

RAPPORT LNR 4270-2000

**Fjerning av farge med  
kitosan som koagulant ved  
Haugesund vannverk**

**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 A/S**

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

Tittel Fjerning av farge med kitosan som koagulant ved Haugesund vannverk	Løpenr. (for bestilling) 4270-2000	Dato 06.09.2000
	Prosjektnr. Undernr. O-99163	Sider Pris 23
Forfatter(e) Helge Liltved	Fagområde Vannforsyning	Distribusjon
	Geografisk område Norge	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Haugesund kommune	Oppdragsreferanse Harald Helgesen
---------------------------------------	--------------------------------------

**Sammendrag**

Formålet med forsøkene som ble utført ved Haugesund vannverk var å finne fram til nødvendig kitosandose for god fjerning av farge og organisk karbon ved en normal filtreringshastighet, samt å beregne slamproduksjon basert på målinger av slamvolum og slamkarakteristika. Forsøk ble utført i et nedstrøms tomedia (antrasitt og sand) forsøksfilter med en filtreringshastighet på 8,5 m/h. Det ble også kjørt forsøk med etterfølgende alkalisering i knust marmor. Prosjektet ble gjennomført fra høsten 1999 til våren 2000.

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

  
**Helge Liltved**  
 Prosjektleder

  
**Svein Stene-Johansen**  
 Forskningsleder  
 ISBN 82-577-3898-0

  
**Bente Wathne**  
 Forskningsjef

# **Fjerning av farge med kitosan som koagulant ved Haugesund vannverk**

## **Forord**

Forsøkene ved Haugesund vannverk ble gjennomført i løpet av høsten 1999 og våren 2000. Forsøkene ble utført av NIVA i samarbeid med Carl H. Knudsen (Knudsen Prosjekt A/S) og personell fra Haugesund kommune. Den daglige oppfølgingen og prøvetakingen ble utført av Ernst Skogland og Arvid Pedersen (Haugesund kommune).

Grimstad, 16.07.2000

*Helge Liltved*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>7</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>8</b>
<b>2. Materialer og metoder</b>	<b>9</b>
<b>3. Resultater</b>	<b>11</b>
3.1 Rentvann	11
3.2 Slammengder og slamkvalitet	20
<b>4. Referanser</b>	<b>22</b>

## Sammendrag

Kitosan en naturlig kationisk polymer framstilt av reke- og krabbeskall. Polymeren har vist seg å være effektiv for koagulering av humus ved direktefiltrering. Det er flere fordeler med å benytte kitosan sammenliknet med tradisjonelle uorganiske koagulanter, bl.a. fravær av metallrest i rentvannet, fravær av metall i slammet og lavere slamproduksjon.

Formålet med forsøkene som ble utført ved Haugesund vannverk var å finne fram til nødvendig kitosandose for god fjerning av farge og organisk karbon ved en normal filtreringshastighet i sand/antrasitt, finne fram til riktige betingelser for alkalisering i et etterfølgende marmorfilter, samt å beregne slamproduksjon basert på målinger av slamvolum og slamkarakteristika. Forsøkene ble utført i et nedstrøms tomedia (antrasitt og sand) forsøksfilter med en filtreringshastighet på 8,5 m/h, etterfulgt av filtrering gjennom et separat marmorfilter. Prosjektet ble gjennomført fra høsten 1999 til våren 2000.

Følgende hovedkonklusjoner fra prosjektet kan trekkes:

- Uten å justere fellings-pH ble det oppnådd en reduksjon i fargetallet fra 28,2 mg Pt/l i råvannet til en gjennomsnittlig rentvannsfarge etter antrasitt/sandfilteret på 9,2 mg Pt/l (basert på 13 prøver analysert av Næringsmiddeltilsynet Haugaland) og 8,1 mg Pt/l (basert på 3 prøver analysert av NIVA) ved en kitosandose på 1,5 mg/l. Dette tilsvarer reduksjoner på henholdsvis 67,4% og 71,3%. Totalt organisk karbon (TOC) ble redusert fra gjennomsnittlig 3,3 til 2,2 mg/l, tilsvarende 33,3% renseseffekt.
- Ved å senke fellings-pH til 4 med saltsyre ved samme kitosandose (1,5 mg/l) ble det oppnådd en gjennomsnittlig rentvannsfarge på 7,2 mg Pt/l, tilsvarende 74,1% reduksjon etter antrasitt/sandfilteret, altså en svak forbedring ved å senke fellings-pH. TOC-verdien var fortsatt 2,2 mg/l. Det ble ikke registrert ytterligere forbedring i fargetallet ved å redusere fellings-pH til 3,3.
- Ved etterfølgende marmorfiltrering ble det observert fargeøkning gjennom marmorfiltret. Ved fellings-pH 4 økte fargetallet med ca. 3 enheter. Dette indikerer at det totalt sett ikke kan forventes fargetall særlig lavere enn 10 mg Pt/l i rentvannet etter antrasitt/sandfiltrering og marmorfiltrering. Ved fellings-pH 3,3 var fargeøkningen gjennom marmorfilteret mer moderat (mindre enn 1 enhet), noe som indikerer at rentvannsfarge rundt 8 mg Pt/l kan forventes. Økningen kan skyldes endringer i strukturen til humusmolekylene med økende pH. Det synes ikke å være noen klar økning i TOC.
- Det synes å være mulig å redusere kitosandoseringsen til 1-1,2 mg/l ved fellings-pH 3,3 og 4,0 uten at fargetall og TOC-verdier stiger nevneverdig.
- Totalt sett ble det oppnådd best resultater ved en kitosandoseringsen på 1,5 mg/l og fellings-pH 3,3 (filtreringshastighet på 8,5 m/h). "Empty bed contact time" (EBCT) i marmorfilteret var 12 minutter. Ved disse betingelsene ble det produsert et rentvann som tilfredstiller "Veiledende verdi" i Drikkevannsforskriften med hensyn på alle parametre bortsett fra alkalitet som er noe lav (se tabell). Potensialet til kitosan m.h.p. fargefjerning synes å være større enn det som framkommer i tabellen, da det periodevis ble oppnådd fargetall lavere enn 5 mg Pt/l ut fra marmorfilteret. Det var imidlertid ikke mulig å oppnå stabile verdier på dette nivået.

		Etter antrasitt/ sandfilter		Etter marmorfilter					
Kitosan- dose, mg/l	Fellings- pH	Farge mg Pt/l	TOC mg/l	Farge mg Pt/l	TOC mg/l	Turb. FTU	pH	Alkalitet mmol/l	Kalsium mg/l
1,5	4,7	9,2	2,2						
1,5	4,0	7,2	2,2	10,6	2,2	0,18	7,3	0,21	7,7
1,5	3,3	7,2	2,2	8,1	2,1	0,15	7,7	0,39	16,1
Drikkevannsforskriften		20**	3*	20**	3*	0,4*	7,5-8,5*	0,6-1,0*	15-25*

\* = veiledende verdi

\*\* = største tillatte konsentrasjon

- Basert på analyser av suspendert stoff i oppsamlet spylevann fra forsøksanlegget, er det beregnet slammengder ved fullskala drift ved en rentvannsproduksjon på 40.000 m<sup>3</sup>/dag. Ved en kitosandosering på 1,5 mg/l er den årlige tørrstoffproduksjonen beregnet til 50 tonn. De beregnede mengdene basert på målinger stemmer bra overens med teoretiske mengder basert på mengde kitosan tilsatt og mengde TOC fjernet fra råvannet. Tørrstoffmengden ved kitosanfelling er 5-6 ganger lavere enn forventet tørrstoffproduksjon ved bruk av aluminiumsbaserte fellingskemikalier (PAX eller PIX) i.h.t. notat fra Hjellnes Cowi. Ifølge notatet kan det ved Haugesund vannverk overslagsmessig regnes med 20-25 g STS pr. m<sup>3</sup> produsert vann, tilsvarende 250-300 tonn pr. år.
- Dersom det antas 20% tørrstoff i slammet etter avvanning i sentrifuge blir det en årlig mengde avvannet slam på ca. 250 m<sup>3</sup>. I forhold til slamproduksjonen ved bruk av PAX eller PIX (inntil 1500 m<sup>3</sup>) er dette svært lavt. Den årlige karbonmengden i slammet ved fullskala drift vil være ca. 14200 kg.
- Som resultat av lav slamproduksjon ser det ut til å være mulig å operere med lange filtersykluser, opptil 24 timer før tilbakespyling.

