

RAPPORT LNR 4053-99

Fjerning av humus fra
drikkevann ved felling med
kitosan og etterfølgende
direktefiltrering i Filtralite
og sand

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 Onstad
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 A/S

9015 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

Titel Fjerning av humus fra drikkevann ved felling med kitosan og etterfølgende direktefiltrering i Filtralite og kvartssand Removal of natural organic matter by chitosan coagulation and direct filtration on Filtralite and quartz sand	Løpenr. (for bestilling) 4053-99	Dato 15.06.99
	Prosjektnr. Undemr. O-98210 E-98487	Sider Pris 15 s.
Forfatter(e) Liltved, Helge Norgaard, Erik	Fagområde Vannforsyning	Distribusjon
	Geografisk område	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) a.s Norsk Leca	Oppdragsreferanse Magnhild Føllesdal
---	--

Sammendrag

Hovedmålsettingen med det gjennomførte prosjektet var å undersøke mulighetene for å fjerne humus fra drikkevann i et pilot-skala direktefiltrerings-anlegg hvor biopolymeren kitosan ble benyttet som koagulant, og Filtralite fra a.s. Norsk Leca i kombinasjon med kvartssand ble benyttet som filtermedium. Det ble påvist en støkiometrisk sammenheng mellom kitosan dose og mengde farge fjernet. Ved en konstant filterhastighet på 8,8 m³/m²*time (8,8 m/time) og en kitosan-dosering på 4,6 mg/l, ble fargetallet redusert fra 40 mg Pt/l i råvannet til mellom 6 og 8 mg Pt/l i rentvannet. Dette utgjorde en reduksjon på mellom 80 og 85 %. For oppløst organisk karbon (DOC) var renseeffekten lavere (ca. 35%). Turbiditetsverdiene i utløpet var i området 0,04 til 0,07 NTU. I forhold til råvannets turbiditet (0,52 NTU), tilsvarte dette reduksjoner fra 87 til 92 %.

Det ble også gjort forsøk for å kartlegge mulighetene for fjerning av bakterier og metaller i prosessen ved inndosering av en bakterie-kultur (*Escherichia coli*) eller jern/mangan fra en kjent stam-løsning. Resultatene fra prøvetakingen viste en gjennomsnittlig høy prosentvis tilbakeholdelse av koliforme bakterier (99,4%). Også totalantall bakterier ble kraftig redusert. Dette indikerer at prosessen med kitosan-felling på et Filtralite/sand-filter vil kunne fungere som en hygienisk barriere. Resultatene fra metall-doseringen viser høy prosentvis reduksjon av jern (96,2%), mens tilbakeholdelsen av mangan var moderat (22,4%).

Fire norske emneord 1. Humus 2. Felling 3. Direktefiltrering 4. Filtreringsmedier	Fire engelske emneord 1. Natural organic matter 2. Coagulation 3. Direct filtration 4. Filtermedia
--	---

Helge Liltved
Helge Liltved
 Prosjektleder

Svein Stene-Johansen
Svein Stene-Johansen
 Forskningsleder

Bente M. Wathne
Bente Wathne
 Forskningsstjef

Fjerning av humus fra drikkevann ved felling med
kitosan og etterfølgende direktefiltrering i Filtralite og
kvarssand

Forord

Dette prosjektet har vært gjennomført med støtte fra a.s. Norsk Leca ved Magnhild Føllesdal. Vi vil takke for støtten og godt samarbeid i prosjektperioden. Videre har NIVA bidradd med egne midler.

Pilot-skala forsøkene har vært gjennomført ved Kilsund vannverk som eies av Arendal kommune. Vi vil takke for at vi fikk utføre forsøkene der, og for den velvilje og interesse som er vist fra kommunens side.

Grimstad, 15.06.99

Helge Liltved

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Innledning	7
2. Materialer og metoder	9
3. Resultater og diskusjon	11
3.1 Jar-tester	11
3.2 Pilot-skala forsøk	13
4. Referanser	15

Sammendrag

Den vanligste metoden for fjerning av humus fra drikkevann i norske vannverk er kjemisk felling med etterfølgende filtrering i antrasitt/sand eller knust marmor, såkalt direktefiltrering. Som fellingsmiddel benyttes i hovedsak jern- eller aluminiumssalter alene eller i kombinasjon med syntetiske polymerer. Da det finnes svakheter ved dagens praksis, både med hensyn på fellingen og filtreringen, er det interesse for å høste erfaringer med alternative fellingsmidler og filtermedier.

Hovedmålsettingen med det gjennomførte prosjektet var å undersøke potensialet for humusfjerning i et pilot-skala direktefiltrerings-anlegg med kitosan som fellingsmiddel og Filtralite fra a.s. Norsk Leca i kombinasjon med kvartssand som filtermedium.

Nødvendige kitosan-doser for fargefjerning ble kartlagt ved å benytte jar-tester. Det ble også gjort forsøk med inndosering av en indikator-bakterie og jern/mangan-løsning for å studere tilbakeholdelse i direktefiltrerings-prosessen.

