



RAPPORT LNR 5017-2005

Rehabilitering av vannbehandlingsanlegg ved Østerbo Evangeliesenter

Fase 1 Utvikling av ny
behandlingsprosess



Foto: Eigil Iversen

Norsk institutt for vannforskning

RAPPORT

Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5005 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Midt-Norge

Postboks 1264 Pirsenteret
7462 Trondheim
Telefon (47) 73 87 10 34 / 44
Telefax (47) 73 87 10 10

Tittel Rehabilitering av vannbehandlingsanlegg ved Østerbo Evangeliesenter Fase 1 Utvikling av ny behandlingsprosess	Løpenr. (for bestilling) 5017-2005	Dato 20.mai 2005
	Prosjektnr. Undernr. O-24266	Sider 33
Forfatter(e) Iversen, Eigil Rune, NIVA Vogelsang, Christian, NIVA Knudsen, Carl-Henrik, Knudsen Prosjekt AS	Fagområde VA-teknikk	Trykket NIVA 2005
	Geografisk område Østfold	

Oppdragsgiver(e) Østerbo Evangeliesenter	Oppdragsreferanse
--	--------------------------

Sammendrag Det er gjennomført forsøk i pilotskala for å utrede ny behandlingsprosess for behandling av råvann fra Bunessjøen, Halden kommune. Råvannet er i utgangspunktet dårlig egnet som vannkilde med høy farge, lav pH og alkalitet, samt høyt innhold av aluminium, jern og organisk karbon. Eksisterende anlegg, der en foretar kjemisk felling med aluminiumsulfat, er nedslitt og greier ikke å levere en tilfredsstillende vannkvalitet. I tillegg er slamproduksjonen stor. Det ble funnet at det er mulig å benytte en behandlingsprosess der en foretar en koagulering av humus vha kitosan og mindre mengder jernklorid. Slammet skilles ut på et sand/antrasittfilter, mens pH og alkaliteten økes ved filtrering gjennom et kalksteinsfilter. Optimal koagulerings-pH vil være omkring pH5 med en kitosandosering på ca 3 g/m³ og jerntilsetning på ca 6 g/m³. Behandlet vann vil få en pH-verdi på ca 8, et kalsiuminnhold omkring 10 mg/l, et organisk karboninnhold på 3 mg/l og en farge i området 5-10 mg Pt/l.

Fire norske emneord 1. Vannbehandling 2. Drikkevann 3. Humus 4. Alkalisering	Fire engelske emneord 1. Water Treatment 2. Potable Water 3. Humus Content 4. Alkalisation
---	---

Eigil Rune Iversen

Eigil Rune Iversen
Prosjektleder

Helge Liltved

Helge Liltved
Forskningsleder

Gyrd Sørensen

Gyrd Sørensen
Ansvarlig

ISRN 82-577-4716-5

O-24266

**Rehabilitering av vannbehandlingsanlegg ved
Østerbo Evangeliesenter**

Fase 1 Utvikling av ny behandlingsprosess

Forord

Dette prosjektet har vært et samarbeidsprosjekt mellom Norsk institutt for vannforskning, NIVA og Knudsen Prosjekt AS v/ siv.ing Carl-Henrik Knudsen. Fra NIVA har Eigil Rune Iversen og Christian Vogelsang deltatt, foruten Arne Veidel fra NIVAs instrumentsentral.

Vannbehandlingsanlegget ved Østerbo Evangeliesenter har vært i drift siden 1981 med relativt beskjedne ombygginger. Etter ca. 25 år må en regne med at slike tekniske anlegg trenger en oppgradering. Anlegget har trolig i lengre tid hatt problemer med å levere en tilfredsstillende vannkvalitet. Råvannskvaliteten er også problematisk og stiller store krav til renseprosessen. Det er dessuten mulig at råvannskvaliteten kan ha endret seg i løpet av de siste 25 år i likhet med andre humusrike innsjøer idet humusinnhold og farge har økt.

I prosjektet har en lagt vekt på at den nye behandlingsprosessen skulle være enkel og driftssikker, samtidig som en også skulle nyttiggjøre seg mest mulig av eksisterende utstyr og arealer. Vi håper derfor at vi har kommet fram til en prosessestetisk løsning som tilfredsstiller senterets behov. Vi regner med at senterets driftspersonell vil kunne innhente de driftserfaringer som er nødvendig for å tilpasse behandlingsprosessen til de endringer en har i løpet av året når det gjelder råvannskvalitet.

Vi takker Østerbo Evangeliesenter ved Rolf Pettersen og Vidar Mørch for samarbeidet så langt og vil gjerne bistå i det videre arbeidet som skal til for å ta i bruk den nye behandlingsprosessen.

En takk også til Franzefoss Kalk AS for å ha stilt filterkalk til disposisjon til forsøkene.

Oslo, 20.mai 2005

Eigil Rune Iversen

Innhold

Sammendrag	5
1. Innledning	6
2. Valg av vannbehandlingsprosess	6
2.1 Eksisterende behandlingsprosess	6
2.1.1 Behandlingsanlegget – prosess	6
2.1.2 Volum og arealer i eksisterende anlegg	7
2.2 Dagens vannkvalitet på nettet	7
2.3 Veivalg	8
3. Vannkilden	9
4. Pilotforsøk	11
4.1 Målsetting	11
4.2 Forsøksanlegget	11
4.3 Forsøksopplegg	13
4.4 Resultater	13
4.5 Samlet vurdering av pilotforsøk	16
4.5.1 Fysisk/kjemisk vannkvalitet	16
4.5.2 Prosessmessige forhold	17
5. Forslag til ny behandlingsprosess	18
5.1 Prosessbeskrivelse	18
5.2 Dimensjonering	20
5.3 Marmor- og kjemikalieforbruk	21
5.4 Bygnings- og installasjonsmessige forhold	22
6. Videre arbeid	22
7. Referanser	23
Vedlegg A. Analyseresultater for prøver tatt under pilotforsøk	24
Vedlegg B. Forundersøkelser, oktober 2004	27

Sammendrag

Eksisterende behandlingsanlegg for drikkevann ved Østerbo Evangeliesenter greier ikke lenger å levere en tilfredsstillende vannkvalitet. I forhold til Drikkevannsforskriften er det overskridelser på kravene for flere parametre. Eksisterende prosess, der en benytter aluminiumsulfat i behandlingen, gir et alt for høyt innhold av jern og aluminium i behandlet vann. I tillegg er fargetallet også høyt. Anlegget ble oppgradert for ca. 25 år siden og er i dag nedslitt og trenger en totalreovering. Driften av dagens anlegg krever stor arbeidsinnsats.

Anlegget tar inn råvann fra Bunessjøen som ligger nær inntil senteret. En enkel undersøkelse av den fysisk/kjemiske vannkvalitet i sjøen viste at denne er dårlig egnet som vannkilde for et drikkevannsanlegg. Vannet er ionefattig og surt, har et lavt kalsiuminnhold og et høyt innhold av organisk karbon, aluminium, jern samt farge. Turbiditeten er også høy.

Målsettingen med dette prosjektet har vært å vurdere om det er mulig å lage en enklere og mer driftssikker prosess for behandling av det aktuelle vannet. Med bakgrunn i de erfaringer som NIVA har gjort med behandling av humusholdig vann med kitosan som koagulant, ble det anbefalt å gjennomføre forsøk for om mulig å komme fram til en anbefalt og sikker prosess. Forsøkene ble gjennomført på Østerbo i perioden januar-april 2005 i samarbeid med senterets personale.

Det ble funnet at det vil være mulig å lage en tilfredsstillende koaguleringsprosess vha. kitosan, men den høye fargen som råvannet har, gjør at en befinner seg i ytterkant av hva kitosan alene kan klare å koagulere. Ved hjelp av en mindre tilleggsdosering av jernklorid ble det funnet at det likevel var mulig å lage en enkel prosess som vil gi en tilfredsstillende vannkvalitet. Prosessen stiller krav til kontroll med koagulerings-pH. Optimalt pH-område ble funnet å være omkring 5 (4,7-5,3). Det er nødvendig å foreta en alkalisering i etterkant. Det ble vist at dette kan gjøres vha. marmorfiltrering (filterkalk). I forsøkene ble det vist at det er mulig å fremskaffe et vann med følgende kvalitet:

Surhetsgrad	Turbiditet	Farge	Org. karbon	Jern	Aluminium	Mangan
pH	FNU	mg Pt/l	mg C/l	mg Fe/l	mg Al/l	mg Mn/l
8,0	<0,2	<10	3-5	<0,1	<0,15	<0,05

Det vil være mulig å foreta korreksjon av pH i behandlet vann vha. soda (natriumkarbonat) som også vil bli benyttet for å kontrollere riktig pH under koaguleringen.

I rapporten er det også gitt en forenklet teknisk beskrivelse med dimensjoneringsgrunnlag for den foreslåtte prosess og hvordan en kan ta i bruk mest mulig av det eksisterende anlegg på en effektiv måte. Det er også foreslått en plan for det videre arbeid fram til igangkjøring og oppfølging av den nye behandlingsprosessen.

Råvannskvaliteten endrer seg i løpet av året. Kvaliteten kan også være påvirket av dagens praksis med utslipp av aluminiumholdig spylevann. Denne praksis vil opphøre. Disse forhold gjør det nødvendig med en god oppfølging av driften en tid framover for å innhente et godt erfaringsgrunnlag for optimal drift.

1. Innledning

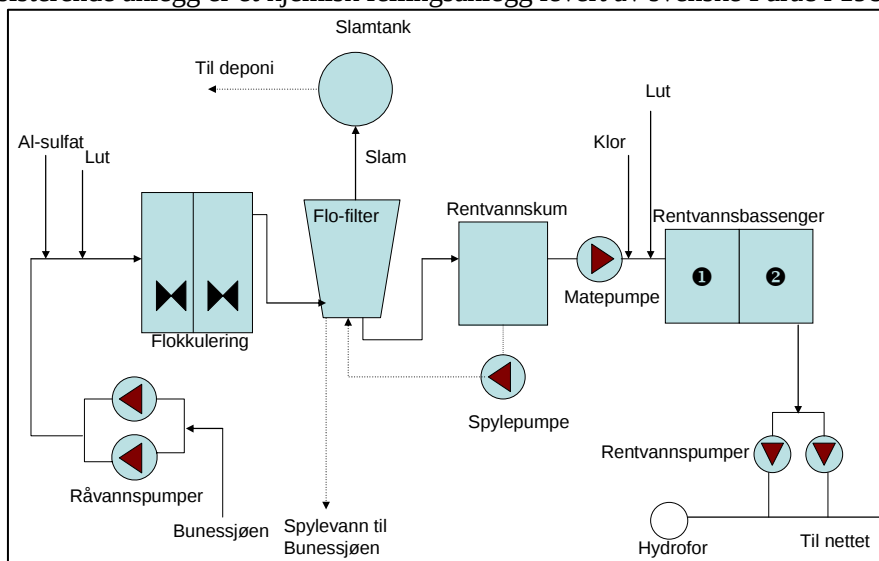
Norsk institutt for vannforskning mottok en henvendelse fra Østerbo Evangeliesenter i september 2004 med forespørsel om å gjøre en vurdering av eksisterende vannkvalitet ved senterets vannbehandlingsanlegg. Det ble innsendt vannprøver tatt av råvannsinntak og av utgående vann på nettet den 16.09.2004. Det ble straks påvist at anlegget ikke leverte en tilfredsstillende vannkvalitet i henhold til Drikkevannforskriften. Det ble derfor foretatt en befaring til anlegget den 18.10.2004 der det også ble tatt med vann til å gjøre noen enkle laboratorieforsøk for å få en oversikt over aktuelle behandlingsprosesser. Det ble laget en kortfattet vurdering av forholdene i brev av 25.10.2004 med forslag til videre fremdrift mht aktuelle tiltak. Resultatene ble videre lagt fram på et møte på senteret den 18.11.2004. På møtet ble det enighet om at NIVA skulle lage et programforslag for det videre arbeid. Forslaget ble fremlagt i et tilbudsbrev av 01.12.2004. Forslaget dannet grunnlaget for avtalen som ble underskrevet den 19.02.2005.

