



RAPPORT LNR 4893-2004

Uttesting av kitosan og
kitosan/JKL på et pilotskala
Dynasandfilter ved Årnes
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
5005 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 Uttesting av kitosan og kitosan/JKL på et pilotskala Dynasandfilter ved Årnes vannverk	Løpenr. (for bestilling) 4893-2004	Dato 27.10.2004
	Prosjektnr. Undernr. 22205	Sider Pris 23
Forfatter(e) Christian Vogelsang	Fagområde Drikkevann	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Østlandet	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Årnes vannverk	Oppdragsreferanse Jan Roger Aas
------------------------------------	------------------------------------

Sammen drag

Det har blitt gjennomført tester i pilotskala ute på Årnes vannverk i perioden 25.09.03-26.01.04. Med kun dosering av kitosan ble det oppnådd en fargereduksjon fra ca. 100 mg Pt/l i råvannet til ca. 26 mg Pt/l i rentvannet ut fra piloten (målt on-line med et Sigrist-instrument). Det var imidlertid vanskelig å oppnå denne fargefjerningen (og turbiditetsfjerningen) over tid. Men ved måling av vannets ekte farge (etter 0,45 µm membranfiltrering), var fargen ved et tilfelle helt nede i 6,2 mg Pt/l. Dette var ved en kitosandosering på ca. 5,8 g/m³ og fellings-pH ~4,4, og indikerte en langt mer effektiv fargefjerning i pilotskala enn den som ble oppnådd i jartestene. Resultatet antydte også at selve separeringen av de utfelte fnokkene ikke var tilfredsstillende. Dette ble også konkludert etter testing med kitosan (2,5 g/m³) og ulike kombinerte doseringer med JKL. Med en kombinert dosering på 2,5 g kitosan/m³ og 4,8 g Fe/m³ ble det i en kort periode (05.01.04) oppnådd fargetall ut fra piloten på 5,0-5,1 mg Pt/l. Også en så lav JKL-dose som 2,8 g Fe/m³ så ut til å kunne gi god farge- og turbiditetsfjerning. Det ble observert at fnokker ble dratt med sanden inn i toppen av filteret etter sandvasken. Forsøk på å justere sandvaskehastigheten og vaskevannshastigheten til det anbefalte, for om mulig å bedre separeringen av sand og fnokker, var ikke vellykket. Løsningen på problemet ligger sannsynligvis i å optimalisere denne separeringen. Det skulle da være mulig å oppnå tilsvarende farge- og turbiditetsfjerning man har i dag med Ecoflock på hovedanlegget. Sammenlignet med slamproduksjonen med dagens bruk av Ecoflock-90 og polymer, så det ut til at denne kan reduseres med > 40 % ved å dosere 2,5 g kitosan/m³ og 2,8 g Fe/m³, samtidig som dette slammet hadde en betydelig bedre (lavere) slamvolumindeks og høyere tetthet. Dagens Ecoflock-slam tilsatt polymer så ut til å sedimentere noe raskere (2-8 cm/min) enn kitosan/JKL-slammet (0,5-4 cm/min). Polymeren som i dag benyttes som flokkulant så ikke ut til å være egnet for å bedre flokkuleringen av kitosan/JKL-fnokkene.

Fire norske emneord 1. Kitosan 2. Koagulering 3. Pilotskala 4. Slamkarakterisering	Fire engelske emneord 1. Chitosan 2. Coagulation 3. Pilot scale 4. Sludge characterisation
--	--



Christian Vogelsang
Prosjektleder



Helge Liltved
Forskningsleder
ISBN 82-577-4580-4



Nils Roar Sæthun
Forskningsdirektør

**Uttesting av kitosan og kitosan/JKL
på et pilotskala Dynasandfilter ved
Årnes vannverk**

Forord

Dette er den andre og siste rapport fra et prosjekt startet vinteren 2000/01 der Årnes vannverk engasjerte NIVA til å vurdere muligheten for vannverket å gå over fra dagens bruk av den aluminiumbaserte koagulanten Ecoflock-90 til å benytte biopolymeren kitosan. Den første rapport omhandlet jartester utført ved vannverket (07.02.01) og senere utført ved NIVAs laboratorier i Oslo på råvann hentet fra vannverket (07.03.01). Disse jartestene viste at det måtte meget høye doser av kitosan til for å få nogenlunde tilfredsstillende rensresultater, men at man ved å kombinere kitosan og jernklorid (JKL) kunne oppnå tilsvarende resultater som i dag med betydelig lavere kitosandosering og relativt beskjeden JKL-dosering. I denne rapporten presenteres resultater fra pilotkjøring i perioden 25.09.03-26.01.04 med kitosan og kitosan/JKL på et 0,7 m² Dynasand-filter rigget opp på vannverket.

Gjennom prosjektperioden har en rekke NIVA-medarbeidere vært engasjert i prosjektet; forskerne Helge Liltved, Tor Gunnar Jantsch og Christian Vogelsang, der sistnevnte har vært prosjektleder, og de tyske studentene Elke Müller og Annika Hey.

Vi takker driftssjef Jan Roger Aas og driftsgutta Ingar, Tommy og Ivar for det gode samarbeidet og all velvilje vist oss under prosjektet. Til slutt må vi bare beklage den lange tiden det har tatt å ferdigstille denne rapporten. Håper likevel dere får nytte av den i den videre jakten etter en tilfredsstillende løsning på slamproblemet ved vannverket.

Oslo, 27. oktober 2004

Christian Vogelsang

Innhold

Sammendrag	5
1. Bakgrunn	7
1.1 Kort om dagens prosess	7
1.2 Målsetning	7
2. Materialer og metoder	8
2.1 Pilotkjøring	8
2.1.1 Pilotanlegget	8
2.1.2 Kjemikalier	9
2.1.3 Analyser	9
2.1.4 Oppsyn med pilotanlegget	9
2.2 Slamkarakterisering	9
2.2.1 Slamproduksjon	9
2.2.2 Sedimenteringsegenskapene	9
3. Resultater og diskusjon	10
3.1 Drifting av piloten	10
3.2 Renseresultater	10
3.2.1 Felling med kitosan	10
3.2.2 Kombinert felling med kitosan og JKL	12
3.2.3 Separering av utfelte fnokker på filteret	13
3.3 Biologisk degraderbart løst organisk stoff (BDOC) og vekst på nettet	14
3.4 Slamkarakterisering	15
3.4.1 Slamproduksjonen	15
3.4.2 Sedimenteringsegenskapene	15
4. Konklusjon - veien videre	18
Vedlegg A. Logbok	19
Vedlegg B. Rådata fra bestemmelse av sedimenteringshastighet	22

Sammendrag

På bakgrunn av oppløftende jartestresultater med kitosan i kombinasjon med JKL for fjerning av farge fra råvannet som blir benyttet ved Årnes vannverk, har det blitt gjennomført tester i pilotskala ute på vannverket i perioden 25.09.03-26.01.04. Testperioden ble kraftig forlenget av en rekke større og mindre tekniske driftsproblemer underveis. Med kun dosering av kitosan ble det oppnådd en fargereduksjon fra ca. 100 mg Pt/l i råvannet til ca. 26 mgPt/l i rentvannet ut fra piloten (målt on-line med et Sigrist-instrument) Det var imidlertid vanskelig å oppnå denne fargefjerningen (og turbiditetsfjerningen) over tid. Men ved måling av vannets ekte farge, der prøven filtreres gjennom et 0,45 µm membranfilter, var fargen ved et tilfelle helt nede i 6,2 mg Pt/l. Dette var ved en kitosandosering på ca. 5,8 g/m³ og fellings-pH ~4,4, og indikerte en langt mer effektiv fargefjerning i pilotskala enn den som ble oppnådd i jartestene, selv om råvannskvaliteten var noe bedre under pilotkjøringen. Resultatet antydte også at selve separeringen av de utfelte fnokkene ikke var tilfredsstillende. Dette ble også konkludert etter testing med kitosan (2,5 g/m³) og ulike kombinerte doseringer med JKL. Også her var det vanskelig å opprettholde god farge- og turbiditetsfjerning over noen få timer. Med en kombinert dosering på 2,5 g kitosan/m³ og 4,8 g Fe/m³ ble det i en kort periode (05.01.04) oppnådd fargetall ut fra piloten på 5,0-5,1 mg Pt/l, men også en så lav JKL-dose som 2,8 g Fe/m³ så ut til å kunne gi god farge- og turbiditetsfjerning.

Det ble observert at fnokker ble dratt med sanden inn i toppen av filteret etter sandvasken. Forsøk på å justere sandvaskehastigheten og vaskevannshastigheten til det anbefalte, for om mulig bedre separeringen av sand og fnokker, var ikke vellykket. Løsningen på problemet ligger sannsynligvis i å optimalisere denne separeringen. Det skulle da være mulig å oppnå tilsvarende farge- og turbiditetsfjerning man har i dag med Ecoflock på hovedanlegget.

Begroingspotensialet i en prøve tatt fra piloten 05.01.04, rett etter meget god fargefjerning som beskrevet over, ble funnet å tilsvare begroingspotensialet i rentvannet ut fra vannverket. Dette var relativt høyt (0,6-0,7 mg C/l), men prøver tatt fra nettet viste svært lave bakterietall, så vannet som slippes ut på nettet fra vannverket ser ut til å være relativt biostabilt.

Sammenlignet med slamproduksjonen med dagens bruk av Ecoflock-90 og polymer så det ut til at denne kan reduseres med > 40 % ved å dosere med 2,5 g kitosan/m³ og 2,8 g Fe/m³, samtidig som dette slammet hadde en betydelig bedre (lavere) slamvolumindeks og høyere tetthet. Ved å øke JKL-doseringen til 10 g Fe/m³ ble slamvolumindeksen enda lavere og slamtettheten høyere, men da ble slamproduksjonen nesten tilsvarende den man i dag har med Ecoflock-90. Dagens Ecoflock-slam tilsatt polymer så ut til å sedimentere noe raskere (2-8 cm/min) enn kitosan/JKL-slammet (0,5-4 cm/min). Polymeren som i dag benyttes som flokkulant så ikke ut til å være egnet for å bedre flokkuleringen av kitosan/JKL-fnokkene.