Basert på resultatene som er framkommet bør det være interessant med prøvedrift med kitosanfelling ved Haugesund vannverk. Dette fordi det har vist seg at så lave kitosandoser som 1-1,5 mg/l kan gi tilfredstillende resultater, og fordi kitosan gir lav slamproduksjon og reduserte kostnader for slamhåndtering sammenliknet med bruk av tradisjonelle fellingsmidler.

Ved dosering av saltsyre for senking av fellings-pH vil kloridinnholdet i vannet øke. Ved pH 3,3 ble kloridinnholdet målt til ca. 20 mg/l. Mulige korrosjonseffekter av dette bør avklares, sammen med eventuell korrosjonsøkning p.g.a. selve pH-senkningen.

## Summary

Title: Use of chitosan as coagulant in direct filtration at Haugesund Waterwork

Year: 2000

Author: Helge Liltved

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3898-0

The aim of this pilot-scale 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 as a coagulant, followed by three-media filtration. The study was conducted at Haugesund Waterwork in the county of Rogaland. To include corrosion control, calcium carbonate was used as filter media in combination with anthracite and sand. The pilot plant was supplied with raw water through a separate pipe and equipped with pumps for dosing coagulants and acid for pH-adjustment. The filtration rate was 8,5 m/h throughout the study.



# 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 drikkevannsforsyning, og i andre land med utstrakt bruk av overflatevann. 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 ledningsnett.

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. Kravet til restaluminium etter filtrering er ofte vanskelig å tilfredstille.

Ved tilbakespyling av filterene produseres tildels store mengder spylevann. Metallinnholdet bidrar til å gjøre spylevannet til et avfall som ikke uten videre kan ledes til ferskvannsresipienter eller avvannes å brukes på mark. Krav om behandling og sikker deponering fordyrer investering- og driftskostnadene for vannverk.

I tillegg til jern eller aluminium, benyttes syntetiske polymerer som hjelpekoagulant ved noen vannverk. En slik tilleggsdosering kan styrke de utfelte humusfnokkene, 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 høyere dosering enn 0,5 mg polymer pr. liter vann. I utkast til nytt Drikkevannsdirektiv 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 koagulant*

Kationiske syntetiske polymerer har vist seg å være effektive koagulanter for å redusere humus i drikkevann med lavt til moderat innhold av totalt organisk karbon (TOC) (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→4)-β-D-glycopyranan] består av lange lineære polymere molekyler av β(1→4) 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.

I surt miljø vil aminogruppene i kitosan protoniseres og bli positivt ladet, og dermed kunne reagere med negativt ladede reaktive grupper på andre molekyler, som f.eks. karboksylgrupper knyttet til

humusmolekyler. Slike bindinger vil kunne initiere koagulering ved ladningsnøytralisering og aggregatdannelse.

To åpenbare fordeler ved bruk av kitosan i forhold til jern- eller aluminiumssalter er fravær av restmetall i det behandlede vannet, og fravær av metaller i slammet. Dersom spylevannet ledes direkte til resipient vil det ikke være fare for 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.

En annen fordel med polymerer i forhold til uorganiske koagulanter er at det ikke dannes ekstra slam i form av metallhydroksider. Belastningen på separasjonstrinnet blir derfor mindre. Forsøk med syntetiske polymerer tilsier en halvering av slamvolumet, og høyere tørrstoffinnhold (Bolto og medarb. 1999). I vannverk vil en reduksjon i slammengdene bety reduserte kostnader til slambehandling, enten det dreier seg om transport, avvanning eller overføring til avløpsanlegg, og eventuelt en miljøgevinst dersom spylevannet ledes direkte til resipient.

Filtreringsperioden mellom hver tilbakespyling vil 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.

For å kunne vurdere kitosan på lik linje med andre koagulanter trengs det økt kunnskap om reaksjonsmekanismer, effekter av variasjoner i vannkvalitet (inkl. pH), slamproduksjon og slamkvalitet, driftserfaringer, samt kunnskap om eventuelle helsemessige effekter. Kartlegging av mengde rest-kitosan i rentvannet og eventuelle effekter av dette i reaksjoner med desinfeksjonsmidler som klor, ozon og UV-bestråling gjenstår å kartlegge. Slike studier, fortrinnsvis med syntetiske polymerer, gjennomføres for tiden i USA (American Water Work Association Research Foundation 1999).

Det har tidligere blitt hevdet at kitosan som fellingsmiddel er for kostbart sammenliknet med andre koagulanter. For å få et riktig bilde av kostnadene, må også gevinster i form av reduserte kostnader for slambehandling og transport/deponering inkluderes. Nye og effektive metoder for kitosanproduksjon, flere kitosanprodusenter (økt konkurranse) og økte kostnader i forbindelse med deponering av metallholdig slam er faktorer som kan endre på kostnadsbildet.

Formålet med forsøkene som ble utført ved Haugesund vannverk var å finne fram til nødvendig kitosandose for god fjerning av farge og organisk karbon ved en normal filtreringshastighet. Forsøkene ble utført i et nedstrøms tomedia (antrasitt og sand) forsøksfilter med en filtreringshastighet på 8,5 m/h. Det ble også kjørt forsøk med etterfølgende alkalisering i knust marmor. Prosjektet ble gjennomført fra høsten 1999 til sommeren 2000.

## 2. Materialer og metoder

Verdier for noen kvalitetsparametere for råvannet ved Haugesund vannverk er gitt i tabell 1. Vannkvaliteten er relativt stabilt, med et fargetall på omkring 28 mg Pt/l. Vannet er ikke spesielt surt, og har et høyt innhold av klorid, noe som tyder på marin påvirkning.

**Tabell 1.** Middelverdier for råvannskvaliteten ved Haugesund vannverk i forsøksperiodene. Standardavvik er angitt for parametre som er målt 3 eller flere ganger.

	Middelverdi	Standard-avvik
pH	5,99	0,25
Alkalitet, mmol/l	0,028	
Fargetall, mg Pt/l	28,2	3,83
UVabs pr. cm	0,125	
Totalt organisk karbon (TOC), mg/l	3,3	0,25
Turbiditet, FTU	0,43	0,03
Konduktivitet, mS/m	4,6	
Jern, mg/l	0,103	
Aluminium, mg/l	0,021	
Klorid, mg/l	9,2	

Som koagulant ble det i hovedsak benyttet lav-viskøse kitosankvalitet (TM 388 og TM 578) fra Primex Ingredients ASA. Det ble i tillegg gjort enkelte forsøk med en kitosantype av høyere viskositet (TD O18). Kitosan ble løst i en fortennet saltsyre til en konsentrasjon på 0,5%. Denne ble dosert direkte på innløpsledningen til pilotanlegget.

Pilotanlegget som ble benyttet bestod av tank og membranpumpe for kitosandosering, en slangekveil med noen minutters oppholdstid for flokkulering, en filterkolonne med indre diameter 300 mm og høyde ca. 3000 mm, og utrustning for kontinuerlig overvåking av inngående og utgående pH, ledningevne og turbiditet.

Det ble gjennomført forsøk med nedstrøms filtrering i tomedia filter. I forsøksperiode I (6. oktober til 12 november 1999) ble det felt direkte på filteret uten pH-justering. Filtersengen var oppbygd av antrasitt og sand som vist i tabell 2. Prøver ble tatt ut etter antrasitt/sandfiltrering.

I forsøksperiode II (28. februar til 31. mars 2000) og III (4. juni til 28. juni 2000) ble fellings-pH justert med saltsyre, og det ble koblet inn et separat marmorfilter for alkalisering av vannet fra antrasitt/sandfilteret. Det ble gjennomført forsøk ved fellings-pH 3.3, 3.5 og 4. Marmorfilteret ble hovedsakelig belastet med 250 l/min, tilsvarende "empty bed contact time" (EBCT) på 12 minutter. I perioder ble vannmengden økt til 500 l/min, tilsvarende EBCT på 24 minutter. Det tatt ut prøver for analyse etter antrasitt/sandfilteret og etter marmorfilteret.

Spyling av filtrene ble gjennomført rutinemessig. Antrasitt/sandfilteret ble spylt etter 12 eller 24 timers drift. Spylevannet ble samlet opp i en tank for måling av volum og uttak av prøver for analyse.

