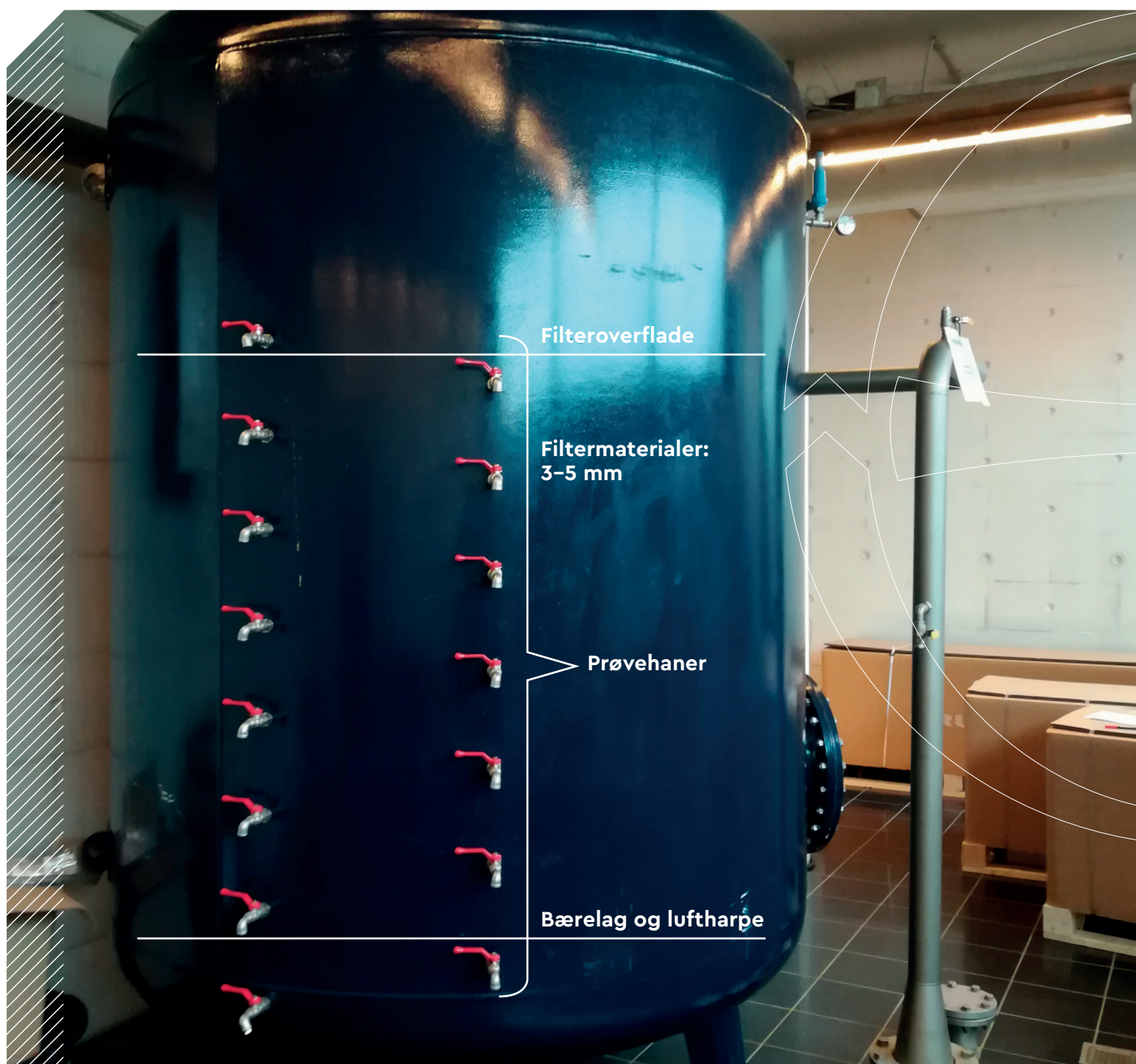


SMARTFILTER-FE:

En add-on løsning til jernfjernelse fra råvand



SMARTFILTER FE: EN ADD-ON LØSNING TIL JERNFJERNELSE FRA RÅVAND

DATO: 19. dec. 2019

Projekt ID: 1146.2017

Udgiver:

DANVA, Dansk Vand- og Spildevandsforening

Udarbejdet af:

VandCenter Syd: Finn Møllerup, Claus Paludan Hynkemejer, Lars L. Andreasen, Henrik Holst, Ulla Brinkmann Trettenes

Aarhus Vand: Anders Bo Sørensen, Flemming Fogh Pedersen og Rasmus Bærentzen

VIA Byggeri, Energi, Vand & Klima: Majbritt Lund og Loren Ramsay

Amphi-Bac: Søren Bastholm og Sara Starcke

Finansiering:

Vejledningen er finansieret af:

VUDP, Vandsektorens Udviklings- og Demonstrationsprogram

Samarbejdspartnere:

VandCenter Syd A/S

Aarhus Vand A/S

Center for Forskning og Udvikling i Byggeri, Energi & Miljø, VIA University College

Amphi-Bac

Kategori:

Drikkevand

HOVEDRAPPORT

Indholdsfortegnelse

1	Sammenfatning	3
2	English summary	4
3	Introduktion	4
3.1	Baggrund	5
3.2	Eksisterende viden på området	5
3.3	Karakteristika af et SmartFilter-Fe	6
4	Projektets betydning for vandbranchen	8
4.1	Næste skridt	9
4.2	Marked eller anvendelsesmuligheder	9
4.3	Formidlingsplan	10
5	Projektet	11
5.1	Formål	11
5.2	Output	11
5.3	Projektresultater	11
5.4	Konklusion	13
6	Litteraturliste	15

1 Sammenfatning

I dette VUDP-projekt kaldet SmartFilter-Fe er der udviklet et tryksat forfilter til fjernelse af jern. Et forprojekt har kortlagt, at jernfjernelsen sker i de øverste 20 cm af et traditionelt sandfilter. Ved at anvende det udviklede add-on SmartFilter-Fe, er det dokumenteret at jernfjernelsen flyttes til forfilteret, således at jernfrit vand leveres til det efterfølgende traditionelle sandfilter, som håndterer den resterende del af vandbehandlingen.

Projektet dokumenterer fjernelse af jern i SmartFilter-Fe, hvor jern fjernes i op til 75% af dybden med potentiale for kapacitetsudvidelse. Projektet dokumenterer endvidere en mere effektiv fjernelse af ammonium i det efterfølgende sandfilter, som resulterer i bedre vandkvalitet. Også her er der potentiale for kapacitetsudvidelse, idet ammonium er fjernet til under grænseværdien på 0,05 mg/l allerede i 30 cm dybde ved normale filterhastigheder. Selv ved øgede hastigheder er der yderligere kapacitet.

Der er udarbejdet en teknisk rapport med en mere detaljeret samt grafisk fremstilling af de opnåede resultater.

Projektet har betydning for vandbranchen, idet anvendelse af et ad-on SmartFilter-Fe har vist at kunne:

- reducere skyllevandsforbruget med 50%.
- reducere energiforbruget.
- øge gangtiden (tiden mellem returskyl) på de efterfølgende filtre.
- reducere behovet for fjerne brugt filtermateriale.

Projektet vil yderligere indgå som baggrund for et større MUDP-projekt. I MUDP-projektet "Smart Re-design of Drinking Water Production" bliver der set på den samlede vandbehandling med bl.a. filterdimensioner, valg af filtermateriale, starterkulturer samt optimering af returskylninger i sandfilteret. Også her er der vand- og energibesparelser i vente.

2 English summary

In this VUDP project called SmartFilter-Fe, a pressurized pre-filter for iron removal has been developed. A preliminary project has mapped out that iron removal takes place in the upper 20 cm of a traditional sand filter. By using the developed add-on SmartFilter-Fe, it is documented that the iron removal is moved to the pre-filter so that iron-free water is delivered to the subsequent traditional sand filter which handles the remainder of the water treatment.

