af manganjernelsen, da den reduceres hurtigere ned i filteret i forhold til referencemålingen. Der har faktisk ikke tidligere hos Aarhus Vand været identificeret nogen påvirkning af manganjernelsen. Det skyldes nok, at det som oftest ikke er en problemparameter og den forbedrede effekt ikke identificeres, når man blot måler på tilgang og afgang fra et filter. Men der ses en påvirkning, om end den ikke er stor. Men resultaterne tyder på, at der er flere måder at opnå samme optimering af den biologiske vandbehandling. Vi kan se, at ved at sikre en mere langvarig drift, hvor driften af biofilteret ikke stresses med gentagne filterskyl, kan der opnås en rigtig god vandbehandling, og flytningen af jernjernelsen til et Smartfilter har stor effekt. Den mindre hyppighed af skyl i filteret betyder formentlig også, at kobber ikke bliver en så begrænsende faktor, da bakteriologien, som driver vandbehandlingen, ikke skylles ud hele tiden, og derfor ikke har brug for ny tilførsel af kobber i samme grad. Men resultaterne ser anderledes ud, når filter 6 blev drevet som et traditionelt filter med jernjernelse og dermed gentagne skyl. I tidligere tilfælde er det vist, at kobberdoseringen har en betydelig effekt på især ammonium- og nitritjernelsen, men det har været uklart, om der også ses en forbedringseffekt på manganjernelsen.

Igennem forsøget har vi kunnet konstatere, at luft i filteret har en hydraulisk påvirkning af filterdriften. Der er samlet data op på vandstanden i filter 6, og som det ses af nedenstående tabel stiger vandstanden i løbet af dagen, men i nattetimerne stopper produktionen og luften slipper herved ud af filteret. Tilledningen af vand fra Smartfilter-Fe til filter 6 sker med en faldhøjde på ca. 0,8 m, og det tilfører ca. 2 mg O₂/l, så det samlede iltindhold kommer op på 7 – 8 mg/l. Det ligger jo en del fra iltmætning, men det kunne godt tyde på, at det alligevel medfører bobledannelse i filteret, og at det hæmmer gennemstrømningen i filteret og øger den opstuvende effekt igennem driftstiden af filteret. Men det udliges når produktionen på filteret stopper, hvorved at vandstanden igen starter til udgangspunktet igen. Det ses også på nedenstående tabel, at ved længerevarende periode med drift på filteret, at den stigende vandstand som følge af luften i filteret ikke bliver ved med at udvikle sig. Den stabiliseres ved en vandstandsstigning på ca.

0,70 m. Det betyder i praksis, at der står et stigende vandvolumen over filtermassen, som måske ikke i første omgang har et formål. Men det ses dog af målingerne, at der faktisk reelt sker vandbehandling, da der i flere tilfælde ses en reduktion i f.eks. jernindholdet i denne vandfase. Man må påregne, at såfremt det var i et lukket filter ville disse luftbobler betyde en opbygning af tryk i filteret, og det er ikke hensigtsmæssigt, da det så vil medføre et øget energiforbrug og måske også reducere filterets kapacitet. Konklusionen kan således være, at de sidste mange års tanke om, at rigeligt med ilt er godt, måske kan have en lille bagside, da det kan give luft i filteret og øge tryktabet. En mulig løsning er måske at reducere iltindholdet i filtreringsprocessen og først senere (f.eks. i rentvandsbeholderen) tilføre det yderligere behov for ilt, der måtte være behov for. Erfaringer fra andre filtre er, at f.eks. ammoniumomsætningen faktisk sagtens kan foregå selvom iltindholdet er nede på 2 – 3 mg/l.



FIGUR 26. Målt opstuvning i biofilter (Filter 6) under drift og reduktion af vandstand efter produktionsstop.

Konklusionen på denne forsøgsrække er, at der ses en betydelig effekt i at flytte jernfjernelsen til et andet filter og forsøge at tilgodesee vandbehandlingen i efterfilteret ("biofilteret") mest muligt. Vi ser, at et filter, som tidligere faktisk ikke har kunne foretage en fornuftig vandbehandling af ammonium og nitrit, kan komme til at køre en rigtig god vandbehandling når bare vandbehandlingsprocesserne bliver tilgodeset. Det betyder, at der skal køres med lange gangtider i biofilteret. Filteret opbygger en meget større behandlingskapacitet, og det betyder i praksis, at filterets effektivitet øges ved, at det kan behandle mere. Men det tyder dog også på, at der indimellem bør foretages filterskyl, da der er indikationer på, at der fjernes mangan. Manganbelaegningerne har dog ikke helt så betydende volumen og dermed påvirkning på voksende filtre, at det udgør et stort problem. Bakteriologiske problemer som følge af de lange gangtider har ikke været identificeret, men der er vurderet, at gangtider på 4 uger tilgodeser god vandbehandling, fjernelse af manganudfældninger og imødegår også eventuelle kimtalsproblemer.

Tilsætning af kobber har vist en effekt på mangan, men påvirkningen på ammonium- og nitritfjernelsen har ikke været synlig. Det tyder på, at kobber skal ses som et middel til at imødegå

påvirkningerne fra gentagne skyl i et filter med både jern-, ammonium- og nitritfjernelse. Her kan kobbertilsætning hjælpe med at imødegå vandbehandlingsproblemer, når der hele tiden fjernes aktiv biomasse ved filterskyl. Men samme effekt kan opnås ved at tilgodese den biologiske vandbehandling.

Luft i filteret har været observeret, selv om der ikke sker overmætning med ilt. Vi ser ofte beluftning/iltning som en proces, hvor der skal tilsættes rigeligt. Men det ses også her, at der kan være en bagside, da det blokerer filteret hydraulisk så modstanden i filteret øges. I et lukket filter vil det medføre, at modtrykket stiger og kan medføre et øget energiforbrug til pumperne, der driver vandet igennem vandværket.

4.6 Ø6. Skyll effektivitet på forfilter

Baggrund

Det nye forfilter bliver særligt hårdt belastet med jern. Dels er jernkoncentrationen i Østerby råvand ret højt, og dels er der planlagt en ret høj filterhastighed (for at sikre en god dybdefiltrering på mindst 75% af filterdybden). Det betyder, at filtret skal skylles ofte og grundigt. Ved denne forsøgsrække blev der udført massebalancer for jern. Til massebalancerne blev jerntilførsel og -fjernelse beregnet over en gangtid, dvs. ved tilgang filter og ved skyllevandets fjernelse. Hermed kan man beregne, hvor meget stof efterlades i filtret og hermed bidrager til filtervækst. Desuden vil beregningerne gøre det muligt at vurdere effektiviteten af forskellige skyllesekvenser og kombinationer af luft alene, lille skyl (luft + vand) og stort skyl (dvs. vand alene). I dette forsøg blev forskellige performance indikatorer ved forskellige skylleprocedurer sammenlignet. Indikatorer inkluderede målt tilført jern til filteret gennem gangtiden og målt fjernet jern ved henholdsvis lille og stort skyl. Herved kan fjernelsesprocenten beregnes og dermed give indikationer om effektiviteten af filterskyllet.

Formål

At identificere den mest effektive skylleprocedure i et forfilter, der er hårdt belastet med jern.

Forsøg

Indledningsvist blev baseline for stoffjernelse under et standardskyl fastlagt. Det blev gjort ved først at køre med en standard flow og et standardreturskyl i en periode. Hermed var der sikkerhed for, at en steady state med hensyn til coating på mediekornene og tilklogning af porerummen blev opnået. Herefter blev stoffjernelsen fastlagt ved at udføre massebalancer (for jern og mangan) for minimum tre gangtider, fortsat med samme skyllesekvens. Under gangtiden var der varierende drift af borer, hvorfor det var nødvendigt at beregne jernbelastningen på filteret, alt efter hvilke borer der var i drift i løbet af gangtiden, således at der blev fastlagt så nøjagtig en jernbelastning af filteret som muligt. Derfor blev der målt jernindholdet i hver boring, for derved at kunne beregne den enkelte borings bidrag i den samlede gennemsnitlige jernbelastning ved at anvende jernindholdet og den enkelte borings aktuelle flow. Der blev anvendt detaljerede data opsamlet i SCADA-systemet til beregning af jernbelastningen, og der var flowmåler på hver enkelt boring.

Der blev generelt kørt med et flow på filteret på ca. 50 m³/t og med et jernindhold i råvandet på ca. 2,5 mg/L, et filterareal på 3,14 m² samt en gangtid på 3½ døgn (2 gange om ugen i udgangspunktet). Hermed passer en gangtid til en jernbelastning på 2,8 kg Fe/m². I praksis blev der dog justeret lidt på gangtiderne af hensyn til prøvetagningerne, da antallet af prøvetagninger var ret omfattende, og der var ønske om at foretage minimum 2 målinger om ugen. Så i praksis blev der anvendt gangtider på 2 – 3 døgn.

Efter fastlæggelse af baseline, blev virkningen af fem forskellige skylleprocedurer undersøgt. Der blev overvejet at teste mere komplicerede skylleprocedurer, men her ville unøjagtigheder i prøvetagningsprocedurer kunne give usikre sammenligningsresultater, hvorfor det blev valgt at

begrænse til ret simple og traditionelle skyllesekvenser (se nedenstående tabel). Hver skylleprocedure blev anvendt på minimum 3 gangtider i træk. Der blev udtaget et sæt prøver for hver gangtid, som blev undersøgt. Opgaven er relativt tidskrævende, da hver test kræver, at der køres drift over en gangtid, før der kan tages en ny test med prøver.

Forhold

De anvendte skylleprocedurer (standard skyl samt fire andre) ses i tabellen nedenfor.

TABEL 2. De testede skyllevandsprocedurer.

Skylle-sekvens	Beskrivelse	Luft Minutter	Lille skyl Minutter	Stort skyl Minutter
1	Skyl uden luft alene	0	7	3
2	Skyl uden luft med længere varighed af lille skyl	0	10	3
3	Traditionelt skyl med alle 3 sekvenser	10	10	3
4	Kun lille skyl uden stort skyl	0	15	0
5	Gammeldags skyl med luft alene og efterfølgende stort skyl	10	0	4

Ved skyllesekvenserne blev der anvendt 200 m³/t for luftflow (63 m/t), 44 m³/t vand til lille skyl (14 m/t) og 220 m³/t vand til stort skyl (70 m/t).

Hver af de enkelte skyllesekvenser blev udført minimum 3 gange for at sikre konsistens i resultaterne. Der kunne af og til ses afvigelser i resultaterne, men ofte var resultaterne ret ensartede. I de tilfælde, hvor der sås væsentlige afvigelser, blev antallet af prøvetagninger øget.

Prøver

- Der blev udtaget prøver af skyllevand hvert 30 sekund under de dele af skyllevandssekvenserne, hvor der blev anvendt vand.
- Der blev lavet blandeprøver af henholdsvis stort og lille skyl og målt en gennemsnitlig jernkoncentration.
- Jernkoncentrationerne blev målt ved at fortynde prøver med demineraliseret vand, og målingen af jernindholdet blev målt med Hach kit LCK 321.
- Med det registrerede flow fra skyllevandspumpen kunne det fjernede jern ved filterskyllet beregnes sammen med den målte koncentration for henholdsvis lille og stort skyl. Der blev beregnet en samlet jernfjernelse ved at lægge jernfjernelsen fra henholdsvis lille og stort skyl sammen.

Resultater

Først og fremmest er det nok relevant for tolkningen af resultaterne, at der nævnes en del af de fejlkilder, som blev konstateret igennem forsøget.

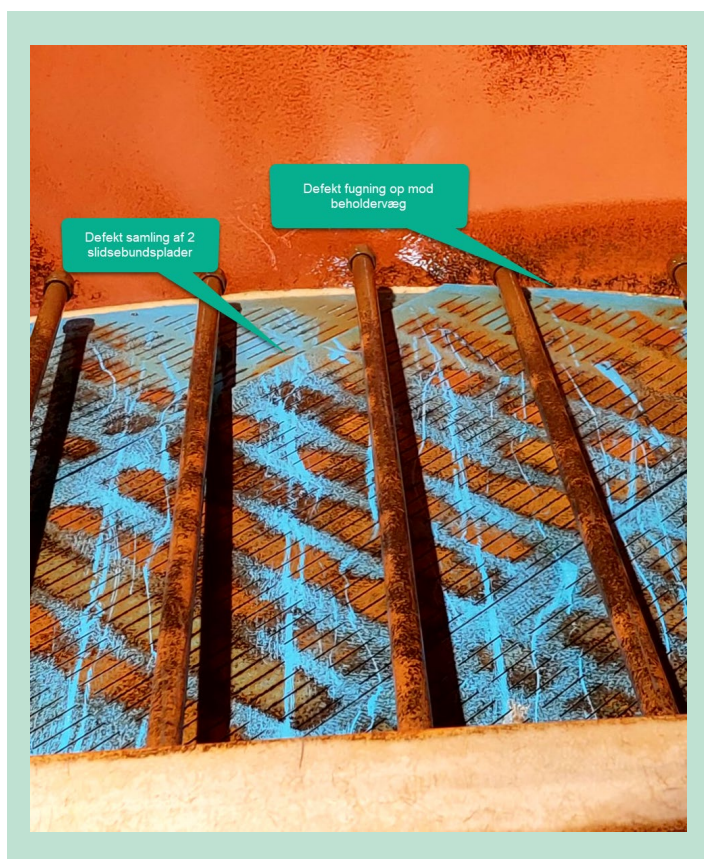
Vi så, at en ikke helt ubetydelig del af jernet allerede var fældet ud, inden råvandet når forsøgsfilteret. I praksis er det i forsøg Ø6 målt, at mellem 5 og 30 % af det opløste jern allerede er fældet ud, inden det når forsøgsfilteret. Det bør måske ikke have så stor betydning, da det burde fanges af forsøgsfilteret, men det er ikke fældet ud på filtermaterialerne, som tanken ellers er. Det er i stedet fanget mellem filterkornene eller i toppen af filteret som en tilklogning af filteroverfladen. Forventningen er, at i praksis vil dette også fjernes under filterskyllet, og fejlkilden vurderes derfor ikke så stor for forsøgsresultaterne. Men det kan være en begrænsning i forhold til at få den fulde effekt af f.eks. dybdefiltreringen, og dermed at gangtiderne ikke bliver helt så lange, som de ellers ville have været uden udfældningen før filteret.

Vi så også en mulig fejlkilde i, at der er et naturligt luftkammer i toppen af filteret, da rørføringen fra afgang skyllevand lå over filterets top for at skabe fornuftig arbejdssikkerhed for de folk, som skulle udtage prøver på filteret og derved kunne undgå at få personskade ved at

ramme røret. Betydningen af dette design er lidt usikker, men når der ses på åbne filtre, ser det ret voldsomt ud på overfladen når der skylles, men undersøgelserne i de indledende forsøg har vist, at det kun er ved selve filteroverfladen, at der er denne voldsomme påvirkning, og det ses ikke længere nede i filtrene under normale forhold. Derfor vurderes betydningen af dette forhold også som relativt lille, men i et fremtidigt design vil vi dog alligevel anbefale, at det udføres med rør til skyllevand under skyllevandsudløbet i filteret, da det betyder, at luft også lettere kommer ud gennem skyllevandsrøret. I forsøget blev skyllevandsluften dog også ledt væk fra filteret via en svømmerventil i toppen af filteret, som lukkede overskydende luft ud.