**Tabell 2.** Filtersengens oppbygning.

Medium	korndiameter, mm	filterdybde, m	typebetegnelse, leverandør
Antrasitt	0,8-1,6	0,6	Everzit Anthrazit N, Alfson og Gunderson A/S, Oslo
Filtersand	0,5-1,2	0,4	Woldstad Sandforretning as, Hokksund
Støttelag sand	1-3,5	0,2	"
Støttelag grus	3,5-5,5	0,2	"
Støttelag grus	6-16	0,2	"
<b>Alkalisering</b>			
Knust marmor	1-3	0,7	Frantzfoss Bruk AS

Ved siden av de kontinuerlige registreringene og in-situ målinger av fargetall v.h.a. et Hach fotometer (DR 2000), ble det tatt ut daglige prøver av rentvannet. Prøvene ble analysert m.h.p. pH, alkalitet, fargetall, turbiditet og kalsium ved Næringsmiddeltilsynet Haugaland (NMTH). I tillegg ble det tatt ut rentvannsprøver (1 l) og slamprøver (5 l) som ble sent NIVA for analyse. Rentvannsprøvene ble analysert m.h.p. pH, turbiditet, fargetall og TOC. Tørrstoffinnholdet i slamprøven ble bestemt. Videre ble en liter av slamprøven overført til et Imhoff-beger for 2 timers sedimentering. Etter denne tid ble det tatt ut prøve av slamfasen og klarfasen for bestemmelse av tørrstoff og andre slamparametere.

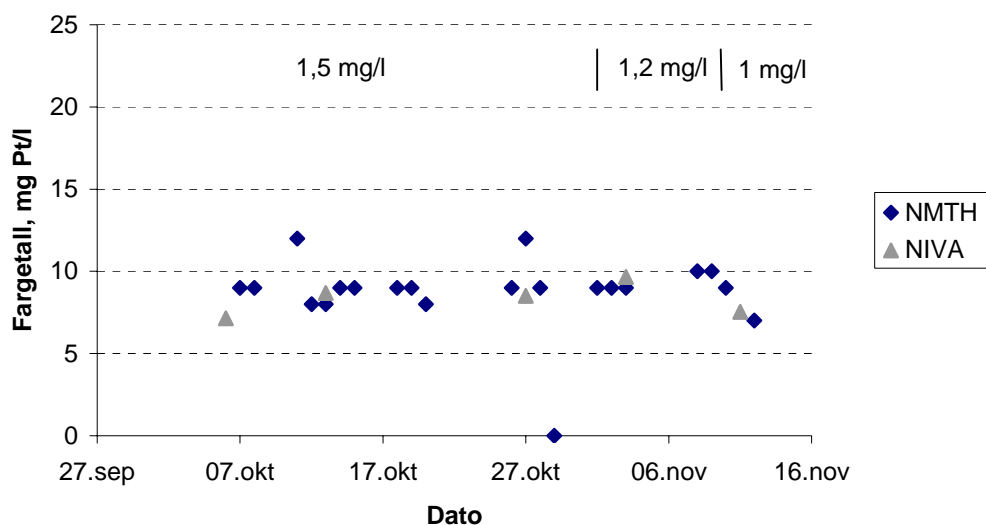
## 3. Resultater

### 3.1 Rentvann

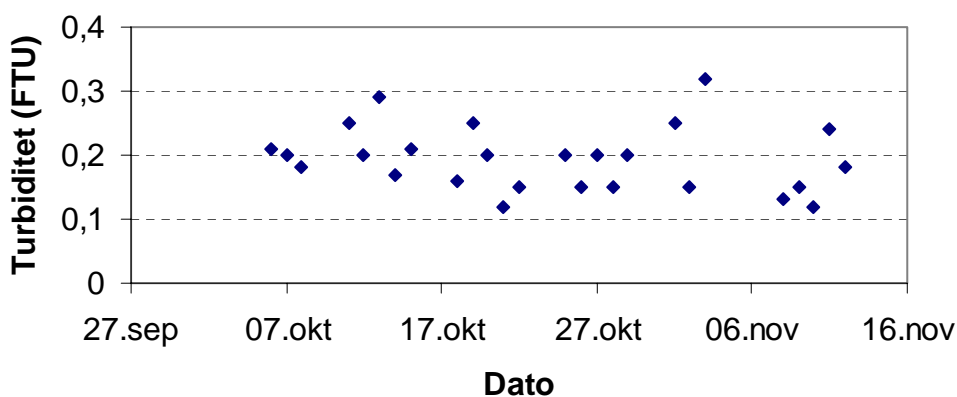
I forsøksperiode I ble det kjørt med en fast filtreringshastighet på 8,5 m/time (600 l/time) og kitosandoserings på 1,5 mg/l. Doseringen ble senket til 1,2 mg/l den 1. november, og videre til 1,0 mg/l den 10. november. Denne reduksjonen i dosering ga bare små utslag i fellings-pH, som lå i området 4,5-4,9 i perioden. pH reduksjonen på ca. 1 enhet i forhold til råvanns-pH ble forårsaket av den sure kitosanløsningen.

Fargetallet i rentvannet er vist i figur 1 (analysert av Næringsmiddeltilsynet Haugaland (NMTH) og NIVA). Stort sett var det god overenstemmelse i målte verdier mellom de to laboratoriene, bortsett fra ved ett par anledninger hvor det ble målt høye verdier ved NMTH. 11. og 27. oktober ble det målt 12 i fargetall av NMTH mens NIVA-målingen den 27. oktober var lavere (8,5 mg Pt/l). Som det framgår av figur 1 holdt fargetallet i rentvannet seg som regel under 10 mg Pt/l ved en kitosandoserings på 1,5 mg/l. Effekten av å redusere doseringen til 1,2 mg/l den 1. november, og videre til 1,0 mg/l den 10. november var ikke entydig. Det er derfor ønskelig å gjenta forsøk med disse lave doseringene, og kombinere dette med lavere fellings-pH. Forsøk ved andre vannverk har vist at fellings-pH på 4 gir bedre resultater enn å felle ved høyere verdier. En slik lav pH kan også være gunstig i forhold til etterfølgende alkalisering av vannet ved marmorfiltrering.

Turbiditeten i utgående vann var relativt stabil i området rundt 0,2 FTU (Figur 2). I forhold til råvannets turbiditet (0,43 FTU), er dette en forholdsvis moderat reduksjon, men allikevel tilstrekkelig til å holde seg godt under gjeldene norm.



**Figur 1.** Fargetall i rentvannet målt av NMTH og NIVA ved kitosandoseringer på 1,5 mg/l i forsøksperiode I (6.okt.-12.nov. 1999). Fellings-pH: 4,5-4,9. Filtreringshastighet: 8.5 m/time. Fargetall råvann: 28,2 mg Pt/l.



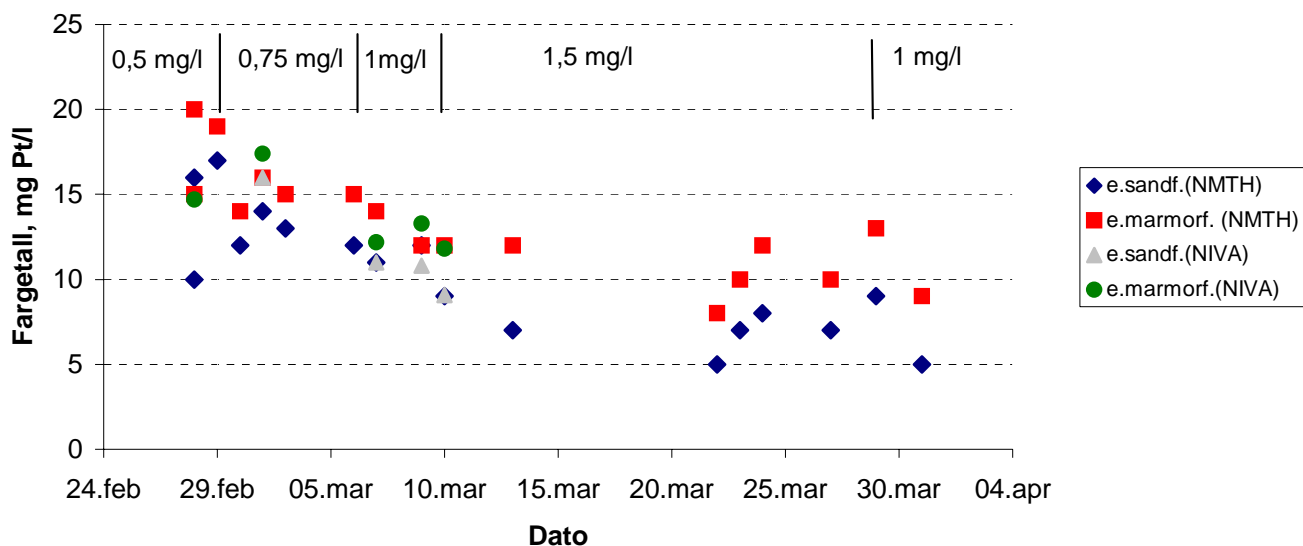
**Figur 2.** Turbiditet i rentvannet ved kitosandoseringer på 1,5 mg/l (6.okt-1.nov), 1,2 mg/l (1.nov-10.nov), og 1,0 mg/l (10.nov-12.nov) målt "in-line". Fellings-pH: 4,5-4,9. Filtreringshastighet: 8.5 m/time. Turbiditet råvann: 0,47 FTU.