The project documents iron removal in SmartFilter-Fe, where iron is removed in up to 75% of the depth of the filter, with the potential for capacity expansion. The project also documents a more efficient removal of ammonium in the subsequent sand filter, which results in better water quality. Here, too, there is the potential for capacity expansion, as ammonium is removed to below the 0.05 mg / l limit already at a depth of 30 cm at normal filtration rates. Even at increased filtration rates, there is additional capacity.

A technical report has been prepared with a more detailed and graphical presentation of the results obtained.

The project is important for the water industry, as the use of an add-on SmartFilter-Fe has shown that it can:

- reduce backwash water consumption by 50%.
- reduce energy consumption.
- increase the running time (the time between backwashes) on the subsequent filters.
- reduce the need to remove used filter material.

The project will further form part of the background for a major MUDP project. The MUDP project "Smart Re-design of Drinking Water Production" looks at the combined water treatment regarding, among other things, filter dimensions, choice of filter material, starter cultures and optimization of return rinses in the sand filter. Here, too, water and energy savings are waiting.

3 Introduktion

3.1 Baggrund

Drikkevandet i Danmark er i overvejende grad baseret på grundvand som oppumpes fra jordlagene i undergrunden, og som typisk kun er behandlet ved en række simple, men effektive vandbehandlingsmetoder i form af iltning og filtrering af vandet. Herved overholder drikkevandet de fysiske og kemiske krav til vandkvaliteten. Typisk sker iltningen af vandet enten ved en iltningstrappe (typisk ældre vandværker), iltningsspor (bundbeluftning) eller ved direkte tilføjelse af ren ilt, mens filtreringen af vandet enten sker gennem åbne gravitationsfiltre eller lukkede, typisk tryksatte sandfiltre. Tendensen de seneste år er, at iltningen sker ved direkte tilføjelse af ilt til råvandet samt at vandet filtreres i lukkede sandfiltre. Det sker alt sammen for at undgå store åbne flader, hvor risikoen for at vandet nemmere kan blive forurennet er større.

Sandfiltrene på vandværkerne har flere funktioner i det traditionelle design, hvor det samme store filterbassin/filterbeholder fungerer dels som aflejningssted for suspendede partikler, og dels som medie for de fysiske, kemiske og biologiske processer, der fjerner primært jern, mangan og ammonium. Alt afhængig af råvandets kemiske komponenter skal sandfiltrene periodevis renses for at de fungerer optimalt med hensyn til ydelse og drikkevandskvalitet. Dette sker ved hjælp af et returskyl. Typen af returskyl varierer fra vandværk til vandværk, men involverer sædvanligvis en kombination af luftskyl, luft/vandskyl og afsluttes af et kraftigt vandskyl. I et proof-of-concept forud for dette projekt, er det vist, at jernfjernelsen typisk sker i de øverste 20 cm af sandfilteret. Når jernet tilstopper de øverste lag af filteret, er det nødvendigt at rense filtrene ved returskyl. I dag returskylles hele filterdybden for at rense de øverste 20 cm. Dette medfører et stort vand og energiforbrug, i forhold til hvis kun det rensningskrævende lag i filteret blev returskyllet. Dette har endvidere den fordel, at den efterfølgende behandlingsproces, som primært er biologisk, forbedres ved ikke at returskylles så ofte.

Ved at anvende et forfilter, hvor jernfjernelsen isoleres fra resten af vandbehandlingen forventes en reduktion af vandspildet i forbindelse med returskyllning på mindst 50%. Det nye filter benævnes SmartFilter-Fe.

3.2 Eksisterende viden på området

Behandling af grundvand til drikkevand sker typisk gennem iltning og sandfiltrering. Den traditionelle opbygning til sandfiltrering behandler vandet og fjerner alle primære uønskede parametre i samme filterbassin (jern, mangan og ammonium). Sandfilteret er derfor et vigtigt og centralt punkt i drikkevandsbehandlingen, hvorfor meget forskning og opmærksomhed er rettet mod funktionen af dette. Det har i mange år været kendt teknologi at behandle vandet ved dobbeltfiltrering i tilfælde af højt stofindhold.

