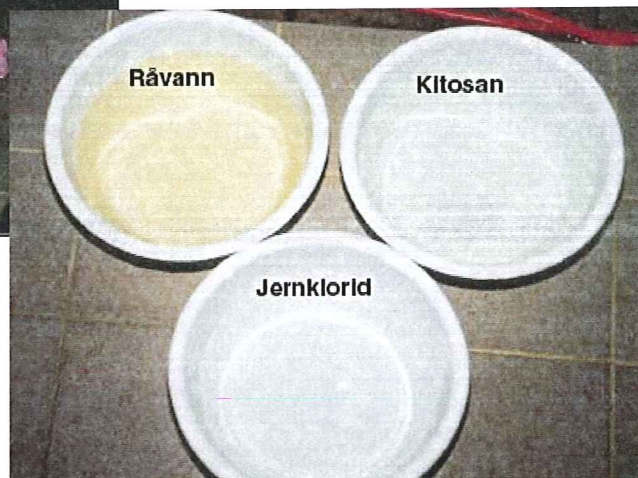
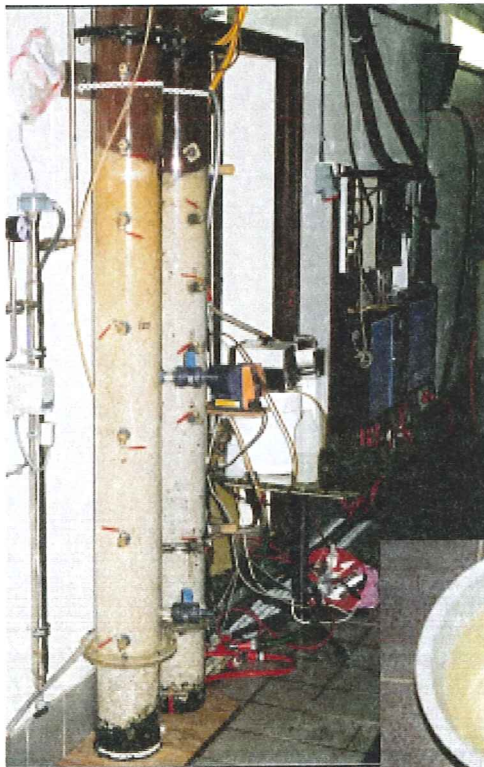


NIVA



RAPPORT LNR 4361-2001

# Bruk av biopolymerer for fjerning av humus fra drikkevann i fem Sørlandskommuner



**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  
5008 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

**Akvaplan-niva**

9296 Tromsø  
Telefon (47) 77 75 03 00  
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel  Bruk av biopolymerer for fjerning av humus fra drikkevann i fem Sørlandskommuner	Løpenr. (for bestilling) 4361-2001	Dato 05.04.2001
	Prosjektnr. Undernr. O-99147 E-20461	Sider Pris 32
Forfatter(e) Helge Liltved (NIVA) Thomas Frydenberg (Asplan Viak Sør AS) Jon Brandt (Asplan Viak Sør AS) Christian Vogelsang (NIVA)	Fagområde 41	Distribusjon
	Geografisk område SØ	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Arendal kommune, Grimstad kommune, Lillesand kommune, Risør kommune, Tvedestrand kommune, Norges forskningsråd (Drikkevannsprogrammet), Primex Ingredients ASA, FMC Biopolymer AS og as Norsk Leca.	Oppdragsreferanse
---	-------------------

**Sammendrag**

Felles for kommunene som har deltatt i prosjektet er at de ønsket å få vurdert mulighetene for å felle ut farge på eksisterende marmorfiltre ved at disse ombygges til 3-mediafiltre. Forsøk er blitt utført i laboratorieskala (jar-tester) og i pilotskala. Effekten av kitosan er sammenliknet med effekten av jernkloridsulfat (JKL), og det er gjort økonomiske beregninger.

I pilotforsøk i 3-mediafiltre ble det vist at fargetallet i vannkilden til Arendal og Grimstad (Rorevann) kan reduseres fra 21 mg Pt/l til ca. 6 mg Pt/l med en kitosandose på 1,6 mg/l ved fellings-pH 4. Til sammenlikning ga felling med JKL bedre resultat m.h.p. fargetall og totalt organisk karbon (TOC), men dårligere resultat m.h.p. turbiditet ved lik filterings hastighet (9,2 m/h). Det ble videre vist at det er mulig å produsere et vann som tilfredstiller drikkevannsnormen m.h.p. korrosjonsparametere med både kitosan og JKL ved 11 min "empty bed contact time" (EBCT) i marmormassen og en CO<sub>2</sub>-dosering på 10 mg/l.

Kjemikaliekostnadene ved anvendelse av kitosan som fellingsmiddel er ca. 3 ganger så høye som ved JKL-felling. Høyere kjemikaliekostnader må veies mot fordeler i forbindelse med utbygging og drift; f.eks. er slamproduksjonen ved kitosanfelling beregnet til 1/3 del av slamproduksjonen ved JKL-felling. Metoder for behandling av spylevann og deponering/bruk av slam må vurderes utfra lokale forhold ved hvert enkelt vannverk. Ved deponering og bruk vil kitosanslam ha fordeler framfor jernslam p.g.a. sin organiske natur.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Humus	1. Natural organic matter
2. Direktefiltrering	2. Direct filtration
3. Biopolymerer	3. Biopolymers
4. Jernkloridsulfat	4. Ferric chloride

  
Helge Liltved  
Prosjektleder

  
Svein Stene-Johansen  
Forskningsleder  
ISBN 82-577-3998-7

  
Bente M. Wathne  
Forskningssjef

# **Bruk av biopolymerer for fjerning av humus fra drikkevann i fem Sørlandskommuner**

## Forord

Prosjektet har vært organisert som et samarbeid mellom kommunene Risør, Tvedestrand, Arendal, Grimstad og Lillesand, industripartnere (kitosanprodusenten Primex Ingredients ASA, alginatprodusenten FMC Biopolymer AS og a.s. Norsk Leca som leverer filtermedium), konsulentfirmaet Asplan Viak Sør A/S og NIVA. Foruten samarbeidspartnerene har Forskningsrådet (Programmet Drikkevann mot år 2000) bidratt med å finansiere prosjektet.

Det har vært knyttet 2 prosjektoppgaver ved Høgskolen i Agder (HiA) til prosjektet. Veiledere har vært høgskolelektor Kjell Skaug ved HiA i Grimstad og professor Egil Gjessing ved HiA i Kristiansand, sammen med undertegnede. I tillegg har de to studentene som utførte prosjektoppgaven ved HiA i Grimstad (Kristin Ødegård Tangerud og Synnøve Anette Gran Terjesen) hatt sommerjobb med å kjøre pilotforsøk ved Grimstad vannverk. Driftsoperatør Torvild Gundersen i Grimstad kommune har vært behjelpelig med tilrettelegging av pilotforsøkene.

NIVA har stått som hovedansvarlig for gjennomføringen og den faglige kvalitetssikringen.

NIVA takker alle de involverte partene for at prosjektet har vært mulig å realisere.

Grimstad, 05.04.2001

*Helge Liltved*

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>6</b>
<b>Summary</b>	<b>7</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>8</b>
1.1 Bakgrunn	8
1.2 Direktefiltrering	9
1.3 Målsetting	10
<b>2. Materialer og metoder</b>	<b>10</b>
2.1 Laboratorietester (jar-tester)	10
2.2 Forsøk i pilotskala	11
<b>3. Resultater</b>	<b>13</b>
3.1 Laboratorietester (jar-tester)	13
3.2 Forsøk i pilotskala	15
3.2.1 Rentvannskvalitet ved bruk av kitosan og jernkloridsulfat (JKL)	15
3.2.2 Vurdering av mulighetene for å erstatte CO <sub>2</sub> -dosering med syredosering	18
3.2.3 Trykktap i filtermediet og spylebehov	18
3.2.4 Slamproduksjon - slamkarakterisering	19
3.2.5 Rentvannskvalitet ved bruk av alginat i kombinasjon med JKL	20
<b>4. Fellingsanlegg med kitosan og jern</b>	<b>21</b>
4.1 Felling med kitosan	21
4.1.1 Beskrivelse	21
4.1.2 Erfaringer med prosessen	21
4.1.3 Beskrivelse av doseringsutstyr/kjemikaliehåndtering	21
4.2 Felling med jern	22
4.2.1 Beskrivelse	22
4.2.2 Erfaringer med prosessen	23
4.2.3 Beskrivelse av doseringsutstyr/kjemikaliehåndtering	23
<b>5. Ombygging av eksisterende anlegg til fargefjerning</b>	<b>24</b>
5.1 Nøkkeldata eksisterende vannverk	24
5.2 Dimensjoneringskriterier	25
5.3 Filterareal (behov)	25
5.3.1 Kitosan	25
5.3.2 Jernfelling	26
5.4 Filtersyklus	26
5.5 Filtersammensetning	26
5.6 Spylevannsmengde	26
5.7 Spyleluft	27
5.8 Håndtering av spylevann og modningsvann	27
5.8.1 Kitosan	27

5.8.2 Jernkloridsulfat	28
5.8.3 Slammengder	28
5.9 Kjemikalieforbruk - kostnader	29
5.9.1 Kitosan/saltsyre	29
5.9.2 JKL	29
5.9.3 Forbruk av CO <sub>2</sub>	29
5.9.4 Marmorforbruk	30
5.9.5 Klor	30
5.9.6 Oppsummering kjemikaliekostnader	30
5.9.7 Ombyggingsbehov	31
<b>6. Referanser</b>	<b>32</b>

## Sammendrag

Felles for kommunene som har deltatt i prosjektet er at de ønsket å få vurdert mulighetene for å felle ut farge/humus på eksisterende (modifiserte) filtre. Kommunene har allerede bygget anlegg for alkalisering av drikkevannet. For alkalisering filtreres vannet gjennom knust marmor etter tilsats av karbondioksid. Flere av anleggene belastes høyt, spesielt sommerstid med høyt forbruk til hage/jordbruksvanning (opptil 15 m/time). Det er også et ønske om fortsatt lokal deponering av slamholdig spylevann fra filtrene. For å undersøke mulighetene for en slik løsning, ønsket kommunene å prøve ut felling med naturlige organiske polymerer (biopolymerer). Den mest aktuelle biopolymeren er kitosan som framstilles fra rekeskall. Det ble også gjort noen forsøk med alginat i kombinasjon med jernkloridsulfat (JKL) eller kalk.

Forsøk er blitt utført i laboratorieskala (jar-tester) og i pilotforsøk. Effekten av kitosan er sammenliknet med effekten av JKL, og det er gjort økonomiske beregninger.

I laboratorieforsøk er det vist at kitosan kan benyttes til å fjerne farge fra råvannet ved alle vannverkene som har deltatt i prosjektet.

Ved direktefiltrering i pilotforsøk i et 3-mediafilter (antrasitt/sand/marmor eller Filtralite/sand/marmor) ble det vist at fargetallet i vannkilden til Arendal og Grimstad (Rorevann) kan reduseres fra 21 mg Pt/l til ca. 6 mg Pt/l med en kitosandose på 1,6 mg/l ved fellings-pH 4. For å justere fellings-pH til 4 ble det tilsatt små mengder saltsyre. Til sammenlikning ga felling med JKL bedre resultat m.h.p. fargetall og totalt organisk karbon (TOC), men dårligere resultat m.h.p. turbiditet ved lik filtreringshastighet (9,2 m/h). JKL fjernet 92% av fargen og 69% av TOC, mens tilsvarende for kitosan var 72% og 32%. Rent visuelt er det bare små forskjeller å registrere. JKL-dosen var 22 ml JKL pr. m<sup>3</sup> vann, tilsvarende 3,8 mg rent jern pr. liter. Alginat i kombinasjon med JKL ga lavere turbiditet enn ved bruk av JKL alene.

I pilotforsøkene ble det også vist at det var mulig å produsere et vann som tilfredstiller drikkevannsnormen m.h.p. korrosjonsparametere med både kitosan og JKL ved 11 min "empty bed contact time" (EBCT) i marmorassen (filtreringshastighet på 9,2 m/h). For å øke utløsningen av kalsium og karbonat fra marmoren ble det tilsatt 10 mg/l CO<sub>2</sub>. CO<sub>2</sub> mengden kan trolig reduseres noe. Vannet som ble produsert hadde pH-verdi, alkalitet og kalsiumverdi som lå riktig i forhold til grenseverdiene, og var tilnærmet partikkelfritt (turbiditet <0,05 FTU med kitosan og 0,07 FTU med JKL).

Ved høyere filtreringshastighet (15 m/h og 7 min EBCT i marmorassen) og med kitosan som fellingsmiddel sank som ventet pH, alkalitet og kalsiumkonsentrasjonen noe i rentvannet. Det ble registrert en svak økning i turbiditet (0,14 NTU), fargetall og TOC-verdi sammenliknet med en filtreringshastighet på 9,2 m/h. Resultatene tyder på at det er mulig å kjøre med høyere filtreringshastighet med kitosan enn med JKL, og at nødvendig filterareal derved kan reduseres.