Rampetiderne på skyllevand under skyllet er også en parameter, som kan have påvirket resultaterne for jernfjernelse fra skyl. Under opstart og ændringer i skyllevandsflow er der behov for rampetider til disse skift i flow. I forhold til prøvetagningen indgår dette flow også i opgørelsen, men det er usikkert, hvor stor effekten er af dette flow i forhold til opgørelsen af jernfjernelsen under skyl. Procentuelt udgør dette dog under 5 %, men er størst for opgørelsen af lille skyl, da den samlede vandmængde til lille skyl er mindst.

En væsentlig fejlkilde er, at det under nedlukningen af projektet blev konstateret, at filterbunden i forsøgsfilteret ikke har sluttet helt tæt (se FIGUR 27).



FIGUR 27. Foto der illustrerer den defekte filterbund i forsøgsfilteret efter forsøget er afsluttet.

Det vil især kunne påvirke netop filterskyllet, at en samling i filterbundens ene side er defekt. I samme side op mod filterbeholderens indervæg, er der også opstået en åbning, da fugen har sluppet. Det kan sagtens have påvirket filterskylningens effektivitet under forsøgene. Det ses af filterbunden, at en stor del af skyllevandet er kommet op i filteret gennem den defekte filterbund. Det betyder, at dele af filteret nok ikke er skyllet helt optimalt under enten hele eller dele af forsøget. Det er dog usikkert hvornår defekten af filterbunden er opstået. Men det betyder, at resultaterne fra filterskylleforsøgene her i forsøg Ø6 skal ses med en ikke helt ubetydelig

usikkerhed, og muligvis er de slet ikke retvisende. Men vi forsøger at få de bedste konklusioner ud af resultaterne.

De 5 udvalgte skyllesekvenser, som er testet, fremgår af nedenstående FIGUR 28.

Dato	Skylleprogram	Luft minutter	Lille skyl Minutter	Stort skyl Minutter	Antal m3 i gangtid m ³	Tilført jern i gangtid g	Lille skyl				Stort skyl				Jernkoncentration i sidste prøve mg/l	Antal gange filtervolumen udskiftet under skyl	Samlet fjernet stofmængde	Andel fjernet
							Antal m3 Antal gange	Antal gange filtervolumen udskiftet under lille	Fjernet stofmængde g	Andel fjernet af lille skyl %	Antal m3 Antal gange	Antal gange filtervolumen udskiftet under stort	Fjernet stofmængde g	Andel fjernet af stort skyl %				
10-03-2022	1	0	7	3	2.266	6.103	5,58	3,7	3.024	50%	12,66	8,4	280	5%	7,9	12,1	3.304	54%
14-03-2022	1	0	7	3	2.750	7.424	5,59	3,7	3.248	44%	12,73	8,4	662	5%	7,9	12,2	3.310	53%
18-03-2022	1	0	7	3	3.801	9.872	5,61	3,7	3.949	40%	12,82	8,5	1.069	15%	11,0	12,2	5.039	51%
Gennemsnit 1	0	7	3	0	2.912	7.802	5,6	3,7	3.407	44%	12,7	8,5	1.670	8%	9,4	12,2	4.918	53%
21-03-2022	2	0	10	3	2.188	6.004	7,75	5,1	3.139	52%	12,78	8,5	378	6%	7,5	13,6	3.517	55%
28-03-2022	2	0	10	3	2.435	6.631	7,77	5,2	2.354	36%	12,7	8,4	283	4%	10,0	13,6	2.637	40%
11-04-2022	2	0	10	3	2.329	7.507	7,78	5,2	4.271	57%	12,68	8,4	299	4%	7,1	13,6	4.570	65%
11-04-2022 ned	2	0	10	3	2.329	7.507	7,78	5,2	4.409	35%	12,68	8,4	278	4%	7,1	13,6	4.687	63%
Gennemsnit 2	0	10	3	0	2.621	6.912	7,77	5,2	3.543	51%	12,71	8,4	309	5%	7,9	13,6	3.853	55%
25-04-2022	3	10	10	3	2.945	7.658	7,69	5,1	3.139	42%	12,26	8,1	224	3%	5,7	13,2	3.423	45%
02-05-2022	3	10	10	3	2.350	8.161	7,74	5,1	3.344	41%	12,2	8,1	508	6%	9,7	13,2	3.651	47%
05-05-2022	3	10	10	3	3.100	8.637	7,74	5,1	4.249	45%	12,18	8,1	732	9%	10,7	13,2	5.041	55%
Gennemsnit 3	10	10	3	0	3.011	8.153	7,7	5,1	3.597	44%	12,2	8,1	508	6%	8,7	13,2	4.105	50%
16-05-2022	4	0	15	0	2.533	6.714	10,8	7,2	3.826	57%	0	0	0	0%	30,0	7,2	3.826	57%
16-05-2022	4	0	20	0	2.533	6.714	14,8	9,8	3.933	55%	0	0	0	0%	23,8	9,8	3.933	55%
23-05-2022	4	0	15	0	1.610	3.968	12,07	8,0	1.521	35%	0	0	0	0%	18,9	8,0	1.521	35%
25-05-2022	4	0	15	0	2.193	6.396	12,28	8,1	3.860	61%	0	0	0	0%	31,6	8,1	3.860	61%
Gennemsnit 4	0	15	0	0	2.217	5.942	12,5	8,3	3.290	54%	0,0	0	0	0%	26,3	8,3	3.290	54%
01-06-2022	5	10	0	4	2.368	6.553	0	0,0	0	0%	16,14	10,7	5.827	85%	19,7	10,7	5.827	85%
09-06-2022	5	10	0	4	1.896	5.450	0	0,0	0	0%	16,21	10,8	4.468	82%	9,5	10,7	4.468	82%
23-06-2022	5	10	0	4	2.671	6.895	0	0,0	0	0%	15,91	10,6	4.471	67%	8,0	10,556	4.471	67%
Gennemsnit 5	10	0	4	0	2.318	6.235	0,0	0,0	0	0%	16,1	10,7	4.918	75%	12,4	10,7	4.918	75%

FIGUR 28. Sammenstilling af resultaterne fra skylleforsøgene fordelt på de 5 forskellige skyllesekvenser.

Ovenstående tabel (FIGUR 28) opsummerer en stor del af de mest relevante forsøgsdata. Hvide farver i tabellen angiver de enkelte forsøgsresultater, mens de grå rækker indeholder en opgørelse af de gennemsnitlige resultater. Det ses, at der er lidt variation i den behandlede vandmængde, men umiddelbart tyder det ikke på, at det har givet grundlag for en påvirkning af resultaterne, og det er således ikke en parameter, der ser ud til at påvirke f.eks. slutkoncentrationen i skyllevandet, som man ellers ville forvente.

Helt overordnet viser resultaterne, at der ikke er den store variation i hvor meget jern der fjernes. Det har undret, da nogle af de tidligere test foretaget på Lundeværket netop viste, at sekvenser hvor lille skyl er en betydelig del af skyllet, havde en øget effektivitet. Det har vi ikke kunnet eftervise her, og det er uvist om den defekte skyllevandsbund har spillet ind på det resultat. Her kunne det jo umiddelbart se ud til, at skyllesekvensen med luft og stort skyl er mest effektivt. Det kan også undre, at det generelt kun er ca. 60 % af det tilførte jern, som fjernes under filterskyllet i langt de fleste af forsøgene. Men som man kan læse i det næste afsnit, har renheden af filtermaterialerne ikke været særlig høj, da forsøget blev lukket ned, og det kan godt understøtte den observation. En stor del af filtermaterialerne så ret beskidte ud, da filteret blev tømt og det til trods for, at forsøget blev afsluttet med et filterskyl. Men også her kan det ikke udelukkes, at den defekte filterbund kan have påvirket resultatet. Hvis vi ser bort fra den mulige påvirkning fra filterbunden, kunne en årsag også være, at det har været svært at frigøre jernet fra filtermaterialet (E-clay) under skyl. En af fordelene ved dette filtermateriale skulle netop være, at det skulle have en god binding af f.eks. jern til filterkornene, men det at fjerne jernet fra dem igen under filterskyllet er også en væsentlig parameter. Det skal dog understreges, at det er usikkert, om det er en effekt, men det kan bestemt ikke udelukkes.

Det ses at det lille skyl fjerner størstedelen af det jern, som fjernes under skyllet. Undtagelsen er naturligvis i skyllesekvens 4, hvor der ikke er et lille skyl. Her ses det naturligvis, at stort skyl fjerner mere end i de øvrige sekvenser.

Det store skyl har generelt mere rollen som en efterpolering af vandet i filteret. Det ses også, at i skyllesekvens 4, som ikke indeholder stort skyl, ender det ud med en større slutkoncentration i sidste del af skyllet. Men igen er der ikke den store forskel i fjernelsen af jern samlet set. Men det er måske lidt overraskende, at ved at udelade stort skyl er slutkoncentration i den sidste skyllevandsprøve kun 2 – 3 gange jernkoncentrationen i de øvrige skylleforsøg. Det er

værd at tage i betragtning, da en udeladelse eller en reduktion af stort skyl vil kunne spare en del skyllevand. Det vil påvirke hvor meget vand, der bruges til skyllene på årsbasis, og hvor meget skyllevand, der efterfølgende skal håndteres, hvilket kan medføre at skyllevandsbassinerne skal dimensioneres mindre (dvs. lavere arealfootprint). Samtidig vil det også have en positiv effekt på energibruget til filterskyl. Hvis stort skyl helt udelades, vil det også have betydning for hvor stor en skyllevandspumpe, der skal anvendes til filterskyl.

Undervejs i forsøget, har betydningen af varigheden af lille skyl været undersøgt. Derfor har det været undersøgt, hvor meget mere stof der fjernes ved at øge tiden, hvor der er lille skyl. Resultatet er illustreret i nedenstående FIGUR 29.

Filterskyltest 16/5 2022 med 20 min lille skyl og ingen luftskyl				
Tid	Koncentration	Anvendt skyllevand (m3)	Fjernet jern (kg)	Akkumuleret fjernet jern (kg)
0 - 10 min	509	7.2	3,673	3,673
10 - 11 min	56,6	7,9	0,041	3,714
11 - 12 min	46,4	8,7	0,033	3,748
12 - 13 min	41,5	9,4	0,030	3,778
13 - 14 min	36,6	10,1	0,026	3,804
14 - 15 min	30	10,8	0,022	3,826
15 - 16 min	29,3	11,5	0,021	3,847
16 - 17 min	27,4	12,3	0,020	3,867
17 - 18 min	26,8	13,0	0,019	3,886
18 - 19 min	30	13,7	0,022	3,908
19 - 20 min	23,96	14,4	0,017	3,925
20 - 20½ min	23,8	14,8	0,009	3,933

FIGUR 29. Fjernet jernmængde ved at øge længden af det lille skyl.

Det ses, at selv om den anvendte mængde skyllevand stiger lineært, er den fjernede jernstofmængde bedre end lineær indtil vi har kørt lille skyl i ca. 14 minutter. Efterfølgende er den fjernede stofmængde ret konstant. Resultaterne kunne umiddelbart tyde på, at der sker et yderligere fald i hastigheden hvormed jern fjernes efter 20 minutter. Men man skal være opmærksom på den sidste prøve kun indeholder data for et halvt minut. Hvis den skulle være sammenlignelig med de øvrige prøver, skulle resultaterne være dobbelt så store. Derfor er sidste prøve også på niveau med de forudgående prøvers fjernelsesgrader. Det tyder således på, at den store effekt i fjernelsen ved lille skyl ophører efter de ca. 14 minutter, og at man burde stoppe skyllet der og efterfølgende evt. gå over i efterpoleringen med stort skyl.

Undervejs i forsøgene har der været udtaget mange prøver, og der er foretaget en del målinger af jernkoncentrationer. De udtagne prøveglas har været stillet op lige efter prøvetagningen, og de har henstået i nogle timer. Når man ser på disse prøveglas, danner der sig et ret godt billede af, hvor tyngden i fjernelsen ligger. Et eksempel på både det opblandede jern i skyllevandet og det bundfældede skyllevand kan ses på nedenstående FIGUR 30, hvor kuglepennen angiver overgangen mellem lille og stort skyl.



FIGUR 30. Visuel vurdering af filterskyllet med prøveglas lige efter prøvetagningen (øverst) og efter mere end et døgnns henstand (nederst).

Det ses, at denne visuelle metode, som er ret simpel, godt kan anvendes til en indledende kvalitativ vurdering af filterskyl. Det har været forsøgt at måle højden af bundfaldet i prøveglas-sene for at få et billede af fjernelsen. Dette resultat kan ses i nedenstående FIGUR 31.

Prøver 28-03-2022 (0 min luft, 10 min lille skyl og 3 min stor skyl)			
Prøvetid (sek)	Bundfald i prøveglas (mm)	Skyltype	
30	11	Lille skyl	
60	10	Lille skyl	
90	10	Lille skyl	
120	9	Lille skyl	
150	10	Lille skyl	
180	8	Lille skyl	
210	6	Lille skyl	
240	5	Lille skyl	
270	4	Lille skyl	
300	3	Lille skyl	
330	3	Lille skyl	
360	3	Lille skyl	
390	2	Lille skyl	
420	2	Lille skyl	
450	2	Lille skyl	
480	1	Lille skyl	
510	1	Lille skyl	
540	1	Lille skyl	
570	1	Lille skyl	
600	1	Lille skyl	
630	1	Lille skyl	
30	< 1	Stor skyl	
60	< 1	Stor skyl	
90	< 1	Stor skyl	
120	< 1	Stor skyl	
150	< 1	Stor skyl	
180	< 1	Stor skyl	

Prøver 11-04-2022 (0 min luft, 10 min lille skyl og 3 min stor skyl)			
Prøvetid (sek)	Bundfald i prøveglas (mm)	Skyltype	
30	9	Lille skyl	
60	13	Lille skyl	
90	12	Lille skyl	
120	10	Lille skyl	
150	8	Lille skyl	
180	8	Lille skyl	
210	7	Lille skyl	
240	6	Lille skyl	
270	5	Lille skyl	
300	5	Lille skyl	
330	4	Lille skyl	
360	4	Lille skyl	
390	3	Lille skyl	
420	3	Lille skyl	
450	3	Lille skyl	
480	2	Lille skyl	
510	1	Lille skyl	
540	1	Lille skyl	
570	1	Lille skyl	
600	1	Lille skyl	
630	< 1	Lille skyl	
30	< 1	Stor skyl	
60	< 1	Stor skyl	
90	< 1	Stor skyl	
120	< 1	Stor skyl	
150	<< 1	Stor skyl	
180	<< 1	Stor skyl	

FIGUR 31. Eksempler på måling af bundfald i prøveglas.

Metoden er sådan set ret anvendelig, men ville kunne forbedres en del ved at anvende glas med mindre diameter og højere. Herved opnår bundfaldet en større højde og dermed mere sikkerhed i opmålingen, og det er også mere muligt at kunne differentiere de enkelte prøver bedre fra hinanden. En væsentlig parameter i metoden er, at hver prøve skal have samme volumen, hvilket ikke 100 % var tilfældet med alle prøver. Metoden erstatter ikke de mere detaljerede målinger af jernfjernelsen, men er en hurtig måde, hvor man kvalitativt kan se effekten af flere forskellige skyl og kan vurdere, om nogle dele af skyllesekvenserne skal være kortere eller længere.