Samlet vandbehandling for både jern, mangan og ammonium betyder, at sandfilteret både fungerer til fysisk-kemisk fjernelse og til mikrobiologisk omsætning. Den primære jernfjer-

nelses proces er fysisk/kemisk, mens oxidationen af ammonium er en mikrobiologisk proces. Mangan er vist at fungere som en blanding af fysisk/kemisk og mikrobiologisk fjernelse (Breda 2019).

Forprojektet har kortlagt, at jernfjernelsen sker i de øverste 20 cm af filteret. Dette er et kendt fænomen, der ses i forsyningerne, hvor der typisk opstår en tilklogning øverst i filteret som følge af afsætningen af jern.

Det er kendt, at et nyt filter skal modnes inden ammonium og mangan bliver fjernet, idet det tager tid at opbygge den nødvendige biomasse (Ramsay et al 2018). I litteraturen beskrives stratificering i sandfiltre (Tatari et al 2016; Gülay et al 2014, Lee et al 2014, Ramsay et al 2017). Sandfiltre skylles jævnlige for at fjerne tilklogningen i de øverste 20 cm af filteret. Når hele filteret returskylles, forstyrres bakterierne i filteret og filterets produktivitet skal genindstilles efter skyllet.

Hypotesen i nærværende projekt er, at returskylleprocessen påvirker stratificering negativt, hvorved hyppige returskyl reducerer produktiviteten af filteret.

3.3 Karakteristika af et SmartFilter-Fe

Et SmartFilter-Fe er et trykfilter til hurtigfiltrering, hvor der fjernes jern i **hele** indsatsmængden. På den måde adskiller dette filter både fra et typisk enkeltfiltreringsfilter og et for-filter i dobbeltfiltrering, hvor jernet fjernes kun i det øverste lag. For at tilgodese kravet om at fjerne jern i hele dybden, kunne man designe et flad "pandekagefilter" med kun plads til 30 cm filtermedie over bærelaget. Dette vil imidlertid være en dyr løsning, da disse filterdimensioner vil medføre et stort bærelag, filterbund og filtertankmateriale per ton filtermedium, der indsættes. I stedet giver det mere mening at designe et trykfilter med mere almindelige dimensioner, fx hvor bedhøjden er større end filterdiameteren.

For at sikre at hele filterbeddet bruges til at fjerne jern, skal filterhastigheden være høj (typisk større end 15 m/t) afhængig af råvandets jernindhold. For at undgå for stort tryktab er der samtidig behov for at undgå, at filtermediet har en for fin kornstørrelse. Baggrunden er, at det som oftest vil medføre kortere gangtider og øget behov for filterskyl. Typisk vil et SmartFilter-Fe bestå af kornstørrelser 2-3 mm eller 3-5 mm.

Hvis filtermaterialet vokser pga. jern- og kalkudfældninger på kornene, er det i et SmartFilter-Fe ikke nødvendigt at udskifte filtermediet. Da skyllevandet fra SmartFilter-Fe ikke kommer i kontakt med det efterfølgende filter, hvor de biologiske processer foregår, kan et SmartFilter-Fe regenereres med syre. Syrebehandlingen vil fjerne belægninger af jern og kalk. Hermed undgås arbejdet og udgifterne til udskiftning og deponering af filtermedie, hvilket foruden besparelser også bidrager til en bæredygtig vandbehandling.

Et SmartFilter-Fe medfører fordele i forbindelse med returskyllning. For det første, undgår man hyppig skylning af det filtermateriale, der ikke bruges til jernfjernelse og er derfor ikke tilklogge. Ved almindelig vandbehandling udgør jernfjernelsesandelen af det filtermateriale, der skal skylles, typisk kun 20-40%, mens for et SmartFilter-Fe bør jernfjernelsesandelen udgøre mere end 75%. Dette medfører en reduktion i skyllevandsmængden. For

det andet betyder filtrets mindre diameter, at der kan anvendes en mindre skyllevandspumpe og en mindre skylleluftsblæser for at opnå de samme flowhastigheder. Disse fordele understøtter også ønsket om en mere bæredygtig vandbehandling.

