

Til: Ringsaker kommune v/Espen Mærde
Fra: Anne-Marie Bomo og Svein Forberg Liane
Dato 2018-06-07

Resultater fra pilottest med koagulering og ultrafiltrering i Nord-Mesna.

Innledning

En pilottest med koagulering og ultrafiltrering har vært utført på råvann fra Nord-Mesna i perioden februar – mai 2018. Pilottesten er utført som et samarbeid mellom Ringsaker kommune/tekniske drift og NOKA/Pentair (leverandør og drift av pilot). Norconsult har bistått som rådgiver og diskusjonspartner i testperioden.

Pilottesten er gjennomført for å søke et beslutningsgrunnlag for om koagulering og ultrafiltrering er en egnet behandlingsprosess på råvann fra Nord-Mesna.

Følgende mål ble satt for pilottesten:

- Bevise at tilfredsstillende hygieniske barrierer oppnås gjennom UF filtreringen
- Redusere turbiditet, farge og organisk stoff til fastsatte mål for permeatkvalitet (se nedenfor)
- Observere mulig reduksjon av jern og mangan (både totalt og løst) gjennom behandlingen
- Observere membrankapasitet og begroing over tid
- Finne design-settings for fullskalaanlegg, så som membranflux og nødvendig flokkuleringstid
- Analysere og vurdere prosessbetingelser som koagulantdose og fellings pH
- Observere membranpermeabilitet og vaskeintervall for membraner (CEB og eventuelt CIP)

Målene for permeatkvalitet er vist nedenfor. De er i noen tilfeller satt strengere enn kravene i Drikkevannsforskriften (vist i parentes). Målene følger generelle faglige råd blant annet gitt i drikkevannsforskriftens veileder. Målv verdier for farge, TOC og turbiditet og restkoagulant (Al) indikerer hvorvidt nødvendige hygieniske barrierer er oppnådd i koaguleringsanlegget. Slik sett bør de anses som kravverdier.

- | | |
|-------------------------|---------------------|
| - Turbiditet: | ≤ 0,1 NTU |
| - Farge: | ≤ 5 mg Pt/l |
| - Organisk stoff (TOC): | ≤ 2 mg C/l |
| - UV-transmisjon.: | ≥ 70 % per 5 cm |
| - Aluminium: | ≤ 100 µg Al/L (200) |
| - Kimtall: | ≤ 20 per ml (100) |
| - Koliforme bakterier: | 0 per 100 ml (0) |

Dette notatet oppsummerer resultater fra alle vannanalysene som er tatt gjennom pilotperioden, samt en vurdering av driftsmessige forhold gjennom testen. På basis av dette gis en konklusjon og anbefaling på prosessvalg. For driftsmessige vurderinger baseres disse på rapporter fra NOKA/Pentair¹. Notatet må også sees i sammenheng med en tidligere utredning av ulike vannbehandlingsløsninger for råvann fra Nord-Mesna². Her gis det en teknisk og kostnadmessig vurdering av flere behandlingsalternativer, inklusive koagulering + UF. Siden dette notatet² ble laget,

¹ NOKA/Pentair. Weekly Report NOKA Mesnali XIGA 64 m². Ukentlige rapporter nummerert fra 0-13.

² Norconsult, 2017. Mesnali Vannverk – vurdering av vannbehandlingsløsning. Ver J04, notat datert 13 nov 2017.

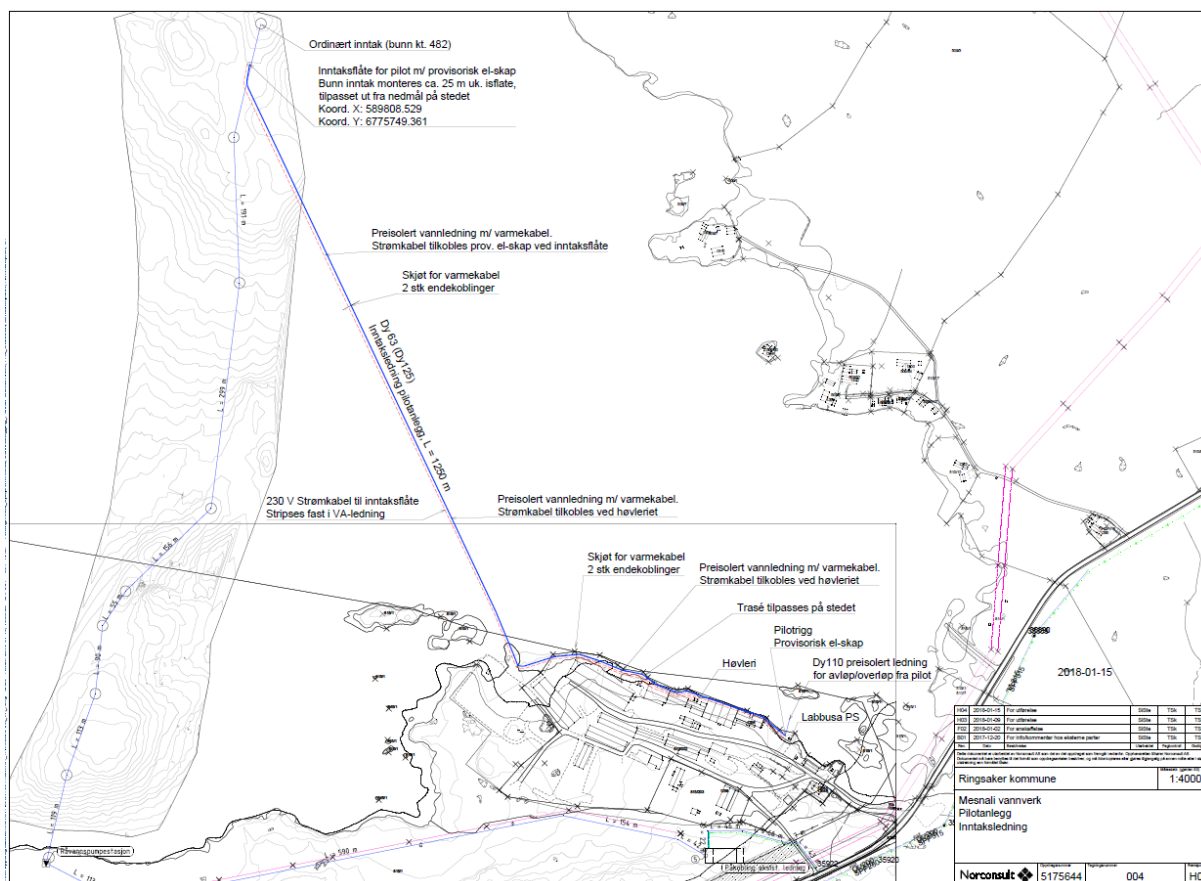
er dimensjonerende vannmengde for behandlingsanlegget oppjustert til 7500 m³/h. De tekniske prinsippene for koagulering + UF står likevel fremdeles ved lag, og spesifiseres ikke mer i foreliggende notat. Ytterligere tekniske detaljer vil tas videre i forprosjektet.

Pilottest

Piloten startet opp 7. februar 2018, og ble avsluttet 10. mai 2018. Den skulle i utgangspunktet gått ut mai, men ismelting i kombinasjon med mye vind gjorde at flåte med råvannspumpe slet seg, og piloten fikk en brå avslutning 10. mai. Manuelle vannprøver av råvann ble tatt fra inntakspunktet 15. mai, dette for å strekke analyseperioden for råvann noe lenger. I tillegg ble det tatt en vannprøve fra inntakspunkt i en djupål nærmere land. Dette punktet er tenkt som et mulig reserveinntakspunkt ved permanent drift.

Råvannsinntak

Råvannspumpe ble etablert på flåte, plassert oppå isen ved råvannsinntaket. Råvann ble pumpet fra ca. 25 m dybde, via en 1200 m lang inntaksledning og til pilotanlegget (Figur 1).