Konklusion

Det er desværre ikke muligt at komme med endegyldige konklusioner på testen af forskellige skyllesekvenser, og det kan skyldes den defekte filterbund og usikkerheder ved måling af massebalancen, som kan have påvirket resultaterne. På trods af usikkerheden ved den defekte filterbund, tyder det på at et gammeldags skyl med luft og stort skyl er det mest effektive.

Den konklusion er dog ikke konsistent med tidligere forsøg på Lundeværket, hvor lille skyl var mest effektivt.

Vi kan se, at der hvor lille skyl er til stede i skyllesekvensen, står dette skyl for langt den største del af jernfjernelsen, og der ses tilsyneladende ikke en øget effekt ved at køre med luft før lille skyl. Det store skyl tjener generelt kun som en efterpolering i det tilfælde, hvor der indgår et lille skyl. Her skal man vurdere, om det store skyl reelt har væsentlig værdi, og om en udeldelse eller reduktion af stort skyl vil medføre et betydeligt dårligere skyl. Baggrunden for at dette ikke er undersøgt i forsøget er, at de mange forsøg var ret tidskrævende (hvor forsøg kræver en gangtid på 2 – 3 dage). For at kunne undersøge betydningen af den manglende efterpolering, er det nødvendigt med længere tids drift. Endvidere vil tests, hvor man kan sammenligne med og uden stort skyl være nærliggende at teste samtidig på 2 ens filterkolonner, for at sikre et ens sammenligningsgrundlag. En del af det efterladte jern i filterets residualvand vil enten ende i efterfilteret eller kunne fjernes ved en efterfølgende recirkulering fra filteret inden det tages i drift igen.

Der er fundet en simpel metode til en hurtig kvalitativ vurdering af skyl, hvor effekten af ændringer i filterskyllesekvenserne kan vurderes. Men når et felt af optimale løsninger er fremkommet, må man forvente, at der bør laves egentlige massebalanceberegninger for jernfjernelsen under skyllet, som der også er udført i denne forsøgsrække.

4.7 Ø7. Afdækning af filtertilstand ved forsøgsafslutning

Der har været et ønske om at afdække hvordan nogle af de nye filterændringer har klaret driften over længere tid. Dette har krævet, at filteret blev undersøgt lidt nærmere i forbindelse med, at filteret blev tømt efter afsluttet drift. Det drejer sig især om filterlag, bærelag og filterbund. Derfor er der foretaget en kvalitativ undersøgelse af følgende forhold:

- Om der er opretholdt en klar adskillelse af bærelag og filtermateriale (E-clay)
- Undersøgelse af om der ses udfældninger på bærelaget (glaskugler) og om der forekommer coating af filterkornene
- Tilstanden af filterbunden undersøges i forhold til at vurdere, om den har taget skade af den kraftigere flow, og filterslidserne i filterbunden undersøges også nærmere i forhold til mulige skader, slitage og udfældninger i slidserne
- Filtermaterialet undersøges i forhold til belægningernes størrelse.

Indkøring af filteret blev påbegyndt d. 1. dec. 2021 og filterdrift blev afsluttet den 6. juli 2022, dvs. en driftsperiode på godt 7 måneder. Forsøget blev inden nedlukning afsluttet med et filterskyl, hvorefter filteret blev drænet af til dagen efter. Herefter blev der udtaget prøver og taget fotos under tømningen af filteret. Tømningen blev foretaget med en slamsuger og filtermediet blev bortskaffet. I TABEL 3 er prøvetagningsniveauer fra tømningen af vist.

TABEL 3. Prøvetagningsniveauer i forsøgsfilteret under tømning for dokumentation af tilstand.

Prøvetagnings-nummer	Beskrivelse	Dybde fra filteroverflade (m)	Afstand fra flangekant (m)	Antal fotos
1	Filteroverflade I	0,0	0,716	1
2	Filteroverflade II	0,0	0,716	1
3	Filterdybde 1	0,109	0,825	2
4	Filterdybde 2	0,174	0,89	2
5	Filterdybde 3	0,254	0,97	2
6	Filterdybde 4	0,364	1,08	2
7	Filterdybde 5	0,444	1,16	2
8	Filterdybde 6	0,554	1,27	2

9	Filterdybde 7	0,684	1,40	2
10	Filterdybde 8	0,934	1,65	2
11	Filterdybde 9 (Lige over luftarpen i overgang mellem bærelag og filterlag)	1,254	1,97	2
12	Filterdybde 10 (i bærelag)	1,304	2,02	2
13	Filterdybde 11 (bund af bærelag)	1,404	2,12	2

I toppen af filteret lå der tydeligvis en tynd dyne af okkerslam, som lå i den øverste centimeter af filterlagets top. Det vurderes at have baggrund i, at kammeret over filteroverfladen er vandfyldt og i, at et skyl ikke fjerner alt okker i vandet. Derfor vil en del af det vand, som er i toppen af filteret efter et skyl, kunne levere okker til at danne denne dyne af okker (tilklogning). I det opstillede forsøg vil der være 2 – 3 m³ vand over filteroverfladen, og efter skyllet vil det okker, som er i vandet, enten stille og roligt sedimenteres eller presses ned i filterets øverste lag lige efter opstart af filteret, og det vil formentlig medføre et vist tryktab ned gennem de øverste centimeter af filterlaget. Desværre har det ikke været muligt at måle tryktabet i filteret, da de digitale trykmålere ikke er nøjagtige nok til at kunne opløse trykforskellen ned gennem filteret. Selvom det identificerede okkerlag ikke er ønskeligt i toppen af filterlaget, er det rigtigt svært at gøre noget effektivt ved det, men der er 2 parametre, som bør have betydelig indflydelse på størrelsen af denne filterkage:

- Vandvolumen over filteroverfladen i trykfilteret og dermed dannelsen af okkerdyne
- Hvor rent skyllevandet er ved stop af filterskyl



FIGUR 32. Filteroverfladens øverste centimeter var fyldt med okker ved tømningen af filteret.

Sidstnævnte er en af de ting, som har været diskuteret en del igennem fuldskalaforsoget, da det jo er en mulighed at afskære stort skyl før tid og acceptere, at der vil være noget residual okker i vandet. Dette okkerslam vil igen filtreres af filterets øverste lag under opstart af driften efter filterskyl. Men det vil kunne medføre, at udgangspunktet efter et skyl er ringere i forhold til, at denne filterkage i filterlagets øverste lag allerede er opbygget. Vi har endvidere set at opholdstiden i kammeret under almindelig filterdrift medfører, at en del af okkeret allerede er fældet ud inden det når ned i filterlaget.

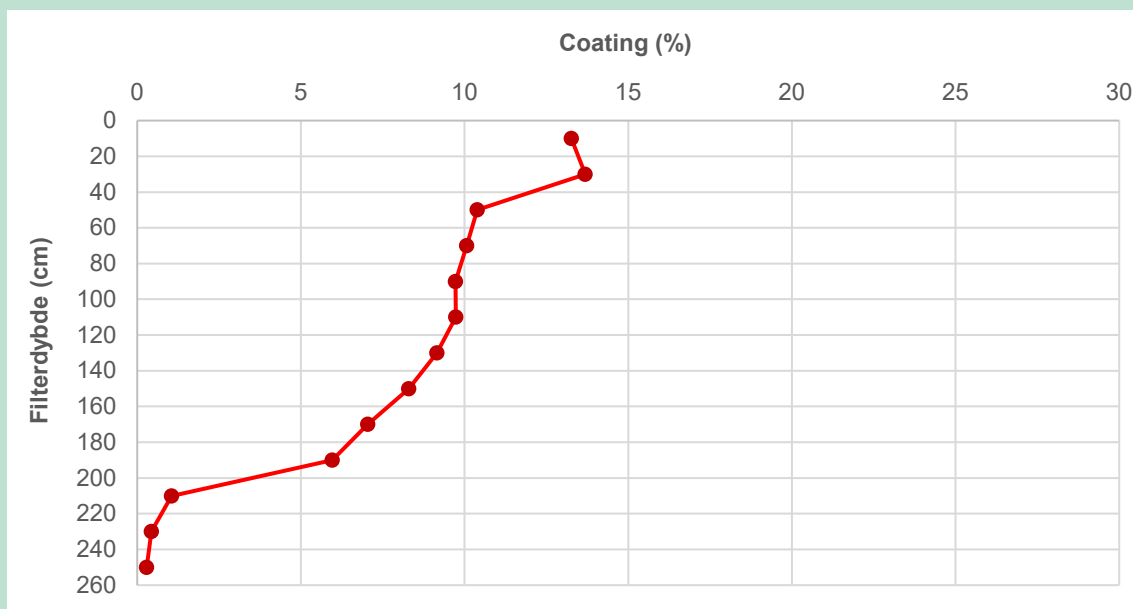
Under tømningen af filtermaterialer ned gennem filteret kunne der ses forskellige farvninger ned igennem filterlaget, som vurderes at stamme fra luften fra luftharpen. Striberne havde udseende som en slags marmorering som gradvist blev tydeligere ned igennem filteret. Det var lidt overraskende at filtermaterialerne var ret beskidte i forhold til, at filteret lige var blevet skyllet inden afdræningen af filteret. Efter tømningen kunne vi måske se en del af årsagen til, at filtermaterialerne var beskidte, idet det kunne konstateres, at filterbunden havde sluppet i en del af filteret. I praksis må det have medført, at der ikke nødvendigvis er sket en ensartet tilførsel af vand på filteret under både lille og stort skyl. Det kan heller ikke udelukkes, at det kan have medført en præferentiel strømningsvej ned gennem filteret, hvor filterbunden havde sluppet. Vi må antage at den defekte filterbund nok har haft mest betydning under filterskyl og ikke så meget under selve driften af filteret. Der sås ikke nogen problemer med luftharpen, men den observerede marmorering kunne måske tyde på, at den ikke dækker filteret helt ensartet. En forsigtig konklusion kunne derfor være, at der bør være fokus på, at afstanden mellem luftharpens rør bør være mindre (her ca. 10 cm) for at opnå en effektiv påvirkning af filtermaterialet under tilførsel af luft. Konklusionen skal dog tages med forbehold, da det kan være usikkert om den defekte filterbund kan have påvirket resultatet. Den forsigtige vurdering er, at der nok er noget om det, men der er ikke fuld evidens for det. Mange vil med den konklusion måske mere se i retning af en traditionel dysebund, men det er dog værd at bemærke, at der i nogle indledende tests er blevet gravet i et ældre filter med dysebund, hvor samme tendens og farvning også kunne ses. Dvs. at der kunne ses "leopardpletter" hen over dyserne i det afgravede filter, hvor pletterne i filtermaterialerne udpegede placeringen af dysen længere nede i filteret. Farvningen indikerer, at der er præferentielle strømningsveje enten under skyl eller under filterets drift eller begge dele. Så det kunne således indikere, at der i et fremtidig design bør være en endnu mere tæt fordeling af luft på filteret for at være sikker på at få aktiveret hele filtermassen under skyl og/eller fordelt vandbehandlingen ensartet ned igennem filtermassen under filterets drift. Filterbunden med en slidbund er et godt skridt i forhold til en god og ensartet fordeling af vand, men luftharpen eller en dysebund dækker måske ikke helt filteret godt nok i dens nuværende udformning. Dækningen kunne dog forbedres ved at isætte flere dyser eller flere udtag i luftharpen.



FIGUR 33. Marmoreringen med tendenser til sammenkittede filtermaterialer. Marmoreringen har baggrund i placeringen af luftharpen.

Under selve sugningen af filteret så det umiddelbart ud til, at der var en pæn overgang mellem bærelag (glaskugler) og filtermaterialet. Der blev udtaget filterprøver for at afdække lidt mere detaljeret om bærelag og om filtermaterialer er blevet opblandet under driften af filteret.

Filterkornenes coating er blevet undersøgt i forhold til at give et billede af hvor stor filtertilvæksten er blevet under forsøget. Dette ses på FIGUR 34.

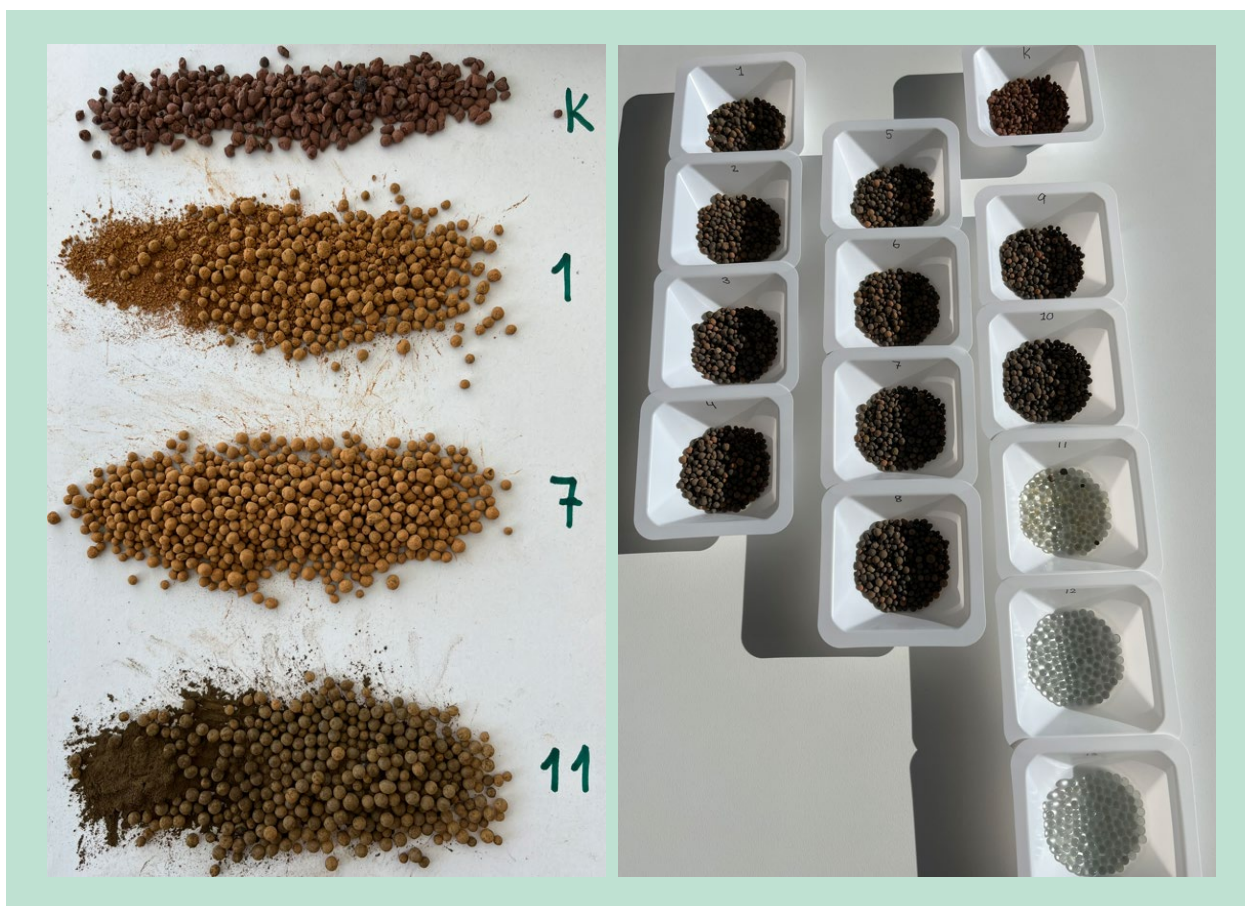


FIGUR 34. Målte coating af filterkort fra prøver udtaget i filteret under tømning.