Et SmartFilter-Fe leverer jernfrit vand videre i behandlingsprocessen. Befrielsen af de efterfølgende filtre for større jernudfældninger giver de langsomtvoksende mikroorganismer, som er involveret i nitrifikationen og manganfjernelsen, bedre forhold i biofilmen på sandkornene. Desuden forstyrres mikroorganismene på de efterfølgende filtre færre gange af returskyllning, da filtrene ikke længere tilklogges af jern og dermed ikke skal skylles så ofte.

Samlet set har et SmartFilter-Fe følgende karakteristika:

- 1) Trykfilter
- 2) Bed højde større end filterdiameter
- 3) Flowhastighed højere end 15 m/t
- 4) Kornstørrelse på 2-3 mm eller større
- 5) Andelen af filtermateriale, der fjerner jern, er højere end 75%
- 6) Skyllevandsmængden er mindre end 50% af et almindeligt hurtigfilter
- 7) Ydelseskrav til skyllevandspumpe og skylleluftsblæser væsentlig reduceret i forhold til et almindeligt hurtigfilter
- 8) Ingen udskiftning af filtermateriale eftersom filteret muligvis kan regenereres ved syrebehandling (ikke testet).
- 9) Fjernelsesrate for ammonium og mangan på efterfølgende filtre er højere end ved et almindeligt hurtigfilter.

4 Projektets betydning for vandbranchen

Anvendelse af SmartFilter-Fe vil have stor betydning på det enkelte vandværk i forhold til sandfilteret under normal drift, idet gangtiderne øges væsentligt, når add-on løsningen anvendes. Der sker en reduktion af returskyllingen på det traditionelle sandfilter med dertilhørende besparelse i vand- og energiforbrug. SmartFilter-Fe projektet har desuden vist en forbedring af vandkvaliteten. For yderligere oplysninger om vand- og energiforbrug – se cost-benefitanalyse i afsnit 5.3.1.

Kapacitet:

Kapaciteten på det enkelte vandværk kan potentielt øges ved anvendelse af SmartFilter-Fe, da der sker en mere effektiv omsætning af ammonium og mangan. Herved kan vandproduktionen på det enkelte filter potentielt øges.

Vandkvalitet:

Jern: Det er dokumenteret, at al jern fjernes i de første 60 cm af SmartFilter-Fe svarende til 50% af filterets højde. Udgangspunktet for projektet var fjernelse af jern i mere end 75% af filterets højde. Dette er ikke opnået, men der er yderligere kapacitet i filteret, hvilket giver god grund til at tro at 75% kan opnås med lidt optimering af driften.

SmartFilter-Fe kan effektivt returskylles, idet dimensionen er mindre og kornene større. Udover dette, er der muligt at regenerere filteret med syre, der fjerner jern- og kalkaflejringer, idet skyllevandet ikke anvendes videre i processen. Metoden er dog ikke afprøvet.

Ammonium: Ammoniumfjernelsen i sandfilteret er mere effektiv ved anvendelse af add-on SmartFilter-Fe, idet effektiviteten af det efterfølgende sandfilter forbedres væsentligt, og ammonium fjernes til under grænseværdien på bare 30 cm dybde. På vandværker med ammoniumudfordringer vil dette have stor betydning.

Mangan: Under normale driftsforhold kræves hele dybden i sandfilteret til manganfjernelsen. Ved anvendelse af add-on SmartFilter-Fe fjernes mangan fuldstændigt i 70 cm filterdybde. Dette giver større forsyningsikkerhed og mulighed for kapacitetsudnyttelse.

Turbiditet: Det er kendt, at turbiditeten af vandet er forhøjet umiddelbart efter et returskyl af sandfilteret. Frekvensen af denne gene reduceres væsentligt, når add-on SmartFilter-Fe anvendes. Reduktionen fremkommer dels som følge af et mere konstant flow, når gangtiden mellem returskyllingerne på sandfilteret øges og dels grundet færre returskyllinger.