2. Valg av vannbehandlingsprosess

2.1 Eksisterende behandlingsprosess

2.1.1 Behandlingsanlegget – prosess

Eksisterende anlegg er et kjemisk fellingsanlegg levert av svenske Purac i 1981 (se figur 1).



Figur 1. Flytskjema for eksisterende prosess.

Behandlingsprosessen er kjemisk felling med Al-sulfat som fellingsmiddel og lut som pH-regulerende kjemikalie. Råvann hentes fra inntaksledning i Bunessjøen og pumpes med to råvannpumper til to seriekopplede flokkuleringsskuffer for oppbygging av avskillelsesbare fnokker. I tilførsledningen til flokkuleringsskuffene tilsettes Al-sulfat og lut. Fellings-pH måles kontinuerlig i tilførsen til flokkuleringsskuffene. Fra flokkuleringsskuffene ledes vannet inn i et kombinert flotasjons/sandfilteranlegg for avskilling av fnokkene. Avskilt slam i flotasjonsenheten ledes til utvendig slamtank for borttransport til deponi med slamsugebil. Spylevann fra sandfilteret ledes i egen ledning direkte til Bunessjøen! Behandlet vann ledes til et kombinert rentvannsskuff og spylevannsskuff. I skuffen er plassert to dykkede pumper. En pumpe er

spylevannspumpe for sandfilteret og en pumpe er en rentvannspumpe som pumper behandlet vann til to seriekopplede sisterner. Luftspyling av sandfilteret er ikke etablert.

På pumpeledningen til reservoarene er plassert to doseringspunkter for lut for pH-justering og klor for desinfisering av vannet. Fra sisternene pumpes vannet til forbruk ved to rentvannspumper styrt av hydrofordrift. Dispergeringsvann til flotasjonsprosessen hentes fra lavreservoaret og luft hentes fra kompressoranlegg. Polymer brukes ikke i behandlingsprosessen.

Sandfilteret er bygget med en filterbunn av betong med 180 innstøpte filterdyser. Driftsoperatør har registrert sandflukt fra sandfilteret som har sin sannsynlige årsak i demolerte filterdyser.

Anlegget ble opprinnelig dimensjonert for en nominell dimensjonerende behandlingskapasitet på 17 m³/h, dvs. mer enn 300 m³/d.

Dagens vannforbruk er registrert til ca. 60-80 m³/d. Middel ca. 3-4 m³/h.

Om det forutsettes at opprinnelige matepumper (råvannspumper) benyttes, vil vannproduksjonstiden med dagens forbruk være 3-4 timer pr. døgn!

Driften av anlegget er bygget opp med bruk av tidsur og nivågivere/trykkgivere for styring av behandlingsprosessen. Prosessen er basert på on-off-prinsippet med konstant produsert vannmengde pr. tidsenhet uavhengig av forbruket og manuelt innstilte kjemikaliedoseringsmengder. Anlegget har behov for generell renovering, både prosessmessig og bygningsmessig.

2.1.2 Volum og arealer i eksisterende anlegg

- Flokkuleringsbasseng, 2 stk. Samlet flate: 5 m². Totalt samlet volum: ca. 13 m³.
- Flofilter. Total filterflate: 4 m². Totalt vannvolum: ca. 10 m³.
- Spylevannsbasseng. Totalt vannvolum ca. 26 m³.
- Lavreservoar 1: Ca. 60 m³.
- Lavreservoar 2: Ca. 100 m³.
- Totalt i lavreservoar (rentvannsbassenger): ca. 160 m³.

2.2 Dagens vannkvalitet på nettet

Eksisterende behandlingsanlegg greier ikke å levere en tilfredsstillende vannkvalitet. I forhold til Drikkevannsforskriften er det avvik for de fleste parametre. Mest alvorlig er resultatene for aluminium der resultatene er betydelig over kravene. Behandlet vann har også en høy farge. Det er uheldig å klorere slikt vann da det kan dannes helseskadelige klororganiske forbindelser. En følge av høy farge er også et høyt innhold av organisk stoff målt som totalt organisk karbon (TOC). Årsaken til de høye aluminiumverdiene skyldes at sandfilteret under flotasjonscellen ikke virker tilfredsstillende. Det er lekkasje på filteret, noe den høye turbiditeten viser. Anlegget greier vanligvis å levere et vann med pH i riktig område. Anlegget bruker natronlut til alkalisering. Kloreringen foretas med natriumhypokloritt. I tabell 1 har vi samlet resultatene fra de analyser som NIVA har foretatt av utgående vann på nettet i perioden september 2004-januar 2005.

Tabell 1. Analyse av nettvann fra eksisterende anlegg. Analyser foretatt av NIVA.

Prøve tatt	pH	Kond. mS/m	TOC mg/l	Farge mg Pt/l	Turb. FNU	Fe µg/l	Al µg/l	Mn µg/l	Alkalitet mmol/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l
16.09.2004	7,76	16,1	8,6	29,9	2,02	245	1670	16,4	0,432	3,48	0,714	29,0
18.10.2004	6,76	13,8	10,0	20,5	5,22	241	2180					
05.01.2005	8,32	14,6	6,1	28,6	2,43	163	2000					

Veileder til Drikkevannsforskriften:

Grenseverdier	6,5-9,5	<250	<5	<20	<1	<200	<200	<50				<200
Anbefalte verdier	8,0-9,0		<3*	<10*	<0,2*	<150*	<150*		0,6-1,0	15- 25		

*Anlegg med koagulering

2.3 Veivalg

For å oppnå en tilfredsstillende vannkvalitet på nettet er flere alternativer tenkbare.

Eksisterende anlegg er solid konstruert, men er i dag en del nedslitt både mht til prosessutrustning og styringsutrustning. Et alternativ kunne være å reparere anlegget og oppgradere det. Vi vurderte det slik at det er en krevende oppgave å behandle vann vha. felling med aluminiumsalter, særlig for et lite anlegg. Anlegget produserer dessuten et slam som karakteriseres som spesialavfall og som det knytter seg forholdsvis store deponeringskostnader til. Det vurderes som en fordel å redusere mengden metallsalter til behandling av drikkevann. Det går med forholdsvis mye arbeidstid til å drive anlegget. Vi vil derfor anbefale at en går bort fra denne behandlingsprosessen, selv om en rehabilitering vil kunne føre til et akseptabelt vann.

På grunn av en del helsemessige betenkeligheter som kan være knyttet til bruk av aluminiumsalter, kunne en i stedet tenke seg å bruke jernklorid som fellingskjemikalie. Kostnadene i forbindelse med deponering av slam blir imidlertid de samme.

Et aktuelt alternativ kunne være å ta i bruk membranteknikk. Prosessen er enkel og egner seg godt for små anlegg. I dette tilfelle er det en ulempe at inntil 30 % av inntaksmengden (rejektvann) må sendes til avløp. Avløpet kan ikke sendes til Bunessjøen, men må tas inn på avløpsnettet. Så vidt vi forstår, ville dette føre til kapasitetsproblemer på eksisterende behandlingsanlegg for sanitæravløp. Vi valgte derfor å se bort fra dette alternativ. Teknikken er kostbar, dessuten vil det gå noe tid før en får erfaring for hvor lenge membranene holder og derved får oversikt over de endelige kostnadene.

Det ble innledningsvis også vurdert å skaffe råvann fra borebrønner. På grunn av antall brønner som måtte bores og at slikt vann mest sannsynlig også må behandles, ble dette alternativet forlatt. De endelige kostnadene synes svært usikre ved dette alternativet når en ikke har oversikt over kvaliteten på grunnvannet i området.

I forbindelse med behandling av råvann med høyt innhold av humus er det i de senere år tatt i bruk en alternativ teknikk der en koagulerer humus vha. kitosan. Kitosan er et produkt som er fremstilt av reke- og krabbeskall. Koaguleringen foretas i svakt surt miljø. Etter utskilling av koagulert slam, som en normalt gjør på et sand-/antrasittfilter, må en foreta en alkalisering. Alkaliseringen kan foretas ved filtrering gjennom marmor- eller kalksteinsfilter. Et argument mot denne teknikken er at kitosan er kostbart. Dette er riktig, men ved små vannverk viser det seg at andre kostnader også er av stor betydning. For slike vannverk viser det seg ofte likevel at kjemikaliekostnadene ikke er 8de kostnadene som betyr mest. NIVA har flere gode referanser fra behandlingsanlegg der denne teknikken er tatt i bruk (se kapittel 7). Alle forhold tatt i betraktning vurderte vi det slik at det kunne være verdt et forsøk å teste denne teknikken ved Østerbo selv om råvannskvaliteten i utgangspunktet var svært dårlig for en slik prosess. Innledende laboratorieforsøk (vedlegg B) tydet på at denne prosessen var anvendbar, sannsynligvis etter tilsetning av mindre mengder jernklorid som hjelpekoagulant.

Da viktige målsettinger for et nytt vannbehandlingsanlegg på Østerbo var, foruten å produsere et tilfredsstillende vann, også var å redusere arbeidskostnader og kostnader til slambehandling, samt at prosessen skulle være enkel å drive, valgte vi å anbefale at en utredet denne prosessen nærmere. I denne forbindelse var det nødvendig å teste prosessen under kontinuerlig drift for å kunne ha dimensjoneringsgrunnlag for ombyggingen. Under ombyggingen var det dessuten et ønske om at man i størst mulig grad skulle nyttiggjøre seg eksisterende anlegg.

3. Vannkilden

Anlegget tar inn vann fra Bunessjøen fra bukta ca 100 meter utenfor anlegget og på ca. 6 meters dyp. I tabell 2 er det samlet analyseresultater for noen stikkprøver tatt av råvannet i perioden september 2004 - april 2005. Resultatene viser at vannkvaliteten varierer en del i løpet av året. Surhetsgraden varierer i området 6,2-4,7 og fargen i området 69-150. Innholdet av organisk stoff synes å være dobbelt så høyt om sommeren som om vinteren. Konduktiviteten og alkaliteten viser at vannet er relativt ionefattig og har en lav bufferkapasitet. Kalsiuminnholdet er derfor også forholdsvis lavt. Turbiditeten er høy, dvs. vannet har et høyt innhold av partikler. Innholdet av jern og aluminium er også uvanlig høyt. Det er mulig at dette har sammenheng med utslipp av spyleslam fra sandfilteret og at det er forholdsvis kort avstand fra utslippsrøret til inntaksrøret. Av sistnevnte grunn ble det tatt prøver lenger utover i Bunessjøen for å vurdere om det kunne ha noen hensikt å forlenge inntaksledningen for å få en bedre råvannskvalitet til anlegget.

Tabell 2. Analyse av råvann fra Bunessjøen tatt fra råvannsinntaket i vannbehandlingsanlegget.

Prøve tatt	pH	Kond. mS/m	TOC mg/l	Farge mg Pt/l	Turb FNU	Fe µg/l	Al µg/l	Mn µg/l	Alk. mmol/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	NO ₃ -N µg/l	Tot-N µg/l	Tot-P µg/l
16.09.2004	6,19	4,12	18,0	147	5,47	1030	537	26,4	0,095	3,15	0,779	3,37	130	635	27
18.10.2004	5,08	4,26	18,8	150	4,23	651	554								
05.01.2005	5,09	4,03	15,8	132	12,7	1110	741								
17.02.2005	4,74	4,67	11,1	88,6	6,17	526	605	24,6							
08.04.2005	4,76	4,64	9,6	68,9		355	378	23,2		1,40					

Den 19.01.2005 ble det tatt prøver ca. 1 meter over bunnen ved tre lokaliteter i Bunessjøen. Posisjonen til lokalitetene er gjengitt i tabell 3 og markert på figur 2 som er et utdrag av et kart over området. Analyseresultatene for prøvene som ble tatt er samlet i tabell 4. Bunessjøen var isfri da prøven ble tatt.