Logbok fra hele forsøksperioden (25.09.03-26.01.04) er gitt i Vedlegg A.

Summary

Title: Testing chitosan and chitosan/JKL on a pilot scale Dynasand filter at Årnes waterworks

Year: 2004

Author: Christian Vogelsang

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4580-4

On the basis of positive jar test results with chitosan in combination with JKL for the removal of colour from the raw water being used at Årnes waterworks, pilot scale tests were done at the waterworks in the period 25.09.03-26.01.04. The test period was much increased due to a number of technical operational problems. Dosing with chitosan only, a colour of approximately 26 mg Pt/l (measured on-line by a Sigrist) was obtained, however, it was difficult to achieve this colour (and turbidity) removal for more than a few hours. Though, by measuring the water's true colour, where the sample is filtered through a 0.45 µm membrane filter, at one incident the colour was as low as 6.2 mg Pt/l. This was with a chitosan dosage of ca. 5.8 g/m³ and a pH of ~4.4. This indicated a much more efficient colour removal in pilot scale than what was achieved in the jar tests, even if the raw water quality was somewhat better during the pilot scale testing. The result also suggests that the separation of the coagulated flocs was not satisfactory. This was also concluded after the testing with chitosan (2.5 g/m³) and different combinations with JKL. Also here it was difficult to keep a good colour and turbidity removal for more than a few hours. With a combined dosage of 2.5 g chitosan/m³ and 4.8 g Fe/m³ it was for a short period (05.01.04) obtained a colour of 5.0-5.1 mg Pt/l. Even as low a JKL-dose as 2.8 g Fe/m³ seemed to give good colour and turbidity removal.

It was observed that flocs were being dragged together with the sand into the top (clean water) part of the filter after the sand wash. Trials to adjust the sand wash velocity and the wash water velocity to the recommended values in order to improve the separation of sand and flocs were not successful. The solution to the problem probably lies in optimising this separation. It should then be possible to achieve similar colour and turbidity removals as achieved today with Ecoflock-90 at the main waterwork.

The growth potential of a sample taken from the pilot on 05.01.04, just after the very good colour removal as described above, was found to be similar with that of the clean water from the main waterwork. This was relatively high (0.6-0.7 mg C/l), however, samples from the distribution net showed very low bacterial counts, so the water being distributed to the net from the waterwork appeared to be relatively bio-stable.

Compared with the today's sludge production using Ecoflock-90 and polymer in the main waterwork, it appeared to be possible to reduce this with > 40 % by dosing 2.5 g chitosan/m³ and 2.8 g Fe/m³. The sludge produced had a significantly better (lower) sludge volume index and higher density. By increasing the JKL dosage to 10 g Fe/m³ the sludge volume index got even lower and the sludge density higher, however, then the sludge production was comparable to today's sludge production at the main waterwork. The Ecoflock-sludge added polymer appeared to sediment somewhat faster (2-8 cm/min) than the chitosan/JKL-sludge (0.5-4 cm/min). The polymer being used today as a flocculant didn't appear to be suitable to improve the flocculation of the chitosan/JKL flocs.

1. Bakgrunn

Ved Årnes Vannverk ønsker man å finne et alternativ til dagens bruk av aluminium som koagulant. Selv om prosessen fungerer godt i dag, har man problemer med avhending av det aluminiumsrike slammet, som nå ledes tilbake til vannkilden (Dragsjøen). Man ønsker også å oppnå et slam som er lettere å avvanne. Noe av utfordringen ligger i råvannet, som har en farge i området 80-125 mg Pt/l og et TOC-innhold på >10 mg C/l. I laboratorietester (se NIVA-rapport 4390) gjennomført med råvann hentet ved vannverket har biopolymeren kitosan vist seg å kunne være et godt alternativ dersom jernklorid (JKL) tilsettes som hjelpekoagulant. En kombinasjon av 6 mg/l kitosan og 5 mg Fe/l JKL ved pH 5 ga meget lovende resultater, med en rentvannsfarge på 5 mg Pt/l og en estimert redusert slamproduksjon på drøyt 50%. Resultatene indikerte videre at, hvis man ønsker å gå ned i kitosandosering, må man øke JKL-doseringen for å opprettholde en god fargefjerning ved samme fellings-pH. Og ønsker man å gå ned i pH ser det ut til at man vil måtte redusere JKL-doseringen og øke doseringen av kitosan.

1.1 Kort om dagens prosess

Aluminiumhydroksyklorid (Ekoflock-90; 55-60 ml/m³; 6,4-7,0 g Al/m³) benyttes som koagulant for fjerning av farge fra råvannet. I tillegg tilsettes mikronisert marmor (20-25 ml/m³) for alkalisering og pH-heving. Marmoren tilsettes før råvannspumpene. Vannet (gjennomsnittlig 150 m³/t) føres så inn på 10 separate Dynasand-filtre (0,9-1,2 mm rød kvartssand) med et totalt overflateareal på 50 m². Dette gir en lav filtreringshastighet på ca. 3 m/t i gjennomsnitt. Vannet sendes avslutningsvis gjennom et UV-kammer for desinfisering. Råvannet har lav turbiditet (ca 0,4 NTU), men meget høy farge (85-110 mg Pt/l). Rentvannsfarge er normalt lavere enn 5 mg Pt/l og restaluminium i underkant av 0,1 mg/l. Råvannets pH ligger på 5,8-6,2, fellings-pH på 6,4, mens rentvannets pH ligger i området 7,5-8. Fjerningen av assimilerbart organisk karbon (AOC) ser ut til å være betydelig, fra 29 mg/l i råvannet til 9 mg/l i rentvannet, bestemt av Aquateam i november 1998.

Dynasand-filtrene opererer med kontinuerlig tilbakespyling på ca. 40 m³/t. Spylevannet tilsettes 0,3 g/m³ av en anionisk akrylamidpolymer (PEMPURE PW3) før en lamellseparator hvor ca. 0,6 m³/t tas ut som konsentrert slam (2-3 % tørrstoff). Konsentrert slam (ca. 12 m³/d) føres tilbake til vannkilden (Dragsjøen), mens klarfasen føres til innløpssiden på filtrene. Det har vært gjennomført forsøk med å sentrifugere slammet, uten at dette var vellykket. Det skal i snarlig fremtid gjøres forsøk med tilsats av oppkuttet papir for å øke fiberinnholdet i slammet, noe som har gitt positiv effekt andre steder.

1.2 Målsetning

Hensikten med prosjektet har vært å vurdere hvordan kombinert felling med kitosan og JKL vil kunne påvirke driften ved Årnes vannverk, med spesiell fokus på kjemikalieforbruk og effekt på slambehandlingen:

- Hvilke kitosan- og JKL-doseringer som gir ønsket vannkvalitet ved gitt pH
- Kritisk filtreringshastighet
- Prosesstabilitet m.t.p pH og koagulantdosering
- Effekt på biotilgjengelighet av rest-TOC (BDOC)
- Effekt på UV-transmittans
- Slamproduksjonen
- Slammets egenskaper; nødvendig tilsats av ekstra polymer

Renseeffekten ved hovedanlegget har blitt brukt som referanse.

2. Materialer og metoder

2.1 Pilotkjøring

2.1.1 Pilotanlegget

Dynasand pilotanlegget (DST 07 N-E-D, Waterlink Nordic Water Products) inne på vannverket ble benyttet. I praksis fungerer dette filteret som filterne i hovedanlegget med råvann direkte fra damhuset. Anlegget har en filteroverflate på $0,7 \text{ m}^2$ (2 meter dyp filterseng, $1,7 \text{ m}^3$ sand med tre ulike kornstørrelser fra 0,9 mm til 2,1 mm) og en filtreringskapasitet på ca 10 m³/t. Dosering av kitosan og JKL og pH-justering med HCl eller NaOH ble gjort inne i damhuset oppe ved Dragsjøen. NIVA stilte med omrørt doseringstank for kitosan og noen av doseringspumpene.

FILTRERINGSPROCESSEN

Före det inkommande vattnet ledes in i filteranläggningen skall det passera en grovavskiljning för separation av större föremål, vilka i annat fall kan störa sandtransporten i filtret eller fastna i ledningar och ventiler.

Varje filter skall förses med en avstängningsventil på inloppsflänsen.

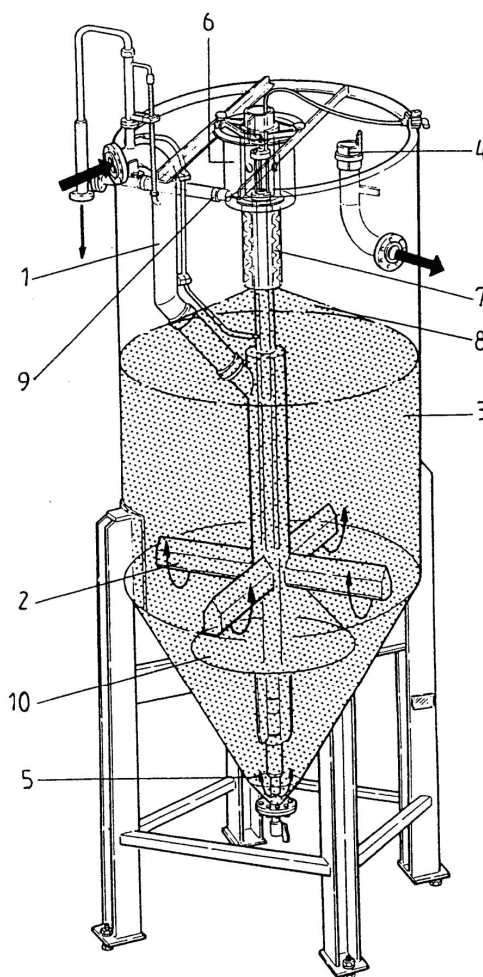
Vattnet strömmar in till filterbädden genom inloppsroret (1) och fördelningsarmarna (2). Vattnet stiger genom den nedåtgående sandbädden (3) och det filtrerade vattnet lämnar filtret via det justerbara filtratutloppet (4) i filtrets övre del.