Kjemikaliekostnadene ved anvendelse av kitosan som fellingsmiddel er ca. 3 ganger så høye som ved JKL-felling. Høyere kjemikaliekostnader må veies mot eventuelle fordeler i forbindelse med utbygging og drift; f.eks. er slamproduksjonen ved kitosanfelling beregnet til 1/3 del av slamproduksjonen ved JKL-felling. Metoder for behandling av spylevann og deponering/bruk av slam må vurderes utfra lokale forhold ved hvert enkelt vannverk. Ved deponering eller bruk vil kitosanslam ha fordeler framfor jernslam p.g.a. sin organiske natur.

Bruk av kitosan til behandling av drikkevann er en forholdsvis ny metode. Imidlertid benyttes metoden i fullskala ved Haugesund nye vannverk og Bjoa vannbehandlingsanlegg i Ølen kommune.

Begge disse følges opp fra NIVAs side, og driftserfaringene vil bli nyttige for andre vannverk som vurderer å benytte metoden.

Sammenliknet med jernfelling er fordelene med kitosanfelling i første rekke knyttet til den lave slamproduksjonen og at slammet lettere kan deponeres eller anvendes, samt at det ikke er behov for så streng styring av fellings-pH og doseringsmengde som med JKL. Restmetall i rentvannet er ikke et problem når kitosan benyttes. Ulempene er i første rekke knyttet til høyere kostnader for kitosan, samt noe dårligere effekt m.h.p. humusfjerning. Kitosan er pr. idag lett tilgjengelig kommersielt, men for sikkerhets skyld bør anlegg som bygges med kitosanfelling også kunne drives med annet fellingsmiddel, f.eks. JKL.

## Summary

Title: Use of biopolymers for removal of humic substances from the drinkingwater

Year: 2001

Author: Helge Liltved

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3998-7

The aim of this study was to examine the removal of natural organic matter (NOM) (in terms of colour and total organic carbon (TOC)) by the use of biopolymers (chitosan and alginate) and ferric chloride as coagulants, followed by direct dual media filtration. A combination of antrasite/Filtralite, silica sand and crushed marable was used as filter media. The pilotstudy was conducted at Grimstad waterwork in the county of Aust-Agder, Norway. The raw water to the pilotscale unit was supplied by pumping from the Rore lake. The inlet was equipped with small pumpes for dosing coagulants and acid for pH-adjustment.

At a filtration rate of 9,2 m/h and a coagulation-pH of 4, the color was reduced from 21 mgPt/l to approximately 6 mgPt/l with a chitosan-dosage of 1,6 mg/l. Compared to the performance of chitosan, improved color- and TOC-removal was demonstrated by the use of ferric chloride. However, chitosan gave better turbidity removal and allowed higher filtration rate. The color- and TOC-removal by ferric chloride was 92% and 69% respectively, compared to 72% and 32% by chitosan. The use of alginate in combination with ferric chloride resulted in reduced turbidity compared to the use of ferric chloride alone.

To produce a water with acceptable alkalinity and pH-value, a CO<sub>2</sub>-dosage of 10 mg/l and 11 min empty bed contact time (EBCT) in the chrushed marable was required.

The chemical costs by use of chitosan as a coagulant is approximately 3 times higher than by the use of ferric chloride. However, when total costs are summarized including filter construction costs and sludge handling, chitosan may become a cost-effective alternative to ferric chloride.

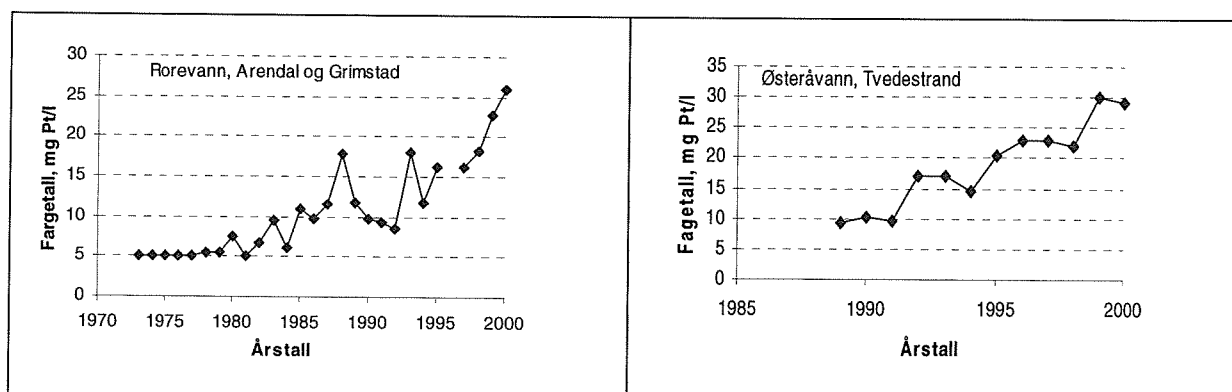


# 1. Innledning

## 1.1 Bakgrunn

I løpet av de siste årene har flere kommuner i Aust-Agder opplevd en økning i fargetall i sine drikkevannskilder. Flere steder har fargetallet steget over det nivået som er fastsatt som største tillatte konsentrasjon (20 mg Pt/l) i "Forskrift om vannforsyning og drikkevann mm." fra Sosial-og helsedepartementet. Denne fargeøkningen synes å ha skjedd i løpet av de siste årene, da tidligere målinger som er foretatt av kommunene ved planlegging og bygging av vannverkene viser tildels betydelig lavere verdier.

I figur 1 er utviklingen i Rorevann (drikkevannskilde for Grimstad og Arendal) og Østeråvann (drikkevannskilde for Tvedestrand) vist. Som det framgår har begge disse opplevd økninger til slike nivåer at tiltak for humusfjerning må iverksettes. Av mulige forklaringer til økt fargetall i drikkevannskildene vurderes økt omsetning og utvasking av naturlig organisk materiale (humus) som hovedårsaken. Dette igjen som en følge av endringer i klimatiske forhold (temperaturøkning og endringer i nedbørsmønstre). Imidlertid kan også andre faktorer virke inn lokalt og regionalt. Fenomenet er nærmere beskrevet og omtalt av Liltved, Wright og Gjessing (2001).



**Figur 1.** Fargetallsutviklingen i Rorevann (drikkevannskilde for Grimstad og Arendal) og Østeråvann (drikkevannskilde for Tvedestrand).

Felles for kommunene som deltar i prosjektet er at de ønsker å få vurdert mulighetene for å felle ut humus på eksisterende (modifiserte) filtre. Kommunene har allerede bygget anlegg for alkalisering av drikkevannet. For alkalisering filtreres vannet gjennom knust marmor etter tilsats av karbondioksid. Flere av anleggene belastes høyt, spesielt sommerstid med høyt forbruk til hage/jordbruksvanning (opptil 15 m/time). Det er også et ønske om fortsatt lokal deponering av slamholdig spylevann fra filterne. Dersom spylevannet skal ledes til kommunalt avløpsnett, eller avvannes for transport og deponering/bruk, vil det de fleste steder være kostnader forbundet med dette.

For å undersøke mulighetene til en slik løsning, ønsker kommunene å prøve ut felling med naturlige organiske polymerer (biopolymerer). Den mest aktuelle muligheten er å benytte kitosan som fellingsmiddel. En alternativ mulighet er å benytte alginat i kombinasjon med jern eller kalk. Fordelene med å benytte naturlige organiske polymerer (førstnevnte produsert fra rekeskall, sistnevnte fra tang) er følgende:

- Det produseres mindre slam enn ved tradisjonell felling med jern- eller aluminiumssalter. Det slamholdige spylevannet inneholder ikke metaller fra fellingsmidlene som kan skape problemer ved deponering/bruk. Kostnadene forbundet med slamhåndtering kan derved reduseres. Ved bruk av alginat/jern i kombinasjon vil det bli noe metall i slammet, men p.g.a. lavere dosering vil mengdene bli mindre enn dersom jern benyttes alene.
- Det er indikasjoner på at bruk av polymerer gir sterkere humus-fnokker, slik at overflatebelastningen kan økes i forhold til ved bruk av jern- eller aluminiumssalter. Dette kan gi muligheter for at de eksisterende filterne kan håndtere de høye vannmengdene sommerstid, og at man derved unngår en kostbar utvidelse av filterarealet.
- Når naturlige organiske polymerer benyttes som eneste fellingsmiddel kan man se bort fra restmetall i det rensede vannet. Når jern- eller aluminiumssalter benyttes må restverdier for metaller overvåkes nøye da det er lave grenseverdier for disse (< 0,1 mg Me/l).
- Muligheter for å erstatte noe av CO<sub>2</sub>-dosering med syre, da saltsyre allikevel må benyttes for å løse kitosan.

I utgangspunktet har man tenkt at det er mulig å felle med kitosan eller alginat/jern, alginat/kalk direkte i eksisterende filtre ved å legge et topplag med et egnet filtermedium over marmor-massen (jmf. Moldeprosessen). For å kunne modifisere eksisterende fullskala vannverk til felling av farge med ett av de nevnte fellingsmidlene, er det viktig å få avklart forhold omkring doseringsmengder (optimale doseringsmengder for de aktuelle råvannskvalitetene), hvilke filtermedier som egner seg for fjerning av de utfelte fnokkene, driftsbetingelser inkl. maksimal overflatebelastning, spylevannsmengder, rentvannskvalitet, slammengder, slamkvalitet, kostnader (drift og ombyggingskostnader).

## 1.2 Direktefiltrering

Direktefiltrering er i dag den mest brukte metoden for fjerning av naturlig organisk materiale (NOM) fra drikkevann ved norske vannverk. Hovedbestanddelen av NOM er negativt ladete humus-stoffer som kan destabiliseres og felles ut med jern- eller aluminiumsbaserte fellingsmidler til filterbare fnokker. Ved de lave vanntemperaturene man ofte har i Norge vil NOM-fjerningen, målt som nedgang i fargetall eller organisk stoff, kunne bli redusert. Det har vist seg at tilsats av vannglass (natriumsilikat) og bruk av prepolymeriserte derivater av metallsaltene, som f.eks. aluminiumpolymeren PAX 14, delvis har kunnet kompensere for dette.

Høy slamproduksjon med dertil korte filtersykluser, samt vanskeligheter med å oppfylle de relativt strenge kravene til restmetall i rentvannet, har satt søkelyset på bruken av naturlig organiske polymere som alternative koagulanter. Selv om polymere forbindelser normalt fører til raskere trykktap over filteret, vil den betydelig reduserte slamproduksjonen kunne gi lengre filtersykluser og reduserte utgifter til slambehandling. Hvis en organisk polymer brukes som eneste koagulant, vil gjenbruksverdien av slammet øke betraktelig, samtidig som klarfasen av spylevannet muligens vil kunne ledes direkte ut i resipienten uten fare toksiske effekter. Disse polymerene er også, i større eller mindre grad, biologisk nedbrytbare. Men høy pris er en ulempe som har gjort at man har fokusert på å minimalisere dosene av de organiske polymerene.

Kitosan er den av de naturbaserte organiske polymerene det er stilt størst forventninger til som koagulant. Den er et delvis eller fullstendig deacetylert derivat av kitin, som i dag fremstilles i industriell skala fra reke- og krabbeskall. Aminogruppene på de deacetylerte enhetene gir kitosan en kationisk karakter i hele det sure pH-området (pK<sub>a</sub> ligger i området 6.2-7.0), og vil dermed kunne nøytralisere og destabilisere humussyrene innenfor et bredt pH-område. At det ved gitt pH er påvist en direkte støkiometrisk sammenheng mellom humusstoffenes totalldning og optimal dose av den

Følgende fellingsmidler ble benyttet:

- kitosan - kvalitet ChitoClear TM381 fra Primex Ingredients ASA, enkelte forsøk ble gjennomført med en kvalitet fra BioEffect AS
- alginat - Protanal S 20 og XL-RB fra FMC Biopolymers AS
- jernkloridsulfat - JKL fra Kemira Chemicals AS

Råvann ble hentet fra de ulike vannkildene og brakt til laboratoriet ved Høgskolen i Agder, Kristiansand. Råvann ble tilsatt 1 mmol/l natriumbikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) for buffering før inndosering av fellingsmiddel ved hurtigomrøring (400 rpm i 1 min). Fortynnet saltsyre (HCl) eller lut (NaOH) ble benyttet for pH-justering. Deretter fulgte sakteomrøring (30 rpm) i 30 min. Forholdsvis lang sakteomrørings-periode ble benyttet da det tar tid før man visuelt kan påvise fnokkdannelse med bruk av kitosan. Videre sedimenterer de utfelte fnokkene dårlig, noe som gjorde at fnokker fulgte med ved prøveuttak etter normale sedimenteringstider. Dette ga et turbiditetstilsjudd i prøvene, og de ble derfor filtrert gjennom et 0,45  $\mu\text{m}$  membranfiltre (Millipore) før analysering.