Med det råvannet som ble benyttet i jar-testene (fargetall 40 mg Pt/l, turbiditet 0,72 NTU, pH 6,9), var optimal doseringsmengde 4,5 mg kitosan pr. liter. Ved denne doseringen var det mulig å redusere fargetallet til 9 mg Pt/l (78% fjerning). Lavere og høyere doseringer ga dårligere effekt.

I et av forsøkene med direktefiltrering ble det kjørt med en konstant overflatebelastning på $8,8 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{time}$ (8,8 m/time) og en kitosan-dosering på 4,6 mg/l. Følgende resultater ble oppnådd:

- I utløpet fra filterkolonnen ble det målt fargetall mellom 6 og 8 mg Pt/l i prøvetakingsperioden som varte i ca. 3 timer. I forhold til råvannsverdien for farge (40 mg Pt/l), utgjorde dette en reduksjon på mellom 80 og 85 %. For oppløst organisk karbon (DOC) var renseseffekten lavere (ca. 35%).
- Turbiditetsverdiene i utløpet etter modningsfasen var i området 0,04 til 0,07 NTU. I forhold til råvannets turbiditet (0,52 NTU), tilsvarer dette reduksjoner fra 87 til 92 %.
- Det gjennomsnittlige trykktapet under forsøket var 2 cm vannsøyle pr. time. Dette synes å være lavt tatt i betraktning det høye fargetallet på råvannet.

I et annet av direktefiltrerings-forsøkene ble det kjørt med en overflatebelastning på 9,3 m/time og en kitosan-dosering på 6 mg/l, samtidig som det ble dosert en bakteriekultur (*Escherichia coli*) eller jern/mangan fra en kjent stamløsning. Resultatene fra den bakteriologiske prøvetakingen viser en gjennomsnittlig høy prosentvis tilbakeholdelse av koliforme bakterier (99,4%). Også totalantall bakterier ble kraftig redusert. Dette indikerer at prosessen med kitosan-felling på et Filtralite-/sandfilter vil kunne fungere som en hygienisk barriere. Resultatene fra metalldoseringen viser høy prosentvis reduksjon av jern (96,2%), mens tilbakeholdelsen av mangan var moderat (22,4%). Det er også vist at prosessen fjerner ca. 90% av det naturlige jern-innholdet i råvannet.

Summary

Title: Removal of natural organic matter by chitosan coagulation and direct filtration on Filtralite and quarts sand

Year: 1999

Author: Liltved, Helge and Norgaard, Erik

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3657-0

Natural organic matter (NOM) is removed from drinking water for public health reasons as well as aesthetic reasons. It is well documented that humic substances are precursors to haloform production in chlorinated drinking waters. Conventional water treatment commonly includes chemical coagulation followed by separation (sedimentation plus filtration) to remove particles and natural organic matter (NOM). In direct filtration, the coagulated water is introduced directly to a granular filter medium, eliminating the settlement process.

Considerable amounts of iron or aluminium salts are required to coagulate particles and NOM in water treatment plants. Use of these chemicals results in an excessive amount of sludge that must be treated and properly disposed according to environmental regulations. In addition, concern about metal-residuals in the finishing water has intensified the search for alternative coagulants. There are also considerable interests in evaluating alternative new and alternative filtermedia.

The aim of this study was to examine the destabilisation of NOM (in terms of colour and DOC) by chitosan, and removal by dual media direct filtration. A combination of Filtralite® and silica sand were used as filter media. Filtralite is a lightweight ceramic particle aggregate designed for water and wastewater purification by a.s. Norsk Leca. Jar-tests were used to determine optimum chitosan dosage. Furthermore, the ability of the system to remove indicator bacteria and Fe/Mn were studied.

The results of the jar-tests showed an optimum chitosan dosage of 4.5 mg/l. Such a dosage resulted in true colour readings of 9 mg Pt/l, corresponding to a removal efficiency of 78%. Lower or higher dosages resulted in adverse readings.

Results from a direct filtration test with a filtration rate of 8.8 m/h and a chitosan dosage of 4.6 mg/l are listed below:

- After an initial period of high colour content, excellent filter performance was obtained for approximately 3 h of filtration. At that point, the test was terminated. Filtered water turbidities of 0.04-0.07 NTU were achieved, and raw water true colour of 40 mg Pt/l was reduced to 6-8 mg Pt/l. There were no detectable differences in true and apparent colour of filtered water.
- Average removal efficiency of DOC was 35%, while more than 90% of the natural Fe content of the raw water was removed.

In a following filtration test, an *Escherichia coli* suspension or a concentrated iron/manganese solution was spiked to the influent water. The filtration rate was 9,3 m/h and the chitosan dosage was 6,0 mg/l. The bacteria was removed by an average efficiency of 99.4%, indicating that chitosan coagulation and direct filtration may serve as an hygienic barrier in drinking water treatment. The iron removal was high (96,2%), while a modest manganese removal of 22,4% was observed.