Den smutsiga sanden lyfts av mammutpumpen (5) upp till tvättvattenregleringen (6) i filtrets övre del. Därefter faller sanden ned i sandtvätten (7) där den renas i en motström med en liten del av filtratet.

Den rensade sanden faller tillbaka över ytan av filterbädden (8) för att åter delta i reningsprocessen.

Tvättvattnet lämnar filtret tillsammans med föroreningarna genom tvättvattenutloppet (9).

I filtrets nedre del finns en sandfördelarkon (10) som ger sandbädden en jämn nedåtgående rörelse.



Figur 1. En teknisk beskrivelse av vann- og sandbevegelser i Dynasandfilteret i pilotskala (Waterlink Nordic Water Products).

2.1.2 Kjemikalier

Kitosan (TM1508, Primex, Island) med 88 % deacetylering ble benyttet som koagulant i forsøket. I de tidligere utførte jartestene (NIVA-rapport 4390-2001) var en kitosan (MT324, Primex, Norge) med 94 % deacetylering (basert på oppdaterte analyser) benyttet. Kitosanen ble blandet ut i springvann og løst opp ved tilsats av konsentrert HCl til en kitosankonsentrasjon på 0,25 % eller 0,5 % og HCl-konsentrasjon på 0,25-0,5 %. Jernkloridsulfat, JKL (Kemira Chemicals) med 11.6 % Fe³⁺ ble benyttet som koagulant i kombinasjon med kitosan. JKL ble fortynnet 1:10 med springvann før dosering. Under perioder av forsøket ble det tilsatt marmor tilsvarende den doseringen som ble benyttet på hovedanlegget (11.4 ml 100 % marmor/m³ råvann). pH ble justert enten ved tilsats av HCl (ned) eller ved tilsats av NaOH (opp).

2.1.3 Analyser

Det ble satt opp et Sigrist-instrument med kontinuerlig logging av farge og turbiditet i rentvannsfasen i toppen av piloten. Data ble direkte overført til NIVA i Oslo via mobil. Årnes vannverk satte også opp en pH-måler i toppen av piloten. I tillegg ble det tatt ut kontrollprøver for analyse av farge, totalt organisk karbon (TOC) og UV-absorbans ved 254 nm ved NIVAs laboratorie i Oslo. Det ble også tatt ut prøver for bestemmelse av biologisk omsettbar løst organisk karbon (BDOC). Sterilfiltrerte (0,22 µm membranfilter) vannprøver ble tilsatt en bakteriekultur¹ isolert fra slam tatt fra innsiden av fullskalafilte på rentvannssiden på Årnes vannverk og fra slam tatt fra Stilla nedstrøms Oset vannverk i Oslo. Restmengden løst organisk karbon (DOC) ble bestemt med noen dagers mellomrom. Det ble også tatt en prøve fra nettet og fra rentvannssiden av anlegget før UV-anlegget for bestemmelse av kintall på R2A-agar.

2.1.4 Oppsyn med pilotanlegget

Det tilnærmet daglige oppsynet med pilotanlegget og tillaging av nye batcher med kitosan, syre og base ble gjort av driftspersonellet ved vannverket, mens NIVA styrte prosjektet via jevnlig kontakt via telefon. Rundt juletid tok NIVA ved Christian Vogelsang og Tor Gunnar Jantsch over deler av arbeidet på piloten. Logbok fra hele forsøksperioden (25.09.03-26.01.04) er gitt i Vedlegg A.

2.2 Slamkarakterisering

2.2.1 Slamproduksjon

Slamproduksjonen i piloten ble bestemt ved å måle SS-innholdet i vaskevannet ut fra piloten og relatere dette til totalflowen (rentvann og vaskevann) ut av piloten.

2.2.2 Sedimenteringsegenskapene

Sedimenteringshastigheten, slamindeksen (SVI) og slamtetthetsindeksen (SDI) til slamfnokkene i vaskevannet ut fra piloten ble bestemt og sammenlignet med tilsvarende egenskaper til slammet i hovedanlegget. SVI beskriver sedimenteringsegenskapene til slammet; slam med en SVI-verdi < 100 ml/g anses som godt sedimenterbart. SDI er slamkonsentrasjonen i slamfasen etter 30 min sedimentering. Sedimenteringshastigheten ble bestemt i en 1 meter høy kolonne (d_i = 19 cm) der vaskevannet ble satt på rolig omrøring (50 rpm) i 5 min før uttak av nullprøve (turbiditet), hvorefter omrøringen ble satt ned til 30 rpm i 10 min før røringen ble stoppet og sedimenteringen startet. Under sedimenteringen (etter 5 min, 15 min og 30 min) ble det tatt ut prøver fra ulike høyder for bestemmelse av turbiditet.

¹ Slammet ble løst opp i fosfatbuffer og podet i ulike fortynninger på R2A-agar. Etter 2 døgn ble et utvalg av fremkomne kolonier tatt ut og resuspendert i fosfatbuffer og tilsatt vannet som inokulum. vannet ble også tilsatt litt buffer (opp til 10 mM) for å holde pH konstant (6.4-7.6) under forsøket. Podet vann stod mørkt på svak risting ved 20°C under hele forsøket.

SVI og SDI ble bestemt i koniske graderte rør der slamvolumet i slamkaken og slamkonsentrasjonen (som suspendert stoff, SS) i slamkaken, i midten og i klarfasen ble bestemt etter 30 min sedimentering. Det ble også gjort forsøk der effekten på SVI ved tilsatt av den anioniske polymeren (polyakrylamid, PEMPURE PW3) som benyttes ved vannverket til vaskevannet ble undersøkt. Polymeren ble da tilsatt under omrøring (100 rpm i 60 sek) og videre rolig omrøring (10 rpm) i 5 min. Vaskevannsprøvene som ikke ble tilsatt polymer ble behandlet på samme måte.

3. Resultater og diskusjon

3.1 Drifting av piloten

Gjennom hele forsøksperioden fra 25.09.03 til 26.01.04 hadde vi større og mindre driftsproblemer. Disse var i og for seg banale nok; svikt i pumper, hovedsakelig pga luft i pumpehus, lekkasjer i koblingspunkt for kjemikaliedosering inn på hovedledning, tomt for kjemikalier, etc. Vi hadde til tider også problemer med beleggdannelse av humus på fargemåleren, noe som førte til drift i måleverdien. Dette ble enten kompensert ved å justere i f.h.t destvannkjøring gjennom fargemåleren eller ved å vaske målecellen. Mot slutten av prosjektiden viste det seg at pH-måleren ikke fungerte tilfredsstillende. Hvor lenge dette hadde vart er uvisst. Det mest sentrale av dette skal stå oppført i logboken gitt i Vedlegg A.