Som det ses af FIGUR 34, er der fremkommet en ret betydelig coating af filterkornene under forsøget. Dog skal det huskes, at 10% coating på E-clay repræsenterer væsentlig mindre jern end 10% coating på kvarts, da vægtfyllden af E-clay er mindre end kvarts. Det ses af figuren, at den er størst øverst og aftager ned gennem filteret, hvilket stemmer fint overens med, at der er en større afsætning af jern i de øverste lag i forhold til de nedre, selv om der sker dybdefiltrering. Det ses også, at coatingen er større i de øverste lag, hvilket stemmer fint overens med, at der i de allerøverste lag ses en filterkage af jern (se FIGUR 32), som formentlig kan henføres til, at der fælder jern ud i vandkammeret over filteroverfladen, men det ser af disse data også ud til, at en del af det også bindes til filterkornene.

Størrelsen af coatingen giver derfor nok en del af forklaringen på den relativt dårlige fjernelsesgrad af jern i filteret under filterskyl. Fjernelsesgraden ligger på omkring 60 % for de fleste af filterskylsekvenserne i demonstrationsfilteret. Baggrunden kan godt være den defekte filterbund, som det også tidligere er nævnt.

FIGUR 35 (til venstre) viser farven efter tørring af det brugte filtermedie fra forskellige filterdybder i forhold til farven af en kontrolprøve (K) som består af nyt E-clay medie. Som det ses er der meget rødt støv i den øverste prøve (1) mens der er meget sort støv i en prøve fra toppen af bærelaget (11). Det sorte støv kan ses som en udtryk for risiko for afsætning af mangan i filterbunden. Her ses endvidere, at det er vanskeligt at se forskel mellem brugt E-clay og glaskugler. FIGUR 35 (til højre) viser en dybdeprofil af prøver udtaget for hver 10 cm nede igennem filteret. Som det ses er der så godt som ingen blanding af bærelaget (glaskugler) med filtermediet (E-clay) til trods for stor skylleaktivitet gennem 7 måneder. Visuel inspektion af prøve 11 viste, at der var to størrelser glaskugler i denne prøve, men ikke i prøve 12 eller 13.



FIGUR 35. Venstre: Farve af filtermedieprøver (K=kontrol bestående af nyt E-clay medie, 1=filtertop, 7=filtermidt, 11=øverste del af bærelaget. Højre: Profil af filtermedieprøver fra filtertop (øverst til venstre) til filterbund (nederst til højre) efter afsyring. Øverst til højre ses en afsyret kontrolprøve.

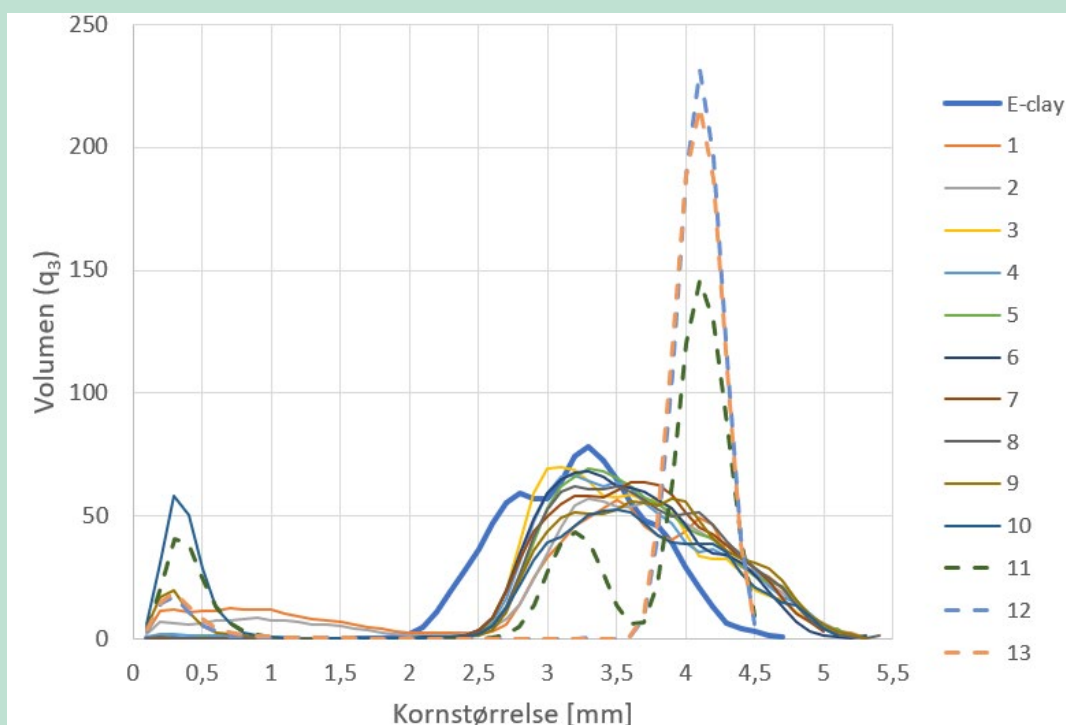
Bærelaget, som bestod af glaskugler, blev også undersøgt, og det sås tydeligt, at der var belægninger på disse korn også, men slet ikke i samme grad som filtermaterialerne. Dette bekræftes også af resultaterne i FIGUR 34, hvor bærelagene repræsenterer de sidste 3 målepunkter med en coating på 0,3 – 1 %. Det ser således ud til, at glaskuglernes glatte overflade hjælper med at undgå varig afsætning af jern på glaskuglerne.

Tabellen (FIGUR 36) viser kornstørrelse og form for filtermedieprøver udtaget som en dybdeprofil. Som det ses er kornene (målt ved 90% fraktilen) vokset i diameter fra ca. 3,8 mm til ca. 4,4 mm. Desuden ses, at E-clay er blevet meget sfærisk efter brug (i forhold til den ikke-brugt kontrol) og er næppe mindre sfærisk end glaskuglerne i bærelaget.

Prøve ID	D10 [mm]	D90 [mm]	Sfæricitet	Uensformighedstal
Kontrol	2,49	3,84	0,88	1,327
1	0,93	4,42	0,87	3,952
2	1,53	4,42	0,87	2,44
3	2,84	4,32	0,95	1,277
4	2,85	4,40	0,94	1,283
5	2,91	4,41	0,95	1,272
6	2,86	4,31	0,96	1,276
7	2,87	4,36	0,97	1,299
8	2,91	4,42	0,96	1,291
9	2,77	4,47	0,93	1,365
10	0,31	4,33	0,87	11,628
11	0,39	4,24	0,90	10,373
12	3,78	4,24	0,95	1,081
13	3,74	4,24	0,94	1,088

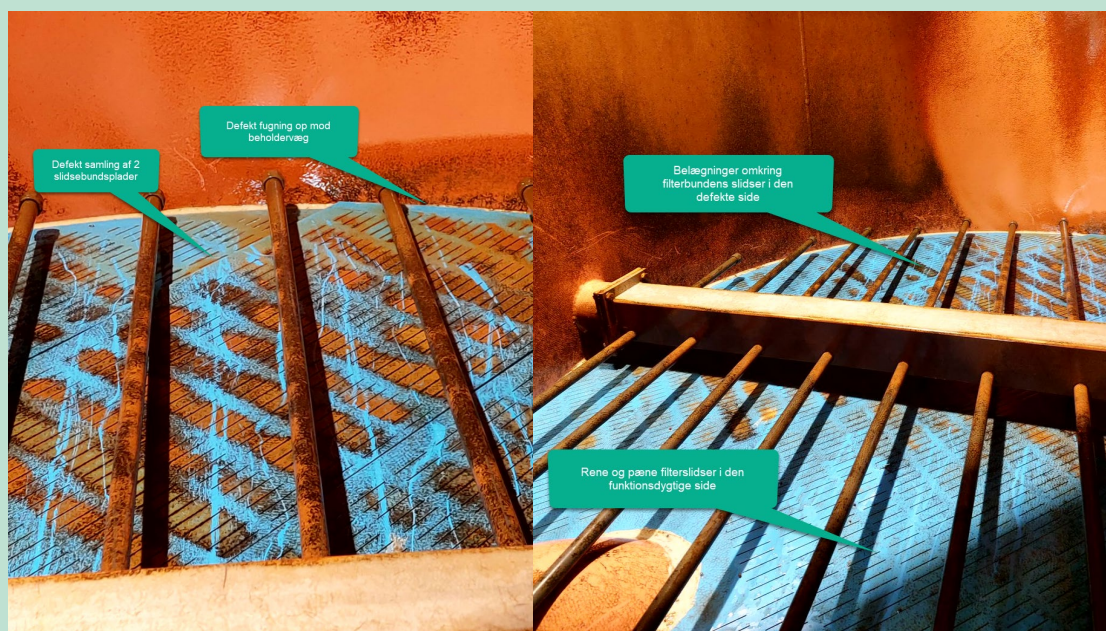
FIGUR 36. Egenskaber af brugt filtermedie (kontrol=nyt E-clay medie).

FIGUR 37 viser kornkurver for brugt filtermedieprøver udtaget som en dybdeprofil ned gennem filteret. Figuren viser tydeligt tre smalle toppe omkring 4,2 mm (prøve 11, 12, 13), som er udtryk for glaskuglernes meget lav uensformighedstal på $< 1,1$. Det øverste af bærelaget (11) viser en dobbelt smal toppe, da bærelaget bestod af to forskellige størrelser glaskugler. E-clay prøverne (1-10) udviser brede toppe, som er udtryk for et højere uensformighedstal på omkring 1,3. Endelig ses mindre toppe i størrelse $< 0,5$ mm, som er udtryk for "snuller". På kontrolprøven kan dette skyldes, at prøven ikke blev vasket inden tørring. Der ses også meget snuller i prøven udtaget ved overgang mellem E-clay og glaskugler (11). En del af disse toppe kan skyldes målemetoden, hvor fysisk påvirkning af de tørrede prøver får coatingen til delvis at gå i stykker inden målingen.



FIGUR 37. Kornkurve af brugt filtermedie udtaget fra forfilteret efter drift (kontrol=nyt E-clay materiale).

Filterbunden blev undersøgt efter tømningen, og der sås et sted, hvor fugen op mod filtervæggen er sluppet og samlingen af to af filterpladerne har løsnet sig. Dette kan ses på FIGUR 38.



FIGUR 38. Fotos af filterbunden med udpegningsmærker og bemærk den uensartede okkerudfældning på slidsebunden.

Som det ses af de viste billeder, ses der tydeligt belægninger ved filterslidserne i filterbunden i den defekte side, mens de ser rene ud i den intakte side af filterbunden. Det tyder på, at renholdelsen af filterslidserne fint kan løses under drift af filteret når filterbunden er funktionsdygtig. Men det skal sikres, at filterbunden er stærkere, og det vil også være nærliggende at udføre den i et stærkere materiale (f.eks. rustfrit stål). Desuden vil en forankring af filterbunden til den underliggende dysebund også være en god løsning, som bør forstærke holdbarheden under f.eks. skyl. Den løsning er udført i fuldskalaforsøget på Lundeværket, hvorved erfaringerne derfra kan erhverves. Så ud over de defekte samlinger, ser løsningen med en slidsebund faktisk lovende ud og er bestemt noget, der kunne anvendes i et fremtidig design af en filterbund dog i en forstærket version.

Det er formentlig den defekte filterbund, som er årsag til, at vi ser den ringere fjernelsesgrad i filteret under filterskylsforsøgene (Ø6.), og det er nok også årsagen til, at der ses en høj grad af coating på filterkornene (5 – 13 %). Det er desværre nok også årsagen til, at der ikke ses specielt stor forskel i effekterne af de forskellige filterskylsekvenser. Værdien af forsøgene med filterskyl er desværre nok ikke så høj pga. usikkerheden ved den defekte bund.

Konklusionen på tømningen af filteret og afdækningen af filtertilstanden er desværre, at den defekte filterbund har stor betydning for flere af forsøgsresultaterne når det gælder filterskyl. Filtermaterialerne er ikke blevet skyllet ordentligt, og det skyldes en uensartet fordeling af vand som følge af den defekte filterbund. Det er vurderingen, at luft under filterskyllet ikke har været påvirket af den defekte filterbund, men fordelingen af vand under skyllet har tydeligvis været påvirket af den defekte filterbund. Resultatet er selvfølgelig ærgerligt, men igennem projektet har det været valgt at tage nogle risici, som man måske ellers ikke normalt tager med henblik på at finde nye og bedre løsninger. Og indimellem falder nye tiltag ikke heldigt ud. Men forsøget har dog indikeret, at vandfordelingen under filterskyl ikke er uden betydning og er en væsentlig del af et godt og effektivt filterskyl. Vi kan også konkludere, at fordelingen af luft er af stor betydning for fjernelserne, og at der skal være stor tæthed af luftafgivelsen for at påvirke hele filtermassen ensartet og effektivt.

5. Erfaringer og konklusion

Der er gennemført en række forsøg med indsættelse af et Smartfilter-Fe foran et eksisterende filter. Hensigten med løsningen er at skille jernfjernelsen og den biologiske filtrering fra hinanden for derved at kunne tilpasse driften af de to filtersystemer til hver sin opgave og sikre en så optimal drift bedst muligt tilpasset vandbehandlingsprocessernes krav.

Undervejs i projektet er der opsamlet en række erfaringer og læring, som kan anvendes i fremtidig filterdrift, som her er demonstreret i fuld skala på Østerbyværket. Undersøgelserne har primært haft fokus på at afdække hvordan forfilteret (med jernfjernelsen) bedst driftes, men også at se hvilken påvirkning en adskillelse af jernfjernelsen fra den biologiske filterdrift har på det biologiske filter og ikke mindst dets effektivitet.

Ekspandering af filtermaterialerne under stort skyl havde vi inden forsøget opfattelsen af er styret af filterkornenes densitet og kornstørrelsen, men det har vist sig, at densiteten tilsyneladende ikke har så stor betydning. Det har derfor vist sig, at der skulle langt mere skyllekapacitet til en ekspansion, og det u hensigtsmæssige ved det er, at det gør det svært at spare ret meget på den samlede skyllevandsmængde, hvilket har været en af målsætningerne i projektet. Det er derfor også ret indlysende, at der generelt ikke sker en væsentlig ekspansion af filtermaterialerne under skyl på danske vandværker, da skyllevandskapaciteten ofte er alt for lav til, at det kan foregå. Konklusionen har derfor været at arbejde videre i filterforsøgene med en skyllekapacitet, som ligger nærmere det vi ser i normale vandværker på 40 - 65 m/t. Det betyder også, at der i forsøgene er undladt at se på en 20 % bedekspansion under stort skyl.