Figur 1 Skisse pilottest: Plassering av råvannsinntak, overføringsledning og pilotanlegg

Vannprøver

Vannprøver av råvann, fødevann (etter koagulering men før membran) og rent vann (permeat) ble tatt 1-2 ganger ukentlig gjennom pilotperioden (Tabell 1). Vannprøvene ble tatt av Ringsaker kommune/teknisk drift og levert og analysert hos SynLab på Hamar. Analysene er et supplement til online overvåking av vannkvalitet (turbiditet, pH, temperatur, konduktivitet) som ble utført i selve piloten (av NOKA/Pentair). NOKA/Pentair har produsert ukentlige rapporter med løpende resultater på drift og online vannkvalitetsmålinger. NOKA/Pentairs rapporter ligger som vedlegg til dette notatet.

Tabell 1 Parameterliste og prøvetaking. 2 = to ganger i uken (fortrinnsvis mandag og torsdag), 1= en gang i uken (mandag)

Parameter	Råvann	Fødevann	Permeat	BW avløp
Farge	2		2	
TOC	1		1	
Turbiditet	2		2	
Ledningsevne	1		1	
Alkalitet	1		1	
pH	2		2	1
Aluminium (totalt)	2	2	2	1
Jern (bundet Fe)	1		1	
Jern (filtrert/løst Fe ²⁺)	1		1	
Mangan (bundet Mn)	1		1	
Mangan (filtrert/løst Mn ²⁺)	1		1	
Kimtall	1		1	
Koliforme bakterier	1		1	
E. coli	1		1	
UV-transmisjon	1		1	
Suspendert stoff (SS)				1

Resultater

Vannanalyser

Alle vannanalysene er oppsummert i tabellen nedenfor (Tabell 2). I tillegg er noen utvalgte parametere vist i figur 2 til figur 9.

Tabell 2 Sammenheng av alle analyseresultater i pilottesten. Fargekoding: Røde celler = ikke i henhold til krav for permeatkvallitet og/eller drikkevannsforskriften. Lysegrønne celler = krav i Drikkevannsforskriften tilfredsstilt. Mørkegrønne celler = krav til permeatkvallitet tilfredsstilt (disse kravene er for noen parametere satt strengere enn i forskriften. nd = ikke detektert/lavere enn deteksjonsgrense. Tomme celler = ikke analysert.

Parameter:	pH		Turbiditet (FNU)		Fargetall (mg Pt/l)		Konduktivitet (mS/m)		Alkalitet (mmol/l)	
	Råvann	6,5-9,5	Råvann	1	Råvann	20	Råvann	250	Råvann	-
Drikkevannsforskriften		6,5-9,5		1		20		250		-
Dato prøvetaking	Råvann	Permeat	Råvann	Permeat	Råvann	Permeat	Råvann	Permeat	Råvann	Permeat
9 februar	6,6	7,5	0,41	<0,1	43	15				
13 februar	7,0	7,6	0,58	<0,1	47	20	2,68	5,43	0,131	0,279
15 februar	6,5	7,4	0,28	<0,1	44	10				
19 februar	6,9	7,6	0,31	<0,1	45	20	2,63	4,86	0,141	0,25
22 februar	6,5	7,6	1,00	<0,1	44	16				
26 februar	6,7	7,1	0,34	0,11	44	8	2,58	4,57	0,135	0,197
2 mars	6,5	6,7	0,25	<0,1	42	3				
5 mars	6,7	7,6	0,28	<0,1	42	18	0,121	4,82	0,121	0,254
8 mars	6,6	7,6	0,23	<0,1	42	13				
12 mars	6,7	7,5	0,24	<0,1	43	10	2,72	5,81	0,139	0,264
15 mars	6,8	7,5	0,23	<0,1	44	9				
19 mars	6,5	7,3	0,40	<0,1	42	6	2,56	5,67	0,125	0,242
21 mars	6,7	7,2	0,30	<0,1	42	7				
23 mars	6,6	7,2	0,26	<0,1	42	6				
26 mars	6,6	7,3	0,50	<0,1	42	7	2,56	5,74	0,126	0,244
3 april	7,2	6,7	0,37	0,27	38	38	3,70	2,71	0,226	0,129
4 april	6,7	7,4	0,25	<0,1	43	5	2,73	6,04	0,129	0,267
6 april	5,3	5,0	0,36	<0,1	42	5				
9 april	6,6	7,5	0,28	<0,1	43	5	2,62	6,02	0,132	0,292
12 april	6,4	6,7	0,38	<0,1	43	5				
16 april	6,5	6,7	0,46	<0,1	44	3	2,85	5,52	0,142	0,162
19 april	6,7	7,4	0,55	<0,1	45	5	2,93	6,54	0,140	0,287
23 april	6,9	7,3	0,68	<0,1	44	3	3,34	6,78	0,164	0,242
26 april	6,6	7,7	0,65	<0,1	44	15				
30 april	6,6	7,3	0,69	<0,1	45	6	3,16	6,34	0,161	0,27
3 mai	6,6	6,5	0,91	<0,1	46	2				
7 mai	6,6	6,3	0,91	<0,1	45	<2	3,24	4,75	0,161	0,089
15 mai	6,8		2,00		47		2,61		0,131	

Tabell 2, forts.

Parameter:	UV transm UVT/5cm		TOC (mg/l)		Aluminium (µg/l)		Jern (total) (µg/l)		Løst jern (µg/l)	
	Råvann	Permeat	Råvann	Permeat	Råvann	Permeat	Råvann	Permeat	Råvann	Permeat
Drikkevannsforskriften	-	-	5	5	200	200	-	-	-	-
Dato prøvetaking	Råvann	Permeat	Råvann	Permeat	Råvann	Permeat	Råvann	Permeat	Råvann	Permeat
9 februar					34,6	71,4				
13 februar	5,2	20,4	6,0	4,2	40,1	126	132	6,6	94,2	6,2
15 februar					36,7	25,8				
19 februar	5,6	19	4,3	4,3	36,2	82,4	122	5,8	84,4	6
22 februar					47,3	136				
26 februar	5,5	44,8	6,1	2,7	35,3	17,8	117	<2,0	87,7	3,7
2 mars					36,5	13,3				
5 mars	5,6	20,5	5,5	4,2	37,8	49,3	117	5,5	85,8	5,1
8 mars					38,2	110				
12 mars	5,6	38,7	5,5	3,1	38	38,4	126	2,7	125	3,4
15 mars					34,1	29,4				
19 mars	5,8	50	5,4	2,6	34,4	16,8	122	2,1	90,1	<2,0
21 mars					35,7	23,7				
23 mars					36,8	16,3				
26 mars	5,8	51,1	6,1	2,5	37,8	20,5	134	6,4	98,2	<2,0
3 april	4,4	5,7	6,6	6	52,3	34,7	369	170	202	130
4 april	5,7	51,8	0,9	0,7	8,7	5,4	155	<2,0		<2,0
6 april					35,0	15,9				
9 april	5,5	51,8	5,8	2,6	35,4	13,6	174	<2,0	134	<2,0
12 april					36,6	10,7				
16 april	5,3	71,9	5,9	1,6	37,0	9,1	195	<2,0	146	<2,0
19 april		57,1	5,5	2,2	36,6	21,9				
23 april	5,2	61,3	5,7	2,2	37,2	12,7	282	<2,0	206	<2,0
26 april					41,6	223				
30 april	5,1	53,7	5,6	2,2	41,6	18	216	<2,0	216	<2,0
3 mai					44,8	2,7				
7 mai	4,9	77	5,3	1,7	42,1	5,2	280	4,4	196	<2,0
15 mai	4,3		5,8		60,1		207		124	

