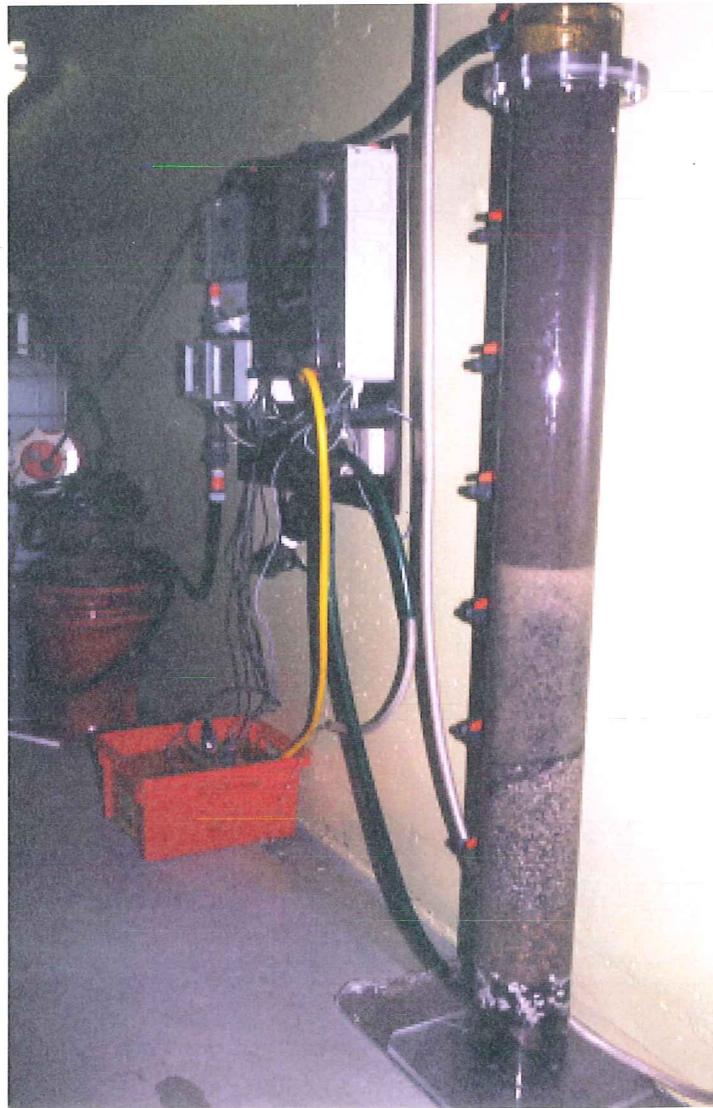


NIVA



RAPPORT LNR 4174-2000

**B**ruk av kitosan fra  
BioEffect AS for fjerning  
av humus fra drikkevann



**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 kitosan fra BioEffect AS for fjerning av humus fra drikkevann	Løpenr. (for bestilling) 4174-2000	Dato 20.10.2000
	Prosjektnr. Undernr. O-98178	Sider Pris 16
Forfatter(e) Helge Liltved	Fagområde Vannforsyning	Distribusjon
	Geografisk område Norge	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Norges forskningsråd (Program for næringsmiddelindustri) BioEffect AS	Oppdragsreferanse Knut Helge Osmundsvåg Erik Norgaard
--	---

<p>Sammenheng</p> <p>For å dokumentere utvalgte kitosankvaliteter produsert av BioEffect AS som fellingsmiddel for fjerning av humus, er det gjennomført forsøk i laboratorie-, pilot- og fullskala ved Blakstad vannverk i Aust-Agder.</p> <p>Resultatene fra laboratorieforsøkene (jar-tester) viste at det er mulig å redusere råvannets fargetall fra 25 mg Pt/l til 6 mg Pt/l (76% reduksjon) med kitosandoser fra 1,4 til 2,2 mg/l og ved fellings-pH mellom 5,2 og 5,5. Det var forholdsvis små forskjeller i effekt mellom ulike kitosankvaliteter.</p> <p>Ved pilotforsøkene (direktefiltrering i Filtralite og sand) var fargetallet i råvannet lavere (15 mg Pt/l). Ved kitosandoser fra 0,7 til 1,5 mg/l var det bare små forskjeller i rentvannsfarge. I gjennomsnitt lå rentvannsfargen rundt 4 mg Pt/l, tilsvarende 73% reduksjon. Heller ikke for oppløst organisk karbon (DOC) var det påviselige forskjeller i effekt i doseringsområdet fra 0,7 til 1,5 mg/l. Imidlertid synes effekten av kitosanfellingen å være noe bedre ved pH 4 enn ved høyere pH (5,2-5,5). Det ble også registrert en betydelig reduksjon av råvannets aluminium- og jerninnhold, henholdsvis 79 og 65%.</p> <p>Forsøkene som har vært kjørt ved Blakstad vannverk viser at det er mulig å oppnå tilfredstillende rentvannsfarge med lave doser kitosan som fellingsmiddel.</p>
--

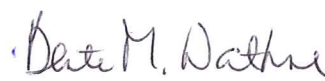
<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Humus</li> <li>Kitosan</li> <li>Direktefiltrering</li> <li>Drikkevann</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Natural organic matter</li> <li>Chitosan</li> <li>Direct filtration</li> <li>Drinkingwater</li> </ol>
--	---



**Helge Liltved**  
Prosjektleder



**Svein Stene-Johansen**  
Forskningsleder



**Bente Wathne**  
Forskningsjef

**Bruk av kitosan fra BioEffect AS for  
fjerning av humus fra drikkevann**

## Forord

Prosjektet har vært organisert som et samarbeid mellom BioEffect AS ved Erik Norgaard, Froland kommune ved Mangår Aslaksen og NIVA ved undertegnede. Norges forskningsråd, Program for næringsmiddelindustri ved Knut Helge Osmundsvåg, og BioEffect AS har stått for finansieringen av prosjektet. I tillegg er det nedlagt en betydelig egeninnsats fra alle de involverte partene.