Adskillelsen af jernfjernelsen fra den øvrige del af filterdriften har medført, at der er mulighed for at tilpasse skyllet bedst muligt til processen. Derfor har der været testet med kraftigt skyl, når der foretages lille skyl (dvs. luft + vand samtidig). Det har imidlertid vist sig, at det kan være en udfordring at komme af med luft og vand samtidig, da det medfører, at trykforholdene i filteret stiger og udfordrer skyllevandsudstyret. Det er velkendt, at luft og vand samtidig i et rør ikke er hensigtsmæssigt, da det kan give risiko for stort modtryk og trykstød er også observeret. En udluftning af skylleluften i toppen af filteret har ikke kunnet afhjælpe problematikken nok. Filteret har været tilført en anordning til at modvirke, at der skylles filtermaterialer ud, men test har vist, at det slet ikke har været et problem, selvom der er kørt med kapaciteter i den høje ende (luft: 200 m³/t - 64 m/t og vand: 45 m³/t - 18 m/t).

Indkøringen af et jernfilter har vist sig at tage ca. 3 døgn, men efterfølgende ses der stadig forbedring af jernfjernelse i filteret. Fordelen ved et trykfilter, som i forsøget er anvendt som forfilter er, at der er mulighed for dybdefiltrering. Det betyder, at hele filterets dybde anvendes til afsætning af jern, og at jernet afsættes i en stor del af dybden. Men dybdefiltreringen er meget afhængig af filterhastigheden, og det ser i dette forsøg ud til, at der opnås en god dybdefiltrering ved en filterhastighed på ca. 20 m/t. Undervejs i forsøget er der også erkendt forhold, som måske kunne tyde på genmobilisering af jern, hvilket vil sige at jern, som allerede er udfældet på filterkornene, kan genmobiliseres pga. højere strømningshastigheder i filteret. Det er dog værd på påpege, at der ikke er entydigt bevis for det.

Forsøget har vist, at der er en stor påvirkning af efterfilterets effektivitet når jernfjernelsen flyttes til forfilteret (Smartfilter-Fe). Før optog jernfjernelsen en relativt stor del af efterfilterets filterkapacitet og har efterladt for lidt plads til at omsætningen af ammonium, nitrit og mangan kunne foregå. Det har vist sig, at efterfilteret, som tidligere havde svært ved bare at overholde grænseværdien for nitrit, lige pludselig kan behandle meget mere vand end tidligere og samtidig holde vandkvaliteten langt under grænseværdierne. Der ser endog ud til at være yderligere

behandlingskapacitet i filteret. Det er der gode perspektiver i, da det her er bevist, at man kan få en del bedre vandbehandling ud af et eksisterende filter ved blot at sætte et mindre forfilter på de eksisterende filtre og derved udvide filterkapaciteten betydeligt.

Det ses af forsøgene, at den biologiske del af vandbehandlingen påvirkes betydeligt af filterskyl, og at en lang tids drift uden filterskyl på biofilteret bør tilstræbes. Men observation af filterskyl i det biologiske filter har også indikeret, at der fjernes mangan fra filteret, som jo ellers ophobes i filteret. Det har ikke helt samme påvirkning som jern, men voksende filtre bør også imødegås i efterfilteret. Samtidig er der også bekymringen om, at en stor biologisk masse kan påvirke vandkvaliteten over tid med f.eks. høje kimal. Det gør, at man også kan have et ønske om, at filtret skylles af og til men dog med en langt mindre frekvens. En måneds gangtid har været skønnet som en mulig afvejning mellem de forskellige forhold. Det betyder også, at der formentlig er brug for hele skylleudstyret (dvs. både luft og vand) til filterskyl. Det er dog af betydning, at udstyret jo skal passe til begge filtre, hvilket kan være en udfordring såfremt der tænkes i samdrift af både åbne og lukkede filtre, da det kan stille ret forskellige krav til udstyret.

Tilsætning af kobber har kun haft en effekt på fjernelsen af mangan, som bliver mere effektiv. Selvom der ved andre filtre er set betydelig effekt på fjernelsen af ammonium og nitrit, kan det ikke identificeres under forsøget. En tolkning af årsagen til den observerede forskel i effekt er, at vi ikke hele tiden skyller den aktive biomasse ud af filteret på grund af den lange gangtid, hvorved yderligere tilførsel af kobber ikke er nødvendig. Det er måske årsagen til, at der ses en effekt i de tilfælde, hvor der skylles oftere.

Skylleeffektiviteten er undersøgt med 5 forskellige skyllesekvenser. Forsøgsresultaterne står desværre lidt i skyggen af usikkerheder ved forsøget. Det er ved forsøgets afslutning blevet konstateret, at filterets bund var defekt. Det har muligvis påvirket skylleforsøgene i større eller mindre grad. Meget overraskende har skylleforsøgene vist en relativ lille fjernelsesgrad generelt omkring 60 % og samtidig også en ret ensartet fjernelse ved de forskellige skyllesekvenser, som blev testet. Det bekræftes også af prøverne fra filteret ved afslutningen af forsøgene, hvor der kunne ses en tilvækst på 5 – 13 %. Den ensartede fjernelse ved de forskellige skyllesekvenser kunne indikere, at det ikke er så afgørende, om der skylles med luft eller luft og vand samtidig (lille skyl), hvilket står lidt i kontrast til, at tidligere forsøg på Lundeværket indikerede at luft og vand samtidig (lille skyl), var det mest effektive. Der var dog et enkelt forsøg, som havde en lidt større effektivitet, og det var et gammeldags skyl med først luft alene efterfulgt af stort skyl. Men som nævnt er der en vis sandsynlighed for, at den defekte filterbund har påvirket filterskyllerresultaterne.

Skyleforsøgene viste også, at lille skyl havde rollen at frigøre jern, mens stort skyl (dvs. vand alene) mere havde rollen som efterpolering. Undtagelsen er naturligvis det forsøg, som ikke indeholdt lille skyl, da jernet jo derved først transporteres ud af filteret ved start af stort skyl. Jernfjernelsen i henholdsvis lille skyl og stort skyl var i de fleste forsøg på henholdsvis 30 – 60 % og 5 – 10 %. Da der anvendes ret lille mængde skyllevand til lille skyl i forhold til stort skyl, må det lille skyl betegnes som mest effektivt, og stort skyl har opgaven med at nedbringe residualindholdet af partikulært jern i vandet. Det tyder også på, at der ikke er den store effekt i at køre med luft alene inden lille skyl, da der er ret ens fjernelsesgrader med og uden luft alene.

Det har også været diskuteret om man evt. kunne undvære det store skyl, men man må så påregne, at der transporteres jernholdigt vand til efterfilteret (dog med jern i partikulær form). Om det er hensigtsmæssigt eller ej har ikke været afdækket i forsøgsrækken, men det er en mulighed for en optimering af skyllevandsforbruget. Det er dog relativt svært af afdække, om det er en god ide, da det tager en god del tid at afdække langtidseffekterne.

Undervejs i skylleforsøgene er der blevet afdækket en simpel kvantitativ metode til at undersøge filterskyl. Udtagning af skyllevandsprøver hvert halve minut og en opstilling af prøveglasene op mod hinanden giver et godt billede af fjernelsesgraden hen over skyllet. Hvis glasene henstår, kan man endog måle skyllevandsslammets højde som en indikation på fjernelseren. Der bør dog være fokus på at anvende meget tynde og høje glas, hvorved skyllevandsslammets højde bliver lettere at måle og vil gøre muligt at differentiere resultaterne mere fra hinanden. Flere af målingerne var nogle få millimeter.

Ved afslutningen af forsøget blev filtermaterialerne suget ud af filteret, mens der både blev foretaget en visuel inspektion og taget prøver. Den visuelle inspektion viste, at filtermaterialerne så ret beskidte ud til trods for, at der lige var foretaget et filterskyl før forsøgets afslutning. Dette kan måske understøtte, at der blev observeret ret lave fjernelsesgrader under skyl. Det er svært at give entydige årsager til det, men der er flere muligheder. En mulighed er, at den defekte filterbund er årsagen, men måske kan filtermaterialet også være en del af årsagen. Filtermaterialet ser ud til at være ret effektivt til at binde jernet, men måske er det faktisk sværere at få jernet af filtermaterialerne under skyl, og måske kræver det mere påvirkning end ved andre filtermaterialer (f.eks. kvarts).

Ned igennem filterlaget blev der observeret en marmorering, som kan tyde på, at fordelingen af luft i filteret sker gennem præferentielle strømningsveje, som formentlig har baggrund i, at afstanden mellem luftharpens fordelingsrør er for stor, og derfor ikke påvirker filtermassen ensartet. Tættere fordelingsrør på luftharpen vil måske kunne sikre en mere ensartet fordeling af luft under skyl og modvirke de præferentielle strømningsveje i filteret. Det kan også være en løsning at se på andre løsninger til fordeling af luft under filterskyl. Det kan muligvis være en meget vigtig parameter for jernfjernelsen, som bør have fokus for fremtidige optimeringer.

I filterforsøget blev der anvendt glaskugler som bærelag, og det så ud til, at der ikke var den store opblanding af bærelag og filterlag. Selvom glaskuglerne har en glat overflade, kunne der ses en lille smule udfældninger af jern på dem, men prøveresultaterne indikerer, at der kun er meget lidt coating sammenlignet med filterkornene (< 1%). Forventningen er, at glaskuglernes ensartede form bidrager til en god fordeling af vand under skyl.

Filterbunden har under filterforsøget løsnet sig, og man kunne derfor tænke, at den testede filterbund var en dårlig løsning. Men den del af bunden, som ikke var defekt så faktisk ret fin ud. Hvis filterbunden blev udført i f.eks. rustfrit stål og fastgjort til den originale filterbund, ville det være en langt mere holdbar løsning. Fordelen er, at vandfordelingen er langt mere ensartet når filterbunden er udført som filterslidser fremfor f.eks. dyser, hvor vi tidligere har set præferentielle strømningsveje i filtermaterialerne, der tydeligt indikerer hvor dyserne er placeret. Udfældninger på slidserne så ikke ud til at være til stedet i de dele, hvor filterbunden var intakt og på plads. Desværre har den defekte filterbund nok påvirket en del af resultaterne, og især den del der har involveret filterskyl.

Den primære ide i filterforsøgene med en opdeling af filterprocesserne har med disse forsøg vist sig at være en rigtig god løsning. Det er også løsninger, som kan hjælpe i forbindelse med ombygninger af eksisterende vandværker, hvor der er behov for enten øget behandlingskapacitet eller en øget renssevne. Resultaterne kan også være relevante, hvis grænseværdier for behandlingsparametre på et tidspunkt sænkes i forhold til de nuværende grænseværdier. Her har vi vist, at det sagtens kan lade sig gøre at sætte et mindre forfilter foran et eksisterende filter og opnå væsentlig øget behandlingskapacitet på hele behandlingsanlægget.

Filterforsøgene er de første af sin art, hvor der er testet så mange forskellige forhold. Det er gennem forsøget erkendt hvor mange designelementer, som er baseret på "tommelfingerregler", hvor de faktiske driftsforhold ikke er undersøgt i detaljer. Forsøgenes opsætning er også til en vis grad baseret på tommelfingerregler, som ikke havde så meget fundament i egentlige

undersøgelser. Det er ikke alt sammen faldet heldigt ud. Så der er behov for, at der kommer mere styr på de styrende mekanismer i driften af filtre. Baggrunden for at vi står i denne situation kan måske skyldes, at både vandselskaber og vandbehandlingsleverandører ikke har udvist den fornødne nysgerrighed ift. at undersøge vandbehandlingen og sikre et godt vidensgrundlag at designe vandbehandling på. Man kan opfordre til, at der fremadrettet afdækkes flere vandbehandlingstekniske forhold, og at de deles i branchen så viden om dansk vandbehandling bliver endnu bedre. Der er nu dannet et fundament, som der kan bygges videre på og flere erfaringer og resultater kan anvendes direkte i design af fremtidens filtre, og flere steder kan resultaterne fra forsøget heldigvis også bekræfte, at flere af de nuværende designs er gode løsninger.

Bilag 1. Prøvetagning Østerby Filterforsøg

Bilag 1 Prøvetagning Østerby Filterfor- søg

Drikkevand

Udarbejdet af:
TJE/TPE

Revideret af:

Sted

Det er vigtigt man benytter den rigtige rækkefølge for prøvetagning:

- Indløb
- Udløb
- Hane P1 - P15

Ved udtagning på beholdere skal der udtages nede fra og op, dvs. udtagning på udløb derefter hane 1 og op. Herved arbejder man med stigende koncentrationer når der skal analyseres.

Før prøvetagning

1. Analysekits stilles til temperering inden udtagning af prøver, mellem 15 -25°C.
2. Flush hane 3-5 gange (frigør udfældet okker i prøvehanen for at undgå kontaminering af prøve)
3. Skyld 3x rørets volumen, over ca. 30sek (ca. 250ml) for at sikre repræsentative prøver fra filteret.
4. Fyld 30ml i bæger til ufiltreret prøve
5. Fyld 12ml sprøjte til filtreret prøve

Ufiltreret prøve til analyse for jern:

- Inden analyse hvirvles prøve forsigtig rundt så store partikler opblandes. Dog bør kraftig omrøring undgås, da opløst jern da kan udfælde.

Filtreret prøve til analyse for jern:

- De første 4ml bruges til at skylle filteret, de resterende 8 ml overføres til bæger. Herved sikres det, at der ikke kommer gammelt prøvevand med i analysen hvis filteret har været anvendt tidligere
- De filtrerede prøver analyseres først.
- Der bemyttes én sprøjte til hvert prøveudtag.

Udførelse af analyse

LCK 321 Jern 0,2 - 6,0 mg/L Fe

Husk analyser de filtrerede først, derefter analyseres Ud, 1,2,3 osv. til sidst analyseres Ind.

Analysekits stilet til temperering inden prøvetagning, mellem 15-25°C.

1. **2,0ml prøve** pipetteres forsigtigt i kuvetten.
2. Luk kuvetten og vend flere gange indtil det frysetørrede reagens er **helt opløst**.
3. Efter **15 minutter** rengøres kuvetten på ydersiden og aflæses.
4. indlæs prøve kuvetten i cellerummet.
 - DR 1900: Gå til LCK/TNT plus metoder. Vælg testen, **Tryk Aflæs**.