Parameter:	Mangan (Mn) (µg/l)		Løst mangan µg/l		Kimtall (CFU/ml)		Koliform bakt CFU/100 ml		E.coli (CFU/100 ml)	
	Råvann	Permeat	Råvann	Permeat	Råvann	Permeat	Råvann	Permeat	Råvann	Permeat
Drikkevannsforskriften	50	50	-	-	100	100	0	0	0	0
Dato prøvetaking	Råvann	Permeat	Råvann	Permeat	Råvann	Permeat	Råvann	Permeat	Råvann	Permeat
9 februar										
13 februar	44,2	10	29,1	10	890	nd	<1	<1	<1	<1
15 februar										
19 februar	26,6	9,5	16,2	9,2	112	nd	1	<1	1	<1
22 februar										
26 februar	29,6	15,1	19	15,1	74	5	<1	<1	<1	<1
2 mars										
5 mars	45	25,2	31,9	25,2	74	2	<1	<1	<1	<1
8 mars										
12 mars	45,5	32,3	45,8	31,2	34	nd	<1	<1	<1	<1
15 mars										
19 mars	42,3	26,7	31,1	26,1	32	nd	<1	<1	<1	<1
21 mars										
23 mars										
26 mars	63,4	42,9	51,2	42,4	205	nd	1	<1	<1	<1
3 april	158	111	98,7	95,4	24	27	<1	<1	<1	<1
4 april	107	6,0		1,5	9	nd	<1	<1	<1	<1
6 april										
9 april	130	85,9	116	83,7	23	nd	<1	<1	<1	<1
12 april										
16 april	149	125	137	125	165	nd	3	<1	<1	<1
19 april										
23 april	205	162	199	162	99	27	<1	<1	<1	<1
26 april										
30 april	139	114	138	114	360	17	16	<1	<1	<1
3 mai										
7 mai	247	211	229	209	226	nd	2	<1	<1	<1
15 mai	77,1		68,4		540		18		3	

Råvannskvalitet i testperioden

Råvannskvaliteten er i testperioden karakterisert med stabilt høyt fargetall (38-47 mg Pt/l, lav UV transmisjon (ca 5 %/5cm) lav turbiditet (0,2-1 FNU) og høy konsentrasjon av organisk stoff (4-6 mg TOC/l). Den mikrobiologiske råvannskvaliteten er god, trolig på grunn av stabilt sprangsjikt i testperioden, med lave konsentrasjoner av både kimtall (generelle heterotrofe bakterier) og tarmbakterier (koliforme og *E.coli*). Resultater fra siste prøvetaking (manuell) den 15 mai viser at bakteriekonsentrasjonen øker. Dette skyldes sannsynligvis omrøring av vannmassene og tilførsel av overflatevann med høyere bakterienivå.

Konsentrasjonen av jern og mangan (både totalt og løst) er relativt lave i starten av testperioden, men stiger utover vinteren og våren. Dette er som forventet og grunnet sesongvariasjoner. Utover våren foreligger det meste av jern og mangan på løst form. Dette skyldes at etter en lengre stagnasjonsperioden er oksygenkonsentrasjonen svært lav i dypere vannlag. Dette medfører at jern og mangan foreligger på redusert (oppløst; Fe²⁺ og Mn²⁺) form. Når dette så kommer i kontakt med oksygen, vil det løste jernet og manganet oksidere og felle ut (rødblunt og svart partikler/belegg). Av bruksmessige hensyn er det ikke ønskelig å få dette ut på ledningsnettet. Det må i så fall luftes (jern) eller oksyderes (mangan) og frafiltreres før det kommer ut på ledningsnettet.

Manuell prøvetaking av råvann den 15 mai fra inntakspunktet indikerer at mangankonsentrasjonen er avtagende. Dette har sannsynligvis sammenheng med omrøring av vannmassene og tilførsel av mer oksygenrikt overflatevann. Konsentrasjonen av mangan er fremdeles over kravene i Drikkevannsforskriften (50 µg/l). Det ble også tatt ut prøver fra to dyp (10 m og 20 m), men det var heller ingen forskjell i mangannivå mellom disse dybdene (10 m: 74,8 µg/l, 20 m: 77,1 µg/l). En ekstra prøvetaking fra reserveinntakspunkt (20 m) viste en mangankonsentrasjon på 134 µg/l.

På basis av disse målingene synes det hverken som om inntak av vann fra høyere vannlag (10 m) eller fra reserveinntak i perioder hvor mangannivå i hovedinntak er på sitt høyeste vil avhjelpe situasjonen.

Råvannskvaliteten som er dokumentert gjennom pilottesten er i overensstemmelse med tidligere undersøkelser av vannkvalitet i Nord-Mesna³.

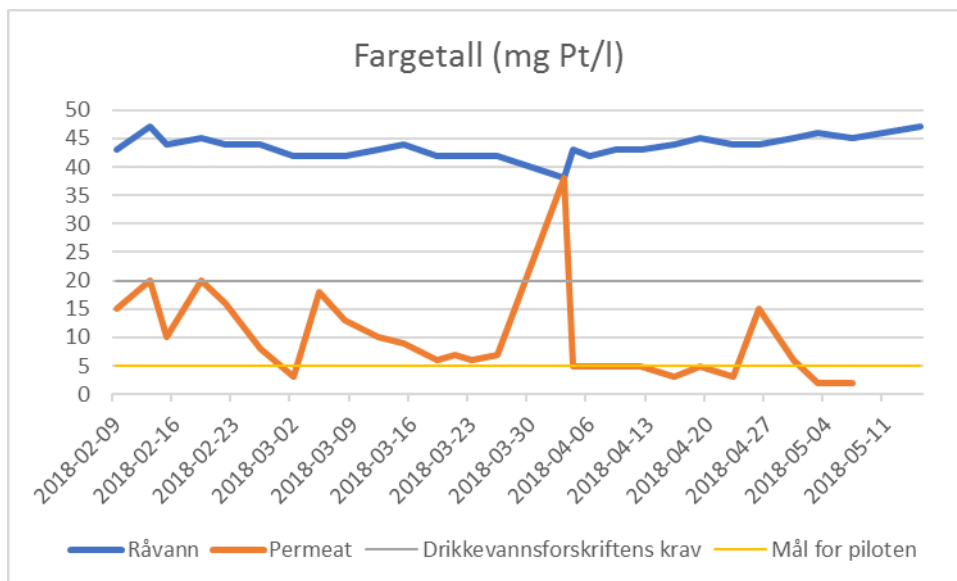
Permeatkvalitet

Fargetall

Fargetallet i permeat varierte en del i starten av testperioden. Dette skyldes innjustering av prosessbetingesler, spesielt koagulantdose og fellings-pH. Etter ca 2 mnd drift (begynnelsen av april), og ved en koagulantdose på 2,9 -3,0 mg/l Al og fellings pH på 6,1-6,2 oppnås en periode med stabilt lavt fargetall i permeat (Figur 2). Svingninger etter dette viser at prosessen er følsom for endring i både fellings-pH og dose. Overdosering (skifte fra Ekoflock 91 til Ekoflock 96, hvor Ekoflock 96 har en høyere Al-konsentrasjon) 23-24 april førte til en brå stigning av farge igjen. Stabil drift oppnås igjen i begynnelsen av mai med dose på 3,0 mg Al/l og fellings-pH på 6,2.

Det er interessant å merke seg at koagulantdoseringen ved en misforståelse ble stanset i perioden 27. mars – 3. april. Som figuren viser var det da ingen fargefjerning gjennom prosessen. Dette understreker betydningen av koagulant for fjerning av farge i råvannet.