1. Innledning

Humus eller naturlig organisk materiale (NOM) er tilstede i alt overflatevann. Humus er en kompleks blanding organiske makromolekyler som dannes ved langsom mikrobiell og kjemisk nedbrytning og omdanning av planterester. Mengden av humus, og dets egenskaper og kjemiske sammensetning, varierer med klima og andre miljøfaktorer.

Humus er et stort problem i norsk drikkevann, og i andre land med utstrakt bruk av overflatevann som drikkevannskilder. Det er flere viktige grunner til å fjerne humus fra vann som skal brukes til drikkevann:

- 1) Høyt humusinnhold gir farge, lukt og smak på vannet.
- 2) Humusmolekylene reduserer effekten av desinfeksjonsmidler (UV-beståling eller klorering). Ved høy klordosering og høyt humusinnhold, kan det dannes forhøyede nivåer med klororganiske forbindelser. Disse kan ha helsemessige effekter.
- 3) Humusforbindelser er ofte bærere av miljøgifter (tungmetaller og organiske miljøgifter).
- 4) Høyt humusinnhold kan være substrat for mikroorganismer og derved gi økt begroing og nedslamming av ledningsnettet.

Den vanligste metoden for fjerning av humus fra drikkevann i dagens norske vannverk er ved kjemisk felling med etterfølgende filtrering i sand/antrasitt eller knust marmor (direktefiltrering). Som fellingsmiddel (hovedkoagulant) benyttes jern- eller aluminiumssalter. Disse er effektive for fjerning av farge, men restverdier av metall i det rensede vannet må kontrolleres og overvåkes nøye. Det er satt lave grenseverdier både for jern og aluminium (<0.1 mg Me/l).

Ved tilbakespyling av filterene produseres tildels store mengder slamvann. Metallinnholdet bidrar til å gjøre slamvannet til et avfall som ikke uten videre kan ledes til ferskvannsresipienter. Krav om slambehandling (avvanning) og sikker deponering fordyrer investering- og driftskostnadene for vannverk.

I tillegg til jern eller aluminium, benyttes ofte syntetiske polymerer som hjelpekoagulant ved direktefiltrering. En slik tilleggsdosering kan styrke de utfelte humusnøkene, noe som gir muligheter for å øke filtreringstiden før tilbakespyling, og høyere filtreringshastighet. Syntetiske polymerer inneholder små mengder monomer som er vist å ha helsemessige effekter i forsøksdyr. Det er derfor ikke tillatt å benytte en høyere dosering enn $0,5$ mg polymer pr. liter vann. I utkast til nytt Drikkevansdirektiv fra EU er det satt en grenseverdi for $0,10$ mikrogram/l for monomeren akrylamid. Normal praksis ved norske vannverk er å dosere i størrelsesorden $0,1 - 0,25$ mg polymer pr. liter. Ved en slik dosering vil man ligge under grenseverdien for monomer-konsentrasjon.

Kitosan som fellingsmiddel

Kationiske syntetiske polymerer har vist seg å være effektive koagulanter for å redusere humus i drikkevann med lavt til moderat TOC-innhold (Edzwald og medarb.1977, Edzwald og medarb.1987, Glaser og Edzwald 1979). I motsetning til de syntetiske polymerene, er kitosan en naturlig polymer framstilt av reke- og krabbeskall som normalt ikke inneholder toksiske forbindelser. Kitosan [2-Amino-2-deoxy-(1 \rightarrow 4)- β -D-glycopyranan] består av lange lineære polymere molekyler av $\beta(1\rightarrow4)$ bundede glykaner. Molekylvekten for handelsvaren er i området $10\ 000 - 1\ 000\ 000$ dalton. Kitosan er løselig i svake organiske syrer, og i fortynnet HCl. Viskositeten til en kitosan løsning er avhengig av molekylvekten.

Til polysakkarid-kjedene i kitosan er det knyttet reaktive aminogrupper. I surt miljø vil disse være positivt ladet, og vil kunne bindes til negativt ladede reaktive grupper på andre molekyler, som f.eks. karboksyl grupper knyttet til humus molekyler. Slike bindinger vil kunne initiere koagulering ved ladningsnøytralisering og aggregatdannelse.

Vellykket bruk av kitosan i norske vannverk kan bety en mer helsemessig betryggende og miljøvennlig produksjon av vann. To åpenbare fordeler i forhold til jern- eller aluminiums-felling er fravær av rest metall i det behandlede vannet, og fravær av metaller i slammet. Dersom spylevannet ledes direkte til resipient vil det ikke være fare for til uheldige effekter på grunn av høyt metallinnhold. Dersom slammet i spylevannet behandles (avvannes), vil slammet ha et potensiale som en omsettelig ressurs til for eksempel kompostering eller jordforbedringsmiddel.