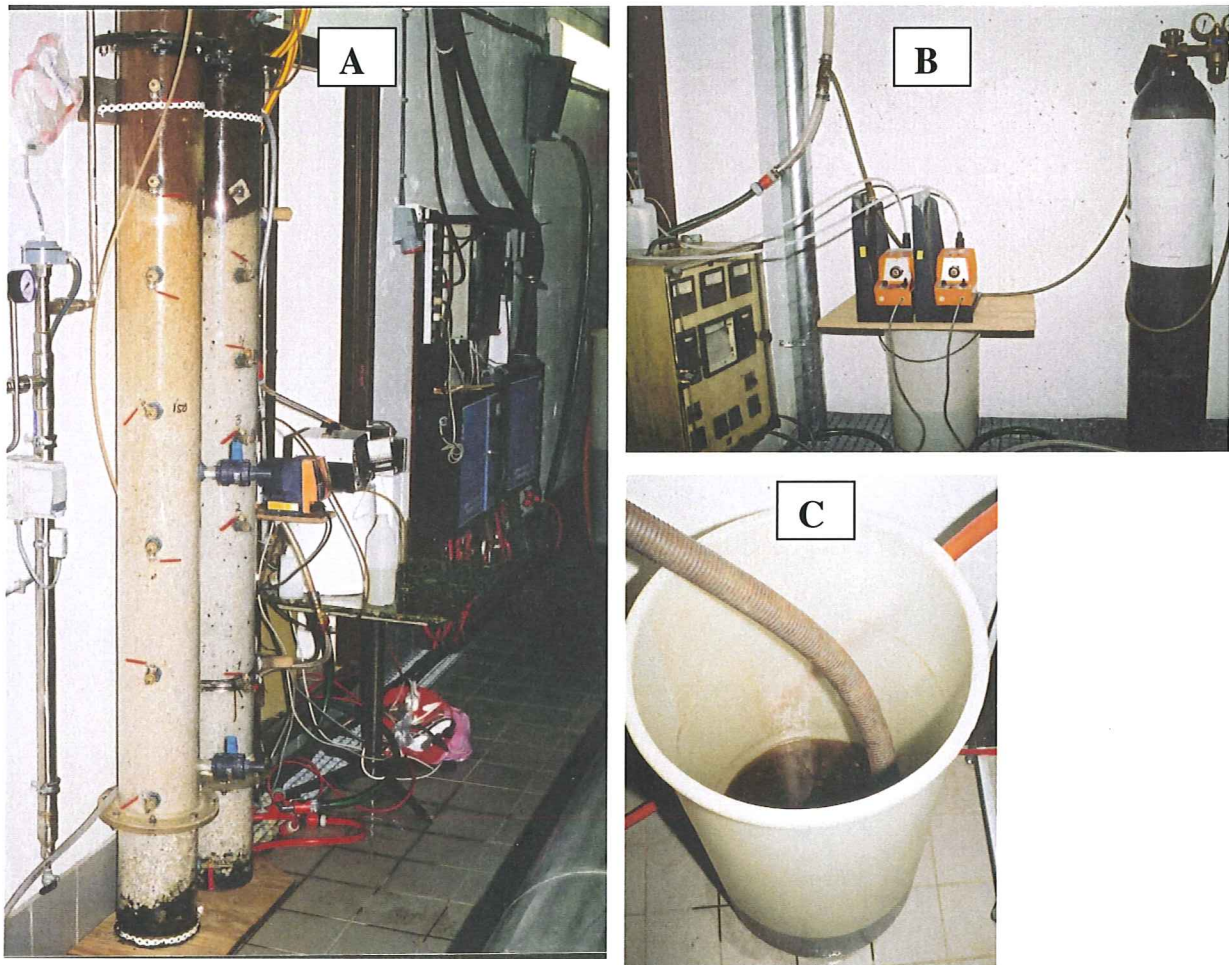


Figur 2. Jar-test apparat med omrørere og begerglass

## 2.2 Forsøk i pilotskala

Forsøkene i pilotskala er blitt gjennomført ved Grimstad vannverk. Råvannskilden (Rorevann) er også råvannskilde for Arendal vannverk. Humusinnholdet i Rorevann er i et område som er typisk for drikkevannskildene på Sørlandet (fargetall 20-30 mg Pt/l). P.g.a. kildens størrelse og stort inntaksdyp, har fargetallet vært relativt stabilt i forsøksperioden.

Pilotanlegget bestod av to parallelle filterkolonner, hver med høyde 4000 mm og indre diameter 190 mm for nedstrøms direktefiltrering, som gir et filterareal på 0,283  $\text{dm}^2$  (figur 3). Hver kolonne hadde separat kjemikaliedosering og syredosering med styringsautomatikk for å justere fellings-pH. Den ene filterkolonnen (kolonne 1) var fylt med antrasitt/sand/marmor, mens den andre (kolonne 2) var fylt med Filtralite/sand/marmor. Rentvannet ble overvåket kontinuerlig m.h.p. fargetall, pH, turbiditet og ledningsevne. Anlegget ble tilført råvann med og uten tilsetning av  $\text{CO}_2$ .



**Figur 3.** Pilotanlegg. Bilde A: Filterkolonner med antrasitt/sand/marmor og Filtralite/sand/marmor, doseringspumper for jernkloridsulfat og kitosan. Bilde B: Dosering av CO<sub>2</sub> fra flaske til råvannsledning og doseringspumper for saltsyre, syredunk og pH-regulator. Bilde C: Oppsamling av spylevann.

Filtermediet i kolonnene bestod av:

- bunnlag av grus og grov marmor
- 170 cm knust marmor (1 - 3 mm kornstørrelse fra Visnes kalk- og marmorbrudd AS)
- 40 cm fin sand (0,5 – 1,0 mm kornstørrelse fra Woldstad Sandforretning AS)
- 50 cm antrasitt (0,8 - 1,6 mm kornstørrelse fra Alfsen og Gundersen AS) eller 50 cm Filtralite (0,8 – 1,6 mm kornstørrelse fra a.s. Norsk Leca)

Råvann ble pumpet fra råvannsbassenget i vannverket. Mengden ble regulert v.h.a. en manuell ventil. Filtreringshastigheter fra 8 til 15 m/h ble forsøkt, noe som tilsvarer vannmengder fra 225 til 425 liter pr. time (l/h). Kitosan og alginat ble dosert v.h.a. peristaltiske pumper, mens JKL ble dosert v.h.a. en membran-magnetpumpe. Alle fellingsmidlene ble dosert direkte på innløpsledningene for råvann. Innløpsledningen til hvert filter bestod av en 5 m lang fleksibel 3/4" slange.

Forsøk er blitt gjennomført ved bruk av kitosan, jernkloridsulfat og kombinasjonen jernkloridsulfat/alginat som fellingsmiddel. Forsøkene ble utført ved ulike fellings-pH og med ulike doseringer.

Fargetall ble målt "in-line" v.h.a. et Siegrist instrument, og manuelt v.h.a. et Hach DR 2000 fotometer. I tillegg ble det tatt ut prøver som ble analysert ved laboratoriet på HiA eller ved NIVAs laboratorium i Oslo. HiA analyserte m.h.p. kalsium, alkalitet, pH, UV-abs og fargetall. Ved NIVA ble det i tillegg målt på en rekke andre parametere etter akkrediterte standarder.

## 3. Resultater

### 3.1 Laborrietester (ja r-tester)

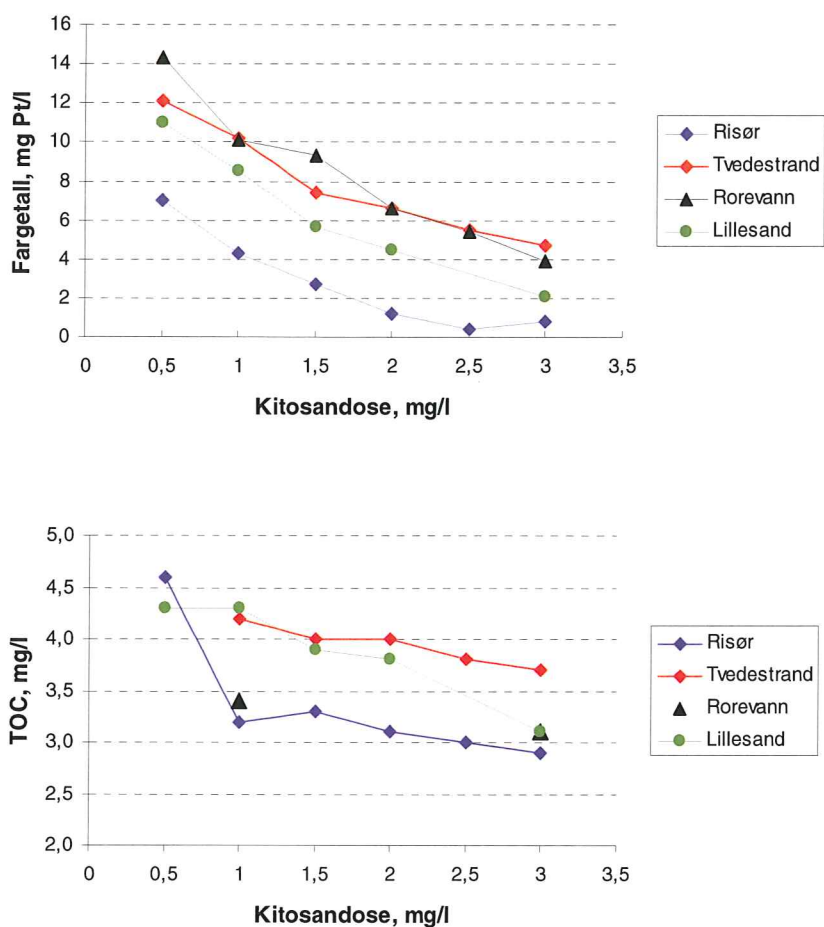
Store deler av de praktiske laborieforsøkene er utført ved Høgskolen i Agder av 3 studenter som har hatt dette som en prosjektoppgave. Resultatene er samlet i studentenes rapport (Skogerbø og medarb. 2000). Et sammendrag er tatt med her.

Resultatene fra forsøkene med kitosanfelling tyder på at det er forskjeller i "behandlingsbarhet" mellom de ulike vanntypene/humustypene. Imidlertid viser resultatene at det er mulig å redusere fargetallet til lave verdier med kitosandoser fra 1,5-3 mg/l ved lav fellings-pH (4,0) (figur 4). Reduksjonene m.h.p. totalt organisk karbon (TOC) og uv-absorbans på filtrerte prøver var mer moderate.

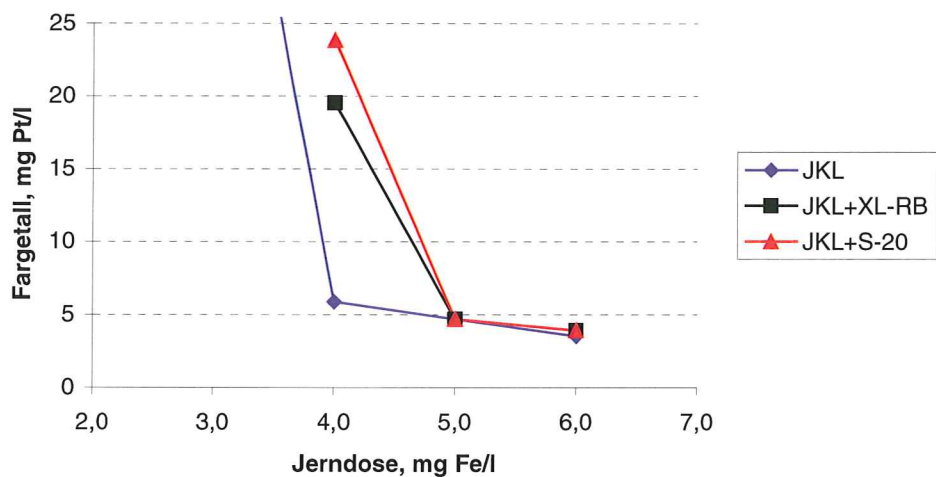
Det ble i flere forsøk vist at effekten m.h.p. farge og UV-absorbans var pH-avhengig. Best resultat ble oppnådd ved så lav fellings-pH som 3. Av praktiske årsaker ble det valgt å benytte fellings-pH 4, da effekten her bare var svakt redusert i forhold til ved pH 3. Ved å redusere fellings-pH så lavt som til 2 ble det dårligere resultat.

Forsøk med alginat (3 mg/l av kvaliteten S 20 eller XL-RB) i kombinasjon med kalk viste liten eller ingen effekt ved lave kalkdoser ved pH 7. Ved høye doser (100 mg/l) var det en svak reduksjon i fargetall og UV-absorbans. Imidlertid var det problematisk å få løst all kalken, noe som gjorde at effektiv dose trolig var lavere enn det som ble tilsatt.