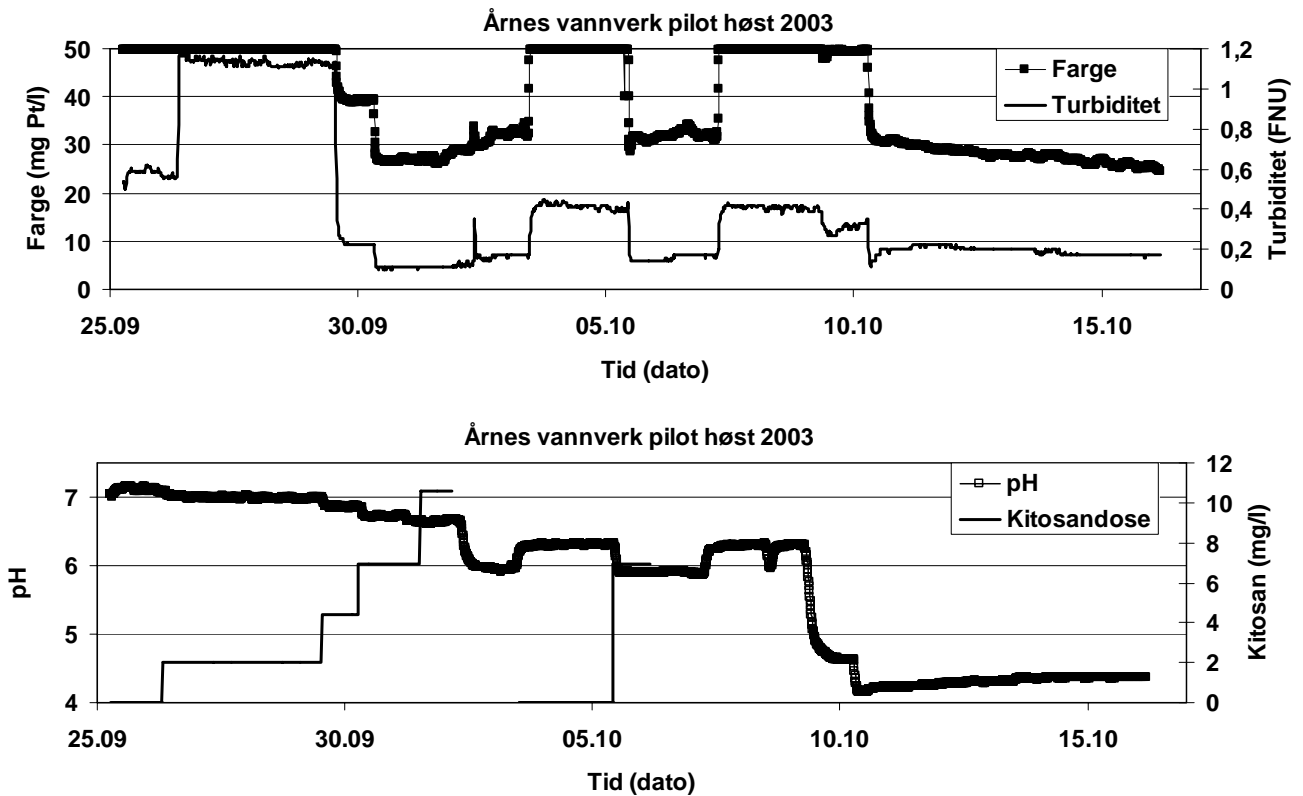
3.2 Renseresultater

3.2.1 Felling med kitosan

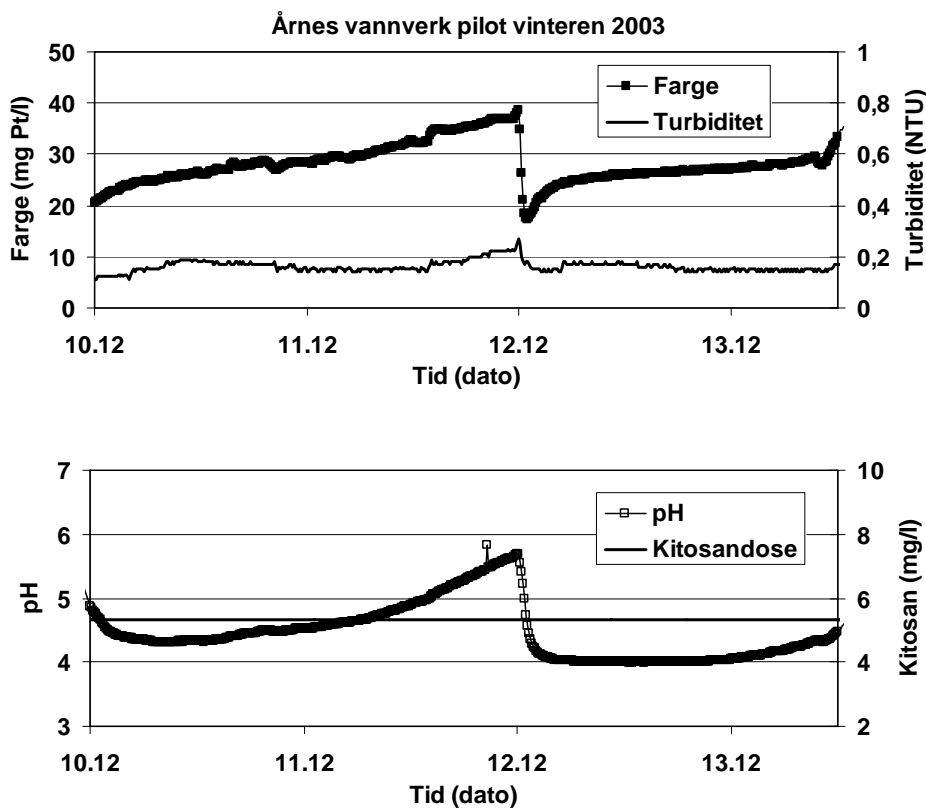
I den første perioden fra 25.09 til 02.10 ble det kjørt med økende kitosandosering fra 2,0 g/m³ til 10,6 g/m³ uten noen pH-justering og med marmortilsetning. Se Figur 2. Rentvannets pH lå da hele tiden i området 6,6-7,0, med lavest pH ved høy kitosandosering. Laveste farge og turbiditet i rentvannet ble oppnådd ved den høyeste kitosandosering: h.h.v 26 mg Pt/l og 0,11 FNU. Etter flere tekniske problemer fra 03.10 ble pH til slutt justert ned til 4,3-4,4, uten at dette førte til noen merkbar bedring av rensingen: 15.10 ble fargen og turbiditeten målt til h.h.v 26 mg Pt/l og 0,17 FNU, dette etter en ukes kjøring med jevnt bedret rensing. Se Figur 2.

Etter dette fulgte en lang periode med store driftsproblemer med generelt høye fargetall og høy turbiditet. 18.11 ble det tatt ut en råvannsprøve og en rentvannsprøve ved en kitosandosering på 5,8 g/m³ (pH ~4,4), som ble analysert ved NIVAs lab i Oslo. Mens fargetallene målt ute på anlegget ble målt direkte av Sigristen (ingen forfiltrering), bestemmes vannets ekte farge etter filtrering gjennom et membranfilter med poreåpning på 0,45 µm på laben. I forhold til råvannet, som da hadde en farge på 80,5 mg Pt/l (70,8 mg Pt/l etter filtrering) og en UV absorbanse på 0,453, var rentvannets ekte farge så lav som 6,2 mg Pt/l og UV-absorbansen var nede i 0,060. TOC-innholdet var da redusert fra 11,1 mg C/l i råvannet til 2,9 mg C/l i rentvannet. Dette antyder at kitosanen gjorde en god jobb med å felle ut det organiske stoffet, men at problemet lå i selve filteret.

Etter dette kom en lang periode med store driftsproblemer, hovedsakelig pga pumper som trakk luft, lekkasjer og fordi man gikk tom for kjemikalier. Det er vanskelig å trekke noe konkret ut av resultatene i denne perioden ettersom det oftest var usikkert hvor lenge de ulike problemene hadde pågått. Det gis likevel et eksempel fra perioden 10.12-13.12 vist i Figur 3. pH hadde her tydeligvis en betydelig effekt på renseresultatet. Dette kan skyldes den relativt lave kitosandosen, som gjør at man må relativt langt ned i pH for å få noen målbar effekt av kitosanen. Ved en høyere kitosandosering vil prosessen være mindre pH-avhengig. Men samtidig indikerer fargetalls- og turbiditetsutviklingen at problemet ikke utelukkende var knyttet til den tidvis høye pH'en, ettersom forverringen skjer noe før pH stiger. Som antydte tidligere kan mye av problemet ha ligget i selve separeringen på filteret.



Figur 2. Farge og turbiditet (øvre figur) og pH og kitosandose i rentvannet ut fra piloten i den innledende testperioden (25.09-16.10).

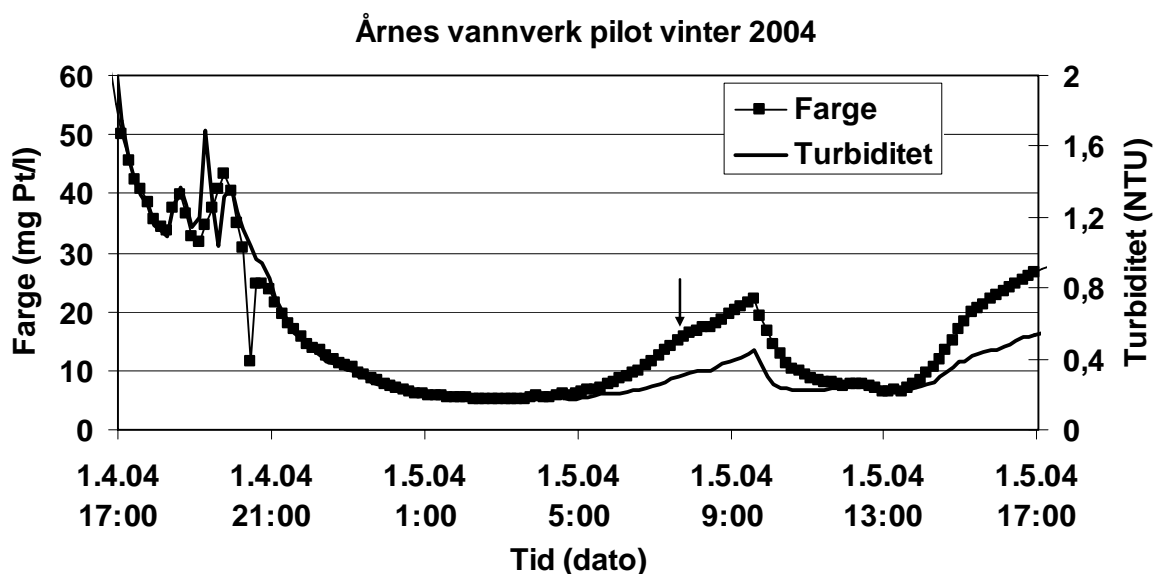


Figur 3. Farge og turbiditet (øvre figur) og pH og kitosandose i rentvannet ut fra piloten i testperioden fra 10.12 til 13.12.

3.2.2 Kombinert felling med kitosan og JKL

Fra 22.12 ble det dosert med kitosan ($4,8 \text{ g/m}^3$) og JKL ($4,8 \text{ g Fe/m}^3$) ved en pH på 4,1 (ingen marmortilsetning). Den 23.12 ble det tatt ut prøve fra piloten, som før filtrering viste en farge på 33,3 mg Pt/l (turbiditet: 0,22 FNU; TOC: 4,2 mg C/l) og etter filtrering 19,4 mg Pt/l.

Det viste seg at målecellen i fargemåleren på Sigristen raskt ble dekket med et belegg, noe som førte til en betydelig overestimering av fargetallet på rentvannet ut fra piloten. Etter vask av målecellen 01.01.04 sank fargetallet i rentvannet fra ca. 53 mg Pt/l før vask til 12,0 mg Pt/l etter vask. I en kort periode ut på natten 05.01 ble det oppnådd god fargefjerning på piloten etter ny vask av målecellen med en kitosandosering på $2,5 \text{ g/m}^3$ og en JKL-dosering på $4,8 \text{ g Fe/m}^3$: restfarge 5,0-5,1 mg Pt/l. Se også Figur 4. Turbiditeten var 0,17 FNU. På dette tidspunktet var pH-måleren i ustand, men pH lå i området rundt 4. Fem timer senere ble det tatt ut en prøve for analysering på NIVAs lab i Oslo. Da hadde både fargetallet og turbiditeten målt ute på anlegget økt. Se Tabell 1. Fargetallet på den filtrerte prøven var langt lavere – 6,6 mg Pt/l – noe som igjen indikerte at problemet lå snarere på fnokkseparatoringen enn på fnokkdannelsen.



Figur 4. Farge og turbiditet i rentvannet ut fra piloten i perioden 04.01-05.01. Pilen indikerer tidspunkt for prøveuttak og dosering av marmor (Tiden langs x-aksen er gitt som GMT, som lå 2 timer etter oss).

Tabell 1. Målte fargetall, turbiditet, UV-absorbans og TOC-verdier i ufiltrert og filtrert rentvannsprøve tatt fra pilot 05.01 kl 09.30.

	Farge	Turbiditet	UV abs	TOC
Ufiltrert prøve	40,6 mg Pt/l	0,33 FNU	0,123	3,6 mg C/l
Filtrert prøve	6,6 mg Pt/l	-	-	-

Etter stopp av pilot 05.01 ble det gjort et siste forsøk i perioden 21.01-23.01. Igjen viste det seg vanskelig å få jevn fargefjerning i piloten. Resultater fra denne perioden er vist i Tabell 2. Når prøvene fra 22.01 og 23.01 ble tatt ut viste Sigristen en farge på h.h.v 36 mg Pt/l og 119 mg Pt/l, altså langt over verdiene målt på laben på de ufiltrerte prøvene. Dette skyldtes igjen belegg på målecellen. Som resultatene i tabell 2 indikerer, ble det ved en mer enn tredobling av jernkloriddoseringen kun oppnådd en marginal bedring av rensingen.

Tabell 2. Resultater fra perioden 21.01-23.01. Prøven fra 23.01 ble tatt ut etter at vaskevannet hadde vært slått av i ca 1 time.

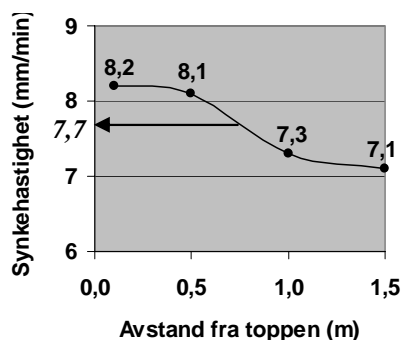
Dato, tid	kitosan	JKL	marmor	Råvann	Vask	pH	Behandl.	farge	turb.	UV abs	TOC
	g/m ³	g Fe/m ³	ml/m ³	m ³ /t	m ³ /t	-		mg Pt/l	FNU	-	mg C/l
22.01 kl 14.30	2,5	2,8	0	4,7	0,99	4,6	Ufiltrert	8,9	0,44	0,074	3,9
							Filtrert	4,6	-	0,067	3,4
23.01 kl 15.45	2,5	10	11,4	4,8	0,90	4,0	Ufiltrert	8,9	-	0,071	3,3
							Filtrert	4,3	-	0,059	3,1

3.2.3 Separering av utfelte fnokker på filteret

Som påpekt ovenfor var det klare indikasjoner på at det var problemer knyttet til separeringen av utfelte fnokker på filteret. Det viste seg også at sandvasken ble slått av en kort periode bedret rentvannet seg betydelig med fargetall helt ned under 5 mg Pt/l, noe som viser at selve filteret var i stand til å separere fnokkene fra vannet. Når sandvasken ble startet igjen tok det kun sekunder før fargetallet og turbiditeten i rentvannet ble forverret. Det var tydelig observerbart at store fnokker fulgte med den vaskede sanden inn i rentvannsfasen i toppen filteret.

Det er viktig at sandvaskehastigheten og vaskevannshastigheten stilles inn riktig for at separeringen av sand og slam skal fungere tilfredsstillende. Den anbefalte sandvaskehastigheten på Dynasandfilteret er 7-9 liter sand/m² filteroverflate*min og den anbefalte vaskevannshastigheten er 1,5-2x sandvaskehastigheten. Vaskevannshastigheten justeres i hovedsak ved å flytte opp og ned rentvannsutløpet i forhold til toppen av sandvasken, mens sandvaskehastigheten ble påvirket både av luftingen og høyden på rentvannsutløpet. Den nøyaktige sammenhengen var noe uklar. Rentvannsutløpet hadde i stort sett hele perioden stått i toppstilling, noe som ga vaskevannshastigheter i området 10 liter/min ved en råvannsflyt på ca 35 liter/min (1,5 m³/t) og ca 15 liter/min ved en råvannsflyt på 75 liter/min (4,5 m³/t). Ved en forglemmelse ble ikke sandvaskehastigheten bestemt ved disse vaskevannshastighetene.

I avslutningsfasen av prosjektet ble vaskevannshastigheten og sandvaskehastigheten forsøkt justert inn for å optimalisere vaskeprosessen på filteret. Noe av grunnen til at dette ikke lyktes kan være at det ikke lyktes å justere sandvaskehastigheten og vaskevannshastigheten innenfor de anbefalte grensene samtidig. Et eksempel på bestemmelse av sandvaskehastigheten er gitt i Figur 5. Det var ikke tid til å gjøre de justeringene som var nødvendige for at separeringen til slutt kanskje skulle bli tilfredsstillende. I teorien burde det være mulig å få til en tilsvarende god separering av disse kitosan/JKL-fnokkene som Ecoflock-fnokkene på hovedanlegget.

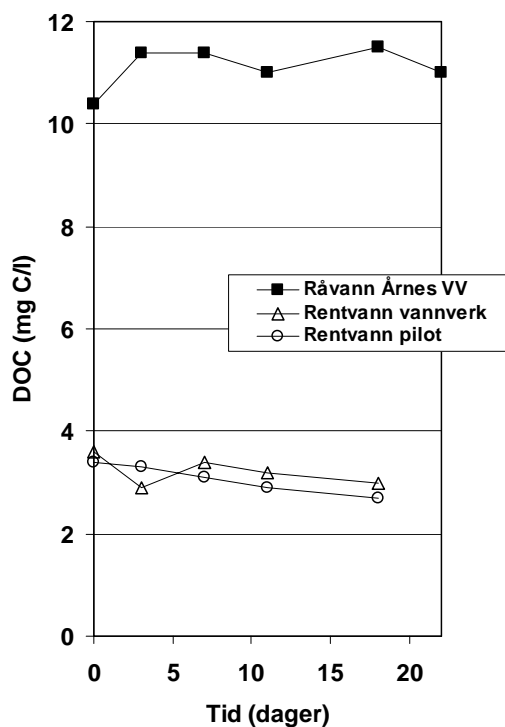


Figur 5. Synkehastigheten til en markør gjennom filtersanden i ulike avstander fra toppen av filtersanden ved en vaskehastighet på 7,4 liter/min. Den gjennomsnittlige synkehastigheten, markert med pil, tilsvarte en sandvaskehastighet på 5,4 liter sand/m² filteroverflate*min.

3.3 Biologisk degraderbart løst organisk stoff (BDOC) og vekst på nettet

Det ble tatt ut en prøve fra piloten (05.01.04), fra råvannet og fra rentvannet ut fra hovedanlegget for bestemmelse av begroingspotensialet etter behandling. Dette ble estimert ved å bestemme prøvenes innhold av biodegraderbart løst organisk karbon (BDOC), der prøvene etter sterilfiltrering ble tilsatt en podekultur med et sannsynligvis bredt spekter bakterier med en antatt høyt utviklet evne til å bryte ned det organiske stoffet (se evt. detaljer rundt dette i Materialer og metoder i underkapittel 2.1.3). Restmengden løst organisk stoff i vannet ble bestemt med et par dagers mellomrom, der BDOC-verdien er definert som differansen i DOC-verdi mellom dag 0 (rett etter tilsats av bakteriekulturen) og dag 18. Som figur 6 viser, ble BDOC-nivået i rentvannet ut fra hovedanlegget og ut fra piloten relativt like, h.h.v 0,6 mg/l og 0,7 mg/l. Ved prøveuttak for piloten ble det dosert med 2,5 g kitosan/m³ og 4,8 g JKL-Fe/m³. Analyseverdier for farge, UV absorpsjon og turbiditet for rentvannet under dette prøveuttaket er gitt i Tabell 1. Vær oppmerksom på at BDOC ble målt på sterilfiltrerte prøver, slik at den ufiltrerte prøven ikke gir noe godt bildet av innholdet av organisk stoff i prøven. Dette tilsier også at potensialet for vekst i den opprinnelige prøven kan ha vært noe høyere, siden det partikulære materialet også inneholder en god del relativt lett omsettelig kitosan.

De målte verdiene på 0,6 mg/l og 0,7 mg/l må karakteriseres som relativt høye verdier, men ligger under verdien på 1.37 mg BDOC/l som Aquateam rapporterte (09.04.99) for Årnes Vannverk ved et tidligere tilfelle (31.10.97). Den gang rapporterte Aquateam en BDOC-verdi for råvannet på 2.30 mg/l (over 28 døgn). Som figur 6 antyder, var det nå vanskelig å vurdere BDOC-nivået i råvannet, men i likhet med flere andre tilfeller NIVA har vært borte i, ser det ut til at råvann med høyt innhold av humus (høyt fargetall) er relativt lite biodegraderbart. I prøver ute fra nettet ble det funnet bemerkelsesverdig lite bakterier. Det tok over én uke før det ble observert kolonier på R2A-agar-skåler podet med materiale fra nettet, mens det ble funnet en rikfoldig vekst på rentvannssiden av filteret, men før desinfeksjon med UV. Dette antyder at vannet, tross den relativt høye BDOC-verdien, virker rimelig biostabilt.



Figur 6. Innholdet av løst organisk karbon (DOC) i vann podet med bakterier fra "kilden" etter angitt dag etter poding. Resultatene ble benyttet for bestemmelse av BDOC i råvann og rentvann ved Årnes Vannverk og ut fra piloten etter behandling med 2.5 mg/l kitosan + 4.8 mg Fe/l.

3.4 Slamkarakterisering

Det ble tappet av vaskevann 22.01 og 23.01 for slamkarakterisering. 22.01 ble det dosert 2,5 g kitosan/m³ og 2,8 g Fe/m³, mens ved uttaket 23.01 var JKL-doseringen økt til 10 g Fe/m³. Mer detaljer og rentvannsresultater ved disse uttakene er gitt i Tabell 2.

3.4.1 Slamproduksjonen

Konsentrasjonen av suspendert stoff (SS) i vaskevannet etter sandvask og den beregnede slamproduksjonen ved de to uttakene er gitt i Tabell 3. Sammenlignet med slamproduksjonen med dagens bruk av Ecolflock-90 og polymer så det ut til at denne kunne reduseres med > 40 % ved å dosere med 2,5 g kitosan/m³ og 2,8 g Fe/m³. SS-konsentrasjonen og slamproduksjonen var betydelig høyere når JKL-doseringen ble økt fra 2,8 g Fe/m³ til 10 g Fe/m³. Ved denne høyeste JKL-doseringen var slamproduksjonen tilnærmet det den var i hovedanlegget (se tabellen). Den marginalt bedre rensingen som ble oppnådd ved å øke JKL-doseringen fra 2,8 g Fe/m³ til 10 g Fe/m³ (se Tabell 2) vil nok ikke kunne forsvare den betydelig økte slamproduksjonen.

Tabell 3. Konsentrasjonen av suspendert stoff (SS) i vaskevannet etter sandvask og beregnet slamproduksjon, slamvolumindeks (SVI) og slamtetthetsindeks (SDI) ved to ulike kombinasjoner kitosan/JKL inn på piloten og tilsvarende verdier for hovedanlegget på samme tid. Mer detaljer fra piloten ved de to uttakene er gitt i Tabell 2.

Dosering	SS vaskevann	Slamproduksjon	SVI	SDI
	mg/l	g SS/m ³	ml/g	g/l
2,5 g kitosan/m ³ + 2,8 g JKL-Fe/m ³	143	30	105	9,5
2,5 g kitosan/m ³ + 10 g JKL-Fe/m ³	242	47	81	12,4
Hovedanlegg	196	52	153	6,5

3.4.2 Sedimenteringsegenskapene

Slamfnokkenes sedimenteringsegenskaper ble karakterisert ved å beregne slamvolumindeksen (SVI), slamtetthetsindeksen (SDI) og sedimenteringshastigheten. SVI og SDI, som beskriver hvor godt slammet komprimeres ved normal sedimentering, er gitt i Tabell 3. Slam med en SVI-verdi på <100 ml/g anses som godt sedimenterbar (beregnet for aktivslamprosesser der det er viktig at slammet resirkuleres fra sedimentasjonstrinnet til bioreaktoren). Det fremgår at slammet fra hovedanlegget lot seg komprimere vesentlig mindre enn ved felling med kitosan og JKL, som vist ved SS-konsentrasjonen i slamfasen etter 30 min sedimentering (SDI) i Tabell 3. Den økte JKL-doseringen hadde en positiv innvirkning på både SVI og SDI, dvs slammet ble mer komprimert.

Sedimenteringshastigheten ble bestemt ved å måle synkehastigheten for skillet mellom klarfasen og slamfasen i en 1 meter høy og 19 cm bred sedimentasjonskolonne. Eksperimentet står beskrevet i Materialer og metoder-delen under underkapittel 2.2.2, mens rådata er gitt i Vedlegg B. I Figur 7 er turbiditeten ved hvert prøveuttak (y-aksen) plottet mot forholdet mellom avstanden fra væsketoppen til uttakspunktet og sedimenteringstiden (x-aksen), som beskriver således hastigheten på skillet mellom slamfasen og klarfase nedover i kolonnen. Dette gir seg utslag i et raskt dropp i turbiditet. Siden de utfelte fnokkene sannsynligvis vil være svært heterogene både i form, størrelse og kompaktet, vil man kunne få flere "turbiditetsdropp" med relativt stor spredning i sedimenteringshastighet (avlest på x-aksen). I tabell 4 er de beregnede/avleste sedimenteringshastighetsområdene for de fire vaskevannene i Figur 7 vist. I alle tilfeller er det en vesentlig del av partiklene som ikke var sedimentert ferdig da forsøket ble avsluttet, slik at de angitte sedimenteringshastighetsområdene i tabellen inkluderer ikke den langsamst sedimenterende fraksjonen. Dette har sannsynligvis størst betydning for verdiene for vaskevannet fra vannverket uten tilsatt av polymer, der rest-turbiditeten i "klarfasen" var vesentlig høyere enn i de andre tilfellene. Uansett, det går klart frem at sedimenteringshastigheten var vesentlig høyere for slammet i vaskevannet fra vannverket tilsatt polymer enn for slammet i vaskevannet fra piloten, selv ved den høyeste JKL-doseringen.

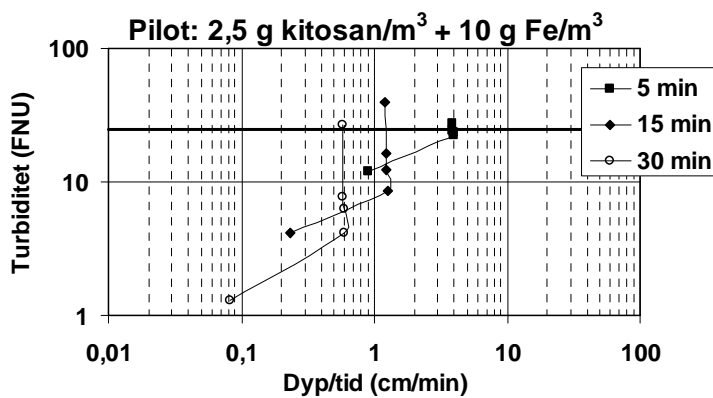
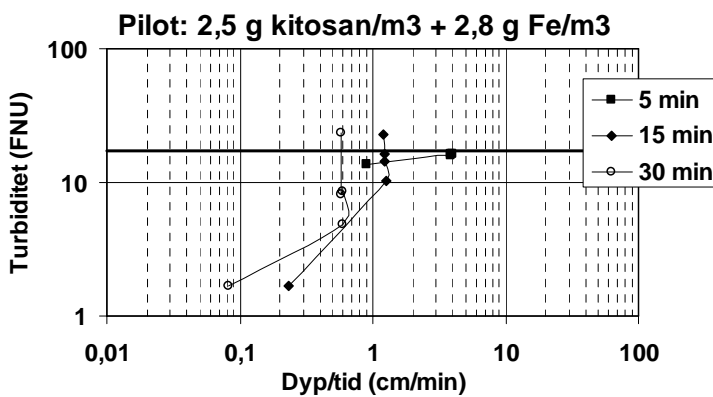
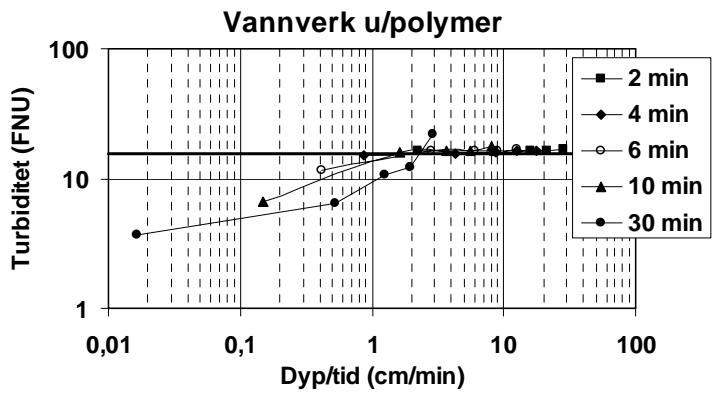
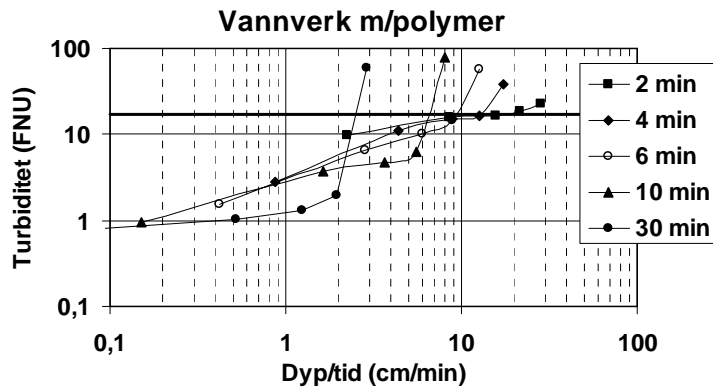
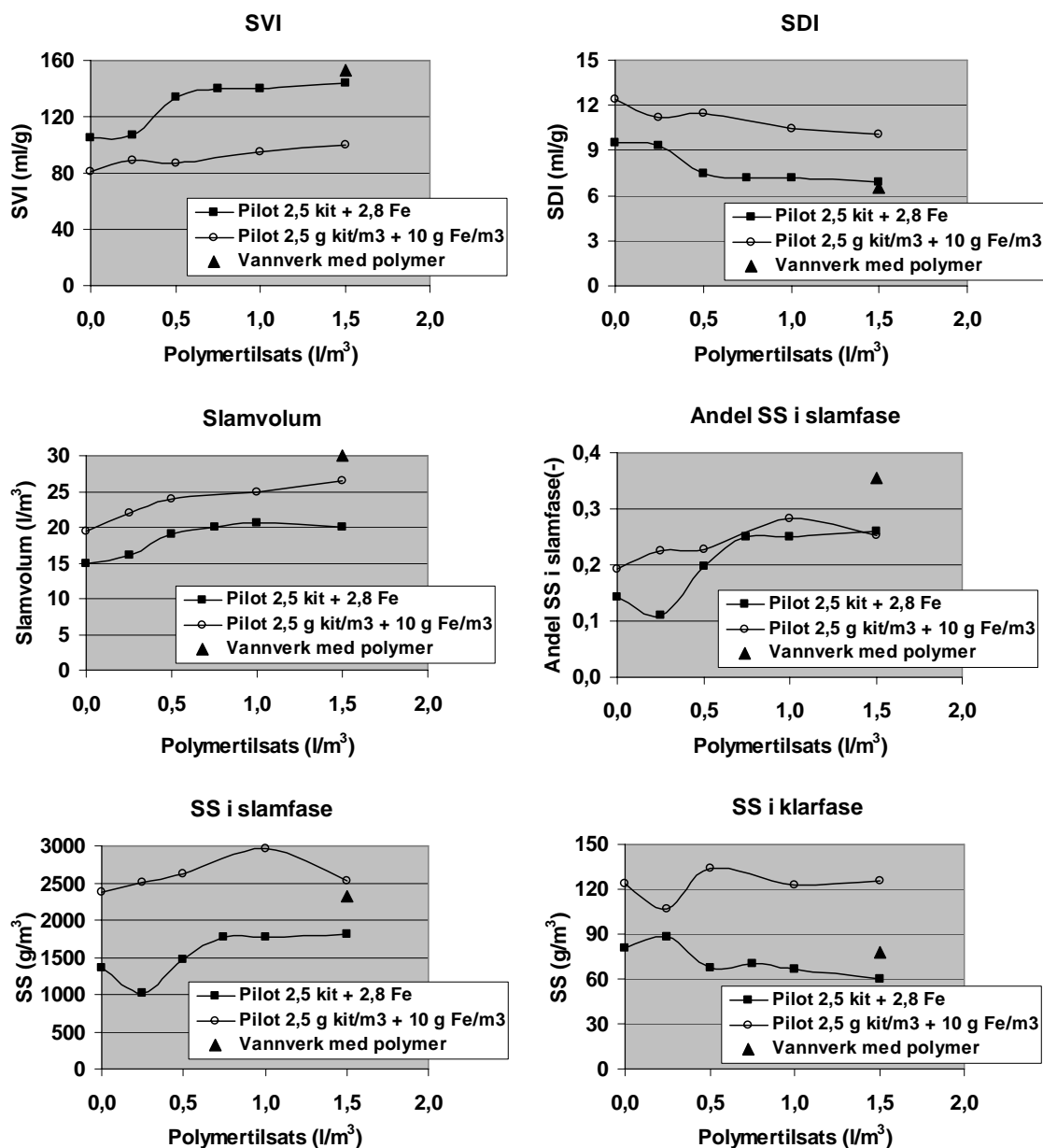


Figure 7. Resultater fra sedimenteringstest i en 1 meter høy sedimenteringskolonne med 5 prøveuttakssteder. Turbiditeten ved hvert prøveuttak (y-aksen) er plottet mot forholdet mellom avstanden fra væsketoppen til uttakspunktet og sedimenteringstiden (x-aksen), som beskriver den tilsynelatende hastigheten på skillet mellom slamfasen og klarfase nedover i kolonnen. Turbiditeten ved start er angitt med en kraftig vannrett strekk i hvert enkelt tilfelle.

Tabell 4. Beregnede/avleste sedimenteringshastigheter for de fire vaskevannene i Figur 6.

Vaskevann	Sedimenteringshastighet
	cm/min
Vannverk: med polymer	2-8
Vannverk: uten polymer	0,1-3
Pilot: 2,5 g kitosan/m ³ + 2,8 g JKL-Fe/m ³	0,5-2
Pilot: 2,5 g kitosan/m ³ + 10 g JKL-Fe/m ³	0,5-4

**Figur 8.** Slammvolumindeks (SVI) (øverst venstre), slamtetthetsindeks (SDI) (øverst høyre), slammvolum (midten venstre), andel suspendert stoff (SS) i slamfasen (midten høyre) og konsentrasjonen av SS i slamfasen (nederst venstre) og i klarfasen (nederst høyre) etter 30 min sedimentering av vaskevann fra piloten og fra vannverket etter ulik dosering av polymer i 1 liter koniske begere.

For å vurdere effekten på sedimenteringsegenskapene av å tilsette polymeren som ble benyttet ved vannverket til slammet i vaskevannet ut fra piloten, ble ulike mengder polymer blandet inn i vaskevannet under rolig omrøring før slammet ble satt til å sedimentere i 30 min. Som resultatene i Figur 8 viser, førte polymerdoseringen generelt til en økt slamvolumindeks (SVI) og redusert slamtetthetsindeks (SDI), begge deler uønsket. Men andelen slam i slamfasen økte, selv om størstedelen av slammet (målt som SS) fremdeles lå i klarfasen etter 30 min sedimentering. Dette gjaldt også vannverksslammet, selv om andelen i slamfasen her var noe høyere. Bare for vaskevannet fra piloten med lavest JKL-dosering (2,8 g Fe/m³) ble det oppnådd en reell nedgang i SS i klarfasen ved å dosere med polymer. Det så med andre ord ikke ut til at den polymeren som benyttes som flokkulant i dag er særlig egnet for å bedre flokkuleringen av kitosan/JKL-fnokkene.

4. Konklusjon - veien videre

Pilotkjøringen ga dessverre ikke noe endelig svar på om det vil la seg gjøre å gå fra dagens bruk av den Al-baserte Ecoflock-90 til å benytte en kombinert felling med kitosan og JKL ved Årnes vannverk uten at dette går ut over vannkvaliteten vannverket leverer sine abonnenter. Som det fremgår ovenfor er det mye som tyder på at problemet ligger i selve separeringen av slam og sand i vaskeprosessen i toppen av filteret, så det ville være synd å forkaste løsningen med kitosan/JKL som koagulanter ved vannverket.

Piloten var helt ny da den ble testet ut i dette prosjektet. Det anbefales at man får noe mer driftserfaring med kjøring av Ecoflock-90 på piloten før man eventuelt går videre og tester kitosan/JKL igjen. Hvis det er ønskelig fra vannverkets side, kan vi skissere et opplegg for en oppfølgingstest.

Vedlegg A. Logbok

Dato - tid	Kommentar
25.09.03	Oppstart uten kitosandoserings: pH 7.0, farge>50, turb 0.5
26.09.03 08.30	Start kitosandoserings (2 mg/l) + marmordoserings:
29.09.03 13.00	pH 7.0, farge>50, turb 1.1
29.09.03 14.30	Kitosandoserings økt til 4.5 mg/l
	pH 6.8-6.9, farge 38.8-39.4, turb 0.22
30.09.03 08.30	Kitosandoserings økt til 6.9 mg/l
	pH 6.6-6.7, farge 26.8 +/- 0.3, turb 0.11
01.10.03 14.30	Kitosandoserings økt til 10.6 mg/l
01.10.03 18.00	pH 6.6-6.7, farge 26.0-26.5, turb 0.11
02.10.03	Prøveuttak: pH 6.6-6.7, farge 30.5, turb 0.14 Stopp marmortilsetning
03.10.03	Start pH-justering med syre
	Store problemer med lekkasje etc
12.10.03	Snitt: pH 4.30, farge 28.1, turb 0.20
15.10.03	Snitt: pH 4.36, farge 25.9, turb 0.17
28.10.03 08.45	Dosering startet på ny...
	Lang periode med store driftsproblemer (lekkasjer, tomt for kitosan/syre osv)
07.11.03	Prøveuttak: pH 6.5, farge 46.5, turb 0.22 Kitosan- og syredoserings stoppet. Blir startet igjen på mandag: kitosan: 5,8 mg/l
18.11.03 14.00	Måling lab (jan 04): Rentvann Årnes: farge 6.2 mg Pt/l, UVabs 0.060, TOC 2.9 mg/l Råvann Årnes: farge 80.5 mg Pt/l, UVabs 0.453, TOC 11.1 mg/l; filtrert: farge 70.8 mg Pt/l
10-12.12.03	pH 4.3-5.7, farge 20-38, turb 0.11-0.25 Relativt jevnt økende pH, farge og turb, men ingen klar sammenheng
13.12.03	pH ned fra 5.7 til 4.0 på ca 3.5 timer – fargen stupte fra 38 til 17 på 1 time, men økt raskt igjen til 25 neste 2.5 timene. Nesten 24 timer konstant pH 4.0: farge 25-27 jevnt stigende, turb 0.18-0.15 jevnt avtagende
14.12.03	pH stiger til >6, farge stiger til ca 40, turb til ca 0.35
17.12.03	Periode med jevnt pH 5, men høy farge og turb: ingen kitosandoserings?
20.12.03	pH 7.0, farge 81, turb 0.66 Rentvannsflow: 25.4 L/min (1530 L/h) Vaskevannsflow: 10.5 L/min (631 L/h)
	Kitosandoserings: 14.2 mg/l Kitosandoserings justert ned til 7.1 mg/l ved fortykning av kitosanoløsning
22.12.03 08.45	Alle pumper stoppet
22.12.03 14.25	Kitosandoserings redusert (fra 80 til 50 slaglengde, 80 frekvens): 4.8 mg/l (172 mg/min) Syredoserings stoppet Råvann: 36 L/min
22.12.03 16.05	Start JKL-doserings: 4.75 mg Fe/l (171 mg/min)
22.12.03 19.50	Restart kitosandoserings Syretilsetning starta
23.12.03	Uttak rentvann fra pilot: pH 4.08, farge 16.3, turb 0.22 Måling fra lab på ufiltrert prøve: farge 33.3 mg Pt/l, UVabs 0.127, TOC 4.2 mg/l Måling fra lab på filtrert prøve: farge 19.4 mg Pt/l NB: stort spørsmålsteget ved pH-målingene her! (pilot-pH: veldig jevnt på 4.96-4.97)
28.12.03 12.30	pH ? (-3.0), farge 88, turb 0.75 Ingen kitosandoserings på lang tid (250 L) JKL tom

28.12.03 12.45	Startet pumping kitosan + JKL Tok ut råvannsprøve etter filtrering (pH 6.05) + spylevann Måling fra lab på ufiltrert råvannsprøve: farge 96.4 mg Pt/l, UVabs 0.497, TOC 11.8 mg/l Måling fra lab på filtrert råvannsprøve: farge 87.1 mg Pt/l vaskevann: TOC 12.6 mg/l Deionisert vann: farge 14
28.12.03 14.30	pH ? (-2.0), farge 29, turb 0.30
01.01.04 18.00	Destvann: farge 40.6 (46.4% transmittans) Vasket flowcelle: farge 0.0 (100% transmittans) Farge pilot: 12.0
02.01.04	Start luttilsetning for å justere opp pH til 5.0: 878 g i 50 l, 31.1 ml/min Start marmortilsetning (5%): 21.7 ml/min
03.01.04	Tomt for lut (akkurat?: pH 7.2 og synkende?) Ny lutløsning: 767 g i 50 L, 24 ml/min SVI vannverk med polymer = 29 ml slam*1000/SS-kons
04.01.04	KJEMPELEKKASJE I UNDERETASJEN: sanns. ingen dosering av kitosan eller JKL pH i pilot: 8.3-8.4 Kitosanflow: 75 ml/min (ca 1.25 g/l) Justerer kitosankonsentrasjon til 2.24 g/l + justerer flow til 40 ml/min = 2.51 mg/l (35.6 L/min råvann)
04.01.04 21.30	pH 6.4-6.5, farge 29, turb 1.0 Uttak fra vannverk uten polymer (kl 10) Uttak fra vannverk med polymer (kl 21.30) Stoppet marmorpumpe.
05.01.04 04.30	Kort periode fra 03.30 til 04.30 med god fargefjerning: 5.0-5.1, turb: 0.17, pH ukjent. pH beregnet på bakgrunn av jevn stigning i målinger gjort senere på dagen: 3.91
05.01.04 09.30	Uttak rentvannsprøve (første røde pil i figur): farge: 17.8, turb 0.33, pH i prøve målt senere: 3.85 Måling fra lab på ufiltrert prøve: farge 40.6 mg Pt/l, UVabs 0.123, TOC 3.6 mg/l Måling fra lab på filtrert prøve: farge 6.6 mg Pt/l Marmortilsetning startet
	Etter start marmortilsetning gikk fargen og turb umiddelbart ned. Effekt av marmor og/eller pH? Varte frem til kl 14, hvorpå farge og turb økte raskt. Sanns pga tomt for marmor.
05.01.04 18.30	Tomt for marmor. Usikkert hvor lenge. Uttak rentvannsprøve (andre røde pil i figur): farge: 30.8, turb 0.63, pH i prøve målt senere: 3.74 Måling fra lab: ikke analysert! Alle pumper stoppet.

21.01.04 09.30	Ny oppstart av pilot: dosering av kitosan + marmor og tilsats av JKL til pH 5. Råvann: 5 m ³ /h Kitosan: 2.50 mg/L (0.25%, 83.2 ml/min) Marmor: 48 ml/min 2% marmor (=11.35 ml/m ³ 100% marmor) JKL: 3.9 mg Fe/l (11.55 g/L, 33.2 ml/min) Start kl 13.30
21.01.04 14.15	pH 5.44, farge 22, turb 0.46 Vaskevann: 15.8 L/min (ca 20%) Rentvann: 62.1 L/min (samlet: 4.67 L/h)
21.01.04 14.45	pH 4.5, farge 24 JKL-dosering: 30.86 ml/min (skulle vært 33.2 ml/min) Marmor-dosering: 42.55 ml/min – økt til 47.2 ml/min (skulle vært 48 ml/min)
21.01.04 15.35	pH 4.15, farge 19, turb 0.415
21.01.04 16.00	pH 3.98, farge 36, turb 0.71

21.01.04 16.30	pH 3.65, farge 63.9, turb 0.88 hadde glemt å sette tilbake marmorslangen etter flow-justeringen...
21.01.04 21.40	pH 4.54, farge 32, turb 0.57
22.01.04 14.30	pH 4.6, farge 36, turb 0.44 Måling fra lab på ufiltrert prøve: farge 8.9 mg Pt/l, UVabs 0.074, TOC 3.9 mg/l Måling fra lab på filtrert prøve: farge 4.6 mg Pt/l, UVabs 0.067, TOC 3.4 mg/l Ny pH-elektrode Ingen marmordosering (stoppet ca 04 i natt?) Vaskevann: 16.5 L/min Vaskevann tappet av for sedimentasjonstest.
22.01.04 14.45	Sjekk av JKL-dose: 2.8 mg Fe/l (20.5 ml/min) Ny JKL-dose: 10 mg Fe/l (13.4 g/l, 62 ml/min) Lut-tilsetning: 0.065 M NaOH, 20.5 ml/min Start kl 15.30.
22.01.04 17.30	pH 3.7, farge 106, turb 0.77 Justerer opp luttilsats noe... (32.1 ml/min)
23.01.04 15.45	pH 4.0, farge 119, turb 1.71 vaskevann: 15 L/min (18%) – kjempehøy SS! Stopp av vaskevann: Fargemåling: 83.0, destvann: 76.6 = ca 5 i farge! Måling fra lab på ufiltrert prøve: farge 8.9 mg Pt/l, UVabs 0.071, TOC 3.3 mg/l Måling fra lab på filtrert prøve: farge 4.3 mg Pt/l, UVabs 0.059, TOC 3.1 mg/l Justering av vaskevannsflo: <ul style="list-style-type: none"> 1. Høyde rentvannsutløp (max lufting) <ul style="list-style-type: none"> * Helt oppe: 15 L/min * 5 cm ned: 7.5 L/min * Helt ned: 6.7 L/min 2. Lufting (max høyde) <ul style="list-style-type: none"> 90o: 15 L/min 60o: 18 L/min 45o: 18 L/min 30o: 15 L/min 0o: 43 L/min Stigehastighet i topp av filteret: 35 s på 5 cm Anbefalt sandvaskehastighet: 7-9 L sand/m ² filteroverflate*min Anbefalt vaskevannshastighet: 1.5-2x sandvaskehastighet Filteroverflate: 0.7 m ² Synkehastighet: øverst 8.2 mm/min, 0.5 m ned: 8.1 mm/min, 1 m ned: 7.3 mm/min, 1.5 m ned: 7.1 mm/min. sandvolum/min = filteroverflate*synkehastighet=0.7*8.2 m ² *mm/min=5.7 L/min Vaskevannsmengde: 7.4 L/min (anbefalt: 8.6-11.4 L/min) Etter justeringer: sandsynking topp: 7.3 L/min, vaskevann: 8.8 L/min (anbefalt 7.7-10.2 L/min) Ingen synlig bedring av turb/farge Snart tomt for kitosanløsning, JKL og lut.
26.01.04	Nedrigging

Vedlegg B. Rådata fra bestemmelse av sedimenteringshastighet

Vaskevann	95.5 cm				80 cm				57.5 cm				35 cm				5 cm			
	Tid (min)	dz (cm)	z/tid (cm/min)	Turb FNU	Tid (min)	dz (cm)	z/tid (cm/min)	Turb FNU	Tid (min)	dz (cm)	z/tid (cm/min)	Turb FNU	Tid (min)	dz (cm)	z/tid (cm/min)	Turb FNU	Tid (min)	dz (cm)	z/tid (cm/min)	Turb FNU
Vannverk: med polymer	0,0			16,8	0,3			16,8	0,66			16,8	0,99			16,8	1,32			16,8
	2,0	0,0	2,3	9,8	2,3	0,2	8,5	15,6	2,66	0,4	15,8	16,7	2,99	0,6	21,5	18,5	3,32	0,8	28,4	22,8
	4,0	1,0	0,9	2,8	4,3	1,2	4,3	11,0	4,66	1,4	8,8	15,1	4,99	1,6	12,7	16,7	5,32	1,8	17,5	38,8
	6,0	2,0	0,4	1,5	6,3	2,2	2,8	6,5	6,66	2,4	6,0	10,2	6,99	2,6	8,9	14,3	7,32	2,8	12,6	56,8
	10,0	3,0	0,2	1,0	10,3	3,2	1,6	3,7	10,66	3,4	3,7	4,8	10,99	3,6	5,6	6,2	11,32	3,8	8,1	77,9
	30,0	4,0	0,02	0,6	30,3	4,2	0,5	1,0	30,66	4,4	1,2	1,3	30,99	4,6	1,9	2,0	31,32	4,8	2,9	59,6
Vannverk: uten polymer	0,0			15,6	0,33			15,6	0,66			15,6	0,99			15,6	1,32			15,6
	2,0	0,0	2,3	16,3	2,33	0,2	8,5	16,1	2,66	0,4	15,8	16,4	2,99	0,6	21,5	16,5	3,32	0,8	28,4	16,7
	4,0	1,0	0,9	15,3	4,33	1,2	4,3	15,7	4,66	1,4	8,8	15,8	4,99	1,6	12,7	16,3	5,32	1,8	17,5	16,4
	6,0	2,0	0,4	11,6	6,33	2,2	2,8	16,3	6,66	2,4	6,0	16,2	6,99	2,6	8,9	16,2	7,32	2,8	12,6	16,7
	10,0	3,0	0,2	6,7	10,33	3,2	1,6	15,8	10,66	3,4	3,7	16,2	10,99	3,6	5,6	16,5	11,32	3,8	8,1	17,5
	30,0	4,0	0,02	3,7	30,33	4,2	0,5	6,5	30,66	4,4	1,2	10,8	30,99	4,6	1,9	12,2	31,32	4,8	2,9	22,0
Pilot: 2,5 g kitosan/m ³ +2,8 g JKL-Fe/m ³	0,0			16,3	0,0			16,9	0,0			18,5	0,0			17,7	0,0			17,5
	5,0	0,0	0,9	13,6	5,0	0,2	4,0	16,3	5,0	0,4	3,9	16,4	5,0	0,6	3,9	16,1	5,0	0,8	3,8	16,1
Pilot: 2,5 g kitosan/m ³ +10 g JKL-Fe/m ³	15,0	1,0	0,2	1,7	15,0	1,2	1,3	10,2	15,0	1,4	1,2	14,2	15,0	1,6	1,2	16,2	15,0	1,8	1,2	22,9
	30,0	2,0	0,1	1,7	30,0	2,2	0,6	4,8	30,0	2,4	0,6	8,5	30,0	2,6	0,6	8,1	30,0	2,8	0,6	23,5
	0,0			24,2	0,0			24,1	0,0			24,1	0,0			25,6	0,0			25,5
	5,0	0,0	0,9	11,9	5,0	0,2	4,0	22,5	5,0	0,4	3,9	23,6	5,0	0,6	3,9	24,4	5,0	0,8	3,8	27,3
	15,0	1,0	0,2	4,1	15,0	1,2	1,3	8,5	15,0	1,4	1,2	12,2	15,0	1,6	1,2	16,4	15,0	1,8	1,2	39,3
	30,0	2,0	0,1	1,3	30,0	2,2	0,6	4,2	30,0	2,4	0,6	6,3	30,0	2,6	0,6	7,7	30,0	2,8	0,6	26,5