I forsøksperiode II, hvor fellings-pH ble senket v.h.a. saltsyre, ble det prøvd ulike doseringer ved konstant filtreringshastighet (8,5 m/time). Som vist i figur 3 var det godt samsvar mellom fargetallsmålinger utført ved NMTH og NIVA, både etter antrasitt/sandfilter og etter marmorfilter. Det synes å være en direkte sammenheng mellom fargetall i rentvann og mengde kitosan dosert. En slik sammenheng er også påvist ved andre vannverk hvor kitosan har vært benyttet som koagulant (Liltved og Norgaard 1999). Ved 0,5 - 0,75 mg/l lå fargetallet i rentvannet etter antrasitt/sandfiltrering mellom 10 og 17 mg Pt/l (renseeffekt på 40-64 %). Ved høyere doseringer (1,0 - 1,5 mg kitosan pr. liter) ble det målt fargetall mellom 5 og 9 mg Pt/l etter antrasitt/sandfilteret, tilsvarende 68-82% renseeffekt. Det ble registrert at fargetallet konsekvent var høyere etter marmorfilteret, fra 2 til 5 enheter.

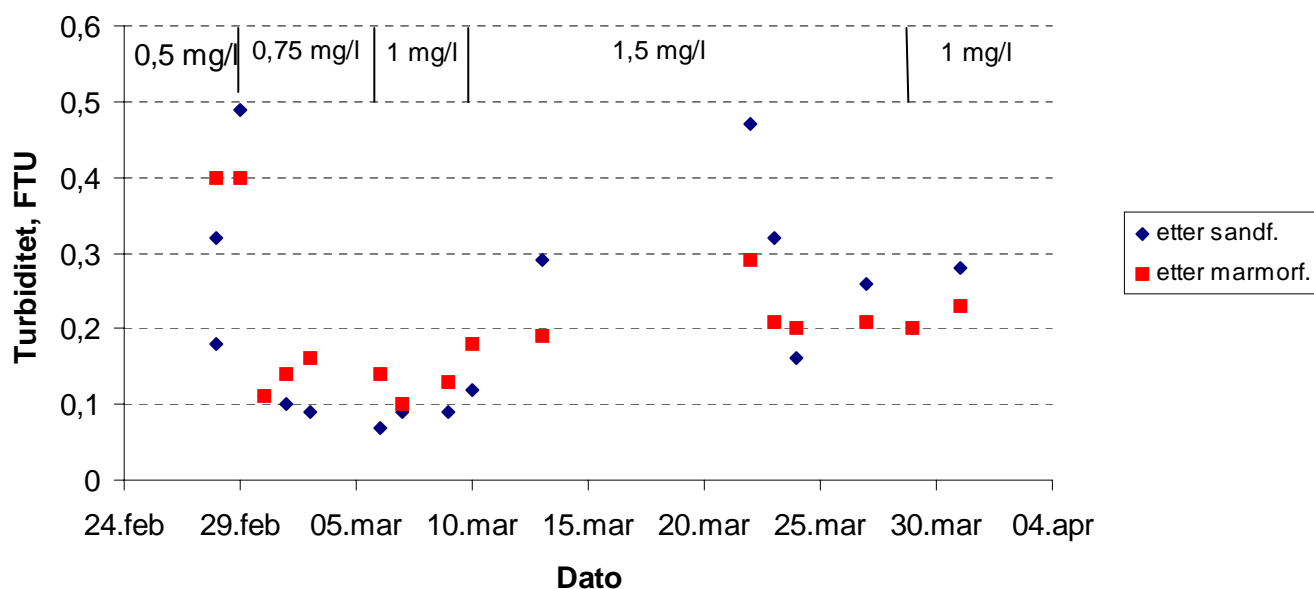
Forsøkene viser at det i enkeltprøver ble målt over 80% fjerning av farge gjennom antrasitt/sandfilteret ved doseringer på 1 og 1,5 mg/l. Imidlertid var det ikke mulig å holde stabile effekter på dette nivået.

Økningen i fargetall over marmorfilteret bidrar til at det ikke kan forventes gjennomsnittlige rentvanskvaliteter mye under 10 mg Pt/l når alkalisering og pH økning inkluderes.

Turbiditetsverdiene var lavest ved kitosandoseringer på 0,75 - 1,0 mg/l (figur 4).

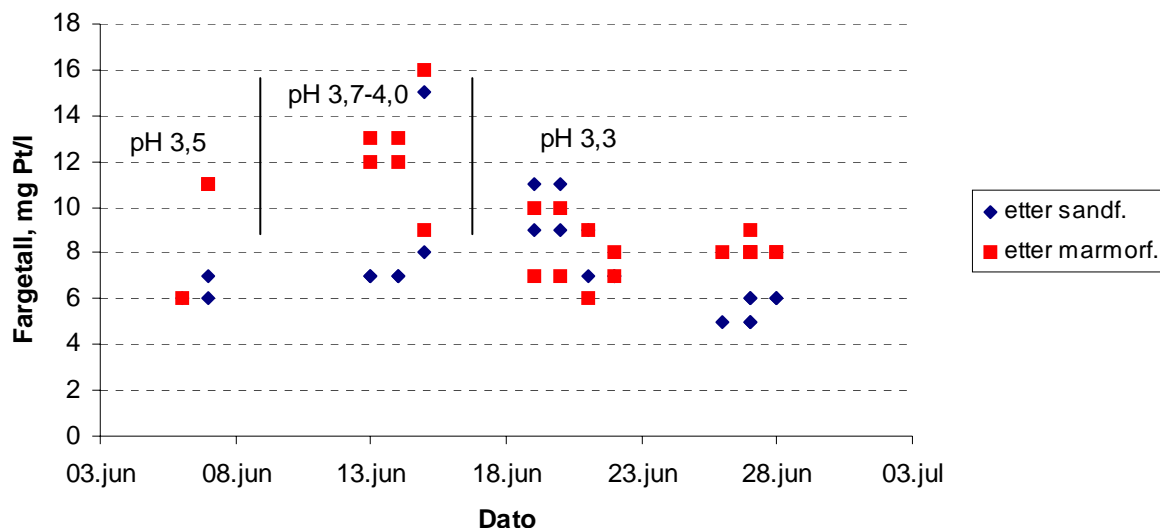


**Figur 3.** Fargetall i rentvann etter antrasitt/sandfilter og etter marmorfilter målt av NMTH (◆, ■) og av NIVA (◻, ◉) ved ulike kitosandoseringer i forsøksperiode II (28. febr. - 31. mars 2000). Fellings-pH: 4,0. Filtreringshastighet: 8,5 m/h. Fargetall råvann: 28,2 mg Pt/l.

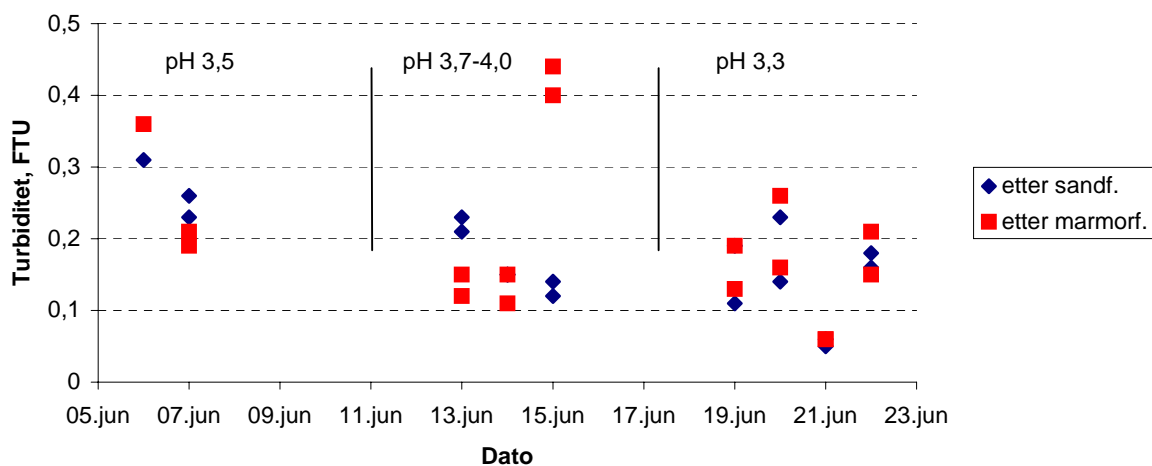


**Figur 4.** Turbiditet i rentvann etter antrasitt/sandfilter (◆) og etter marmorfilter (■) ved ulike kitosandoseringer i forsøksperiode II (28. febr. - 31. mars 2000). Fellings-pH: 4,0. Filtreringshastighet: 8,5 m/h. Turbiditet råvann: 0,43 FTU.