Det rettes en takk til driftsoperatørene ved Blakstad vannverk, Håvard Røylid og Kai Bakken, for velvillig assistanse i forsøksperioden.

Grimstad 20.10.2000

*Helge Liltved*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>6</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>7</b>
<b>2. Materialer og metoder</b>	<b>9</b>
<b>3. Resultater</b>	<b>11</b>
3.1 Analyse av kitosankvaliteter	11
3.2 Forsøk med ulike kitosankvaliteter i laboratorieskala	12
3.3 Forsøk i fullskala	14
3.4 Forsøk i pilotskala	14

---

## Sammendrag

BioEffect AS ble etablert i Arendal i 1997 som et datterselskap til rekepillebedriften Havmannen AS. BioEffect AS er ansvarlig for produksjon, bearbeiding og markedsføring av kitosan og kitosanprodukter basert på rekeskall fra Havmannen AS. Et interessant markedsområde er drikkevannsrensing der kitosan har vist seg effektivt for fjerning av humus. Humusstoffer (brunt vann) er et utbredt problem i land der overflatevann benyttes som drikkevann.

I likhet med tradisjonelle fellingskjemikalier (jern- og aluminiumssalter) får kitosan humusstoffene til å koagulere, slik at disse kan fjernes ved etterfølgende filtrering. Det er flere fordeler med å benytte kitosan sammenliknet med tradisjonelle fellingskjemikalier, bl.a. er det ingen fare for restmetall i rentvannet (noe som kan være et problem ved bruk av metallholdige fellingsmidler), lavere slamproduksjon som gir mindre trykkoppbygging i filtre og reduserte kostnader for behandling av slam, samt et mindre problematisk slam som er biologisk nedbrytbart.

For å dokumentere utvalgte kitosankvaliteter produsert av BioEffect AS som fellingsmiddel for fjerning av humus, er det gjennomført forsøk i laboratorie-, pilot- og fullskala ved Blakstad vannverk i Aust-Agder.

Resultatene fra laboratorieforsøkene (jar-tester) viste at det er mulig å redusere råvannets fargetall fra 25 mg Pt/l til 6 mg Pt/l (76% reduksjon) med kitosandoser fra 1,4 til 2,2 mg/l og ved fellings-pH mellom 5,2 og 5,5. Det var forholdsvis små forskjeller i effekt mellom ulike kitosankvaliteter

Ved pilotforsøkene var fargetallet i råvannet lavere (15 mg Pt/l). Ved kitosandoser fra 0,7 til 1,5 mg/l var det bare små forskjeller i rentvannsfarge. I gjennomsnitt lå fargetallet rundt 4 mg Pt/l, tilsvarende 73% reduksjon. Heller ikke for oppløst organisk karbon (DOC) var det påviselige forskjeller i effekt i doseringsområdet fra 0,7 til 1,5 mg/l. Imidlertid synes effekten av kitosanfelling å være noe bedre ved pH 4 enn ved høyere pH (5,2-5,5). Dette er i overenstemmelse med resultater oppnådd ved andre vannverk hvor det har framkommet tydelige forbedringer i effekter m.h.p. fargetall og DOC ved å senke fellings-pH. Det ble også registrert en betydelig reduksjon i forhold til råvannets aluminium- og jerninnhold, henholdsvis 79 og 65%.

Resultatene fra pilot-, og fullskalaforsøk viste at valg av riktig filtermedium er viktig når kitosan benyttes som koagulant ved humusfjerning. I motsetning til ved bruk av Filtralite og sand, ble det ikke oppnådd god fargefjerning ved filtrering i knust marmor (1-3 mm kornstørrelse). Knust marmor gir normalt god fargefjerning ved bruk av andre koagulanter (jernbaserte). Dårlig effekt med kitosan kan ha sammenheng med økningen i pH som finner sted i marmorfilteret. Stigende pH vil redusere den negative ladningen på kitosanmolekylene, og kan derved redusere evnen til å koagulere humus. En annen årsak kan være at den knuste marmoren som ble benyttet er for grov, og derfor gir dårligere filtrering enn filtrering i Filtralite og sand.

Forsøkene som har vært kjørt ved Blakstad vannverk viser at det er mulig å oppnå tilfredstillende rentvannsfarge med lave doser kitosan som fellingsmiddel. Dersom det antas en vannproduksjon på 100 m<sup>3</sup>/time ved vannverk, og en kitosandose på 1 g/m<sup>3</sup>, vil kitosanforbruket være 2.4 kg pr. døgn og slammengden 7,2 kg tørrstoff. Dersom man tar utgangspunkt i en kitosankostnad på 150 kr/kg vil kitosankostnadene utgjøre kr. 130 000; pr. år. I forhold til prisen på vann til abonnent (5-6 kr. pr. m<sup>3</sup>), er dette en svært liten kostnad. Sammenliknet med kostnadene for tradisjonell felling er imidlertid kostnadene ved kitosanfelling høyere dersom besparelser i form av reduserte slammengder og reduserte kostnader for slambehandling ikke tas med i regnskapet. Kostnadene for tradisjonell felling vil imidlertid øke dersom spylevannet ikke kan tilbakeføres til resipient p.g.a. høyt metallinnhold.