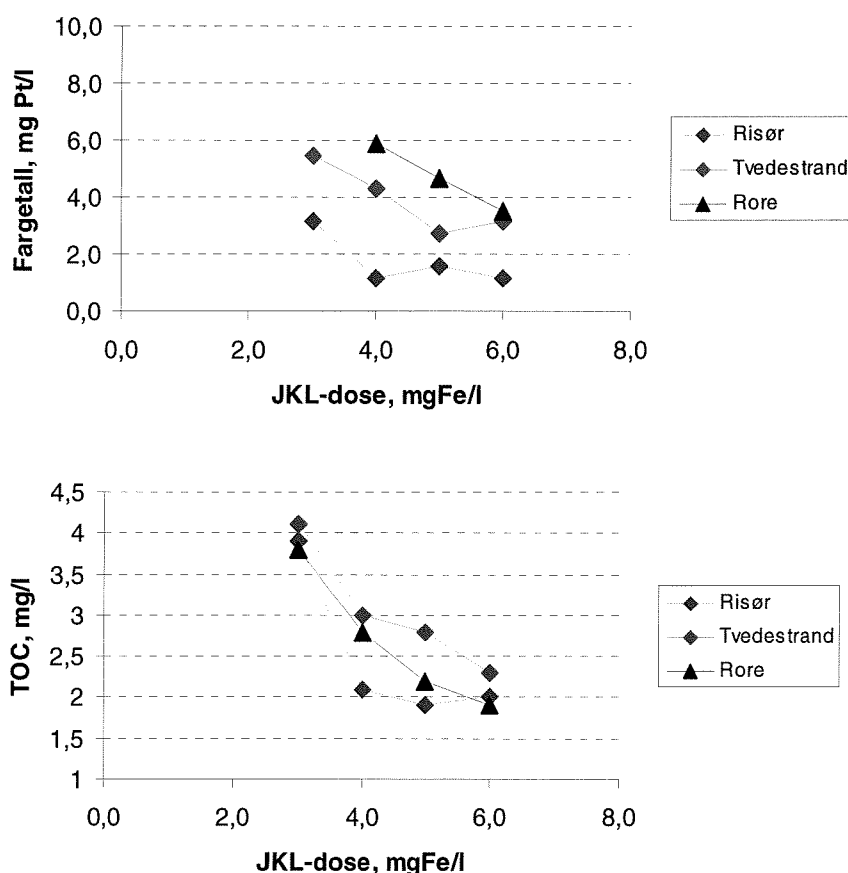
Ved å dosere alginat (0,5 mg/l) sammen med jern ved pH 4,5 ble det ikke oppnådd bedre resultater m.h.p. fargetall og UV-absorbans enn med jern alene (5 og 6 mgFe/l) (figur 5). Jern alene ga meget lave fargetall og UV-absorbans i alle vanntypene ved fellings-pH 4,5 og en dosering på 4 mgFe/l (figur 6).



**Figur 4.** Reduksjon i fargetall og totalt organisk karbon (TOC) ved økende kitosandose ved fellings-pH 4,0. Råvannsfarge: Risør: 19,1 mg Pt/l, Tvedestrand: 25,6 mg Pt/l, Lillesand: 28,2 mg Pt/l, Rorevann: 22,9 mg Pt/l. Råvanns-TOC: Risør: 4,0 mg/l, Tvedestrand: 4,9 mg/l, Lillesand: 4,2 mg/l, Rorevann: 3,8 mg/l



**Figur 5.** Reduksjon i fargetall ved bruk av JKL alene eller i kombinasjon med 0,5 mg/l alginat (XL-RB eller S-20) ved pH 4,5. Råvannsfarge (Rore): 22,9 mg Pt/l



Figur 6. Fargetall og TOC som funksjon av JKL-dose i jar-tester.

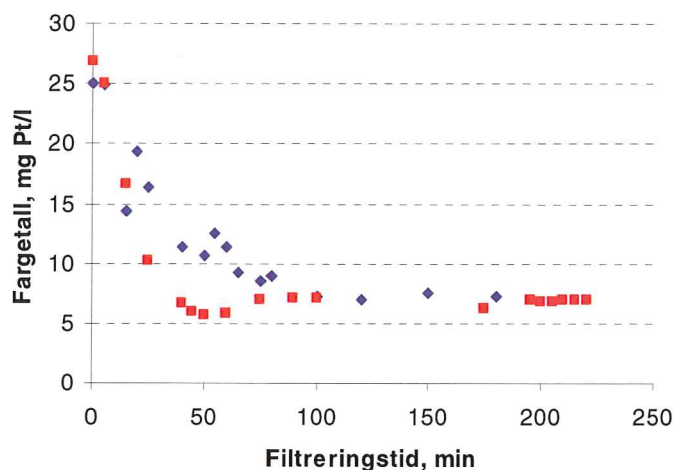
## 3.2 Forsøk i pilotskala

### 3.2.1 Rentvannskvalitet ved bruk av kitosan og jernkloridsulfat (JKL)

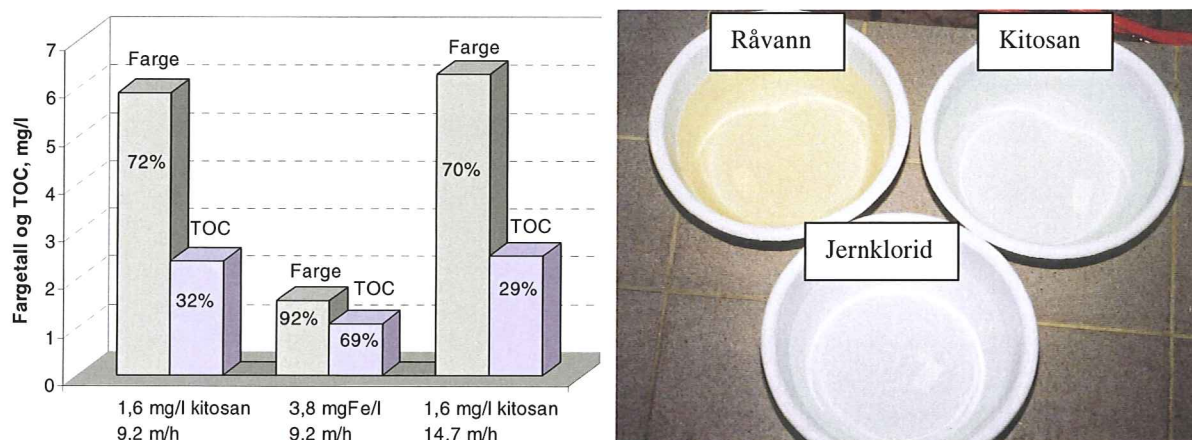
Det er foretatt en rekke forsøk ved ulike fellings-pH og ulike kitosan- og JKL-doseringer for å komme fram til optimale betingelser. Mye av dette arbeidet er rapportert som et studentprosjekt ved Høyskolen i Agder (Tangerud og Terjesen 2000), mens et sammendrag av dette, pluss noen nye forsøk er tatt med i denne rapporten. De fleste forsøkene er kjørt med en filtreringshastighet på 9,2 m/h, men det er også kjørt med høyere belastninger, opp til 14,7 m/h uten at dette ser ut til å redusere effekten m.h.p. fargefjerning i vesentlig grad (figur 7). Imidlertid indikeres en svak økning i rentvannsturbiditet ved høy filtreringshastighet (tabell 1). For stabil drift med en rentvannsfarge på 6-7 mg Pt/l, kreves 1,6 mg kitosan pr. liter ved en fellings-pH på 4.

Ved høy filtreringshastighet (14,7 m/h) oppnås det raskere god rentvannskvalitet etter tilbakespyling av filteret enn ved lavere filtreringshastighet (9,2 m/h) (figur 7). Dette medfører at modningstiden kan reduseres. Når kitosan brukes som fellingsmiddel kan man se bort fra hensynet til restmetall i vannet i løpet av modningstiden, noe som gjør at man trolig kan redusere modningstiden i forhold til når jern- eller aluminiumsforbindelser benyttes. Imidlertid må hensynet til hygiene og mikroorganismer vurderes på lik linje med når andre fellingsmidler benyttes. Det er kjent at høye turbiditetsverdier er korrelert med høye bakterietall (Ndiongue og medarb. 2000).

I figur 8 er effekten av kitosan sammenliknet med effekten ved bruk av JKL. Bildet viser farge i råvannet og farge etter felling med henholdsvis kitosan og JKL. Som det framgår, var det mulig å fjerne mer farge og TOC med JKL enn med kitosan ved lik filtreringshastighet (9,2 m/h). JKL fjernet 92% av fargen og 69% av TOC, mens tilsvarende for kitosan var 72% og 32%. Rent visuelt er det bare små forskjeller å registrere. JKL-dosen var 22 ml JKL pr. m<sup>3</sup> vann, tilsvarende 3,8 mg rent jern pr. liter. Disse tallene er også gitt i tabell 1, sammen med en rekke andre analyser og belastningstall.



**Figur 7.** Fargetallsutvikling som funksjon av filtreringstid ved bruk av kitosan som koagulant.



**Figur 8.** Representative rentvanns-verdier for fargetall og TOC ved felling med kitosan (1,6 mg/l) og JKL. Prosentvise renseeffekter er angitt, samt filtreringshastigheter i m/h. Råvannets fargetall var 21 mg Pt/l, mens TOC-verdien var 3,5 mg/l.

Som det framgår av tabell 1 var det mulig å produsere et vann som tilfredstiller kravene m.h.p. korrosjonsparametere ved å bruke kitosan (1,6 mg/l) eller JKL (3,8 mg Fe/l) som fellingsmiddel med etterfølgende filtrering i et 3-mediafilter (antrasitt, sand og marmor) ved en filtreringshastighet på 9,2 m/h (11 min "empty bed contact time", EBCT, i marmormassen). For å justere fellings-pH til 4 ble det tilsatt små mengder saltsyre, og for å øke utløsningen av kalsium og karbonat fra marmoren ble det tilsatt 10 mg/l CO<sub>2</sub>. CO<sub>2</sub> mengden kan trolig reduseres noe. Vannet som ble produsert hadde pH-verdi, alkalitet og kalsiumverdi som lå riktig i forhold til grenseverdiene, og var tilnærmet partikkelfritt (turbiditet <0,05 FTU med kitosan og 0,07 FTU med JKL).



Ved høyere filtreringshastighet (14,7 m/h og 7 min EBCT i marmormassen) og med kitosan som fellingsmiddel sank som ventet pH, alkalitet og kalsiumkonsentrasjonen noe i rentvannet. Det ble registrert en svak økning i turbiditet (0,14 NTU), fargetall og TOC-verdi sammenliknet med en filtreringshastighet på 9,2 m/h. De lave turbiditetsverdiene tyder på at felling med både kitosan og JKL vil fungere godt som hygienisk barriere, iallefall med filtreringshastigheter opp til 9,2 m/h. Det er tidligere vist at direktefiltrering med kitosan som koagulant kan fjerne mer enn 99,9% av coliforme bakterier fra råvannet (Liltved og Norgaard 1999).

Tabell 1 angir også verdier for sporstoffer og metaller i rentvann og råvann. Som det framgår ligger alle langt under grenseverdiene som er angitt i forskriften. Jern, arsen, bly og vanadium blir redusert av både kitosan og JKL. Kadmium, kobolt, kobber og sink viser høyere verdier i rentvannet enn i råvannet. Om disse økningene stammer fra fellingsmidlene, fra filtermediene, eller fra komponenter i anlegget er uvisst. Aluminium ble ikke målt, men erfaringer fra andre pilotkjøringer med kitosan som koagulant tilsier at hoveddelen av råvannets aluminiumsinnhold fjernes (opptil 80%) (Liltved 2000b).

**Tabell 1.** Driftskriterier og belastningstall for kitosan- og JKL-felling med vannkvalitetsparametere for rentvann og råvann, samt grenseverdier hentet fra retningslinjene.