Returskyl: I traditionelle sandfiltre er det ikke alt jernet, der fjernes under returskyl, hvilket hænger sammen med, at det kræver mere vand og energi at effektivisere skyllet. Over tid betyder dette, at der aflejres mere og mere jern i sandfilteret, og som deraf vokser. I praksis betyder dette, at vandværkets personale manuelt må fjerne filtermateriale fra sandfilteret efter en kortere eller længere årrække, når filtermaterialet bliver blotlagt. Udover sikkerhedsforanstaltninger ved at have en mand i filteret, kræves også hygiejneforanstaltninger i henhold til dokumenteret drikkevandssikkerhed. Efterfiltret fungerer som ekstra barriere når forfiltret skylles og er dermed med til at fastholde en god vandkvalitet, som ellers ofte kan udfordres i forbindelse med returskylling.

Den hastighed, hvormed sandfilteret returskylles, er udfordret af dimensionering af filteret (bl.a. placering af skyllerende i filteret), idet filtermateriale kan ledes bort i skyllerenden ved høje vandhastigheder. Dette afhjælpes ved tilkobling af SmartFilter-Fe, idet der herved ledes jernfrit vand til det efterfølgende sandfilter, som ikke tilklogger. Dette muliggør en kortere skylning af det efterfølgende sandfilter. Denne potentielle optimering vil blive undersøgt nærmere i det kommende MUDP-projekt.

4.1 Næste skridt

Erfaringerne fra SmartFilter-Fe projektet er værdifulde for vandværksdriften. Skridtet videre for projektets forsyninger er et MUDP-projekt. I MUDP-projektet "Smart Re-design of Drinking Water Production" bliver der set på den samlede vandbehandling med bl.a. filterdimensioner, valg af filtermateriale, starterkulturer samt optimering af returskylninger i sandfilteret. Også her er der vand- og energibesparelser i vente.

Erfaringerne vil ligeledes kunne anvendes af andre forsyninger relativt hurtigt, såfremt forsyningen har den påkrævede plads til et add-on SmartFilter-Fe. SmartFilter-Fe kan således anvendes til retrofit på eksisterende anlæg eller ved opførelse af nyt.

4.2 Marked eller anvendelsesmuligheder

Det forventes, at SmartFilter-Fe vil have stor betydning i den danske vandbranche, fordi der er så stort fokus på energi- og vandbesparelser, som er positivt for miljø og klima. SmartFilter-Fe kræver en relativt lille investering, såfremt der fysisk er plads på vandværket. Yderligere er indkøringstiden kort, hvormed besparelser på vand- samt energiforbrug hurtigt vil kunne opnås.

Endvidere vil SmartFilter-Fe sikre mere stabil vandkvalitet, som er til gavn for forbrugerne.

4.3 Formidlingsplan

Projektet og dets resultater er blevet formidlet jævnfør nedenstående tabel, hvor dato, titel og sted for formidlingen fremgår.

Dato	Titel	Sted
24-05-2018	SmartFilter-Fe. An Add-on løsning til jernfjernelse fra Råvand. Finn Mollerup	DANVA Årsmøde, Comwell Kolding
12/13-01-2019	Revisiting Multistage Filtration. Loren Ramsay	Atlanta, USA
12-11-2019	Merkur – Det første skridt mod evidensbaseret vandbehandling. Loren Ramsay	Dansk Vand Konference, Centralværksted Århus

Tabel 1: Formidling af SmartFilter-Fe projektet.

Formidlingen af projektets resultater forventes at fortsætte efter projektafslutning, bl.a. i form af undervisning i filtertechnik.

5 Projektet

5.1 Formål

Projektet omhandler praktisk udvikling og demonstration af en vandbehandlingsenhed (SmartFilter-Fe) samt dokumentation af funktionen af enheden i fuldskala. Formålene med projektet er:

- at udvikle et add-on SmartFilter til bedre jernfjernelse på eksisterende vandværker.
- at teste den udviklede add-on enhed i fuldskala.
- at dokumentere fordelene ved isoleret jernfjernelse gennem fuldskalaforsøg.
- at kunne forudsige fordelene for andre vandværker, ved installation af et SmartFilter-Fe, ud fra de opnåede resultater.

Udviklingsarbejdet er foregået i samarbejde mellem VandCenter Syd, Aarhus Vand, Amphibac og VIA University College. Dokumentationstest i fuldskala er foregået hos Aarhus Vand på Østerbyværket.