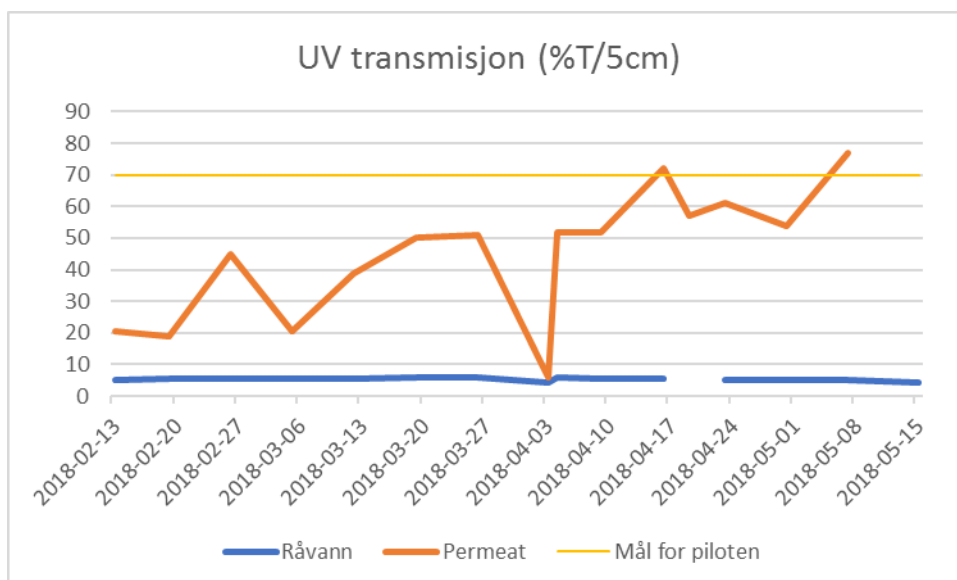
³ NIVA-rapport L.nr. 6881-2015 og i notater fra Norconsult av 08.05.2017 og 02.11.2017.



Figur 2 Fargetall (mg Pt/l) i råvann og permeat

UV transmisjon

UV transmisjonen korresponderer med fargetallet i permeatet (Figur 3). Høyt fargetall gir lav transmisjon. Analyseresultatene viser at UV transmisjonen i permeatet stiger gjennom testperioden. Mot slutten av testen er UV transmisjonen på sitt høyeste (77 %/5cm) og i henhold til målene for permeatkvalitet. Ved denne målingen er også fargetallet på det laveste.

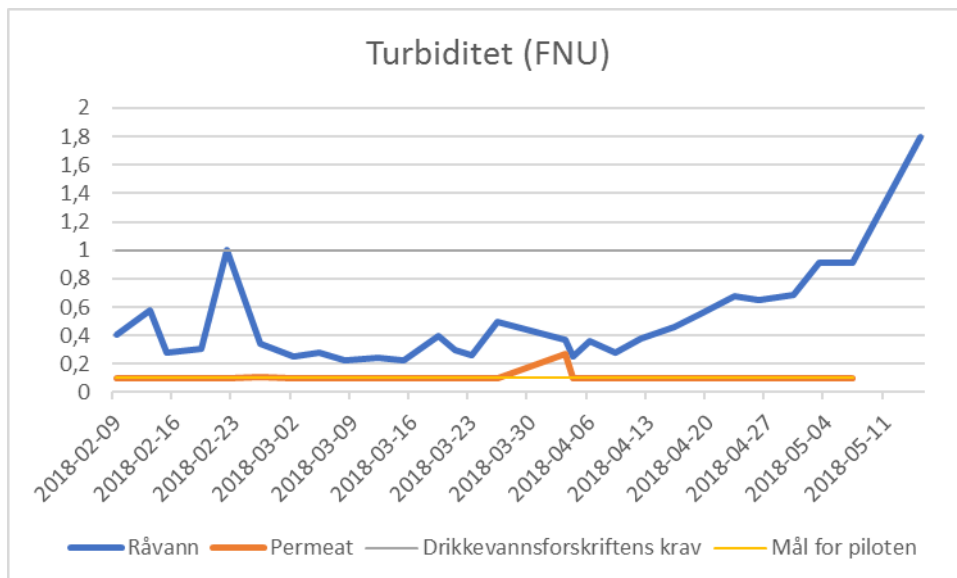


Figur 3 UV transmisjon i råvann og permeat

Turbiditet

Det er generelt lav turbiditet både i råvann og permeat (Figur 4). Med unntak av to målinger (26. feb og 3. april) er samtlige analyser av turbiditet lavere enn 0,1 FNU og i tråd med målene for

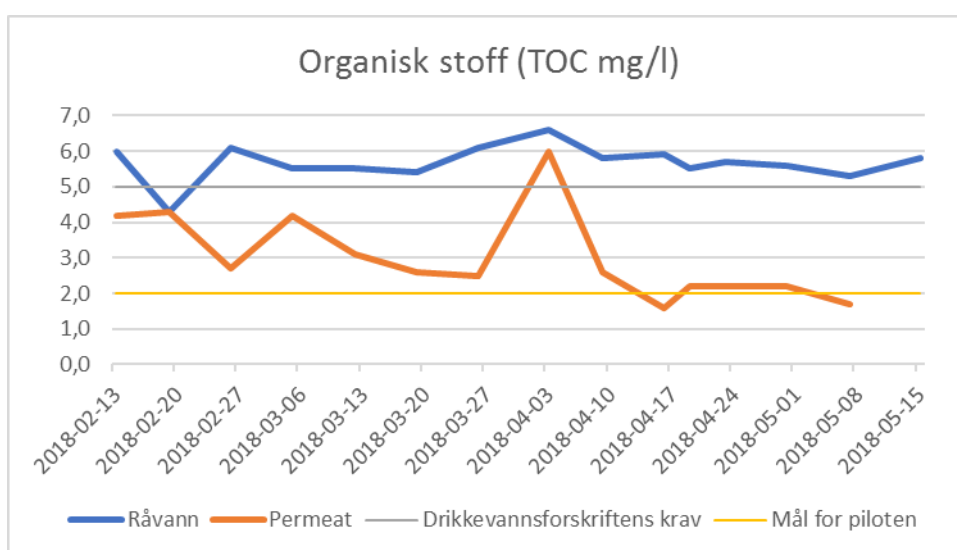
permeatkvalitet. Relativt høy turbiditet 3.april samsvarer med manglende tilsetning av koagulant og generelt dårlig permeatkvalitet. Dette indikerer og at tilsetning av koagulant er avgjørende for reduksjon av turbiditet, og at kun membranfiltrering ikke er tilstrekkelig.



Figur 4 Turbiditet i råvann og permeat

Organisk stoff

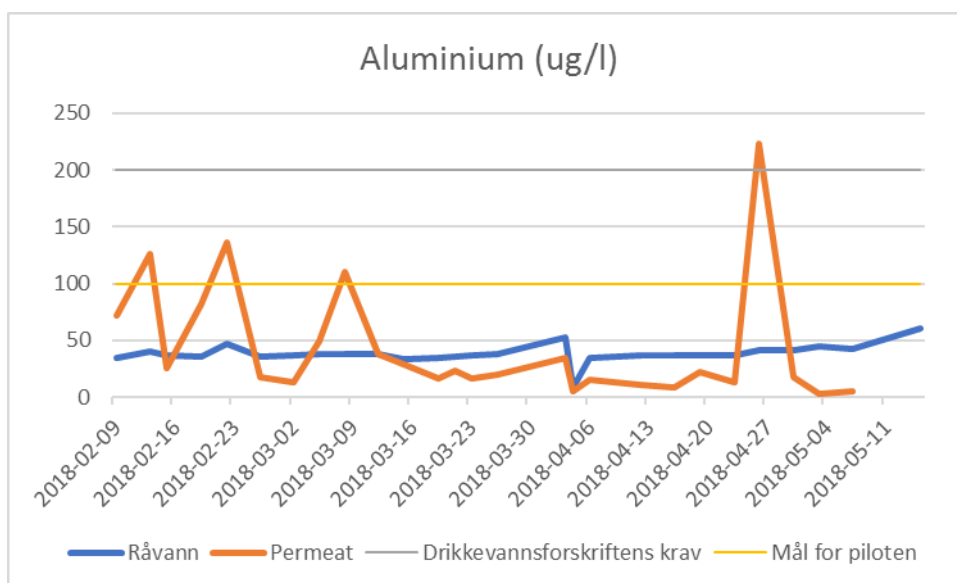
Reduksjon av organisk stoff gjennom prosessen er lav i starten, men etter hvert som prosessbetingelsene stabilisere seg, er reduksjonen høyere (Figur 5). Mot slutten av pilottesten er konsentrasjonen lavere enn 0,2 mg TOC/l og i tråd med målene for permeat. Det er verdt å merke seg at manglende koagulanttilsetning i perioden 27. mars – 3. april medfører at organisk stoff ikke fjernes i prosessen, og man får en økning av TOC i permeatet.