Driftskriterier	Rentvannskvalitet etter koagulering og filtrering			Råvannskvalitet	Grenseverdi rentvann
	kitosan, 1,6 mg/l	kitosan, 1,6 mg/l	JKL, 3,8 mg Fe/l		
Koagulant					
Filtrerings-hastighet, m/h	9,2	14,7	9,2		
CO <sub>2</sub> -dose, mg/l	10	10	10		
Fellings-pH	4	4	4		
Syreforbruk, ml kons. HCl pr m <sup>3</sup>	5	5	4		
<b>Vannkvalitetsparametere</b>					
pH	7,8	7,53	7,72	6,15	7,5-8,5*
Alkalitet, mmol/l	0,748	0,557	0,829	0,047	0,6-1,0*
Turbiditet, FTU	<0,05	0,14	0,07	0,35	0,4*
UVabs, abs/cm	0,072	0,076	0,025	0,137	
Fargetall, mg Pt/l	5,91	6,3	1,58	20,9	20*
Tot-N, µg/l	475	495	440	530	1000**
TOC, mg/l	2,4	2,5	1,1	3,5	3*
Ca, mg/l	17,8	13,8	21,9	1,9	15-25*
Fe, µg/l	8		4	54	100*
As, µg/l	0,20		0,12	0,24	10**
Cd, µg/l	0,16		0,12	0,06	5**
Co, µg/l	0,15		1,1	0,14	
Cr, µg/l	0,1		<0,1	<0,1	50**
Cu, µg/l	11		3,1	1,5	100*
Ni, µg/l	0,28		1,4	0,51	50**
Pb, µg/l	0,07		0,03	0,59	20**
V, µg/l	<0,1		<0,1	0,2	
Zn, µg/l	20		24	15	100*

\* = veiledende verdi

\*\* = største tillatte konsentrasjon

### 3.2.2 Vurdering av mulighetene for å erstatte CO<sub>2</sub>-dosering med syredosering

Dosering av små mengder saltsyre, ca 5 ml kons. HCl pr m<sup>3</sup> vann i tillegg til den sure kitosanløsningen, er nødvendig for å redusere pH til 4 som regnes som nær optimalt med tanke på utnyttelse av kitosan som fellingsmiddel. Ved å redusere pH til 4 med saltsyre oppnås en viss grad av alkalisering ved 11 min EBCT i marmormassen (tilsvarende en filtreringshastighet på 9,2 m/h i pilotanlegget) (tabell 2). Imidlertid er ikke dette tilstrekkelig for å nå verdiene som er fastsatt i retningslinjene som er 0,6 - 1,0 mmol/l for alkalitet. Alkalitetsverdiene uten CO<sub>2</sub>-dosering er bare halvparten av hva de burde være. Dette viser at det er nødvendig med CO<sub>2</sub>-dosering i tillegg for å oppnå tilstrekkelig alkaliseringseffekt.

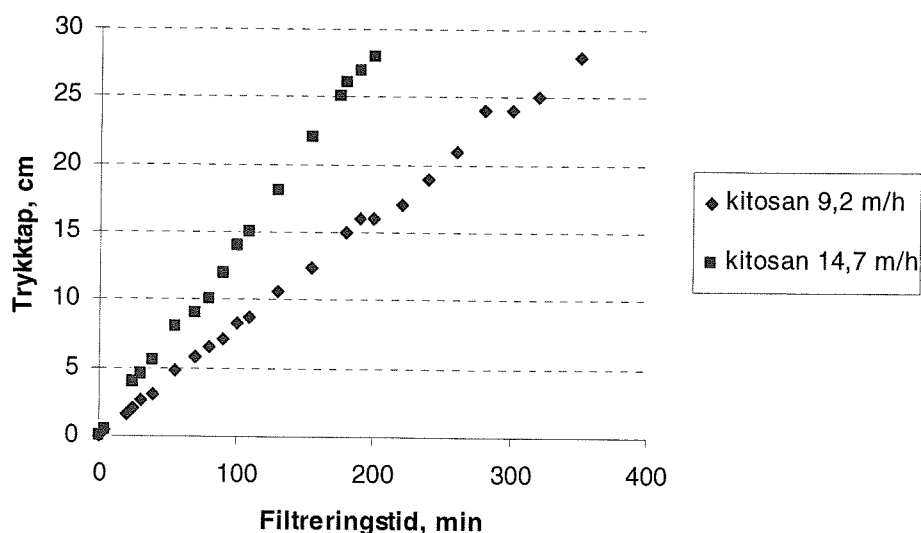
CO<sub>2</sub>-dosering ser ikke ut til å påvirke effekten av kitosanfelling direkte. CO<sub>2</sub> er med på å redusere fellings-pH, noe som er en fordel da kitosan fungerer best ved lav fellings-pH.

**Tabell 2.** Alkalisering i marmorfilteret med og uten CO<sub>2</sub>-dosering.

	Saltsyre til pH 4, ingen CO <sub>2</sub> -dosering	Saltsyre til pH 4, 10 mg CO <sub>2</sub> /l
pH	8,0 - 8,4	7,8
Alkalitet, mmol/l	0,26 - 0,32	0,75
Kalsium, mg/l	12 - 13	17,8

### 3.2.3 Trykktap i filtermediet og spylebehov

Trykktap som funksjon av filtreringstid med kitosanfelling ved filtreringshastigheter på 9,2 m/h og 14,7 m/h er vist i figur 9. Ved en filtreringshastighet på 9,2 m/h og en kitosandose på 1,6 mg/l vil trykktapet bli ca. 120 cm i løpet av 24 timer forutsatt en lineær utvikling. Dette indikerer at 24 timers driftstid før spyling er fullt mulig.



**Figur 9.** Trykkoppbygging i filteret med kitosanfelling (1,6 mg/l) og filtreringshastigheter på 9,2 m/h og 14,7 m/h. Fellings-pH 4,0.

### 3.2.4 Slamproduksjon - slamkarakterisering

I forsøk med kitosanfelling ble det ene filteret spylt etter 17 timers driftstid. Spylehastigheten var 50 m/h (tilsvarende 24 l/min) noe som ga en spylevannsmengde på 110 liter ved ca. 4,5 min tilbakespyling. Alt spylevannet ble samlet opp for måling av volum og analyse.

Ved en kitosandosering på 1,6 mg/l ble det tatt ut en prøver av det oppsamlede spylevannet, av fortykket slam etter 2 timers sedimentering, og av dekantvannet (klarfasen). Ved sedimentering ble spylevannets gjennomsnittlige tørrstoffkonsentrasjon økt fra 153 mg/l til 4300 mg/l, noe som representerer 28 gangers oppkonsentrering (tabell 3). Slamvolumet var ca. 4 liter. Det er gjort beregninger av slamproduksjonen basert på gjennomsnittlige konsentrasjonsmålinger og volummålinger.

Basert på tallene fra målingene ble slamproduksjonen 3,9 g tørrstoff pr. m<sup>3</sup> rentvann.

Sammenliknet med teoretisk slamproduksjon ved kitosanfelling stemmer de målte verdiene bra: Tørrstoffet i slammet vil i hovedsak bestå av tilsatt mengde kitosan (1,6 mg/l) pluss fjernet organisk stoff (humus). Dersom alt kitosan holdes tilbake i filteret utgjør dette 1,6 g/m<sup>3</sup>. Basert på målinger av nitrogen i råvann og rentvann etter kitosanfelling synes dette å være en god antakelse da det er svært lite nitrogen i rentvannet som stammer fra kitosan (kitosan inneholder ca. 8% nitrogen). Det ble i gjennomsnitt fjernet 1,1 g TOC pr. m<sup>3</sup> vann. Dersom man antar at TOC utgjør ca. 50% av organisk stoff i humus (Gjessing 2000), blir den fjernede tørrstoffmengden det dobbelte; 2,2 g pr. m<sup>3</sup>. Sammen med kitosan utgjør dette en tørrstoffmengde på 3,8 g/m<sup>3</sup> rentvann. I tillegg kommer eventuelle uorganiske partikler, som det er lite av i.h.t. turbiditetsmålingene.

Tilsvarende beregning kan gjøres for JKL. Tilsatt JKL-mengde (3,8 gFe/ m<sup>3</sup>) tilsvarer 0,068 mol/m<sup>3</sup>. En antar at alt dette felles ut som jernhydroksid, Fe(OH)<sub>3</sub>, som tilsvarer 7,3 g/m<sup>3</sup>. I tillegg kommer TOC-mengden som fjernes, 2,2 gC/ m<sup>3</sup> som ganges med en faktor på 2, som da blir 4,4 g tørrstoff pr. m<sup>3</sup>. Total tørrstoffmengde som produseres ved JKL-felling blir 11,7 g/m<sup>3</sup>, altså ca. 3 ganger tørrstoffmengden ved kitosanfelling.

**Tabell 3.** Slamproduksjon i pilotanlegget ved en kitosandosering på 1,6 mg/l. Verdiene er basert på målinger av suspendert stoff i spylevann og fortykket slam.

	Beregninger basert på spylevann (n=2)	Beregninger basert på fortykket slam (n=2)	Beregnet slammengde ved JKL-felling
Konsentrasjon, STS (mg/l)	153	4300	
Volum pr. 17 timer, liter	107	4	
Tørrstoffproduksjon pr. 17 timer, g	16,4	17,2	
Tørrstoffproduksjon pr. m <sup>3</sup> rentvann, g	3,9		11,7

I tillegg til de nevnte tørrstoff-analysene, ble spylevannet analysert m.h.p. totalt tørrstoff ved inndampning (TTS), total gløderest (TGR), totalt nitrogen (tot-N), totalt organisk karbon (TOC), og jerninnhold. I tillegg ble dekantvannet etter 2 timers sedimentering analysert m.h.p. STS, TOC, tot-N og jern (tabell 4).

Hovedmengden av tørrstoffet i spylevannet består av humus/kitosan-fnokker avsatt i løpet av filtreringstiden. Disse organiske fnokkene vil også utgjøre den dominerende delen av totalt tørrstoff som ble målt til 170 mg/l. Total gløderest (<20 mg/l) utgjør den uorganisk delen av totalt tørrstoff.

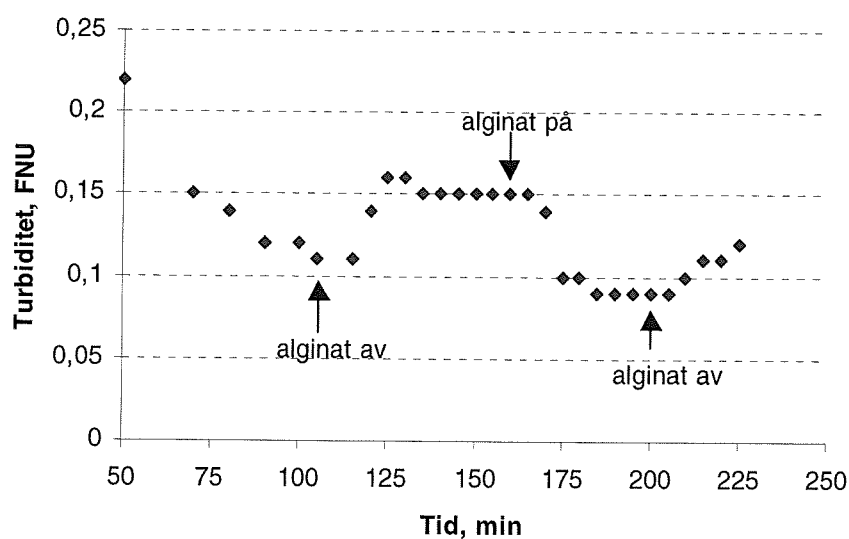
Innholdet av organiske fnokker i spylevannet gir seg utslag i høy verdi for TOC (36,2 mg/l). Både utfelt humus og kitosan bidrar til TOC-verdien. Begge disse er relativt tungt biologisk nedbrytbare. Nitrogeninnholdet i spylevannet var 3,0 mg/l, og stammer fra kitosan og humus. Jerninnholdet var 1,8 mg/l. Etter 2 timers fortykning var innholdet av alle disse kraftig redusert i dekantvannet (klarfasen).

**Tabell 4.** Kjemisk analyse av spylevannet fra filteret etter 17 timers driftstid (kitosandose 1,6 mg/l, filtreringshastighet 9,2 m/h).

Parameter	Spylevann	Konsentrat etter 2 timer	Klarfase etter 2 timer
Suspendert tørrstoff, mg/l	153	4300	10,4
Totalt tørrstoff, mg/l	170	4410	
Total gløderest, mg/l	<20	1320	
Total nitrogen, mg N/l	3,0		0,93
Totalt organisk karbon, TOC, mg/l	36,2		9,6
Jern, mg/l	1,8		0,21

### 3.2.5 Rentvannskvalitet ved bruk av alginat i kombinasjon med JKL

I pilotforsøk ble alginat testet i kombinasjon med JKL. Med hensyn på fargetall var det ikke mulig å påvise forskjeller i effekt ved å benytte kombinasjonen sammenliknet med JKL alene. Imidlertid var det en liten men klar forbedring i turbiditet når 0,5 mg/l alginat ble benyttet sammen med JKL (2,5 mgFe/l) (figur 10). Når alginatdoseringen ble slått av steg turbiditetsverdiene med ca. 0,05 NTU. Tilsvarende reduksjon ble observert når alginatdoseringen ble slått på. Effekten av alginat kan være viktig i forbindelse med å optimalisere direktefiltreringsprosessen som en hygienisk barriere. Andre undersøkelser har nemlig vist at turbiditeten i rentvannet etter filtrering er direkte korrelert med bakterietall (Ndiongue og medarb. 2000). Lav rentvannsturbiditet gir vann av god hygienisk kvalitet.



**Figur 10.** Effekten av å benytte 0,5 mg/l alginat i kombinasjon med JKL (2,5 mgFe/l) m.h.p. turbiditet. Fellings-pH 4,1.