## Summary

Title: Use of chitosan produced by BioEffect AS for removal of humic substances from drinkingwater

Year: 2000

Author: Helge Liltved

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3790-9

The aim of this study was to examine the removal of natural organic matter (NOM) (in terms of colour and dissolved organic carbon (DOC)) by the use of chitosan produced by BioEffect AS as a coagulant, followed by direct dual media filtration. A combination of Filtralite and silica sand was used as filter media. The study was conducted at Blakstad Waterwork in the county of Aust-Agder, Norway. Trials were conducted in laboratory-, pilot-, and fullscale experiments. The raw water to the pilot- and fullscale units was supplied by pumping from the river Nidelva. The inlets were equipped with pumpes for dosing coagulants and acid for pH-adjustment. The filtration rate was 8,4 m/h throughout the study.

The results show that the removal of color and DOC with chitosan is pH-dependent. Good removal efficiency was obtained at low coagulation-pH and chitosan dosages of 0,7-1,5 mg/l. Under these conditions, the color was reduced from 15 mgPt/l in the raw water to approximately 4 mg Pt/l in the treated water (73% removal efficiency). The corresponding DOC-removal was from 2,3 mg/l to approximately 1,5 mg/l (35% removal).

# 1. Innledning

BioEffect AS ble etablert i Arendal i 1997 som en integrert del av rekepillebedriften Havmannen AS (14 ansatte). BioEffect AS er ansvarlig for produksjon, bearbeiding og markedsføring av kitosan og kitosanprodukter basert på rekeskall fra Havmannen AS. Som nyetablert har selskapet 2 ansatte, men utvidelser planlegges etterhvert som interessen for kitosan og kitosanprodukter øker.

Selv om kitosan har mange spennende egenskaper, er markedet idag begrenset. Et interessant markedsområde er drikkevannsrensing. Kitosan har spesielle egenskaper som koagulant (binder partikler, kolloider, humusstoffer, miljøgifter og metaller i vann), noe som gjør det interessant å etablere et fellingsprodukt innen drikkevannsrensing. Det finnes ca. 60 norske vannverk som benytter den såkalte direktefiltreringsprosessen (omtalt nedenfor). Dersom kitosan framstår som et alternativ til de tradisjonelle fellingsmidlene som benyttes i denne prosessen, kan det etableres leveringsavtaler med noen av vannverkene som vil sikre omsetningen av kitosan som produseres ved BioEffect AS.

Froland kommune i Aust-Agder har i overkant av 4000 innbyggere. Kommunesenteret er Blakstad som forsynes med drikkevann fra Blakstad vannverk hvor forsøkene i det planlagte prosjektet skal foregå. Råvannet pumpes fra Nidelva.

## *Humus og humusfjerning*

Humus er et stort problem i norsk drikkevann, og i andre land som benytter overflatvann som drikkevann. Humus dannes når organisk materiale brytes ned i vann. Det er flere viktige grunner til å fjerne humus fra vann som skal brukes i drikkevannsforsyningen:

- 1) Humus gir farge, lukt og smak på vannet.
- 2) Humus reduserer effekten av desinfeksjonsmidler (UV-beståling eller klorering). Ved høyt innhold av humus kan det ved klorering dannes forbindelser som er vist å ha uheldige helsemessige effekter i forsøksdyr.
- 3) Miljøgifter (metaller og organiske forbindelser) har en tendens til å binde seg til humus og danne komplekser. Ved å fjerne humuskompleksene fjernes også miljøgiftene fra drikkevannet.
- 4) Høyt humusinnhold kan være substrat for mikroorganismer og derved gi økt begroing i ledningsnett.

Den vanligste metode for fjerning av humus fra drikkevann er ved kjemisk felling med etterfølgende filtrering i sand/antrasitt eller knust marmor (direktefiltrering). Som fellingsmiddel (hovedkoagulant) benyttes idag jern- eller aluminiumssalter. I den senere tid er det fokusert på de negative sidene omkring bruken av disse metallbaserte koagulantene. Spesielt fokuseres mulige helsemessige effekter av rest-aluminium. Bruken av akrylamidbaserte hjelpekoagulanter har økt skepsisen ytterligere. Disse syntetiske polymerene inneholder små mengder monomerer som er vist å ha uheldige effekter i forsøksdyr.

Dosering av metallsalter gir en reduksjon av vannets pH, noe som gjør vannet mer korrosivt. Dette fører igjen til økt behov for korrosjonskontroll og følgelig større kostnader for vannverket til pH økning. Ved tilbakespyling av filterene produseres tildels store mengder slamvann. Metallinnholdet bidrar til å gjøre slamvannet til et problemavfall som ikke uten videre kan ledes til ferskvannsresipienter. Krav om slambehandling (avvanning) og sikker deponering fordyrer investering- og driftskostnadene for vannverk betraktelig.



### *Hvorfor kitosan som fellingsmiddel ?*

Kitosan er et organisk fellingsmiddel fremstilt av reke- og krabbeskall. Vellykket bruk av kitosan i norske vannverk kan dermed bety en mer helsemessig betryggende og miljøvennlig produksjon av drikkevann. Avfallsproduktet fra vannproduksjonen (slammet) kan disponeres uten frykt for skadelige effekter i resipienten som følge av høyt innhold av metaller eller monomerer fra fellingsmiddelet.

Dersom slammet behandles (avvannes) vil slammet ha et potensiale som en omsettelig ressurs til for eksempel kompostering eller dyrefôr. Likeledes viser forsøk at mengde slam (tørrestoffvekt) fra felling med kitosan er inntil 5 ganger lavere enn ved tradisjonell felling. Dette betyr at vannverkene får reduserte kostnader til slambehandling, enten det dreier seg om transport, avvanning eller dosering til avløpsanlegg, og eventuelt en miljøgevinst dersom dette slippes direkte til resipient.

Filteringsperioden mellom hver tilbakespyling kan økes pga. den reduserte slammengden og redusert trykkoppbygging i filteret. Dette betyr økt netto kapasitet på eksisterende anlegg. P.g.a. større fnokkstyrke kan trolig belastningen på direktefilteringsanlegg som benytter kitosan økes i forhold til i anlegg med tradisjonelle fellingsmidler. Dette gjør at anleggene kan bygges mindre.