Det er også grunn til å tro at slammengdene ved kitosan-felling kan reduseres i forhold til ved jern- eller aluminiumsfelling. Forsøk med syntetisk kationiske polymerer for felling av avløpsvann har vist at slammengden kan reduseres med inntil 1/10 del av slammengden som blir produsert ved tradisjonell felling (jern- og aluminiumssalter) (Fettig og medarb. 1988). En reduksjon i slammengdene vil bety at vannverkene får reduserte kostnader til slambehandling, enten det dreier seg om transport, avvanning eller overføring til avløpsanlegg, og eventuelt en miljøgevinst dersom slamvannet ledes direkte til resipient.

Filtreringsperioden mellom hver tilbakespyling vil sannsynligvis kunne økes p.g.a. den reduserte slammengden, noe som igjen betyr økt netto kapasitet på eksisterende anlegg. Erfaringer med syntetiske polymerer i direktefiltrering tilsier sterkere fnokkstruktur enn ved bruk av tradisjonelle fellingsmidler, noe som tilsier at filtreringshastigheten kan økes. Om anvendelse av kitosan gir en slik mulighet for å øke filtreringshastigheten gjenstår imidlertid å undersøke.

Det har tidligere blitt hevdet at kitosan som fellingsmiddel er for kostbart sammenliknet med andre fellingsmidler. Nye og effektive metoder for kitosan-produksjon, flere kitosan-produsenter (økt konkurranse) og 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 ekstra for drikkevannet.

Filtralite i vannverk

Tradisjonelle nedstrøms filtre for direktefiltrering har bestått av et lag med forholdsvis grov antrasitt øverst (typisk 40 til 60 cm med kornstørrelse 0,8 – 1,6 mm) etterfulgt av fin sand (typisk 30-50 cm med kornstørrelse 0,4-1,0 mm), og grovere sand/grus i bunnsjikt. P.g.a. tetthetsforskjellene mellom antrasitt og sand, blir lagdelingen beholdt ved oppstrøms spyling av filterne. Et bruksområde for Filtralite er som erstatning for antrasitt i to-media filtre. Mulighetene for å "skreddersy" Filtralite-kvaliteter m.h.p. kornstørrelse, kornfordeling og tetthet, kan gi forbedret filtrering og driftsmessige fordeler i forhold til de antrasitt kvalitetene som benyttes i dag.

Hovedmålsettingen med det gjennomførte prosjektet var å undersøke potensialet for humusfjerning i et pilotskala direktefiltreringsanlegg hvor kitosan ble benyttet som fellingsmiddel og Filtralite som ett av filtreringsmediene. Nødvendige kitosan-doser ble kartlagt ved å benytte jar-tester. I pilotskala anlegget ble det gjort forsøk med inndosering av en indikatorbakterie og jern/mangan, for å studere tilbakeholdelse i direktefiltreringsprosessen.

2. Materialer og metoder

Laboratorieforsøk

Råvann ble hentet fra Kilsund vannverk i Arendal kommune. Vannverket forsyner ca. 370 abonnenter. Prøver av råvannet er innhentet i forsøksperioden (07.01.98-26.02.99). Disse er analysert m.h.p. vannkvalitetsparametere og angitt i tabell 1 som viser at vannkilden har høyt humusinnhold, noe som også gjenspeiles i høye verdier for totalt organisk karbon (TOC) og oppløst organisk karbon (DOC). Høy pH, høy alkalitet og høyt kalsiuminnhold tyder på at kilden er påvirket av kalkholdige marine avsetninger. Høy alkalitet viser at vannet har god bufferevne mot pH-endringer. I forhold til analyser som er gjort tidligere (1995), er det en markant økning i fargetall (fra 27 til 42 mg Pt/l).

Tabell 1. Kvalitetsparameter for råvannet som ble benyttet i forsøksperioden

Parameter	Benevning	Tallverdier (n=3)
pH		6,6
Ledningsevne	mS/m	8,4
Turbiditet	FTU	0,42
Fargetall	mg Pt/l	42
UV absorbanse, filtrert	a.enh/cm	0,225
Totalt organisk karbon (TOC)	mg/l	8,99
Løst organisk karbon (DOC)	mg/l	6,64
Alkalitet	µmol/l	134
Kalsium	mg Ca/l	5,4
Jern	µg Fe/l	90
Mangan	µg Mn/l	20
Aluminium, syreløselig reaktivt	µg Al/l	88

I alle forsøkene (laboratorie- og pilotskala) ble det benyttet en kitosan-kvaliteten fra Fluka (Fluka Chitosan, medium molecular weight) (tabell 2). 1 % doserings-løsning ble laget til daglig ved å løse kitosan i fortennet saltsyre (Merck, pro analysis).