Målene for det nye design har været at:

- reducere skyllevandsforbruget med 50%.
- reducere energiforbruget.
- øge gangtiden mellem filterskylningerne på de efterfølgende filtre.
- reducere deponering af brugt filtermateriale.

5.2 Output

Output af SmartFilter-Fe projektet er udvikling af et add-on trykfilter, der kan anvendes som forfilter til traditionelle sandfiltre. Det er dokumenteret, at SmartFilter-Fe effektivt filtrerer jern fra, samt mindsker vand- og energiforbruget i forbindelse med returskyl. Desuden forbedres de mikrobielle omsætningsprocesser for mangan og ammonium i sandfilteret som følge af at gangtiderne øges. Hermed er behandlingsanlæggets kapacitet øget.

Der er opnået en unik viden om filterskylninger i projektet. Disse erfaringer kan bruges umiddelbart og vil yderligere indgå i igangværende MUDP-projekt, hvor de identificerede effektiviseringsmuligheder for returskyl vil blive undersøgt.

5.3 Projektresultater

Projektet med indkøring af et ad-on SmartFilter-Fe har vist at kunne:

- reducere skyllevandsforbruget med mere end 50%.
- reducere energiforbruget.
- øge gangtiden på de efterfølgende filtre.
- reducere deponering af brugt filtermateriale.

Yderligere er følgende resultater værd at bemærke:

Der blev observeret luftbobler omkring sandkornene i sandfilteret under projektet, hvilket indikerer, at der blev iltet for meget. Set ud fra en driftsøkonomisk synsvinkel er dette en meget positiv effekt, idet det var muligt helt at stoppe ilttingsblæseren.

Add-on SmartFilter-Fe blev indkørt på under 5 døgn og fjerner mere end 90% jern, hvilket var en del af formålet med projektet. Fem dage til indkøring er en relativt hurtig indkøring i forhold til indkøring af et helt nyt sandfilter, der også involverer indkøring af mangan- og ammoniumfjernelse, der ofte tager flere uger/måneders indkøring.

Vandbehandling med SmartFilter-Fe er langt bedre end uden SmartFilter-Fe. Jern fjernes til under drikkevandskvalitetskravet på 0,2 mg/l allerede ved indløb på det efterfølgende sandfilter. Ammonium fjernes med SmartFilter-Fe til under kravet på 0,05 mg/l allerede i 30 cm dybde i stedet for at ligge på ca. 0,2 mg/l i bunden af filteret. Mangan opfylder kravet på 0,05 mg/l allerede i 40 cm dybde i stedet for i en dybde på mere end 100 cm. Dette viser, at SmartFilter-Fe forbedrer vandkvaliteten på parametrene jern, mangan og ammonium og øger behandlingsanlæggets kapacitet. Dette meget positive resultat kommer i til-læg til den forventede besparelse på vand- og energiforbrug som ses i afsnit 5.3.1.

5.3.1 Kost-benefit af SmartFilter-Fe

Skyllevandsforbrug:

Nedenstående tabel viser vandforbrug pr. gangtid før og efter tilkobling af SmartFilter-Fe på Østerbyværket. Yderligere er vandforbrug estimeret for tilkobling af SmartFilter-Fe på Lundeværket.

	Sandfilter under normal drift			SmartFilter-Fe			Sandfilter med add on Smart-Filter-Fe		
	Gang-tid [døgn]	Vand-for-brug pr. skyl [m ³]	Årligt skylle-vands-forbrug [m ³]	Gang-tid [døgn]	Vand-for-brug pr. skyl [m ³]	Årligt skylle-vands-forbrug pr. filter [m ³]	Gang-tid [døgn]	Vand-for-brug pr. skyl [m ³]	Årligt skylle-vands-forbrug [m ³]
Østerby-værket	6*	52,2	3.176	3,5	10,2	1.086	42	52,2	454
Lundeværket	5,6**	98,4	6.462				42	98,4	855

Tabel 2: Vandforbrug med og uden tilkobling af SmartFilter-Fe.

*Ved årlig behandlet mængde på filter 6 på 232.766 m³. **Ved årlig behandlet mængde pr. filter på 338.980 m³. Tallene er baseret på 2018 forbrug.