Indskrivning af data:

Udfyld skema i Teams app

	Prøvetagningssteder
Indløb	

Udløb



**Prøveha-
ner 1-15**

1 nedefra



Bilag 2. Ø1. Bedekspansion under vandskyl

Ø1. Bedekspansion under vandskyl								
Dato	Startid	Sluttid	Varighed	Skyllevandsflow	Skyllevandsh	Tryk under	Tryk i bærelag	Trykforskel
				m ³ /t	astighed	filterbund	bar	over
10-11-2021	09:40	09:45	00:05:00	95	30,3			
10-11-2021	10:20	10:25	00:05:00	112	35,7			
10-11-2021	10:43	10:48	00:05:00	140	44,6			
10-11-2021	11:00	11:05	00:05:00	160	51,0			
10-11-2021	11:34	11:39	00:05:00	180	57,3			
10-11-2021	12:58	13:03	00:05:00	200	63,7	0,21	-	-
10-11-2021	13:25	13:30	00:05:00	232	73,9	0,37	-	-
29-11-2021	10:10	10:15	00:05:00	190	60,5	0,26	0,21	0,05
29-11-2021	12:37	12:44	00:07:00	230	73,2	0,36	0,30	0,06
29-11-2021	13:02	13:07	00:05:00	250	79,6	0,48	0,42	0,06

Bilag 3. Ø2. Ledepladens effektivitet

Ø2 Ledepladens effektivitet

Dato	Startid	Sluttid	Varighed	Med/uden ledeplade	Blåser frekvens Hz	Observeret filtermateriale pallestak	Skyllevandflow m³/t	Skyllevandshastighed filter m/t	Pibeorgel									
									5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm	30 cm	35 cm	40 cm	45 cm	50 cm
29-11-2021	10:57	11:00	00:03	Med	50	Max. 10 filterkorn	13,3	4,2	2,5	1,3	0,6	0,6	<0,5	<0,5	<0,5	-	-	-
29-11-2021	11:13	11:16	00:03	Med	50	Max. 10 filterkorn	37,5	11,9	2,0	1,2	0,7	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	-	-
29-11-2021	11:32	11:35	00:03	Med	50	Max. 10 filterkorn	45	14,3	0,8	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	-	-	-
29-11-2021	11:48	11:55	00:07	Med	50	Max. 10 filterkorn	55	17,5	2,5	2,1	1,3	1,0	<0,5	<0,5	<0,5	-	-	-

Ved det sidste forsøg med 55 m³/t ser vi at blåserens overtryksventil aktiveres. Det ser ud til at årsagen er, at der skal transporteres meget luft og vand ud af røret til skyllevand og at luften kan blokere for at vandet kan komme ud gennem røret. Derved påvirkes trykket og trykket oversliger blåserens højeste tryk og overtryksventilen åbner og tilfører ikke så meget luft.

Bilag 4. Ø3. Indkøring

Ø3 Indkøring

Ø3.1 Måling af samhørende værdier af jernfjernelse ind og ud af forsøgsfilter

Dato og tidspunkt	Ind		Fjernelse		Bemærkninger prøver
	Fe(tot) mg/l	Fe(filt) mg/l	Fe(filt) mg/l	Fe(filt) mg/l	
01-12-2021 11:47	3,56	2,71	0,3		
01-12-2021 14:30	2,99	2,46	0,22		
02-12-2021 05:50	1,44	1,21	0,483		
02-12-2021 11:55	2,07	1,19	0,721		
03-12-2021 12:57	3,62	2,11	2,02		nd: Lidt guligt i farven - Ud: ingen bemærkning

Ø3.2 Prøver igennem forsøgsfilter

Opstart af filter: 01-12-2021 10:43

Indhold i filteret

Prøvehane	Dybde fra filterbund	1 time efter start 01-12-2021 11:47	3 timer efter start 01-12-2021 14:30	19 timer efter start 02-12-2021 05:50	2. dag 02-12-2021 11:55	3. dag 03-12-2021 12:57	19. dag (17-12-2021 11:10)
	cm	Fe(tot)	Fe(tot)	Fe(tot)	Fe(tot)	Fe(tot)	Fe(tot)
Ind	200	3,56	2,99	1,44	2,07	3,62	1,41
P15	140	3,21	2,93	1,4	2,15	3,43	5,46
P14	130	2,67	2,89	1,43	2,31	3,51	1,98
P13	120	2,85	2,92	1,46	1,93	3,51	2,61
P12	110	5,35	3,17	1,55	1,88	1,83	3,4
P11	100	2,79	2,81	1,29	2,41	3,16	0,945
P10	90	3,88	3,67	3,31	2,94	-	0,934
P9	80	3,95	2,65	1,36	1,79	2,08	0,743
P8	70	4,07	2,61	1,24	1,72	2,91	0,732
P7	60	3,01	2,57	1,14	1,19	1,76	0,445
P6	50	3,15	3,35	1,04	0,974	1,43	0,302
P5	40	2,89	2,54	0,987	0,917	0,831	0,309
P4	30	2,45	2,51	0,905	0,794	0,513	0,298
P3	20	2,57	2,47	0,845	0,492	-	0,622
P2	10	2,60	2,48	0,968	0,791	0,278	0,20
P1	13	2,70	2,48	0,812	0,596	0,178	0,32
Ud	0	2,72	2,49	0,826	0,56	0,11	0,09
		Note					

Fjernelse i filteret

Prøvehane	Dybde fra filterbund	1 time efter start 01-12-2021 11:47	3 timer efter start 01-12-2021 14:30	19 timer efter start 02-12-2021 05:50	3. dag 03-12-2021 12:57	9. dag (17-12-2021 11:10)
	cm	Fjernelse Fe(tot)	Fjernelse Fe(partikulært)	Fjernelse Fe(filt)	Fjernelse Fe(tot)	Fjernelse Fe(tot)
Ind						
P15	140					
P14	130					
P13	120					
P12	110	Okkerdyne	Lille okkerdyne	-0,02	1,68	Okkerdyne
P11	100	2,56	0,34	0,11	1,33	2,455
P10	90	1,09	0,88	0,05		0,011
P9	80	0,07	0,92	0,099	0,08	0,191
P8	70	0,12	0	-0,011	0,83	0,011
P7	60	0,06	0,02	0,081	0,15	0,287
P6	50	0,14	0,7	-0,011	0,33	0,143
P5	40	0,26	0,72	0,078	0,599	-0,007
P4	30	0,44	0,06	0	0,318	0,011
P3	20	0,12	-0,03	0,038		0,324
P2	10	-0,03	0,03	0,019	0,235	0,426
P1	13	0,1	0,02	0,007	0,1	0,123
Ud		-0,02	-0,05	0,003	0,068	0,228

Bilag 5. Ø4. Flows betydning for dybdefiltrering

Ø4 Flows betydning for dybdefiltrering

17 dages drift - 17-12-2021

Prøvefase	filterbønd	29,8 m³/t				50,2 m³/t				62,5 m³/t			
		cm	Fe(tot)	Partikulært jern (Fe(tot)-Fe(filt))	Fe(filt)	Bemærkninger	Fe(tot)	Partikulært jern (Fe(tot)-Fe(filt))	Fe(filt)	Bemærkninger	Fe(tot)	Partikulært jern (Fe(tot)-Fe(filt))	Fe(filt)
Ind	150	1,48	-0,08	1,56	Intet	1,41	0,07	1,34	Intet	2,39	-0,33	2,72	Intet
P15	140	2,42	0,2	2,22	Intet	5,46	3,45	2,01	Svagt farvet	2,35	0,19	2,16	Intet
P14	130	1,68	0,936	0,744	Intet	1,98	1,025	0,955	Intet	2,51	1,22	1,29	Intet
P13	120	3,6	2,34	0,66	Farvet	2,61	1,657	0,943	Intet	3,12	1,64	1,28	Intet
P12	110	1,32	0,1	1,22	Intet	3,4	2,554	0,846	Intet	9	0,53	2,41	Intet
P11	100				Ingen vand i prøvehøjde	0,345	0,408	0,537	Intet	2,04	0,89	1,15	sligtigt rødt 1 time før
P10	90	0,563	0,273	0,29	Intet	0,934	0,51	0,424	Svagt farvet	1,44	0,617	0,823	Intet
P3	80	0,336	0,172	0,226	prøve udtaget af tota	0,743	0,375	0,368	Svagt farvet	1,62	0,61	1,01	Intet
P8	70	0,323	0,158	0,185	Intet	0,732	0,465	0,267	Svagt farvet	1,29	0,712	0,578	Intet
P7	60	0,244	0,112	0,132	Intet	0,445	0,223	0,222	Svagt farvet	1,71	0,397	0,793	Intet
P6	50	0,174	0,031	0,143	Intet	0,302	0,113	0,189	Intet	0,837	0,426	0,411	Intet
P5	40	0,214	0,125	0,089	Intet	0,303	0,164	0,145	Intet	1,13	0,57	0,56	Intet
P4	30	0,157	-0,011	0,15	Intet	0,238	0,155	0,14	Intet	0,402	0,094	0,40	Intet
P3	20	0,204	0,103	0,101	Intet	0,622	0,519	0,103	Intet	0,829	0,466	0,363	Intet
P2	10	0,11	0,039	0,074	Intet	0,20	0,059	0,097	Intet	0,23	0,081	0,146	Intet
P1	3	0,11	0,036	0,075	Intet	0,32	0,225	0,034	Intet	0,60	0,353	0,245	Intet
Ud	0	0,08	0,017	0,065	Intet	0,03	0,007	0,084	Intet	0,03	0,012	0,076	Intet
			Flow (m3/h):		29,8		Flow (m3/h):		50,2		Flow (m3/h):		62,5
			Tryk tilgang (bar):		0,38		Tryk tilgang (bar):		0,74		Tryk tilgang (bar):		1,06
			Tryk afgang (bar):		0,43		Tryk afgang (bar):		0,78		Tryk afgang (bar):		1,03
			Trykforskel (bar):		1,79		Trykforskel (bar):		0,14		Trykforskel (bar):		1,33
			Dato:		17-12-2021		Dato:		17-12-2021		Dato:		17-12-2021
			Tidspunkt:		11:10		Tidspunkt:		03:05		Tidspunkt:		11:50
			Driftstid før prøvetagning:		65 min.		Driftstid før prøvetagning:		>1 time		Driftstid før prøvetagning:		60 min.
													Vandet var gennet mere ubart når der blev

Kunne ikke måles, da pumpen kun kunne levere ca. 55 m3/t, hvilket var så tæt på første måling at det ikke giver værdi med prøvetagningen. Årsag er ukendt. Rensning planlagt.

1 måneders drift - 07-01-2022

Prøvefase	filterbønd	30,2 m³/t				48,7 m³/t				80 m³/t			
		cm	Fe(tot)	Partikulært jern (Fe(tot)-Fe(filt))	Fe(filt)	Bemærkninger	Fe(tot)	Partikulært jern (Fe(tot)-Fe(filt))	Fe(filt)	Bemærkninger	Fe(tot)	Partikulært jern (Fe(tot)-Fe(filt))	Fe(filt)
Ind	150	2,15	0,71	2,04	Intet	2,52	0,8	1,72	Intet				
P15	140	3,13	1	2,13	Uklar	3,85	1,78	2,07	Uklar				
P14	130	6,83	4,73	2,1	Uklar	3,7	1,64	2,06	Uklar				
P13	120	3,39	1,31	2,08	Uklar	3,02	0,96	2,06	Uklar				
P12	110	2,38	0,81	1,57	Intet	4,21	2,62	1,59	Uklar				
P11	100	1,64	0,39	1,25	Intet	1,84	0,51	1,33	Intet				
P10	90	1,24	0,276	0,964	Intet	1,52	0,45	1,07	Intet				
P3	80	0,971	0,254	0,717	Intet	1,24	0,306	0,934	Intet				
P8	70	1,34	0,773	0,567	Intet	1,2	0,431	0,769	Intet				
P7	60	0,584	0,257	0,327	Intet	0,327	0,57	0,357	Intet				
P6	50	0,56	0,244	0,316	Intet	0,833	0,467	0,366	Intet				
P5	40	0,471	0,226	0,245	Intet	0,604	0,191	0,413	Intet				
P4	30	0,341	0,109	0,23	Intet	0,573	0,22	0,35	Intet				
P3	20	0,263	0,129	0,14	Intet	0,553	0,514	0,239	Intet				
P2	10	0,22	0,064	0,155	Intet	0,43	0,156	0,278	Intet				
P1	3	0,17	0,052	0,119	Intet	0,34	0,142	0,2	Intet				
Ud	0	0,20	0,026	0,169	Intet	0,34	0,034	0,243	Intet				
			Flow (m3/h):		30,2		Flow (m3/h):		48,7		Flow (m3/h):		80
			Tryk tilgang (bar):		0,37		Tryk tilgang (bar):		0,7		Tryk tilgang (bar):		
			Tryk afgang (bar):		0,43		Tryk afgang (bar):		0,76		Tryk afgang (bar):		
			Trykforskel (bar):		1,78		Trykforskel (bar):		0,12		Trykforskel (bar):		1,9
			Dato:		07-01-2022		Dato:		07-01-2022		Dato:		
			Tidspunkt:		10:10		Tidspunkt:		08:30		Tidspunkt:		
			Driftstid før prøvetagning:		1 time		Driftstid før prøvetagning:		>1 time		Driftstid før prøvetagning:		

31-05-2022 08:30

5 måneders drift - 31-05-2022

Prøvefase	filterbønd	Ingen måling				48,7 m³/t				Bemærkninger
		cm	Fe(tot)	Partikulært jern (Fe(tot)-Fe(filt))	Fe(filt)					
Ind	150		2,48	0,82	1,66					
P15	140		2,7	1,34	1,36					
P14	130		5,73	4,47	1,32					
P13	120		3,3	8,68	1,22	Uklar				
P12	110		4,65	3,669	0,981	Uklar				
P11	100		1,97	1,225	0,145					
P10	90		1,45	0,353	0,497					
P3	80		1,23	0,854	0,406					
P8	70		0,771	0,451	0,32					
P7	60		1,22	1,11	0,11					
P6	50		1,04	0,863	0,177					
P5	40		0,514	0,353	0,161					
P4	30		0,338	0,31	0,09					
P3	20		1,86	1,748	0,112					
P2	10		0,27	0,16	0,107					
P1	3		0,58	0,51	0,078					
Ud	0		0,15	0,07	0,081					
			Tryk tilgang (bar):		0,37					
			Tryk afgang (bar):		0,39					
			Trykforskel (bar):		0,16					
			Dato:		31-05-2022					
			Tidspunkt:		08:30					
			Driftstid før prøvetagning:		>1 time					

Bilag 6. Ø5. Effekt på efterfilter

Ø5. Effekt på efterfilter

Referencemåling for tilledning af vand fra forfilter til filter 6													
Date:	25-01-2022		Tidspunkt:		10:30		13:30						
Flow råvand:	199,00		Flow filter:		49,8		m³/t						
Prøvested	Niveau	Feltmålinger						Eurofins målinger					
		Itt	pH	Redox	Ledsningsevne	Temperatur	Totaljern	Filt. Jern	Mangan	Filt. mangan	Ammonium	Nitrit	
Tilgang iltningspor		2,60	7,00	-50,4	629,0		1,300	1,800	0,130	0,130	0,410	<0,001	
Afgang iltningspor		7,40	7,10	-29,5	629,0		1,300	1,700	0,130	0,130	0,410	<0,001	
Tilgang filter 6	0	8,00	7,20	-42,2	628,0	3,20	2,600	1,700	0,230	0,200	0,400	<0,001	
Juletræ udtag nr. 15	10	7,30	7,30	-33,6	626,0	3,20	1,500	1,300	0,130	0,200	0,430	<0,001	
Juletræ udtag nr. 14	20	8,00	7,30	-20,3	626,0	3,20	1,000	0,390	0,130	0,210	0,420	<0,001	
Juletræ udtag nr. 13	30	7,30	7,20	-5,2	625,0	3,20	0,750	0,610	0,130	0,130	0,380	<0,001	
Juletræ udtag nr. 12	40	7,80	7,20	6,2	618,0	3,30	0,620	0,540	0,220	0,210	0,370	<0,001	
Juletræ udtag nr. 11	50	7,70	7,20	9,7	618,0	3,20	0,420	0,350	0,220	0,210	0,360	<0,001	
Juletræ udtag nr. 10	60	7,70	7,20	59,2	618,0	3,20	0,200	0,140	0,130	0,130	0,360	<0,001	
Juletræ udtag nr. 9	70	7,60	7,20	101,4	618,0	3,20	0,095	0,043	0,180	0,180	0,340	<0,001	
Juletræ udtag nr. 8	80	7,60	7,20	132,6	621,0	3,30	0,067	0,030	0,160	0,170	0,340	<0,001	
Juletræ udtag nr. 7	90	7,60	7,20	175,5	621,0	3,30	0,041	<0,01	0,150	0,160	0,320	<0,001	
Juletræ udtag nr. 6	100	7,60	7,20	184,6	620,0	3,20	0,033	<0,01	0,036	0,036	0,320	<0,001	
Juletræ udtag nr. 5	110	7,50	7,20	201,5	621,0	3,20	0,023	<0,01	0,026	0,026	0,300	<0,001	
Juletræ udtag nr. 4	120	7,40	7,20	215,1	621,0	3,30	0,023	<0,01	0,017	0,018	0,270	0,0013	
Juletræ udtag nr. 3	130	7,30	7,20	224,5	621,0	3,30	0,024	<0,01	0,015	0,015	0,270	0,0053	
Juletræ udtag nr. 2	140	7,30	7,20	215,6	620,0	3,30	0,017	<0,01	0,005	0,005	0,230	0,0053	
Juletræ udtag nr. 1	150	7,20	7,20	234,0	620,0	3,20	0,015	<0,01	0,003	0,003	0,200	0,0095	
Afgang filter 6	160	7,00	7,20	247,3	620,0	8,80	<0,01	<0,01	0,010	<0,002	0,180	0,0072	