I forsøksperiode III ble det gjort forsøk med en konstant kitosandoserings på 1,5 mg/l og reduksjon i fellings-pH helt ned til 3,3 (figur 5). Resultatene viser liten forskjell i fargetall ut fra antrasitt/sandfilteret ved de ulike fellings-pH. Imidlertid er fargetallet etter marmorfiltrering ved fellings-pH 3,3 lavere enn ved høyere pH-verdier. Dette synes i første rekke å skyldes at den tidligere omtalte forskjellen i fargetall mellom utløp antrasitt/sandfilter og utløp marmorfilter forsvinner eller bli redusert ved fellings-pH 3,3. Turbiditetsverdiene var også lave ved denne lave pH-verdien, både etter antrasitt/sandfilteret og etter marmorfilteret (figur 6).



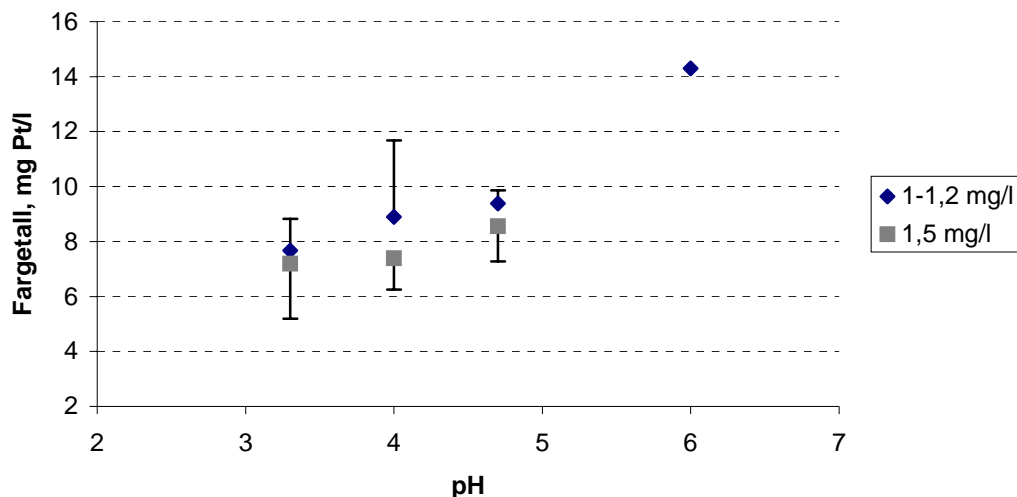
**Figur 5.** Fargetall i rentvann etter antrasitt/sandfilter (◆) og etter marmorfilter (■) ved fast kitosandoserings på 1,5 mg/l varierende fellings-pH (4. juni til 28. juni 2000). Filtreringshastighet: 8.5 m/h. Fargetall råvann: 28,2 mg Pt/l.



**Figur 6.** Turbiditet i rentvann etter antrasitt/sandfilter (◆) og etter marmorfilter (■) ved fast kitosandoserings på 1,5 mg/l varierende fellings-pH (4. juni til 28. juni 2000). Filtreringshastighet: 8.5 m/h. Turbiditet råvann: 0,43 FTU

I figur 7, 8 og 9 er data fra alle forsøksperiodene samlet for å vise hvordan endringer i kitosandoserings og fellings-pH innvirker på fargetallet i rentvannet. Fargetall etter antrasitt/sandfiltrering er lavere ved lav pH (3,3) enn ved høyere pH (4,0), både ved kitosandoserings på 1-1,2 mg/l og ved 1,5 mg/l (figur 7). Imidlertid synes effekten av å øke doseringen fra 1-1,2 mg/l til 1,5 mg/l liten, med bare en svak

eller ingen forbedring av fargetallet. En økning i kitosandosen synes heller ikke å forbedre effekten etter marmorfiltrering.



**Figur 7.** Gjennomsnittlige fargetall etter antrasitt/sandfilter ved ulike fellings-pH og kitosandoseringer. Standardavvik er inkludert der det foreligger 3 eller flere målinger.

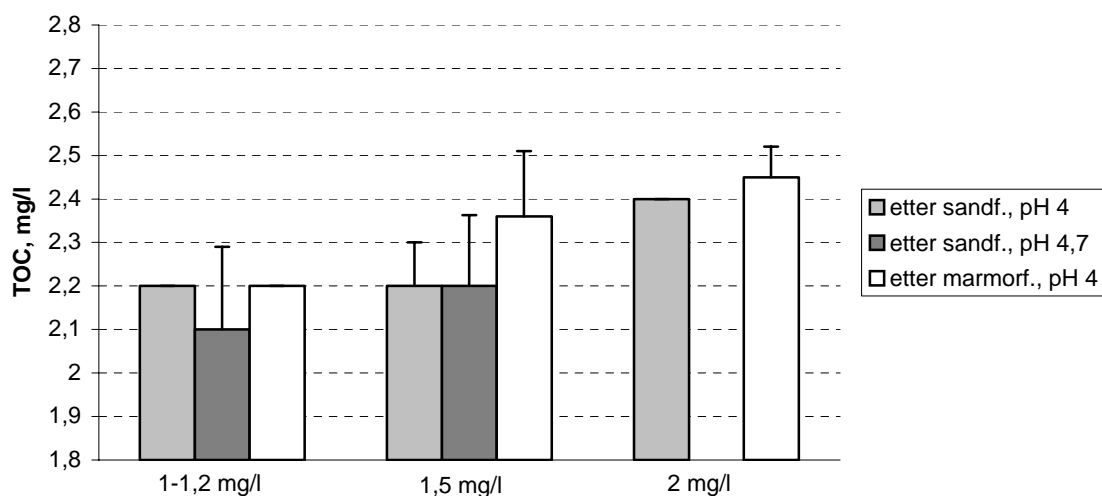
Med hensyn på TOC var det små eller ingen forskjeller ved de to doseringsmengdene (1-1,2 og 1,5 mg/l) etter antrasitt/sandfiltrering (figur 8). Høy kitosandoserings (2 mg/l) ga dårligere resultat både etter antrasitt/sandfiltrering og etter marmorfiltrering. Ved denne lave doseringen (1-1,2 mg/l) og fellings-pH 4 ble det registrert en gjennomsnittlig TOC-verdi etter antrasitt/sandfilteret på 2,2 mg/l (tilsvarende 33% fjerning av råvannets TOC-innhold) (figur 8). Tilsvarende TOC-konsentrasjon ble målt etter marmorfilteret. Ved lavere fellings-pH (3,3) og en dosering på 1,5 mg kitosan pr. liter, ble det målt TOC-verdier på 2,0 mg/l etter marmorfilteret.

I motsetning til for fargetall, synes ikke å være noen klar økning i TOC over marmorfilteret. Dette tyder på at fargeøkningen i hovedsak forårsakes av en pH avhengig endringer i strukturen til humusmolekylene, og ikke av tilførsler av organisk stoff i marmorfilteret. Gjessing (1976) har vist at fargetallet i en vannprøve øker ved å heve pH-verdien med lut. Han har også vist at humusmolekylene øker i størrelse ved å heve pH, noe som forklarer det økte fargetallet.