Tabell 2. Karakteristika for kitosan-kvaliteten (Fluka) som ble benyttet i forsøkene

Tørrstoffinnhold	≥90 %
Askeinnhold	≤2 %
Viskositet mPa.s (1% i 1% edikksyre, 20 °C)	ca. 200
Uløselig stoff	≤1 %
Molekylvekt	ca. 400 000

Jar-tester ble utført ved hjelp av et standard apparat (Kemira) med 1 l begerglass (figur 1). Det ble utført jar-tester med og uten pH justering. I forsøkene med pH justering (til pH 6), ble råvannet tilsatt 1 mmol/l NaHCO₃ for buffring før inndosering av kitosan. Fortynnet HCl eller NaOH ble benyttet for pH-justering. 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 normalt tar lengere tid ved bruk av polymerer enn når det benyttes tradisjonelle fellingskjemikalier. Videre sedimenterer de utfelte fnokkene dårlig, noe som gjør 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).



Figur 1. Jar-test apparat med omrørere og begerglass som ble benyttet i laboratorieforsøkene

Pilotskala forsøk med direktefiltrering

Filterenheten i forsøkene bestod av en 2 m høy sylinder i plexiglass med en indre diameter på 90 mm. 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, Hokksund)
- 30 cm fin sand 0,5 – 1,0 mm (Woldstad Sandforretning as)
- 60 cm Filtralite 0,8 – 1,6 mm (a.s. Norsk Leca)

Vann ble hentet fra inntaksledningen ved Kilsund vannverk (før selvspylende sil). Trykket her var konstant ca. 2 bar. Mengden ble regulert til 0,9 – 1,0 l/min. 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 25 m lang fleksibel slange med en indre diameter på 12 mm. Med en slik slangekeveil ble det oppnådd fra 2,8 til 3,1 min rørflokkulering før vannet nådde filtret.

For inndosering av bakteriekulturer eller jern/mangan-løsning ble det benyttet en peristaltisk pumpe (Alitea-XV, Sverige). Løsningene ble dosert via en kanyle direkte til innløpsledningen rett etter doseringspunktet for kitosan. I perioden hvor bakterier ble dosert (1,5 t) og i den etterfølgende perioden med jern-/mangan-dosering (1 t), ble det kjørt med en overflatebelastning på 9,3 m/h og en kitosan-dosering på 6 mg/l.

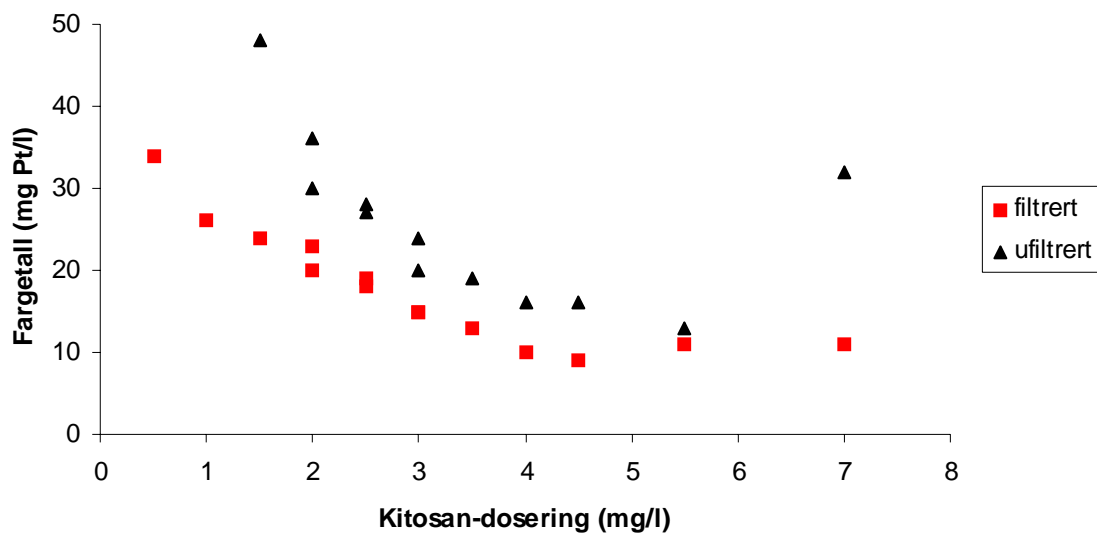
Analyser

Prøver fra laboratorieforsøkene og pilotskala 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 KM-lab. i Grimstad. Laboratoriet er akkreditert for de analysene-parameterne som ble valgt.