Tilledning af vand fra forfilter til efterfilter (filter 6) igangsæt

Date:	25-01-2022	Tidspunkt:	14:00
Flow forsøgsfilter:	47,00	m³/t	

Måling af profil 1 dogn efter tilledning af vand fra forfilter til filter 6

Date:	26-01-2022	Tidspunkt:	09:23	11:45									
Flow forsøgsfilter:	49,30	m³/t											
			Feltmålinger			Eurofins målinger							
Prøvested	Niveau	Itt	pH	Redox	Ledsningsevne	Temperatur	Totaljern	Filt. Jern	Mangan	Filt. mangan	Ammonium	Nitrit	
Tilgang iltningspor		2,78	7,15	-82,5	667,0	3,00	1,800	1,800	0,180	0,130	0,470	<0,001	
Afgang iltningspor		6,31	7,11	-19,7	620,0	8,80	1,300	1,700	0,130	0,130	0,430	<0,001	
Tilgang forsøgsfilter		6,83	7,25	-22,3	621,0	8,30	1,700	1,500	0,180	0,180	0,430	<0,001	
Afgang forfilter		6,15	7,15	81,7	615,0	8,30	0,130	0,093	0,170	0,180	0,330	0,063	
Tilgang filter 6	0	7,62	7,13	107,7	619,0	8,30	0,140	0,110	0,180	0,180	0,330	0,053	
Juletræ udtag nr. 15	10	7,37	7,22	180,4	619,0	3,20	0,110	0,042	0,180	0,180	0,360	0,050	
Juletræ udtag nr. 14	20	7,38	7,25	187,1	621,0	3,30	0,130	0,018	0,180	0,180	0,350	0,048	
Juletræ udtag nr. 13	30	7,38	7,24	195,7	622,0	3,30	0,100	0,012	0,160	0,170	0,330	0,043	
Juletræ udtag nr. 12	40	7,33	7,22	208,2	621,0	3,30	0,025	<0,01	0,160	0,160	0,320	0,040	
Juletræ udtag nr. 11	50	7,31	7,20	232,8	621,0	3,30	0,023	<0,01	0,150	0,150	0,310	0,039	
Juletræ udtag nr. 10	60	7,30	7,20	240,1	622,0	3,30	0,014	<0,01	0,140	0,140	0,300	0,032	
Juletræ udtag nr. 9	70	7,73	7,19	240,4	621,0	3,30	0,016	<0,01	0,120	0,110	0,280	0,023	
Juletræ udtag nr. 8	80	7,76	7,19	243,4	621,0	3,30	0,012	<0,01	0,092	0,089	0,260	0,023	
Juletræ udtag nr. 7	90	7,73	7,19	252,1	621,0	3,30	0,014	<0,01	0,083	0,084	0,250	0,025	
Juletræ udtag nr. 6	100	7,70	7,20	255,7	621,0	3,30	0,012	<0,01	0,056	0,056	0,240	0,020	
Juletræ udtag nr. 5	110	7,58	7,21	258,1	621,0	3,30	0,010	<0,01	0,012	0,013	0,190	0,011	
Juletræ udtag nr. 4	120	7,45	7,20	260,5	621,0	3,30	<0,01	<0,01	0,006	0,007	0,220	0,014	
Juletræ udtag nr. 3	130	7,45	7,20	266,4	620,0	3,40	0,014	<0,01	0,008	0,007	0,140	0,020	
Juletræ udtag nr. 2	140	7,43	7,19	270,5	620,0	3,40	<0,01	<0,01	0,004	0,003	0,110	0,018	
Juletræ udtag nr. 1	150	7,28	7,21	271,5	621,0	3,40	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	0,063	0,020	
Afgang filter 6	160	7,06	7,15	280,5	619,0	8,30	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	0,036	0,010	

Måling af profil 1 uge efter tilledning af vand fra forfilter til filter 6

Date:		22-02-2022		Tidspunkt:		07:44		10:16					
Flow forsøgsfilter:		48/50,2		m³/t									
Feltmålinger						Eurofins målinger							
Prøvested	Niveau	Itt	pH	Redox	Ledsningsevne	Temperatur	Totaljern	Filt. Jern	Mangan	Filt. mangan	Ammonium	Nitrit	
Tilgang iltningspor		3,34	7,09	-43,8	733,0	8,80	1,7	1,7	0,13	0,13	0,42	<0,001	
Afgang iltningspor		6,58	7,17	-40,4	620,0	8,80	1,3	1,6	0,18	0,19	0,42	<0,001	
Tilgang forsøgsfilter		6,53	7,14	-29,3	619,0	8,30	1,4	1,3	0,18	0,19	0,40	0,0013	
Afgang forfilter		6,29	7,11	137,2	615,0	8,30	0,056	0,044	0,18	0,18	0,33	0,075	
Tilgang filter 6	0	7,68	7,13	160,5	615,0	8,30	0,084	0,048	0,18	0,18	0,34	0,070	
Juletræ udtag nr. 15	10	7,30	7,21	201,8	612,0	3,20	0,031	0,018	0,17	0,17	0,32	0,064	
Juletræ udtag nr. 14	20	7,34	7,22	216,2	613,0	3,20	0,025	<0,01	0,16	0,16	0,31	0,063	
Juletræ udtag nr. 13	30	7,37	7,20	229,8	613,0	3,20	0,013	<0,01	0,14	0,13	0,29	0,053	
Juletræ udtag nr. 12	40	7,82	7,22	242,2	613,0	3,30	0,014	<0,01	0,12	0,12	0,26	0,048	
Juletræ udtag nr. 11	50	7,85	7,21	245,2	613,0	3,20	<0,01	<0,01	0,11	0,11	0,24	0,047	
Juletræ udtag nr. 10	60	7,75	7,20	251,1	613,0	3,20	<0,01	<0,01	0,034	0,032	0,23	0,036	
Juletræ udtag nr. 9	70	7,68	7,21	256,1	612,0	3,20	<0,01	<0,01	0,053	0,060	0,19	0,025	
Juletræ udtag nr. 8	80	7,55	7,19	258,5	612,0	3,20	<0,01	<0,01	0,030	0,030	0,17	0,024	
Juletræ udtag nr. 7	90	7,53	7,18	260,3	612,0	3,30	<0,01	<0,01	0,043	0,042	0,17	0,027	
Juletræ udtag nr. 6	100	7,46	7,18	265,3	612,0	3,20	<0,01	<0,01	0,021	0,019	0,14	0,017	
Juletræ udtag nr. 5	110	7,26	7,16	271,8	611,0	3,20	<0,01	<0,01	0,003	0,003	0,089	0,016	
Juletræ udtag nr. 4	120	7,05	7,17	277,8	610,0	3,30	<0,01	<0,01	0,003	0,003	0,048	0,024	
Juletræ udtag nr. 3	130	7,02	7,19	286,6	609,0	3,30	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	0,036	0,012	
Juletræ udtag nr. 2	140	6,87	7,14	291,1	608,0	3,30	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	0,010	0,0066	
Juletræ udtag nr. 1	150	6,87	7,17	297,4	608,0	3,20	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	<0,005	0,0023	
Afgang filter 6	160	7,02	7,13	307,2	607,0	8,30	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	<0,005	0,0020	

Måling af profil 1 uge efter tilledning af vand fra forfilter til filter 6												
Dato:		02-02-2022		Tidspunkt:		07:44		10:16				
Flow forsøgsfilter:		48/50,2		m³/t								
Feltmålinger							Eurofins målinger					
Prøvested	Niveau	lt	pH	Redox	Ledsningsværdi	Temperatur	Totaljern	Filt. Jern	Mangan	Filt. mangan	Ammonium	Nitrit
Tilgang iltningspor		3,34	7,03	-43,8	733,0	8,80	1,7	1,7	0,13	0,13	0,42	<0,001
Afgang iltningspor		6,58	7,17	-40,4	620,0	8,80	1,3	1,6	0,18	0,19	0,42	<0,001
Tilgang forsøgsfilter		6,63	7,14	-29,3	613,0	8,90	1,4	1,3	0,18	0,19	0,40	0,0013
Afgang forfilter		6,23	7,11	-137,2	615,0	8,90	0,056	0,044	0,18	0,18	0,33	0,015
Tilgang filter 6	0	7,68	7,13	-160,5	615,0	8,90	0,084	0,048	0,18	0,18	0,34	0,070
Juletræ udtag nr. 15	10	7,30	7,21	-201,8	612,0	3,20	0,031	0,018	0,17	0,17	0,32	0,064
Juletræ udtag nr. 14	20	7,34	7,22	-216,2	613,0	3,20	0,025	<0,01	0,16	0,16	0,31	0,063
Juletræ udtag nr. 13	30	7,37	7,20	-229,8	613,0	3,20	0,013	<0,01	0,14	0,13	0,29	0,053
Juletræ udtag nr. 12	40	7,82	7,22	-242,2	613,0	3,30	0,014	<0,01	0,12	0,12	0,26	0,048
Juletræ udtag nr. 11	50	7,85	7,21	-245,2	613,0	3,20	<0,01	<0,01	0,11	0,11	0,24	0,047
Juletræ udtag nr. 10	60	7,75	7,20	-251,1	613,0	3,20	<0,01	<0,01	0,094	0,092	0,23	0,036
Juletræ udtag nr. 9	70	7,68	7,21	-256,1	612,0	3,20	<0,01	<0,01	0,059	0,060	0,19	0,025
Juletræ udtag nr. 8	80	7,55	7,19	-258,5	612,0	3,20	<0,01	<0,01	0,030	0,030	0,17	0,024
Juletræ udtag nr. 7	90	7,53	7,18	-260,3	612,0	3,30	<0,01	<0,01	0,043	0,042	0,17	0,027
Juletræ udtag nr. 6	100	7,46	7,18	-265,3	612,0	3,20	<0,01	<0,01	0,021	0,019	0,14	0,017
Juletræ udtag nr. 5	110	7,26	7,16	-271,8	611,0	3,20	<0,01	<0,01	0,003	0,003	0,089	0,016
Juletræ udtag nr. 4	120	7,05	7,17	-277,8	610,0	3,30	<0,01	<0,01	0,003	0,003	0,048	0,024
Juletræ udtag nr. 3	130	7,02	7,19	-286,6	609,0	3,30	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	0,036	0,012
Juletræ udtag nr. 2	140	6,87	7,14	-291,1	608,0	3,30	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	0,010	0,0066
Juletræ udtag nr. 1	150	6,87	7,17	-297,4	608,0	3,20	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	<0,005	0,0023
Afgang filter 6	160	7,02	7,13	-307,2	607,0	8,90	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	<0,005	0,0020

Måling af profil 6 uger efter tilledning af vand og lige inden filterskyl f6													
Dato:		01-03-2022		Tidspunkt:		08:27							
Flow forsøgsfilter:		49,60		m³/t									
Prøvested		Niveau	lt	pH	Redox	Ledsningsværdi	Temperatur	Eurofins målinger					
								Totaljern	Filt. Jern	Mangan	Filt. mangan	Ammonium	Nitrit
Tilgang iltningspor			3,70	7,06	-53,6	626,0	8,70	2,0	1,3	0,18	0,20	0,44	0,0043
Afgang iltningspor			6,77	7,11	-30,5	612,0	8,70	2,1	1,8	0,18	0,19	0,40	0,0056
Tilgang forsøgsfilter			6,84	7,14	-26,0	612,0	8,80	2,0	1,7	0,18	0,18	0,41	0,0033
Afgang forfilter			6,13	7,08	-133,7	606,0	8,80	0,27	0,19	0,17	0,17	0,21	0,046
Tilgang filter 6		0	7,36	7,18	-163,3	607,0	8,80	0,27	0,18	0,17	0,16	0,22	0,043
Juletræ udtag nr. 15		10	7,30	7,18	-207,3	605,0	3,00	0,19	0,053	0,14	0,14	0,14	0,043
Juletræ udtag nr. 14		20	7,52	7,16	-231,8	605,0	3,00	0,089	0,023	0,12	0,12	0,11	0,048
Juletræ udtag nr. 13		30	7,37	7,15	-253,1	604,0	3,00	0,046	0,011	0,073	0,063	0,058	0,038
Juletræ udtag nr. 12		40	7,26	7,15	-274,2	604,0	3,00	<0,01	0,030	0,041	0,040	0,031	0,029
Juletræ udtag nr. 11		50	7,27	7,13	-285,2	604,0	3,00	0,019	<0,01	0,020	0,019	0,021	0,030
Juletræ udtag nr. 10		60	7,17	7,14	-296,1	603,0	3,10	0,022	<0,01	0,014	0,012	0,005	0,0039
Juletræ udtag nr. 9		70	7,15	7,13	-306,1	604,0	3,10	0,011	<0,01	0,007	0,005	0,008	0,0046
Juletræ udtag nr. 8		80	7,14	7,13	-312,3	604,0	3,10	<0,01	<0,01	0,004	0,004	<0,005	0,0036
Juletræ udtag nr. 7		90	7,07	7,13	-316,8	606,0	3,10	0,019	<0,01	0,008	0,007	<0,005	0,0036
Juletræ udtag nr. 6		100	7,08	7,10	-319,2	606,0	3,00	<0,01	0,010	0,018	0,017	<0,005	0,0033
Juletræ udtag nr. 5		110	7,10	7,10	-322,8	607,0	3,10	<0,01	<0,01	0,014	0,012	<0,005	0,0033
Juletræ udtag nr. 4		120	7,07	7,12	-325,3	608,0	3,10	<0,01	<0,01	0,007	0,007	<0,005	0,0026
Juletræ udtag nr. 3		130	7,07	7,12	-328,0	608,0	3,10	<0,01	<0,01	0,024	0,024	<0,005	0,0030
Juletræ udtag nr. 2		140	7,07	7,13	-329,2	608,0	3,00	<0,01	<0,01	0,025	0,022	<0,005	0,0030
Juletræ udtag nr. 1		150	7,07	7,13	-331,0	608,0	3,10	<0,01	<0,01	0,035	0,035	<0,005	0,0026
Afgang filter 6		160	7,01	7,07	-320,1	608,0	8,80	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	<0,005	0,0023