Tabell 3. Prøvetakingsstasjoner i Bunessjøen den 19.01.2005

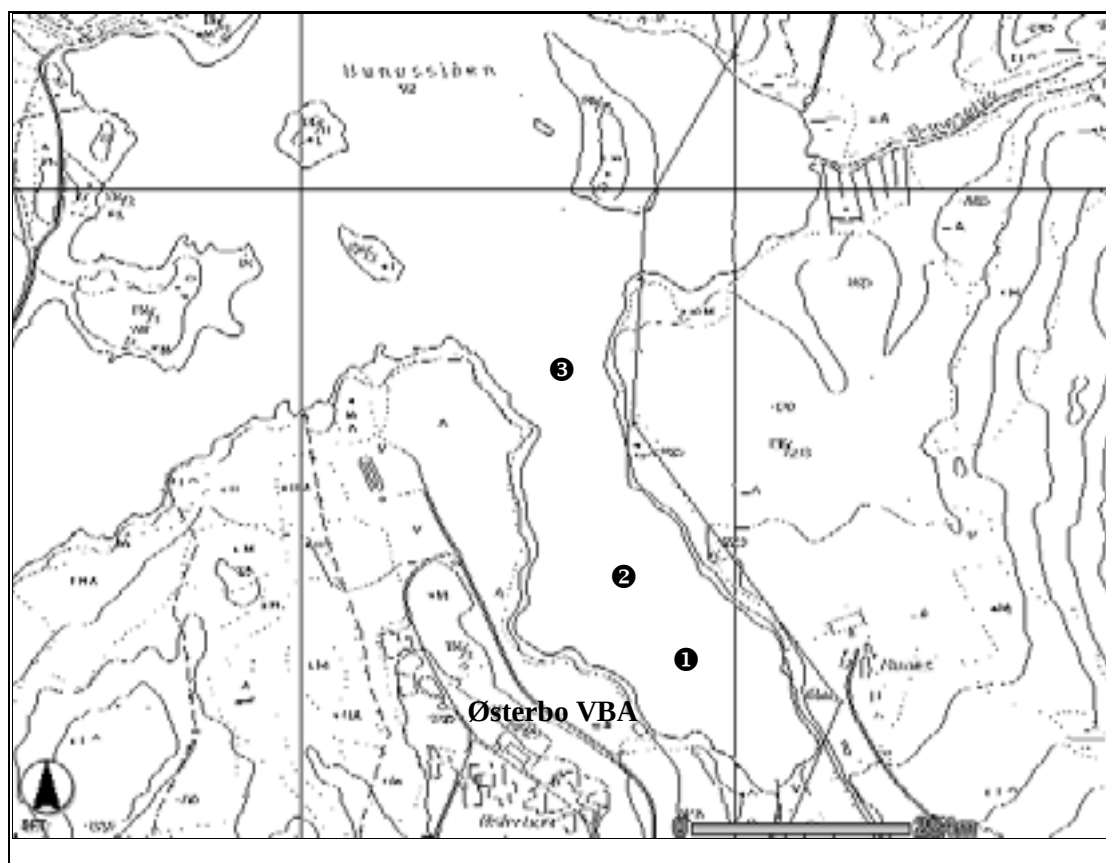
Stasjon nr.	Navn	Posisjon N	Posisjon E
1	Utenfor vba	59° 13,964'	11° 28,767'
2	Bukt	59° 14,028'	11° 28,682'
3	Odde	59° 14,130'	11° 28,625'

Tabell 4. Analyse av vannprøver fra Bunessjøen tatt den 19.01.2005.

Stasjon nr.	Prøvedyp m	Maks.dyp m	Temp gr.C	pH	Kond mS/m	Turb FNU	Farge mg/l	TOC mg/l	Fe µg/l	Al µg/l
1	6	7	2,7	5,04	4,29	9,82	98,7	11,9	549	586
2	7	8	2,9	4,80	4,27	10,0	105	11,9	551	583
3	8	9	2,9	4,68	4,80	9,54	98,7	11,7	527	570

Resultatene viser at vannkvaliteten endrer seg lite ut over i sjøen. Vannet er turbid og fargen er forholdsvis lik over alt. Det har derfor ingen hensikt å endre inntaksstedet for råvann.

Det ble ikke foretatt noen undersøkelse av sedimentene for å avklare betydningen av utslipp av aluminiumholdig slam fra sandfilteret.



Figur 2. Kartutsnitt av Bunessjøen med markering av prøvetakingssteder for vannprøver den 19.01.2005.

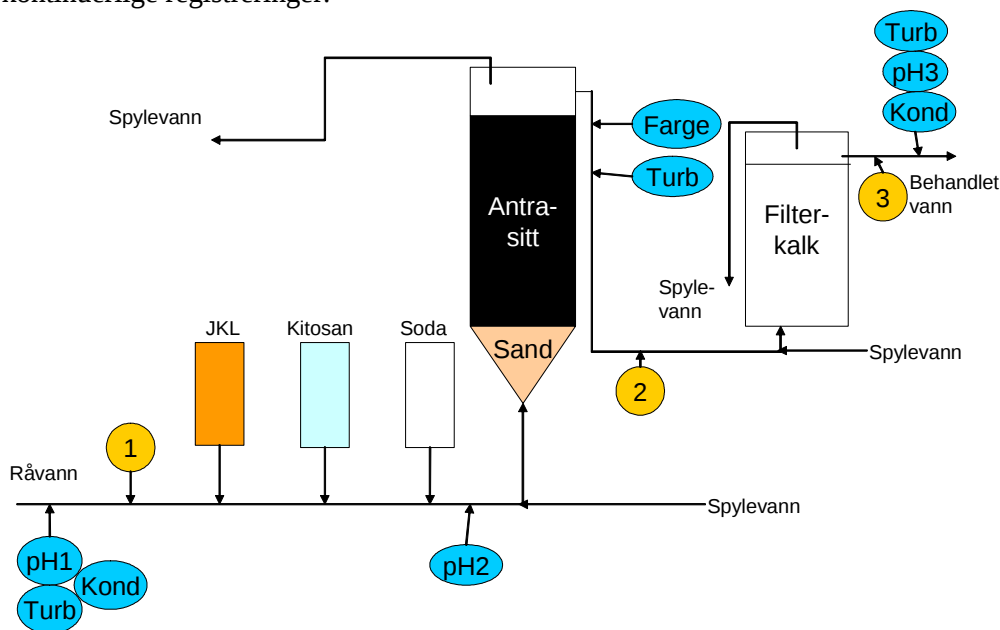
4. Pilotforsøk

4.1 Målsetting

Pilotforsøkene har hatt som målsetting å bekrefte at en prosess med koagulering av humus vha. kitosan er en egnet prosess for behandling av vann på Østerbo. Forsøkene tok sikte på å kartlegge optimale prosessbetingelser og hvordan prosessen kan tilpasses for å gi et vann som tilfredsstiller de krav som stilles. Resultatene benyttes som dimensjoneringsgrunnlag for helskala prosess. En vil også ta i bruk resultatene fra forsøkene til å gi en ideskisse til hvordan prosessen kan tilpasses eksisterende arealer og utrustning. Selve planlegging og prosjektering av det nye anlegget omfattes av neste fase. Til slutt kommer igangkjøring og opplæring av driftspersonell, utarbeidelse av driftsinstruks mm.

4.2 Forsøksanlegget

Figur 3 viser en prinsippsskisse av forsøksanlegget med markering av prøvetakingspunkter og punkter for kontinuerlige registreringer.



Figur 3. Prinsippsskisse av pilotanlegget med markering av prøvetakingspunkter (1-3) og kontinuerlig registrerende instrumenter.

Råvann fra Bunessjøen ble tatt ut fra en av råvannspumpene. Råvannsinntaket var utrustet med 2 rotametre med reguleringsventiler for innstilling av vannmengder for belastning av anlegget og for spyling av sand/antrasittfilter. Alle måleinstrumenter bortsett fra farge/turbiditetsmåler ved utløpet av antrasittfilteret var samlet på en instrumenttavle. Det var lagt opp til logging av alle instrumenter.

Forsøkene ble utført med oppstrøms filtrering. Antrasittfilteret er en filterkolonne med total høyde ca. 3 m og innvendig diameter 300 mm. Filtreringsflaten er ca. 0,07 m². Den nedre koniske delen av filteret var fylt med grov singel for fordeling av inngående vannmengde på filterflaten. Deretter fulgte en lag av filtersand med forskjellig kornstørrelse med en mektighet på ca. 20 cm. Over sanden ligger et antrasittlag med ca. 1,5 meters mektighet. Total filtermasse er ca. 0,13 m³. Antrasittfilteret ble belastet hele tiden med 350 l/h. Dette gir følgende flatebelastning: $F_{AS} = 5 \text{ m/h}$. Marmorfilteret ble belastet med 175 l/h. Dette gir en flatebelastning på: $F_{CA} = 2,5 \text{ m/h}$.

Dosering av kjemikalier ble foretatt vha. membradoseringspumper. Mellom hvert doseringspunkt var lagt inn en blandespiral. Etter siste kjemikaliedosering ble det tatt ut en liten delstrøm for kontroll av pH (pH2).

Avløpet av antrasittfilteret ble samlet opp i en plastkasse. Derfra ble vannet pumpet inn på kalkfilteret. Fra plastkassen etter utløpet av antrasittfilteret ble det også tatt ut vann med egen pumpe til kontinuerlig måling av farge og turbiditet.



Figur 4. Foto av pilotanleggets plassering i vannverket med laveste oppnådde farge vist på fargemåleren nederst til høyre.

4.3 Forsøksopplegg

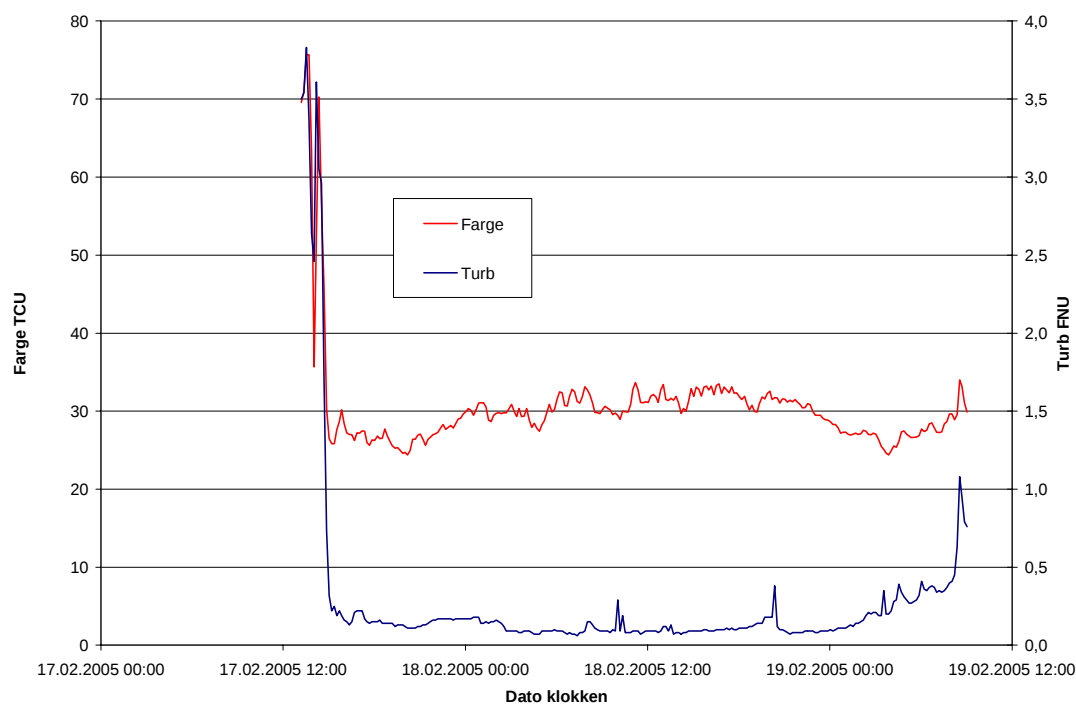
Opprinnelig ble det planlagt å ha pilotanlegget i drift over lengre tid med kontinuerlige forsøk. Innledningsvis fant en ut etter å ha innhentet en del erfaringer at det var mest praktisk å kjøre forsøk over en dag, avvente analyseresultater og benytte erfaringene i nye forsøk. Forsøkene ble derfor utført over et noe lenger tidsrom enn opprinnelig planlagt. Forsøkene ble utført i 6 perioder som er angitt i tabellen under. Analyseresultater for prøver som ble tatt under forsøkene er samlet i vedlegg A

