

RAPPORT LNR 3742-97

**Bruk av lavgradig kitosan
som fellingskjemikalium
ved Saulekilen RA**

Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00

Sørlandsavdelingen

Televeien 1
4890 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 32 56 40
Telefax (47) 55 32 88 33

Akvaplan-NIVA A/S

Søndre Tollbugate 3
9000 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Bruk av lavgradig kitosan som fellingskjemikalium ved Saulekilen RA	Løpenr. (for bestilling) 3742-97	Dato 1997, 09/30
	Prosjektnr. Undernr. O-97088	Sider Pris 49
Forfatter(e) Norgaard, Erik Liltved, Helge	Fagområde Vann og avløp	Distribusjon
	Geografisk område	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Arendal kommune, teknisk etat	Oppdragsreferanse Tilsagnsbrev (j.nr.:97023710)
---	---

Sammendrag

Det er gjennomført jar-tester med lavgradig kitosan som eneste koagulant eller i blanding med JKL eller PAX14 som hjelpekoagulanter i behandling av avløpsvann fra Saulekilen RA i Arendal kommune. Forsøkene er gjennomført for å få et grunnlag å kunne vurdere om lavgradig kitosan egner seg som fellings-kjemikalium for å fjerne partikulært stoff, organisk stoff og eventuelt fosfor i det aktuelle avløpsvannet. Det er også knyttet kommentarer til økonomien ved å helt eller delvis basere kjemisk rensing på bruk av lavgradig kitosan som "fellingskjemikalium". Resultatene i fire jar-tester har vist at 5-8 mg/l kitosan er en tilstrekkelig dose for å rense tilfredsstillende med hensyn på SS (og turbiditet). For å oppnå god rensing med hensyn på fosfor behøves imidlertid inndosering av hjelpekoagulant. Resultatene tyder på at JKL i doser på ca. 41.5 mg/l (5 mg Fe/l) og PAX14 i doser på ca. 41.5 mg/l (3 mg Al/l) i blanding med kitosan (5 - 8 mg/l) gir moderat til god renseeffekt i både tynt og konsentrert avløpsvann. Fordelene med å bruke kitosan som hovedkoagulant i avløpsrensing ligger i lavt behov for konvensjonelle fellingskjemikalier, lavere slam-produksjon og høyst sannsynlig et bedre slamprodukt. Kitosan forventes å bedre sedimentasjonsegenskapene i slammet og ved det gi fordeler som 1) mer stabil renseprosess og 2) reduserte anleggskostnader. Sist nevnte skyldes at overflatebelastningen i et eventuelt sedimentasjonstrinn kan økes.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. avløpsrensing 2. koagulering 3. kitosan 4. slam 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. waste water treatment 2. coagulation 3. chitosan 4. sludge
--	---


Norgaard, Erik
Prosjektleder

ISBN 82-577-3311-3


Wathne, Bente
Forskningssjef

Bruk av lavgradig kitosan som fellingskjemikalium ved Saulekilen RA

Forord

I Norge vil fosfor normalt fjernes ved bruk av fellingskjemikalier (kjemisk felling), spesielt dersom det ikke stilles krav til fjerning av nitrogen. Typisk for slike renseprosesser er imidlertid at slamproduksjonen blir relativt høy. Slammet som produseres skal undergå avvanning og videre behandling før disponering.

Slambehandling betyr vesentlige kostnader. Hel eller delvis erstatning av uorganiske fellingskjemikalier med organiske polymerer fører til at slammengden fra rensenanlegget reduseres

I dag er imidlertid slike polymerer oftest syntetiske og normalt kostbare. Innslag av syntetiske organiske forbindelser kan også vise seg å gi begrensninger med hensyn på disponering av slamproduktene.

Kitosan er et naturlig alternativ som har fordeler også ved å være virksomt ved pH-verdier vi normalt måler i avløpsvann, ~ pH 6.5.

Ved Havmannen A/S på Krøgenes utenfor Arendal er det satt i gang pilotproduksjon av kitosan fra eget rekeskall. I denne forbindelse er det av interesse å undersøke om en lokal kitosankvalitet er effektiv som fellingskjemikalium ved rensing av avløpsvannet på Saulekilen RA.

Arendal kommune finansierer dette forprosjekt der målet er å teste lavgradig kitosan alene eller sammen med lave konsentrasjoner av jern- eller aluminiumsprodukter.

Forsøkene har vært gjennomført ved NIVA-Sørlandsavdelingen med Erik Norgaard som prosjektleder og med Helge Liltved og Harsha Ratnaweera som ansvarlige for gjennomføring av det praktiske arbeidet.

Prosjektansvarlig ved Arendal kommune har vært Hilde Skogsås. Vi takker henne for et godt samarbeide.

Grimstad, 5/11 1997.

Erik Norgaard

Innhold

Sammendrag	6
1. Bakgrunn	7
2. Innledning	8
3. Metoder	9
3.1 Jar-tester.	9
3.1.1 Avløpsvann.	9
3.1.2 Hovedkoagulant.	9
3.1.3 Hjelpekoagulanter.	9
3.1.4 Justering av pH	9
3.2 Gjennomføring.	10
3.2.1 Analyser.	10
4. Resultater	11
4.1 Forsøk med “tynt avløpsvann”	12
4.1.1 Kitosan og/eller JKL i tynt avløpsvann	13
4.1.2 Kitosan og/eller PAX14 i tynt avløpsvann	16
4.1.3 Noen kommentarer knyttet til KOF-verdier	19
4.2 Forsøk med konsentrert avløpsvann	20
5. Diskusjon	25
5.1 Beregninger av kjemikaliebehov og årskostnader	25
5.1.1 Kjemikaliebehov	25
5.1.2 Årskostnader	26
5.1.3 Slamproduksjon og besparelser i forbindelse med slam behandling	26
5.2 Andre momenter	27
5.2.1 Anleggsutforming og prosessstabilitet	27
5.2.2 pH	27
6. Konklusjon	29
6.1 Kitosan som eneste fellingskjemikalium	29
6.2 Optimale blandforhold mellom kitosan og JKL/PAX	29
6.3 Kostnadsbesparelser	29
7. Videre fremdrift	30
8. Referanser	31
Vedlegg A. Presentasjon av resultater fra jarforsøk	32
9. Kitosan som eneste fellingskjemikalium	33
9.1 Kitosan og JKL	34

9.2 Kitosan og PAX14	39
9.3 Forsøk med konsentrert avløpsvann	43
9.3.1 JKL og Kitosan	44
9.3.2 PAX14 og Kitosan	47

Sammendrag

Det er gjennomført jar-tester med kitosan som eneste koagulant, eller i blanding med JKL eller PAX14 som hjelpekoagulanter, for behandling av avløpsvann fra Saulekilen RA i Arendal kommune.

Forsøkene er gjennomført for å:

- Dokumentere renskapasiteten for kitosan på avløpsvann fra Saulekilen renseanlegg
- Identifisere optimale kombinasjoner mellom kitosan og tradisjonelle kjemikalier for å overholde utslippstillatelsen
- Utarbeide oversikt over økonomiske besparelser i forhold til bruk av tradisjonelle fellingskjemikalier

Resultatene av jar-testene utført på 4 ulike dager har vist at 5 - 8 mg/l kitosan er en tilstrekkelig dose for å rense tilfredsstillende med hensyn på SS. For å oppnå god rensing med hensyn på fosfor behøves imidlertid inndosering av hjelpekoagulant. Resultatene tyder på at JKL (ca. 12% jern) i doser på ca. 50 mg/l (6 mg Fe/l) og PAX14 (ca. 8% jern) i doser på ca. 50 mg/l (3 mg Al/l) i blanding med kitosan (5 - 8 mg/l) ga best renseseffekter og fjerner fosfor til verdier ned mot 0.5 mg P/l. Dette er imidlertid ikke tilstrekkelig i forhold til kravene i utslippstillatelsen (0.3 mg P/l).

Doseringsmengdene beskrevet over vil gi reduksjoner i behovet for fellingskjemikalier. Dette sammen med at det vil produseres mindre slam fra renseanlegget gjør en kitosanprosess interessant ut fra et økonomisk synspunkt. Konservative anslag på årlige besparelser knyttet til slambehandling ligger på Kr 110 000.- til Kr. 260 000.-. Deler av reduksjonen i årlige kjemikaliekostnader på fra Kr. 500 000.- til Kr 600 000.- vil ventelig medgå til innkjøp av kitosan.

Effekten med hensyn på organisk stoff (målt som KOF) er meget variabel. Dette skyldes delvis at inndoseringen av kitosan har skjedd fra eddiksyreløsninger. Resultatene antyder imidlertid en renseseffekt på ca. 60%.

I hvilken grad Havmannen A/S er i stand til å produsere kitosan til kostnader som gir konkurransedyktige priser i et rensemarked er usikkert. Det skal også anmerkes at kitosan etter hvert er blitt et meget etterspurt kjemikalium for bruk i sammenhenger som priser produktet adskillig høyere enn det rensemarkedet gjør. Potensialet for fortjeneste ved gjenvinning av kitin og produksjon av kitosan i bedriften vil derfor vurderes fortløpende.

1. Bakgrunn

Kommunen ser et valg av renseprosess i sammenheng med et slambehandlingsanlegg og ønsker av den grunn en lavest mulig slamproduksjon; d.v.s. mindre slam å behandle. De totale driftskostnadene for å rense avløp og behandle slam ses under ett, og en totalløsning som gir lave totale årskostnader, minst mulige mengder av et høyverdig (omsettelig) slamprodukt og selvfølgelig høy renseeffekt i renseanlegget er således et viktig incitament for kommunen når den skal vurdere alternative løsninger.

Et alternativ som vil resultere i lavere slamproduksjon baseres på bruk av kitosan som "fellingkjemikalium". Dersom utslippskravene med hensyn på fosfor blir strenge vil det også være behov for tilsetning av konvensjonelle fellingkjemikalier som jern- og aluminiumssalter. Gevinsten ved kombinasjon mellom kitosan som hovedkoagulant og valgt metallsalt som hjelpekoagulant, er at forbruket av sistnevnte vil kunne reduseres betraktelig.

Hovedinnvendingen mot bruk av polykationet kitosan som "fellingkjemikalie" har vært og er høye priser (høye driftskostnader). Det hevdes at prisen for slike produkter må ned på nivåer under kr. 50 / kg (en lav pris i dagens marked) for at bruken skal kunne "lønne seg".

Havmannen A/S ved Krøgenes utenfor Arendal gjennomfører i disse dager et prosjekt der hovedmålet er å produsere lavgradig kitosan fra eget rekeskall (avfallsfraksjon). Bedriften regner med å kunne fremstille 20 - 25 tonn kitosan pr. år.

Pr dato er det satt i gang produksjon i eget pilot skala anlegg. Produktet som er av høy kvalitet med hensyn på deacetyleringsgrad (> 80% deacetylering), men mer variabel med hensyn på innhold av høymolekylære molekyler (relativt lav viskositet) benevnes lavgradig.

Siden avstanden mellom Havmannen A/S og Saulekilen RA er relativt kort, vil et mulig fremtidig scenario være at rekepillebedriften leverer tankbiler med ferdig doserbar lavgradig kitosan for behandling av avløpsvannet i Arendal.

2. Innledning

Kitin som er råstoffet for produksjon av kitosan er et avfallsprodukt i fiskeriindustrien. Kitosan er deacetyleret kitin og kan forholdsvis enkelt fremstilles fra rekeskall. Produktet kan enten tørkes og leveres i pulver-/granulatform eller løses i organiske syrer (f.eks. eddiksyre) og de mineralske syrene saltsyre (HCl) og salpetersyre (HNO₃) i styrker på ca. 0,5%.

Bruksområdene for kitosan er mange og blant annet har polykationiske egenskaper gjort det interessant i forbindelse med vann-/avløpsvannrensing.

I proteinholdig avløpsvann (næringsmiddelindustrien) er renseeffekten (les gjenvinningsgraden) godt dokumentert (tabell 1 og 2).

Tabell 1. Bruk av kitosan for å fjerne protein fra avløpsvann.

Prosess	Dosering kitosan (mg/l)	pH	Proteinutbytte (% av TS)	Referanser
Osteproduksjon	2,5 - 15	6,0	78	<i>Bough og Landes (1976)</i> <i>Wu et al. (1978)</i>
Kjøttproduksjon	5 - 30	6,0 - 7,3	41	<i>Bough (1976)</i>
	15 - 40	7,4	32 - 51	<i>Castellanos Perez et al. (1989)</i>
Svineproduksjon	6 - 30	6,4 - 6,7	34 - 68	<i>Bough (1975, 1976)</i>
Fiskeforedling	150	6,0	27	<i>No og Meyers (1989)</i>
Skjell/musling	40	4,5	38	<i>Holland og Shabaz (1985)</i>
Rekeindustri	60 - 360	5,5 - 6,0	65	<i>Senstad og Almås (1986)</i>

Tabell 2. Effekt av ulike koagulanter/flokkulanter på reduksjon av turbiditet og suspendert stoff fra avløpsvann i kjøttindustri (Knorr, 1991).

Produkt	Doserings- konsentrasjon (mg/l)	Turbiditet (NTU)	Flokkulerings- effektivitet (%)	Suspendert Stoff (mg/l)	Reduksjon av SS (%)
Kitosan fra reke	20 - 40	2,0 - 4,9	94-98	4,5 - 11,1	95-98
Kitosan fra krabbe	15	4,4	96	14,0	95
Cat-Floc	40	4,4	96	17,7	93
FeCl ₃	120	5,0	95	10,7	96
Al ₂ (SO ₄) ₃	150	5,2	95	11,7	95

Helness (pers med. 1997) har dokumentert at kommersiell kitosan har et *betydelig potensiale* som henholdsvis koaguleringsmiddel og hjelpeflokkulant for behandling av avløpsvann med reduserte metalledoser.

Arendal kommune ønsker i dette prosjektet å undersøke om lavgradig kitosan levert fra Havmannen A/S kan rense avløpet fra Saulekilen RA i Arendal med hensyn på organisk stoff (suspendert stoff, turbiditet, KOF) og eventuelt sammen med små mengder konvensjonelle fellingskemikalier også med hensyn på fosfor. Undersøkelsene vil i hovedsak gjennomføres som jar-tester, der formålet er å finne optimale doseringsmengder og kombinasjoner samt fellings-pH.

Det vil også gjøres betraktninger om økonomien i en løsning som baseres på lokale leveranser av lavgradig kitosan fra Havmannen A/S.

3. Metoder

3.1 Jar-tester.

Jar-tester ble gjennomført v.h.a. et standard apparat (Kemira A/S) bestående av 6 1-liters begerglass med separate omrørere og styringsenhet.

3.1.1 Avløpsvann.

Avløpsvann ble hentet fra Saulekilen RA, i luftet sandfang, mellom kl. 8 og 9 på 4 forskjellige dager, 22.05, 04.09, 17.09, og 24.09. Totalt er det kjørt 81 jar-tester med ulike doseringer av kitosan, alene eller i kombinasjon med jernklorid (JKL) eller PAX14.

Hoveddelen av de rapporterte resultatene er hentet fra forsøkene som ble utført på de tre sistnevnte datoer. Værsituasjonen den 04.09 og 17.09 var preget av regnbyger, noe som medførte fortennet avløpsvann. Innkommende vannmengde ved renseanlegget var henholdsvis ca. 1100 og 1000 m³/time. Den 24.09 var det tørrvær med en tilrenning på ca. 500 m³/time, og følgelig mer konsentrert avløpsvann.

3.1.2 Hovedkoagulant.

I forsøkene ble kitosan benyttet som hovedkoagulant. Kitosankvaliteten var produsert av rekepillebedriften Havmannen A/S, Arendal. Bedriften produserer kitosan, foreløpig i liten skala, fra rekeskallet som er et avfallsprodukt fra pillemaskinene.

Kvaliteten i kitosanproduktet er av Nobipol (v/K. Vaarum) vurdert å være god. Han rapporterer bl.a. at lave restmengder med kitin gjør at produktet kan sammenliknes med kommersielle produkter.

Det ble benyttet 0.1 og 1 % løsninger av kitosan (vekt/volum) i 1% løsning av eddiksyre.

3.1.3 Hjelpekoagulanter.

Jernklorid (JKL) og en polyaluminiumklorid (PAX14), begge fra Kemira A/S, ble benyttet som hjelpekoagulanter.

JKL har et jerninnhold på ca. 12 %, og en egenvekt på 1.5 g/cm³, mens PAX14 har et aluminiumsinnhold på 8 % og en egenvekt på 1.3 g/cm³. Det ble dosert fra ufortynnede løsninger.

3.1.4 Justering av pH

Fortynnede løsninger av H₂SO₄ og NaOH ble benyttet for pH justering.

3.2 Gjennomføring.

Forsøkene ble gjennomført ved å dosere kitosan og hjelpekoagulant til begerglassene under hurtigomrøring (1 min). Fellingings-pH reduseres med økende doseringer fordi kitosanløsningen er sur og hjelpekoagulantene gjennomgår hydrolyse som frigir protoner (H^+). For å sammenlikne effekter ved tilnærmet like betingelser, og for å felle i optimale pH-områder, ble pH justert med syre eller base. Etter hurtigomrøring ble vannet i begrene omrørt sakte i 15 min, for deretter å sedimentere i 45 min. Prøver ble tatt ut for analyse v.h.a. pipette. Effektene som ble oppnådd med ulike koagulanter ble sammenliknet med kvaliteten i en jar-test uten dosering; - en null-prøve (kontroll i figurtekstene). Erfaringsmessig fjernes betydelige mengder av partikulært materiale i en slik kontroll sammenliknet med råvannet. Råvannet ble bare analysert i konsentrert avløp (kap 4.2).

3.2.1 Analyser.

Følgende analyser ble utført (tabell 3):

Tabell 3. Parametervalg og metoder

	Kortform	Benevning	Metode
pH	pH		pH-meter
Turbiditet filtrert	Turb (f)	NTU	Hach
Turbiditet ufiltrert	Turb (uf)	NTU	Hach
Suspendert stoff	SS	mg/l	Gravimetrisk etter filtrering (0.45 μ m)
Ortofosfat	Orto-P	mg P/l	Hach, molybdat metode
Total fosfor	Tot-P	mg P/l	Hach, molybdat metode
Total nitrogen	Tot-N	mg N/l	Hach, persulfat metode
Kjemisk oksygenforbruk filtrert	KOF (f)	mg O/l	Hach, dikromat metode
Kjemisk oksygenforbruk ufiltrert	KOF (uf)	mg O/l	Hach, dikromat metode

4. Resultater

Resultatene som presenteres nedenfor, fremkommer fra analyser av klarfaser fra jar-tester av 3 avløpsvanns-kvaliteter fra Saulekilen RA;- to av "tynne" avløpsvann og en av mer konsentrert avløpsvann. Prøvene er hentet i luftet sandfang før skivefilter.

Et begrenset datamateriale må betraktes som veiledende m.h.p. å gi informasjon om doseringsmengder. Det tas også forbehold i tilfeller der forskjeller i renses effekter mellom ulike doseringsforhold er små.

Vi mener at resultatene gir grunnlag for å trekke konklusjoner med hensyn på å kvantifisere effekter som kan forventes ved bruk av kitosan alene eller sammen med hjelpekoagulant.

Selv om resultatene fra jartestene ikke gir absolutt sammenliknbare resultater med fullskala forsøk, viser erfaringene at de relative forskjellene mellom behandlingsmetodene er direkte sammenliknbare. De enkelte forsøkene i dette prosjektet er gjennomført under tilnærmet identiske betingelser (les pH). Konklusjonene vil etter vår mening også gjelde i forhold til stor skala forsøk. Resultatene bør således danne grunnlag for beregning av kjemikaliebehov og tilhørende kostnader.

Asplan Viak Sør gjorde i 1992 en vurdering av bruken av ulike fellingskjemikalier ved Saulekilen RA. Vurderingene ble også den gang gjort med grunnlag i resultater fra jar-tester og følgende fellingskjemikalier ble undersøkt:

1. JKL
2. JKL + sjøvann (3-4%)
3. PAX 60 P (Selges under betegnelsen PAX14 i dag)
4. Kalk + sjøvann (5%)
5. JKL + kalk (fast mengde)
6. JKL + kalk (fast mengde) + sjøvann (4%)

I rapporten benyttes disse arbeidene som referanse. Det anmerkes at disse jar-testene med inndosering av fellingskjemikalier, ble gjort med råvann uten justering av pH.

Fordi forsøkene her ble gjort i pH-justert avløpsvann vil det hefte noe usikkerhet ved direkte sammenlikning av doser og effekter. pH-justeringene som ble gjort med grunnlag i kunnskap om de ulike fellingskjemikalienes optimale fellingsområder ble vurdert viktige for å kunne sammenlikne de ulike produktene (jfr. kap. 3.2).

Renseeffektene vurderes mot kravende slik de fremkommer i normal utslippstillatelse for rensesanlegg som har tilsluttet flere enn 20 000 pe (tabell 4).

Tabell 4. Utslippskrav til et mekanisk/kjemisk rensesanlegg tilsluttet > 20000 pe.

Type Renseanl.	Tot-P			TOC		KOF		BOF		LOC		SS	
	K1	K2	kg / 100 pe / døgn	K1	K2	K1	K2	K1	K2	K1	K2	K1	K2
Mek/kj.	0.3	0.6	0.021	30	50	100	140	50	80	25	40	20	30

K1: Krav til midlere utslippskonsentrasjon beregnet på grunnlag av alle kontrollprøver

K2: Krav til høyeste tillatte verdi

4.1 Forsøk med "tynt avløpsvann"

Det ble hentet prøver av tynt avløpsvann den 4 og 17 september og gjennomført forsøk med kitosan som eneste koaguleringskjemikalium samt forsøk der fast kitosanmengde ble benyttet sammen med ulike mengder PAX14 (som representant for aluminiumholdig hjelpekoagulant) og JKL (som representant for jernholdig hjelpekoagulant).

Resultatene er presentert samlet i tabellene 5 og 6.

Tabell 5. Analyseresultater fra jar-tester av avløpsvann hentet 04.09.97. Resultatene sammenliknes med kontrollprøve (jar-test uten dosering). Mengde hjelpekoagulant er angitt som mg metall (Me) pr. liter. Fortynnet kitosan i 1 % eddiksyre ble benyttet, noe som gjenspeiles i høye og variable KOF-verdier.

Dato 04.09.97

jar-test Nr.	kitosan	mg/l	hjelpekoagulant	mg Me/l	pHe ¹	Turb. (uf)	Turb. (f)	SS	Tot-P	Orto-P	KOF (uf)	KOF (f)	Tot-N
1	*	0		0	6,5	45	24	30	2,7	0,57	104	69	16
2	*	3		0	6,5	35		28					
3	*	6		0	6,5	17		7	2,4	0,51	128	119	14
4	*	9		0	6,5	25		16					
5	*	12		0	6,5	38		25					
6	*	15		0	6,5	42		32					
7	*	5		0	5,5	8		1	0,9		196	69	6,7
71	*	5		0	6,5	18		4					
8	*	7,5		0	5,5	9		0					
9	*	10		0	5,5	25		13					
10		0	JKL	5	6		11	33					
11		0	JKL	10	6	52	7	40	0,95	0,1	93	53	6,7
12		0	JKL	20	6	4	2	3					
16	*	5	JKL	5	6	12	3	4		0,043	162		
17	*	5	JKL	10	6	4	2	0	0,35	0,003			7,8
18	*	5	JKL	15	6	4	1	0	0,35	0,013	69	100	7,7
13		0	PAX14	5	6,5	5	3	7	0,35	0,023		33	6,8
14		0	PAX14	10	6,5	3	2	4					
15		0	PAX14	15	6,5	4	2	4					
22	*	5	PAX14	2,5	6,5	5	3	0		0,036		103	
23	*	5	PAX14	5	6,5	3	3	0					
24	*	5	PAX14	7,5	6,5	3	3	0	0,3	0,036	167	132	6,5

¹pHe justert til nærmeste 0,5

Tabell 6. Resultater fra jar-tester av avløpsvann hentet 17.09.97. Resultatene sammenliknes med kontrollprøve (jar-test uten dosering). Mengde hjelpekoagulant er angitt som mg metall (Me) pr. liter. Fortynnet kitosan i 1 % eddiksyre ble benyttet, noe som gjenspeiles i høye og variable KOF-verdier.

Dato 17.09.97

jar-test Nr.	kitosan	ml/l	mg/l	koagul.	ul/l	mg/l	pHe	Turb. (uf)	Turb. (f)	SS	Orto-P	Tot-P	KOF (uf)	KOF (f)	Tot-N
1															
2		0				0	7,4	38	15	23	0,38	1,32	123	114	12
3	*	3					6,4	34	15	29	0,33				
4	*	5					6,4	19	10	12			185	139	
5	*	7					6,3	18	8	15					
6	*	5					4,8	15	8	14	0,33	1			11
7	*	7					4,8	15	7	12					
8	*	5		JKL	2,5		4,8	24	4	18					
9	*	5		JKL	5		4,8	16	4	9	0,02	0,6			11
10	*	5		JKL	7,5		4,9	13	4	7	0	0,4		128	
16		0		JKL	5		5,3	50	15	24	0,19				
17		0		JKL	7,5		5,2	58	4	44	0,06	0,65			
11	*	5		PAX14	2,5		5,6	11	4	9	0,06	0,55	148	126	11
12	*	5		PAX14	5		5,5	18	4	25	0,04	0,7	151	164	
13		0		PAX14	2,5		5,5	19	6	17	0,03	0,75	81	84	11
14		0		PAX14	1,5		5,3	37	9	31	0,06	1,05	81	77	
15	*	5		PAX14	1,5		5,2	11	3	13	0,03	1,05	145	147	11
18	*	5		PAX14	1,5		6,3	15	3	13	0,04	0,7	161	156	10
19		0		PAX14	1,5		6,4	38	11	23	0,21		111	117	11

Resultatene viser at inndosering av 5 mg kitosan/l gir god reduksjon av turbiditet og suspendert stoff. Resultatene viser også at pH kun har moderat effekt i området 4.8 til 6.5. Reduksjon i turbiditet synes å øke noe med avtagende pH, mens renseeffekten med hensyn på suspendert stoff synes å være best ved pH 5.5. Det er imidlertid viktig å legge merke til at jartestene viser god "renseeffekt" også ved pH 6.5, som igjen gjør kitosanfelling mindre avhengig av inndosering av syre i avløpsvannet.

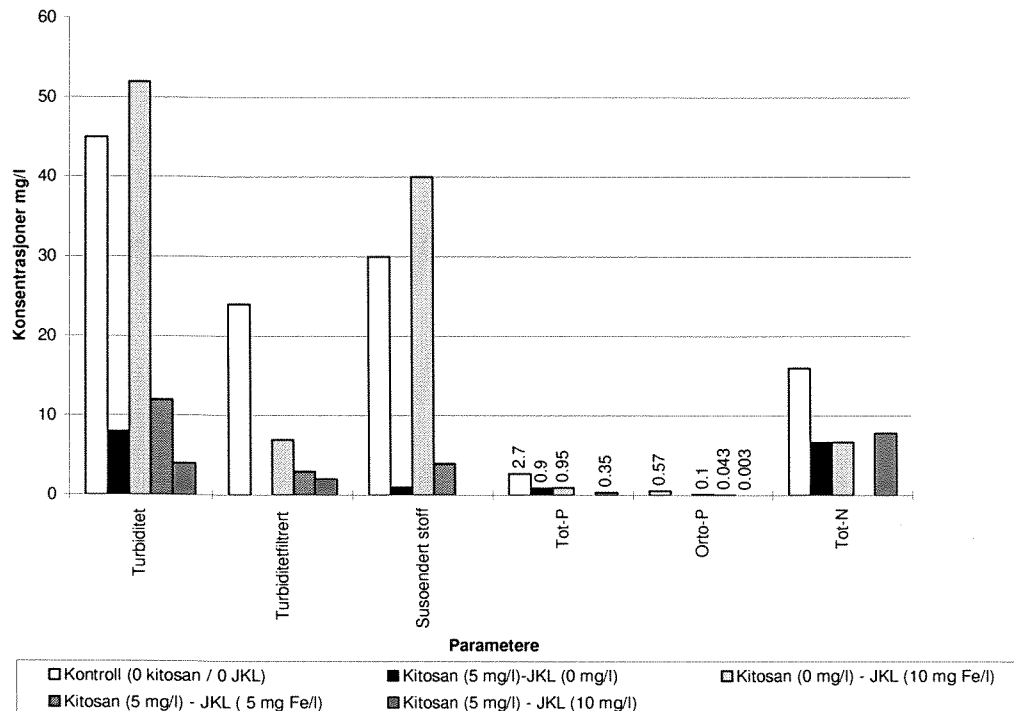
Kitosan i doser på 5 mg/l fjerner moderate mengder med fosfor (25 - 67%, målt som Tot-P) og som forventet svært lite løst fosfor (målt som ortofosfat). I begge forsøkene med tynt avløpsvann ligger sluttkonsentrasjonen for fosfor på ca. 1 mg/l, som igjen tilsier at tilleggsdosering av enten JKL eller PAX er nødvendig for å oppnå kravene i utslippstillatelsen.

4.1.1 Kitosan og/eller JKL i tynt avløpsvann

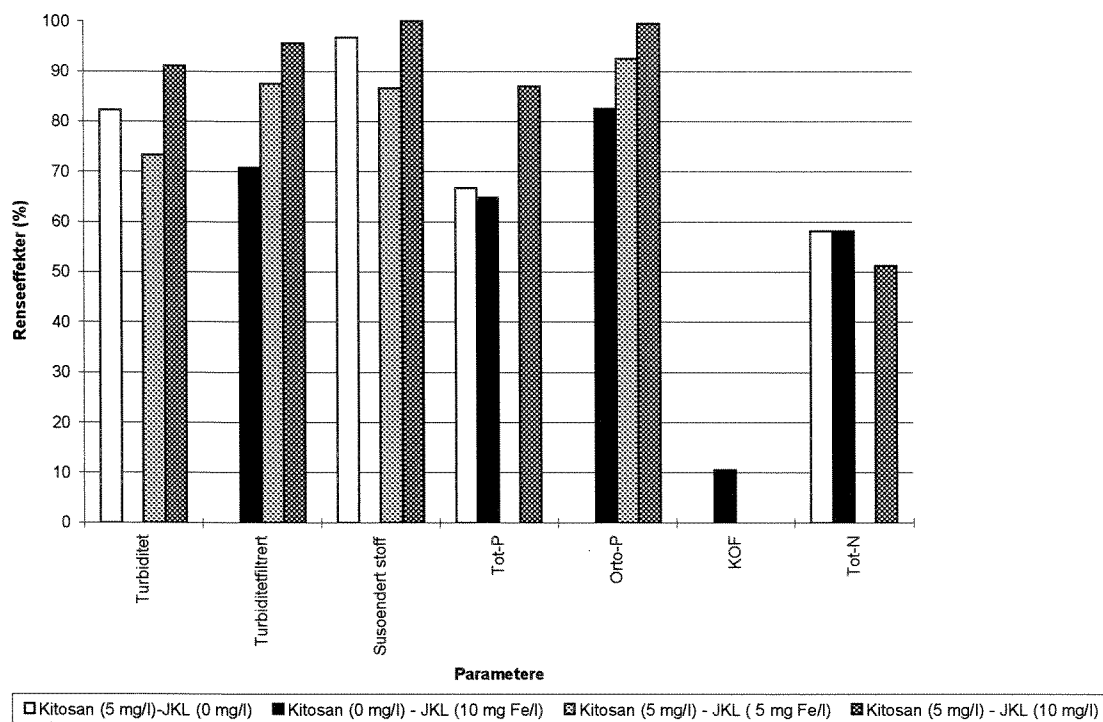
Resultatene fra forsøk der 5 mg kitosan/l er brukt som hovedkoagulant sammen med ulike konsentrasjoner av JKL, viser at metallsaltet ikke bedrer effekten med hensyn på turbiditet og suspendert stoff.

Tilsetning av JKL i doser på fra 41.5 til 83 mg/l øker som forventet "renseeffekten" med hensyn på fosfor, og gir sluttkonsentrasjoner på < 0.6 mg P/l.

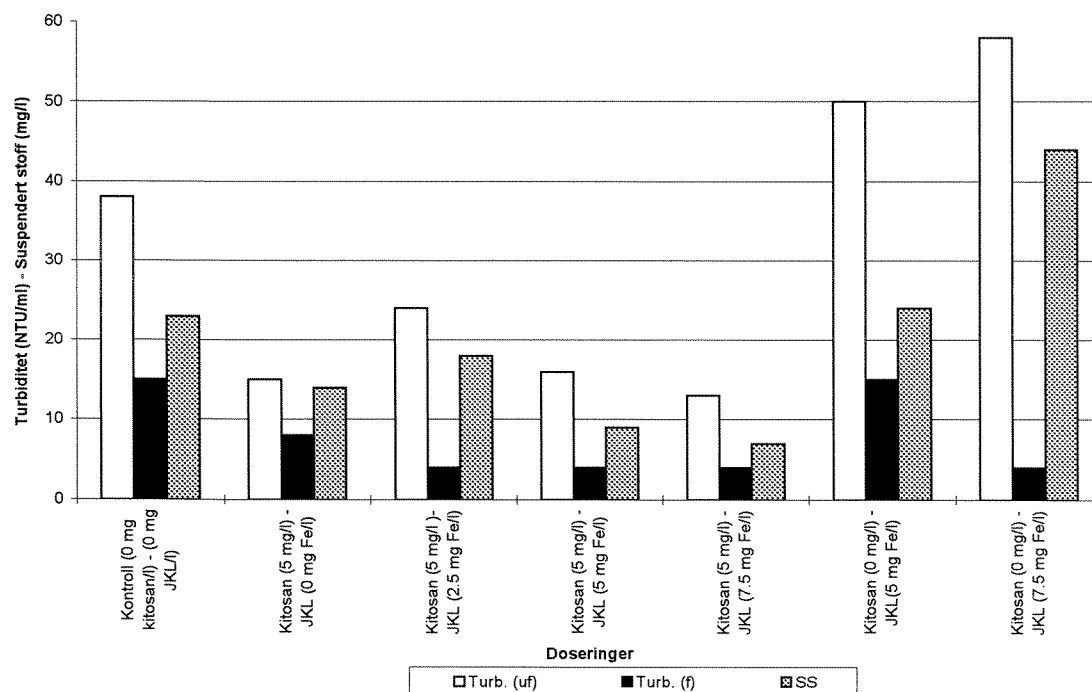
Inndosering av 41.5 mg JKL/l gir sammen med 5 mg kitosan/l god effekt med hensyn på fjerning av orto-P (<< 0.1 mg P/l) og kitosan synes å bedre effekten av JKL.



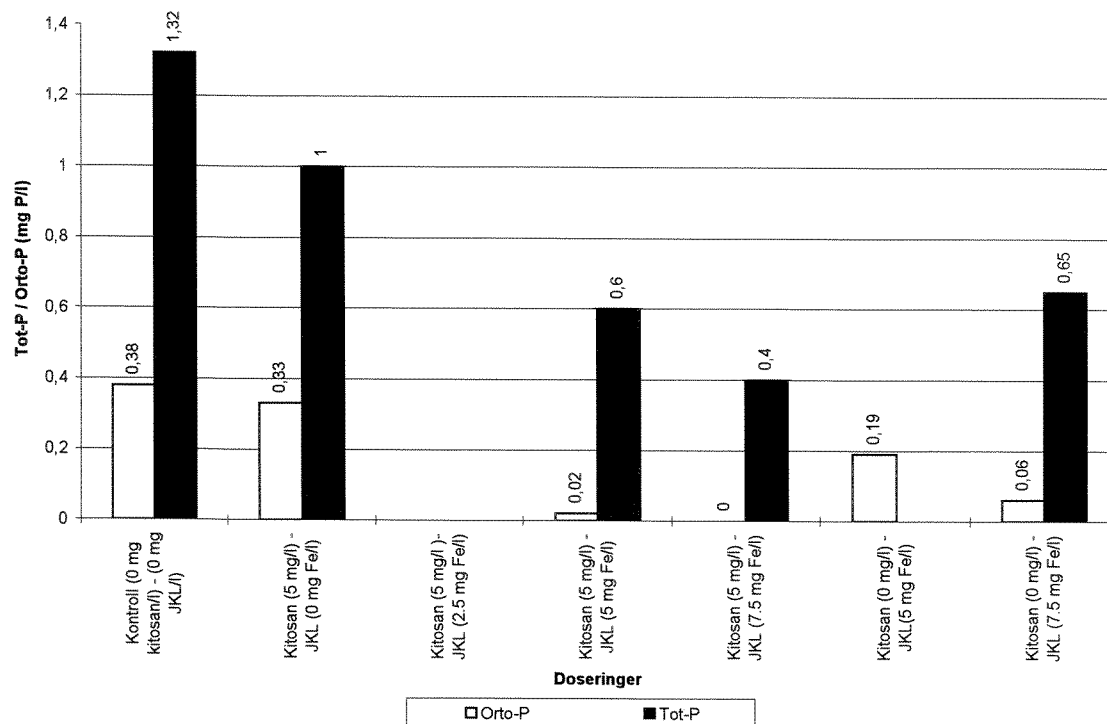
Figur 1. Konsentrasjonsnivåer i tynt avløpsvann for de ulike parameterene i kontrollprøven (ingen dosering) og ved dosering av kitosan alene (5 mg/l), i kombinasjon med JKL (5 og 10 mg Fe/l), og JKL alene (10 mg Fe/l) ved pH ca. 6. Prøven hentet 4/9 1997.



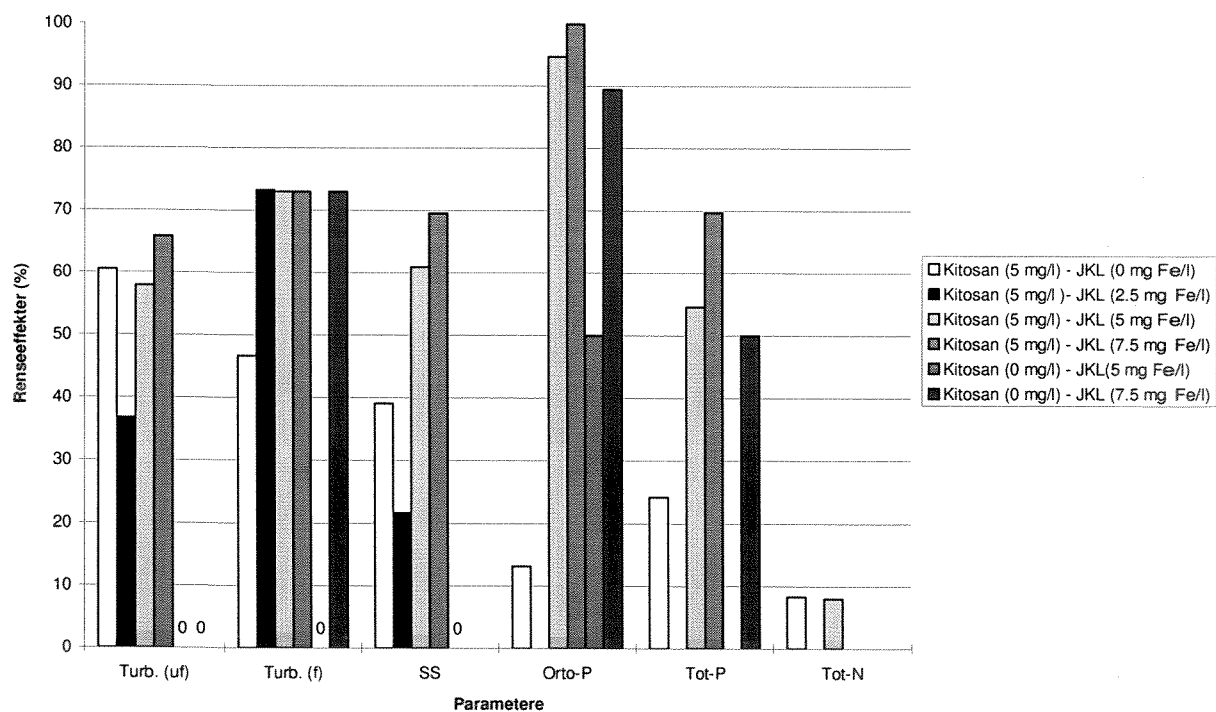
Figur 2. Renseeffekter i prosent i forhold til kontrollprøven (ingen dosering) ved tilsetning av kitosan alene (5 mg/l), i kombinasjon med JKL (5 og 10 mg Fe/l), og JKL alene (10 mg/l) ved pH ca. 6. Tynt avløpsvann fra 4/9-97.



Figur 3. Konsentrasjonsnivåer i tynt avløpsvann for turbiditet og suspensert stoff i kontrollprøven (ingen dosering), og ved dosering av kitosan alene (5 mg/l), i kombinasjon med JKL (2.5, 5 og 7.5 mg Fe/l) og JKL alene (5 og 7.5 mg Fe/l) ved pH ca. 5. Prøven ble tatt ut 17/9 1997.



Figur 4. Konsentrasjonsnivåer i tynt avløpsvann for tot-P og orto-P i kontrollprøven (ingen dosering), og ved dosering av kitosan alene (5 mg/l), i kombinasjon med JKL (2.5, 5 og 7.5 mg Fe/l) og JKL alene (5 og 7.5 mg Fe/l) ved pH ca. 5. Prøven ble tatt ut 17/9 1997.



Figur 5. Renseeffekter i prosent i forhold til kontrollprøven (ingen dosering) ved tilsetning av kitosan alene (5 mg/l), i kombinasjon med JKL (2.5, 5 og 7.5 mg Fe/l), og JKL alene (5 og 7.5 mg Fe/l) ved pH ca. 5. Prøven ble tatt ut den 17/9-97.

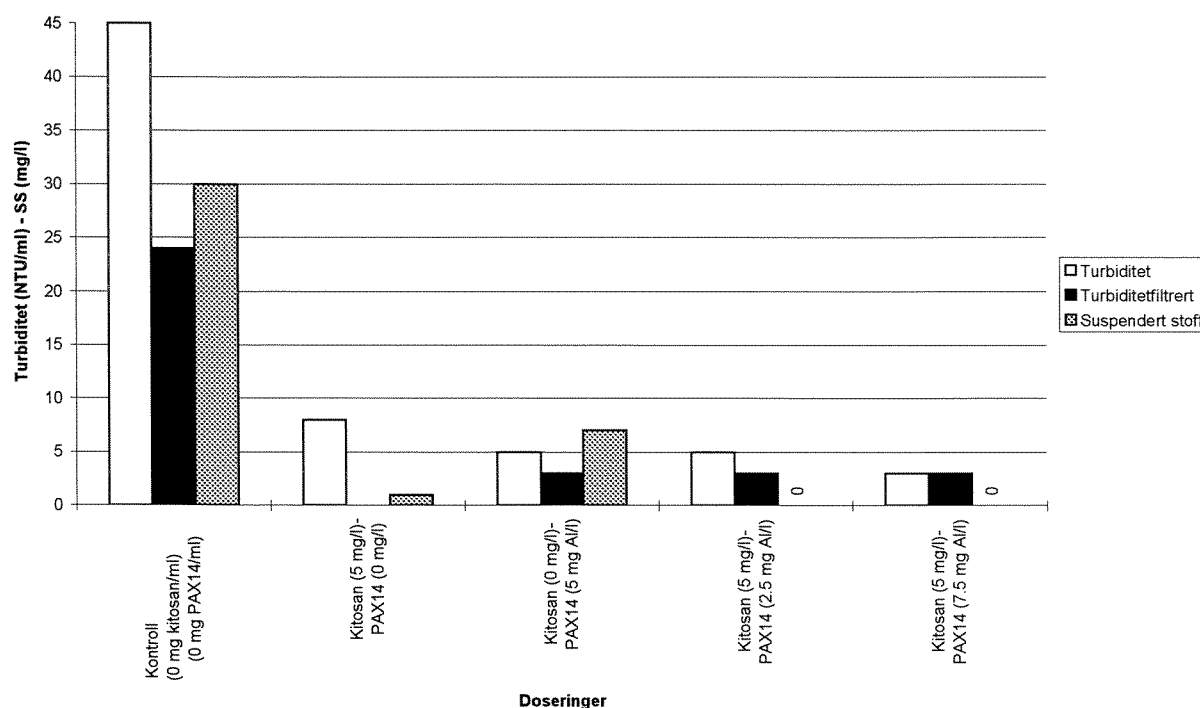
4.1.2 Kitosan og/eller PAX14 i tynt avløpsvann

Resultater fra forsøk der 5 mg kitosan/l er brukt sammen med ulike konsentrasjoner med PAX14 viser at i doser på 41.5 mg/l eller mer virker fellingskjemikaliet effektivt med hensyn på reduksjon av turbiditet og suspendert stoff alene. Effekten bedres imidlertid sammen med kitosan.

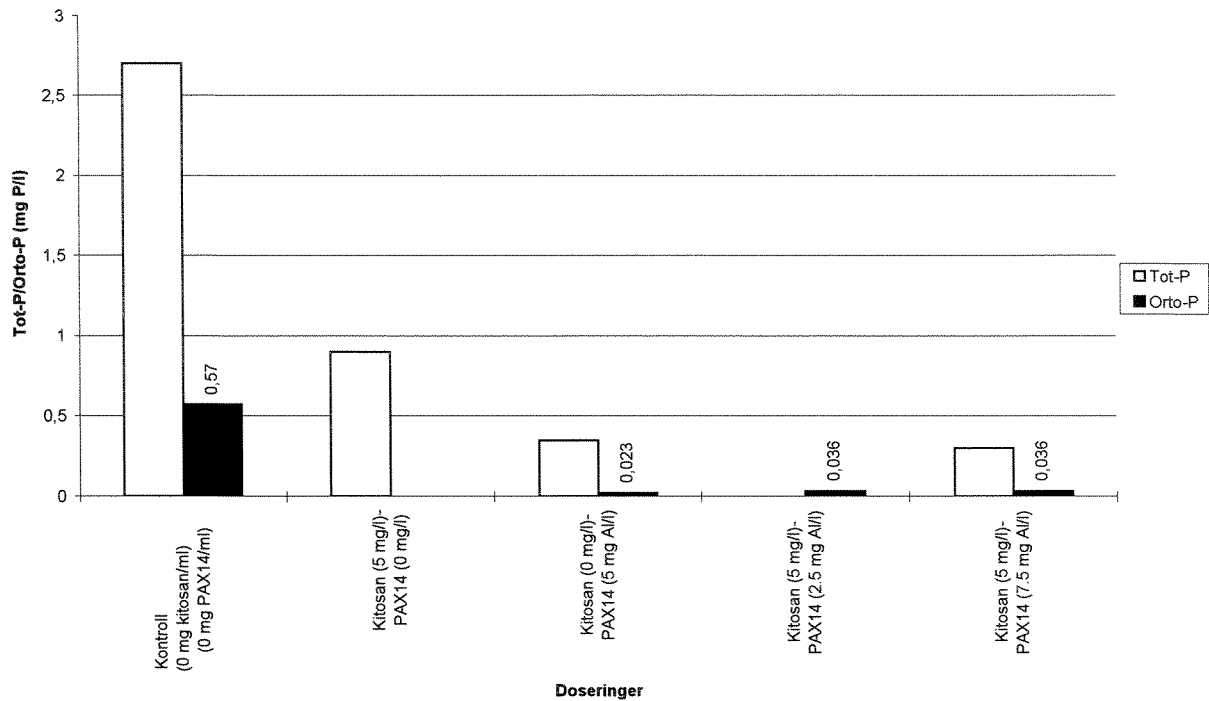
Doser på 21 mg PAX14/l er for lave til å fjerne turbiditet og suspendert stoff effektivt.

Dosering av kitosan sammen med PAX14 gir bedre renseseffekt med hensyn på fosfor sammenliknet med inn dosering av lave konsentrasjoner PAX14 (1.5 - 2.5 mg Al/l) alene. Sluttkonsentrasjoner på 0.55 - 0.7 mg P/l ligger imidlertid for høyt i forhold til utslippstillatelsen (0.3 mg P/l).

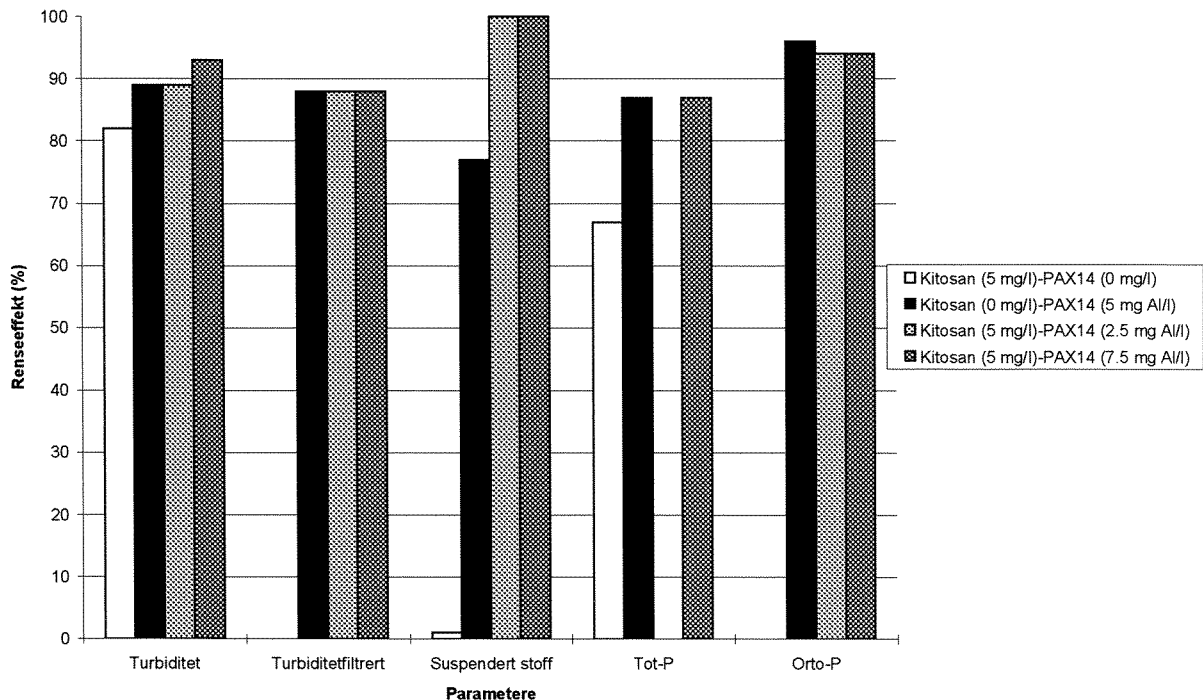
Det bemerkes at sur felling med PAX14 i svært lave konsentrasjoner (20 mg/l) gir meget god effekt med hensyn på ortofosfat.



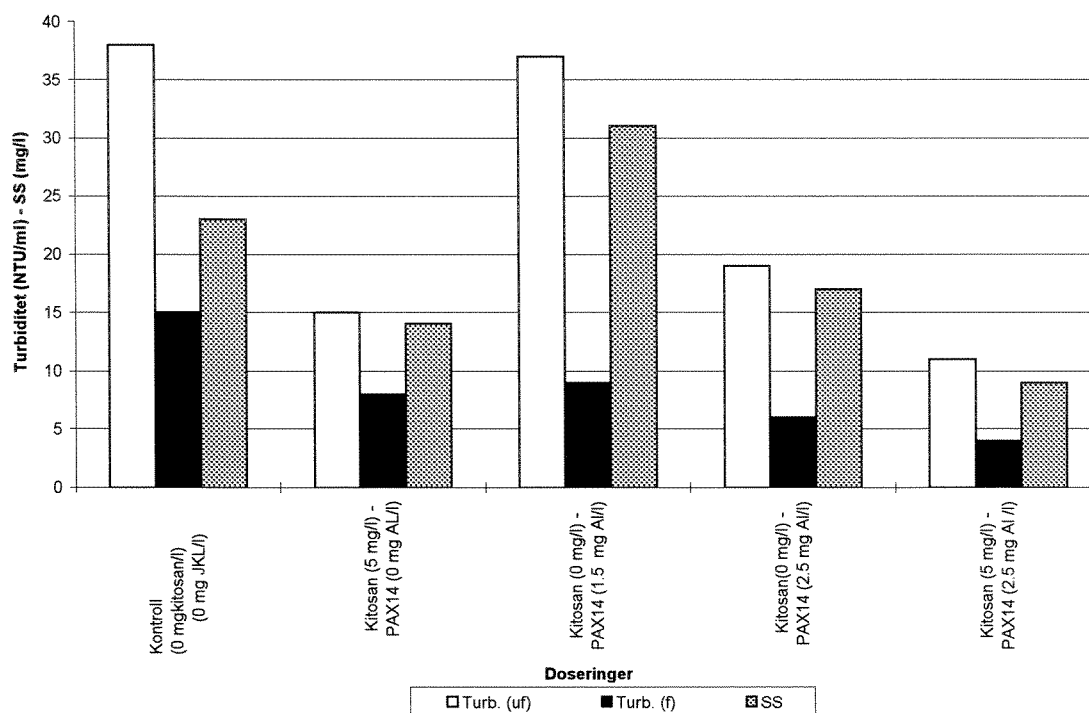
Figur 6. Konsentrasjonsnivåer i tynt avløpsvann for turbiditet og suspendert stoff i kontrollprøven (ingen dosering), og ved dosering av kitosan alene (5 mg/l), i kombinasjon med PAX14 (2.5 og 7.5 mg Al/l) og PAX14 alene (5 mg Al/l) ved pH 6.5. Prøven ble tatt ut 4/9 1997.



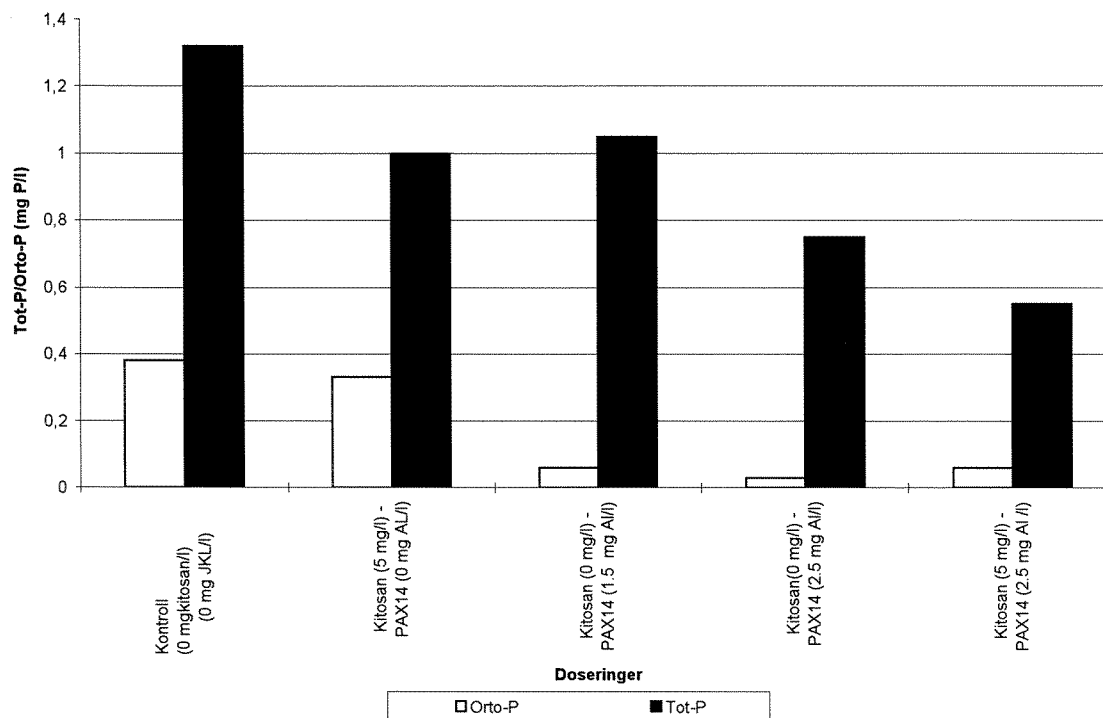
Figur 7. Konsentrasjonsnivåer i tynt avløpsvann for tot-P og orto-P i kontrollprøven (ingen dosering), og ved dosering av kitosan alene (5 mg/l), i kombinasjon med PAX14 (2.5 og 7.5 mg Al/l) og PAX14 alene (5 mg Al/l) ved pH 6.5. Prøven ble tatt ut 4/9 1997.



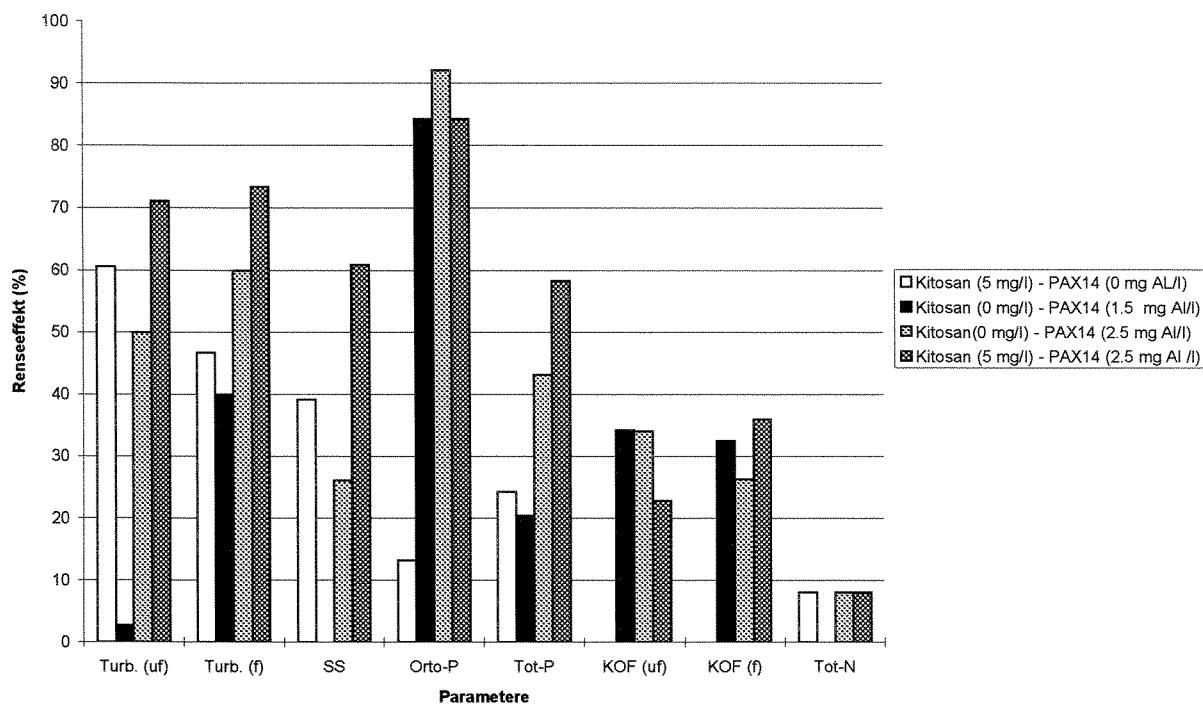
Figur 8. Renseeffekter i prosent i forhold til kontrollprøven (ingen dosering) ved tilsetning av kitosan alene (5 mg/l), i kombinasjon med PAX14 (2.5 og 7.5 mg Al/l), og PAX14 alene (5 mg Al/l) ved pH 6.5. Prøven ble tatt ut den 4/9-97.



Figur 9. Konsentrasjonsnivåer i tynt avløpsvann for turbiditet og suspendert stoff i kontrollprøven (ingen dosering), og ved dosering av kitosan alene (5 mg/l), PAX14 alene (1.5 og 2.5 mg Al/l) og i kombinasjon (kitosan 5 mg/l og PAX14 2.5 mg Al/l) ved pH ca. 5.5. Prøven ble tatt ut 17/9 1997.



Figur 10. Konsentrasjonsnivåer i tynt avløpsvann for tot-P og orto-P i kontrollprøven (ingen dosering), og ved dosering av kitosan alene (5 mg/l), PAX14 alene (1.5 og 2.5 mg Al/l) og i kombinasjon (kitosan 5 mg/l og PAX14 2.5 mg Al/l) ved pH ca. 5.5. Prøven ble tatt ut 17/9 1997.

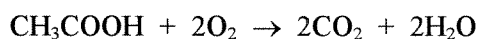


Figur 11. Renseeffekter i prosent i forhold til kontrollprøven (ingen dosering) ved tilsetning av kitosan alene (5 mg/l), PAX14 alene (1.5 og 2.5 mg Al/l) og i kombinasjon (kitosan 5 mg/l og PAX14 2.5 mg Al/l) ved pH ca. 5.5. Prøven ble tatt ut 17/9 1997.

4.1.3 Noen kommentarer knyttet til KOF-verdier

Avvikende resultatene for fjerning av organisk stoff, målt som KOF, forklares ved at kitosan doseres fra en 1% eddiksyreløsning. Avhengig av utgangskonsentrasjonen av kitosan (0.1% til 1%) vil dette gi større eller mindre bidrag til KOF-verdien.

Dette bidraget beregnes enkelt med utgangspunkt i reaksjonslikningen under som sier at 1 mol eddiksyre forbraker 2 mol molekylært oksygen ved 100% oksydasjon:



Molekylvekten (M_w) for eddiksyre er 60 g/mol.

Dosering av 5 mg kitosan/l fra en 0.1%-ig stamløsning betyr tilførsel av 53 mg KOF/liter, mens dosering av 8 mg kitosan fra en 1 %-ig stamløsning tilsvarer 8.3 mg KOF/liter.

Siden kitosan er løslig i mineralsyrer som f.eks saltsyre vil dette problemet omgås ved skifte av syre.

4.2 Forsøk med konsentrert avløpsvann

Resultatene er vist samlet i tabell 7.

Tabell 7. Resultater fra jar-tester med konsentrert avløpsvann hentet 24.09.97. Resultatene sammenliknes med råvann og kontrollprøve (jar-test uten dosering). Mengde hjelpekoagulant er angitt som mg metall (Me) pr. liter.

	kitosan	ml/l	mg/l	koagul.	ul/l	mg/l	pHe	Turb. (uf)	Turb. (f)	SS	Orto-P	Tot-P	KOF (uf)	KOF (f)	Tot-N
Råvann							7.3	125	19	106	0.8	2.6	386	175	28
Jar-test Nr.															
1			0				7.3	65	19	32	0.8	1.7	202	171	20
2	*		4.5				6.5	45	6	33					
3	*		6.5				6.6	25	5	18					
4	*		8				6.4	14	3	7	0.71	1.3	175	167	18
5	*		10				6.3	58	4	45					
6	*		8				5.5	17	4	12	0.73	1.35			18
10	*		8	JKL	2.5		6	13	4	12	0.26	1			
7	*		8	JKL	5		5.9	8	3	5	0.06	0.55	157	141	17
8	*		8	JKL	7.5		6	7	2	4	0.02	0.55			16
9	*		8	JKL	10		6	6	2	3	0.01	0.55	149	144	
11	*		0	JKL	5		6	65	19	35	0.5				
12	*		0	JKL	10		6	65	17	35	0.64	1.6	206	174	
13	*		8	PAX14	1.5		6.5	7	4	8	0.18	0.8	158	154	
14	*		8	PAX14	3		6.6	5	3	5	0.03	0.6	151	152	16
15	*		8	PAX14	5		6.5	5	5	3	0.01	0.6			
16	*		8	PAX14	7.5		6.6	3	3	2	0	0.55	150	151	15
17	*		0	PAX14	3		6.5	31	5	33	0.04	1.25	174	153	17
18	*		0	PAX14	7.5		6.5	5	5	1	0.01	0.55	145	145	

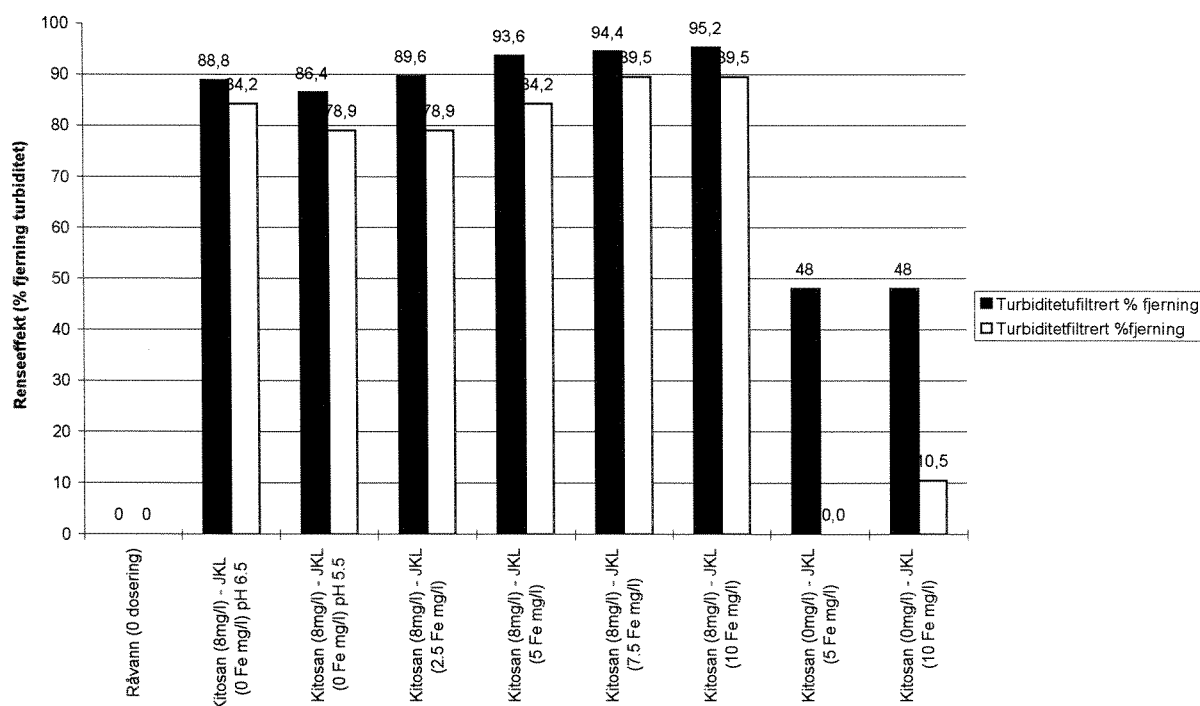
Tabell 7 og figurene 12 til 18 viser at kitosan alene og i en konsentrasjon på 8 mg/l fjerner suspendert stoff og turbiditet meget effektivt også fra "konsentrerte avløpsstrømmer". Når det kompenseres for eddiksyre (jfr. kapittel 4.3.1) er renseeffekten med hensyn på KOF i overkant av 60%.

Sluttkonsentrasjon på > 150 mg/l i jartesten er for høyt i forhold til utslippstillatelsen (100 mg KOF/l).

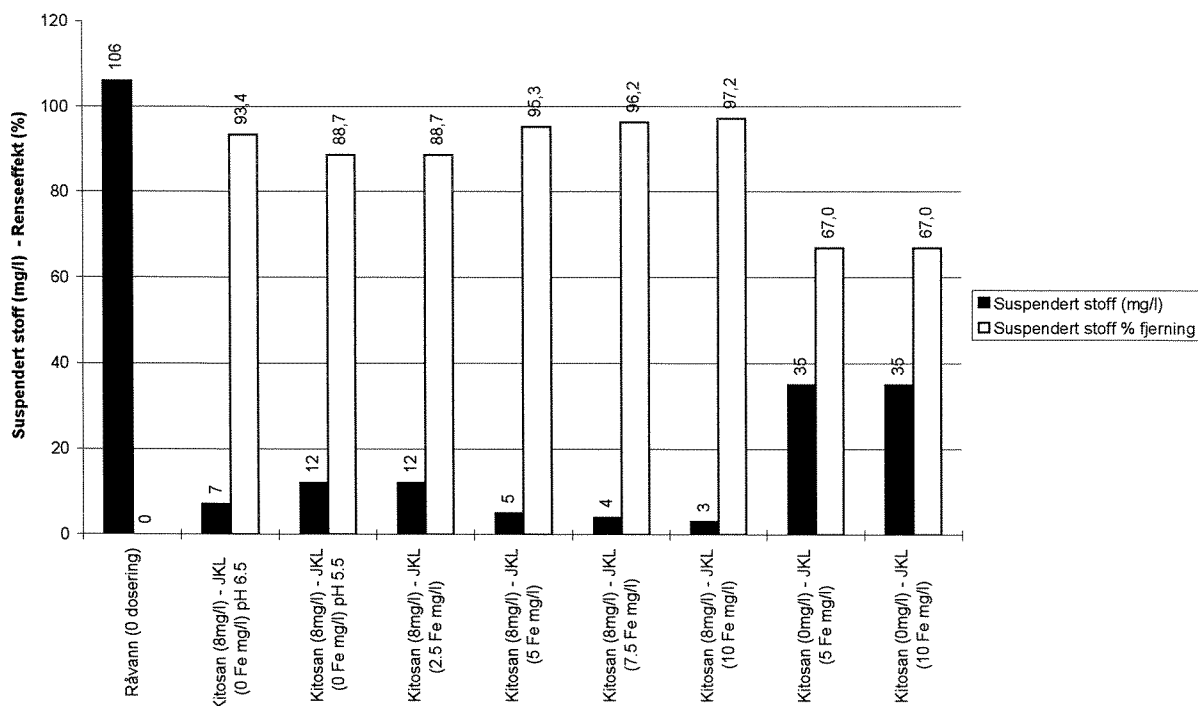
Kitosan fjerner moderat med fosfor fra konsentrert avløpsvann (50% fra råvann / 25% fra kontroll, målt som Tot-P).

Når 8 mg kitosan/doseres sammen med JKL bedres renseeffektene med hensyn til suspendert stoff, turbiditet og fosfor sammenliknet med bruk av JKL alene og i lave doser. Det er igjen interessant å merke at inndosering av 41.5 mg JKL/l sammen med 8 mg/l kitosan gir meget god renseeffekt med hensyn på orto-P (< 0.1 mg P/l). Tot-P konsentrasjoner på 0.5 mg/l ved dosering av 41.5 mg JKL/l sammen med 8 mg kitosan/l ligger noe høyere enn midlere rensekraft, men under tillatte maksimumsverdi på 0.6 mg P/l.

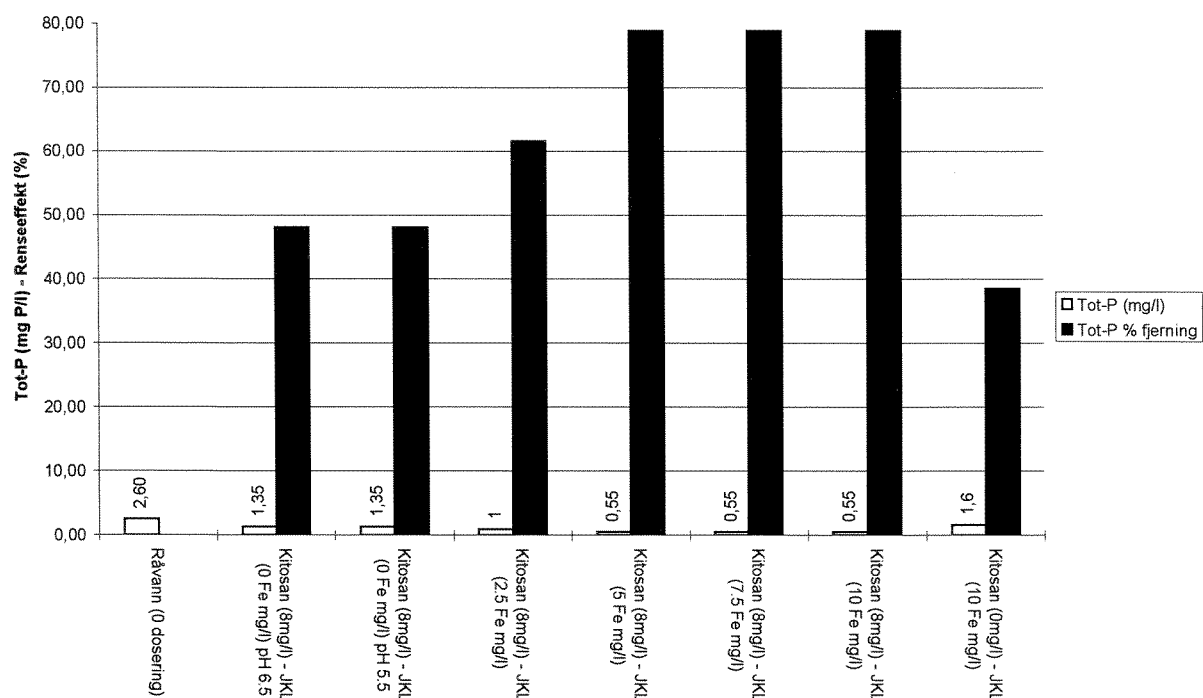
Kitosan (8 mg/l) gir sammen med 3 mg PAX14/l meget gode renseeffekter med hensyn på både suspendert stoff og turbiditet. Kitosan (8 mg/l) gir sammen med 41.5 mg PAX14/l god renseeffekt med hensyn på tot-P. Imidlertid ligger sluttkonsentrasjonen også her i overkant av kravet i utslippstillatelsen.



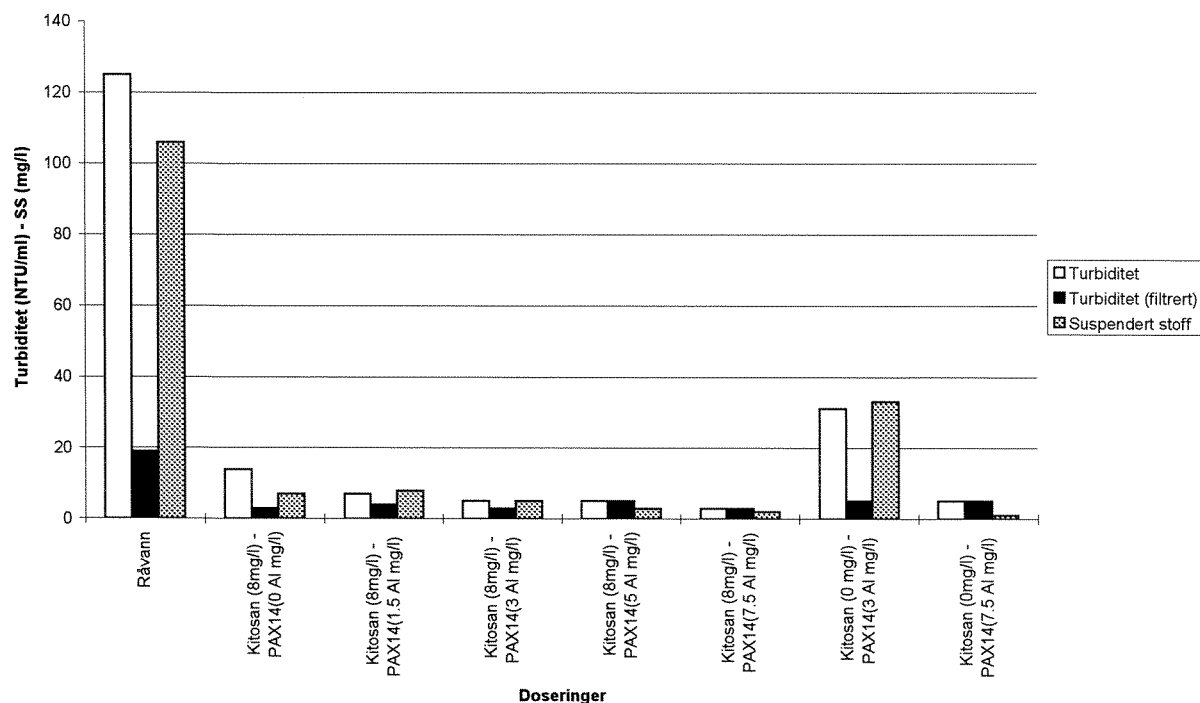
Figur 12. Prosentvis fjerning av turbiditet fra konsentrert råvann ved tilsetning av kitosan alene (8 mg/l), i kombinasjon med JKL (2.5, 5, 7.5 og 10 mg Fe/l), og JKL alene (5 og 10 mg Fe/l) ved pH 6. Prøven ble tatt ut 24/9 1997.



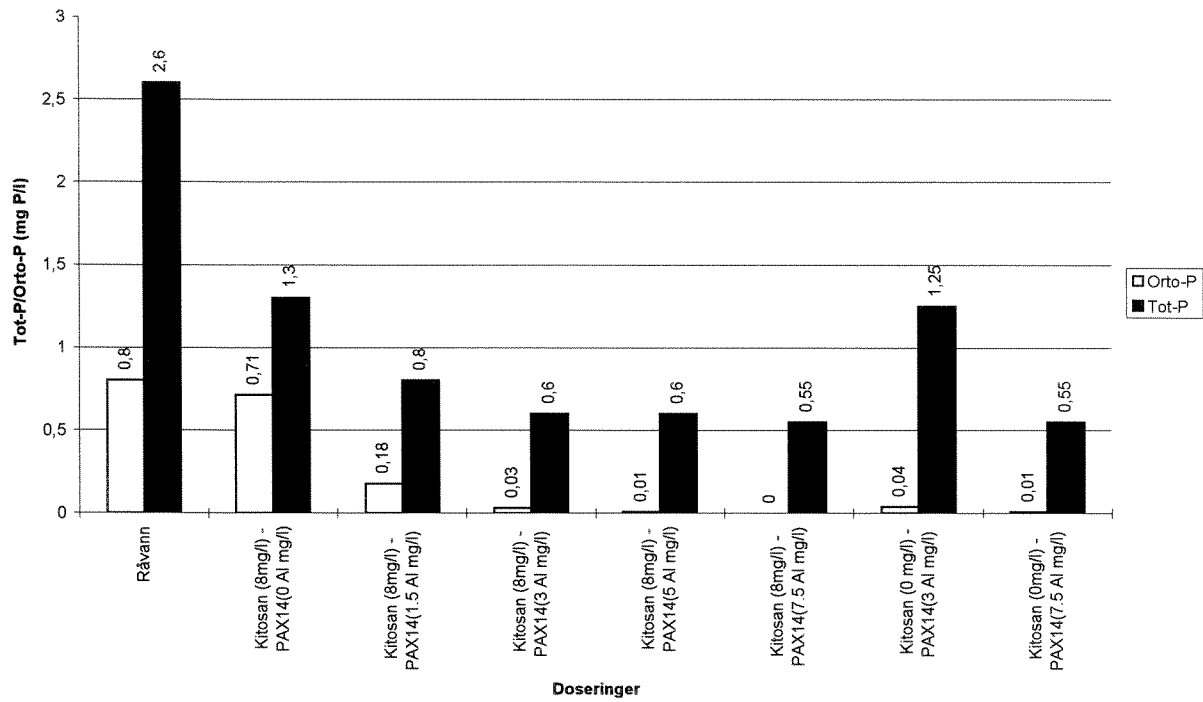
Figur 13. Konsentrasjonsnivåer for suspendert stoff og turbiditet i råvann, ved dosering av kitosan alene (8 mg/l), i kombinasjon med JKL (2.5, 5, 7.5 og 10 mg Fe/l), og JKL alene (5 og 10 mg Fe/l) ved pH 6. Prøven ble tatt ut 24/9 1997.



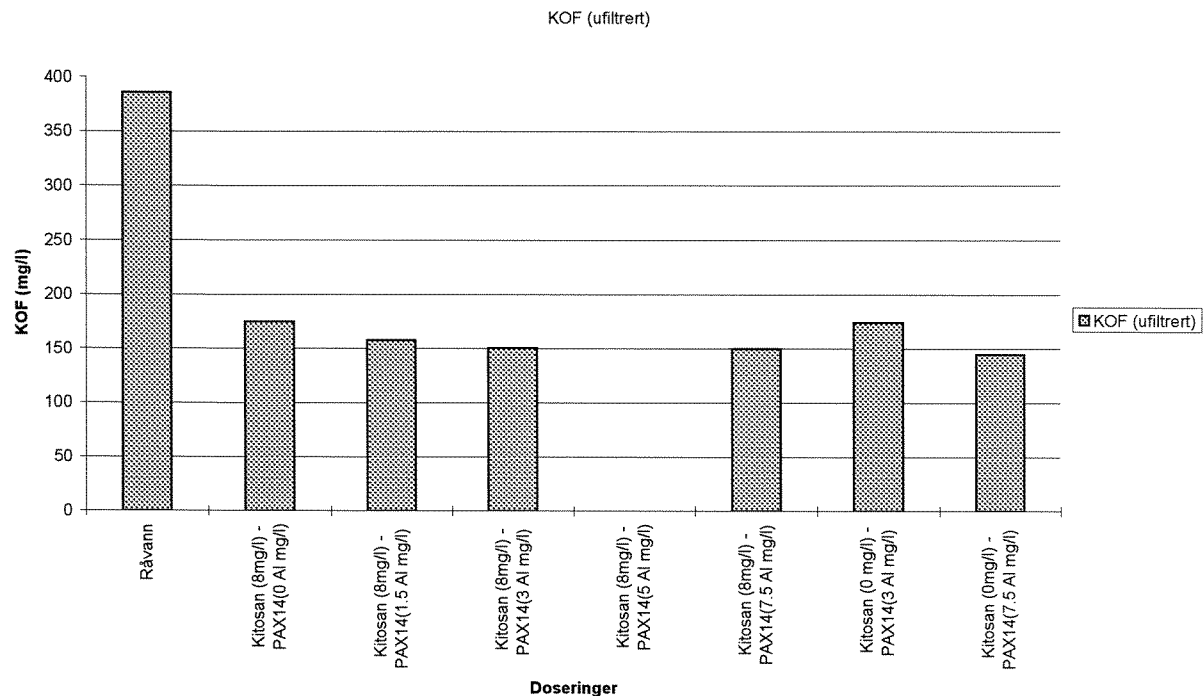
Figur 14. Konsentrasjonsnivåer for tot-P og orto-P i råvann, ved dosering av kitosan alene (8 mg/l), i kombinasjon med JKL (2.5, 5, 7.5 og 10 mg Fe/l), og JKL alene (5 og 10 mg Fe/l) ved pH 6. Prøven ble tatt ut 24/9 1997.



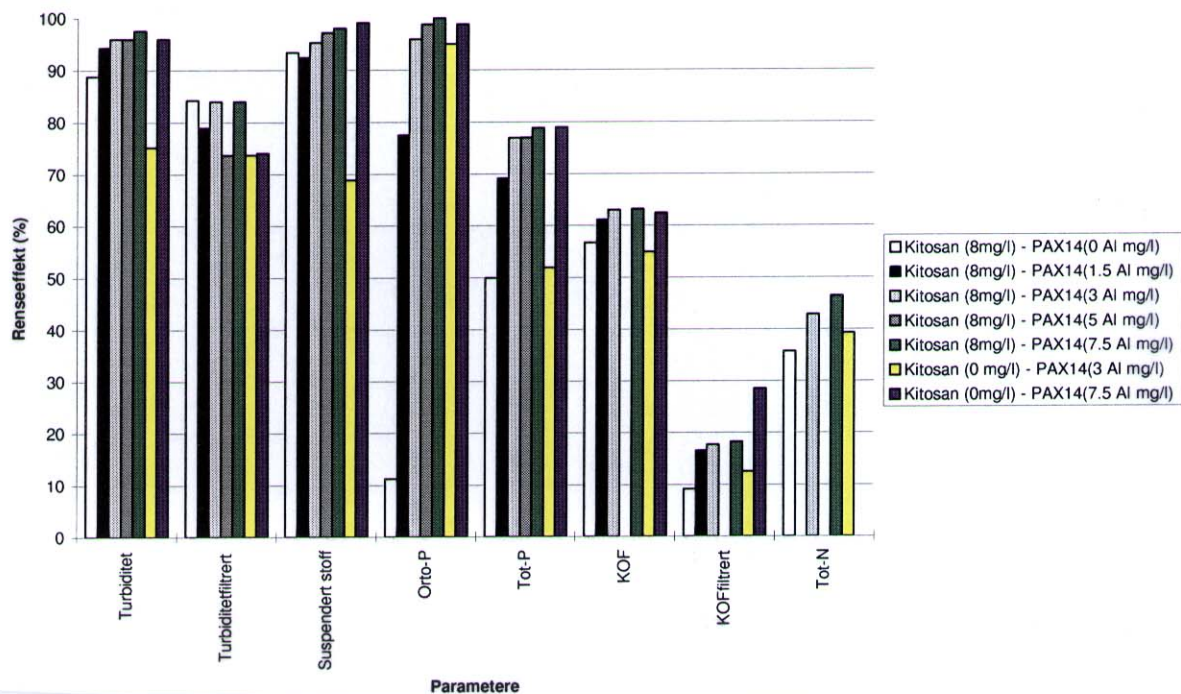
Figur 15. Konsentrasjonsnivåer for suspendert stoff og turbiditet i råvann, ved dosering av kitosan alene (8 mg/l), i kombinasjon med PAX14 (1.5, 3, 5 og 7.5 Al/l), og PAX14 alene (3 og 7.5 mg Al/l) ved pH 6.5. Prøven ble tatt ut 24/9 1997.



Figur 16. Konsentrasjonsnivåer for tot-P og orto-P i råvann, ved dosering av kitosan alene (8 mg/l), i kombinasjon med PAX14 (1.5, 3, 5 og 7.5 Al/l), og PAX14 alene (3 og 7.5 mg Al/l) ved pH 6.5. Prøven ble tatt ut 24/9 1997.



Figur 17. Konsentrasjonsnivåer for KOF i råvann, og ved dosering av kitosan alene (8 mg/l), i kombinasjon med PAX14 (1.5, 3, 5 og 7.5 Al/l), og PAX14 alene (3 og 7.5 mg Al/l) ved pH 6.5. Prøven ble tatt ut 24/9 1997.



Figur 18. Renseeffekter i prosent i forhold til råvannet ved tilsetning av kitosan alene (8 mg/l), i kombinasjon med PAX14 (1.5, 3, 5 og 7.5 mg Al/l), og PAX14 alene (3 og 7.5 mg Al/l) ved pH 6.5. Prøven ble tatt ut 24/9 1997.

5. Diskusjon

5.1 Beregninger av kjemikaliebehov og årskostnader

5.1.1 Kjemikaliebehov

Resultatene fra jartestene viser at ved å dosere kitosan i doser på 5 - 8 mg/l som eneste "fellingskjemikalium" oppnås tilfredsstillende rensresultatet med hensyn på partikulært stoff (SS / Turbiditet). Valgt konsentrasjon er avhengig av hvor konsentrert avløpsvannet inn på Saulekilen RA er.

Dersom utslippstillatelsen legges til grunn vil det imidlertid være behov for tilsetning av konvensjonelle fellingskjemikalier for å oppnå tilfredsstillende rensing med hensyn på fosfor (0.3 mg/l) og KOF (100 mg/l).

Resultatene fra jar-testene tilsier at ved inndosering av enten 41.5 mg/l JKL (gir 5 mg Fe/l) eller 41.5 mg/l PAX14 (gir ca. 3 mg Al/l) oppnås sluttkonsentrasjoner av fosfor på ca. 0.5 mg/l (Tot-P). Siden effekten ikke ble vesentlig (entydig) bedret ved økning av JKL opp til 100 mg/l og PAX14 opp til 83.5 mg/l benyttes førstnevnte i nedenfor stående beregninger.

Dersom en midlere hydraulisk belastning på 18 000 m³/døgn legges til grunn fremkommer et årlig kjemikaliebehov av tabell 8.

Tabell 8. Beregning av årlig kjemikaliebehov ved ulike fellingsstrategier. Vannmengde: 18000 m³/døgn

Strategi	Kjemikalium	Konsentrasjon (g/m ³)	Forbruk pr. år (tonn)
1) Kitosan og JKL eller PAX ₁₄	Kitosan	5	33
	Kitosan	8	52.5
	JKL	41.5	273
	PAX ₁₄	41.5	273
2) JKL eller PAX ₁₄ ¹	JKL	180	1183
	PAX 14	100	657

¹ Grunnlag for valgte konsentrasjoner er rapport fra Asplan VIAK Sør (1990) - Rapportutkast fra Interconsult (1997)

5.1.2 Årskostnader

Tabell 9 viser kjemikaliekostnader ved bruk av JKL eller PAX alene eller sammen med kitosan.

Tabell 9. Årlige kjemikaliekostnader ved ulike fellingsstrategier

Strategi	Pris (Kr / tonn)	Forbruk pr. år (tonn)	Årskostnad (kr x 1000)
1) Kitosan	?	33 - 52.5	?
JKL ¹	915	273	250
2) Kitosan	?	33 - 52.5	?
PAX14 ¹	2075	273	566
3) JKL ¹	915	1183	1082
4) PAX 14 ¹	2075	657	1363

¹ Priser fra Kemira (1997)

Kitosanproduktet fra Havmannen A/S er ikke priset. Kostnadsreduksjoner i størrelsesorden 800 000 - 830 000 kr gir imidlertid en indikasjon på hva som vil være en prisgrense. PAX14 har høy renhet (8% Al) og vil normalt benyttes ved behandling av drikkevann. Prisen for PAX21 (7.2 % Al) er til sammenlikning Kr. 1495.-

5.1.3 Slamproduksjon og besparelser i forbindelse med slam behandling

Asplan VIAK Sør (1992) estimerer spesifikk slamproduksjon i et sedimentasjonsanlegg til 90 g TS/pe x døgn ved inndosering av 180 g JKL/m³.

Dersom anlegget dimensjoneres til 37 500 pe (ex. Asplan VIAK Sør, 1992), vil årlig slamproduksjon ligge på drøyt 1230 tonn TS.

Utkast til rapport fra Interconsult (1997), anslår den årlige slamproduksjon (eksklusiv silgods) til 1820 tonn TS ved dosering av 250 g JKL/m³.

Dersom slammengden som tas ut i skivefilteret beregnes til 25% av total slammengde, vil slammengden fra fellingstrinnet utgjøre 1370 tonn TS.

Med utgangspunkt i ovenfor stående eksempler viser tabell 10 under noen eksempler på årlige slambehandlingskostnader, og mulige besparelser ved bruk av kitosan som hovedkoagulant.

Tabell 10. Årlige slambehandlingskostnader med og uten bruk av kitosan som fellingskjemikalium. Antatt reduksjon i slamproduksjon (TS) ved bruk av kitosan: 25% (pers. med. Helness, 1997). Behandlingskostnad for tonn TS; - må eventuelt korrigeres for TS 20%

Fellingsstrategi	Slam skivefilter (tonn TS)	Slam fellingsanlegg (tonn TS)	Behandlingskostnad lav (Kr/tonn)	Årskostnad lav (Kr x 1000)	Behandlingskostnad høy (Kr/tonn)	Årskostnad høy (Kr x 1000)
1) Kitosan JKL	450	1000	500	725	1000	1450
2) JKL	450	1370	500	910	1000	1820

Fettig og Ratnaweera (1988) har vist at ved bruk av organisk polymer som eneste "fellingskjemikalium" kan reduksjoner i slamproduksjon ligge på opp mot 90% (volum). Det er rimelig å anta at anslagene over som viser maksimale kostnadsbesparelser på i størrelsesorden kr. 185 000 - kr. 370 000 pr. år er konservative.

5.2 Andre momenter

5.2.1 Anleggsutforming og prosessstabilitet

Konvensjonelle fellingsanlegg dimensjoneres for overflatebelastninger på typisk 0,75 - 1,5 m/time ved bruk av uorganiske salter som fellingskjemikalier. Erfaringsmessig vil overflatebelastningen i perioder overskride dette med slamflukt og dårlig kvalitet i utløpsvannet som resultat. En vanlig årsak til disse overskridelsene er høy vannføring eller underdosering av koagulanter som igjen resulterer i lettere slamflokker. Typiske tiltak for å unngå slamflukt er å:

1. Øke dosering av fellingskjemikalier
2. Tilsette organiske hjelpekoagulanter

Kitosan alene eller i kombinasjon med uorganiske koagulanter eliminerer denne usikkerheten. Kitosan vil ved å være en langkjedet (høymolekylær) polymer styrke slamflokkene gjennom brobygging. Flokkene blir tyngre og sedimenterer raskere enn uten bruk av polymer. En tommelfingerregel foreslår en økning av overflatebelastningen med 100% ved bruk av kitosan. Resultater rapportert av Ødegaard et al. (1990) antyder imidlertid at potensialet er adskillig større (6 ganger økning). I VEAS er det dokumentert overflatebelastninger på opp til 7,5 m/time ved bruk av tilsetning av organisk polymer.

Konklusjonen blir dermed at bruk av kitosan vil danne grunnlag for å kunne dimensjonere et eventuelt renseanlegg for høye overflatebelastninger, noe som vil føre til reduserte investerings- og driftskostnader også på anleggsiden.

5.2.2 pH

Konvensjonelle koagulanter som JKL og PAX er avhengige av relativt snevre pH-områder for å fungere effektivt. Kvaliteten i avløpsvannet vil imidlertid ofte variere mye over døgnet, bla. med hensyn på pH.

En fordel med å benytte kitosan som eventuell hovedkoagulant er graden av toleranse med hensyn på krav til arbeids-pH.

Vår påstand er derfor at prosess-stabiliteten økes ved bruk av kitosan som hovedkoagulant.

6. Konklusjon

Ut fra resultatene fra 90 jartester av 4 avløpsvannskvaliteter (resultater fra 3 av disse er presentert under resultatdelen) innhentet fra Saulekilen RA (luftet sandfang) i perioden 23 august til 24 september 1997 kan følgende konklusjoner trekkes.

6.1 Kitosan som eneste fellingskjemikalium

- Kitosan har god renseeffekt med hensyn på suspendert stoff og turbiditet i doser på 5 til 8 mg/l
- Kitosan har moderat (ca. 60%) renseeffekt med hensyn på KOF når det korrigeres for eddiksyre (jfr. kapittel 4.1.3.). Sluttkonsentrasjoner på > 100 mg/l ved behandling av konsentrert avløpsvann er for høye i forhold til kravene i dagens utslippstillatelse
- Kitosan har moderat til dårlig renseeffekt med hensyn på fosfor (25-30% målt mot 0-prøvene fra jartestene og ca. 50 % målt mot fosforkonsentrasjonen i råvannet). Kravene i utslippstillatelsen på 0.3 mg P/l vil ikke møtes ved bruk av kitosan som eneste fellingskjemikalie

6.2 Optimale blandforhold mellom kitosan og JKL/PAX

- Ved bruk av 41.5 mg/l av enten JKL eller PAX14 i kombinasjon med kitosan, vil renseeffekten med hensyn til fosfor bedres betydelig (50 - 70 % målt mot 0-prøvene fra jartestene og 70 - 80% mot fosforkonsentrasjonen i råvannet). Sluttkonsentrasjoner på 0.5 - 0.6 mg P/l ligger høyere enn kravene i utslippstillatelsen. Renseeffekten ble ikke vesentlig bedret ved en begrenset økning av dosene av fellingskjemikalier
- Ved behandling av tynt avløpsvann (< 200 mg KOF/l) med JKL og Kitosan var sluttkonsentrasjonene med hensyn på KOF < 100 mg /l som er kravet i utslippstillatelsen
- Utslippskravene med hensyn på KOF (> 100 mg KOF/liter), ble imidlertid ikke nådd ved behandling av konsentrert avløpsvann
- Dosering av enten JKL eller PAX14 i doser på 41.5 mg/l sammen med kitosan (5 - 8 mg/l) gir det beste totale renseresultatet. Dosene er brukt i beregningene (jfr, kapittel 5) og anbefales brukt i eventuelle oppfølgingforsøk.

6.3 Kostnadsbesparelser

- Bruk av kitosan sammen med begrensede mengder metallsalt for rensing av avløpsvann gir reduksjoner i kostnader til tradisjonelle fellingskjemikalier og kostnader til slambehandling på grunn av forventede reduksjoner i slamproduksjonen
- En slamreduksjon på 25% (TS) gir årlige kostnadsbesparelser på fra 185 000.- til 370 000.-
- Besparelsene knyttet til redusert behov for fellingskjemikalier ligger på fra kr. 800 000 til kr. 830 000.-
- Årlige besparelser ved redusert behov for konvensjonelle fellingskjemikalier og redusert slamproduksjon anslås til mellom kr. 985 000.- og kr. 1 200 000.-. Det må imidlertid tas høyde for innkjøp av kitosan som pr. dato har ukjent pris

7. Videre fremdrift

Forsøkene ble gjennomført ved generelle betingelser for jartester. Det forventes at tilpasninger av betingelsene i stor skala vil resultere i kjemikaliebesparelser.

Dersom lavgradig kitosan er tilgjengelig innenfor konkurransedyktige priser, bør det gjennomføres forsøk i pilotskala der relevant(e) renseteknologi(er) testes med bruk av kitosan som hovedkoagulant, eventuelt i sammen med utvalgte hjelpekoagulanter.

Alternativt kan det gjennomføres forsøk der bedring i rensesgraden i dagens behandlingsopplegg etter inndosering av kitosan (f.eks direkte på ledningsnett) dokumenteres.

Forsøkene bør ha til hensikt og gi et grunnlag for å dimensjonere og kostnadsberegne et rensesystem som også inkluderer slambehandling.

8. Referanser

- Bough, W. A. (1975) Reduction of suspended solids in vegetative canning waste effluents by coagulation with chitosan. *J. Food Science.* 40: 297
- Bough, W.A. 1976. Chitosan - A polymer from seafood waste, for use in treatment of food processing wastes and activated sludge. *Proces. Biochemistry.* 11: 13
- Bough, W. A. og Landes, D. R. 1976. Recovery and nutritional evaluation of proteinaceous solids separated from whey by coagulation with chitosan. *J. Dairy Sci.* 59: 1874
- Castellanos-Perez, N. Maldona-Vega, M., Fernandez-Vilagomez, G. og Caffarel-Mendez, S. 1989. An evaluation of the coagulation ability of chitosans from different crustacean species and fungi. I Skjåk-Bræk et al., 1989.
- Fettig, J., Ratnaweera, H. og Ødegård, H. 1988. Koagulering av avløpsvann med syntetiske organiske polymerer. NTNF-rapport 76/88.
- Holland, C. R. og Shahbaz, M. I. A. 1985. The utilization of chitosan in mussel protein recovery. *Irish J. Food Sci. Technology.* 9: 107
- Interconsult (1997). Skisseprosjekt for Saulekilen RA (Utkast).
- Jacobsen, J, 1992. Vurdering av fellingskjemikalier for Saulekilen RA. Asplan Viak Sør (Rapport).
- Muzzarelli, R. A. A., Jeuniaux, C og Gooday, G. W. 1986. "Chitin in nature and technology". Plenum Press, New York.
- No, H. K. og Meyers, S. P. 1989. Crawfish chitosan as a coagulant in recovery of organic compounds from seafood processing streams. *J. Agric. Food Chem.* 37: 580
- Senstad, C. og Almås, K. A. 1986. Use of chitosan in the recovery of protein from shrimp processing wastewater. I Muzzarelli et al., 1986
- Skjåk- Bræk. G. Anthonsen, T. og Sandford, P. 1989. "Chitin and Chitosan". Elsevier Applied Science, London.
- Wu, A. C. M., Bough, W. A., Holmes, M. R. og Perkins, B. E. 1978. Influence of manufacturing variables on the characteristics and effectiveness of chitosan products. III. Coagulation of cheese whey solids. *Biotechnol. Bioeng.* 20: 1957

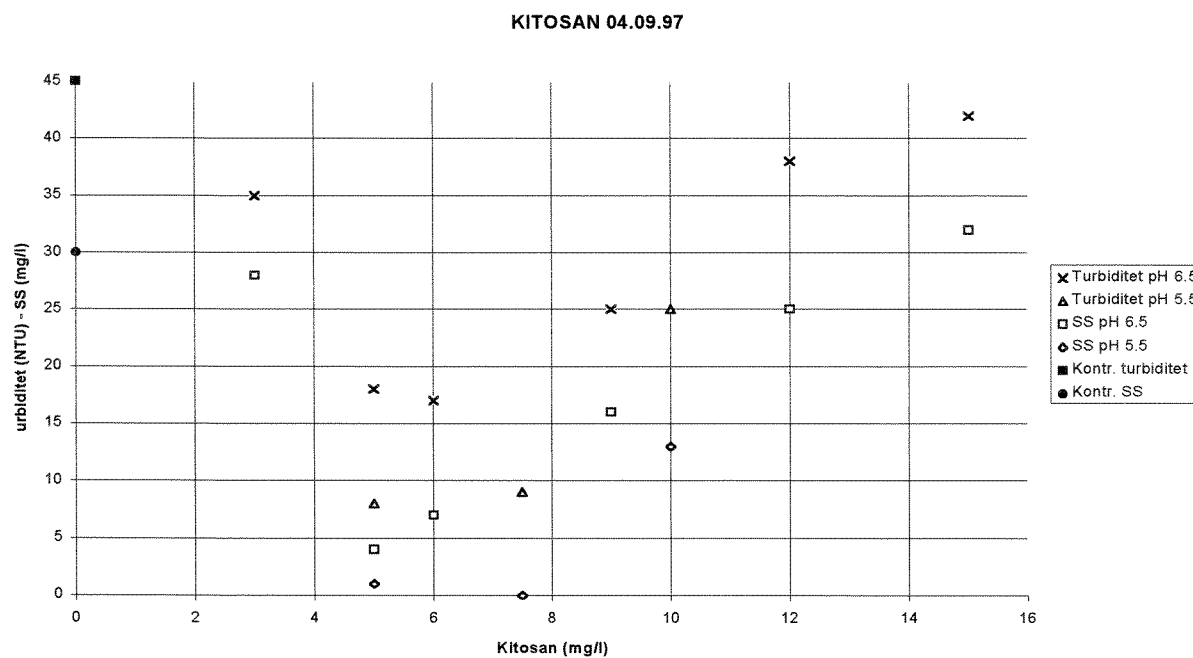
Vedlegg A. Presentasjon av resultater fra jarforsøk

9. Kitosan som eneste fellingskjemikalium

Resultatene som fremstilles i figurene 1 - 2 viser at inndosering av 5 mg kitosan/l gir maksimal reduksjon av turbiditet og suspendert stoff.

Resultatene viser her at pH spiller en moderat rolle i området pH 4.8 - 6.5. Reduksjonen i turbiditet synes å øke noe med avtagende pH-verdier, mens effekten m.h.p. suspendert stoff er best ved pH rundt 5.5.

Et viktig resultat er imidlertid at det oppnås god "renseeffekt" også ved pH 6.5, som igjen tilsier lavere behov for inndosering av syre i avløpsvannet.



Figur 19. Inndosering av ulike konsentrasjoner lavgradig kitosan ved pH 5.5 og pH 6.5. Effekt på turbiditet og SS

Høyeste renseeffekter oppnådd i jar-test gjennomført 4.9.97 gjengis under.

Renseeffektene er beregnet i forhold til kontroll (jar-test uten dosering), som erfaringsmessig fjerner mye av SS og turbiditet i vannet.

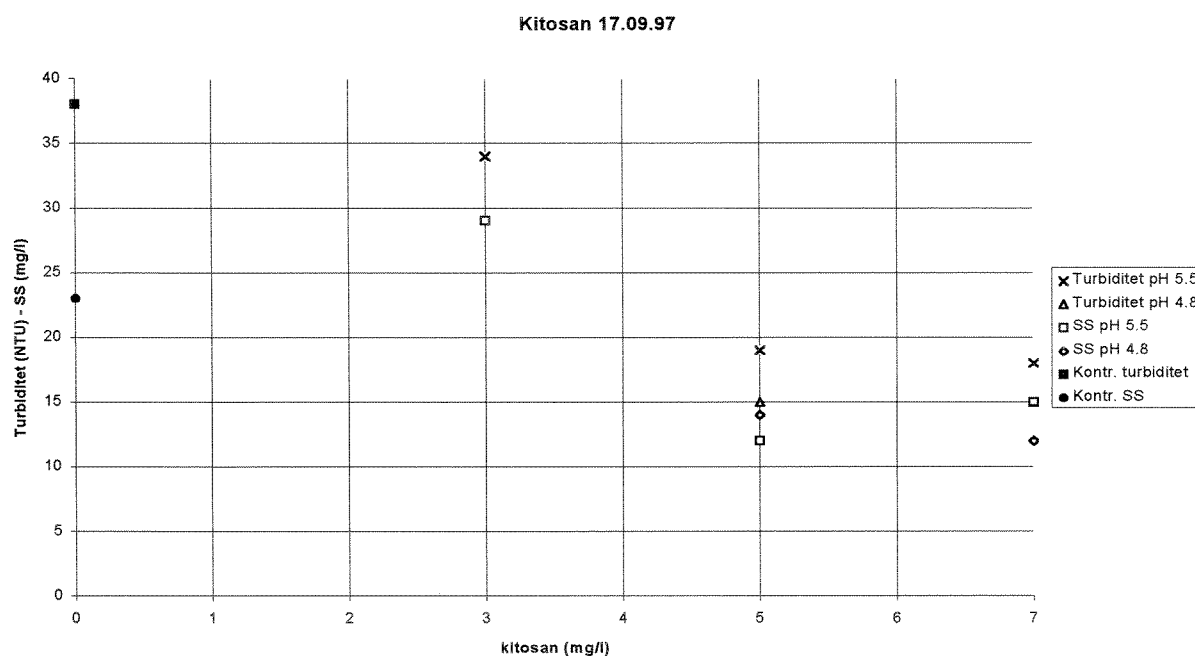
- Turbiditet: 82% (pH 5.5) - 64% (pH 6.5)
- SS: 100% (pH 5.5) - 87% (pH 6.5)¹

¹ Det bemerkes at 5 mg kitosan/l gir << 10 mg SS/l i vannfasen

pH effekten i området 5.5 til 6.5 synes å være marginal, spesielt med hensyn på reduksjon i suspendert stoff. En kitosankonsentrasjon av aktuell kvalitet i området 5 mg/l synes å gi best effekt.

I AVS-rapporten er det kun JKL behandling i doser > 150 g JKL/m³ som gir samme "utløpskonsentrasjoner", < 10 mg SS/l, som i jar-testene beskrevet i figur 1.

Det anmerkes at pH ikke ble justert i AVS-forsøkene.



Figur 20. Inn dosering av ulike konsentrasjoner lavgradig kitosan ved pH 4.8 og pH 6.5. Effekt på turbiditet og SS

Resultatene presentert i figur 2 dokumenterer trendene fra forsøket gjennomført 4. september, men konsentrasjoner av suspendert stoff i klarfasen er her > 10 mg SS/l.

pH effekten er marginal.

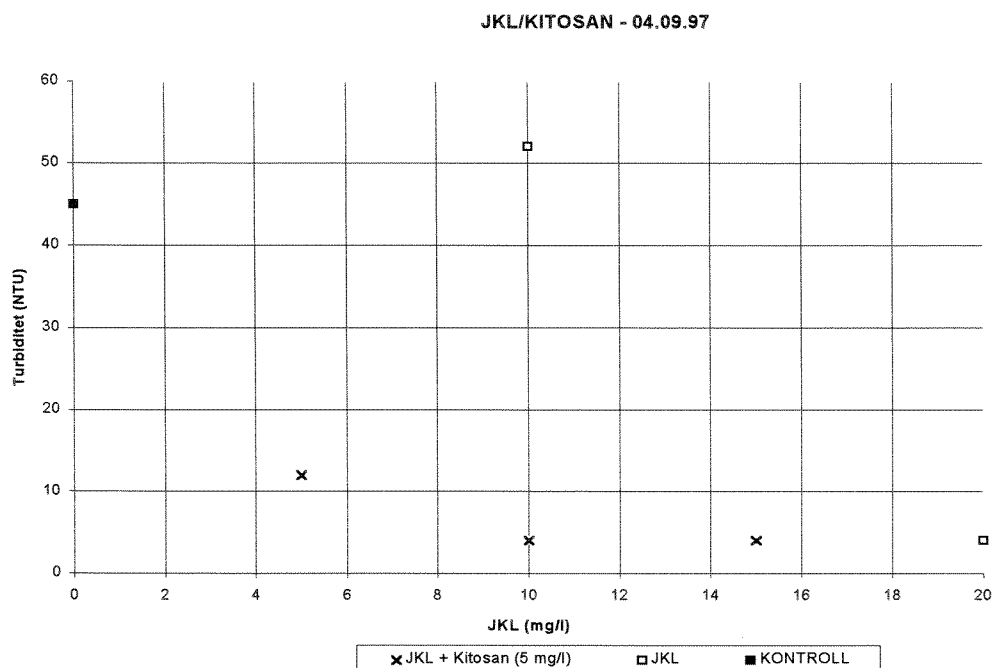
En sluttkonsentrasjon på 5 mg/l synes å være et optimalt valg ved behandling av tynt avløpsvann inn på Saulekilen RA.

Høyeste renseeffekter, i forhold til kontroll, oppnådd i jar-test gjennomført 17.9.97 var:

- Turbiditet: 61% (pH 4.8) - 53% (pH 6.5)
- SS: 48% (pH 4.8) - 48% (pH 6.5)

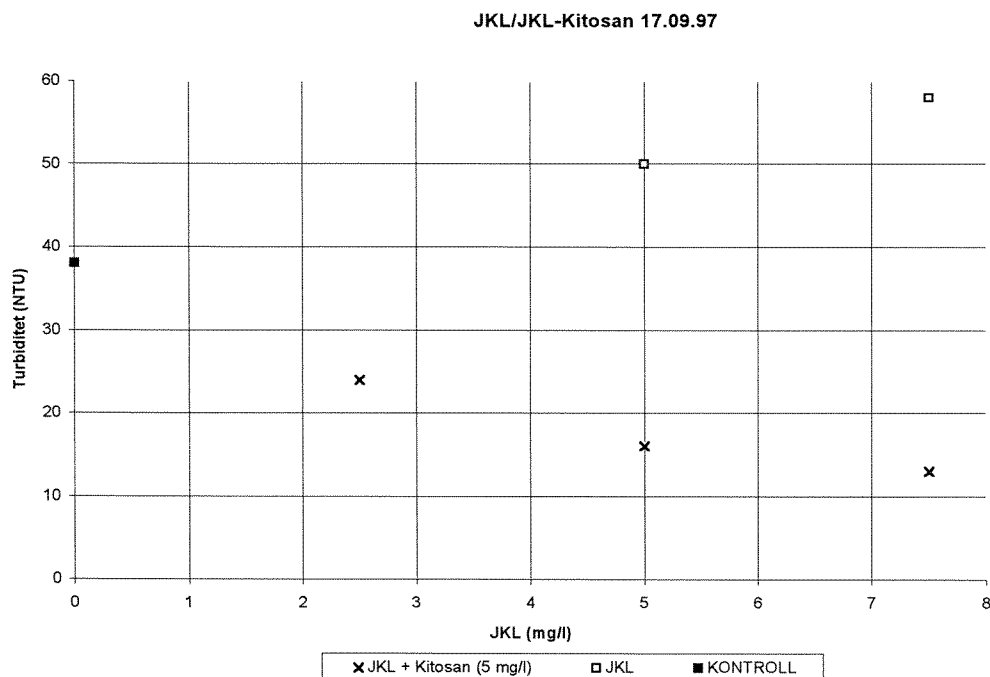
9.1 Kitosan og JKL

Basert på resultatene fra forsøk med ren kitosan fra Havmannen A/S (jfr. figurene 1 og 2), ble en fast doseringskonsentrasjon på 5 mg/l valgt ved jar-testing av kombinasjoner med JKL eller PAX14.

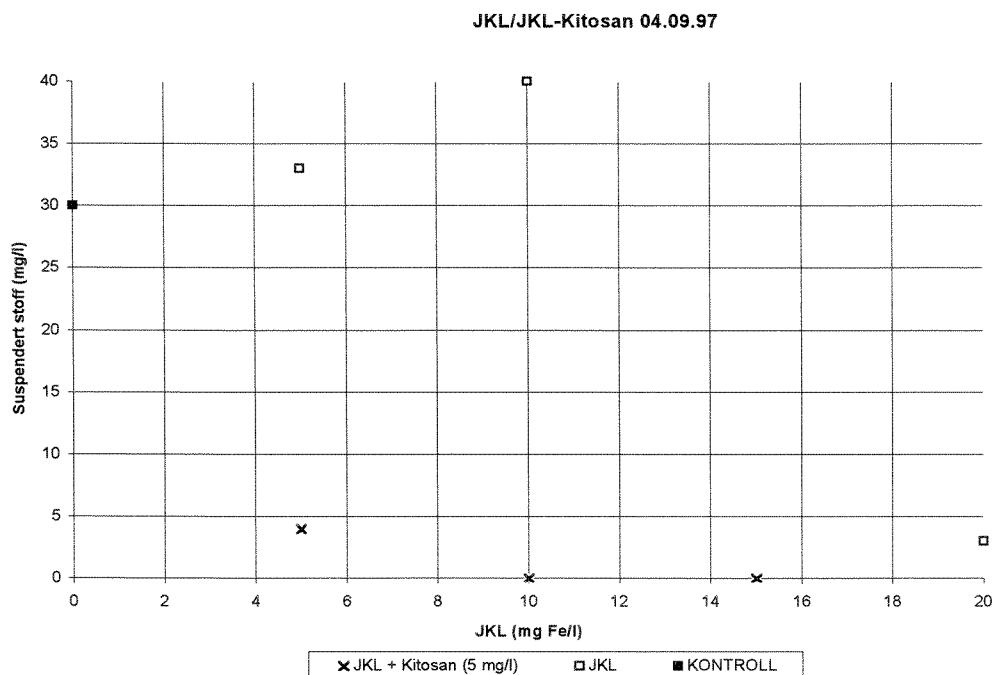


Figur 21. Inn dosering av ulike konsentrasjoner JKL alene eller i kombinasjon med kitosan (5 mg/l) ved pH 6. Effekt på turbiditet.

Figur 3 og 4 (under) viser at tilsetning av JKL ved lave konsentrasjoner gir økning i turbiditet i forhold til kontrollprøven, mens 20 mg Fe/l gir god felling. Tilsetning av kitosan (5 mg/l) øker "renseeffekten" radikalt, men resultatene gir ikke grunnlag for å hevde at kombinasjonen gir bedre effekt enn kitosan alene (jfr. figur 1 og 2).

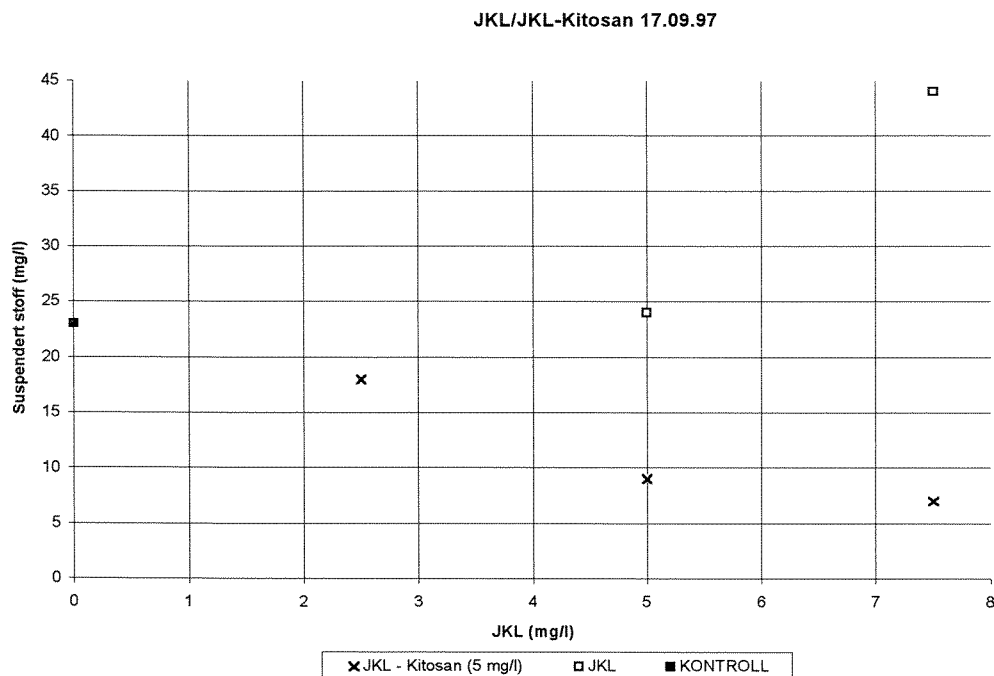


Figur 22. Inn dosering av ulike konsentrasjoner JKL alene eller i kombinasjon med kitosan (5 mg/l) ved pH 5. Effekt på turbiditet.

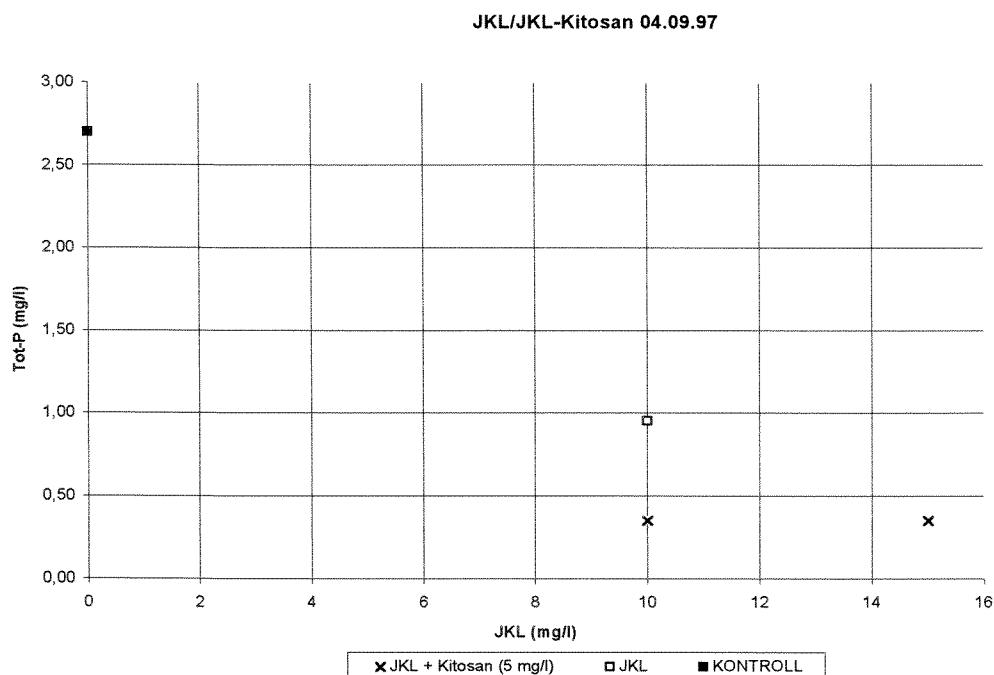


Figur 23. Inn dosering av ulike konsentrasjoner JKL alene eller i kombinasjon med kitosan (5 mg/l) ved pH 6. Effekt på suspendert stoff.

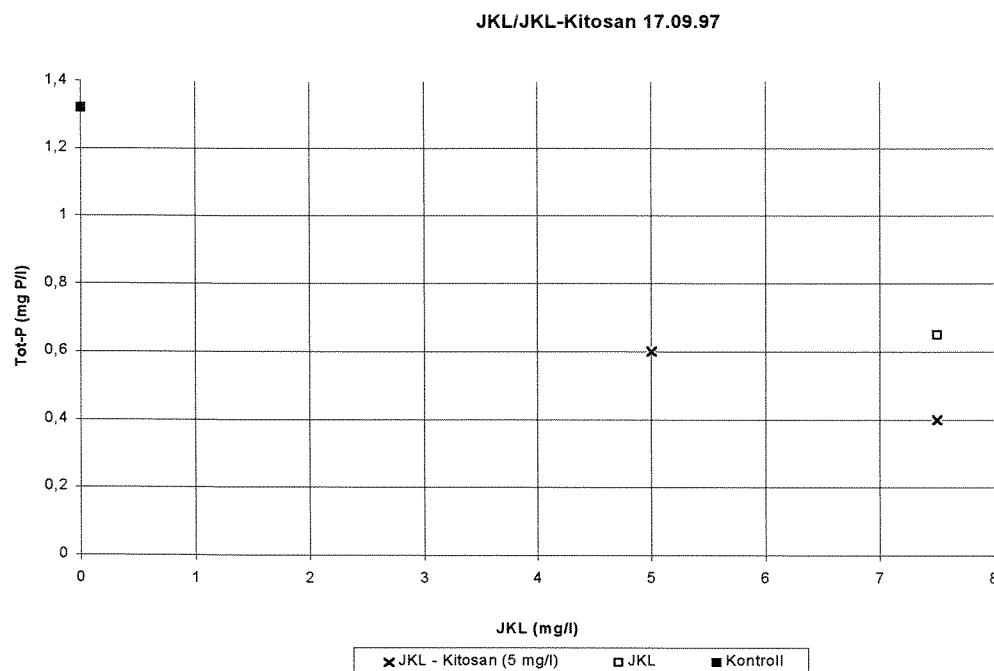
Figur 5 og 6 (under) viser at inn dosering av kitosan gir kraftig forbedring av effekten av JKL ved doser < 20 mg Fe/l. Med 5 mg/l kitosan og tilsvarende dose JKL lå SS verdiene under 10 mg/l i begge avløpsprøvene.



Figur 24. Inn dosering av ulike konsentrasjoner JKL alene eller i kombinasjon med Kitosan (5 mg/l) ved pH 5. Effekt på suspendert stoff.



Figur 25. Inn dosering av ulike konsentrasjoner JKL alene eller i kombinasjon med kitosan (5 mg/l) ved pH 6. Effekt på Tot-P.

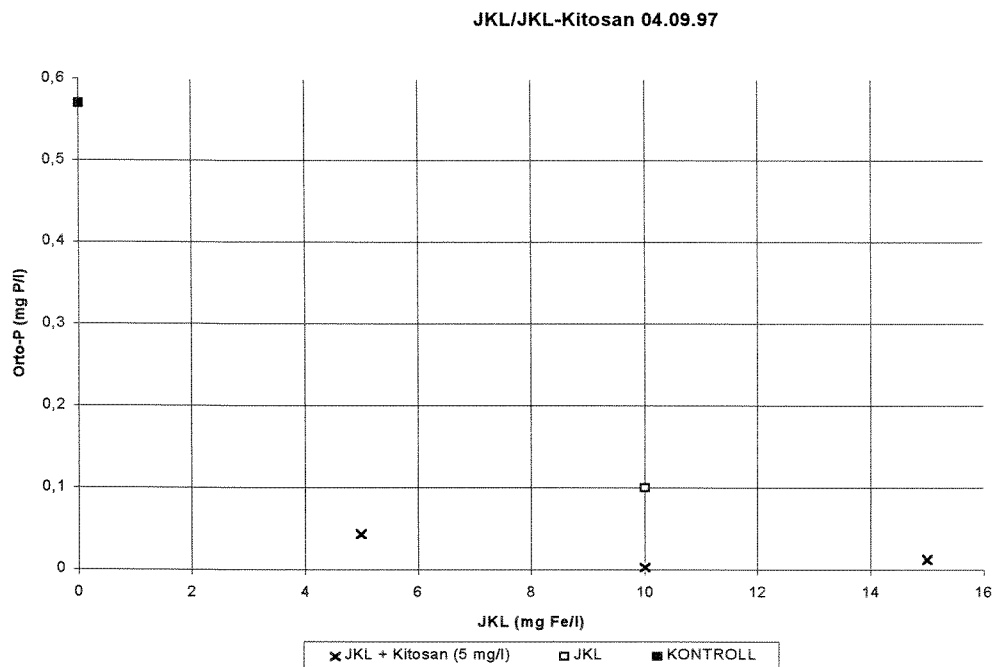


Figur 26. Inn dosering av ulike konsentrasjoner JKL alene eller i kombinasjon med kitosan (5 mg/l) ved pH 5. Effekt på Tot-P.

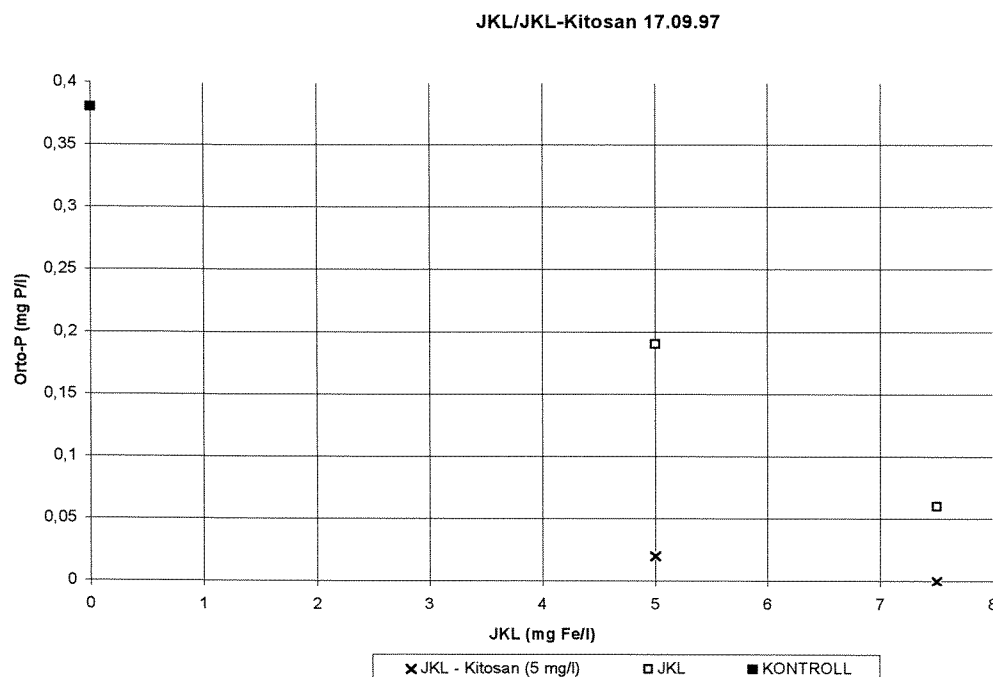
Figurene 7 og 8 viser at inn dosering av 5 mg/l kitosan synes å gi en vesentlig bedre renseeffekt av JKL målt som nedgang i tot-P i vannfasen.

JKL-konsentrasjoner på 41.5 og 83 mg/l, tilsvarende 5-10 mg Fe/l gir sammen med kitosan (5 mg/l) < 0.6 mg P/l i klarvannsfasen; i 3 av 4 prøver er Tot-P konsentrasjonen < 0.5 mg P/l.

Resultatene for JKL som eneste koaguleringskjemikalium samsvarer for øvrig rimelig med resultatene presentert i AVS-rapport.



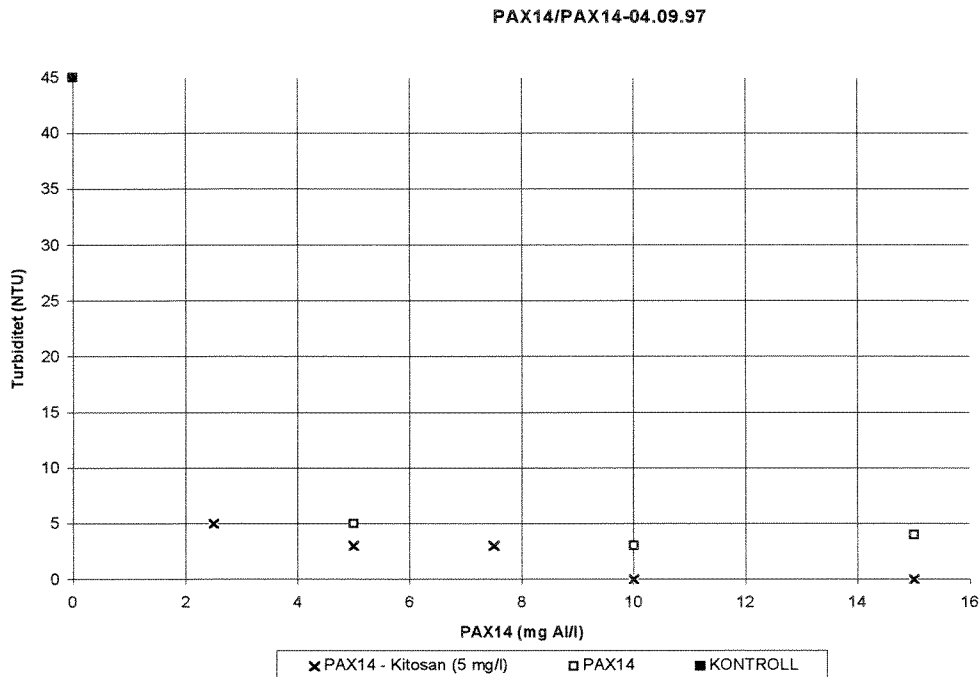
Figur 27. Inndosering av ulike konsentrasjoner JKL alene eller i kombinasjon med kitosan (5 mg/l) ved pH 6. Effekt på Ortho-P.



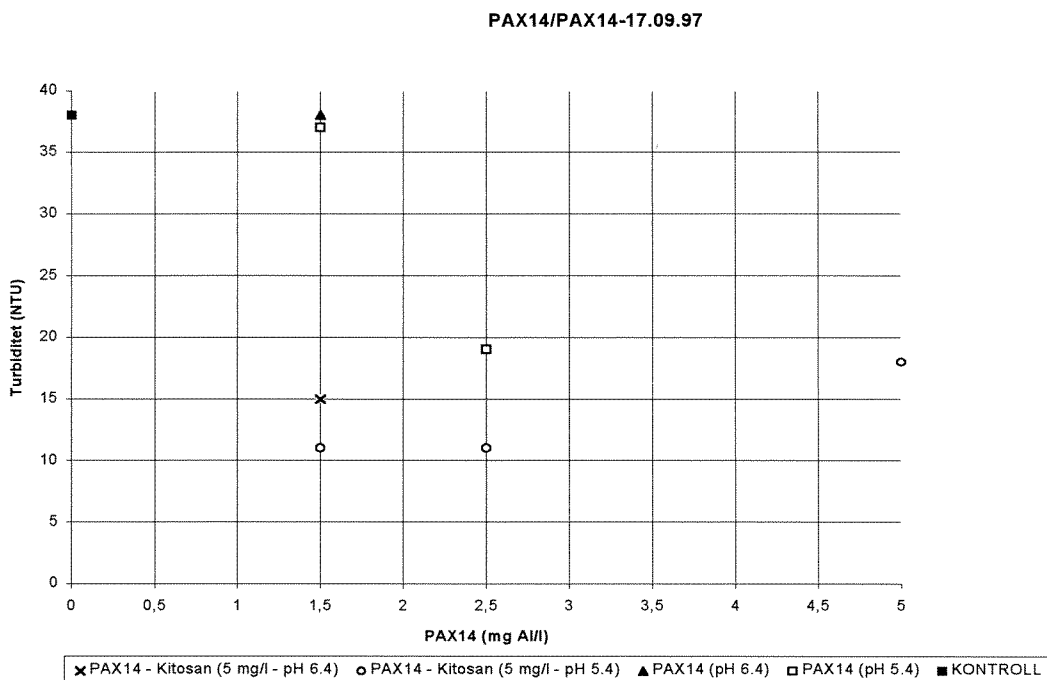
Figur 28. Inndosering av ulike konsentrasjoner JKL alene eller i kombinasjon med kitosan (5 mg/l) ved pH 5. Effekt på Ortho-P.

JKL-doser ned til 5 mg Fe/l (ca. 41.5 g JKL / m³) er sammen med 5 mg/l kitosan tilstrekkelig for å oppnå utløpskonsentrasjoner på < 0.1 mg orto-P/l.

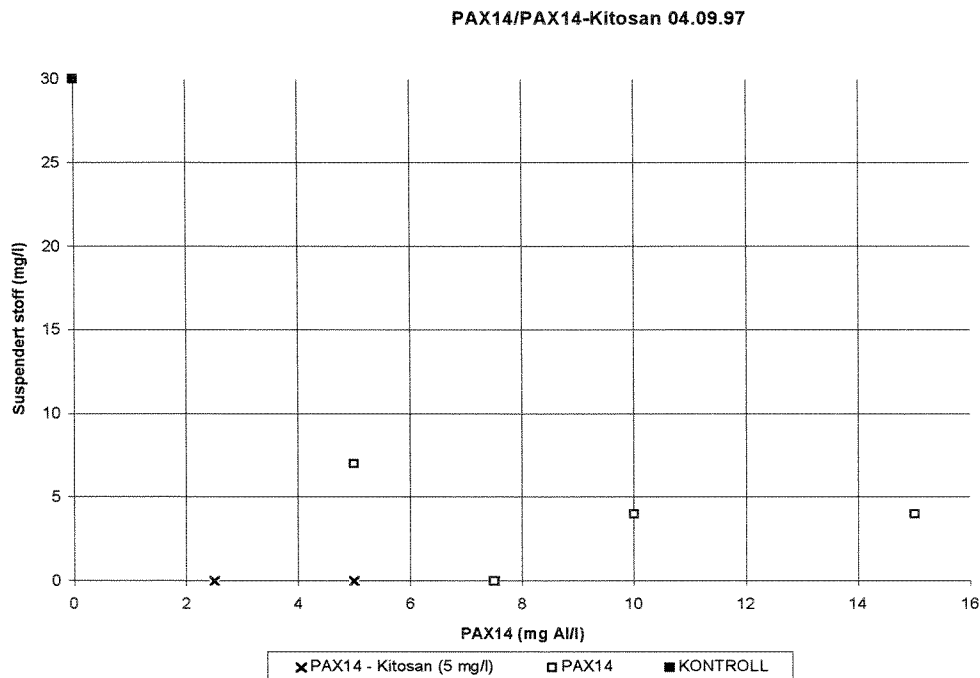
9.2 Kitosan og PAX14



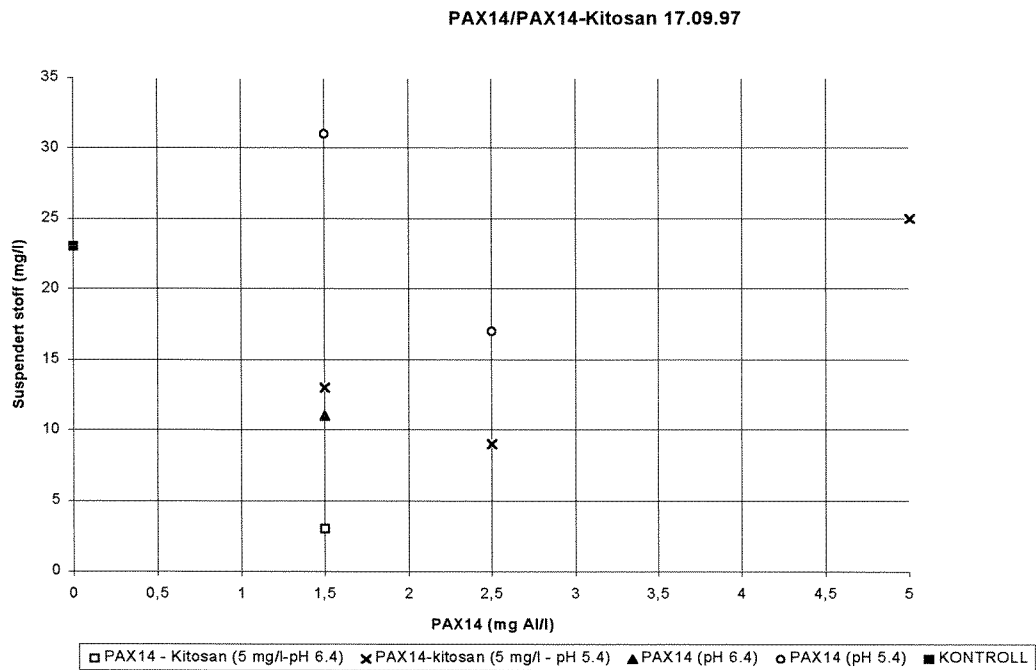
Figur 29. Inn dosering av ulike konsentrasjoner PAX14 alene eller i kombinasjon med kitosan (5 mg/l) ved pH 6.5. Effekt på turbiditet.



Figur 30. Inn dosering av ulike konsentrasjoner PAX14 alene eller i kombinasjon med kitosan (5 mg/l). Effekt på turbiditet.

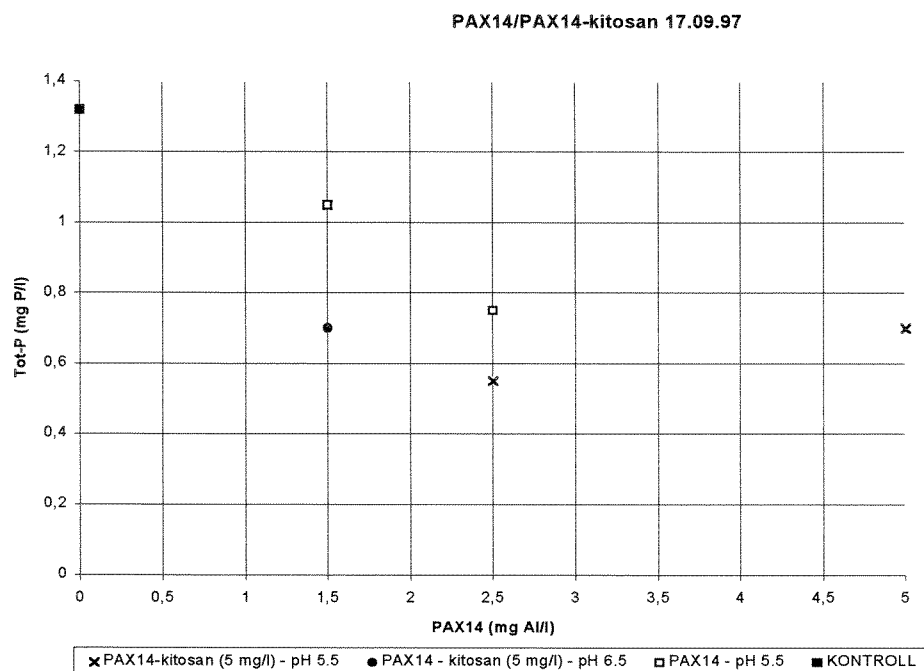


Figur 31. Inndosering av ulike konsentrasjoner PAX14 alene eller i kombinasjon med kitosan (5 mg/l) ved pH 6.5. Effekt på suspendert stoff.

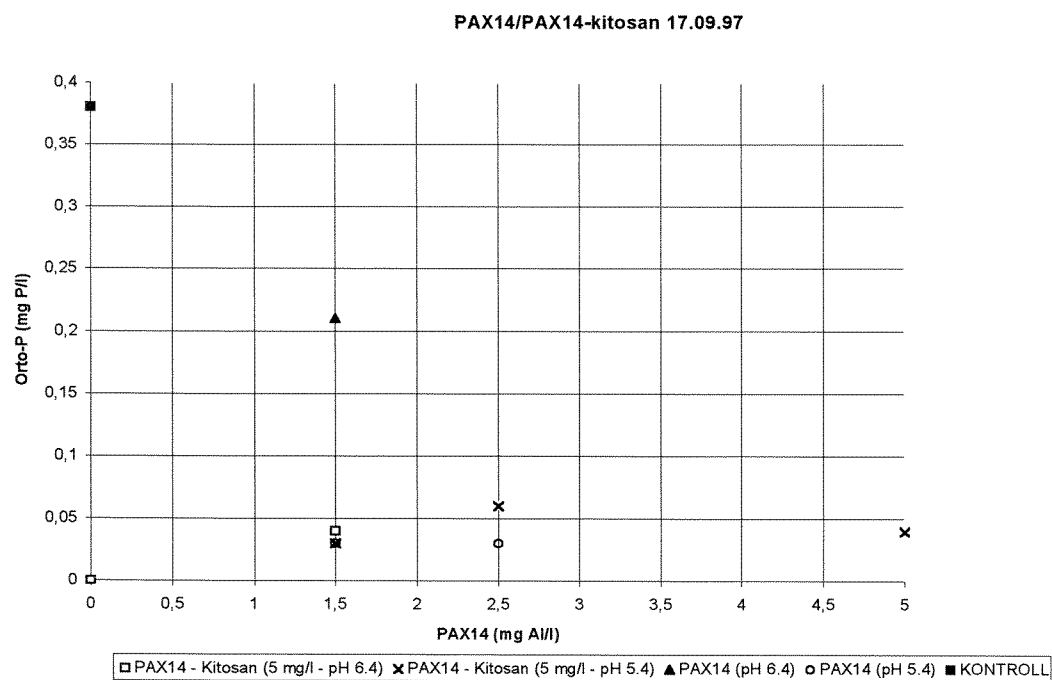


Figur 32. Inndosering av ulike konsentrasjoner PAX14 alene eller i kombinasjon med kitosan (5 mg/l). Effekt på suspendert stoff.

Figurene 12 - 14 viser at PAX14 alene er et effektivt koaguleringsmiddel målt med hensyn på nedgang i turbiditet og suspendert stoff i klarvannsfasen. Blandinger mellom PAX14 og kitosan gir bedre effekt enn kitosan alene.



Figur 33. Inn dosering av ulike konsentrasjoner PAX14 alene eller i kombinasjon med kitosan (5 mg/l). Effekt på tot-P.



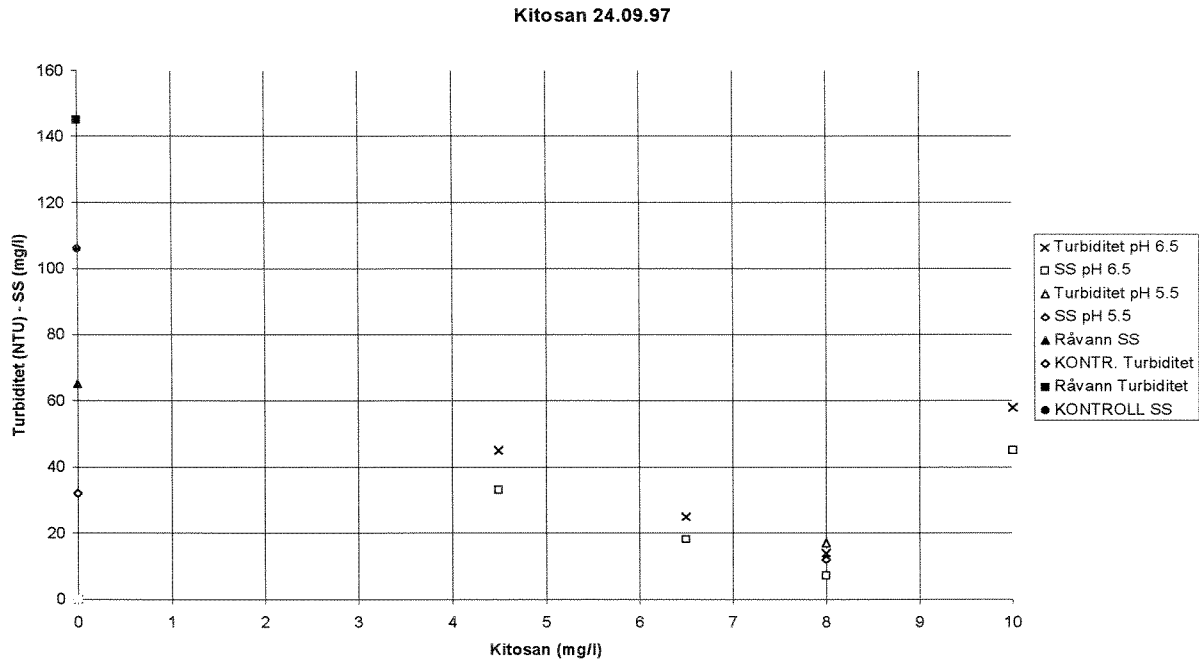
Figur 34. Inn dosering av ulike konsentrasjoner PAX14 alene eller i kombinasjon med kitosan (5 mg/l). Effekt på ortofosfat.

For orto-P er en interessant observasjon at ved pH 6.5 vil inndosering av PAX14 som hjelpekoagulant helt ned til 1.5 mg Al/l gi meget god effekt; - 0,04 mg Orto-P i klarvannsfasen. Det bemerkes imidlertid at Tot-P konsentrasjonen på 0,7 mg P/l ligger noe over "grenseverdien" på 0,5 mg/l (jfr. AVS, 1992).

At konsentrasjonen av Tot-P er høyere enn orto-P skyldes dårlige sedimenteringsegenskaper. Fnokker som ikke sedimenterer vil gi utslag i Tot-P og KOF_{uf} .

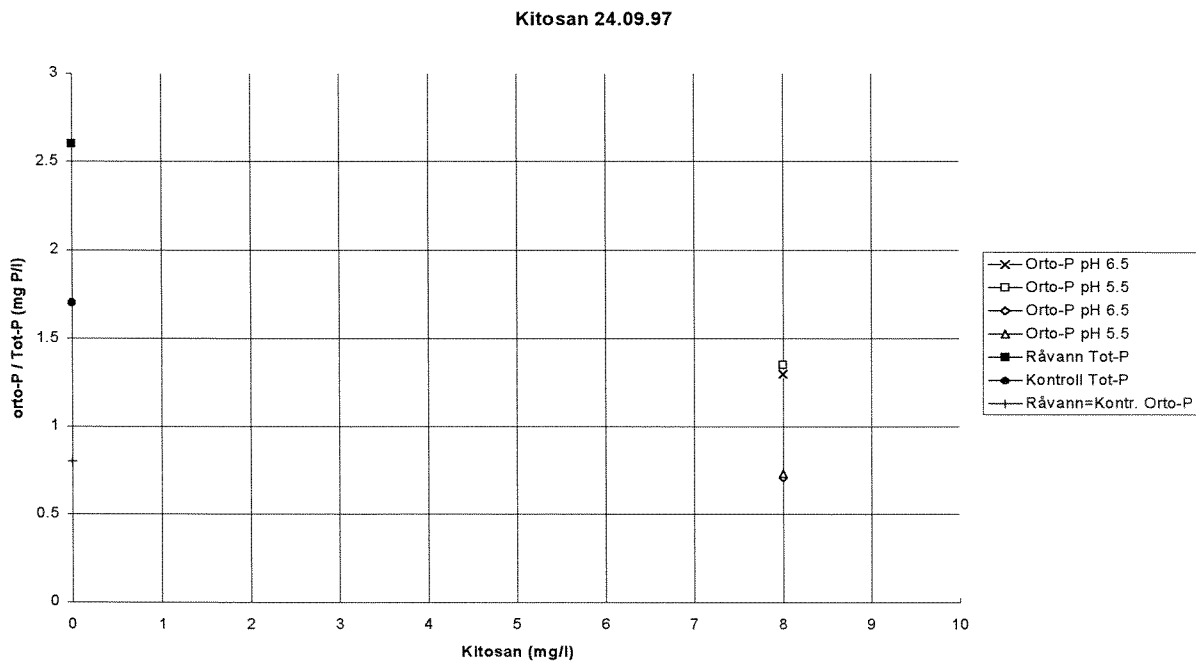
Figur 16 antyder for øvrig at lave konsentrasjoner av PAX 14 fjerner orto-P relativt effektivt ved lav pH (5.4). Dette er overraskende og kan ha sin årsak i analysefeil.

9.3 Forsøk med konsentrert avløpsvann



Figur 35. Inndosering av ulike konsentrasjoner lavgradig kitosan ved pH 5.5 og pH 6.5. Effekt på turbiditet og SS.

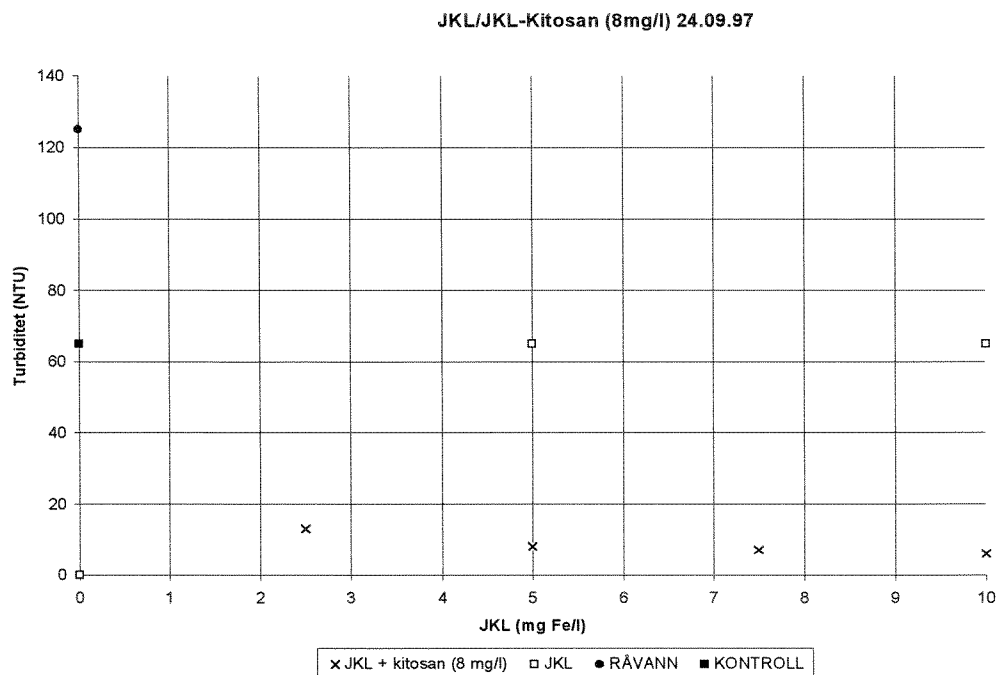
Verdiene for turbiditet og SS i figur 17 viser at optimal doseringsmengde for kitosan ligger rundt 8 mg/l for en konsentrert avløpsvannkvalitet inn på Saulekilen RA.



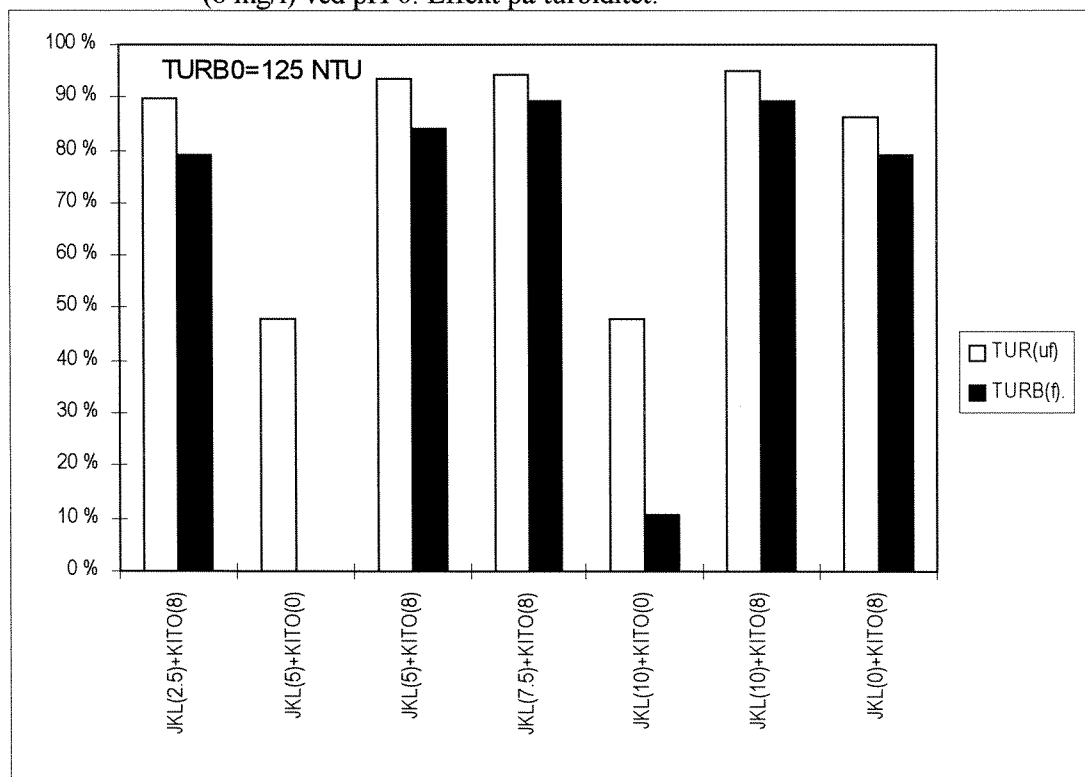
Figur 36. Inndosering av ulike konsentrasjoner lavgradig kitosan ved pH 5.5 og pH 6.5. Effekt på Tot-P og Orto-P

Som forventet ble det kun observert en ubetydelig reduksjon i orto-P og tot-P mellom kontroll og 8 mg/l kitosandosering. Imidlertid ble en betydelig andel tot-P fjernet i jar-testen uten dosering (kontroll).

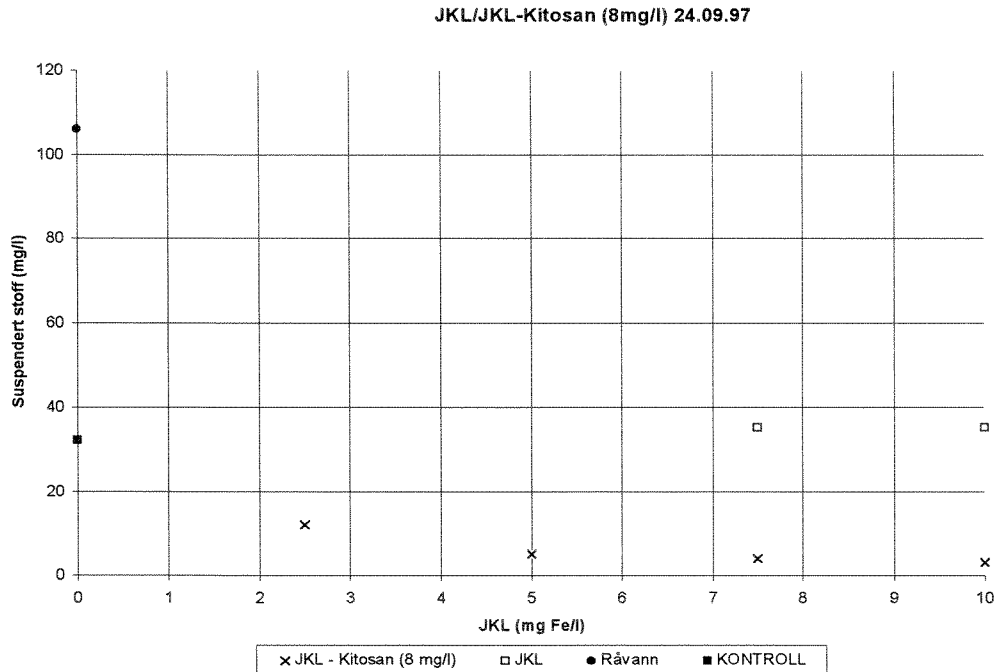
9.3.1 JKL og Kitosan



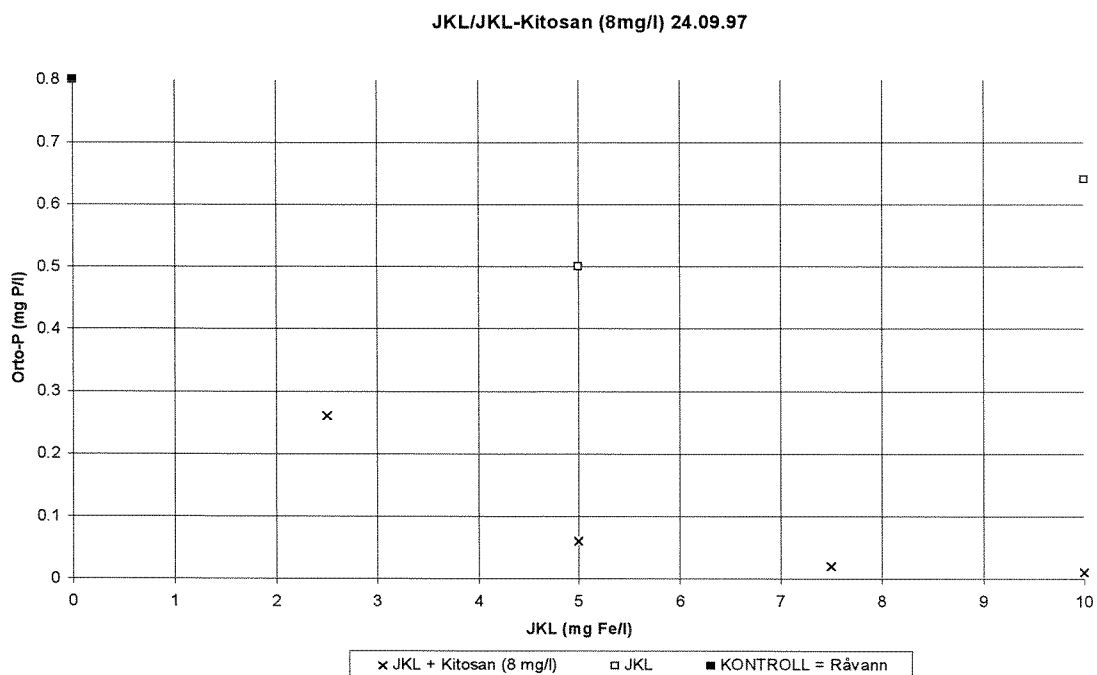
Figur 37. Inn dosering av ulike konsentrasjoner JKL alene eller i kombinasjon med kitosan (8 mg/l) ved pH 6. Effekt på turbiditet.



Figur 38. Renseeffekt med hensyn på turbiditet (ufiltrert og filtrert) ved dosering av kitosan eller JKL alene eller dosering av ulike konsentrasjoner JKL i blanding med 8 mg kitosan/l. eller sammen med ulike konsentrasjoner av JKL. Effekten måles mot konsentrasjonen i råvann.

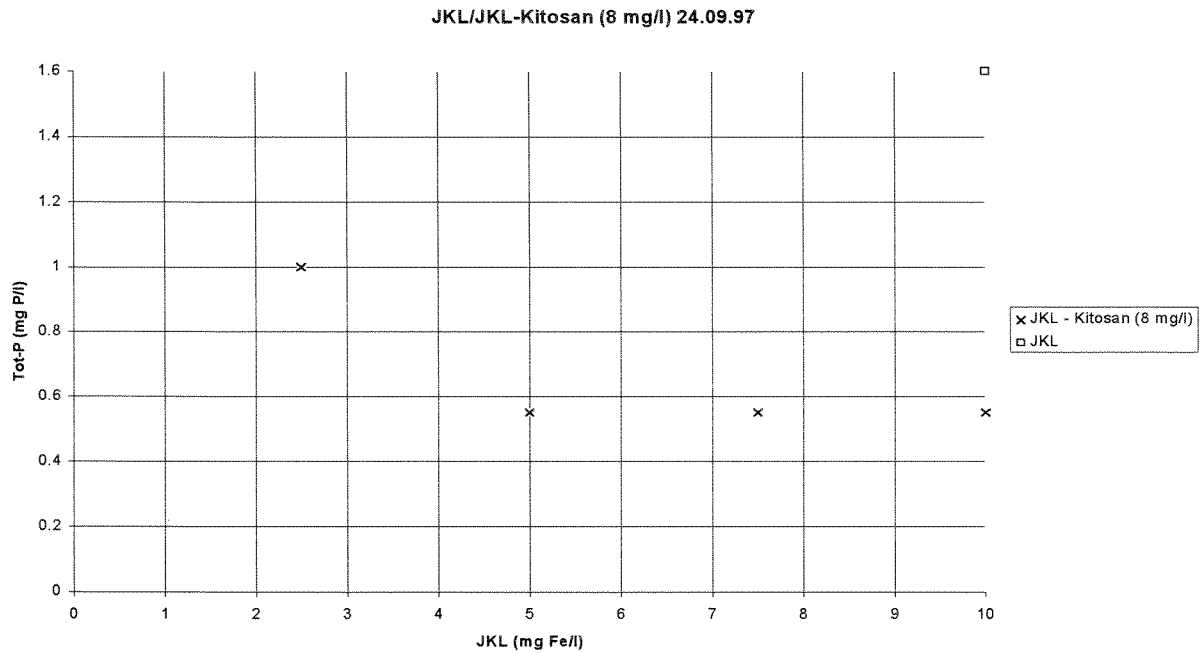


Figur 39. Inndosering av ulike konsentrasjoner JKL alene eller i kombinasjon med kitosan (8 mg/l) ved pH 6. Effekt på suspendert stoff.



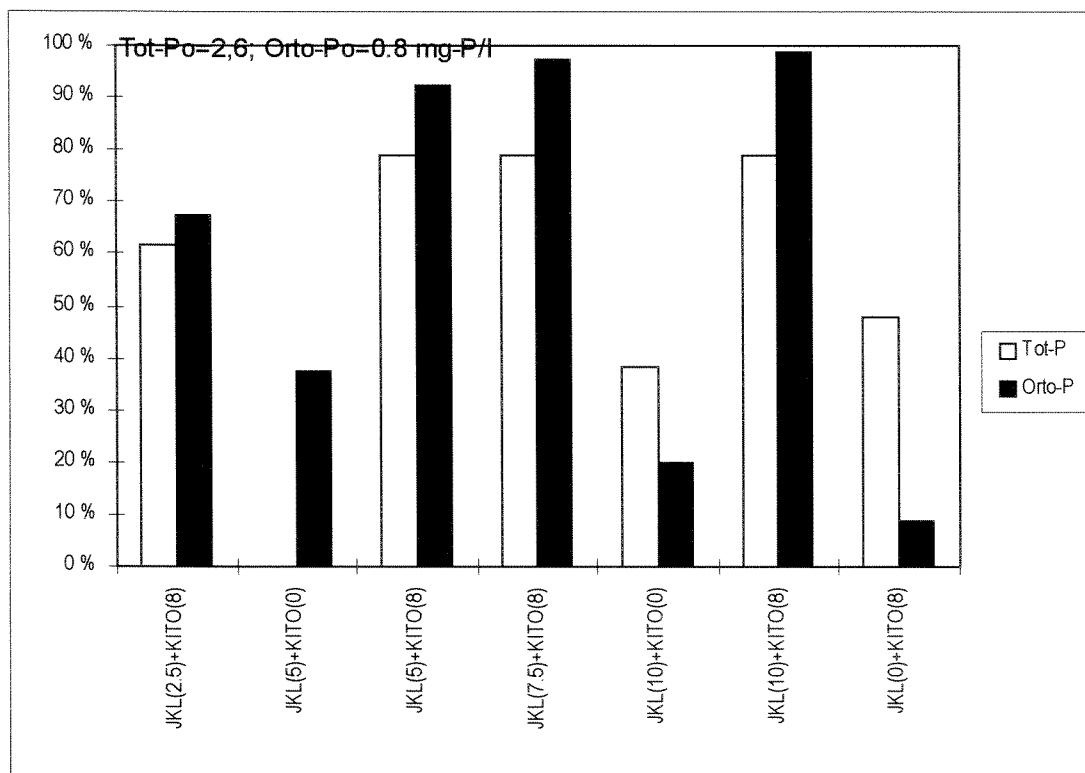
Figur 40. Inndosering av ulike konsentrasjoner JKL alene eller i kombinasjon med kitosan

(8 mg/l) ved pH 6. Effekt på Orto-P.



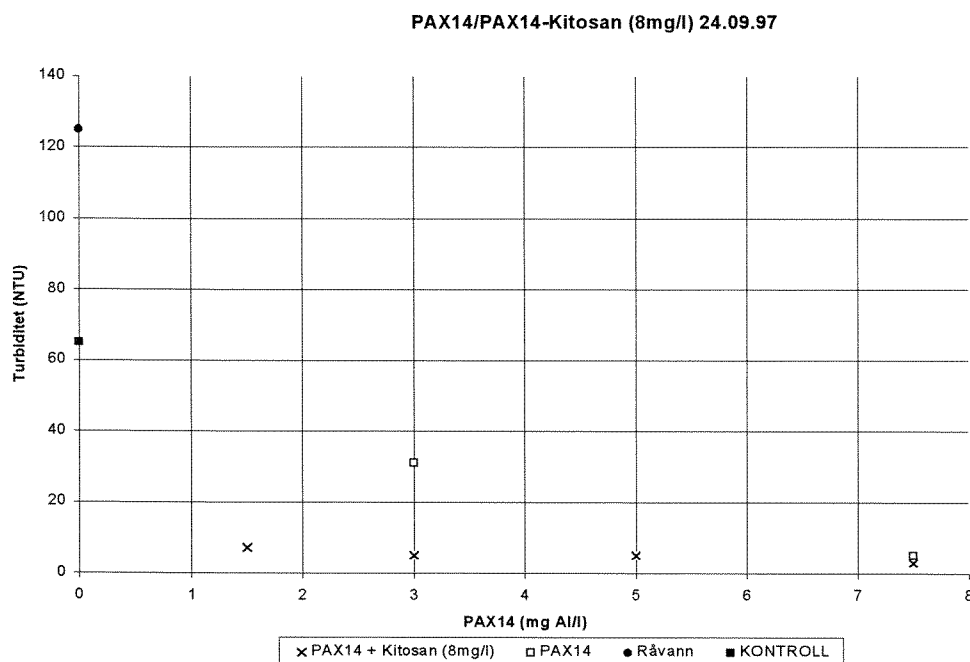
Figur 41. Inn dosering av ulike konsentrasjoner JKL alene eller i kombinasjon med kitosan (8 mg/l) ved pH 6. Effekt på Tot-P.

Figurene 21, 22 og 23 viser samme tendens som for tynt avløpsvann, kombinasjoner JKL/kitosan fjerner betydelig mer SS, orto-P og tot-P enn JKL alene. Renseeffektene med hensyn på orto-P og Tot-P er vist i figur 24. Det er spesielt interessant at den løste P-fraksjonen (orto-P) fjernes ved lave JKL-doseringer i kombinasjon med kitosan. Hverken JKL alene i relativt lave konsentrasjoner eller kitosan (alene) fjerner fosfor effektivt. Resultatene dokumenterer at innblandinger av lave doser JKL som hjelpekoagulant er en mulig løsning for å fjerne fosfor og samtidig gi redusert slamproduksjon.

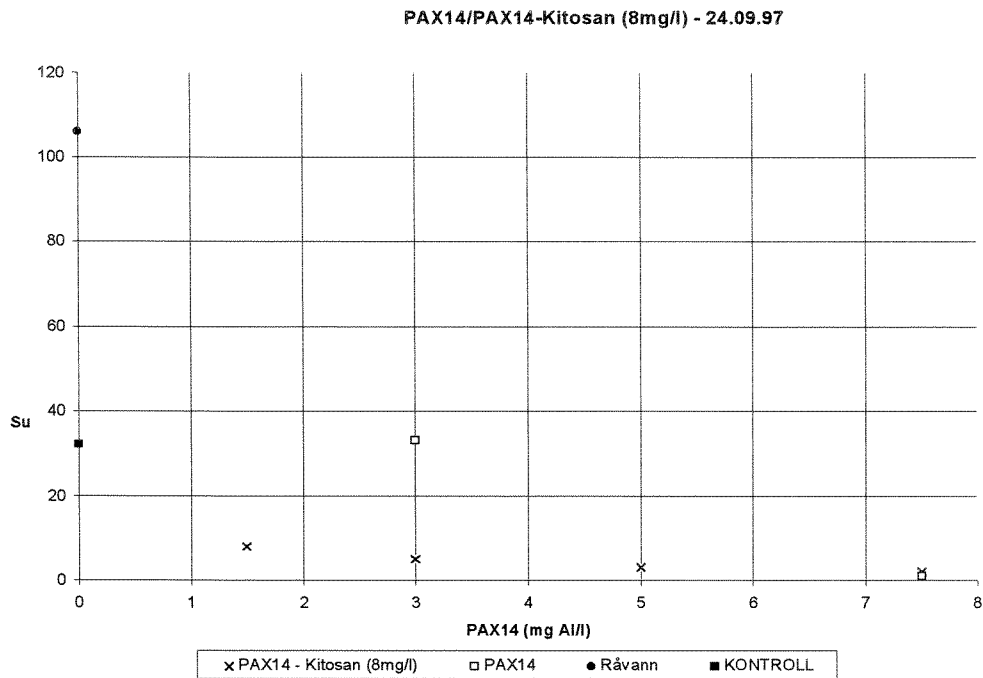


Figur 42. Renseffekt med hensyn på orto-P og Tot-P ved dosering av kitosan og JKL alene eller ved dosering av ulike konsentrasjoner JKL sammen med fast konsentrasjon kitosan (8 mg/l). Effekten måles mot konsentrasjoner i råvann.

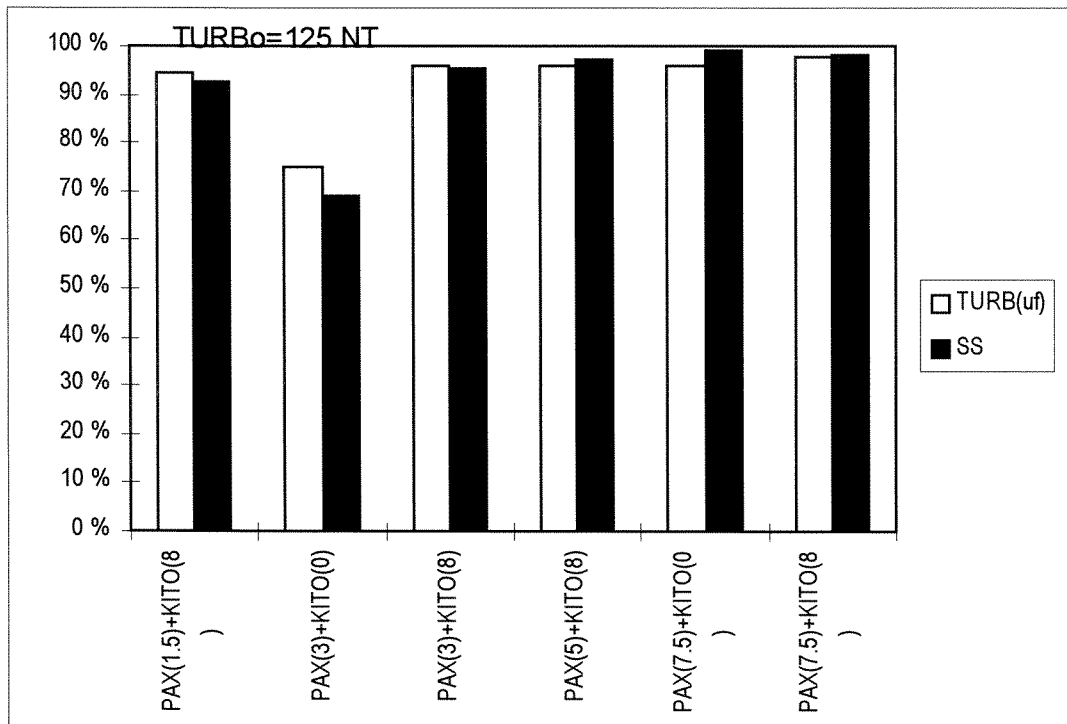
9.3.2 PAX14 og Kitosan



Figur 43. Inndosering av ulike konsentrasjoner PAX14 alene eller i kombinasjon med kitosan (8 mg/l) ved pH 6.5. Effekt på turbiditet.

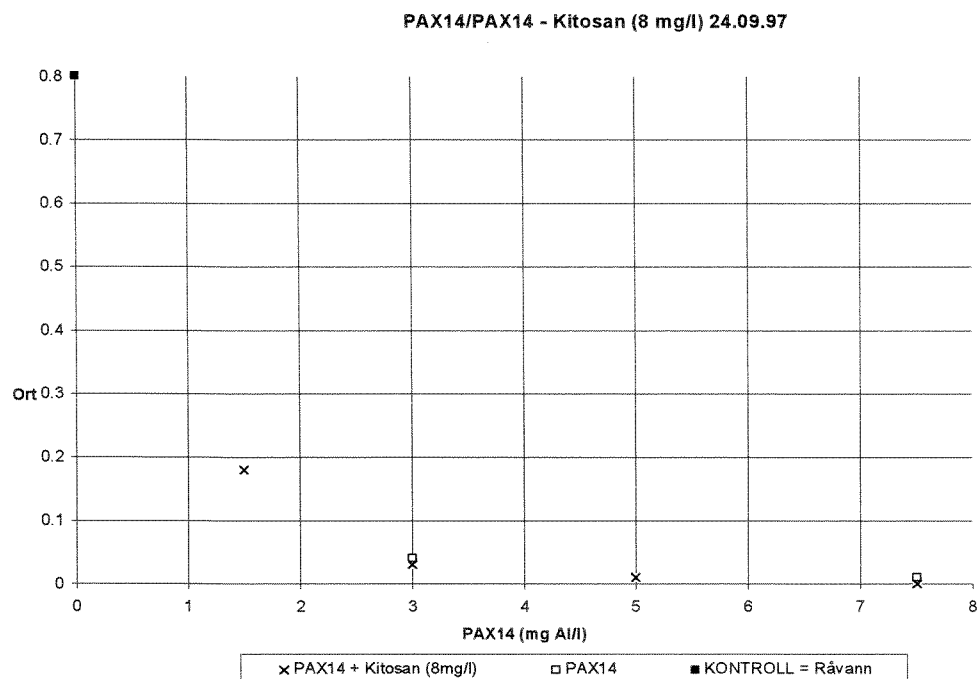


Figur 44. Inndosering av ulike konsentrasjoner PAX14 alene eller i kombinasjon med kitosan (8 mg/l) ved pH 6.5. Effekt på suspendert stoff.

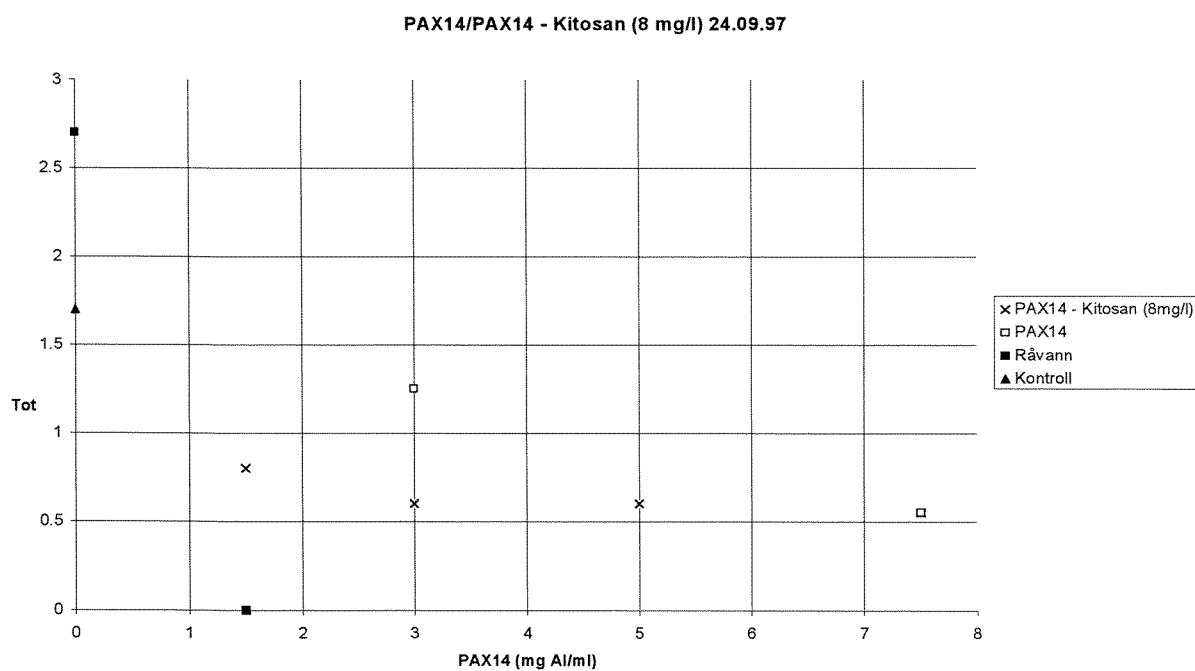


Figur 45. Renseeffekt med hensyn på turbiditet (ufiltret) og SS ved dosering av kitosan og PAX14 alene eller ved dosering av ulike konsentrasjoner PAX14 sammen med fast konsentrasjon kitosan (8 mg/l). Effekten måles mot konsentrasjoner i råvann.

PAX14 alene viser god renseseffekt med hensyn på turbiditet og SS helt ned i konsentrasjoner på 7.5 mg/l.



Figur 46. Inndosering av ulike konsentrasjoner PAX14 alene eller i kombinasjon med kitosan (5 mg/l) ved pH 6.5. Effekt på Orto-P.



Figur 47. Inndosering av ulike konsentrasjoner PAX14 alene eller i kombinasjon med kitosan (8 mg/l) ved pH 6.5. Effekt på Tot-P.

Norsk institutt for vannforskning

Postboks 173 Kjelsås
0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00
Telefax: 22 18 52 00

Ved bestilling av rapporten,
oppgi løpenummer 3742-97

ISBN 82-577-3311-3