Figur 5 Organisk stoff (TOC) i råvann og permeat

Aluminium

Det benyttes aluminiumsbasert koagulant i prosessen (PAX og Ekoflock) og Al er derfor viktig å måle i permeat. Jf drikkevannsforskriften skal ikke Al forekomme i konsentrasjoner over 200 µg Al/l i rentvann, og ikke over 150 µg Al/l for hygienisk barriere (jf veileder til Drikkevannsforskriften, tidligere utgave). For denne piloten er målet satt til maks 100 µg/l i permeat. Resultatene viser at Al konsentrasjonen er relativt høy og ustabil i starten av piloten. Når dosering og fellings-pH blir mer stabil, synker konsentrasjonen og er stort sett langt under målene for permeatkvalitet (Figur 6). Ved overdosering den 26. april (skifte fra Ekoflock 91 til 96), økte konsentrasjonen av Al i permeat drastisk. Dette viser at prosessen er sensitivt for dose og mengde Al i koagulanten, og at overdosering av koagulant kan gi dårlig permeatkvalitet.



Figur 6 Aluminium (µg/l) I råvann og permeat

Jern og mangan

Kjennskap til mengde jern og mangan (både på partikulær og løst form) i råvannet, samt observasjon av om disse substansene fjernes gjennom koagulering + UF, var en viktig årsak til at piloten på Nord-Mesna ble igangsatt.

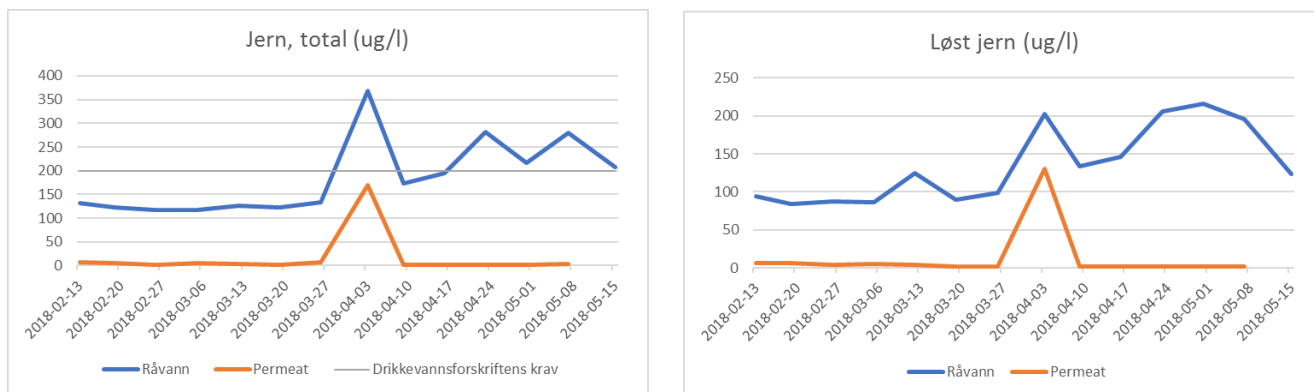
Analyseresultatene viser at Fe foreligger både i partikulær og løst form i råvannet, hvorav det meste etter hvert på løst form. Resultatene på permeat viser at både partikulær og løst jern fjernes gjennom prosessen (Figur 7). Unntaket er i perioden fra 26. mars til 3 april hvor det ikke ble tilsatt koagulant. Da steg jernkonsentrasjonen i permeatet, noe som indikerer betydningen av koagulant for effektiv fjerning av jern. På samme tid var imidlertid konsentrasjonen av jern i råvannet unormalt høy (368 µg/l den 3. april). De dårlige resultatene for permeatkvalitet kan da skyldes en kombinasjon av manglende koagulant og svært høye jernkonsentrasjoner i råvannet.

Med hensyn på jern ble det ikke satt noen mål for permeatkvalitet. Resultatene viser likevel at ved stabil drift (riktig koagulantdose og fellings-pH) er konsentrasjonen av jern lang lavere enn kravene i drikkevannsforskriften, og vil sannsynligvis ikke skape noen driftsmessige problemer på ledningsnett med tanke på utfelling og beleggdannelse.

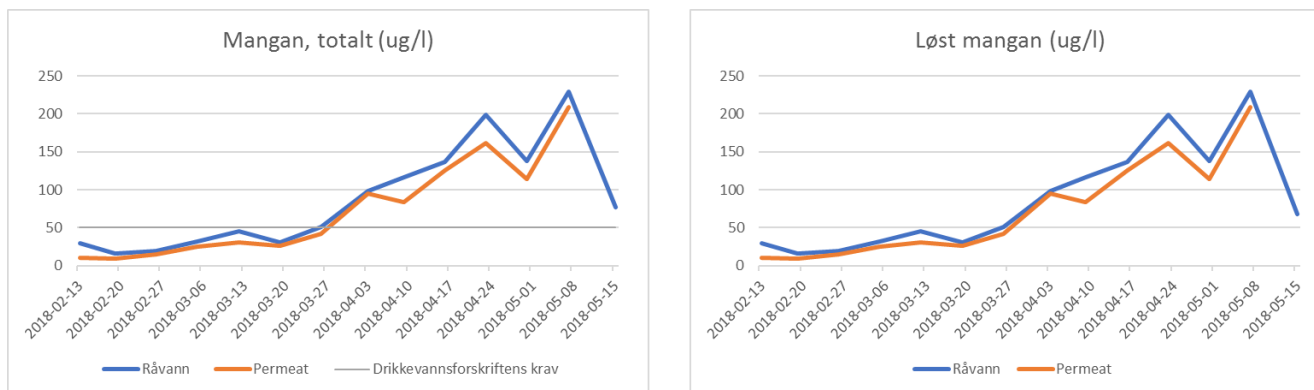
Mangan finnes i både bundet og løst form i råvann og permeat (Figur 8). Konsentrasjonen stiger utover i testperioden, og etter hvert foreligger stort sett alt mangan på løst form. Resultater for

permeatkvalitet viser at det meste av manganet (løst mangan) går gjennom prosessen, hvor hverken koagulant eller membranene i seg selv synes å ha noen effekt på manganreduksjon.

Jf avsnitt om råvannskvalitet, vil hverken inntak av vann fra høyere vannlag (10 m) eller fra reserveinntak i perioder hvor mangannivå i hovedinntak er på sitt høyeste, avhjelpe situasjonen. De høyeste mangankonsentrasjonene samsvarer også med den perioden av året hvor vannforbruket antas å bli på sitt høyeste (påske). Et manganfjerningstrinn må derfor inn i prosessen. Jf tidligere notat² om behandlingsprosesser bør dette trinnet i så fall komme etter koagulering + UF.