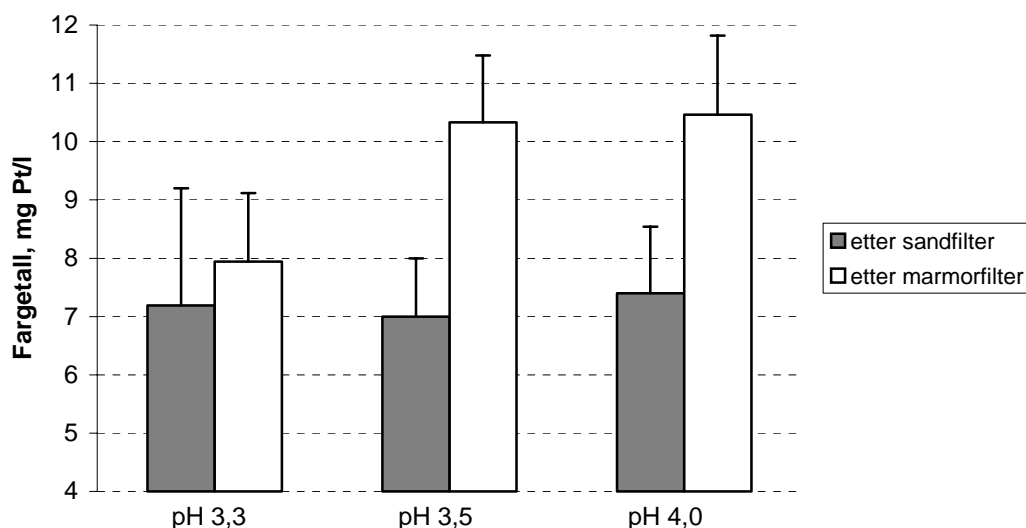
Effekten av å redusere fellings-pH fra 4,0 til 3,5 og 3,3 synes liten m.h.p. fargetall etter antrasitt/sandfiltrering (figur 7 og 8). Imidlertid reduseres den tidligere omtalte forskjellen mellom utløp antrasitt/sandfilter og utløp marmorfilter, noe som gjør at gjennomsnittlig fargetall etter marmorfiltrering ved pH 3,3 er 7,9 mg Pt/l, mot 10,5 mg Pt/l ved pH 4,0.

I figur 9 framkommer forskjellen i fargetall mellom utløp antrasitt/sandfilter og utløp marmorfilter ved ulike fellings-pH og konstant kitosandoserings på 1,5 mg/l. Ved pH 3,5 og 4,0 er forskjellen betydelig (ca. 3 fargeenheter), mens denne ved pH 3,3 er redusert til mindre enn 1 fargeenhet. Dette medfører betydelig lavere fargetall etter marmorfilteret ved pH 3,3 enn ved høyere pH-verdier (3,5 og 4,0).



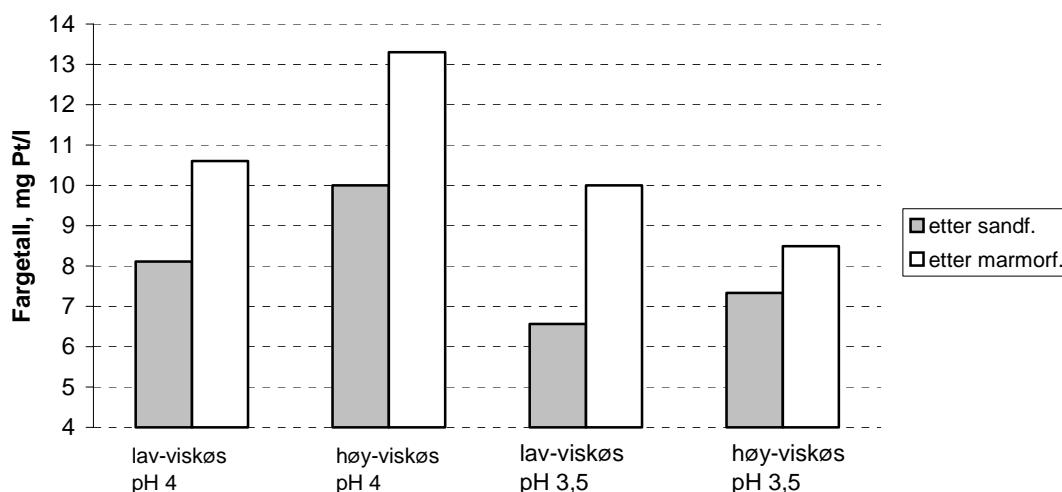


**Figur 8.** Gjennomsnittlige TOC-verdier ved ulike kitosandoseringer etter antrasitt/sandfilter ved fellings-pH 4 og 4,7, og etter marmorfilter ved fellings-pH 4. Råvanns-TOC: 3,3 mg/l. Standardavvik er inkludert der det foreligger 3 eller flere målinger.

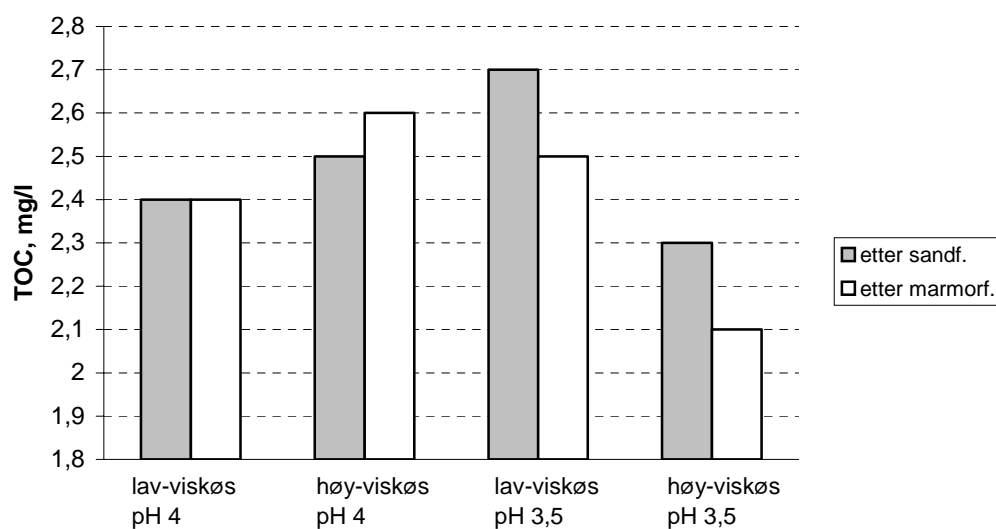


**Figur 9.** Gjennomsnittlige fargetall etter antrasitt/sandfilter og etter marmorfilter ved en kitosandose på 1,5 mg/l og ulike fellings-pH. Fargetall råvann: 28,2 mg Pt/l. Standardavvik er inkludert der det foreligger 3 eller flere målinger.

I tillegg til de nevnte forsøkene ble det kjørt en prøveserie hvor en høy-viskøs kitosantype (TD 018) ble testet i forhold til den lav-viskøse som ble benyttet i forsøkene. Det ble dosert 2 mg kitosan pr liter ved fellings-pH 3,5 og 4. Resultatene er vist i figur 10 og 11. Som det framkommer var den lav-viskøse mer effektiv m.h.p. fjerning av farge, både ved fellings-pH 3,5 og 4. Igjen sees en betydelige økningen i fargetall gjennom marmorfilteret når pH øker. For TOC-fjerning synes den lav-viskøse å fungere best ved pH 4, mens det motsatte var tilfelle ved pH 3,5 (figur 11). I motsetning til for fargetall, var det ingen påviselige endringer i TOC over marmorfilteret.

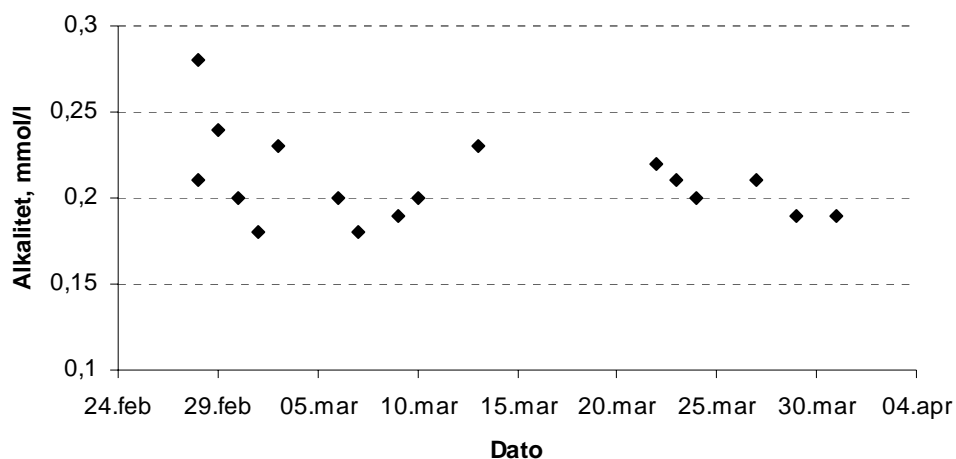


**Figur 10.** Fargetall i rentvann etter antrasitt/sandfilter og etter marmorfilter ved felling-pH 4 og 3,5 med lav-viskøs og høy-viskøs kitosan. Kitosandosering: 2 mg/l.