Det har tidligere blitt hevdet at kitosan som fellingsmiddel er for kostbart sammenliknet med andre fellingsmidler. Nye og effektive metoder for kitosanproduksjon, samt strengere krav til behandling og deponering av metallholdig slam kan fort endre på dette bildet. Et generelt krav om renere produksjon av næringsmidler (drikkevann) kan gjøre at man er villig til å betale litt mer for drikkevannet.

Hovedmålsettingen med det omsøkte prosjektet var å dokumentere utvalgte kitosankvaliteter som fellingsmiddel for fjerning av humus ved direktefiltrering.

Delmålene ble definert som følger:

- 1) Velge ut 3-4 ulike kitosankvaliteter og analysere disse m.h.p. viskositet (molekylvekt) og ladningstetthet (deacetyleringsgrad)
- 2) Evaluere de ulike kitosankvalitetene med hensyn på humusfjerning i laboratorie-skala (jar-tester)
- 3) Velge ut den kvaliteten som gir best resultat for videre utprøving i pilotskala og fullskala hvor rentvannkvalitet og slamkvalitet registreres etter innjustering og optimalisering av driftsbetingelsene.
- 4) Registrere driftsdata.
- 5) Foreta driftsmessige og økonomiske sammenlikninger i forhold til koagulering med tradisjonelle fellingsmidler.
- 6) Bearbeide data og utarbeide rapport.

## 2. Materialer og metoder

Prøver av råvannet fra Nidelva er analysert i forsøksperioden som strakte seg fra høsten 1998 til vinteren 2000. Verdiene for de ulike vannkvalitetsparametere er angitt i tabell 1 som viser at vannkilden har varierende humusinnhold, noe som også gjenspeiles i varierende verdier for oppløst organisk karbon (DOC). Partikkelinnholdet målt som turbiditet viser lave verdier. Forholdsvis høy pH og alkalitet skyldes kalking av vann i nedbørsfeltet.

**Tabell 1.** Kvalitetsparametere for råvannet som ble benyttet i forsøksperioden

Parameter	
pH	5,9-6,4
Turbiditet, FNU	0,50-0,57
Fargetall, mgPt/l	14,9-25,0
UV absorbanse, a.enh/cm	0,131
DOC, mg/l	2,2-3,0
Jern, µg Fe/l	72-97
Aluminium, µg Al/l	109-122

0,5% doseringsløsning ble laget til daglig ved å løse kitosan i fortennet saltsyre (Merck, pro analysis).

### Laboratorieforsøk

Hensikten med laboratorie-forsøkene var å komme fram til kitosan-kvaliteter og doseringsmengder som fungerer for koagulering av humus i råvannet ved Blakstad vannverk. Det ble valgt ut 3 ulike kitosankvaliteter med ulike egenskaper. Kitosanprøvene blir analysert m.h.p. tørrstoffinnhold, askeinnhold, proteininnhold og deacetyleringsgrad. I tillegg er prøver analysert etter tillaging av 1% kitosanløsning i 1 % eddiksyre m.h.p. viskositet og andel uløselig stoff. Analysene er utført ved BioEffect AS i Arendal.

Jar-tester ble utført ved hjelp av et apparat fra Kemira med 1 l begerglass (figur 1). Det ble utført jar-tester med og uten pH justering med fortennet saltsyre. I forsøkene med pH justering ble råvannet tilsatt 1 mmol/l NaHCO<sub>3</sub> for buffring før inndosering av kitosan. Kitosan ble dosert til råvannet ved hurtigomrøring (400 rpm i 1 min). Deretter fulgte sakteomrøring (30 rpm) i 30 min. Forholdsvis lang sakteomrøringsperiode ble benyttet da fnokkdannelsen synes å ta lengere tid enn ved bruk av tradisjonelle fellingskemikalier. Videre sedimenterer de utfelte fnokkene dårlig, noe som gjorde at fnokkene følger med ved prøveuttak. Dette resulterer i dårlig effekt på ufiltrert prøve dersom denne tas fra klarfasen etter normal sedimenteringstid (60 min). Det ble derfor tatt ut prøver for analyse etter 1 døgn sedimentering, og prøver som var filtrert gjennom 0.45 µm membranfiltre (Millipore). De kvalitetene som ga best resultat ble benyttet for videre forsøk i pilot- og fullskala.



**Figur 1.** Jar-test apparat med omrørere og begerglass

#### *Pilotskala forsøk*

Filterenheten i forsøkene bestod av en 2 m høy sylinder i plexiglass med en indre diameter på 150 mm (figur 2). Filtermediet ble lagt i som følger:

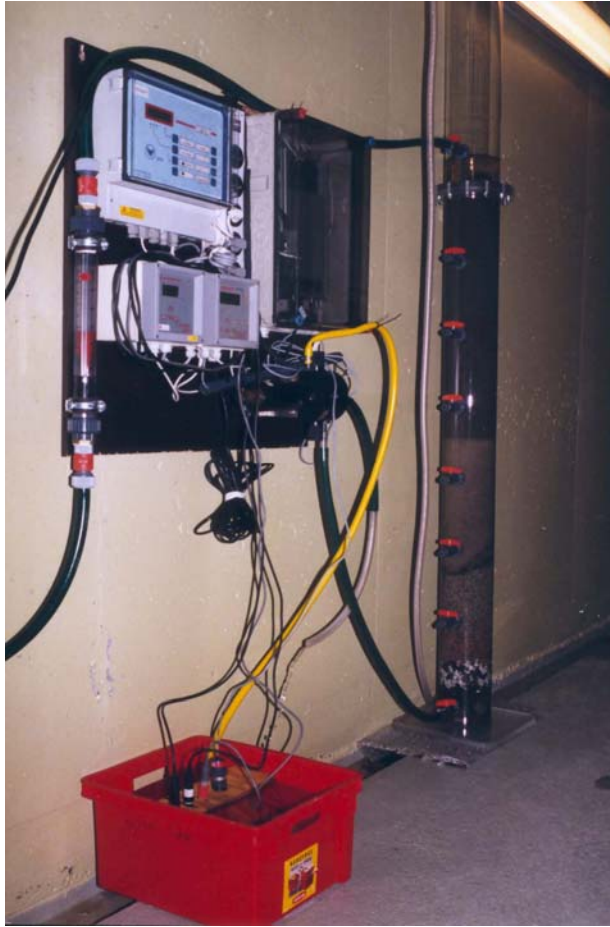
- 20 cm grov grus (bunnlag)
- 10 cm grov sand
- 15 cm sand 1,0 – 2,5 mm (Woldstad Sandforretning as, Høksund)
- 30 cm fin sand 0,5 – 1,0 mm (Woldstad Sandforretning as)
- 60 cm Filtralite 0,8 – 1,6 mm (a.s. Norsk Leca)

Råvann ble pumpet fra Nidelva. Mengden ble regulert v.h.a. en manuell ventil. Kitosan ble dosert v.h.a. en peristaltisk pumpe (type VP-ANTRIEB, Ismatech sa, Zurich, Sveits) direkte på innløpsledningen for råvann. Innløpsledningen bestod av en 15 m lang fleksibel 1/2" slange. Med en slik slangeveil ble det oppnådd ca. 2 minutters rørflokkulering før vannet nådde filtret.

I perioden ble det kjørt med en fast vannmengde på 130 l/time, tilsvarende en filtreringshastighet på 8,4 m/time. Forsøk ble utført ved ulike fellings-pH og med ulike kitosandoser.

#### *Fullskala forsøk*

Blakstad vannverk har 6 filtre som går parallelt med en total kapasitet på ca. 100 m<sup>3</sup>/time. I dette prosjektet ble ett av filterene avskåret fra den ordinære råvannstilførselen og fikk en egen midlertidig råvannstilførsel. På dette filteret hadde man mulighet for separat dosering av kitosan som koagulant. Maksimal kapasitet på linjen var 25 m<sup>3</sup>/time. Under forsøkskjøringene ble vannet ledet tilbake til Nidelva og ikke til drikkevannsnettet.



**Figur 2.** Pilotanlegg med nedstrøms filterering i Filtralite og sand, og instrumentering (pH-meter, turbidimeter og ledningsevne måler).

### *Analyser*

I forsøksperiodene ble det tatt prøver av vann og slam for å dokumentere kvalitet m.h.p. standard parametere. Ved siden av pH, turbiditet, fargetall og DOC i rentvannet, ble det tatt ut prøver for å måle eventuelle reduksjoner i jern og aluminium.

Prøver fra forsøkene ble delevis analysert på stedet v.h.a. et Hach DR 2000 fotometer (Hach Company, Loveland, CO, USA) og et turbidimeter (type DRT 100B, HF Scientific Inc., USA), og delevis ved NIVA i Oslo. Sistnevnte etter akkreditert standarder.

## **3. Resultater**

### **3.1 Analyse av kitosankvaliteter**

Tre ulike kitosanprodukter produsert av BioEffect AS ble benyttet i forsøkene. Deres egenskaper og karakteristika er vist i tabell 2.

**Tabell 2.** Karakteristika for de kitosankvaliteter som ble benyttet i forsøkene

Egenskap	Kitosan 1	Kitosan 2	Kitosan 3
Tørrstoffinnhold, %	-	31	>90
Askeinnhold, %	0,7	0,33	1,2
Uløselig stoff, %	<8	<2	<2
Deacetyleringsgrad, %	>80 <sup>1</sup>	72,8 <sup>2</sup>	>80 <sup>1</sup>
Viskositet c.p.s (1% i 1% edikksyre, 20 °C) <sup>3</sup>	200	130	350

<sup>1</sup> Intern metode basert på tilbaketitrering av utfelt kjent mengde med kitosan

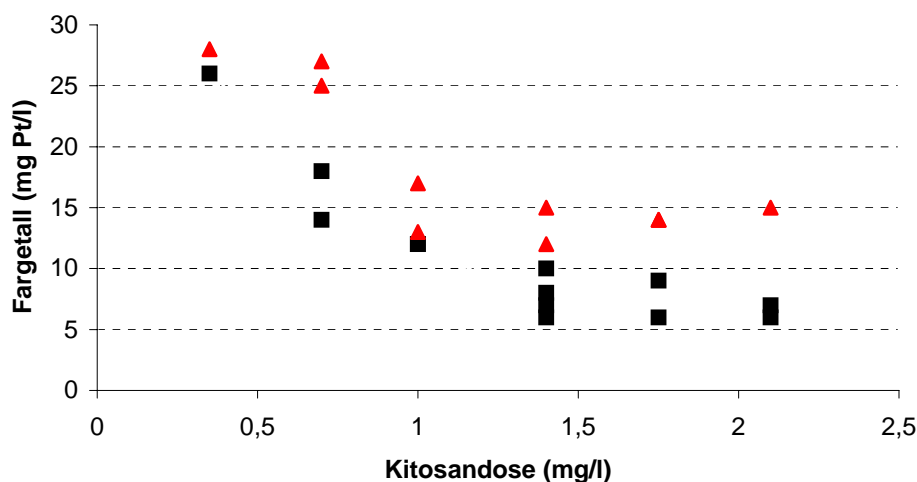
<sup>2</sup> H-NMR-spektroskopi (proton-nmf)