Figur 7 Konsentrasjon av jern (µg/l) (partikulært og løst) i råvann og permeat



Figur 8 Konsentrasjon av mangan (µg/l) (partikulært og løst) i råvann og permeat

Bakteriologisk kvalitet

Den bakteriologiske kvaliteten på permeat er tilfredsstillende gjennom hele testperioden (Tabell 2), og berøres ikke av at koagulantdose og pH ikke er optimal i starten. Dette viser membranens funksjon som hygienisk barriere, uavhengig av koagulering. Tarmbakterier påvises ikke i permeat ved noen målinger. Kimtall påvises ved noen prøvetakinger. Konsentrasjonene er imidlertid lave, og kan skyldes noe forurensing ved prøvetaking eller bakteriell vekst på membranens rentvannside. Dette kan skje i membranlegg, og krever i så fall tiltak i form av mer omfattende membranvask (CIP).

pH

pH ble målt online i piloten til NOKA/Pentair, samt fra manuell prøvetaking og analyse på laboratorium. pH ble målt både i råvann, fødevann og permeat og er vist i NOKA /Pentair sine driftsrapporter, samt i Tabell 2 (analysert i lab).

pH målinger av råvannet viser en middelvei på 6,6 i testperioden. pH regulering er nødvendig for å få prosessen til å fungere, dette skyldes primært lav alkalitet i råvannet og behov for høye koagulantdoser (høyt fargetall).

Online måling av pH i fødevann viser at pH er noe ustabil og varierer fra 6,7 – 6,8 i starten av testperioden med korresponderende dårlige resultater for permeatkvalitet. Etter hvert ble pH redusert til 6,2 – 6,3 i fødevann, som også er den optimale fellings-pH for koagulanten. Ustabilitet kan skyldes problemer med lut-tilsetning i starten av pilottesten.

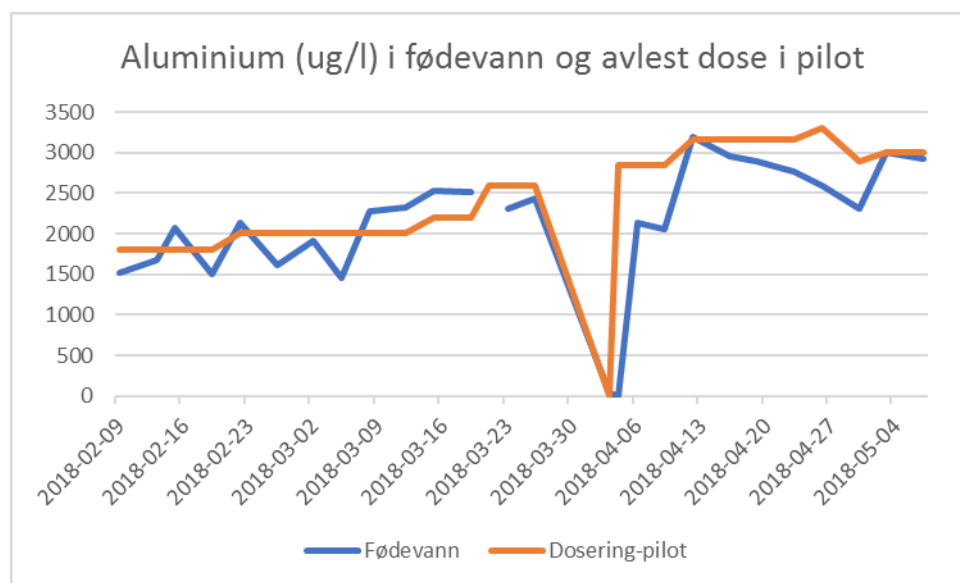
pH ble også målt i permeatet, varierende fra 7,5 – 7,6 i starten av testen til 6,3 mot slutten. pH i permeat er her et resultat av den pH justering som har skjedd i forbindelse med koagulanttilsetning med tilhørende dosering av lut. pH avhenger derfor av hvor godt man treffer på dosen her. Vurdering av pH i permeat tillegges ikke mer vekt i dette notatet. pH justering og korrosjonskontroll før vannet sendes ut på ledningsnettet vil uansett være nødvendig og vil utredes videre i forprosjektet.

Temperatur

Temperaturen ble målt online på råvannet, og varierte mellom 3,6 – 6,5 °C i testperioden (middelvei på 3,9 °C) (resultater vist i rapporter fra NOKA/Pentair). Lave temperaturer må tas hensyn til da dette kan påvirke flokkuleringstid (koagulanten trenger lenger tid) og membranpermeabiliteten. Dette ble hensyntatt ved planlegging av piloten (flokkuleringstid: 148 sek (2,5 min)) og må ivaretas i den videre prosjektering.

Fødevann

Aluminiumkonsentrasjonen ble målt i fødevann, som et mål på faktisk mengde tilsatt koagulant i piloten. Figur 9 viser Al konsentrasjonen i fødevann gjennom testperioden. I starten var tilsatt mengde koagulant lav, noe som samsvarer med dårlig permeatkvalitet. Mot slutten ligger Al konsentrasjonen mellom 2,9 og 3 mg/l, som korresponderer med god permeatkvalitet. Figuren viser også avlest koagulant dose i piloten («set dose»). Resultatene viser at set dose og faktisk målt konsentrasjon av Al i fødevann samsvarer relativt bra.



Figur 9 Al-konsentrasjon (µg/l) i fødevann og avlest dose i pilot

Tilbakespylingsvann (backwash)

Avløpsvann fra tilbakespylingen ble analysert for aluminium og suspendert stoff (for resultater, se rapporter og analysedata fra NOKA/Pentair). Målinger av Al i dette avløpsvannet/slammet viser en gjennomsnittlig Al konsentrasjon på ca 14 000 µg Al/l. Aluminiumsholdig slam kan ikke slippes ut i miljøet men må håndteres videre, enten via avløpsnett eller slamhåndtering på stedet.

Konsentrasjonen av suspendert stoff (SS) i slammet var i gjennomsnitt 74 mg/l. Dette gir en indikasjon på dimensjoner på utstyr for slamhåndtering. Sedimentering/dekantering av slam vil heve SS nivået 8-10 ganger i slamfasen. Prinsippene for slamhåndtering er vist i tidligere notat², og vil detaljeres videre i forprosjektet.

Driftsmessige vurderinger

Nedenfor er det gitt en oppsummering og vurdering av driftsmessige forhold gjennom pilottesten. Vurdering er gjort i henhold til målene som ble satt for testperioden og på basis av ukentlige rapporter fra NOKA/Pentair.

Driftsmessige mål for pilottesten:

- Analysere og vurdere prosessbetingelser som koagulantdose og fellings-pH
- Observere membranpermeabilitet og vaskeintervall for membraner (CEB)
- Observere membrankapasitet og begroing over tid
- Finne design-settings for videre prosjektering av fullskalaanlegg, så som membranflux og nødvendig flokkuleringstid

Figur 10 viser hvilke prosessparametere som ble justert i pilottesten.

Date	Filtr. time (min)	Filtr. flux (lmh)	Coagulant type	Coagulant (mg/l Al ³⁺)	Contact Time (sec)	pre screen size (µ)	pH after dosing (-)	CEB int. (hours)	CEB dosing time (sec)	CEB BW flux (lmh)	CEB soak time (min)	CEB rinse time CEB A/B* (sec)
7/2	25	60	PAX-XL60	1.8	148	300	6.6	12	60	240	10	100 / 80
12/2	25	60	PAX-XL60	1.8	148	300	6.7	18	60	240	10	100 / 80
14/2	25	60	PAX-XL60	2	148	300	6.7	18	60	240	10	100 / 80
19/2	25	60	PAX-XL60	2	148	300	6.45	18	60	240	10	100 / 80
23/2	30	60	PAX-XL60	2	148	300	6.45	18	60	240	10	100 / 80
2/3	35	60	PAX-XL60	2	148	300	6.45	18	60	240	10	100 / 80
5/3	35	60	PAX-XL60	2.2	148	300	6.45	18	60	240	10	100 / 80
9/3	40	60	PAX-XL60	2.2	148	300	6.45	18	60	240	10	100 / 80
12/3	40	60	PAX-XL60	2.2	148	300	6.45	21	60	240	10	100 / 80
14/3	40	60	PAX-XL60	2.6	148	300	6.45	21	60	240	10	100 / 80
16/3	40	60	PAX-XL60	2.6	148	300	6.2	21	60	240	10	100 / 80
26/3	40	60	PAX-XL60	2.6	148	300	6.1	21	60	240	10	100 / 80
30/3	40	60	No coagulant used	0	148	300	6.1	24	60	240	10	100 / 80
3/4	40	60	EcoFlock91	2.85	148	300	6.1	24	60	240	10	100 / 80
9/4	40	60	EcoFlock91	3.16	148	300	6.1	24	60	240	10	100 / 80
10/4	40	60	EcoFlock91	3.16	148	300	6	24	60	240	10	100 / 80
11/4	40	60	EcoFlock91	3.16	148	300	5.9	24	60	240	10	100 / 80
16/4	40	60	EcoFlock91	3.16	148	300	6.1	24	60	240	10	100 / 80
23/4	40	65	EcoFlock96	3.3	136	300	6.2	24	60	240	10	100 / 80
24/4	40	65	EcoFlock96	3.3	136	300	6.2	21	60	240	10	100 / 80
25/4	40	60	EcoFlock96	3.3	148	300	6.2	9	60	240	10	100 / 80
26/4	40	60	EcoFlock96	2.9	148	300	6.2	9	60	240	10	100 / 80
28/4	40	60	EcoFlock96	2.9	148	300	6.2	12	60	240	10	100 / 80
30/4	40	60	EcoFlock96	2.9	148	300	6.2	18	60	240	10	100 / 80
2/5	40	60	EcoFlock96	3	148	300	6.2	18	60	240	10	100 / 80