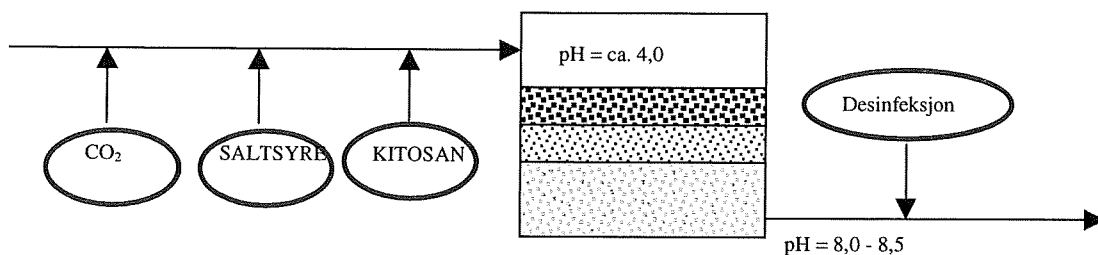
## 4. Fellingsanlegg med kitosan og jern

### 4.1 Felling med kitosan

#### 4.1.1 Beskrivelse

Felling med kitosan på tremediafilter foregår ved at råvannet tilføres kitosan, saltsyre og CO<sub>2</sub> før vannet går inn på tremediafilteret (figur 11). Kitosan er løst i saltsyre og fører derfor til en pH reduksjon. For å gi den ønskede fellings-pH benyttes saltsyre i tillegg. CO<sub>2</sub> tilsettes for å øke råvannets evne til å løse marmor og derved heve alkaliteten.

Ved felling med kitosan viser forsøkene at optimal pH ligger i området 3,0 til 4,0. Av hensyn til mulig korrosjonsfare er det valgt å benytte en fellings-pH på 4,0. I vannvolumet over filtermaterialene gis humus/kitosanfnokker tid til å bygge seg opp. Fnokkene settes av i antrasitt og kvartssandfilteret. Når vannet kommer inn på marmorfilteret er det surt og inneholder fritt CO<sub>2</sub>, og oppløsning av marmor starter.



Figur 11. Prinsippskisse av felling med kitosan på tremediafilter

#### 4.1.2 Erfaringer med prosessen

Bruk av kitosan til behandling av drikkevann er en forholdsvis ny metode. Prosessen har hittil vært testet ut i pilotforsøk ved flere vannverk, bl.a. Vestfold interkommunale vannverk (Mollat og Finsrud 2000), Ølen vassverk (Liltved 2000a), Haugesund vannverk (Liltved 2000c), Sjunken vannverk (Liltved og medarb. 2001) og Blakstad vannverk (Liltved 2000b). I tillegg er det gjort flere forsøk i pilotskala ved SINTEF og NTNU i Trondheim (Eikebrokk 2000). Fullskala forsøk i oppstrøms sandfiltre har vært forsøkt ved Sjunken vannverk og ved Ølen vassverk.

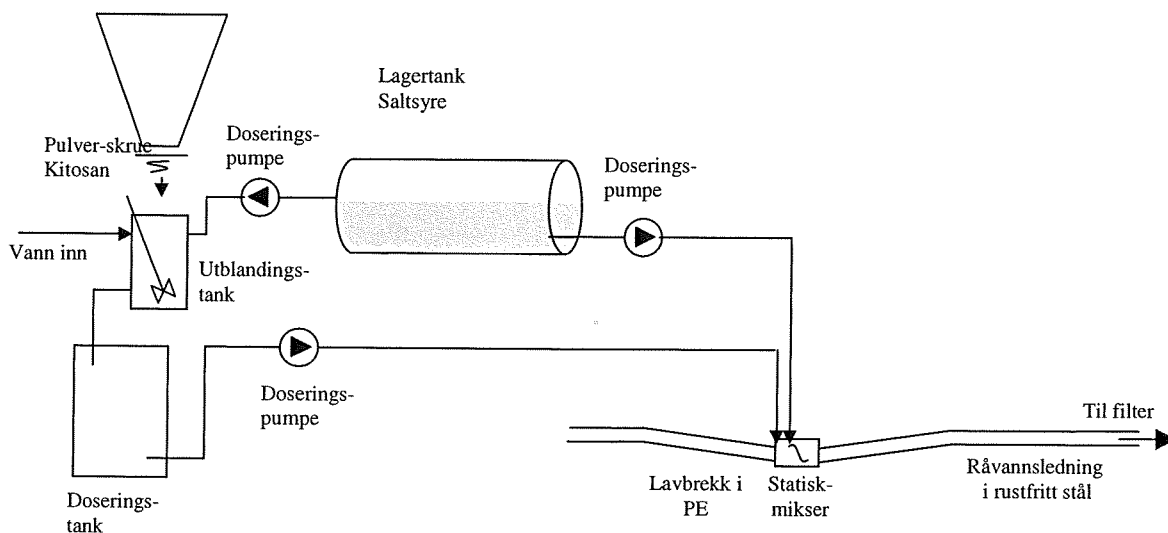
I mars 2001 startet fullskalaforsøk med prosessen ved nye Haugesund vannverk. Bjoa vannbehandlingsanlegg i Hordaland startet opp med kitosanfelling på samme tidspunkt (Liltved og Knudsen 2000). Driften ved begge disse anleggene vil bli nøye fulgt opp og erfaringene blir viktige i forhold til prosessens videre anvendelse.

#### 4.1.3 Beskrivelse av doseringsutstyr/kjemikaliehåndtering

Kitosan kan leveres både flytende og som pulver til anlegget. I flytende form er innholdet av kitosan 1-2 %. For større anlegg vil det være hensiktsmessig (kostnadsbesparende) å få kitosan i pulverform. Det må da settes inn en bereder med propellomrører for oppløsning av kitosan på anlegget (figur 12). I berederen blandes vann og kitosan (1-2 %) løsning, og deretter tilsettes saltsyre. Fra berederen føres den ferdig løste kitosanblandingen til en doseringstank. Doseringen foregår med en slangepumpe eller membranpumpe.

Saltsyren kan leveres til anlegget i forskjellige konsentrasjoner. Sterk saltsyre med konsentrasjon  $>35\%$  vil avgi saltsyredamp som er meget giftig og korrosiv. Det er derfor ønskelig å få saltsyre med lavere konsentrasjon til anlegget (20 - 30 %). Saltsyren skal både benyttes til oppløsning av kitosan og til pH-justering av råvannet.

Bygningsmessig må det legges inn syrefast dekke under kjemikalietanker. Det bygges opp ett "basseng" med sluk rundt tankene for oppsamling ved en eventuell lekkasje.



Figur 12. Prinsippkisse av kitosanutblanding og dosering.

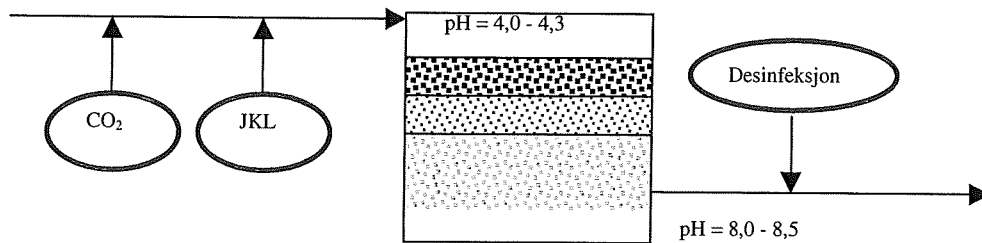
## 4.2 Felling med jern

### 4.2.1 Beskrivelse

Felling med jern på nedstrøms tremediafilter, der det nederste laget er marmor, går under navnet Moldeprosessen (figur 13). Metoden ble utviklet for å kombinere direktefiltrering og karbonatisering i ett og samme filter.

Det finnes flere forskjellige variasjoner av Moldeprosessen. Primært benyttes det jernbaserte fellingskjemikalier der JKL (jernkloridsulfat) er det mest vanlige. Noen anlegg benytter imidlertid aluminiumsalter.

Ved felling med jern ligger optimal pH i området 4,0 - 4,3. Fellings-pH styres normalt av mengden fellingskjemikalie som tilsettes. Dette er den viktigste prosessvariabel for å oppnå en god fellingsprosess med stabile fnokker som lar seg utskille i sandfilterdelen. Ved så lav fellings-pH vil vannet som kommer inn på marmordelen av filteret raskt starte oppløsningen av marmoren. For å øke denne oppløsningen, samt for å finjustere korrosjonsparametrene, tilsettes aggressiv  $\text{CO}_2$ . Dermed oppnår man ønsket pH økning, økt kalsiuminnhold og økt alkalitet (karbonatisering). Videre vil eventuelt restmetall felle ut som  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , slik at marmorfilteret vil fungere som en ekstra barriere mot høyt Fe-innhold i rentvannet.



Figur 13. Prinsippskisse av felling med jern på tremediafilter

#### 4.2.2 Erfaringer med prosessen

Totalt er det i dag bygget ut 20 anlegg med ulike varianter av Moldeprosessen. Det første anlegget ble bygget i 1994. Anleggstørrelser varierer fra dimensjonerende kapasitet på 30 l/s til 580 l/s.

Følgende alternative prosessløsninger er benyttet:

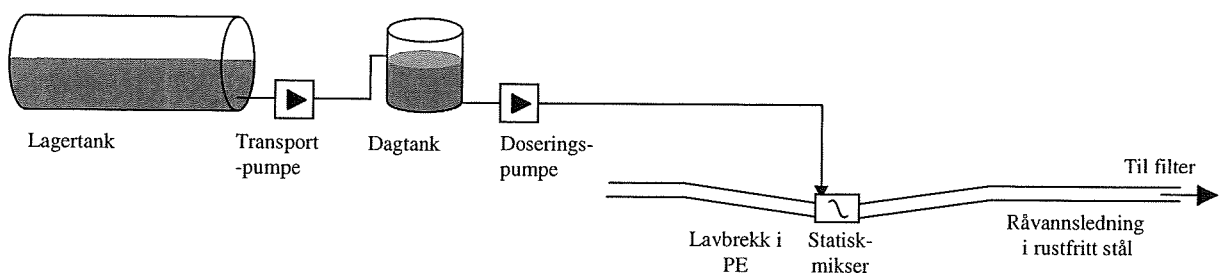
- Modningsvann og spylevannets klarvannsfase kjøres i retur inn på råvannssiden
- CO<sub>2</sub> benyttes ikke.
- Filtrene spyles med råvann
- Aluminiumsulfat benyttes som fellingskjemikalie

Erfaringer har vist at prosessen er enkel i drift og robust i forhold til variasjoner i råvannskvaliteten.

#### 4.2.3 Beskrivelse av doseringsutstyr/kjemikaliehåndtering

Figur 14 viser en typisk installasjon for dosering av JKL i et større anlegg. JKL leveres ferdig utblandet fra tankbil til lagertank med lagerkapasitet til 1-3 måneders forbruk. JKL inneholder 11,7 vekt-% treverdig jern. Fra lagertanken mates JKL over til doseringstank/dagtank med en transportpumpe. Doseringpumpene styres etter råvannsmengde inn på anlegget og doserer inn på råvannsledningen.

Råvannsledningen utstyres med en statisk mikser i innblandingpunktet for å sikre god innblanding. Doseringpunkt for JKL vil ofte plasseres sammen med, eller rett etter dosering av CO<sub>2</sub>.



Figur 14. Prinsippskisse for dosering av JKL i et større anlegg

JKL er et svært korrosivt kjemikalium som er tyngre enn vann. Dersom det doseres JKL inn på råvannsledningen (i rustfritt stål) uten at det går vann i ledningen, vil JKL legge seg på bunnen av ledningen og tære hull på denne. Det legges derfor gjerne inn ett lavbrekk i polyetylen slik at eventuell JKL som måtte doseres uten at det går vann i råvannsledningen legger seg på bunnen av PE bendedet.

Alternativt bygges doseringsanlegget uten transportpumpe og dagtank. Det doseres da direkte fra lagertank. For ekstra kontroll med dosert mengde JKL kan det monteres flow-meter på doseringsslagen.

Lagertanken bygges normalt i GUP og doseringsslanger i PE. For dosering benyttes membranpumpe, slangepumpe eller liknende. Bygningsmessig må det legges inn sluk i kjemikalierom og støpt kanter rundt kjemikalietanker for oppsamling av JKL ved eventuell lekkasje.