<sup>3</sup> Brookfield DV-1 Viscometer

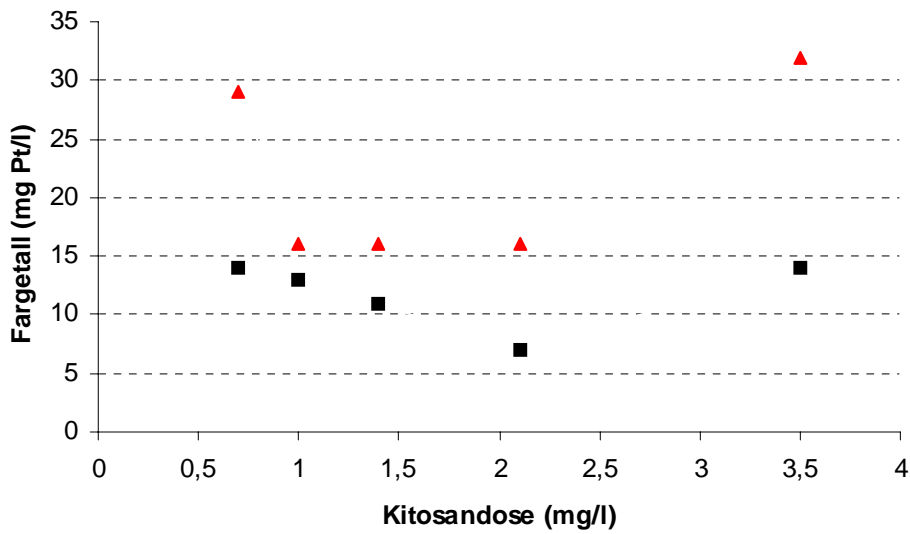
### 3.2 Forsøk med ulike kitosankvaliteter i laboratorieskala

Alle 3 kitosankvalitetene ble utprøvd for felling av humus i laboratorieskala (jar-tester). Resultatene viste at det er mulig å redusere råvannets fargetall fra 25 mg Pt/l til 6 mg Pt/l med kitosandoser fra 1.4 til 2.2 mg/l og ved fellings-pH mellom 5,2 og 5,5, tilsvarende 76% reduksjon (figur 2-4). Det var forholdsvis små forskjeller i effekt mellom ulike kitosankvaliteter. Som det framgår ble det oppnådd dårligere og varierende resultater m.h.p. ufiltrert fargetall. Dette skyldes at fnokkseparasjonen ved sedimentering ikke var god nok slik at fnokker kom med i prøveuttaket, noe som resulterte i høye og variable fargetall.

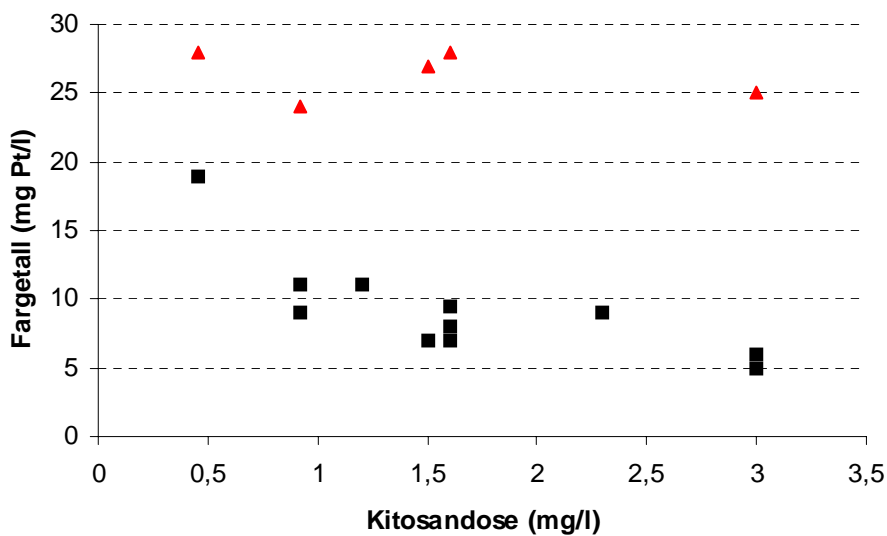
Det var heller ikke store forskjeller i UV-absorbans på filtrert prøve ved bruk av kitosankvalitet 1 og 2. Imidlertid framkommer et optimalområde ved en kitosandose på 1,7 mg/l. De små forskjellene tyder på at ladningstetthet er mer avgjørende enn molekylstørrelse (viskositet) i forhold til fargefjerningseffekt.



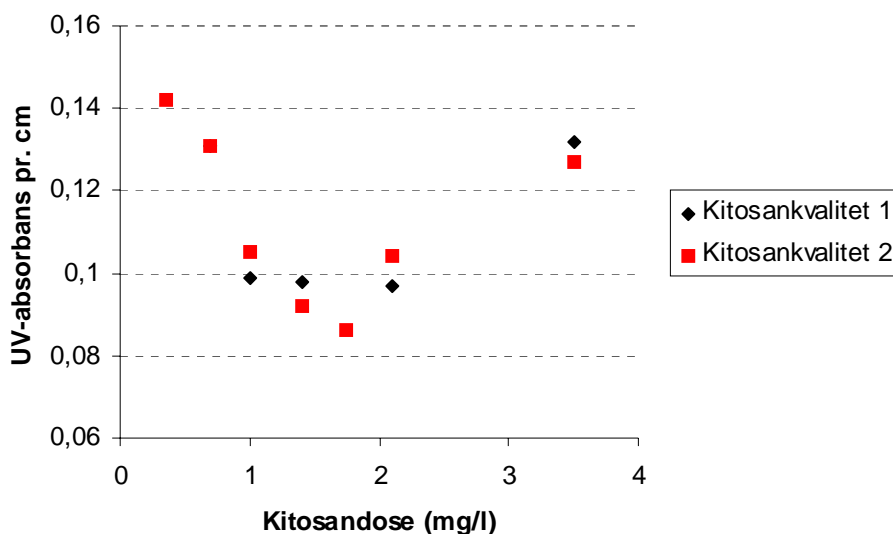
**Figur 3.** Fargetall som funksjon av økende kitosandose (kitosankvalitet 1) i jar-tester ved fellings-pH 5,2-5,5. Symboler: Fargetall (▲), ufiltrert fargetall (■). Råvann: Fargetall 25 mg Pt/l og ufiltrert fargetall 29 mg Pt/l, temperatur: 6 °C.