1) Changed Setting, *CEB A (NaOH pH 12 /NaOCl cleaning 200 ppm Cl₂), CEB B (Acid cleaning H₂SO₄ pH 2).

Figur 10 Prosessparametere. Figur hentet fra NOKA/Pentair, driftsrapport nr 13, uke 19 -2018

Koagulant (type, dose og kontakttid)

Piloten startet med PAX som koagulant, med startdose på 1,8 mg Al/l. Med det høye fargetallet i råvannet er denne dosen for lav. Gjennom piloten øker dosen jevnlig til en endelig dosering på 2,9 – 3,0 mg Al/l. For råvannet i Nord-Mesna synes dette som en optimal dose som gir god permeatkvalitet. Midtveis i testperioden ble det byttet koagulant fra PAX til Ekoflock 91. Dette hadde ikke betydning for prosessen og permeatkvalitet. Et ytterligere skifte fra Ekoflock91 til Ecoflock 96 gav imidlertid ustabilitet og piloten ble stanset pga overdosering av Al. Dette da Ekoflock96 har en høyere konsentrasjon av Al enn Ekoflock 91. En god felling er avhengig av riktig fellings-pH, Ved økning av koagulantdose begynner pH å fluktuere, og denne må justeres inn for å optimalisere felling igjen (for pH justering – se nedenfor).

Reaksjonstid for koagulanten var 148 sekunder (2,5 min) stort sett gjennom hele testperioden. Tilstrekkelig kontakttid er vesentlig for at koagulanten skal fungere, og kan være en utfordring ved lave vanntemperaturer. For denne piloten ble dette ivarettatt ved å etablere et langt rør som var kveilet sammen i et eget oppvarmet rom. Et fullskalaanlegg må tilrettelegge for en tilsvarende kontakttid. Minimum 3 min reaksjonstid anbefales.

pH

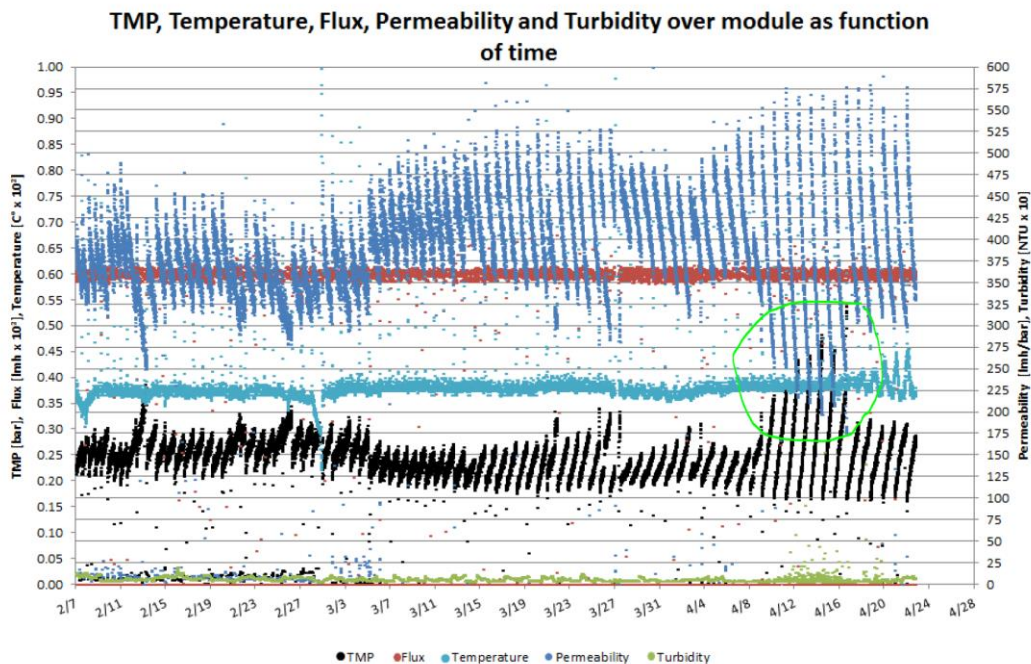
pH er ustabil i starten av testperioden. Dette kan skyldes lav alkalitet i råvannet (0,145 mmol/l), samt at riktig pH-nivå med tilsetning av lut tar noe tid å justere inn. Fellings-pH i starten ligger på 6,7. Dette er for høyt, og gjennom testperioden reduseres pH til 6,1 – 6,2. Dette synes som en optimal fellings-pH for koagulantdose på 3,0 mg Al/l. Gjennom piloten observeres at ved endring av koagulantdose begynner pH å fluktuere og gjør prosessen ustabil. Eksempelvis innvirker et pH fall den 11-12 april (pH 5,8) på prosesstabiliteten med påfølgende trykkøkning (TMP) over membranen (se Figur 11). Grønn sirkel viser periode med lav pH og hvor trykk (TMP) øker og permeabilitet faller. Ved en økning av pH til 6,1, stabiliserte prosessen seg igjen.