Den samlede vandbesparelse bliver dermed som følger:

	Samlet vandforbrug normal drift pr. filter	Samlet vandforbrug med add on Smart-Filter-Fe	Samlet Vandbesparelse pr. filter	
	[m ³]	[m ³]	[m ³]	%
Østerbyværket	3.176	1.540	1.636	52
Lundeværket	6.462	1.941	4.521	70

Tabel 3: Samlet vandbesparelse pr. filter ved tilkobling af SmartFilter-Fe.

Energiforbrug:

I nærværende projekt er der yderligere set på energiforbrug pr. gangtid før og efter tilkobling af SmartFilter-Fe. Projektet har ikke kunne beregne et konkret tal for pumpernes energiforbrug pga. manglende data og der er derfor set mere overordnet på det samlede energiforbrug.

Energiforbruget er forholdsvis lavt, idet pumperne udelukkende kører under returskyl. Ved at tilkoble SmartFilter-Fe reduceres antallet af returskyl og dermed energiforbruget. Det vurderes, at den samlede energibesparelse er lille, men at der er potentiale for yderligere energibesparelser ved optimering af returskyl af sandfilteret (vandhastighed, luft/vand blanding samt skylletider). Dette undersøges nærmere i det igangværende MUDP-projekt "Smart Re-design of Drinking Water Production".

5.4 Konklusion

Alt i alt har VUDP projektet været en succes med et rigtig godt og vigtigt samarbejde mellem forskere og forsyninger. Projektet har dokumenteret vigtige grundlæggende informationer om filterteknik, som umiddelbart kan bruges i forsyningerne i dag. Projektet har yderligere været en vigtig brik i forhold til det igangværende MUDP-projekt "Smart Re-design of Drinking Water Production".

Nedenfor ses en oversigt over projektets vigtigste tekniske konklusioner, som der kan læses mere om i den tekniske rapport:

1. SmartFilter-Fe blev indkørt på under 5 døgn.
2. SmartFilter-Fe var i stand til at fjerne 90% af råvandets jernindhold.
3. gangtiden på Filter 6 var over 28 døgn efter indførslen af SmartFilter-Fe. Et realistisk bud på fremtidigt setup er en gangtid på omkring 42 døgn.
4. der er udsigt til reduktion af skyllevandsforbrug pr. filter fra 3.176 til 1.695 m³/år på Østerbyværket og fra 6.462 til 2.096 m³/år på Lundeværket.
5. SmartFilter-Fe effektiviserer ammoniumfjernelsen i det efterfølgende sandfilter.
6. højt flow viste, at sandfilteret kunne omsætte dobbelt mængde af ammonium og mangan uden problemer.

7. variable flow viste, at ammoniumfjernelsen påvirkes, men fjernes fuldstændigt ved samdrift med SmartFilter-Fe. Disse resultater tyder på at filtre med ammoniumudfordringer kan løses ved samdrift med SmartFilter-Fe.

6 Litteraturliste

1. I.L. Breda. Manganese removal in drinking water biofilters. From start-up to matured filters (ph.d.). 2019. Aalborg: Aalborg Universitet.
2. K. Tatari, B.F. Smets, H.-J. Albrechtsen. Depth investigation of rapid sand filters for drinking water production reveals strong stratification in nitrification biokinetic behavior. *Water Res.* 2016 (101): 402-410.
3. A. Gülay, K. Tatari, S. Musovic, R.V. Mateiu, H.-J. Albrechtsen, B.F. Smets. Internal porosity of mineral coating supports microbial activity in rapid sand filters for groundwater treatment. *Appl. Environ. Microbiol.* 2014 (80): 7010-7020.
4. C.O. Lee, R. Boe-Hansen, S. Musovic, B. Smets, H.-J. Albrechtsen, P. Binning. Effects of dynamic operating conditions on nitrification in biological rapid sand filters for drinking water treatment. *Water Res.* 2014 (64): 226-236.
5. L. Ramsay, I. Breda, D.A. Søborg. Comprehensive analyses of the start-up period of a full-scale drinking water biofilter provides guidance for optimization. *Drink. Water. Eng. Sci.* 2018 (11): 87-100.