3. Resultater og diskusjon

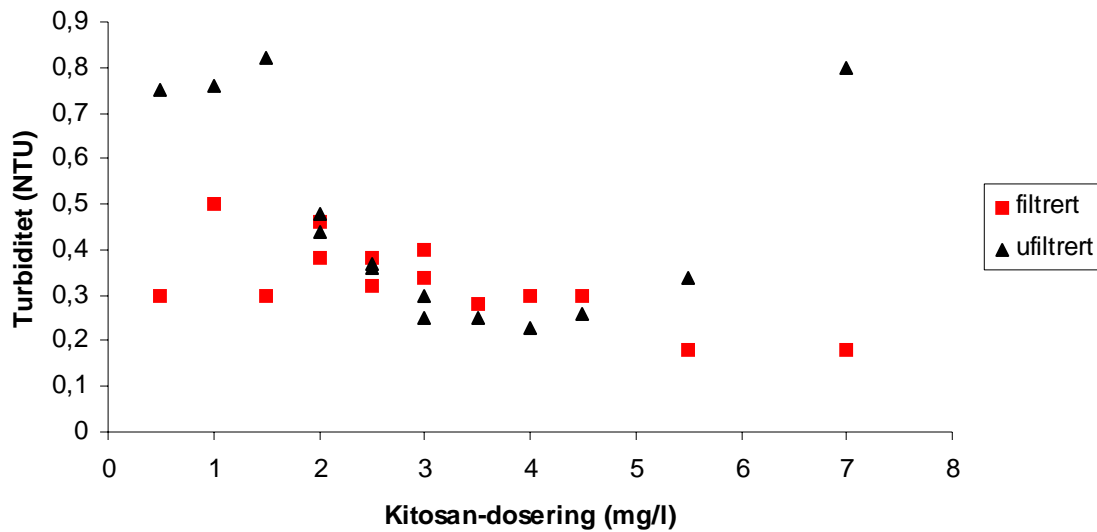
3.1 Jar-tester

I forhold til jar-tester som er gjennomført med vann med lavere fargetall, skjedde fnokkdannelsen rask med vannet fra Kilsund vannverk. Dette har nok sammenheng med høyt fargetall og tilstedeværelse av noe turbiditet som koagulerings-kjerner, samt forholdsvis høye kitosan-doseringer. Fargetall og turbiditet i filtrerte og ufiltrerte prøver, ved økende kitosandosering og justering av pH til 6, er vist i figur 2 og 3.



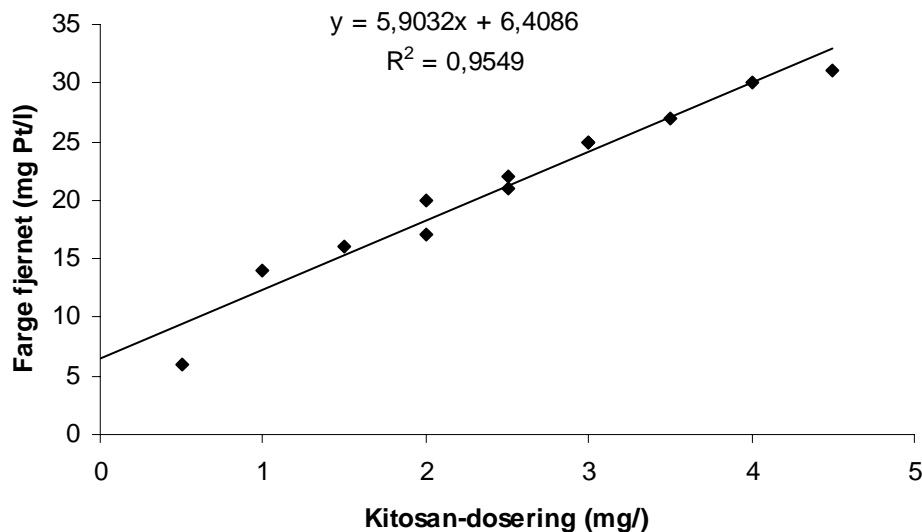
Figur 2. Fargetall (filtrert og ufiltrert) ved økende kitosan-doseringer i jar-tester hvor pH ble justert til 6. Råvannets fargetall i filtrert og ufiltrert prøve var henholdsvis 40 mg Pt/l og 45 mg Pt/l.

Med hensyn på fargetall på filtrert prøve tyder resultatene fra jar-testene på at det optimale doseringsområdet ligger rundt 4,5 mg kitosan pr. liter. Ved doseringer over denne verdien holder fargetallet i filtrert prøve seg tilnærmet stabilt, mens fargetallet i ufiltrert prøve øker kraftig. Tilsvarende tendens kan observeres for turbiditet i filtrert og ufiltrert prøve (figur 3). Dette tyder på en økning i antallet partikler som ikke lar seg fjerne ved sedimentering, men som fjernes ved filtrering. Disse partiklene antas å være relativt små, men større en lysåpningene i filtret som ble benyttet.



Figur 3. Turbiditet (filtrert og ufiltrert) ved økende kitosan-doseringer i jar-tester hvor pH ble justert til 6. Råvannets turbiditet i filtrert og ufiltrert prøve var henholdsvis 0,28 og 0,72 NTU.

En annen observasjon er en tilnærmet støkiometriske sammenheng mellom kitosan-dose og mengde farge fjernet (filtrert farge i råvannsprøve minus filtrert farge i behandlet prøve) i doserings-området 0.5 - 4.5 mg/l (figur 4). En slik sammenheng støtter undersøkelser som er gjort med syntetiske polymerer, hvor det blir hevdet at koagulerings-mekanismen er ladningsnøytralisering hvor de negativt ladede karboksylgruppene på humus molekylene nøytraliseres av positivt ladede aminogruener på polymeren (Glaser og Edzwald 1979). Graden av fargefjerning synes derfor å være proporsjonal med mengde positivt ladede aminogruener tilført, og mindre avhengig av størrelsen på polymer molekylene.