## 5. Ombygging av eksisterende anlegg til fargefjerning

### 5.1 Nøkkeldata eksisterende vannverk

Før eksisterende behandlingsanlegg kan bygges om til fargefjerning må en ha fastlagt nødvendige dimensjoneringskriterier for de aktuelle prosessene. Utforming av eksisterende anlegg legger også sterke føringer på valg av løsninger og vil påvirke ombyggningskostnadene vesentlig. I tabell 5 er det vist viktige nøkkeldata for de eksisterende anleggene

**Tabell 5.** Nøkkeldata for de eksisterende anleggene.

Kommune	Grimstad	Arendal	Lillesand	Risør	Tvedestrand
Kilde	Rorevann	Rorevann	Grimevann	Auslands- vann	Østeråvann
$Q_{dim}$ (l/s)	312,5	560	160	107,5	70
$Q_{midlere}$ (l/s)	107	240	45	43	33
$Q_{midl}$ i dag (l/s)	75		40		
Filterareal (m <sup>2</sup> )	75	134	36	32	24
Antall filter (stk)	5	8	4	4	4
Dim filterhast (m/time)	15	15	16	12	10,5
Midlere filterhast (m/time)	5,1	6,4	4,5	4,8	5,0
Høyde bunn filter - topp spylerenne (mm)	3750	5400	4450	3750	2800
Høyde bunn - topp filter (mm)	4000	5550	4500	4100	3300
Avstand til avløpsnett (m)	900 (Derav 800m sjøledning)			Ca. 50m til SP110.	



## 5.2 Dimensjoneringskriterier

I tabell 6 er de viktigste parametere for dimensjonering av prosessanleggene listet opp. For felling med JKL er disse kjent fra driftserfaring fra mange anlegg. Når det gjelder felling med kitosan har forsøkene besvart mange, men ikke alle parametere, og det er sparsomt med driftserfaringer som kan underbygge svarene fra forsøksseriene.

**Tabell 6.** Viktige parametere for dimensjonering av prosessanleggene. Tallene for kitosan er i hovedsak basert på pilotforsøkene.

Parameter	KITOSAN	JKL
Maksimal filterhastighet (m/t)	15 m/h	9 m/h
Filtersyklus ved farge 20-30	minst 24 timer	24 timer
Filtersammensetning	I pilotforsøkene er det benyttet samme filtersammensetning som for JKL	0,6 m antrasitt/leca (0,8 - 1,6 mm) 0,4 m kvartssand (0,4 - 0,6 mm) 2,0 m marmor (1 - 3 mm) 0,5 m støttelag (5-15 mm)
Spylevannmengde (m/s)	I pilotforsøkene er det benyttet samme spylevannsmengde og spyletid som for JKL	Normalt 50-60 m/time, 3-6 min spyletid
Spyleluft	I pilotforsøkene ble det ikke benyttet lyftspyling. Dette er trolig påkrevd i fullskala	Normalt 60-70 m/time 1-2 min spyletid
Modningstid	30 minutter	45 minutter
Slamproduksjon	Ca 4 g/m <sup>3</sup>	Ca 12 g/m <sup>3</sup>
Sammensetning av slam	Organisk materiale	Jern og organisk materiale

I de videre kapitlene har vi utdypet og diskutert de forskjellige parameterene.

## 5.3 Filterareal (behov)

### 5.3.1 Kitosan

Det ble kjørt en forsøksserie med en filterhastighet på 14,7 m/h. Dette er høy hastighet og bortimot det dobbelte av hva som regnes for normalt for andre typer fellingsanlegg. Forsøkene viste at vannkvaliteten endret seg lite i forhold til en hastighet på 9,2 m/h, eneste parameter med signifikant endring var turbiditeten som steg fra 0,05 til 0,14. Erfaringene fra drift av rene marmorfilter viser også en tendens til turbiditetsøkning når en drifter anleggene ved denne hastigheten.

En forklaring på den høye filterhastigheten kan være at en produserer vesentlig mindre slam når en feller med kitosan sammenliknet med metallsalter. Utfra forsøket kan en sette 15 m/h som dimensjonerende hastighet, alle de eksisterende anleggene vil ha filterflate nok til denne hastigheten.

### 5.3.2 Jernfelling

Erfaring fra en rekke anlegg viser at kontinuerlig drift med filterhastigheter over 9-10 m/h gir anstrengt drift. Tilgjengelig filterflate vil bli kritisk for anleggene i Arendal, Grimstad og Lillesand. Risør vil antakelig kunne drives med eksisterende flate og Tvedestrand har filterflate nok.

### 5.4 Filtersyklus

Filtersyklus er antall timer mellom hver gang filteret må tilbakespyles. Med et fargetall på 20-30 mg Pt/l i råvannet og en filtreringshastighet på 9 m/h, vil et filter med jernfelling ha en filtersyklus på ca. 20 til 24 timer. Forsøkene indikerer at felling med kitosan kan gi minst like lange sykluser, også ved en filtreringshastighet opp til 15 m/h. Dette skyldes sannsynligvis at kitosanfelling produserer mindre slam.

I praktisk vannverksdrift bør en ikke ha sykluser under 16 til 12 timer. Korte syklustider gir høyt spylevannsforbruk, og effektiv filterdrift blir redusert på grunn av tid til spyling og modning.

### 5.5 Filtersammensetning

I forsøkene med kitosanfelling ble det ikke gjort forsøk med mange forskjellige filtermaterialer. Det ble i hovedsak benyttet en filteroppbygging som tilsvarer det som er normalt for et Moldeprosessanlegg. I noen forsøk ble Filtralite fra as Norsk Leca sammenliknet med tilsvarende kvalitet antrasitt. Disse viste tilnærmet like egenskaper m.h.p. fargefjerning og trykkoppbygging.

Kitosan gir et slam med mindre fnokker enn jern og antakelig finnes det en mer optimal filtersammensetning enn den som benyttes i Moldeprosessen. Foreløpig benyttes imidlertid samme filteroppbygging som i Moldeprosessen.

Oppbyggingen av filteret vil være en kritisk parameter ved ombygging av eksisterende anlegg, da tilgjengelig filterhøyde i flere av anleggene er lav. Dette gjelder spesielt for anlegget i Tvedestrand. Antrasitt krever forholdsvis stort rom for ekspansjon ved spyling. Hvis man kan drive anlegget kun med sand og marmor vil man spare høyde. Høyde kan også spares ved å ha minimalt med marmor, og ved å benytte filterbunner som ikke krever støttelag.

Dimensjonerende kontakttid med marmor er 12 min. Ved en filtreringshastighet på 10 m/h betyr dette en marmorhøyde på 2 meter, ved 15 m/h kreves 3 meter marmorhøyde. Ved å redusere kontakttiden fra f.eks. 12 min til 6 min (d.v.s. 1,5 m marmorhøyde ved 15 m/h) vil alkalitetsverdien bli redusert med anslagsvis 0,2-0,3 mmol/l.

### 5.6 Spylevannsmengde

Erfaringene fra Moldeprosessen er at filteret må spyles med en vannmengde tilsvarende 50-60 m/h, d.v.s. en spylevannsmengde på 4-5 m<sup>3</sup> pr. m<sup>2</sup> filterareal dersom man regner 5 min spyletid. Dette er 10-20 m/h lavere enn det marmoranleggene er dimensjonert for. 50 m/h var også spylevannsmengden ved forsøkene som ble utført med kitosanfelling i dette prosjektet.

Spylevannsmengden må tilpasses slik at filtermassen fluidiserer uten å bli kastet ut i renna. Det er derfor filtersammensetningen, og ikke fellingskjemikaliet, som dimensjonerer spylevannsanlegget. Når en har et filter med antrasitt, som lett spyles ut i renna, må mengden kontrolleres nøye. Dette

medfører behov for mengdemåling og regulering. Anleggene i Risør, Tvedestrand og Lillesand mangler dette.

## 5.7 Spyleluft

Luftspyling er nødvendig for å hindre oppbygging av klumper med sammenkittet filtermateriale (Mudballs) i filteret. De fleste anleggene som benytter Moldeprosessen spyles med luft hver gang filteret spyles med vann. Noen få anlegg spyles med luft kun en sjelden gang, for eksempel en gang i uka.

Pilotforsøkene ble ikke drevet lenge nok til å gi noe informasjon om behovet for luftspyling ved bruk av kitosan, men det antas at det er samme behov her som for jernfelling. Ingen av de eksisterende anleggene har utstyr for luftspyling. Dette medfører behov for blåsemaskiner, rørsystemer og nye filterbunner dimensjonert for spyleluft.

## 5.8 Håndtering av spylevann og modningsvann

I prinsippet skal det søkes om tillatelse til alt utslipp, men i.h.t. det nye lovverket er det kommunene selv som kan gi slik tillatelse. Med unntak av Tvedestrand slipper de eksisterende marmoranleggene spylevannet tilbake til kilden. Tvedestrand har utslipp til bekk/sjø. Erfaringen fra vannverk med fargefjerning basert på felling med metallsalter er at det normalt ikke gis tillatelse til å lede spylevannet tilbake til kilden. Utslipp til sjø er blitt godkjent.

Et alternativ til direkte utslipp av alt spylevann, er å la slamfasen sedimentere ut. Fortykket slam ledes så til avløp for videre behandling på et renseanlegg, eller det avvannes på vannverket. Den klare delen av spylevannet ledes tilbake til kilde/innløp. Når fortykket slam ledes til kommunalt ledningsnett/avløpsrenseanlegg bør man komme fram til påslippsprosedyrer for å unngå støtbelastninger. Slam som stammer fra JKL-felling vil kunne inneholde så mye aktive Fe-forbindelser at det kan ha en positiv effekt på kjemikalieforbruket ved kjemiske avløpsrenseanlegg. Da kitosan inneholder ca. 8% nitrogen vil slam fra kitosanfelling bety en økt nitrogenbelastning på avløpsrenseanlegget. Imidlertid vil dette være på partikulær form som utfelte kitosan-humuskomplekser og derfor i hovedsak tas ut som slam i renseanlegget. Uansett fellingsmiddel bør det utføres enkle beregninger for å vurdere effekten av den økte belastningen.

Sammenliknet med avløpsslam er slam fra vannverk normalt vanskelig å avvanne. Drift av avvanningsutstyr som sentrifuger eller båndpresser vil representere en betydelig kostnad. Det foreligger ikke erfaringer med avvanning av kitosanslam. Modningsvann har en normalt fått tillatelse til å slippe tilbake i kilden.

### 5.8.1 Kitosan

Når kitosan benyttes som fellingsmiddel kan det være en mulighet å slippe alt spylevann og modningsvann ut i kilden. Dette er imidlertid avhengig av lokale resipientforhold som må vurderes i hvert enkelt tilfelle. Det er rapportert at spylevann fra kitosanfelling ikke har hemmende effekt m.h.p. vekst av alger (Liltved og medarb. 2001) eller har påviselige gifteffekter overfor laksesmolt ved fortynninger ned til 1:100 (ILAB 2000).

Alternativt kan det foretas en satsvis sedimentering der spylevannets klarvannsfase sammen med modningsvannet ledes tilbake til kilden, og den oppkonsentrerte slamfasen føres til avløp eller behandles lokalt. Et alternativ kan være å etablere laguner for spylevannet hvor slamfasen holdes

tilbake mens klarfasen ledes ut i overløp. Erfaringer fra pilotforsøk ved Haugesund vannverk (Liltved 2000c) og fra forsøk i dette prosjektet (se kapittel 3.2.4) tyder på at slamfasen utgjør 4-5% av spylevannsmengden etter 2 timers sedimentering. Dette indikerer at en stor del av klarfasen kan ledes tilbake til kilden.

Det er utført et forskningsarbeide ved Senter for jordfaglig miljøforskning på hvorvidt slamfasen er egnet som jordforbedringsmiddel, og det kan virke som om den har et potensiale for dette. Flere forsøk har vist at kitosan kan ha positive effekter m.h.p. plantevekst. I samarbeid med Norsk Jordforbedring AS vil NIVA forsøke å få finansiert et forskningsprosjekt som tar sikte på å få fram et jordforbedringsprodukt av avvannet slam.

### 5.8.2 Jernkloridsulfat

Ved en normal anleggsutforming legges det opp til en satsvis sedimentering av spylevannet. Etter ca 2 timers sedimentering vil spylevannet ha skilt seg i en klarvannsfase og en slamfase, der slamfasen utgjør i underkant av 10 %. I praksis lar det seg gjøre å hente ut ca 85 % klarvann. Klarvannsfasen sammen med modningsvannet vil i de fleste tilfeller kunne ledes tilbake til kilden, men det vil være nødvendig å søke fylkesmannen om godkjenning for dette.

Et annet alternativ er å føre klarvannsfase og modningsvann tilbake til råvannsidan av anlegget. Dette må gjøres via et utjevningssjø basseng slik at en får dosert dette proporsjonalt med innløpsmengde. Dette er en mye brukt løsning, og for mange råvannstyper vil dette være positivt da returvannet inneholder karbonat.

Ved felling med JKL vil det ikke være aktuelt å få tillatelse til utslipp av slamfasen til kilden. Denne må ledes til offentlig avløpsnett eller til en sjøresipient. Det kan være en mulighet å få utslippstillatelse for jernslam til Nidelva.

Ved høye kostnader forbundet med overføring av slam til offentlig avløp kan det være et alternativ med en mer omfattende slambehandling lokalt. Dette medfører fortykning og avvanning på vannverket.