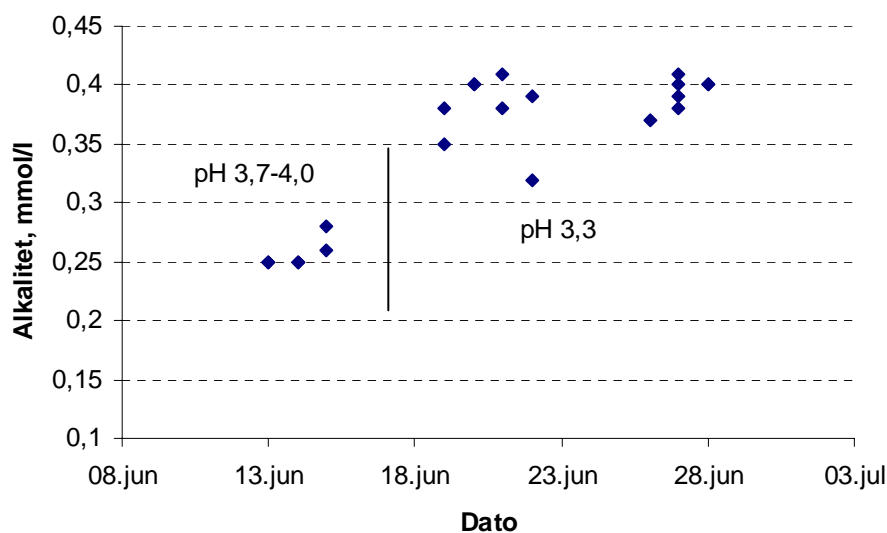


**Figur 11.** TOC i rentvann etter antrasitt/sandfilter og etter marmorfilter ved felling-pH 4 og 3,5 med lav-viskøs og høy-viskøs kitosan. Kitosandosering: 2 mg/l. Råvanns-TOC: 3,3 mg/l.

Med en belastning på marmorfilteret på 250 l/time, tilsvarer dette en "empty bed contact time" (EBCT) på 12 minutter. Resultatene viser alkalitetsverdier rundt 0,2 mmol/l når det ble felt ved pH 4 (figur 12). Ved å senke fellings-pH til 3,3 ble det registrert en ytterligere økning i alkaliteten til gjennomsnittlig 0,39 mmol/l (figur 13).



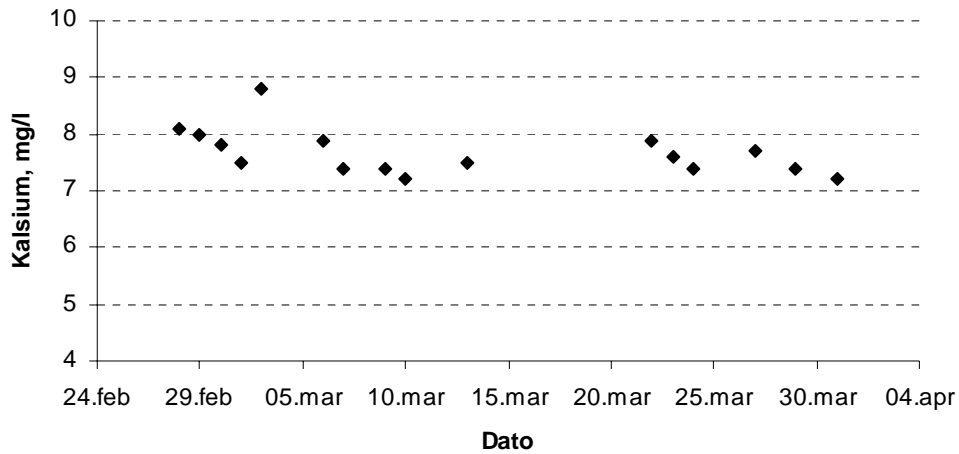
**Figur 12.** Alkalitetsverdier i rentvannet etter marmorfiltrering ved fellings-pH 4 og EBCT på 12 minutter.



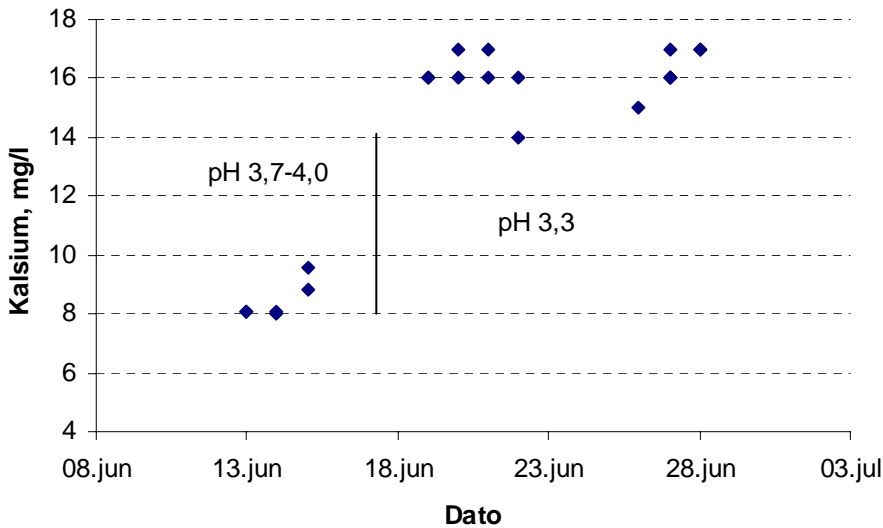
**Figur 13.** Alkalitetsverdier i rentvannet etter marmorfiltrering ved fellings-pH 3,3 og EBCT på 12 minutter.

Tilsvarende forhold ble observert for kalsium. Ved fellings-pH 4 ble det oppnådd kalsiumverdier på mellom 7 og 8 mg/l (figur 14). Ved å senke fellings-pH til 3,3 ble kalsiumkonsentrasjonen øket til gjennomsnittlig 16,1 mg/l (figur 15).

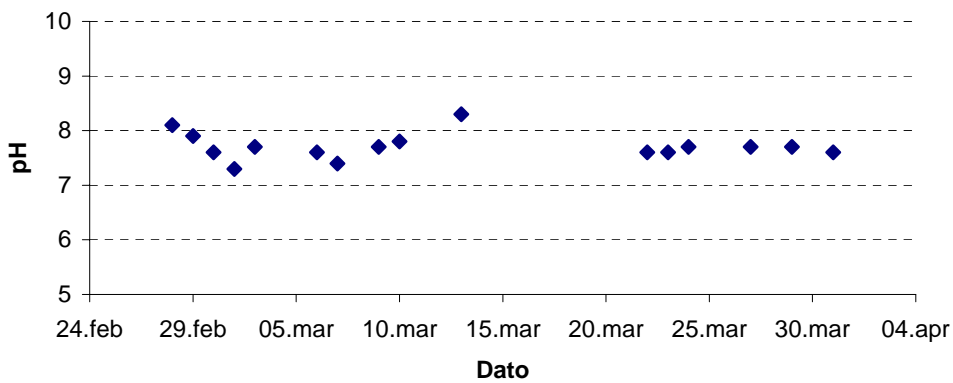
pH i rentvann etter marmorfilteret lå hovedsakelig i området 7,5-8,0 (figur 16). Det ble bare registrert små endringer i rentvanns-pH ved å redusere fellings-pH til 3,3.



**Figur 14.** Kalsiumverdier i rentvannet etter marmorfiltrering ved fellings-pH 4 og EBCT på 12 minutter.



**Figur 15.** Kalsiumverdier i rentvannet etter marmorfiltrering ved fellings-pH 3,7-4,0 og 3,3 og EBCT på 12 minutter.



**Figur 16.** pH i rentvannet etter marmorfiltrering ved fellings-pH 4 og EBCT på 12 minutter.

### 3.2 Slammengder og slamkvalitet

Rutinemessig ble forsøksfilteret tilbakespylt etter 24 timer i forsøksperiode I. På grunn av økt trykkoppbygging ble det observert at en del av inngående vann gikk i overløp de siste timene før tilbakespyling. Det antas at dette ikke i vesentlig grad har innvirket på slammengdene som er beregnet. Spylehastigheten var 50 m/h (tilsvarende 60 l/min) noe som ga en spylevannsmengde på 250 liter ved ca. 4 min tilbakespyling. Mengde spylevann ble målt etter hver tilbakespyling.

Ved en kitosandosering på 1,5 mg/l ble det tatt ut en prøver av det oppsamlede spylevannet, og av fortykket slam etter 2 timers fortykning i Imhoff-glass, og det er gjort beregninger av slamproduksjonen basert på gjennomsnittlige konsentrasjonsmålinger og volummålinger. Resultatene er vist i tabell 3.