Forsøk nr.	Periode	Opplegg
1	17.02.2005	Koagulering med kitosan
2	22.-24.02.2005	Koagulering med kitosan
3	02.-03.03.2005	Koagulering med kitosan
4	14.03.2005	Koagulering med kitosan og tilsetning av jernklorid
5	08.04.2005	Koagulering med kitosan og tilsetning av jernklorid
6	15.04.2005	Koagulering med kitosan og tilsetning av jernklorid

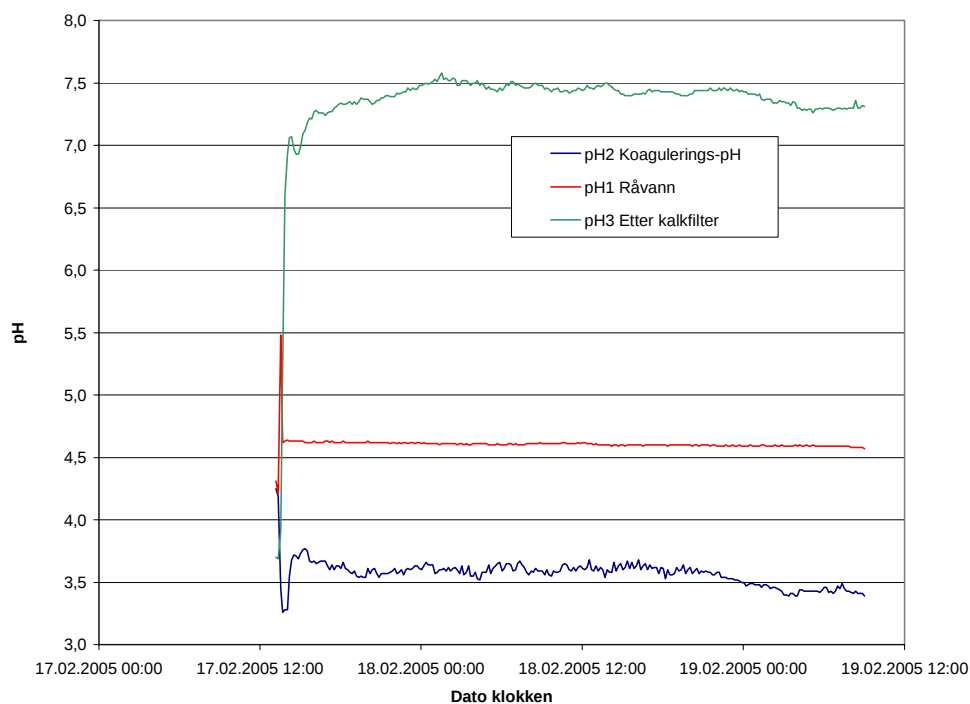
4.4 Resultater

I de tre første forsøksperiodene forsøkte en å finne betingelsene for optimal koagulering med kitosan og se hvor stor fargereduksjon en kunne oppnå ved bare å benytte kitosan. Under disse forsøkene tok en utgangspunkt i de erfaringene som er innhentet ved tre andre vannverk som benytter denne prosessen. Ved Bjoa vba og Steinsland vba som drives av Ølen Vassverk i Ølen kommune, samt Heggetjern vba i Hurdal kommune har en oppnådd optimale resultater omkring pH3,7 med en kitosandose i området 1-3 g/m³.

I de tre første forsøksøktene forsøkte en å finne optimale betingelser omkring pH3,7. Det var innledningsvis en del praktiske driftsproblemer under de første forsøkene idet doseringspumpen for kitosan ga betydelig mer løsning enn angitt på pumpen. Forsøkene med kitosan viste imidlertid (se tabell 6, tabell 7 og tabell 8) at laveste fargetall en oppnår i dette pH-området er 25-30 (se figur 5 og figur 6). En greier ikke å nå målet for TOC på 3 mg C/l, mens turbiditeten var godt under kravet på 0,2 FNU.



Figur 5. Kontinuerlige målinger av farge og turbiditet under forsøkene den 17.-19.02.05.



Figur 6. Kontinuerlige målinger av pH under forsøkene den 17.-19.02.2005.

For å se om det var mulig å nærme seg ønsket vannkvalitet, ble det besluttet å dosere jernklorid i tillegg. Det første forsøket ble utført den 14.03.2005. Det ble da benyttet 0,25 % kitosanløsning som inneholdt 1 % HCl. Det ble forutsatt at jernkloriden som ble benyttet inneholdt ca. 12 % Fe. Senere viste det seg at den inneholdt ca. 17 %. Dette førte til at forsøket ble kjørt med for stor jern dosering. En fikk gjennomslag av jern på antrasittfilteret og fargen økte kraftig etter ca. 1 time. En så på fargemåleren at fargen falt til 19,8 før den begynte å øke igjen. Av tabell 9 ser en at en fikk ytterligere

fargefjerning og lavere TOC-verdi ut av kalkfilteret. Til forsøkene den 08.04.2005 ble det kjøpt inn en bedre doseringspumpe for kitosan slik at den kunne doseres jevnere. Jernløsningen ble også fortynnet før forsøkene slik at konsentrasjonen ble mer tilpasset doseringspumpens arbeidsområde og slik at doseringen ble så jevn som mulig. Som det fremgår av tabell 10 i vedlegg A ble oppnådd en fargereduksjon til 17 mg Pt/l ved utløpet av antrasittfilteret og en TOC-verdi på 4,6 mg C/l. Ved utløpet av kalkfilteret var fargen og karbonverdien falt ytterligere til henholdsvis 15,5 og 4,3. Disse verdiene ble oppnådd ved en doseringsmengde av jern på 4,8 mg/l. pH-verdien ved utløpet av antrasittfilteret var da omkring 3,9. Da en økte jerdosen til 6,5 mg Fe/l, falt pH til under 3,7 og en så at fargen økte igjen. Fargen avtok igjen ved å sette ned jerdosen til 4,8 mg Fe igjen.

Det ble derfor planlagt å gjennomføre et nytt forsøk der en også hevet pH vha. soda for å øke bufferkapasiteten slik at en kunne dosere større jernmengder uten at pH falt. Det ble også planlagt å gjennomføre koaguleringen ved pH 5, da dette så ut til å være et gunstig område i hht de innledende laboratorieundersøkelsene (se vedlegg B). Resultatene fra prøver tatt under forsøket den 15.04.2005 er samlet i tabell 5.

Forsøket ble startet ved at en først bare doserte kitosan løst i 0,5 % saltsyre. Koagulerings-pH var ca. 5,0 da den første prøven ble tatt ut ved utløpet av antrasittfilteret kl 10:15. Sigris-instrumentet viste da en farge på 26, som en tidligere har erfart å være en optimal verdi når en bare doserer kitosan i dette pH-området. En startet så dosering av jernklorid med en dose på 3,6 mg Fe/l. Etter 50 min (11:05) var fargen falt til 17, mens pH-verdien var falt til 4,1 som følge av den sure jernkloriden. En begynte så å dosere soda. Klokken 12:30 ble det tatt ut prøver selv om pH ennå ikke hadde nådd 5. Det ble tilsatt mer oppløst soda til doseringsløsningen for å øke konsentrasjonen og koagulerings-pH til 5. Det viste seg at pH økte til henimot 6, noe som førte til at fargen økte spontant til 75. Det var tydelig at koagulert slam på filteret løste seg! Soda-dosen ble satt ned og jerdosen økt til 4,8 mg Fe/l. Koagulerings-pH falt til 5,3 kl 13:50 da nye prøver ble tatt ut. Fargen ble målt til 12,8 på Sigris-instrumentet, mens turbiditeten ble målt til 0,04. Jerdosen ble økt ytterligere til 6,5 mg Fe/l. Fargen falt ytterligere. Det syntes å være likevekt kl 14:45 da prøvene ble tatt ut. Fargen på Sigris-instrumentet ble målt til 6,1 mens turbiditeten ble målt til 0,019. Da belastningen på kalkfilteret kun var ca. 1/3-parten av belastningen på antrasittfilteret, er resultatene for prøvested 3 ikke helt representative idet prøvene av tidsmessige årsaker ble tatt ut før det ble oppnådd likevekt etter hver endring i forsøksbetingelsene.

De viktigste erfaringer fra forsøkene den 15/4 viser at det er mulig å lage et behandlet vann med farge under 10 mg Pt/l og en TOC-verdi ned mot kravet på 3 mg/l. Kravet på 3 mg C/l gjelder imidlertid kun større vannverk.

Tabell 5. Analyse av prøver tatt under forsøk den 15.04.2005.

Prøvested	Uttak kl	pH	Kond. mS/m	Farge mg Pt/l	TOC mg/l	Ca mg/l	Al µg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Alk. mmol/l	Turb. FNU
2	10:15	4,98	4,66	29,0	6,8	2,33	205	146	65,9		
2	11:05	4,06	7,49	17,0	4,9	2,33	288	535	57,4		
2	12:30	4,66	6,76	15,9	4,6	1,50	130	150	35,7		
2	13:50	5,30	7,17	13,2	4,3	1,67	98	154	39,3		
2	14:45	4,80	7,99	7,7	3,0	2,09	258	85,9	51,1		0,15
3	12:30	7,61	9,83	17,4	4,7	10,3	226	74,6	39,5		
3	13:50	7,79	10,12	22,4	5,4	9,29	243	428	32,7		
3	14:45	7,95	10,48	13,2	3,8	9,54	213	87,0	31,6	0,418	0,54

Prøvested 2: Etter sand/antrasittfilter; **Prøvested 3:** Etter kalkfilter

Det kunne av og til påvises noe avvikende resultater for farge og turbiditet når det gjelder laboratorieresultater og løpende målinger på pilotanlegget vha. Sigrist-instrumentet. Noen ganger var det god overensstemmelse, mens andre ganger ble det påvist avvik på noen enheter. En mulig forklaring kan ha sammenheng med forskjellige måleprinsipper. Sigrist-instrumentet er et svært kostbart instrument. Det ble kontrollert før bruk. Målingene blir utført på en fallende vannstråle uten at en kommer i kontakt med vannet. Vi har derfor tillit til at disse målingene er riktige. Et annet forhold er at en ikke måler på nøyaktig samme prøve, slik at en derfor må regne med noe avvik av og til.

4.5 Samlet vurdering av pilotforsøk

4.5.1 Fysisk/kjemisk vannkvalitet

Den fysisk/kjemiske vannkvaliteten i Bunessjøen som er kilden for vannbehandlingsanlegget ved Østerbo Evangelisenter er meget spesiell. Innsjøen er forholdsvis sur om vinteren med pH-verdier godt under 5. Om sommeren kan pH ligge omkring 6. Fargen er meget høy om sommeren, opptil 150 mg Pt/l. Det er mulig at fargen var spesielt høy på ettersommeren/høsten 2004 pga mye nedbør. Råvannet inneholder uvanlig mye jern og aluminium. Det er usikkert om dette kan ha sammenheng med tilbakeføring av spyleslam fra sandfilteret til innsjøen. Denne praksis har pågått i 25 år. Etter endring av behandlingsprosessen vil slike utslipp ikke lenger forekomme, noe som kanskje kan føre til en langsom forbedring av råvannkvaliteten over tid.

Forsøkene med koagulering av humus med kitosan viser at det er mulig å oppnå en fargereduksjon ned til 25 mg Pt/l bare ved å bruke kitosan og med en doseringsmengde på kitosan i området 3-4 g/m³. Dette er omkring samme farge som ved dagens behandlingsprosess, men innholdet av jern og aluminium er mye lavere. Turbiditeten blir også mye lavere. Et fargetall på 25 er fortsatt for høyt etter dagens krav til vannkvalitet for behandlingsanlegg med koagulering. Innholdet av organisk karbon er også noe for høyt.