**Figur 4.** Fargetall som funksjon av økende kitosandose (kitosankvalitet 2) i jar-tester ved fellings-pH 5,2-5,5. Symboler: Fargetall (v), ufiltrert fargetall (σ). Råvann: Fargetall 25 mg Pt/l og ufiltrert fargetall 29 mg Pt/l, temperatur: 6 °C.



**Figur 5.** Fargetall som funksjon av økende kitosandose (kitosankvalitet 3) i jar-tester ved fellings-pH 5,2-5,5. Symboler: Fargetall (v), ufiltrert fargetall (σ). Råvann: Fargetall 25 mg Pt/l og ufiltrert fargetall 29 mg Pt/l, temperatur: 6 °C.



**Figur 6.** Effekten av 2 ulike kitosankvaliteter (kvalitet 1 og 2) m.h.p. UV-absorbans ved ulike kitosandoser i jar-tester ved fellings-pH 5,2-5,5. Råvann: UV-absorbans 0,131 pr. cm, temperatur: 6 °C.

### 3.3 Forsøk i fullskala

I fullskala forsøk ble kitosan dosert før filtrering gjennom knust marmor. Resultatene fra forsøkene viser dårlig fargefjerning. Dette kan ha sammenheng med den økningen i pH som finner sted i marmorfilteret. Økende pH vil redusere den negative ladningen på kitosanmolekylene, og kan derved redusere evnen til å koagulere humusmolekyler. En annen medvirkende årsak kan være at den knuste marmoren som benyttes i norske vannverk er for grov (1-3 mm korndiameter), og derfor gir dårlig filtrering enn ved filtrering i tradisjonelle tommediafiltre (antrasitt/sand, alt. Filtralite/sand). Ved å kjøre forsøk i mindre skala med nedstrøms filtrering i en kombinasjon av Filtralite fra a.s. Norsk Leca og kvartssand, ble det oppnådd gode resultater. Dette viser at valg av riktig filtermedium er viktig når kitosan benyttes som koagulant ved humusfjerning. For å dokumentere renseeffekter og driftsmessige forhold ble det besluttet å kjøre de resterende forsøk i mindre skala.

### 3.4 Forsøk i pilotskala

I pilotanlegget ble det kjørt forsøk ved forholdsvis høyt fargetall i råvannet (ca. 20 mg Pt/l), og ved lavere fargetall (ca. 15 mg Pt/l) med og uten justering av fellings-pH. Filtreringshastigheten var 8.4 m/time.

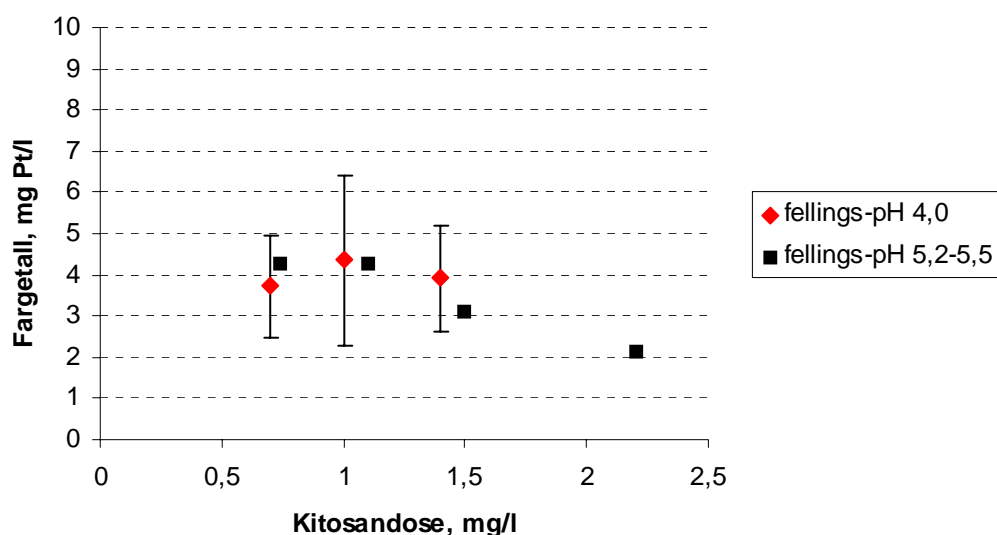
Resultatene fra forsøkene ved høyt fargetall uten justering av fellings-pH er vist i tabell 3. Det ble dosert 2,2 mg/l kitosan. Som det framgår var det mulig å redusere fargetallet til mindre enn 5 mg Pt/l og 1,8 mg DOC/l. Det var også en betydelig reduksjon av råvannets aluminium- og jerninnhold.

**Tabell 3.** Reduksjon i ulike vannkvalitetsparametere i forsøksanlegget ved en filtreringshastighet på 8,4 m/t og en kitosandose på 2,2 mg/l. Fellings-pH var 5,2-5,5.