### 5.8.3 Slammengder

Årlig slamproduksjon som 100% tørrstoff er vist i tabell 7. Slamproduksjonen er basert på midlere rentvannsproduksjon ( $Q_{\text{midlere}}$ ) ved de ulike vannverkene og felling med JKL ( $4 \text{ gFe/m}^3$ ) og kitosan ( $1,6 \text{ g/m}^3$ ).

Kitosanslammet vil inneholde omtrentlig 42% kitosan og 58% humus mens jernslammet vil inneholde 62% jernhydroksid  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  og 38% humus. Da flere forsøk har vist at kitosan kan ha positive effekter m.h.p. plantevekst, kan man tenke seg at det er mulig å komme fram til et slamprodukt som har kommersiell interesse. Dersom slamfasen ledes til kommunalt renseanlegg vil sannsynligvis mye av både kitosanslammet og JKL-slammet bli tatt ut i eksisterende sedimenteringsbasseng. Humus og kitosan er relativt tungt biologisk nedbrytbart.

**Tabell 7.** Beregnet slamproduksjon som tørrstoff ved bruk av JKL og kitosan basert på midlere rentvannsproduksjon ( $Q_{\text{midlere}}$ ) ved de ulike vannverkene.

Kommune	Grimstad	Arendal	Lillesand	Risør	Tvedestrand
$Q_{\text{midlere}}$ (l/s)	107	240	45	43	33
$Q$ (m <sup>3</sup> /år)	3374352	7568640	1419120	1356048	1040688
Årlig slammengde med kitosan som koagulant	13,2 tonn slam som inneholder 5,4 tonn kitosan	29,5 tonn slam som inneholder 12,4 tonn kitosan	5,5 tonn slam som inneholder 2,3 tonn kitosan	5,3 tonn slam som inneholder 2,2 tonn kitosan	4,1 tonn slam som inneholder 1,7 tonn kitosan
Årlig slammengde med JKL som koagulant	39,5 tonn slam som inneholder 24,5 tonn Fe(OH) <sub>3</sub>	88,6 tonn slam som inneholder 54,9 tonn Fe(OH) <sub>3</sub>	16,6 tonn slam som inneholder 10,3 tonn Fe(OH) <sub>3</sub>	15,9 tonn slam som inneholder 9,9 tonn Fe(OH) <sub>3</sub>	12,2 tonn slam som inneholder 7,6 tonn Fe(OH) <sub>3</sub>

## 5.9 Kjemikalieforbruk - kostnader

### 5.9.1 Kitosan/saltsyre

Forsøkene viser at en dosering på 1,6 g kitosan/m<sup>3</sup> vil være tilstrekkelig for å oppnå den ønskede reduksjon i fargetall. Imidlertid må det tilsettes saltsyre for å oppnå optimal fellings-pH. Nødvendig dose saltsyre vil være avhengig av alkalitet i råvannet. Det brukes også saltsyre for å løse kitosan i berederen.

I forsøkene som ble utført på et råvann med alkalitet ca 0,05 mmol/l og fellings-pH på 4 vil totalt forbruk av 35% konsentrert saltsyre bli om lag 5 ml/m<sup>3</sup>. For kitosan er det benyttet en enhetskostnad på 150 kr/kg kitosan fritt levert til anlegget. For saltsyre er det benyttet en enhetspris på 2 300 kr/m<sup>3</sup> 35 % saltsyre fritt levert anlegget.

### 5.9.2 JKL

JKL har ett jerninnhold på 11,6 % og en egenvekt på 1,5 kg/m<sup>3</sup>. Dette gir et jerninnhold på 175 g Fe/l JKL eller 116 g Fe/kg JKL. Forsøkene viser gode resultater med tilsetning av ca. 4,0 g Fe/m<sup>3</sup> tilsvarende 34,5 g JKL/m<sup>3</sup>. Det er benyttet en enhetspris på 1200 kr/tonn JKL fritt levert.

### 5.9.3 Forbruk av CO<sub>2</sub>

Nødvendig forbruk av CO<sub>2</sub> vil reduseres dersom anleggene bygges om til fellingsanlegg med koagulering i et lavt pH område. I tabell 8 er teoretisk beregnede verdier for korrosjonsparametrene ved ulike fellings-pH og CO<sub>2</sub>-doser vist. Som det framgår reduseres behovet for CO<sub>2</sub> ved redusert fellings-pH, dvs økt syretilsats.

For å oppnå fellings-pH 4,0 kreves det for kitosan en dose på om lag 1,6 g/m<sup>3</sup> syreløst kitosan og 5 ml HCl/m<sup>3</sup>. For å oppnå fellings-pH 4,0 kreves det en JKL-dose på ca 4,0 g Fe/l. Det er forutsatt oppløsning av marmor til 95 % av likevekt. Dette tilsvarer om lag 15 minutter oppholdstid (EBCT) i marmoren.

**Tabell 8.** Teoretisk beregnede verdier for korrosjonsparametrene ved ulike fellings-pH og CO<sub>2</sub>-doser.

	0 mg CO <sub>2</sub> /l	5 mg CO <sub>2</sub> /l	10 mg CO <sub>2</sub> /l	
Råvann	9.2	8.5	8.2	pH
	7.2	10.9	14.8	Kalsium
	0.31	0.50	0.69	Alkalitet
fellings-pH 4,3	8.8	8.3	7.9	pH
	10.3	14.2	18.1	Kalsium
	0.37	0.57	0.76	Alkalitet
fellings-pH 4,0	8.3	8.1	7.8	pH
	11.9	16.1	19.9	Kalsium
	0.40	0.61	0.80	Alkalitet
fellings-pH 3,8	8.4	7.9	7.8	pH
	14.1	17.9	22.1	Kalsium
	0.45	0.64	0.85	Alkalitet

For den aktuelle råvannskvaliteten med felling ved pH 4 vil nødvendig dose CO<sub>2</sub> være 5,0 mg CO<sub>2</sub>/l. I de etterfølgende kostnadsberegninger er det benyttet en dose på 6,0 mg CO<sub>2</sub>/l. Det er benyttet en enhetspris på 2500 kr/tonn CO<sub>2</sub> fritt levert.

#### 5.9.4 Marmorforbruk

Marmorforbruket styres av den mengde syre og CO<sub>2</sub> som settes til før filtreringen. Ved en fellings-pH på 4,0 og tilsats av 6 mg CO<sub>2</sub>, vil kalsiummengden som tilføres rentvannet være om lag 14 mg Ca/l, tilsvarende 35 mg CaCO<sub>3</sub>/l.

I tillegg vil det være et tap av finstoff som øker med hyppigheten på filterspylingene. Det er antatt et tap av 10 % finstoff ved felling med kitosan og 15 % finstoff ved felling med JKL. Dette gir et marmorforbruk på 38,5 mg CaCO<sub>3</sub>/l og 40,2 mg CaCO<sub>3</sub>/l ved bruk av henholdsvis kitosan og JKL. Det er benyttet en enhetspris på 600 kr/tonn CaCO<sub>3</sub> fritt levert.

#### 5.9.5 Klor

Nødvendig klorforbruk vil være avhengig av innholdet av organisk stoff i rentvannet. Felling med kitosan viser at en mindre andel av det organiske stoffet fjernes sammenliknet med JKL-felling slik at klorforbruket vil bli høyere.

#### 5.9.6 Oppsummering kjemikaliekostnader

I tabell 9 og tabell 10 er det vist hvilke kjemikaliekostnader som må påregnes i de forskjellige fellingsalternativene. Totale kjemikaliekostnader, inklusive tap ved modning, er vist i en kommentar etter tabellene. Det er da tatt hensyn til mindre modningsvann ved kitosanfelling som følge av lengre filtersyklus.

**Tabell 9.** Kjemikaliekostnader ved felling med kitosan

Kjemikalie	Doseringsmengde	Enhetspris	Kostnad
Kitosan	1,6 g kitosan/m <sup>3</sup>	150 kr/kg	0,240 kr/m <sup>3</sup>
Saltsyre	5,0 ml HCl/m <sup>3</sup>	2 300 kr/m <sup>3</sup>	0,011 kr/m <sup>3</sup>
CO <sub>2</sub>	6,0 g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	2 500 kr/tonn	0,015 kr/m <sup>3</sup>
Marmor	55 g CaCO <sub>3</sub> /m <sup>3</sup>	600 kr/tonn	0,033 kr/m <sup>3</sup>
Klor	0,4 g Cl/m <sup>3</sup>	3 000 kr/m <sup>3</sup>	0,008 kr/m <sup>3</sup>
<b>Totalt</b>			<b>ca 0,300 kr/m<sup>3</sup></b>

Korrigert for tap av kjemikalier til modningsvann gir dette en enhetskostnad på  $0,3 \text{ kr/m}^3 \times 1,05 = 0,315 \text{ kr/m}^3$ .

**Tabell 10.** Kjemikaliekostnader ved felling med JKL (jernkloridsulfat)

Kjemikalie	Doseringsmengde	Enhetspris	Kostnad
JKL	4,0 g Fe/l	1200 kr/tonn	0,042 kr/m <sup>3</sup>
CO <sub>2</sub>	6,0 g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	2 500 kr/tonn	0,015 kr/m <sup>3</sup>
Marmor	55 g CaCO <sub>3</sub> /m <sup>3</sup>	600 kr/tonn	0,033 kr/m <sup>3</sup>
Klor	0,25 g Cl/m <sup>3</sup>	3 000 kr/m <sup>3</sup>	0,005 kr/m <sup>3</sup>
<b>Totalt</b>			<b>0,095 kr/m<sup>3</sup></b>

Korrigert for tap av kjemikalier til modningsvann gir dette en enhetskostnad på  $0,095 \text{ kr/m}^3 \times 1,07 = 0,101 \text{ kr/m}^3$ .

### 5.9.7 Ombyggingsbehov

Ingen av anleggene har utstyr for dosering av fellingskjemikalier, men noen anlegg har doseringsanlegg for lut. Deler av lutanlegget kan benyttes til dosering av fellingskjemikalie. Alle anleggene har utstyr for CO<sub>2</sub> dosering. Anlegg for saltsyre og oppløsning av kitosan i syre finnes ikke på noen av de eksisterende anleggene.

## 6. Referanser

Eikebrokk B. og Saltnes T. NOM removal from drinking water by chitosan coagulation and filtration through light-weight expanded clay aggregate filters. Paper presented at the conference Innovations in conventional and advanced water treatment processes, Amsterdam 26-29 september 2000.

Gjessing E. 2001. Pers. meddel.

ILAB 2000. Toxicity testing and estrogenic effects of drainage water from a water treatment installation using ChitoClear (Primex chitosan) as flocculating agent. Test species: Salmon juveniles (*Salmo salar*). Test reported 18.05.2000. ILAB Environmental Laboratory, Bergen.

Liltved H. og Norgaard E. 1999. Humusfjerning ved bruk av den naturlige polymeren kitosan som koagulant. Tidsskriftet VANN nr. 3, s. 489-498.

Liltved H. og Knudsen C.H. 2000. Nye Ølen Vassverk planlegges med kitosan som fellingsmiddel for humus. Kommunalteknikk nr. 3-2000, s. 32-34.

Liltved H. 2000a. Direktefiltrering med kitosan som koagulant ved Ølen Vassverk. NIVA rapport 4172-2000, 23 s.

Liltved H. 2000b. Bruk av kitosan fra BioEffect AS for fjerning av humus fra drikkevann. NIVA rapport LNR 4174-2000, 16 s.

Liltved H. 2000c. Fjerning av farge med kitosan som koagulant ved Haugesund vannverk. NIVA rapport LNR 4270-2000, 23 s.

Liltved H., Muri T. og Knudsen CH. 2001. Direktefiltrering med kitosan som koagulant i oppstrøms sandfilter ved Sjunken Vannverk. NIVA-rapport 4271-2000. I trykk.

Liltved H., Wright R. og Gjessing E. 2001. Kartlegging av fargetallsøkning i norske vannkilder og mulige årsaker. VANN nr.1-2001, 78-84.

Mollat S. og Finsrud R. 2000. Bruk av kitosan til fargefjerning ved Vestfold Interkommunale Vannverk (VIV). VANN nr. 3, s. 242-247.

Narkis N. and Rebhun M. (1977) Stoichiometric relationship between humic and fulvic acids and flocculants. J. AWWA, 69 (6): 325-332.

Ndiongue S., Desjardins R. and Prevost M. 2000. Relationships between total particle count, aerobic spore-forming bacteria and turbidity in direct filtration. Jour. Water Supply, 49.2, 75-87.

Skogerbø O., Sander P.K. og Sandberg P.C. 2000. Humusfjerning ved hjelp av naturlige organiske polymere. Prosjektoppgave utført ved Høgskolen i Agder våren 2000. 55 s.

Tangerud A.K.Ø. og Terjesen S.A.G. 2000. Fargefjerning med kitosan. Hovedprosjekt for ingeniørutdanningen ved Høgskolen i Agder. 33 s. + vedlegg.