For å oppnå fargetall under 10 viser forsøkene at det er nødvendig å tilsette en hjelpekoagulant. I dette tilfellet har vi brukt jernklorid (JKL). Det skulle en forholdsvis liten jerdose til for å oppnå optimale betingelser. En jerdose på ca 6,5 mg Fe/l viste seg å være tilstrekkelig med den råvannskvaliteten en hadde i april 2005. Dette er betydelig mindre enn de 30-40 mg/l som er nødvendig i et behandlingsanlegg der en kun benytter JKL som fellingskjemikalie. Slammengdene blir derved også beskjedne. Optimalt pH-område syntes å ligge i området 4,5-5. En bør ikke gå høyere enn 5,3 da det er fare for at fargen da vil øke igjen og at koagulert slam kan løses ut på filteret! Dette setter krav til god kontroll med pH-målingene slik som for dagens behandlingsprosess. Ved å foreta en pH-heving ved å filtrere avløpet fra koaguleringen gjennom et kalksteinsfilter, oppnås en ytterligere forbedring av vannkvaliteten. pH-verdien i utgående vann fra kalkfilteret ligger omkring 8, noe som er akseptabelt. Man kan imidlertid heve pH ytterligere (f.eks til 8,5) ved tilsetning av ubetydelige mengder soda, noe som evt kan vurderes etterpå i helskala anlegg. Kalkfilteret gir også en ekstra sikkerhet dersom noe går galt med pH-målingene under koaguleringen. Filteret vil kunne ta opp flukt av jern- og aluminium fra antrasittfilteret til en viss grad, samtidig som det også vil ta opp noe organisk stoff. Det er imidlertid ingen fordel å belaste kalkfilteret med for mye jernslam, da dette kan gå ut over alkaliseringsnivåen og øke behovet for spyling.

I våre forsøk har vi benyttet mindre mengder soda (natriumkarbonat) til å kontrollere koagulerings-pH. Det er også mulig at en i stedet kan benytte et forfilter med kalkstein. Dersom pH blir for høy (over 5,3), må en i så fall dosere litt saltsyre. En har uansett behov for å kjøpe inn saltsyre til oppløsning av kitosan. Det er mulig at det er mest gunstig å regulere pH med soda da vannet derved blir mer aggressivt på kalkfilteret til slutt, noe som fører til gunstig pH og kalsiumkonsentrasjon. Dette er imidlertid forhold som en eventuelt kan se mer på i et provisorisk behandlingsanlegg som en kan ha i drift under ombyggingen. En vil kanskje også ha behov for mindre mengder soda til supplerende alkalisering av avløpet fra kalkfilteret.

Forsøkene har vist at det er mulig å oppnå en akseptabel vannkvalitet etter fjerning av humus samt aluminium og jern ved koagulering med kitosan tilsatt mindre mengder jernklorid. Det sure avløpet fra koaguleringsprosessen alkaliseres ved filtering gjennom et kalksteinsfilter. De fysisk/kjemiske undersøkelser har vist at grunnlaget er til stede for å lage en prosess for behandling av det aktuelle råvannet i et kontinuerlig anlegg. Til alkaliseringen i pilotforsøkene ble det benyttet filterkalk levert av Franzefoss Kalk AS.

4.5.2 Prosessmessige forhold

Av praktiske grunner ble pilotforsøkene utført med oppstrøms filtrering i sand-/antrasittfilter med diameter 300 mm og en filtreringsflate på 0,07 m².

Filtreringsvannmengden var 350 l/h som gir en flatebelastning på 5 m/h, dvs. samme flatebelastning som i eksisterende anlegg.

I et ombygget anlegg vil filtreringsprosessen bli nedstrøms med lavere flatebelastning (1-2 m/h).

Filtrering gjennom marmor ble gjennomført ved oppstrøms filtrering i et filter med diameter 300 mm og en filterflate på 0,07 m².

Massehøyde på marmor var 0,8 m med volum 0,156 m³.

Filtreringsvannmengden var 120 l/h som gir en flatebelastning på 1,7 m/h. Volumbelastningen var ca. 2,2 m³/m³h.

I et ombygget anlegg vil volumbelastningen bli 2,5 m³/m³h ved normal belastning.

Forsøksfiltrene ble etter hvert forsøk rentspylt med luft og vann.

5. Forslag til ny behandlingsprosess

5.1 Prosessbeskrivelse

Med utgangspunkt i utførte pilotforsøk er det utarbeidet et forslag til ny behandlingsprosess ved anlegget.

Behandlings- og prosessenheter i eksisterende anlegg er i stor grad benyttet i nytt anlegg.

Forslag til ny behandlingsprosess fremgår av flyteskjema i figur 7.

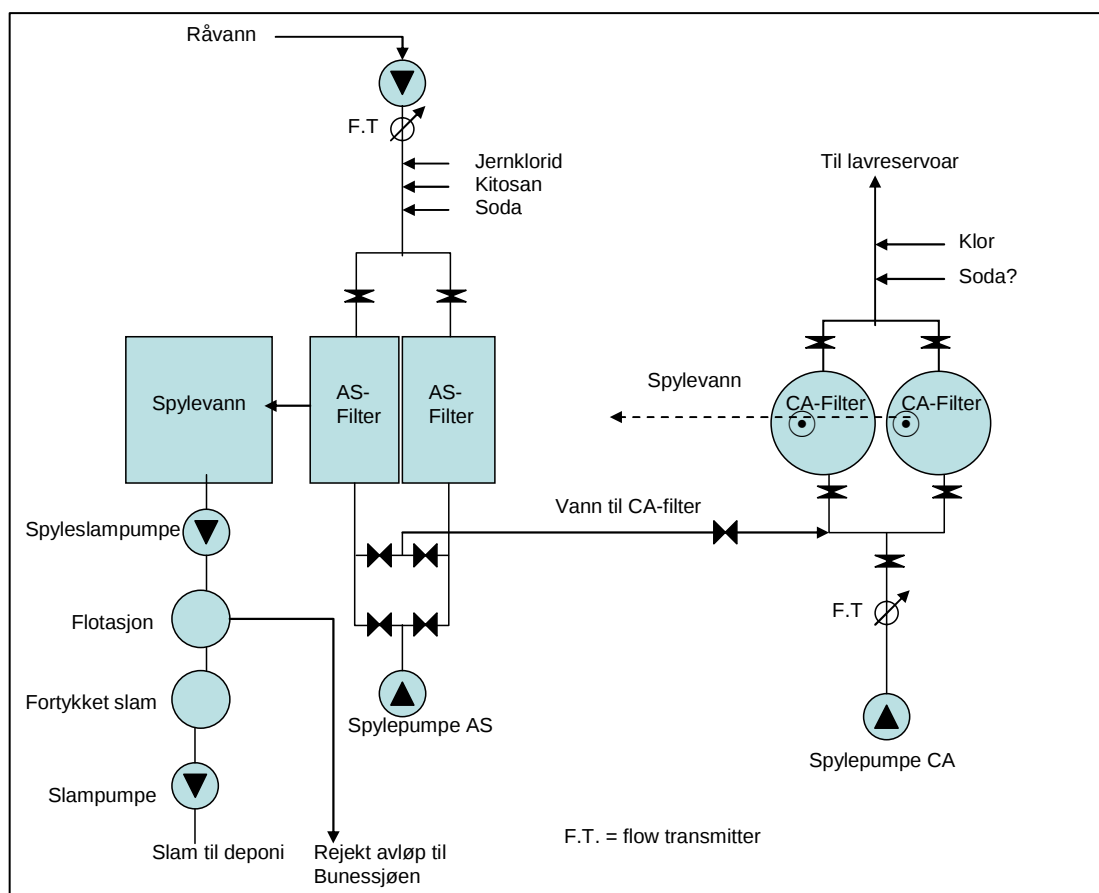
- Råvannet hentes fra Bunessjøen som i dag med eksisterende sentrifugalpumper. I forhold til dagens vannbehov er kapasiteten for høy. Kapasitetsregulering kan skje ved strupeventil på mateledning til videre behandling eller ved frekvensstyring av pumpene slik at kapasiteten til enhver tid er tilpasset vannbehovet. Kapasitetsreguleringen styres av nivågiver i rentvannsmagasiner slik at vann-nivå i rentvannsbassengene holdes på et tilnærmet konstant nivå. Råvannet pumpes i eksisterende pumpeledning til videre vannbehandlingsanlegg. Mateledningen kompletteres med en elektromagnetisk vannmåler for kontroll og registrering av pumpet vannmengde. Vannmåler regulerer/styrer doseringspumpene for kitosan og jernklorid slik at eksakt doseringsmengde til enhver tid tilpasses pumpet vannmengde. Mateledningen utrustes med uttak for måling/registrering av råvannets pH, temperatur, ledningsevne og ev. turbiditet. Etter dosering av fellingskjemikalier monteres uttak for måling/registrering av pH. Riktig koagulerings-pH måles og kontrolleres/registreres ved styring av doseringspumpe for soda.
- Kjemikalietilsatt vann pumpes til to nye nedstrøms antrasitt/sandfiltre (AS-filtre) for avskilling av fellingsprodukter. Eksisterende sandfilter deles i to like deler ved innsetting av skillevegg av rustfrie stålplater. Eksisterende filterbunn av betong fjernes og erstattes med nye filterbunner av rustfrie plater med nye filterdyser av plastmateriale. Filtrene utrustes med nye inn- og utløpsledninger med pneumatiske ventiler for automatisk drift av filtrerings- og spyleprosessen. Filtrene spyles automatisk og vekselvis med eksisterende spylepumpe med kapasitet tilpasset AS-filtrenes størrelse. Spyleledningen utrustes med elektromagnetisk vannmåler og strupeventil for innstilling av riktig spylevannmengde. Spylevann ledes med en ny spylevannsrenne til ny spylevannskum. Eksisterende flokkuleringsbassenger, som ikke er nødvendige i den nye behandlingsprosessen, bygges om for dette formål. Filterdriften styres ved individuelle trykkgivere ved utløpet av hvert AS-filter. Trykkgiverne styrer frekvensomformerne til to sentrifugalpumper (filterpumper) ved utløpet av hvert filter slik at vann-nivå i filtrene alltid er konstant uavhengig av filtermotstand. Dette betyr lik vannmengde gjennom begge filtrene. Ved spyling av et filter kan det andre filteret være i drift. Ved utløpet av AS-filtrene kontrolleres/registreres pH, ledningsevne, ev. farge samt turbiditet.
- Fra AS-filtrene pumpes filtrert vann (med filterpumpene) til to nye sirkulære stålfiltre for oppstrøms filtrering gjennom marmor (filterkalk). Filtrene utrustes med filtergalleri med pneumatiske ventiler for automatisk drift av filtrerings- og spyleprosessen

Filtrene spyles automatisk og velselvis med egen spylevannspumpe. Eksisterende matepumpe i spylevannskammeret benyttes til dette formål.

Spylevann fra CA-filtrene ledes i egen spylevannsledning til spylevannsbassenget for AS-filtrene. Ledningen utrustes med en elektromagnetisk vannmåler.

Ved spyling av et av CA-filtrene må drift på begge filtrene stoppes.

- Behandlet vann fra CA-filtrene ledes til eksisterende mateledning til rentvannsbassengene. Ved utløpet av CA-filtrene kontrolleres/registreres pH, ledningsevne og turbiditet. I tilløpsledningen til rentvannsbassengene doseres som i dag natriumhypokloritt. pH i behandlet vann fra CA-filtrene kan evt korrigeres med soda (natriumkarbonat) til området 8-9 dersom dette viser seg nødvendig. Denne justeringen foretas automatisk vha. pH-instrument.
- Fra rentvannsmagasinene pumpes som i dag ferdig behandlet vann til forbruk med eksisterende pumper (hydrofordrift). På tappeledningen fra bassengene monteres utrustning for kontroll av kloroverskudd.
- Spylevann fra AS- og CA-filtrene ledes til felles spyleslambasseng. Det forutsettes at hvert av filtrene spyles en gang pr. døgn., dvs. to filterspylinger pr. døgn. Etter endt spyling pumpes spyleslammet til en flotasjonsenhet for avskilling og fortykking av slammet. Fortykket slam ledes til en slamtank og pumpes derfra til et utvendig slamdeponi (filterseng). Rentvannfasen fra flotasjonsenheten ledes i egen ledning til Bunessjøen.



Figur 7. Flyteskjema for foreslag til ny behandlingsprosess.

5.2 Dimensjonering

Eksisterende behandlingsanlegg er dimensjonert og utbygget for en betydelig større vannmengde enn dagens behov.

Ønsket maksimal produksjonskapasitet (tlf m/ V. Mørch 23.02.05) er ca. $150 \text{ m}^3/\text{d}$ i forbindelse med større arrangementer ved senteret.