Basert på tallene blir den årlige slamproduksjonen i fullskala 50 tonn tørrstoff ved en rentvannsproduksjon på 40.000 m<sup>3</sup>/dag. Dette er 5-6 ganger lavere enn det som er forventet tørrstoffproduksjon ved bruk av aluminiumsbaserte fellingskjemikalier (PAX eller PIX) i.h.t. notat fra Hjellnes Cowi. Ifølge notatet kan det ved Haugesund vannverk overslagsmessig regnes med 20-25 g STS pr. m<sup>3</sup> produsert vann, tilsvarende 250-300 tonn pr. år.

Dersom det antas 20% tørrstoff i slammet etter avvanning i sentrifuge blir det en årlig mengde avvannet slam på ca. 250 m<sup>3</sup>. I forhold til slamproduksjonen ved bruk av PAX eller PIX (inntil 1500 m<sup>3</sup>) er dette svært lavt.

Sammenliknet med teoretisk slamproduksjon ved kitosanfelling stemmer de målte verdiene bra: Tørrstoffet i slammet vil i hovedsak bestå av tilsatt mengde kitosan (1,5 mg/l) pluss fjernet organisk stoff (humus). Dersom alt kitosan holdes tilbake i filteret utgjør dette i fullskala 60 kg pr. døgn og 21,9 tonn pr. år. Det ble i gjennomsnitt fjernet 1,1 mg TOC pr. liter, noe som utgjør 44 kg pr. døgn. Dersom man regner at TOC utgjør ca. 50% av organisk stoff i humus, blir tørrstoffmengden fjernet det dobbelte, 88 kg pr. døgn og 32,1 tonn pr. år. Sammen med kitosan utgjør dette en tørrstoffmengde på 54 kg pr. år, altså litt høyere enn den målte mengden. I tillegg kommer eventuelle uorganiske partikler, som det er lite av i.h.t. turbiditetsmålingene.

Ved 2 timers sedimentering (fortykking) ble spylevannets gjennomsnittlige tørrstoffkonsentrasjon økt fra 190 mg/l til 3225 mg/l, noe som representerer 17 gangers oppkonsentrering (tabell 3).

**Tabell 3.** Slamproduksjon i pilotanlegget i forsøksperiode I (24 timers filtreringstid) ved en kitosandosering på 1,5 mg/l. Verdiene er basert på målinger av suspendert stoff (middelverdier) i spylevann og fortykket slam, og er benyttet for å beregne slammengder i fullskala (40.000 m<sup>3</sup> rentvann pr. døgn).

	Beregninger basert på spylevann (n=4)	Beregninger basert på fortykket slam (n=4)	Beregninger som er utført av Hjellnes Cowi
Konsentrasjon, STS (mg/l)	190	3225	
Volum pr. døgn, liter	250	10,8	
Tørrstoffproduksjon pr. døgn, g	47,5	34,8	
Tørrstoffproduksjon pr. 1000 m <sup>3</sup> rentvann, kg	3,4		
Tørrstoffproduksjon pr. år i fullskala, tonn	50		250-300
Slamproduksjon pr. år i fullskala (20% TS), m <sup>3</sup>	250		inntil 1500

I forsøksperiode II ble det tilbakespylt etter 12 timer for å sikre at det ikke gikk vann i overløp mellom hver tilbakespyling. Det ble tatt ut homogene slamprøver ved doseringsmengder på 1,0 og 1,5 mg/l kitosan. I tabell 4 er slamproduksjonen vist.

Som det framgår øker slamproduksjonen noe når doseringsmengden av kitosan økes fra 1 til 1,5 mg/l. Slamproduksjonen ved 1,5 mg/l i forsøksperiode II stemmer bra overens med slamproduksjonen ved tilsvarende dosering i forsøksperiode I, noe som indikerer at lite vann gikk i overløp i den første forsøksperioden.

**Tabell 4.** Slamproduksjon i pilotanlegget i forsøksperiode II (12 timers filtreringstid) ved kitosandoseringsmengder på 1,0 og 1,5 mg/l. Verdiene er basert på målinger av suspendert stoff (middelverdier) i spylevann, og er benyttet for å beregne slammengder i fullskala (40.000 m<sup>3</sup> rentvann pr. døgn).

	Doseringsmengde	
	1 mg/l kitosan	1,5 mg/l kitosan
Konsentrasjon, STS (mg/l)	86	99
Volum pr. 12 timer, liter	250	250
Tørrstoffproduksjon pr. døgn, g	43	50
Tørrstoffproduksjon pr. 1000 m <sup>3</sup> rentvann, kg	3,0	3,5
Tørrstoffproduksjon pr. år i fullskala, tonn	44	51
Slamproduksjon pr. år i fullskala (20% TS), m <sup>3</sup>	220	255

I tillegg til de nevnte STS-analysene, ble spylevannet ved en anledning (24 timers filtreringstid) analysert m.h.p. totalt tørrstoff ved inndamping (TTS), total gløderest (TGR), næringssalter (nitrogen og fosfor), totalt organisk karbon (TOC), og utvalgte metaller og tungmetaller. Klarfasens innhold av STS og næringssalter ble målt etter 2 timers sedimentering (tabell 5).

Spylevannet inneholdt 172 mg/l STS ved denne målingen. Hovedmengden av tørrstoffet består av humus/kitosan aggregater. Disse organiske aggregatene vil også utgjøre hoveddelen av totalt tørrstoff som ble målt til 190 mg/l. Total gløderest (30 mg/l) utgjør den uorganisk delen av totalt tørrstoff.

Innholdet av organisk materiale gir seg utslag i høy verdi for totalt organisk karbon (TOC) (56 mg/l) i spylevannet. Både utfelt humus og kitosan bidrar til TOC-verdien. Begge disse er relativt tungt biologisk nedbrytbare. Basert på den målte TOC-verdien vil den årlige karbonmengden i slammet fra fullskala drift (40.000 m<sup>3</sup>/døgn) være 14200 kg.

**Tabell 5.** Kjemisk analyse av spylevannet fra returspyling av pilotanlegget etter 24 timers filtreringstid og en kitosandose på 1,5 mg/l.

Parameter	Spylevann	Mengde pr. år i fullskala, kg	Konsentrat etter 2 timer	Klarfase etter 2 timer
Suspendert tørrstoff, mg/l	172		3840	29
Totalt tørrstoff, mg/l	190	48160		
Total gløderest, mg/l	30	7605		
Total nitrogen, mg N/l	5,5	1394		1,5
Total fosfor, mg P/l	0,1	25,3		<0,1
Totalt organisk karbon, TOC, mg/l	56	14200		
Aluminium, mg/l	1,63	413		
Jern, mg/l	0,97	246		
Krom, mg/l	<0,01	<2,5		
Mangan, mg/l	0,02	5,0		
Nikkel, mg/l	<0,01	<2,5		
Kopper, mg/l	0,03	7,6		
Sink, mg/l	0,05	12,5		
Kadmium, mg/l	<0,005	<1,3		
Bly, mg/l	<0,05	<12,5		

Nitrogeninnholdet i spylevannet var 5,5 mg/l og stammer i hovedsak fra kitosan og humus. Basert på denne verdien vil nitrogen utgjøre en årlig mengde på 1394 kg ved fullskala drift med en rentvannsproduksjon på 40.000 m<sup>3</sup>/dag. Etter 2 timers fortykning vil hoveddelen finnes i det fortykkede slammet mens en mindre andel (1,5 mg/l) vil foreligge i klarfasen. Fosforinnholdet var svært lavt både i spylevannet og i klarfasen, henholdsvis 0.1 mg/l og <0,1 mg/l. Den årlige mengden i fullskala er beregnet til 25,3 kg.

Mengden av jern og aluminium i spylevannet synes å være lavt sammenliknet med spylevann fra Ølen Vassverk (Liltved 1999). Dette gjenspeiler trolig lave verdier for disse metallene i råvannet.

## 4. Referanser

Bolto B., Abbt-Braun G., Dixon D., Eldridge R., Frimmel F., Hesse S., King S. og Toifl M. 1999. Experimental evaluation of cationic polyelectrolytes for removing natural organic matter from water. I Removal of Humic Substances from Water (Ed. av Ødegaard H.), s. 81-88, Tapir Forlag, Trondheim.

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. Organics, polymers, and performance in direct filtration. 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.

Hjellnes COWI AS 1999. Haugesund vannverk. Fargefjerningsanlegg. Spylevannsavvanning. NOTAT. 2 sider.

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

Liltved H. 1999. Direktefiltrering med kitosan som koagulant ved Ølen Vassverk. NIVA-rapport 4172-2000, 23 s.

Storhaug R. 1998. Prosessløsninger for fjerning av humus. Folkehelse vannrapport nr. 98, 80 s.