Figur 4. Farge fjernet (filtrert farge i råvannsprøve minus filtrert farge i behandlet prøve) som funksjon av kitosan-dosering i jar-tester. Råvannets fargetall var 40 mg Pt/l.

Flere tidligere undersøkelser har vist at optimal syntetisk polymer-dose er tilnærmet konstant uavhengig av molekylstørrelse (Glaser og Edzwald 1979, Edzwald og medarb. 1987). Tilsvarende er også framkommet i undersøkelser hvor kitosan-kvaliteter med ulik molekylstørrelse er benyttet (Liltved og Håkonsen 1999). Dette indikerer at såkalt ”brobygging” mellom humus molekyler er en mindre viktig koagulerings-mekanisme.

3.2 Pilotskala forsøk

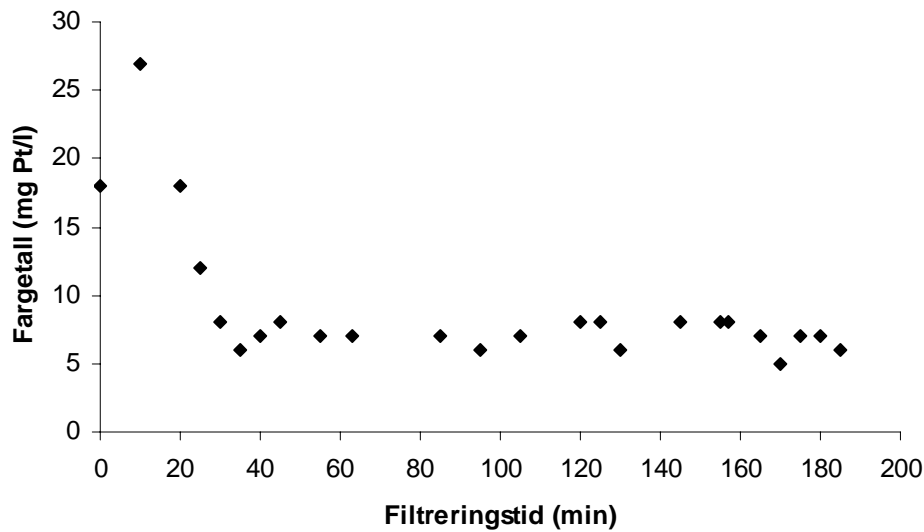
I direktefiltrerings-forsøkene i liten skala ble det benyttet overflatebelastninger i området 8,4 til 9,4 m³/m²*time (m/time) og kitosan-doseringer i området 4,5 – 6,0 mg/l. Resultatene fra 5 separate prøvedager viste varierende til stabilt gode resultater ved felling med kitosan. Årsakene til at det i perioder ble registrert svingninger i farge- og turbiditetsverdiene er ikke klarlagt. En mulig forklaring kan være periodevise kortslutningsstrømmer langs filterkolonnens vegger, såkalt veggeffekter, som kan være framtreddende når det benyttes filtre med liten diameter. En annen årsak til periodevise høye utløpsverdier kan ha vært vibrasjoner i filterkolonnen i forbindelse med at driftspersonell beveget seg i rommet hvor filtret var plassert.

Resultater med hensyn på fargetall og turbiditet fra en dag (26.02.99) med relativt stabil drift er vist i figur 5 og 6. Det ble kjørt med en konstant overflatebelastning på 8,8 m/time (tilsvarende en vannmengde på 0,93 l/min) og en kitosan-dosering på 4,6 mg/l (tilsvarende 0,92 ml/min fra en 1% kitosan-løsning, pumpeinnstilling 14). Som det framgår av figurene ble det observert høye utløpsverdier både for fargetall og turbiditet i de første minuttene etter tilbakespyling av filtret, i den såkalte modningsfasen. Deretter stabiliserte verdiene for fargetall seg til mellom 6 og 8 mg Pt/l i prøvetakingsperioden som varte i ca. 3 timer. I forhold til råvannsverdien for farge som ble målt denne dagen (40 mg Pt/l), utgjorde dette en reduksjon på mellom 80 og 85 %.

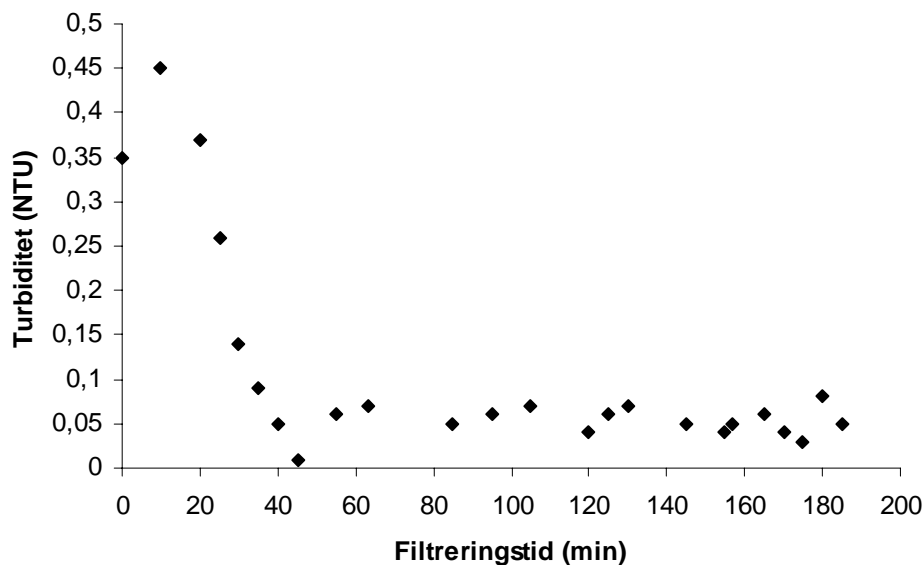
DOC i råvannet ble målt til 7,13 mg/l denne dagen, med en gjennomsnittlig utløpskonsentrasjon på 4,67 mg/l (n=4). Dette tilsvarer 35% reduksjon.

Turbiditetsverdiene i utløpet etter modningsfasen var i området 0,04 til 0,07 NTU. I forhold til råvannets turbiditet (0,52 NTU), tilsvarer dette reduksjoner fra 87 til 92%.

Trykktapet gjennom filterkolonnen ble målt i cm vannsøyle. Det gjennomsnittlige trykktapet i perioden var konstant 2 cm pr. time ved en overflatebelastning på 8,8 m/h. Dette synes å være lavt tatt i betraktning det høye fargetallet på råvannet.



Figur 5. Fargetall i utløp fra forsøksfiltret som funksjon av filtreringstid ved en konstant overflatebelastning på 8,8 m/time og en kitosan-dosering på 4,6 mg/l. Råvannets fargetall var 40 mg Pt/l.



Figur 6. Turbiditet i utløp fra forsøksfiltret som funksjon av filtreringstid ved en konstant overflatebelastning på 8,8 m/time og en kitosan-dosering på 4,6 mg/l. Råvannets turbiditet var 0,52 NTU.

I forbindelse med pilotskala-forsøkene ble det dosert en bakteriekultur (*E. coli*) eller jern/mangan fra en kjent stamløsning til innløpsvannet umiddelbart etter kitosan-doseringspunktet. I tabell 3 er resultatene fra den bakteriologiske prøvetakingen vist. Som det framgår ble det demonstrert en gjennomsnittlig høy prosentvis tilbakeholdelse av koliforme bakterier. Også totalantall bakterier ble kraftig redusert. Dette indikerer at prosessen med kitosan-felling på et Filtralite/sand-filter vil kunne fungere som en hygienisk barriere. Under disse forsøkene ble det kjørt med en overflatebelastning på 9,3 m/time og en kitosan-dosering på 6 mg/l.

Resultatene viser videre høy prosentvis reduksjon av jern (tabell 3). Imidlertid var renseeffekten for mangan lav. Dette kan ha sammenheng med de høye utgangskonsentrasjonene som ble benyttet i doseringsforsøkene, og at jern derved har utkonkurrert mangan med hensyn på tilgjengelige bindingssteder på kitosan molekylene. Ved lavere utgangskonsentrasjoner er det mulig at mangan-reduksjonen hadde blitt høyere.

Det ble også vist at prosessen fjerner ca. 90% av det naturlige jerninnholdet i råvannet.

Tabell 3. I tabellen vises gjennomsnittlige inn- å utløpsverdier tatt i perioder med kontinuerlig dosering av bakterier eller jern/mangan-løsning. Under forsøkene ble det kjørt med en overflatebelastning på 9,3 m/h og en kitosan-dosering på 6 mg/l.

	Innløp (n=3)	Utløp (n=3)	% reduksjon
Koliforme bakterier (37 °C) pr. 100 ml	6250000	37000	99,4
Totalantall bakterier (22 °C) pr. ml	100000	1500	98,5
Jern, µg Fe/l	630	24	96,2
Mangan, µg Mn/l	210	163	22,4

4. Referanser

Edzwald J.K., Haff J.D. og Boak J.W. 1977. Polymer coagulation of humic acid water. Jour. Environ. Eng. Div. Am. Soc. Civ. Eng., 103:989-1000.

Edzwald J.K., Becker W.C. og Tambini S.J. 1987. . Jour. Environ. Eng. Div. Am. Soc. Civ. Eng., 113:167-185.

Glaser H.T. og Edzwald J.K. 1979. Coagulation and direct filtration of humic substances with polyethylenimine. Environ. Sci. Technol. 13:299-305.

Liltved H. og Håkonsen T.K. 1999. Upubliserte resultater.