Prosessmessig er det gunstig at et behandlingsanlegg produserer vann så kontinuerlig som mulig. Prosessen skal helst bare avbrytes eller reduseres ved filterspylinger eller fulle rentvannbassenger.

Forutsettes en driftstid pr. døgn på 20-22 timer, blir maksimal ønsket produksjonskapasitet ca. $7 \text{ m}^3/\text{h}$ ($150 \text{ m}^3/\text{d}$) og midlere vannproduksjon ca. $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ($75 \text{ m}^3/\text{d}$). Total årsproduksjon er vanskelig å anta, men kan forventes til $25000\text{-}30000 \text{ m}^3/\text{år}$.

Rentvannsmagasinerne rommer ca. 160 m^3 behandlet vann, dvs. tilnærmet lik maksimalt døgnbehov.

Behandlingsanlegget dimensjoneres for midlere vannbehov i ett døgn med maksimalt vannbehov.

Eventuelle belastningstopper under dagen hentes fra rentvannsmagasinet.

Ved dimensjonering av nye og kontroll av eksisterende prosesselementer benyttes disse vannmengder.

Eksisterende ledninger og ventiler benyttes i den grad det er praktisk mulig.

Doseringspumper for fellings- og pH-regulerende kjemikalier tilpasses produksjonsvannmengdene. Dette innebærer at eksisterende doseringspumper må byttes til nye pumper med mindre doseringskapasitet.

Eksisterende filter deles i to antrasitt/sandfilter med nye filterbunner i stål. I filterbunnene monteres filterdyser med kapasitet tilpasset dimensjonerende vannmengde. Hvert av AS-filtrene får en filterflate på ca 2 m^2 , totalt 4 m^2 . Antall filterdyser er normalt ca. 50 pr. m^2 . Ved dimensjonerende vannmengde $7 \text{ m}^3/\text{h}$ blir flatebelastningen ved maksimal produksjonsvannmengde $F_{AS} = 7/4 = \text{ca. } 1,8 \text{ m}^3/\text{h}$. Dvs. lavere flatebelastning enn benyttet i pilotanlegget. Ved normal produksjonsvannmengde på $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$ blir flatebelastningen i AS-filtrene ca. $1 \text{ m}^3/\text{h}$.

Filterpumpene dimensjoneres hver for maks kapasitet $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$. Filterpumpene kapasitetsreguleres slik at produksjonsvannmengden til enhver tid tilpasses nødvendig vannproduksjon.

De to CA-filtrene utføres av rustfrie plater, hver med en filterflate på ca. $0,3 \text{ m}^2$, totalt ca. $0,6 \text{ m}^2$. Total høyde på filtrene er $3,5 \text{ m}$ med vannhøyde $3,2 \text{ m}$. Filtrene fylles med marmor (filterkalk) til ca. $2,4 \text{ m}$ høyde, dvs. totalt marmorvolum ca. $1,4 \text{ m}^3$ for begge filtrene. Ved kapasiteter på 7 henholdsvis $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$ blir flatebelastningen:

$F_{CA} = 7,0/0,6 = \text{ca. } 12 \text{ m}^3/\text{h}$ ved maks. kapasitet og

$F_{CA} = 3,5/0,6 = \text{ca. } 6 \text{ m}^3/\text{h}$ ved normal kapasitet

Volumbelastningen blir:

$V_{CA} = 7,0/1,4 = 5,0 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ved maks. kapasitet og

$V_{CA} = 3,5/1,4 = 2,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ved normal kapasitet

Dette er noe høyere flatebelastning enn i pilotanlegget. Volumbelastningen er tilnærmet den samme som under forsøkene. Det er foreløpig usikkert om dette har noen betydning for kalsiuminnhold og pH-verdi for behandlet vann. Hvis pH blir under 8, kan et mulig alternativ være å foreta en mindre korreksjon vha. tilleggsdosering av soda (natriumkarbonat) i etterkant av CA-filteet. Dette forbruket forventes å bli beskjedent.

AS-filteet spyles med behandlet vann og luft (antatt en gang pr.døgn) og med en flatebelastning på ca. 40 m/h. Spylevannsmengde pr. AS-filteet:

$$Q_{\text{spylAS}} = 2 \times 40 = 80 \text{ m}^3/\text{h}$$

Effektiv spyletid er ca. 5 min og første filtrattid, dvs. den tid det beregnes at vannkvaliteten etter spyling er tilfredsstillende, er 20 min.

Dette gir total spylevannsmengde pr. AS-filteet pr. døgn:

$$Q_{\text{spylAS}} = 80 \cdot 5/60 + 3,5 \cdot 20/60 = (6,7 + 1,2) \text{ m}^3/\text{d} = 7,9 \text{ m}^3/\text{d}$$

Total spylevannsmengde for begge AS-filtrene pr. døgn: ca. 16 m³.

CA-filtrene spyles med en flatebelastning på ca. 60 m³/h. Spylevannsmengden pr. CA-filteet:

$$Q_{\text{spylCA}} = 0,3 \cdot 60 = 18 \text{ m}^3/\text{h}$$

Normal spylefrekvens er 1 gg pr. 2 døgn. Spyletiden er ca. 5 min og første filtrattid er ca. 10 min. Dette gir en total spylevannsmengde for CA-filtrene pr. døgn:

$$Q_{\text{spylCA}} = 18 \cdot 5/60 + 3,5 \cdot 10/60 = 1,5 + 0,6 = 2,1 \text{ m}^3/\text{d}$$

Total spylevannsmengde for AS- og CA-filtre:

$$Q_{\text{spyl}} = 16,0 + 2,1 = \text{ca. } 18,1 \text{ m}^3/\text{d}$$

Med to spylinger pr. døgn blir spylevannsmengden pr. spyling ca. 9 m³.

Fra spylevannstanken pumpes spylevannet utjevnet for flokkavskilling og fortykning til et flotasjonsanlegg. Flotasjonsanleggets kapasitet skal tilsvare mengden spylevann utjevnet over døgnet. Med 10-20 timers drift pr. døgn blir flotasjonsanleggets kapasitet ca. 1-2 m³/h.

Flotasjonsenheten utføres i rustfritt stål med nødvendige dimensjoner og utrustning. Eksisterende utrustning som pumpe for dispergeringsvann, dispergeringstank og kompressor benyttes i det nye anlegget.

5.3 Marmor- og kjemikalieforbruk

Med bakgrunn i pilotforsøkene vil vi gi et anslag over hva forbruket vil bli av marmor (filterkalk) og kjemikalier ved foreslåtte belastning:

Kjemikalie	Forbruk pr. m ³	Forbruk pr. år
Kitosan	3 gram	90 kg
Jernklorid, JKL (ca. 12 % Fe)	6,5g Fe – 0,05 liter JKL	1500 liter
Saltsyre, kons.	6 ml	180 liter
Soda, vannfri Na ₂ CO ₃	10 gram	300 kg
Filterkalk	25 gram	750 kg

5.4 Bygnings- og installasjonsmessige forhold

Eksisterende bygningsmessige anlegg benyttes i hovedsak uforandret.

Det anbefales en generell opprustning i forbindelse med ombyggingsarbeidene. Nærmere detaljer om dette vil bli beskrevet i foreslått fase 2.

Det foreslås videre et tilbygg langs anleggets vestside til doseringsrom og lager for kjemikalier, kontrollrom for ny el- og datautrustning samt rom for behandling av spyleslam fra filtrene. Tilbyggets størrelse: ca. 10 x 3m= ca. 30 m².

Eksisterende kontroll- og styringstavle foreslås byttet til ny utrustning med PLS og PC for styring og overvåking samt registrering av alle måledata samt driftstid for pumper og annen relevant utrustning. Vannproduksjonen tilpasses aktuelt vannforbruk ved frekvensstyring av matepumper og doseringspumper.

Elektromagnetiske vannmålere monteres i strategiske punkter for kontroll/registrering av vannmengder og styring/overvåking av doseringsmengder.

6. Videre arbeid

Vi foreslår følgende faser for inndeling av det videre arbeid fram til det nye vannbehandlingsanlegget er ferdigstilt og igangkjørt:

- Fase 2: Forprosjekt (provisorisk vannforsyning), prosess, bygg, kostnader, søknad om godkjenning.
- Fase 3: Program for ombygging. Tilbud
- Fase 4: Byggeperiode
- Fase 5: Igangkjøring, driftsinstruks
- Fase 6: Driftsoppfølging

Fase 2:

Utarbeidelse av prosessbeskrivelse og tegninger samt prosess-skjema.

Med utgangspunkt i eksisterende kopier av byggtegninger utarbeides nye tegninger på auto-cad samt byggeteknisk beskrivelse for nødvendige byggearbeider.

Søknad om godkjenning baseres på forprosjekt og forslag til vannbehandlingsprosess.

Fase 3:

I fase 3 vurderes om ombyggingsarbeidene helt eller delvis skal utføres i egen regi.

7. Referanser

Våre erfaringer fra denne vannbehandlingsprosessen er i første rekke innhentet fra følgende prosjekter:

Fjerning av humus fra drikkevann ved felling med kitosan og direktefiltrering i Filtralite og kvartssand 1998-1999. Oppdragsgiver: as Norsk Leca

Sammendrag: Det ble utført laboratorie- og pilotskala forsøk for fjerning av humus med biopolymeren kitosan som koagulant. Det ble også gjort forsøk med ulike filtermedier, bl.a. med et 2-media-filter bestående av Filtralite fra as Norsk Leca og sand. Forsøkene ble utført ved Kilsund Vannverk i Arendal kommune. NIVA rapport l.nr. 4053-99.

Kombinert humusfjerning og korrosjonskontroll ved bruk av kitosan og vannglass ved direktefiltrering 1999-2000. Oppdragsgiver: Norges forskningsråd (Drikkevannsprogrammet), Ølen Vassverk AL og Primex Ingredients ASA.

Sammendrag: I prosjektet ble det gjennomført lab.-, pilot-, og fullskala forsøk for å finne optimale betingelser for felling med kitosan alene, og kitosan i kombinasjon med vannglass. Forsøkene ble gjennomført i samarbeid med Ølen Vassverk, Primex Ingredients ASA, Knudsen Prosjekt AS og Akzo-PQ Silica Norge AS. Med bakgrunn i resultatene som ble oppnådd, ble Bjoa og Steinsland Vannbehandlingsanlegg i Ølen kommune bygget med kitosan-felling. NIVA rapport l.nr. 4172-2000

Fjerning av farge med kitosan som koagulant ved Haugesund vannverk 1999-2000. Oppdragsgiver: Haugesund kommune

Sammendrag: Pilotforsøk ble gjennomført i samarbeid med kommunen og Knudsen Prosjekt AS for å komme fram til riktige betingelser for fjerning av humus v.h.a. kitosan og direktefiltrering i et 2-mediafilter. Med bakgrunn i resultatene som ble oppnådd, ble kitosan valgt som eneste koagulant i Nye Haugesund vannverk. NIVA rapport l.nr. 4270-2000

Bruk av kitosan fra Bioeffect AS for fjerning av humus fra drikkevann 2000.

Oppdragsgiver: Norges forskningsråd (Program for næringsmiddelindustri) og BioEffect AS.

Sammendrag: Det ble gjennomført lab-, pilot-, og fullskala forsøk for å dokumentere ulike kitosankvaliteters evne til å koagulere humus ved Blakstad vannverk i Aust-Agder. NIVA rapport l.nr. 4174-2000.

Bruk av biopolymerer for fjerning av humus fra drikkevann i 5 Sørlandskommuner 2000-2001.

Oppdragsgiver: Norges forskningsråd (Drikkevannsprogrammet) og kommuner.

Sammendrag: Effekten av kitosan for fjerning av humus ble sammenliknet med tradisjonell jernfelling i laboratorie- og pilotskala forsøk. Prosjektet ble gjennomført i samarbeid med Primex Ingredients ASA, FMC Biopolymer, as Norsk Leca, Asplan Viak Sør as og kommunene Risør, Tvedestrand, Arendal, Grimstad og Lillesand. NIVA rapport l.nr. 4361-2001.

Bruk av kitosan og kitosan/JKL for fjerning av humus ved Årnes Vannverk A/L 2001-2003.

Oppdragsgiver: Norges forskningsråd (Drikkevannsprogrammet) og Årnes kommune.