Parameter	Råvann	Rentvann (n=3)	Renseeffekt %
Fargetall, mg Pt/l	20,7	4,7	77,3
DOC, mg/l	3,0	1,8	40,0
Turbiditet, FNU	0,51	0,15	70,6
Aluminium, µg/l	122	26	78,7
Jern, µg/l	97	34	65,0

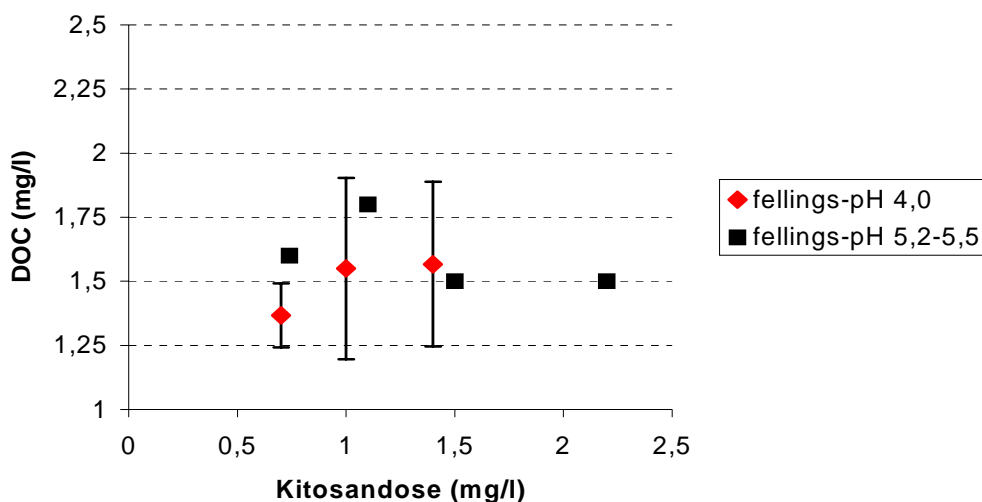
Ved lavt fargetall i råvannet ble det oppnådd lave gjennomsnittlige fargetall i rentvannet, både ved fellings-pH 5,2-5,5 og ved å redusere fellings-pH til 4 (figur 6). Det var ingen påviselige forskjeller i effekt ved ulike fellings-pH i doseringsområdet fra 0,7 til 1,5 mg/l. Det ble observert relativt store forskjeller mellom parallelle målinger, noe som gir utslag i store standardavvik. Enkelte fargetallsmålinger var så lave som 2,5 mg Pt/l, noe som tyder på at det er mulig å optimalisere fellingen ytterligere.

Som forventet fulgte DOC-verdiene i hovedsak fargetallene (figur 7). Det ble også her observert små forskjeller i doseringsområdet fra 0,7 til 1,5 mg/l. Imidlertid synes effekten av kitosanfellingen å være noe bedre ved pH 4 enn ved høyere pH (5,2-5,5). Dette er i overensstemmelse med resultater oppnådd ved andre vannverk hvor det har framkommet tydelige forbedring i effekt m.h.p. fargetall og DOC ved å senke fellings-pH (Liltved 2000). Også for DOC var det variasjoner i parallelle forsøk noe som gir store standardavvik. Så lave enkeltverdier som 1,2 mg/l ble målt ved flere anledninger.



**Figur 7.** Fargetall i rentvann ved ulike kitosandosier og fellings-pH. Råvannets fargetall var 15,7 mg Pt/l, temperaturen 1,5°C og filtreringshastigheten var 8.4 m/time.





**Figur 8.** Oppløst organisk karbon (DOC) i rentvann ved ulike kitosandoser og fellingings-pH. Råvannets DOC var 2,3 mg/l, temperaturen 1,5°C og filtreringshastigheten var 8.4 m/time.

Trykktapsutviklingen ved lavt fargetall og kitosandose var lav, 2-3 cm/time. Dette indikerer muligheter for å kjøre lange filtersykluser, minst 24 timer før tilbakespyling av filtermediet. Normal tilbakespylingsfrekvens ved bruk av tradisjonelle koagulanter er ca. halvparten. Spylevannsmengde pr. tidsenhet blir tilsvarende som ved tradisjonell felling, 50-60 m/time, mens slamproduksjonen målt som tørrstoffmengde blir lavere.

Slamproduksjonen kan beregnes da tørrstoffet i slammet hovedsakelig vil bestå av tilsatt mengde kitosan pluss fjernet organisk stoff (humus). Dersom man tar utgangspunkt i en kitosandose på 1 mg/l og regner med at alt tilsatt kitosan holdes tilbake i filteret, utgjør dette 1 kg pr. 1000 m<sup>3</sup> produsert rentvann. Ved fjerning av 1 mg/l DOC, utgjør dette 2 kg pr. 1000 m<sup>3</sup> produsert rentvann dersom man regner at DOC utgjør ca. 50% av organisk stoff i humus. Sammen med kitosan utgjør dette da 3 kg tørrstoff. I tillegg kommer eventuelle uorganiske partikler, som det er lite av i.h.t. turbiditetsmålingene.

Dersom det antas en vannproduksjon på 100 m<sup>3</sup>/time ved Blakstad vannverk, og en kitosandose på 1 g/m<sup>3</sup>, vil kitosanforbruket være 2.4 kg pr. døgn og slammengden 7,2 kg tørrstoff. Dersom man tar utgangspunkt i en kitosankostnad på 150 kr/kg vil kitosankostnadene utgjøre kr. 130 000; pr. år. I forhold til normal pris på vann til abonnent (5-6 kr. pr. m<sup>3</sup>), er dette en svært liten kostnad. Sammenliknet med kostnadene for tradisjonell felling er imidlertid kostnadene ved kitosanfelling høyere dersom besparelser i form av reduserte slammengder og reduserte kostnader for slambehandling ikke tas med i regnskapet. Dersom det jern- eller aluminiumsholdig spylevannet ikke kan tilbakeføres til resipient men må behandles, må de økte kostnadene for dette inkluderes i regnskapet.