Membranvask og permeabilitet

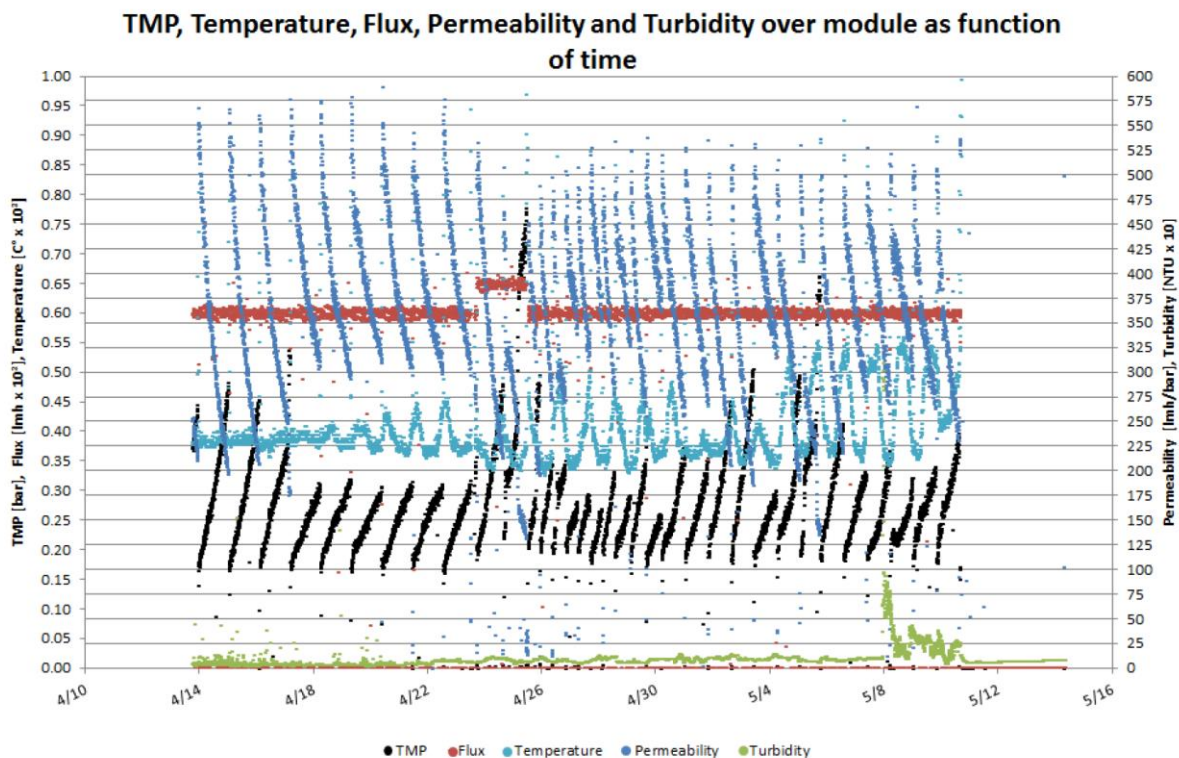
I starten av piloten er det hyppige intervaller for CEB (Chemical Enhanced Backwash) på 12 timer. Dette for å sikre at det ikke dannes begroing på membranene. Etter ca en ukes drift ble vaskeintervallet økt til 18 timer, uten at dette gikk utover stabiliteten til prosessen. På det meste var vaskeintervallet oppe i 24 t (én gang i døgnet). Det synes som et vaskeintervall mellom 18-21 timer er tilstrekkelig til å gi stabil drift og god permeatkvalitet. Ved ustabil drift går dette umiddelbart utover ytelsen til prosessen (trykkøkning, redusert permeabilitet) og vaskeintervallene må justeres deretter. Eksempelvis gav problemer med tilførsel av vaskekjemikalier (22. feb) dårlig membranvask, som umiddelbart gikk utover ytelsen til membranene. Ekstravask ble umiddelbart initiert. Ved overdosering av koagulant (23 april) var nødvendig CEB intervall nede i 9 timer.

Fjerning av begroing er vesentlig for membranenes permeabilitet. Figur 11 viser at selv om permeabiliteten synker relativt bratt mellom hver vask, re-etablerer permeabiliteten seg til initielt nivå etter hver vask. Tilsvarende sees for trykk (TMP) over membranene. Kurvene stiger relativt bratt mellom hver vask, men re-etableres så til initielt nivå.

I løpet av pilotperioden ble det ikke gjennomført en CIP for å fjerne ytterligere begroing (CIP = Cleaning In Place). CIP er en mer omfattende membranvask enn CEB, med varmt vann, sterk syre og lenger vasketid. Data fra siste ukesrapport fra NOKA/Pentair (uke 13) (Figur 12) kan indikere at permeabiliteten er noe nedadgående og at en CIP ville vært nødvendig i nær fremtid. Det forventes at CIP må gjøres hver 4 – 6 måned.



Figur 11 Kurve som viser prosess-stabilitet med hensyn på trykk over membran (TMP) og permeabilitet. Figur tatt fra ukerapport nr 10 fra NOKA/Pentair. Figuren viser data for perioden 7 februar til 24 april.



Figur 12 Kurve som viser prosess-stabilitet med hensyn på trykk over membran (TMP) og permeabilitet. Figur tatt fra ukerapport nr 13 fra NOKA/Pentair, og viser driftsdata for perioden 14 april til 10 mai (avslutning av pilot).

Flux og filtreringstid

Flux på 60 l/mh er stort sett stabil gjennom hele testperioden med unntak av en økning ca 23. april til 65 l/mh. Dette var en periode med ustabil drift, blant annet med overdosering av koagulant. Det anbefales ikke at flux overstiger 60 l/mh

Filtreringstiden (tid mellom hver tilbakespyling) var 25 min i starten av testperioden. Etter en måneds drift økte filtreringstiden til 40 min og lå på dette i resten av testperioden. Filtreringstid på 40 min er som forventet og samsvarer med erfaring fra andre koagulering + UF anlegg.

Andre rapporterte driftsproblemer i testperioden

- problemer med dosering av rengjøringskjemikalier til CEB vask 22. feb, gikk umiddelbart utover membrantype, ekstra vask var nødvendig.
- piloten stoppet 1 mars pga feil med tilbakevasking, ikke nødvendig å endre CEB intervall.
- piloten ble kjørt uten koagulanttilsetning i perioden fra 27. mars til 3. april. Dette gav umiddelbart utslag med dårlig permeatkvalitet, men selve driften av piloten var stabil. Når koagulant tilsettes igjen, sees at initiell permeabilitet stiger igjen (se Figur 11).
- ved to tilfeller oppstod det luftbobler i doseringsslangen for koagulant. Dette medførte at koaguleringen stanset og en påfølgende økning i trykk over membranene (TMP). Dette medførte behov for ekstra vasking med CEB intervall ned mot 9 timer. Stabiliteten re-etableres etter tilstrekkelig vasking.
- 7 mai begynner turbiditet å fluktuere i råvannet, permeatkvalitet er likevel god.

Konklusjon og anbefaling

- For alle parametere gjelder at målene med hensyn på permeatkvalitet etter hvert ble oppnådd i pilottesten, dette når innstillinger ble optimalisert.
- Koagulering og UF fjerner ikke mangan. Separat manganfjerningstrinn må derfor inn som separat trinn i vannbehandlingsanlegget.
- Når stabile driftsbetingelser er etablert med hensyn på koagulantdose og fellings-pH produseres det god permeatkvalitet. Koagulantdose på 2,9 – 3 mg Al/l og fellings-pH på 6.2 – 6.3 synes optimalt.
- Koagulantforbruket er høyt, og mer enn dobbelt så høyt som for Nye Moelv vannverk (1,2 mg Al/l). Dette er forventet da råvannet i Nord-Mesna er av en helt annen karakter (høyt fargetall).
- Prosessen er sensitiv med hensyn på riktig koagulantdose og pH. Riktig driftsinnstilling og god oppfølging av anlegget vil være nødvendig slik at dette hele tiden er ivaretatt.
- CEB intervall (18-21 t) er som forventet med tanke på dette råvannets karakter (høyt fargetall, mye organisk materiale og mulig jern-utfelling).
- Det produseres mye Al-holdig slam som må ivaretas i eget slamhåndteringssteg.

- Nivåer for flux og filtreringstid er som forventet og i henhold til erfaring fra tilsvarende anlegg.
- CIP vask må forventes hver 4- 6 måned for å re-etablere membrankapasitet.
- Med de lave vanntemperaturene i Nord-Mesna bør det tilrettelegges for en flokkuleringstid på min 3 min.

Gjennomført pilottest og foreliggende resultater har vist at koagulering og filtrering gjennom UF membraner produserer vann av god kvalitet, forutsatt korrekt driftsinnstilling og god oppfølging. På basis av dette kan prosessen anbefales på råvann fra Nord-Mesna.

Behandlingsflyt i en endelig prosess kan se slik ut:

Trykksil (300 mikro) - koagulering - pH-regulering - flokkulering - UF-filtrering - ozonering - filtrering (antrasitt/sand/marmor) - UV-desinfeksjon – klor i beredskap.

Disse detaljene tas videre i et forprosjekt.

J02	2018-06-07	Endelig versjon. For bruk.	AnBom	SVELIA	TOJFU
A01	2018-06-04	For KS internt	AnBom	SVELIA	TOJFU
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.