Sammendrag: Effekten av kitosan, og kitosan i kombinasjon med jernklorid, ble benyttet for fjerning av humus i labskala og pilotskala ved Årnes vannverk. Det ble gjennomført ved ulike fellings-pH og doseringsmengder for å komme fram til optimale betingelser. NIVA rapport l.nr 4390-2001.

I tillegg til de publiserte NIVA-rapportene som følger de enkelte prosjektene, er resultater fra forsøkene med kitosan, og kitosan i kombinasjon med andre koagulanter, presentert på konferanser og publisert i tidsskrift nasjonalt og internasjonalt.

Vedlegg A. Analyseresultater for prøver tatt under pilotforsøk

Tabell 6. Resultater fra forsøk den 17.02.2005.

Prøvested	pH	Kond mS/m	Turb FNU	Farge mg/l	TOC mg/l	Ca mg/l	Al µg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Alk mmol/l
1	4,74	4,67	6,17	88,6	11,1	1,43	605	526	24,6	
2	4,33	7,26	0,34	38,7	8,0	2,66	266	395	47,2	
3	6,99	9,27	0,65	37,5	8,0	11,16	169	86,8	35,8	0,348

Prøvested 1: Råvann; **Prøvested 2:** Etter sand/antrasittfilter; **Prøvested 3:** Etter kalkfilter.

Tabell 7. Prøveruttatt under forsøk 22.-24.02.2005.

Prøvested	Dato Tid	pH	Kond mS/m	Turb FNU	Farge mg/l	TOC mg/l	Ca mg/l	Al µg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Alk mmol/l
2	22.02.05 14:15	3,72	14,0	0,63	35,6	7,8	2,87	319	514	44,9	
2	24.02.05 09:10	3,42	22,6	0,21	30,6	7,7	2,28	398	375	40,5	
3	22.02.05 14:15	7,46	15,1	2,00	36,8	7,1	22,7	150	69,4	47,7	
3	24.02.05 09:10	7,07	15,5	0,44	40,6	7,1	22,1	110	68,6	40,5	0,585

Prøvested 2: Etter sand/antrasittfilter; **Prøvested 3:** Etter kalkfilter

Tabell 8. Prøveruttatt under forsøk 02.-03.03.2005.

Prøvested	Navn	pH	Kond mS/m	Turb FNU	Farge mg/l	TOC mg/l	Ca mg/l	Al µg/l	Fe µg/l	Mn µg/l
2	02.03.05 13:00	3,66	15,1	2,55	51,5	9,5	2,45	439	436	48,2
2	03.03.05 07:25	3,33	27,6	0,7	41,4	8,4	2,03	383	333	36,7
2	03.03.05 15:30	3,36	25,7							
3	02.03.05 13:00	7,26	12,5	2,48	55,3	8,2	17	253	150	31,1
3	03.03.05 07:25	7,00	19,2							
3	03.03.05 15:40	7,26	18,8	0,28	49,9	7,4	26,1	82	65,8	36,5

Prøvested 2: Etter sand/antrasittfilter; **Prøvested 3:** Etter kalkfilter

Tabell 9. Prøveruttatt under forsøk den 14.03.2005.

Prøvested	Klokken	pH	Kond mS/m	Turb FNU	Farge mg/l	TOC mg/l	Ca mg/l	Al µg/l	Fe µg/l	Mn µg/l
2	11:30	3,72	17,3	0,24	39,1	7,8	2,19	309	387	50,9
2	12:30	3,51	23,0	1,33	24,0	5,1	2,54	549	3230	73,5
3	13:00	7,08	18,0	1,82	17,4	4,7	21,9	160	180	52,3

Prøvested 2: Etter sand/antrasittfilter; **Prøvested 3:** Etter kalkfilter

Tabell 10. Prøver tatt under forsøk den 08.04.2005.

Prøvested	Uttak kl	pH	Kond mS/m	Farge mg Pt/l	TOC mg/l	Ca mg/l	Al µg/l	Fe µg/l	Mn µg/l
1		4,76	4,64	68,9	9,6	1,40	378	355	23,2
2	12:45	5,38	4,53	72,8	9,7	1,87	295	429	86,0
2	13:45	5,18	5,26	37,2	6,8	2,54	216	227	85,6
2	14:45	4,27	7,65	19,4	4,9	2,66	276	662	82,0
2	15:45	4,03	9,33	17,0	4,7	2,07	270	921	58,3
2	16:15	3,84	11,26	17,0	4,6	2,27	354	1620	64,5
3	12:45	7,01	8,50	67,3	9,0	10,8	176	259	26,3
3	13:45	7,17	8,27	48,4	7,4	9,31	191	128	32,6
3	14:45	7,31	9,49	25,5	5,3	11,5	194	65,4	44,8
3	15:45	7,34	10,33	18,2	4,4	12,8	160	60,4	58,9
3	16:15	7,24	10,82	15,5	4,3	13,3	150	66,6	69,1

Prøvested 1: Råvann; **Prøvested 2:** Etter sand/antrasittfilter; **Prøvested 3:** Etter kalkfilter

Vedlegg B. Forundersøkelser, oktober 2004

NOTAT

22. oktober 2004

Til: Carl-Henrik Knudsen, Eigil Iversen

Fra: Christian Vogelsang

Sak: Jartester Østerbo Evangeliesenter

20.10 og 21.10 ble det kjørt jartester på råvann hentet fra Østerbo evangeliesenter 18.10 ved NIVA av undertegnede. Testene ble gjort i redusert volum (200 ml) i 250 ml begerglass med magnetrører. Rørehastigheter og oppholdstider ble forsøkt tilnærmet de standardiserte jartestene: 400 rpm i 60 sek for hurtig innblanding, 10 min på 100 rpm for flokkulering og 5-10 min "sedimenteringsfase" før separering av fnokker ved filtrering gjennom GF/C-filter (ca. 1 µm porestørrelse). Alle forsøk ble gjort på avkjølet vann (5-10 °C).

Koagulantene som ble testet var:

- Aluminiumsulfat; kjemikaliet benyttet ved vannverket ble løst opp til 100 g/l før tilsetning.
- Jernkloridsulfat (JKL); produkt fra Kemira chemicals. 38% Fe(III)ClSO₄ (ca 11,3 % Fe(III)).
- Kitosan (TM1508); produkt fra Primex Iceland. 88 % deacetyllert, molekylvekt 190 kD.

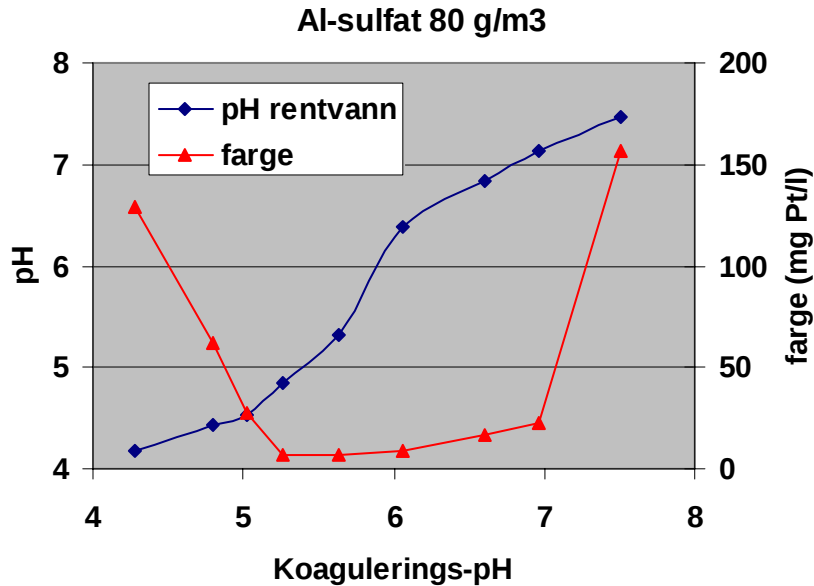
Råvannet som ble tatt ut 18.10 var betydelig surere og hadde noe høyere farge enn den prøven som ble tatt fra vannverket 16.09.04, som det fremgår av tabellen nedenfor.

Parameter		Verdi 16.09.04	Verdi 18.10.04
pH		6,19	4.7
Ledningsevne	µS/cm	-	45
Farge	mg Pt/l	147	191
TOC	Mg C/l	18,0	
Turbiditet	FNU	5,47	
Al	µg/l	537	
Fe	µg/l	1030	
Ca	mg/l	3,15	
Alkalitet	mmol/l	0,095	

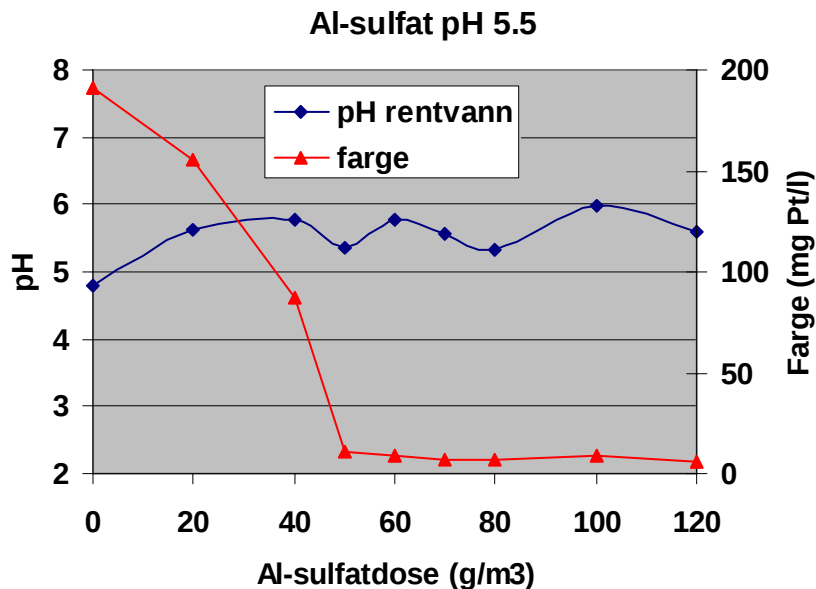
Alle verdier for farge, pH og ledningsevne ble målt på laben under forsøket og kan skille seg noe i absoluttversi fra akkrediterte analyser.

Aluminiumsulfat

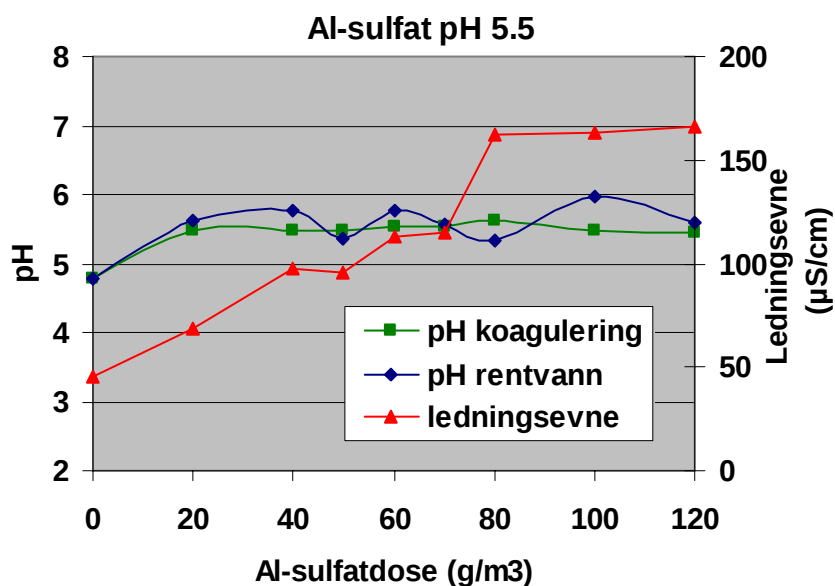
Først ble den optimale pH for koaguleringen bestemt, vist i Figur 1. Den samme Al-doseringen som benyttes på vannverket (80 g/m³) ble benyttet under forsøket. Koagulerings-pH ved vannverket ligger i området 5.5-6, noe som ser ut til å sammenfalle godt med den optimale pH for fellingen. Ved pH 5,5 var det nødvendig med en dosering på minst 50 g/m³ for å få god felling, som vist i Figur 2.



Figur 1. Bestemmelse av optimal pH. Det ble benyttet samme Al-dosering som på vannverket.



Figur 2. Bestemmelse av optimal dosering av Al-sulfat ved pH 5,5.



Figur 3. Ledningsevne og pH under koagulering og i rentvannet ved bestemmelse av optimal dosering av Al-sulfat ved pH 5,5.

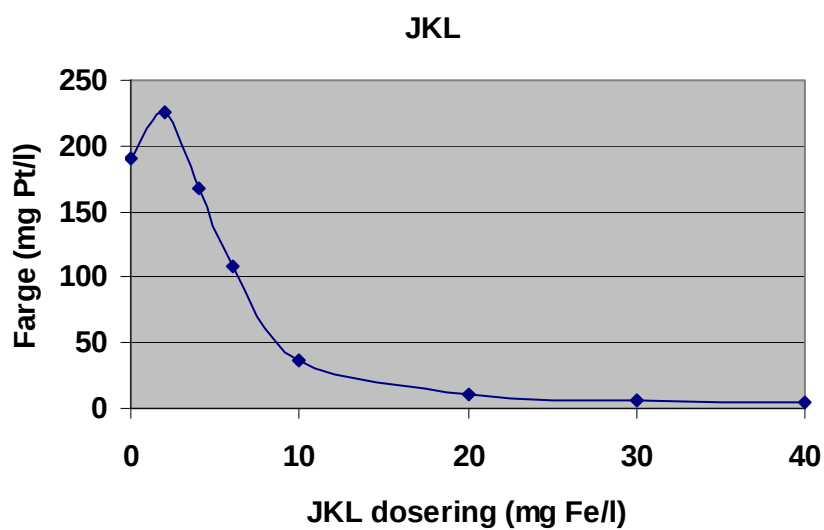
Hvis det er tilfelle at pH kan variere så mye i vannkilden som det de to prøvene vi har tatt ut antyder, kan dette ha vesentlig betydning for fellingsresultatet ved vannverket hvis de ikke har god pH-justering. Det er ikke usannsynlig at de til tider ligger noe under pH 5,5 under koaguleringen, noe som raskt vil føre til dårligere fjerning av farge.

Venter på analyseresultater av Al.

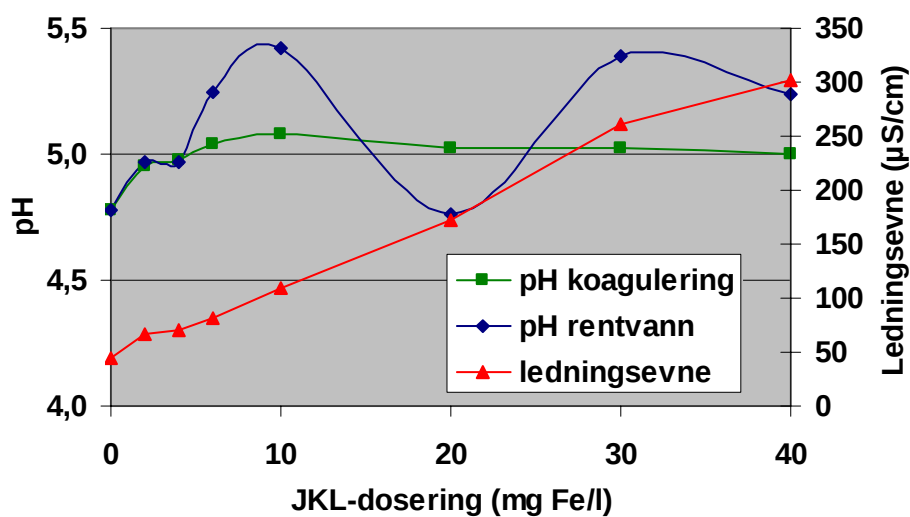
Jernkloridsulfat (JKL)

Den optimale doseringen av JKL ved pH 5 ble bestemt. Se Figur 4. Ved en dose på 30 mg Fe/l, tilsvarende 177 ml JKL/m³ (266 mg JKL/m³), kom fargen ned i ca. 6 mg Pt/l. Tilsvarende fargefjerning ble oppnådd ved å øke JKL-doseringen til 40 mg Fe/l.

Venter på analyseresultater av Fe.



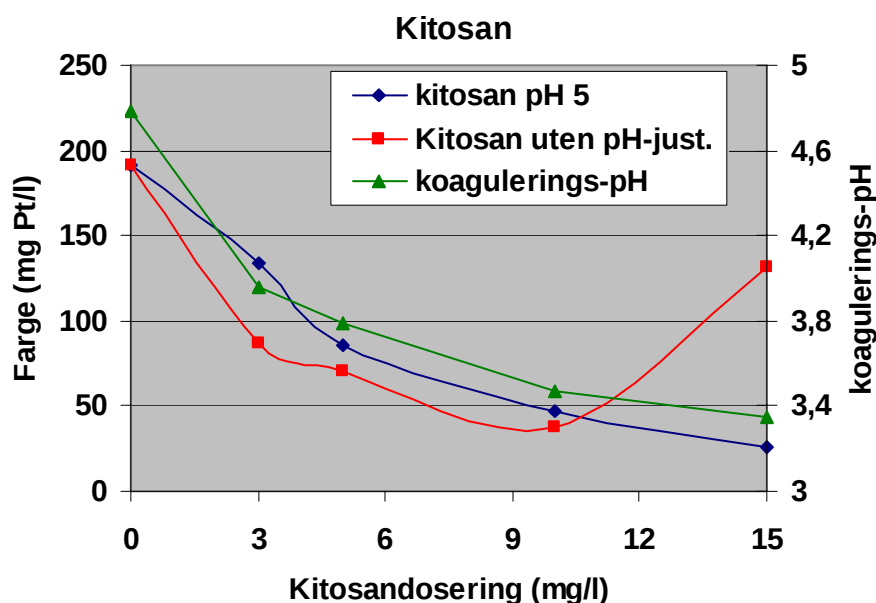
Figur 4. Bestemmelse av optimal dosering av JKL ved pH 5.



Figur 5. Ledningsevne og pH under koagulering og i rentvannet ved bestemmelse av optimal dosering av JKL ved pH 5.

Kitosan

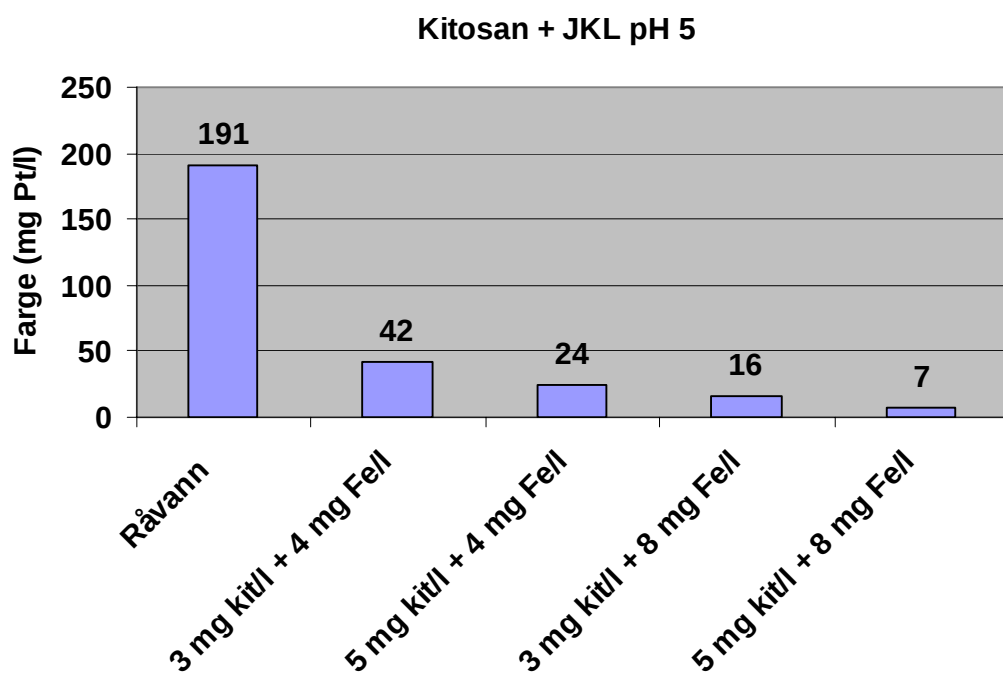
Den optimale doseringen av kitosan ble bestemt ved pH 5 og uten pH-justering. Pga den lave utgangspH i råvannet førte dette siste til en relativt lav og gunstig pH for koagulering med kitosan ved lave kitosan-doser. Men den laveste fargen ved så lav pH, oppnådd ved en kitosandosering på 10 mg/l og pH 3,4, var ikke lavere enn 38 mg Pt/l. Ved pH 5 var det mulig å tilsette mer kitosan, noe som ga noe bedre fargefjerning med den lavest målte fargen på 26 mg Pt/l ved 15 mg kitosan/l. Restfargen er noe høy, samtidig som kitosandoseringen er meget høy. Det er mulig at man kan komme enda lenger ned i farge hvis man går høyere opp i dose. Et såpass lite anlegg vil kanskje ikke ha de helt store utgiftene til kitosan (50 m³/d og 15 g kitosan/m³ gir en kitosanutgift på ca. 41.000,- per år (+ frakt) med en kitosanpris på 150,-/kg)?



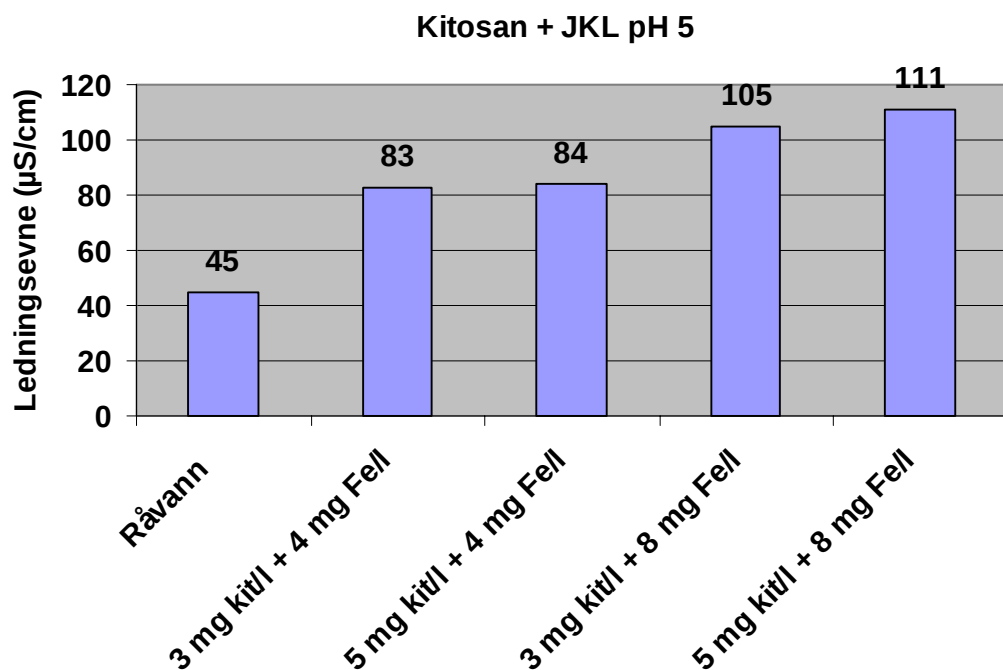
Figur 6. Bestemmelse av optimal dosering av kitosan ved pH 5 og uten pH-justering. pH under koaguleringen uten pH-justering er vist med grønne trekanter.

Kitosan + JKL

Det er aktuelt å vurdere en kombinert felling med kitosan og JKL, noe som vil gi lavere dosering av både kitosan og JKL i f.h.t å dosere disse alene hver for seg. Ulike kombinasjoner av kitosan og JKL ble testet med akseptabelt resultat først ved en kitosandose på 5 mg/l og en JKLdose på 8 mg Fe/l. Se Figur 7.



Figur 7. Restfarge etter behandling med ulike kombinasjoner av kitosan og JKL.



Figur 8. Ledningsevne etter behandling med ulike kombinasjoner av kitosan og JKL.