Måling af profil 6 uger efter tilledning af vand til filter 6 og lige efter filterskyl f6												
Dato:		02-03-2022		Tidspunkt:		07:35						
Flow forsøgsfilter:		49,75		m³/t								
Feltmålinger						Eurofins målinger						
Prøvested	Niveau	lt	pH	Redox	Ledsningsevne	Temperatur	Totaljern	Filt. Jern	Mangan	Filt. mangan	Ammonium	Nitrit
Tilgang iltningspor		3,36	7,13	-40,3	607,0	8,70	1,7	1,6	0,18	0,17	0,33	0,0043
Afgang iltningspor		6,83	7,18	-17,3	601,0	8,70	1,7	1,5	0,18	0,16	0,40	0,0033
Tilgang forsøgsfilter		6,80	7,19	0,3	601,0	8,80	1,6	1,5	0,18	0,17	0,38	0,0030
Afgang forfilter		6,08	7,14	-147,4	536,0	8,80	0,17	0,12	0,15	0,13	0,19	0,045
Tilgang filter 6	0	8,47	7,22	-143,3	536,0	8,80	0,19	0,13	0,16	0,15	0,20	0,044
Juletræ udtag nr. 15	10	8,38	7,24	-207,8	536,0	3,10	0,049	0,023	0,14	0,13	0,15	0,041
Juletræ udtag nr. 14	20	8,15	7,20	-229,1	536,0	3,10	0,033	0,013	0,12	0,12	0,14	0,038
Juletræ udtag nr. 13	30	7,88	7,18	-243,3	535,0	3,10	0,023	<0,01	0,081	0,077	0,10	0,033
Juletræ udtag nr. 12	40	7,86	7,18	-253,8	535,0	3,10	0,020	<0,01	0,043	0,045	0,039	0,027
Juletræ udtag nr. 11	50	7,81	7,16	-268,3	534,0	3,10	0,021	<0,01	0,028	0,022	0,053	0,032
Juletræ udtag nr. 10	60	7,76	7,17	-277,1	535,0	3,10	0,017	<0,01	0,013	0,011	0,030	0,016
Juletræ udtag nr. 9	70	7,64	7,17	-286,0	537,0	3,10	0,012	<0,01	0,007	0,004	0,010	0,0039
Juletræ udtag nr. 8	80	7,57	7,17	-293,5	537,0	3,10	0,011	<0,01	0,003	0,002	0,018	0,011
Juletræ udtag nr. 7	90	7,51	7,17	-299,7	537,0	3,10	0,010	<0,01	0,003	0,002	0,009	0,011
Juletræ udtag nr. 6	100	7,47	7,16	-302,3	537,0	3,10	0,230	<0,01	0,070	0,002	<0,005	0,0030
Juletræ udtag nr. 5	110	7,45	7,16	-305,3	537,0	3,10	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	<0,005	0,0030
Juletræ udtag nr. 4	120	7,44	7,17	-308,7	537,0	3,10	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	<0,005	0,0023
Juletræ udtag nr. 3	130	7,43	7,17	-309,3	537,0	3,10	0,016	<0,01	0,008	0,004	0,009	0,0026
Juletræ udtag nr. 2	140	7,43	7,16	-311,2	538,0	3,10	<0,01	<0,01	0,006	0,005	<0,005	0,0020
Juletræ udtag nr. 1	150	7,40	7,15	-313,1	537,0	3,00	0,083	<0,01	0,017	0,006	<0,005	0,0020
Afgang filter 6	160	7,30	7,11	-308,5	537,0	8,80	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	<0,005	0,0020

Kobberdosering filter 6 igangsæt			
Dato for udførsel	08-04-2022	Tidspunkt:	10:46
Filterskyl filter 6			
Dato for udførsel	17-04-2022	Tidspunkt:	18:30

Måling af profil efter kobbertilsætning												
Dato:	18-05-2022		Tidspunkt:		08:30							
Flow forsøgsfilter:	49,40		m ³ /t									
Feltmålinger							Eurofinas målinger					
Prøvested	Niveau	Ilt	pH	Redox	Ledningssevne	Temperatur	Totaljern	Filt. Jern	Mangan	Filt. mangan	Ammonium	Nitrit
Tilgang iltningsspor		Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	1,7	1,6	0,20	0,18	0,40	<0,001
Afgang iltningsspor		Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	1,7	1,6	0,21	0,18	0,39	<0,001
Tilgang forsøgsfilter		Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	1,8	1,5	0,18	0,18	0,39	<0,001
Afgang forsøgsfilter		Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,078	0,069	0,15	0,12	0,12	0,012
Tilgang filter 6	0	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,078	0,067	0,17	0,12	0,13	0,011
Juletræ udtag nr. 15	10	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,031	0,014	0,11	0,074	0,054	0,016
Juletræ udtag nr. 14	20	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,027	<0,01	0,044	0,038	0,043	0,010
Juletræ udtag nr. 13	30	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,034	<0,01	0,035	0,020	0,04	0,0069
Juletræ udtag nr. 12	40	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,033	<0,01	0,011	0,006	0,017	0,0026
Juletræ udtag nr. 11	50	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,026	<0,01	0,009	0,006	<0,005	0,0013
Juletræ udtag nr. 10	60	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,013	<0,01	0,013	0,010	0,019	0,0013
Juletræ udtag nr. 9	70	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,015	0,012	0,015	0,012	0,025	0,0013
Juletræ udtag nr. 8	80	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	<0,01	<0,01	0,014	0,010	0,0077	<0,001
Juletræ udtag nr. 7	90	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,013	<0,01	0,010	0,007	0,010	<0,001
Juletræ udtag nr. 6	100	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,012	<0,01	0,011	0,010	0,023	<0,001
Juletræ udtag nr. 5	110	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,014	<0,01	0,035	0,022	0,018	0,0016
Juletræ udtag nr. 4	120	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,011	<0,01	0,006	0,004	0,0065	<0,001
Juletræ udtag nr. 3	130	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	<0,01	<0,01	0,014	0,013	0,018	<0,001
Juletræ udtag nr. 2	140	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,026	<0,01	0,029	0,020	0,021	<0,001
Juletræ udtag nr. 1	150	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	0,130	<0,01	0,039	0,021	0,018	0,0013
Afgang filter 6	160	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	Defekt udstyr	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	0,013	<0,001

Bilag 7. Ø6. Skylleeffektivitet på forfilter

Ø6 Skylleeffektivitet på forfilter

Skylleprogram											Lille skyl		
Dato	Seksjoner	Luft minutter	Lille skyl Minutter	Stort skyl Minutter	Antal m3 i gangtid		Tilført jern i gangtid	Gennemsnit tlig jernkoac.	Antal m3	Antal gange filtervolumen i udskiftet under lille		Fjernet stofmængde	Andel fjernet af lille skyl
					m ³	g				m3	g		
10-03-2022	1	0	7	3	2.266	6.109	2,70	5,58	3,7	3.024	50%		
14-03-2022	1	0	7	3	2.750	7.424	2,70	5,59	3,7	3.248	44%		
18-03-2022	1	0	7	3	3.601	9.872	2,74	5,61	3,7	3.343	40%		
Gennemsnit	1	0	7	3	2.872	7.802	2,7	5,6	3,7	3.407	44%		
21-03-2022	2	0	10	3	2.189	6.004	2,74	7,75	5,1	3.193	52%		
28-03-2022	2	0	10	3	2.435	6.631	2,72	7,77	5,2	3.354	36%		
11-04-2022	2	0	10	3	2.323	7.507	2,56	7,78	5,2	4.271	37%		
11-04-2022 m	2	0	10	3	2.323	7.507	2,56	7,78	5,2	4.409	59%		
Gennemsnit	2	0	10	3	2.621	6.912	2,65	7,77	5,2	3.543	51%		
25-04-2022	3	10	10	3	2.345	7.658	2,60	7,74	5,1	3.193	42%		
02-05-2022	3	10	10	3	2.390	8.181	2,74	7,74	5,1	3.344	41%		
05-05-2022	3	10	10	3	3.100	8.637	2,79	7,74	5,1	4.213	43%		
Gennemsnit	3	10	10	3	3.011	8.159	2,7	7,7	5,1	3.597	44%		
16-05-2022	4	0	15	0	2.533	6.714	2,65	10,8	7,2	3.826	57%		
16-05-2022	4	0	20	0	2.533	6.714	2,65	14,8	9,8	3.333	59%		
23-05-2022	4	0	15	0	1.610	3.986	2,48	12,07	8,0	1.521	38%		
25-05-2022	4	0	15	0	2.193	6.356	2,30	12,28	8,1	3.880	61%		
Gennemsnit	4	0	15	0	2.217	5.942	2,7	12,5	8,3	3.290	54%		
01-06-2022	5	10	0	4	2.388	6.553	2,75	0	0,0	0	0%		
08-06-2022	5	10	0	4	1.896	5.450	2,87	0	0,0	0	0%		
23-06-2022	5	10	0	4	2.671	6.635	2,51	0	0,0	0	0%		
Gennemsnit	5	10	0	4	2.318	6.235	2,7	0,0	0,0	0	0%		

Stort skyl				Sidste prøve fra		Antal gange filtervolumen udskiftet under skyl	Samlet fjernet stofmængde	Andel fjernet
Antal m3	Antal gange filtervolumen i udskiftet under stort	Fjernet stofmængde	Andel fjernet af stort skyl	Jernkoncentration i sidste prøve				
m ³	Antal gange	g	z	mg/l		Antal gange	g	z
12,66	8,4	280	5%			12,1	3.304	54%
12,73	8,4	662	9%	7,9		12,2	3.310	53%
12,82	8,5	1.063	11%	11,0		12,2	5.019	51%
12,7	8,5	670	8%	9,4		12,2	4.078	53%
12,78	8,5	378	6%	7,5		13,6	3.517	59%
12,7	8,4	283	4%	10,0		13,6	2.637	40%
12,68	8,4	299	4%	7,1		13,6	4.570	61%
12,68	8,4	278	4%	7,1		13,6	4.687	62%
12,71	8,4	309	5%	7,9		13,6	3.853	55%
12,26	8,1	224	3%	5,7		13,2	3.423	45%
12,2	8,1	508	6%	9,7		13,2	3.851	47%
12,18	8,1	792	9%	10,7		13,2	5.041	58%
12,2	8,1	508	6%	8,7		13,2	4.105	50%
0		0	0%	30,0		7,2	3.826	57%
0		0	0%	23,8		9,8	3.333	59%
0		0	0%	19,8		8,0	1.521	38%
0		0	0%	31,6		8,148	3.880	61%
0,0		0	0%	26,3		8,3	3.290	54%
16,14	10,7	5.827	83%	19,7		10,7	5.827	83%
16,21	10,8	4.458	82%	9,5		10,755	4.458	82%
15,91	10,6	4.471	67%	8,0		10,556	4.471	67%
16,1	10,7	4.918	79%	12,4		10,7	4.918	79%

Bilag 8. Ø7. Afdækninger af filtertilstand efter forsøgsafslutning

Ø7 Afdækninger af filtertilstand efter forsøgsafslutning.										
Prøvetagningsnummer	Beskrivelse	Dybde fra filteroverflade (m)	Afstand fra flangekant (m)	Antal fotos						
1	Filteroverflade I	0	0,716	1						
2	Filteroverflade II	0	0,716	1						
3	Filterdybde 1	0,109	0,825	2						
4	Filterdybde 2	0,174	0,89	2						
5	Filterdybde 3	0,254	0,97	2						
6	Filterdybde 4	0,364	1,08	2						
7	Filterdybde 5	0,444	1,16	2						
8	Filterdybde 6	0,554	1,27	2						
9	Filterdybde 7	0,684	1,4	2						
10	Filterdybde 8	0,934	1,65	2						
11	Filterdybde 9 (Lige over luftharpen i overgang mellem bærelag og filterlag)	1,254	1,97	2						
12	Filterdybde 10 (i bærelag)	1,304	2,02	2						
13	Filterdybde 11 (bund af bærelag)	1,404	2,12	2						
Middeldybde	Dybde	Prøvenr.	m _{start} , tør	m _{slut} , tør	Coating _{total}	ermediet	m _{anthracit}	m _{kvarts}	m _{glas}	m _{e clay}
	cm		g	g	%	ingie/duæ	g	g	g	g
		Kontrol - nyt E-clay	10,094	9,852	2,397					9,852
10	0-20	1	10,180	8,830	13,261					8,830
30	20-40	2	10,118	8,733	13,688					8,733
50	40-60	3	10,155	9,100	10,389					9,100
70	60-80	4	10,093	9,077	10,066					9,077
90	80-100	5	10,091	9,11	9,722					9,110
110	100-120	6	10,035	9,06	9,736					9,058
130	120-140	7	10,078	9,16	9,159					9,155
150	140-160	8	10,121	9,28	8,300					9,281
170	160-180	9	10,121	9,41	7,045					9,408
190	180-200	10	10,200	9,59	5,961					9,592
210	200-220	11	10,085	9,98	1,051				9,98	
230	220-240	12	10,244	10,20	0,430				10,20	
250	240-260	13	10,048	10,02	0,289				10,02	
270	260-280									
290	280-300									
	Komposit									
	Kommentarer									

Demonstrationsanlæg ved Østerbyværket

I Danmark er drikkevandsproduktion baseret på grundvand, der behandles ved en enkel proces, der består af iltning af vandet efterfulgt af en biofiltrering med gravitations- eller trykfilter. Herved fjernes eller omdannes jern, ammonium og mangan. Design og drift af biofiltrering, som er hjertet i vandbehandlingen, har ikke ændret sig væsentligt i mere end 100 år. Fremskridt i prøvetagning og måleteknikker i forbindelse med biofiltrering har imidlertid medført ny viden og mulighed for at undersøge, forstå og manipulere de kemiske, mikrobiologiske, fysiske og procesteknologiske elementer i drikkevandsbehandling. Vandkvaliteten er under pres, og der er en erkendelse af, at mange af de nuværende overskridelser af vandkvalitetskrav på landsplan kunne undgås ved en bedre vandbehandling.

Projektets formål er at re-designe vandbehandling fra bunden ved radikal nytænkning af drikkevandsproduktionen, hvormed der kan ske en optimering af nye og eksisterende vandværker, herunder reduktion af vandspildet ved returskyl, forkortelse af indkøringen af nye filtre samt større bæredygtighed i drikkevandsproduktion. Projektet har resulteret i formulering af 18 "redesign-principper", der handler om design og drift af drikkevandsbehandling. Principperne blev testet ved fuldskala demonstration af ny filterbeholderdesign samt ny indkøringsprocedure med SmartSand. Endvidere blev principperne udviklet på basis af ny viden om jern- og ammoniumfjernelse samt returskylleprocessen. Projektet har desuden påbegyndt udvikling af den åbne dataplatform "Merkur" til vandbehandlingsdata samt en matematisk model til at belyse virkningen af forskellige filterkonstruktioner.



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk