

Primærrens (prosjekt 9)

Utnyttelse av kjemisk
forbehandling ved finsilanlegg
– case Bergen



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 PRIMÆRRENS (Prosjekt 9). Utnyttelse av kjemisk forbehandling ved finsilanlegg – Case Bergen	Løpenr. (for bestilling) 4910-2004	Dato 06.12.04
	Prosjektnr. Undernr. 24145 24040	Sider Pris 26
Forfatter(e) Christian Vogelsang	Fagområde Avløpsvannrensing	Distribusjon
	Geografisk område Bergen	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Statens forurensningstilsyn - PRIMÆRRENS Norsk institutt for vannforskning	Oppdragsreferanse 3004039
---	------------------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Med delfinansiering fra SFTs PRIMÆRRENS-program har det blitt gjennomført forsøk med dosering av fellingskjemikalier i fullskala på finsilanlegget (silåpning 0,35 mm) ved Holen RA i Bergen med sikte på å klare primærrensekrevet i den nye avløpsforskriften. Rapporten beskriver initielle forsøk gjort i jartester med separering på finsil med 0,30 mm silåpning og forsøk gjort ved Holen RA høsten 2004. For sammenligningens skyld er resultatene oppnådd med kjemisk behandling satt opp mot resultatene oppnådd under den forutgående perioden med ren mekanisk behandling på det samme finsilanlegget.</p>

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Primærrensing 2. Finsilanlegg 3. Fellingskjemikalier 4. Fullskalaforsøk 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Primary treatment 2. Fine screen plant 3. Coagulants 4. Full scale trials
--	--



Christian Vogelsang
Prosjektleder



Helge Liltved
Forskningsleder
ISBN 82-577-4599-5



Merete J. Ulstein
Forskningsjef

PRIMÆRRENS (Prosjekt 9)

**Utnyttelse av kjemisk forbehandling ved finsilanlegg
– Case Bergen**

Forord

Dette prosjektet har vært et samarbeid mellom Bergen kommune v/Kristine Akervold og Roger Hammersland (driftssjef ved Holen RA), Kemira Chemicals v/Oddbjørn Pedersen og NIVA v/Christian Vogelsang (prosjektleder), Tor Gunnar Jantsch og Svein Grutle. Helge Liltved (NIVA) var med i initieringsfasen av prosjektet. NIVA har ledet prosjektet og hatt det faglige ansvaret underveis, samt bistått ute på renseanlegget ved oppstart og noen enkeltdager underveis. Bergen kommune ved driftssjef Roger Hammersland har stått for oppfølgingen av kjemikalietillaging og -tilsats, prøvetaking og innsending av prøver for analysering. Kemira Chemicals har bidratt med utstyr for dosering av kjemikalier og har ved Oddbjørn Pedersen bistått ved oppstart og enkelte dager i prøveperioden. Prosjektet har vært delfinansiert av SFT gjennom PRIMÆRRENS.

Oslo, 6. desember 2004

Christian Vogelsang

Innhold

Sammendrag	6
Summary	7
1. Innledning	8
2. Materialer og metoder	8
2.1 Koagulanter og flokkulanter	8
2.2 Jartester	9
2.3 Silfilteranlegget	9
2.3.1 Beskrivelse av Holen renseanlegg	9
2.3.2 Drift av anlegget	9
2.3.3 Tillaging og dosering av fellingskjemikalier	10
2.3.4 Flotasjon for heving av fnokker i forkant av sil	10
2.4 Prøvetaking og analyser	10
2.4.1 Beskrivelse av prøvetakingsutstyr	10
2.4.2 Plassering prøvetakere	11
2.4.3 Døgnblandprøver	11
2.4.4 On-linemåling med Spectro::lyser	11
3. Resultater og diskusjon	11
3.1 Labforsøk	11
3.1.1 Bestemmelse av nødvendig koagulantdosering	11
3.1.2 Kombinasjon av JKL og anioniske polymere	12
3.1.3 Kombinasjon av JKL og kationiske polymere	13
3.1.4 Kombinasjon mellom JKL og en nonionisk polymer	13
3.1.5 Oppsummering labforsøk	13
3.2 Fullskalaforsøket - ytre faktorer	14
3.2.1 Tynt innkommende vann	14
3.2.2 Høy pH i innløpsvannet	15
3.2.3 Tekniske problemer ikke knyttet til filteret	16
3.3 Fullskalaforsøket – resultater	16
3.3.1 Fjerning av SS og BOF ₅	16
3.3.2 Betydning av organisk belastning	17
3.3.3 Doserings- og fellingskjemikalieavhengighet	19
3.3.4 Betydningen av pH	20
3.3.5 Betydningen av innblandingsforhold under dosering og forholdene inn til silduken	20
3.3.6 Betydningen av flotasjon	21
3.4 Slamproduksjonen	21
3.5 Silen og dens kapasitet	22

4. Forslag til forbedringer av fellingsprosessen	23
Vedlegg A. Flytskjema Holen RA	24
Vedlegg B. Bilder fra anlegget	25

Sammen drag

I miniskala jartester ble det oppnådd ca 75 % fjerning av turbiditet fra avløpsvann hentet fra Holen RA ved felling med 50 ml jernkloridsulfat/1 (som JKL) i kombinasjon med ulike anioniske, kationiske og én nonionisk polymer og etterfølgende separering ved siling gjennom en sil med karakteristisk porestørrelse på 300 µm. De gode resultatene med kjemisk felling i labskala ble ikke oppnådd ved testing i fullskala på Sobyefilteret med 0,35 mm silåpning ved Holen RA, dette til tross for at man tilsynelatende hadde benyttet omtrent de samme doseringene av fellingskjemikalier. Under hoveddelen av forsøksperioden var det innkommende avløpsvannet sterkt påvirket av et påslipp av kalk/lut på avløpsnett, noe som førte til en ugunstig høy pH under fellingen. Mangelen på pH-overstyring under doseringen av JKL var uheldig og kan ha vært delaktig i det svake resultatet. Resultatene fra en avsluttende uke med normal pH ga likevel ingen indikasjoner på at det var den høye pH-verdien som var den eneste ugunstige parameteren under forsøkene. Selv om fnokkdannelsen ble noe bedre ved tilnærmet optimal pH, ga ikke dette noe signifikant utslag på fjerningen av suspendert stoff eller biokjemisk oksygenforbruk (BOF₅). For dårlig innblanding av polymer, og muligvis JKL, i vannmassene og ugunstige forhold rett i forkant av silduken, med bl.a turbulens og tilførsel av vaskevann fra spylingen av silen, ble vurdert som viktige grunner til at det ikke ble oppnådd noen bedret fjerning av suspendert stoff og BOF₅ i forhold til rent mekanisk behandling.

Som forslag til en utbedring av prosessbetingelsene i forhold til under testperioden blir det derfor foreslått at innblandingen av polymer effektiviseres, f.eks ved innpumping i bunnen av sandfanget sammen med luftinnblåsing, eller ved tilsetning av fortynningsvann direkte til doseringsslangen for polymer, for bedre spredning i hele vannsøylen. Doseringen av JKL/PAX XL60 kan bedres ved å montere pH-overstyring på anlegget og å inkludere den organiske belastningen (målt som f.eks. turbiditet) som en styringsparameter i tillegg til vannføringen. Videre bør det sørges for redusert turbulens under flokkuleringen, ved bl.a å flytte tilbakeføringen av filterspylevannet fra rett i forkant av silen til i forkant av flokkulandoseringsen. Øvrige tiltak for å bedre strømningsforholdene inn på silduken vil sannsynligvis kreve noe større inngrep. Det bør også forsøkes etablert flotasjon i forkant av silen for å gi en tykkere slamkake inn på silduk, noe som bør skje ved å kombinere trykksatt vann og trykkluft. Det bør monteres varmtvannspyling eller luftkniv med tilstrekkelig kapasitet på Sobyefilteret for å fjerne mulig utfelt fett på silduken og dermed øke kapasiteten på silen. Videre vil det kunne være fornuftig å gjøre silduken mindre bratt og å redusere rotorhastigheten.

Summary

Title: Utilisation of chemical pretreatment at fine screen plants – case Bergen

Year: 2004

Author: Christian Vogelsang

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4599-5

In micro scale jar tests an approximately 75 % removal of turbidity from wastewater taken from Holen WWTP was achieved by precipitation with iron chloride sulphate (as JKL) in combination with different anionic, cationic and non-ionic polymers and subsequent separation through a mesh with 300 µm characteristic pore size. The good results with chemical coagulation in lab scale were not obtained in full scale at the Sobyefilter with a 0.35 mm mesh size, even if apparently the same chemical doses were used. During the main part of the test period the inlet wastewater was severely influenced by a lime/lye discharge to the sewage network, resulting in an unfavourable high pH during the chemical precipitation. The lack of pH control during the dosage of JKL was unfortunate and may in part have been the cause for the weak results. However, the results from a final week with normal pH gave no indications that the high pH was the only unfavourable parameter during the test period. Even if the floc production was somewhat improved at close to optimum pH conditions, no significant effect was observed on the removal of suspended matter or biochemical oxygen demand (BOD₅). Inadequate intermixing of the polymer, and possibly of JKL, in the water volume and unfavourable conditions ahead of the filter cloth, with i.e. turbulence and feed of wash water from the flushing of the filter, were considered to be important causes for the lack of improvement in the suspended matter and BOD₅ removal compared to mere mechanical treatment.

As an improvement of the process conditions compared to the conditions during the test period it is suggested that the intermixing of polymer is made more efficient, e.g. by in-pumping in the bottom of the grit chamber together with aeration, or by adding dilution water directly into the dosage tube for polymer, to obtain improved spreading in the whole water column. The dosage of JKL/PAX XL60 can be improved by installing pH control and by including the organic load (measured as e.g. turbidity) as an operating parameter in addition to the water flow. Furthermore, the turbulence during flocculation should be reduced by, among other measures, relocating the inlet of the filter back wash water from in front of the filter to in front of the flocculant dosing point. Other measures to improve the flow conditions in front of the filter may require a somewhat larger intervention. Flotation should also be attempted established in front of the filter to give a thicker sludge cake before the flocs reach the filter cloth. Such flotation should be provided by combining compressed water and compressed air. Hot water back wash, or an air-cutter with sufficient capacity, should also be installed on the Sobyefilter to remove possibly precipitated fat on the filter cloth and thereby increasing the capacity of the filter. Furthermore, it may be advisable to reduce the steepness of the filter and the rotor speed of the filter cloth.

1. Innledning

Det er en viss sannsynlighet for at Holen RA vil kunne få fritak fra sekundærrenserekravet i den nye avløpsforskriften og dermed kunne klare seg med primærrensing. Primærrenserekravet er knyttet til fjerning av partikulært materiale, målt som suspendert stoff (SS), og biologisk omsettbart organisk materiale, målt som biokjemisk oksygenforbruk (BOF₅). For å klare SS-kravet på 60 mg SS/l eller 50 % reduksjon i forhold til innløpet og BOD-kravet på 40 mg O₂/l eller 20 % reduksjon i forhold til innløpet har Holen RA installert et nytt finsilanlegg fra SOBYE Miljøfilter as på én av 4 linjer på dagens grovsilanlegg.

Den fine silåpningen (350 µm) åpner også for en mulig bedret fjerning av det organiske materialet ved tilsats av koagulant og/eller flokkulant, som fremmer dannelsen av fnokker store og robuste nok til å fjernes på silen. Det er således helt sentralt å velge riktig koagulant og hjelpeflokkulant.

Hensikten med prosjektet har vært å undersøke hvor stor effekt kjemisk felling på finsilen vil kunne ha på fjerningen av SS og BOF₅, og om den eventuelt økte fjerningen muliggjorde at kun en delstrøm av avløpsvannet inn på anlegget ble behandlet. Hvis den mekaniske fjerningen er tilstrekkelig, kan man også tenke seg å kun benytte kjemisk felling i typiske problemprioder.

2. Materialer og metoder

2.1 Koagulanter og flokkulanter

Koagulantene og flokkulanter som ble undersøkt i labskala er listet opp i Tabell 1. Koagulantene og flokkulantene som ble benyttet i fullskalaforsøket er uthevet.

Tabell 1. Koagulantene og flokkulanter testet ut i miniskala jar-tester.

Kjemikalier	Beskrivelse	Produsent
Koagulanter		
JKL	Jernkloridsulfat: 11.6 % Fe³⁺	Kemira Chemicals
PAX-18	Prepolymerisert aluminiumklorid: 9,0 % Al ³⁺	Kemira Chemicals
PAX-60XL	Prepol. Al-klorid med silikater: 7,3 % Al³⁺	Kemira Chemicals
OCR	Jernkloridsulfat med polymer	Kemira Chemicals
Flokkulanter		
A-1820	Anionisk polyakrylamid: 30 % ladet, høy Mw	Kemira Chemicals
A-1849 RS	Anionisk polyakrylamid: 3 % ladet, medium Mw	Kemira Chemicals
A-1883 RS	Anionisk polyakrylamid: 30 % ladet, høy Mw	Kemira Chemicals
Protanal XLRB	Anionisk alginat: 73 % <i>Laminaria hyp.</i> + 23 % <i>Lessonia n.</i>	FMC BioPolymer
Protanal XL	Anionisk alginat: 100 % <i>Lessonia n.</i>	FMC BioPolymer
N-1986	Nonionisk polyakrylamid: 0 % ladet, medium Mw	Kemira Chemicals
C-1592	Kationisk polyakrylamid: 10 % ladet, høy Mw	Kemira Chemicals
C-1598	Kationisk polyakrylamid: 55 % ladet, høy Mw	Kemira Chemicals
Kitosan TM 1508	Kationisk; 88 % deacetylert ("ladet"), molekylvekt ca 190 kD	Primex, Island

2.2 Jartester

Hvilke koagulanter og polymere som skulle testes ut på fullskalaanlegget og i hvilke startdoser ble bestemt ved hjelp av jartester ved NIVAs laboratorier i Oslo. Ferskt avløpsvann ble hentet fra innløpet til Holen RA (etter grovsil) og benyttet innen én uke. Vannet ble lagret ved 4 °C i denne perioden. Forsøket ble utført ved 8-11 °C i småskala jar-tester (50 ml). Ulike koagulanter (se Tabell 1) ble tilsatt vannet hovedsakelig uten noen pH-justering (pH lå stort sett på 7.1 +/-0.2 umiddelbart etter felling). Etter 3 min koagulering/flokkulering ble vannet silt gjennom 300 µm og turbiditeten ble målt. Turbiditeten i avløpsvannet var i utgangspunktet 40.1 NTU. Optimal dosering av JKL og OCR ble bestemt ved filtrering gjennom foldefilter (bedre mål på fellingseffektivitet enn siling) og bestemmelse av fargenedgang (mer følsom enn turbiditet). I de videre forsøkene ble det tilsatt 50 mg/l JKL + polymer.

2.3 Silfilteranlegget

Forsøket ble utført på det nyinstallerte (juli 2004) storbånd finsilfilteret fra SOBYE Miljøfilter ved Holen RA. Det samme filteret ble benyttet av Bergen kommune for sine tester med rent mekanisk behandling (Prosjekt 6 i PRIMÆRRENS-programmet).

2.3.1 Beskrivelse av Holen renseanlegg

- Dimensjonerende belastninger er 100 000 pe (norske pe)
- Holen RA er et mekanisk renseanlegg som ble satt i drift i 1997. Anlegget er noe påvirket av industri (verksteder, garveri, og lignende) og mottar blant annet avløpet fra Haukeland sykehus. Avløpsvannet passerer først to Meva Rotoscreen rister med spalteåpning på 6 mm og deretter via sand- og fettfang (type Hartmannsandfang med en rensekapasitet på 1,0 m³/s pr. linje) til et kanalmontert Sobyestorbåndfilter med lysåpning på 0,35 mm eller 3 stk Meva Monoscreen rister med spalteåpning på 1 mm før dyptvannsutslipp i Byfjorden (Se flytskjema i Vedlegg A).
- Sentrale dimensjoner for Sobyestorbåndfilteret: Filteret er kanalmontert. Kanalbredden er 1500 mm, silbåndbredden er 1380 mm og netto silduk er 1320 mm. Lysåpningen på duken er 0,35 mm. Våtareal (dvs under vann) er 1953 * 1320 = 2,58 m². Under den mekaniske kjøringen ble filteret kjørt med en båndhastighet på 50 Hz. Under den kjemiske behandlingen ble denne senket til 35 Hz.

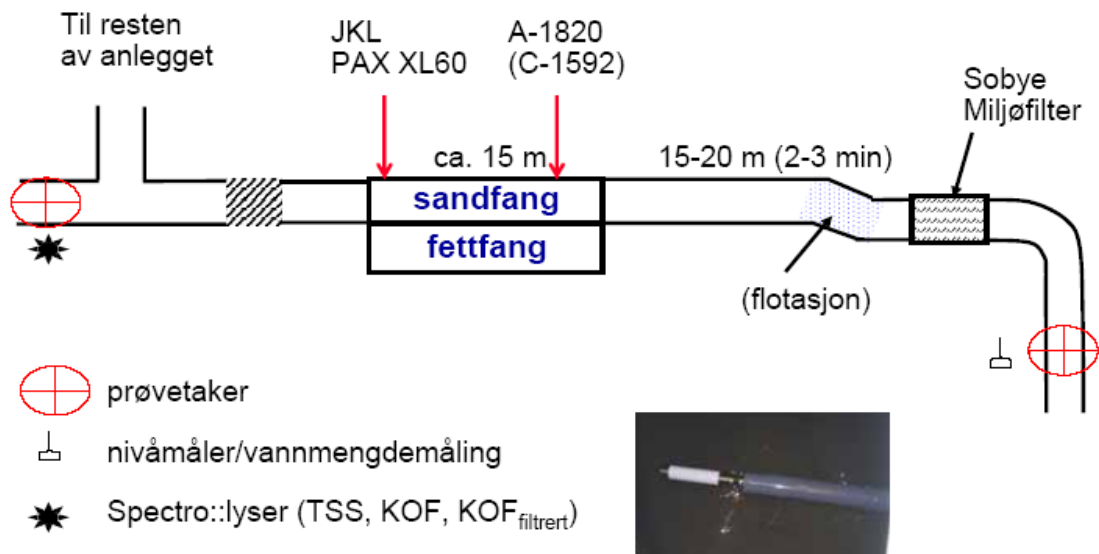
2.3.2 Drift av anlegget

- Bergen kommune ved Roger Hammersland har hatt ansvaret for driften av anlegget under testforsøket.
- Vannet inn til anlegget ble fordelt på tre linjer, der linjen til Sobyefilteret ble holdt avskilt fra resten av anlegget (parallell-linjen til Sobyefilteret ble stengt av; se flytskjema i Vedlegg A). Ved store vannmengder, der kapasiteten til Sobyefilteret ville blitt overskredet, ble belastningen i stor grad overført til de to linjene med Meva monoscreen rister.
- Silen ble styrt ut i fra vannivå foran silen.
- Vaskevann fra tilbakespylingen av finsilen ble kjørt inn rett i forkant av silen. Se Figur B1 i Vedlegg B. Under den kjemiske behandlingen ble vannrøret forlenget, slik at vannet ble ledet helt ned i vannmassene. Før 14.10 skjedde tilbakespylingen i 2 min hvert 10. min, mens frekvensen etter det ble redusert til hvert 30. min. Vaskevannsmengden lå i området 458-1157 l/time under den 2 min lange spylingen.
- Rist- og silgods ble presset med stempel og skrudd opp i containere. (TS ca 30 %). Fra containerne ble rist- og silgodset kjørt til forbrenning. Rejektivannet fra slamavvanningen ble ført tilbake til kanal etter de to øvrige behandlingslinjene.

2.3.3 Tillaging og dosering av fellingskjemikalier

Koagulanten JKL ble levert med bil og overført til en stor doseringstank før bruk, mens PAX XL60 ble levert på fat og dosert direkte fra denne. Polymerene A-1820 og C-1592 (flokkulanter) ble laget til ved utblanding av den konsentrerte løsningen i springvann til en 2 % polymerløsning manuelt. Kemira stod for oppmontering av doseringsutstyr.

Koagulantene ble dosert rett etter innløpet til sandfanget, mens flokkulantene ble dosert ca 15 m ut i sandfanget. Doseringsstedet for flokkulant ga en flokkuleringstid på ca 3 min før separering på silduk. Se Figur 1 nedenfor. Doseringen av koagulantene ble styrt etter vannføringen inn på silen, mens flokkulantdoseringen ble holdt tilnærmet konstant (eventuell justering ble gjort manuelt).



Figur 1. Flytskjema for behandlingslinjen med Sobyefilter.

2.3.4 Flotasjon for heving av fnokker i forkant av sil

Det ble montert 28 rektangulære diffusorer 2,0-5,5 meter i forkant av silen med tilførsel av trykkluft (3.5 bar) for å løfte fnokkene opp til overflaten før de kom inn til silen. Diffusorene ble montert i 7 rekker (0,5 m avstand mellom rekkene og med 4 diffusorer i hver rekke) med separat justering av luftmengde til hver rekke.

2.4 Prøvetaking og analyser

2.4.1 Beskrivelse av prøvetakingsutstyr

- Isco environmental, modell 6712 SR, levert av Dipl.ing. Houm
- Sugslangen hadde en innvendig diameter på 11 mm.
- Lengden på sugslangen var ca 3-4 meter (både innløp og utløp)
- Oppsamlingskanne (tok maks 30 liter) var plassert i kjøleskap rett under prøvetakeren på felles stativ.
- Begge prøvetakerene ble styrt vannmengdeproposjonalt.

2.4.2 Plassering prøvetakere

- **Innløp:**
 - Prøvetakeren var plassert ca 14,5 meter foran grovrystene.
 - Avstanden fra prøvetaker og ned til vannspeilet var ca 2,35 meter (ved vannmengde på 770 l/s).
 - Prøvene ble tatt ca 30 centimeter fra bunnen (dvs 2/3 ned i vannmassene)
 - Strømningsforholdene var turbulente pga lufting ca 2-3 meter foran prøvetakingspunktet. På hovedkanalen 4-6 meter foran prøvetakingspunktet kom det inn en pumpeledning.
- **Utløp:**
 - Prøvetakeren var plassert ca 13 meter etter silen
 - Avstanden fra prøvetaker til vannspeilet var ca 2,87 meter.
 - Prøven ble tatt ca 12 centimeter fra bunnen (dvs 2/3 ned i vannmassene)
 - Strømningsforholdene var turbulente til tross for relativt rolig vannstrøm (0,1-0,2 m/s) pga lufting ca 2-3 meter foran prøvetakingspunktet og vannstandssprang rett etter silene.

2.4.3 Døgnblandprøver

Det ble tatt ut 12 døgnblandprøver fra innløp og utløp for bestemmelse av suspendert stoff (SS), biokjemisk oksygenforbruk (BOF₅) og kjemisk oksygenforbruk (KOF). SS-prøvene ble umiddelbart sendt til et lokalt laboratorium for analyse, mens BOF₅- og KOF-prøvene ble frosset ned og sendt puljevis til AnalyCen for analysering.

2.4.4 On-linemåling med Spectro::lyser

Det ble montert en Spectro::lyser for testing og semi-kontinuerlig overvåkning av totalt suspendert stoff (TSS), total-KOF og filtrert KOF (KOF_{filtr}). Analysatoren er basert på tolkning av vannets UV/VIS-spekter i området 200-750 nm i f.h.t en standard kalibrering lagt inn på forhånd. Det ble ikke gjort noen justering av denne kalibrering på vannet ved Holen RA. Monteringen ble gjort av leverandøren (Pemac, Kristiansand). Spectro::lyseren ble plassert i forkant av grovsilen, men ble i en avslutningsfase flyttet til utløpet. Det ble vurdert å styre kjemikaliedoseringen (JKL, PAX XL60) etter signalene fra Spectro::lyser'en, men dette ble ikke gjennomført.

3. Resultater og diskusjon

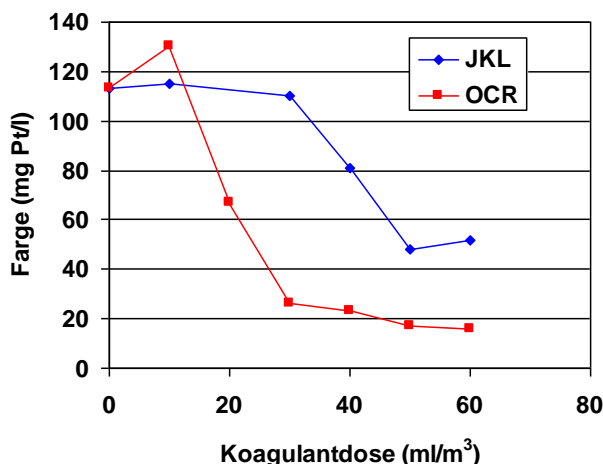
3.1 Labforsøk

Som beskrevet i kapittel 2.2 ble effekten av ulike kombinasjoner av koagulanter (JKL, OCR) og flokkulanter (Tabell 1) undersøkt i småskala jar-tester. De utfelte slamfnokkene ble fraskilt ved siling gjennom en rist med karakteristisk porestørrelse på 300 µm, for å simulere separeringen på fullskala-anlegget. Nødvendig koagulantdosering (JKL, OCR) ble bestemt på tilsvarende måte, men her ble de utfelte fnokkene separert fra ved filtrering. Under alle forsøkene lå fellings-pH i området 6.8-7.4.

3.1.1 Bestemmelse av nødvendig koagulantdosering

Figur 2 viser restfarge ved felling med ulike doseringer av JKL og OCR med etterfølgende filtrering i foldefilter. Den nødvendige JKL-dosen lå i området 50 ml/m³, mens nødvendig dosering av OCR, som allerede er tilsatt en polymer, var betydelig lavere (ca 50 %). Ved en dosering på 50 ml/m³ og

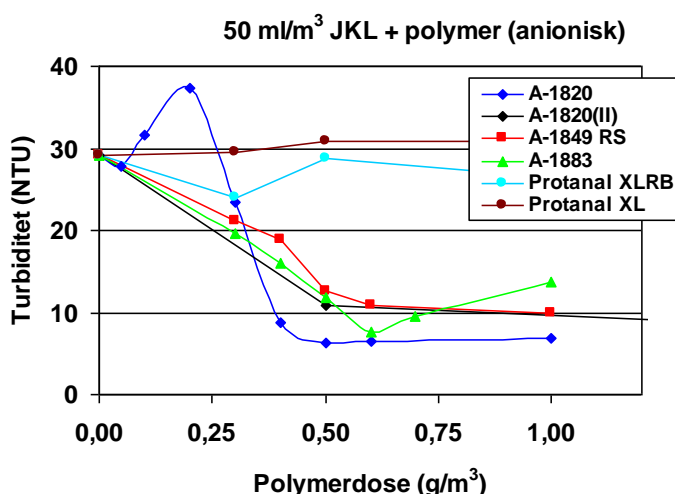
separering ved siling ble forskjellen mellom JKL og OCR likevel tilsynelatende ubetydelig: avløpsvannets turbiditet ble redusert fra 40,1 FNU til 29,2 FNU (27 % fjerning) med JKL og til 28,5 FNU (29 % fjerning) med OCR. Det ble også gjort forsøk med PAX 18 og PAX XL60, men det mangler turbiditetsdata. Tilsynelatende nødvendig dosering av PAX 18 og PAX XL60 var h.h.v 25-35 ml/m³ og 35-50 ml/m³. Av hensyn til kjemikaliepris ble det valgt å benytte JKL og PAX XL60 i fullskalaforsøkene.



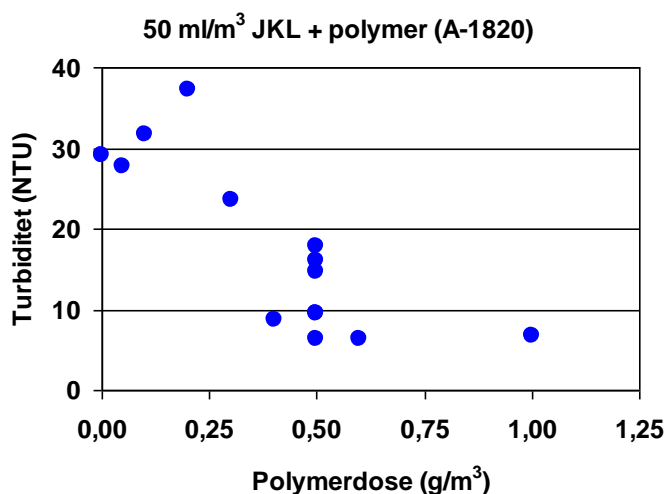
Figur 2. Bestemmelse av nødvendig dosering av JKL og OCR. Restfarge etter separering av utfelte fnokker ved filtrering gjennom foldefilter.

3.1.2 Kombinasjon av JKL og anioniske polymere

Som nevnt ble det også uten polymer fjernet en del turbiditet (27 %) med JKL og etterfølgende siling. Polymerene bidro til å gjøre fnokkene betydelig større, men til tross for at man ved en rent visuell betraktning skulle trodd fnokkene var store nok til å bli fjernet på silen, måtte man relativt høyt opp i dosering før effektiv turbiditetsfjerning ble oppnådd (se Figur 3). Det var liten forskjell mellom de syntetiske anioniske polymerene, mens alginat (Protanal XLRB og Protanal XL) ikke så ut til å fungere ved doseringer opp til 5 mg/l (se Figur 3). A-1820 så tilsynelatende ut til å fungere noe bedre enn de andre anioniske polymerene, men ved gjentatte forsøk ved noe ulike pH (6.8-7.2) ble denne forskjellen tilsynelatende utjevnet (Figur 4). A-1849 RS ga et noe bedre floterende slam enn de øvrige.



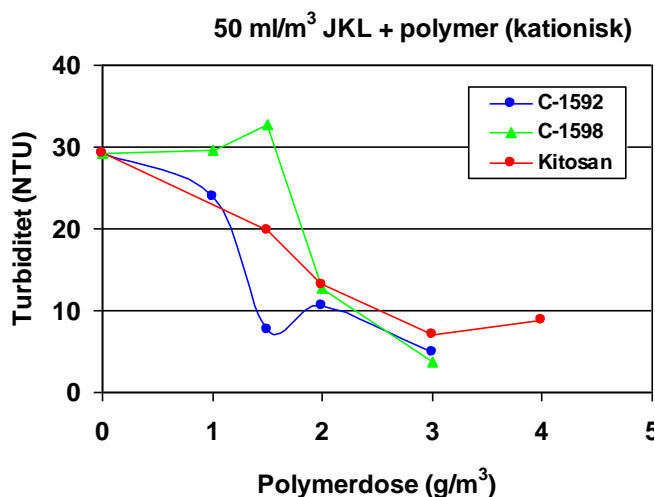
Figur 3. Kombinert dosering av JKL og ulike anioniske polymere. Restturbiditet etter siling gjennom en rist med porestørrelse 300 µm.



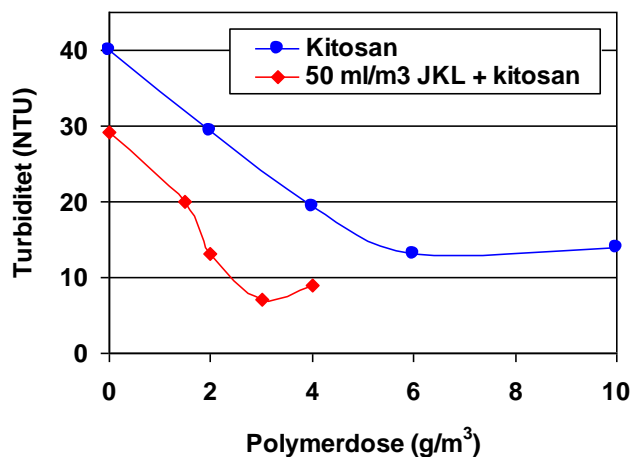
Figur 4. Kombinert dosering av JKL og den anioniske polymeren A-1820 (ved pH 6,8-7,2). Restturbiditet etter siling gjennom en rist med porestørrelse 300 µm.

3.1.3 Kombinasjon av JKL og kationiske polymere

Det var liten forskjell mellom de kationiske polymerene (Figur 5), men det var nødvendig med betydelig høyere doser med disse enn med de anioniske polymerene (Figur 3). Kitosan så ut til å fungere tilnærmet like bra som de syntetiske polymerene. Noen slengere gjør resultatene litt vanskelige å tolke. Kitosan fungerte også alene, men vesentlig dårligere enn sammen med 50 mg/l JKL (Figur 6).



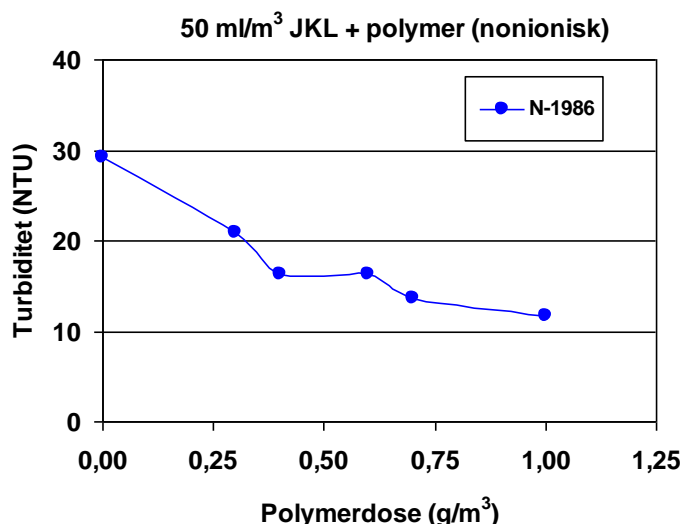
Figur 5. Kombinert dosering av JKL og ulike kationiske polymere. Restturbiditet etter siling gjennom en rist med porestørrelse 300 µm.



Figur 6. Koagulering med kitosan alene og i kombinasjon med JKL. Restturbiditet etter siling gjennom en rist med porestørrelse 300 µm.

3.1.4 Kombinasjon mellom JKL og en nonionisk polymer

Den nonioniske polymeren N-1986 fungerte noe dårligere enn de anioniske polymerene, men vesentlig bedre enn de kationiske (Figur 7).



Figur 7. Kombinert dosering av JKL og den nonioniske polymeren N-1986. Restturbiditet etter siling gjennom en rist med porestørrelse 300 µm.

3.1.5 Oppsummering labforsøk

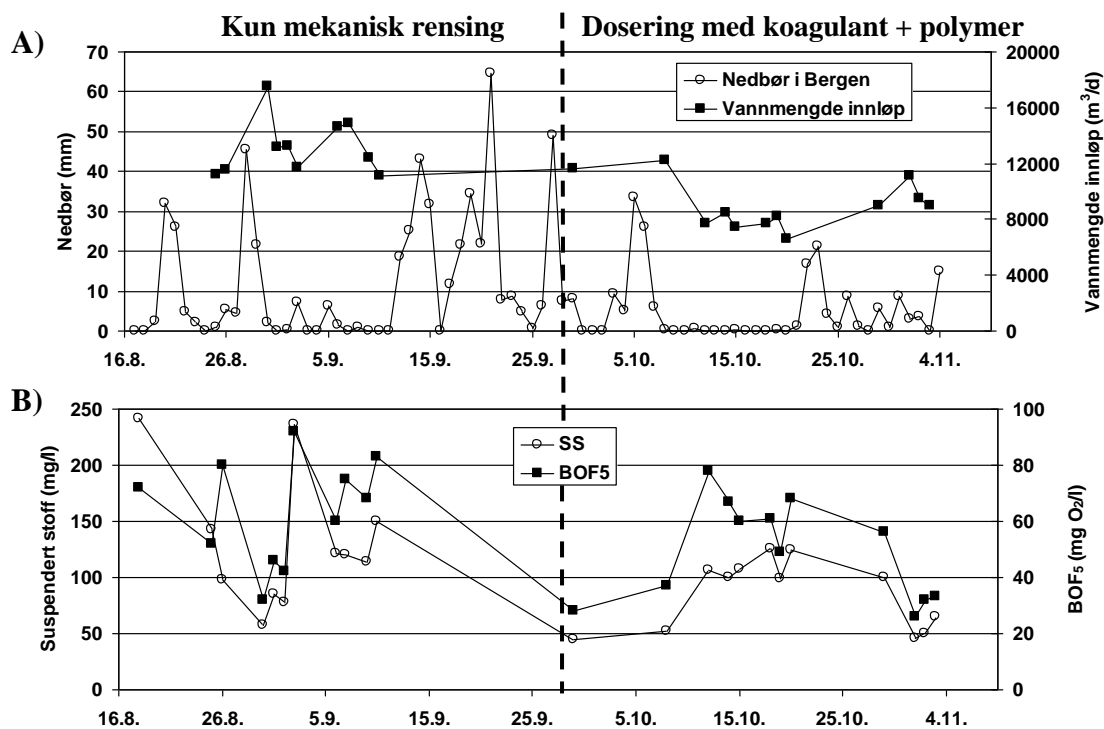
De syntetiske anioniske polymerene virket mest lovende. A-1820 og A-1849 RS ble plukket ut som de mest aktuelle å teste på fullskala-anlegget, A-1849 RS fordi dette ga et floterende slam i motsetning til de øvrige polymerene, noe som ville kunne være gunstig med tanke fjerningen på Soby-filteret.

3.2 Fullskalaforsøket - ytre faktorer

Fullskalakjøringen var forfulgt av uheldige omstendigheter gjennom hele forsøksperioden. De ytre faktorene – de som ikke er direkte knyttet til kjemikaliedoseringen og driftingen av Sobyefilteret – er beskrevet i det følgende. Problemene gjorde hyppig prøvetaking vanskelig, og at tilgjengelig tid til justering av prosessen ble betydelig redusert.

3.2.1 Tynt innkommende vann

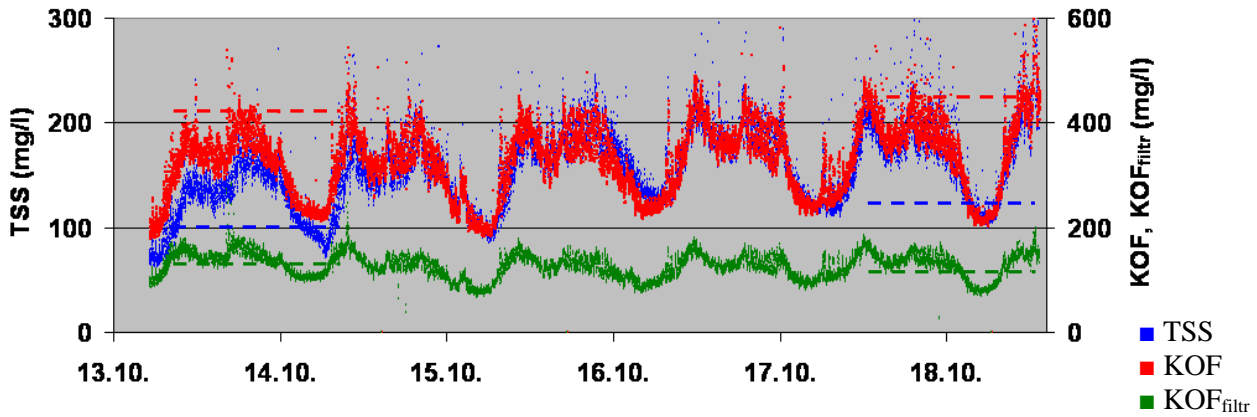
Det ligger i primærrensekravet at når vannet er tynt nok trengs ingen rensing. Relativt mye nedbør gjennom store deler av forsøksperioden, med unntak av én periode (se Figur 8A), førte til at SS- og BOF₅-innholdet i det innkommende vannet relativt hyppig var under kravet på 60 mg SS/l og 40 mg O₂/l. Det ble bestemt at det ikke skulle doseres i slike tilfeller. Men som det fremgår av Figur 8B ble det likevel til at en del av døgnblandprøvene ble tatt ut under forhold der konsentrasjonen av SS og/eller BOD₅ i innløpet var under kravet. De til tider store mengdene med innkommende vann gjorde også at interne ubehandlede overløpsstrømmer ”forurenset” det behandlede vannet fra silen før det nådde prøvetakeren på utløpet. Det ble ikke tatt ut døgnblandprøver i slike perioder.



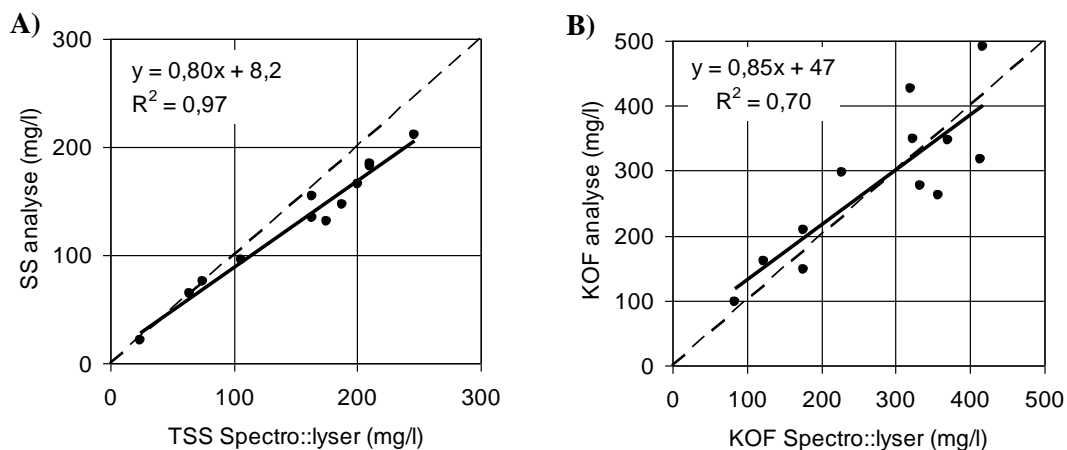
Figur 8. A) Nedbør i Bergen (målt ved stasjon Florida) og vannmengder inn på linjen med Sobyefilteret gjennom hele forsøksperioden, inkludert perioden med kun mekanisk rensing. **Merk:** Kapasiteten til Sobyefilteret la begrensninger på innkommende vannmengde til denne linjen. **B)** Konsentrasjonen av suspendert stoff (SS) og biokjemisk oksygenforbruk (BOF₅) under hele forsøksperioden.

Som resultatene fra on-line målingen med Spectro::lyser'en i innløpet under perioden uten nedbør viser (se Figur 9), var det også betydelige (systematiske) variasjoner i organisk belastning gjennom døgnet på rensenanlegget (merk topp om morgnen og om ettermiddagen/kvelden). KOF_{filtr} kan tolkes som et grovt estimat av BOF₅. Sammenlignet med de analyserte SS-, KOF- og BOF₅-verdiene for de to døgnblandprøvene fra perioden (markert med stiplede streker i korresponderende farger) ser det ut til at endringene i SS, KOF og BOF₅ ble gjenspeilet tilfredsstillende, og resultatene indikerer at man

med hell kunne ha kalibrert Spectro::lyseren mot det innkommende avløpsvannet til rensesanlegget. Ved en sammenligning mellom on-line data fra Spectro::lyseren med 12 stikkprøvemålinger analysert på SS og KOF tatt ut underveis (se Figur 10) fremgår det at Spectro::lyseren ga systematisk noe lave (T)SS-verdier men med bra korrelasjon med de lab-analyserte prøvene ($R^2=0,97$), mens det var en noe større statistisk spredning mellom on-linedata og lab-analyserte verdier for KOF ($R^2=0,70$).



Figur 9. On-line analysedata fra Spectro::lyser'en i en periode med lite/ingen nedbør. SS-, KOF- og BOF5-verdiene for døgnblandprøvene tatt ut i perioden 13.-14.10 og 17.-18.10 er markert med stiplede streker i de korresponderende fargene.

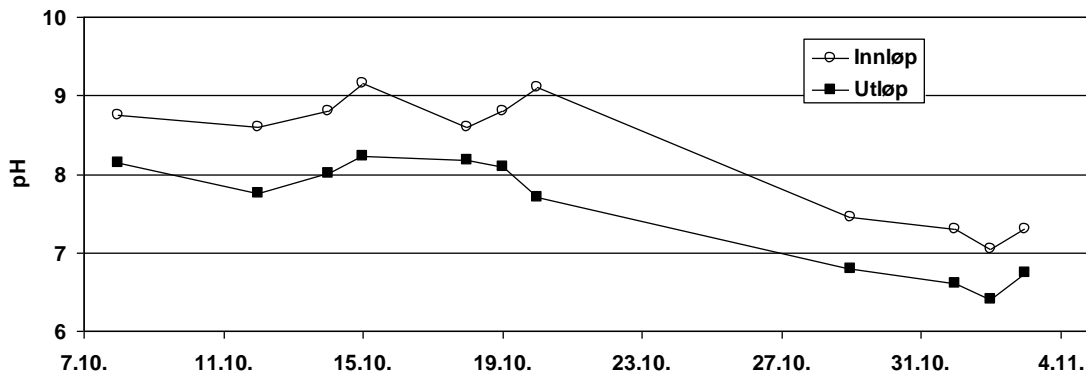


Figur 10. On-line analysedata fra Spectro::lyser'en sammenlignet med stikkprøvemålinger ved samme tidspunkt; (A) SS-data og (B) KOF-data. Stiplet linje angir et 1:1-forhold mellom de to målemetodene. Lineærregresjon gjennom punktene er vist med heltrukket linje.

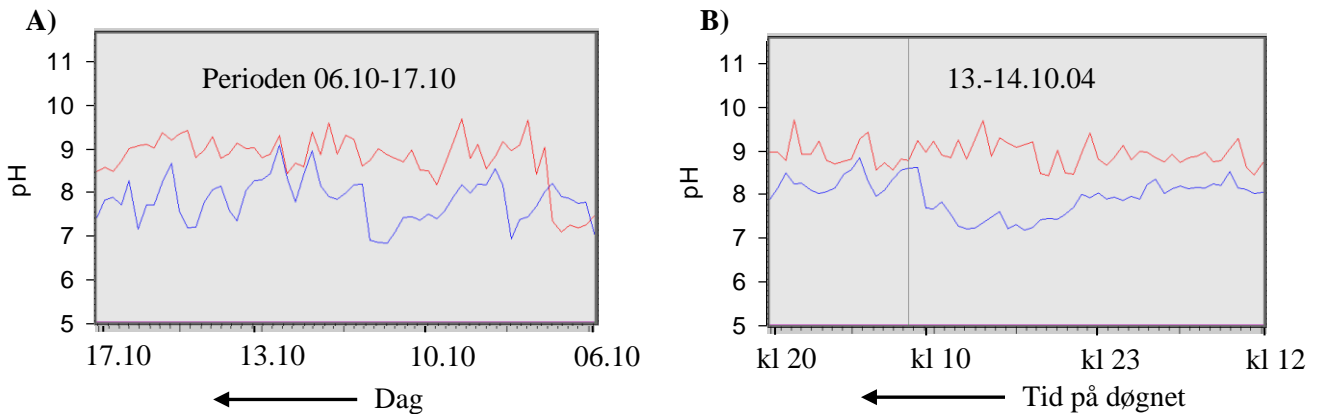
3.2.2 Høy pH i innløpsvannet

Med unntak av den siste uken av forsøksperioden ble det målt høy pH i det innkommende avløpsvannet til Holen RA forårsaket av påslipp av lut/kalk på avløpsnett. I denne perioden varierte pH i innløpet mellom 8 og 10 med et snitt på pH 8,5-9,0. Snitt-pH i innløpet og utløpet under døgnblandprøveuttakene er vist i Figur 11, mens Figur 12 viser en utskrift fra pH-loggeren på innløp (rød strek) og utløp (blå strek) i perioden 06.-17.10 (A) og under døgnet 13.-14.10 (B). Når kilden til lut/kalk-påslippet endelig ble identifisert og stoppet, gikk pH i innløpet ned til nær nøytral og nær den pH avløpsvannet hadde under jartestene i labskala (pH 6,8-7,3). Den høye pH'en i innløpet var meget

ugunstig med tanke på felling med JKL, da anbefalt pH for felling med JKL i avløpsvann ligger i pH-området 6,3-6,7. Dette er kommentert nærmere i kapittel 3.3.4.



Figur 11. pH målt i innløp og utløp under forsøket med dosering av fellingskjemikalier.



Figur 12. Utskrift fra pH-logger på innløp i (A) perioden 06.-17.10 og (B) under døgnet 13.-14.10. Rød strek angir pH inn, blå strek angir pH ut (etter kjemikaliedosering).

3.2.3 Tekniske problemer ikke knyttet til filteret

En rekke tekniske problemer oppstod underveis, blant annet med prøvetakere som gikk tett (prøver må forkastes) og opp til flere ganger var det total strømsstans forårsaket av lynnedslag.

3.3 Fullskalaforsøket – resultater

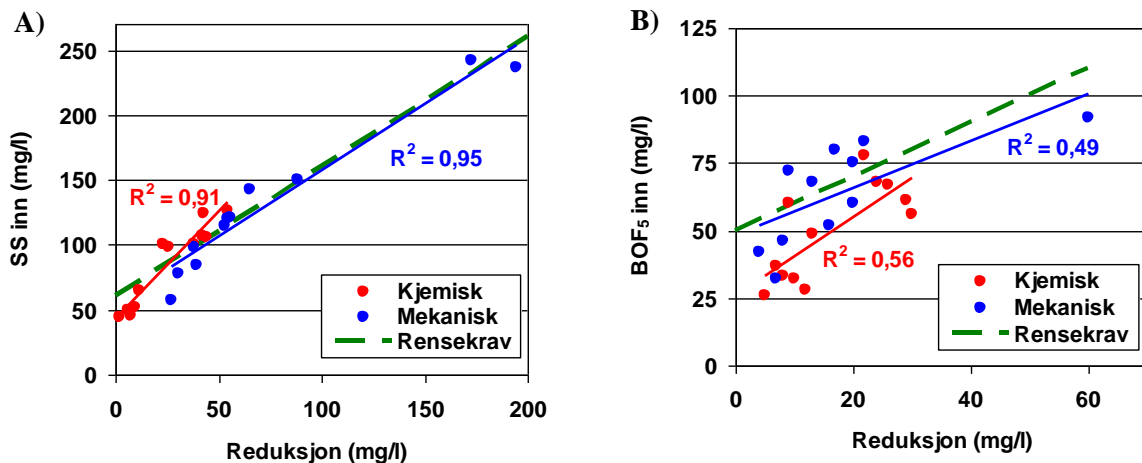
3.3.1 Fjerning av SS og BOD₅

Som det fremgår av Tabell 2 var det kun under 5 av de 12 dagene det ble tatt ut døgnblandprøver at kravet for både SS og BOD₅ ble oppnådd ved dosering av fellingskjemikalier (i kolonne lengst til venstre: grønt = klart krav). Ved alle disse 5 dagene var kravet helt (4 dager) eller nesten (1 dag) oppnådd i innløpet! Resultatet var tilsynelatende dårligere enn det som ble oppnådd uten noen dosering, da kravet her ble oppnådd 6 av 11 dager (Tabell 2).

3.3.2 Betydning av organisk belastning

Den organiske belastningen i forsøksperioden var generelt meget lav, men kanskje spesielt lav i perioden med dosering av fellingskjemikalier (se Figur 8B og Tabell 2). Selv i den lengste perioden uten nedbør (Figur 8A) var konsentrasjonen av suspendert stoff (SS) og BOF₅ jevnt under ”grensene” på h.h.v 120 mg SS/l og 210 mg O₂/l for meget tynt vann i europeisk målestokk (Henze m.fl. 2002).

Figur 11, basert på verdiene i Tabell 2, viser sammenhengen mellom konsentrasjonen av SS (A) og BOF₅ (B) i innløpet til renseanlegget og den respektive reduksjonen i SS og BOF₅ over silen ved mekanisk og kjemisk behandling. Den grønn-stiplede linjen i hver figur tilsvarer det respektive rensekravet, slik at punkter som ligger under denne linjen var innenfor kravet. Resultatene indikerer at det eksisterte – ved ekstrapolasjon av den lineære tilpasningskurven til 0 mg/l reduksjon – en nedre konsentrasjon for SS og BOF₅ der ingen reduksjon ble oppnådd. For SS var denne tilsynelatende nedre grensen 43 mg SS/l ved kjemisk felling, mens den var 55 mg SS/l ved kun mekanisk behandling (merk: når de to høyeste SS-konsentrasjonene ble utelatt fra ekstrapoleringen ble den nedre grensen ved mekanisk behandling estimert til 31 mg SS/l). Dette antyder videre at det primært var den noe lavere SS-konsentrasjonen i innløpet under den kjemiske fellingen, som gjorde at resultatet her tilsynelatende ble noe dårligere enn ved kun mekanisk behandling. Det var med andre ord ingen signifikant forskjell mellom mekanisk og kjemisk behandling når det gjaldt fjerning av suspendert stoff.



Figur 11. Sammenhengen mellom konsentrasjonen av (A) suspendert stoff (SS) og (B) BOF₅ i innløpet til renseanlegget og den respektive reduksjonen i SS og BOF₅ over silen under perioden uten dosering (mekanisk) og med dosering av fellingsmidler (kjemisk).

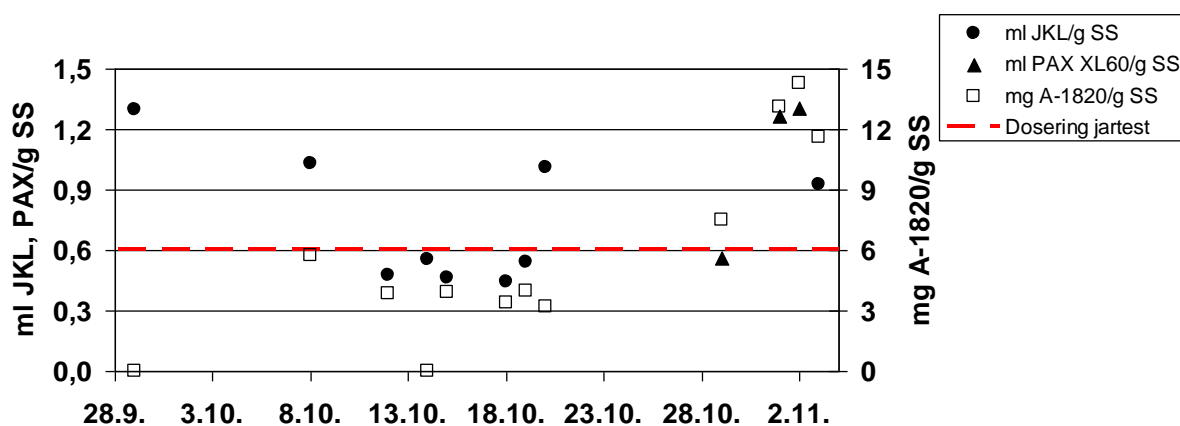
Tabell 2. Resultater fra fullskalaforsøket på Sobyefilteret ved Holen RA.

Start		Stopp		Vann inn	pH snitt		Dosering		Suspendert stoff			BOF ₅			KOF			
dato	tid	dato	tid		inn	inn	ut	Koag.	Polym.	Inn	Ut	Red.	Inn	Ut	Red.	Inn	Ut	Red.
				m3/d	-	-	ml/m3	g/m3	mg/l	mg/l	%	mg/l	mg/l	%	mg/l	mg/l	%	
	17.aug	-	18.aug	-	-	i.m.	i.m.	0	0	242	69	72	72	63	12,5	425	200	53
	24.aug.	14:00	25.aug	13:25	11235	i.m.	i.m.	0	0	143	78	46	52	36	31	190	120	37
	25.aug	14:57	26.aug	14:33	11501	i.m.	i.m.	0	0	98	60	39	80	63	21	185	115	38
	29.aug	12:15	30.aug	12:15	17550	i.m.	i.m.	0	0	58	30	47	32	25	22	115	75	35
	30.aug	12:45	31.aug	12:41	13138	i.m.	i.m.	0	0	85	45	47	46	38	17,4	150	120	20
	31.aug	13:00	01.sep	12:45	13263	i.m.	i.m.	0	0	78	47	40	42	38	9,5	250	125	50
	01.sep	12:53	02.sep	10:08	11723	i.m.	i.m.	0	0	236	42	82	92	32	65	170	130	24
	05.sep	11:34	06.sep	12:00	14612	i.m.	i.m.	0	0	121	65	46	60	40	33	170	115	32
	06.sep	12:33	07.sep	12:33	14875	i.m.	i.m.	0	0	120	65	46	75	55	27	205	160	22
	8. sep.	13:40	09.sep	12:39	12396	i.m.	i.m.	0	0	114	61	47	68	55	19,1	200	140	30
	09.sep	12:50	10.sep	12:14	11154	i.m.	i.m.	0	0	150	61	59	83	61	27	215	175	18,6
								JKL	A-1820									
	28.sep	12:30	29.sep	13:00	11655	i.m.	i.m.	57	0	44	42	4,7	28	16	43	100	60	40
	07.okt	-	08.okt	-	12203	8,75	8,15	54	0,30	52	43	17,9	37	30	18,9	125	80	36
	11.okt	13:08	12.okt	12:00	7660	8,6	7,75	50	0,41	106	62	42	78	56	28	210	175	16,7
	13.okt	09:30	14.okt	09:00	8478	8,8	8,01	56	0	100	77	23	67	41	39	210	155	26
	14.okt	13:50	15.okt	11:50	7415	9,15	8,23	50	0,42	107	65	40	60	51	15,0	200	185	7,5
	17.okt	11:00	18. okt.	11:00	7680	8,6	8,17	56	0,43	126	71	43	61	32	48	225	145	36
	18.okt	15:30	19.okt	11:30	8163	8,8	8,1	54	0,39	99	73	26	49	36	27	210	160	24
	19.okt	11:50	20.okt	09:45	6572	9,1	7,7	125	0,40	124	81	34	68	44	35	235	205	12,8
								PAX XL60	A-1820									
	28.okt	14:30	29.okt	13:00	8955	7,45	6,8	56	0,75	100	62	38	56	26	54	235	125	47
	31.okt	13:15	01.nov	11:30	11133	7,3	6,6	58	0,60	46	39	15,7	26	21	19	135	80	41
	01.nov	12:30	02.nov	10:20	9498	7,05	6,4	65	0,71	50	43	12,9	32	22	31	195	85	56
								JKL	A-1820									
	02.nov	14:45	03.nov	10:15	8954	7,3	6,75	60	0,75	65	53	18,3	33	25	24	125	120	4,0

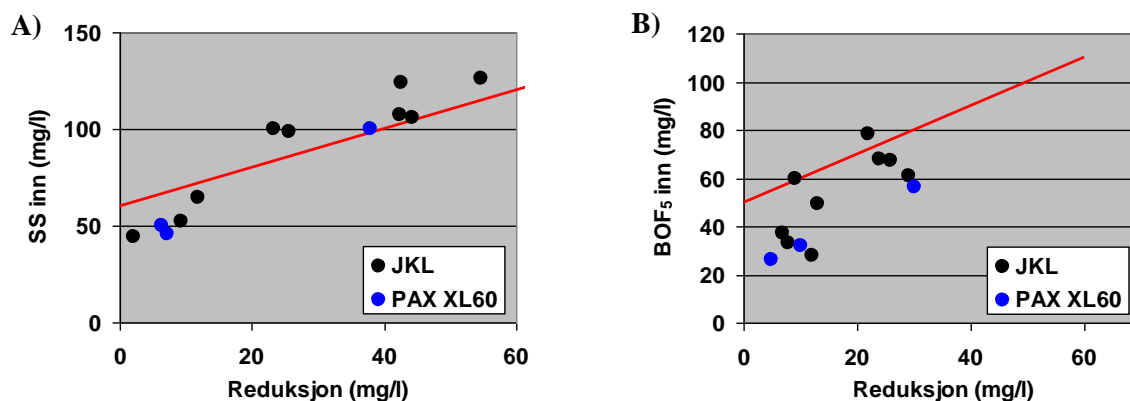
Det var langt fra noen klar lineær sammenheng mellom konsentrasjonen av BOF_5 i innløpet og den mengden BOF_5 som ble fjernet over silen ($R^2 = 0,49-0,56$), men det så ut til å være en tendens til økt BOF_5 -fjerning ved høye BOF_5 -verdier i innløpet (jfr lineær tilpasning i Figur 11). Det kan være flere årsaker til denne tilsynelatende forskjellen mellom SS og BOF_5 . En viktig faktor kan være usikkerheten i selve BOF_5 -målingen, som AnalyCen oppgir til å være $\pm 25\%$. Vi vil ikke begi oss inn på noen dypere drøfting av mulige årsaker her da datagrunnlaget er for tynt for det, men heller poengtere den tilsynelatende noe større reduksjonen i BOF_5 ved kjemisk behandling enn ved mekanisk behandling ved samme BOF_5 -konsentrasjon i innløpet. Ettersom den kjemiske behandlingen ikke ga noen økt SS-fjerning kan man forvente å finne hovedtyngden av fellingskjemikalierne (i snitt 6,2 mg Fe/l og 4,4 mg Al/l) i utløpet. Man skal ikke se bort fra at disse konsentrasjonene av Fe og Al kan ha hatt en viss inhiberende effekt på den biologiske omsetningen under BOF_5 -analysene, og således kan ha bidratt til et redusert BOF_5 -estimat i utløpet.

3.3.3 Doserings- og fellingskjemikalieavhengighet

Ved å dividere det gjennomsnittlige forbruket av fellingskjemikalier over hvert enkelt prøveuttaksdøgn med den gjennomsnittlige SS-konsentrasjonen i innløpet over det samme døgnet får man hva man kan kalle det SS-spesifikke kjemikalieforbruket. I Figur 12 er det SS-spesifikke forbruket av koagulantene JKL og PAX XL60 og flokkulanten A-1820 i fullskalaforsøket sammenlignet med det tilsvarende SS-spesifikke kjemikalieforbruket i jartestene i lab skala. Som det fremgår ble det både overdosert og underdosert i løpet av forsøket, men spesielt polymerdoseringen så ut til å ligge jevnt noe lavere enn det som ble funnet å være optimalt i jartestene. Det bør likevel bemerkes at selv en halvering av polymerdoseringen i jartestene ga en signifikant bedret fjerning av turbiditet i forhold til ren mekanisk behandling (eller JKL alene). Ser man derimot på doseringen den siste uken med PAX XL60 (2-3 punkter) og JKL (1 punkt) i kombinasjon med A-1820 var doseringen her klart over det den var i jartestene, samtidig som fellings-pH var mer optimal (se lenger nede). Dette ga ikke noe signifikant utslag på fjerningen av SS (se Figur 13A), men kan tilsynelatende ha hatt en viss betydning for fjerningen av BOF_5 . Men da skal man igjen være klar over at den nå potensielt enda høyere Al-konsentrasjonen i utløpet kan ha hatt en ytterligere inhiberende virkning på den biologiske omsetningen under BOF_5 -analysen. Men generelt sett er dessverre datagrunnlaget for spinkelt til å gjøre noen rettfærdig sammenligning mellom de to koagulantene.



Figur 12. Det SS-spesifikke forbruket av koagulantene JKL og PAX XL60 og flokkulanten A-1820 i fullskalaforsøket sammenlignet med det tilsvarende SS-spesifikke kjemikalieforbruket ved jartestene i lab skala.



Figur 13. Sammenhengen mellom konsentrasjonen av suspendert stoff (SS) og BOF₅ i innløpet til rensanlegget og den respektive reduksjonen i SS og BOF₅ over silen ved dosering av JKL og PAX XL60, begge i kombinasjon med polymeren A-1820 (se Tabell 2).

3.3.4 Betydningen av pH

Som beskrevet i kapittel 3.2.2 ble det gjennom hoveddelen av forsøksperioden sluppet på store mengder lut-/kalkvann til avløpsnett, noe som førte til tidvis meget høy og varierende pH i det innkommende avløpsvannet. Dette førte til uønsket høy pH også etter kjemikali-doseringen (gjennomsnittspH 7,7-8,2 for døgnblandprøvene). Den angitte optimale fellings-pH for JKL fra Kemira ligger i pH-området 6,3-6,7, men de sterkeste fnokkene dannes erfaringsmessig i den lavere delen av dette pH-området. PAX XL60 feller normalt best i pH-området 6,5-7,0, men tåler normalt et noe videre pH-område uten at fnokkenes styrke og egenskaper forringes.

Men selv om JKL-doseringen ble betydelig økt (19.-20. okt) for å få fellings-pH ned i nær det optimale området, så ikke dette ut til å ha noen signifikant effekt på verken SS- eller BOF₅-fjerningen. Og heller ikke etter at kilden til den høye pH-verdien var fjernet og pH var nær nøytral, førte dette noen merkbar bedring av SS- eller BOF₅-fjerningen. Ved dosering av PAX XL60 lå fellings-pH (gjennomsnittverdier for døgnblandprøvene) i området 6,4-6,8, altså innenfor det som normalt skulle gi god felling. Det så også ut til å bli dannet fine fnokker i etterkant av PAX XL60-doseringen.

Det står klart at usikkerhetene rundt suboptimal fellings-pH kunne vært unngått ved å ha montert pH-overstyring i forkant av JKL-doseringen ved anlegget.

3.3.5 Betydningen av innblandingsforhold under dosering og forholdene inn til silduken

Det er viktig å få en rask og effektiv innblanding av koagulantene i vannmassene. Doseringen av JKL og PAX XL60 ble gjort i de turbulente strømmingene ved innløpet til sandfanget (se Figur 14), noe som sannsynligvis ikke var optimalt, men det beste vi kunne få til uten å ty til større inngrep. Det burde sannsynligvis vært forsøkt dosering ved flere alternative steder. Doseringen av polymeren A-1820 ble gjort ca 15 m (ca 2 min) lenger ut i sandfanget der forholdene var noe mindre turbulente. Se Figur 14. Innblanding av polymer kan potensielt ha vært en vesentlig årsak til de dårlige resultatene. Som det går frem av figuren ble polymerløsningen dosert gjennom en slange fra kanten av sandfanget.

Avstanden fra flokkulandoserings til inngangen på silduken indikerte en flokkuleringstid på ca. 3 min, noe som samsvarer bra med flokkuleringstiden benyttet under jar-testene. Men i motsetning til i jar-testene, der det ble dannet meget store fine fnokker som lett lot seg separere på en sil med 300 µm karakteristisk porestørrelse, var fnokkene som ble dannet i fullskala mindre og tilsynelatende mer skjøre. Når JKL-dosen ble økt, og når pH ble senket til nær optimal pH for fellingen med JKL og PAX XL60, ble det dannet større fnokker. Men de var tilsynelatende ikke store og/eller sterke nok til å bli separert på silen.



Figur 14. Dosering av JKL, PAX XL60 og A-1820 i sandfanget.

Forholdene rett i forkant av silen var sannsynligvis heller ikke helt optimale. Vannet kom inn mot silduken i en vinkel på 27°, noe som skapte en del turbulens ved stor vannføring. Denne turbulensen kan helt klart ha bidratt til å ødelegge fnokkene rett før de kom inn til silen. Turbulensen førte også til problemer for driften av silen (se lenger nede).

En annen faktor som kan ha hatt betydning er vaskevann fra tilbakespylingen av finsilen, som ble kjørt inn rett i forkant av silen. Se Figur B1 i Vedlegg B. (Merk: Under den kjemiske behandlingen ble røret forlenget, slik at vannet ble ledet helt ned i vannmassene.) Dette var sannsynligvis en lite gunstig løsning, da dette både kan ha forstyrret fnokkdannelsen i en kritisk fase og var en dårlig utnyttelse av den potensielt positive effekten av å få økt slamkonsentrasjon inn på silduken.

3.3.6 Betydningen av flotasjon

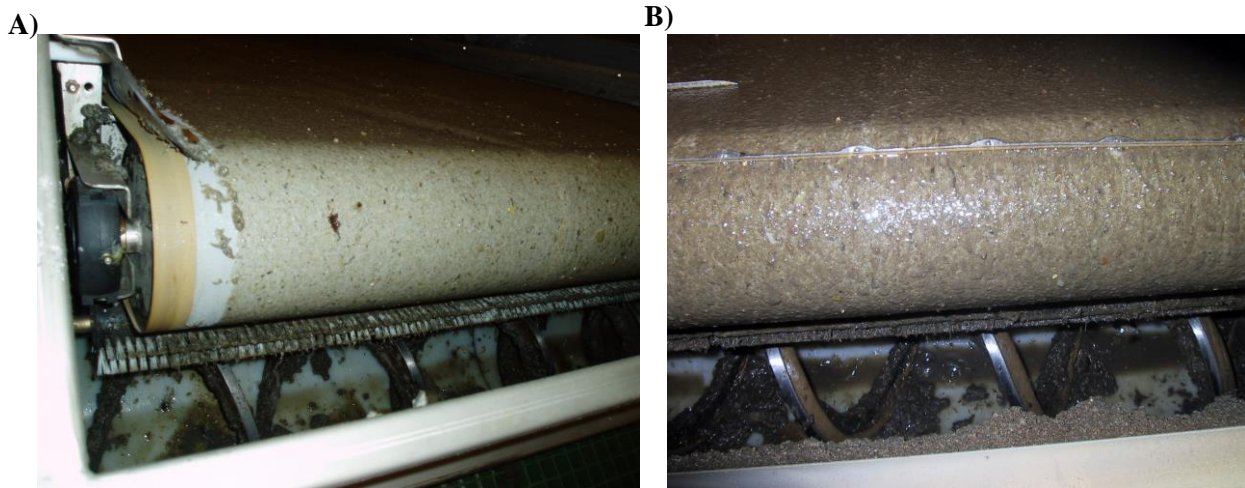
Det ble forsøkt å heve fnokkene til overflaten ved hjelp av en enkel trykkluftbasert flotasjon i området 2,0-5,5 meter før silduken. Dette viste seg ikke vellykket, da luftboblene ble for store og kom for raskt opp til overflaten (for stor kinetisk energi) og endte opp med å ødelegge fnokkene. Resultatet kan ha blitt et annet hadde man istedenfor brukt trykksatt vann i kombinasjon med trykkluft. Dette var det ikke økonomi (eller tid) til å teste ut i praksis.

3.4 Slamproduksjonen

Silgodsmengden ble målt hver dag under den kjemiske behandlingen, men det ble ikke tatt noen tørrstoffmålinger. SS-, KOF- og BOF₅-konsentrasjonene på rejeftvannet fra slampressen ble bare sporadisk målt og varierte i områdene 2030-6350 mg SS/l, 1350-9900 mg KOF-O₂/l og 1200-5130 mg BOF₅-O₂/l, og likeledes varierte rejeftvannsmengden i betydelig grad. Det ble ikke forsøkt å sette opp noen balanse for organisk stoff over anlegget.

3.5 Silen og dens kapasitet

Kapasiteten til silen var betydelig redusert under den kjemiske behandlingen sett i forhold til kapasiteten ved rent mekanisk behandling; fra 200-300 liter/s ved mekanisk kjøring til typisk 70-100 liter/s ved kjemisk behandling. Nedgangen i kapasitet så ut til å kunne være forårsaket av utfellingen av noe som så ut til å kunne være fett på silduken (ikke analysert), jfr bildene av duken under mekanisk og kjemisk behandling i Figur 15. I motsetning til hva som er normalt, ble Sobyefilteret ikke montert med varmtvannspyling. Dette ville sannsynligvis ha fjernet det meste av fettbelegget og bidratt til økt kapasitet under kjøring med kjemisk felling. Alternativt kunne filteret vært utstyrt med luftrensing, der kravet til luftkniven, som renser filterduken, ligger på 70 m³ per m knivlengde og 2-3 bar lufttrykk.



Figur 15. Toppen av silduken på Sobyefilteret ved (A) mekanisk og (B) kjemisk behandling.

Som nevnt kom vannet i en vinkel på 27° inn på silduken. Ved stor vannføring gikk vannet på tvers av silbåndet og skapte således turbulens foran sil og varierende press sidelengs. Dette påvirket stabiliteten til silbåndet, samt at effektiviteten ble redusert. Rent visuelt førte dette til at silduken hadde en tendens til å krølle seg (se bilde i Figur 16), og ved ett tilfelle revnet det. Soby Miljøfilter as gjorde flere forskjellige tiltak for å bedre strømningsforholdene før silen uten at dette hadde en nevneverdig effekt. Se Tabell 3.



Figur 16. Silduken med "krøll".

Tabell 3. Tiltak gjort av Soby Miljøfilter as i løpet av forsøksperioden for å bedre stabiliteten til silbåndet. Hentet fra brev til Bergen kommune datert 08.11.04.

Tiltak i perioden	Effekt	Når	Ansvarlig	Ok
Montert medbringere silduk	Økt effekt ved store slammengder.	19.08	LAH	
Montert ledeskjerm foran sil	Ikke målbar effekt.	13.08	LAH	
Montert ledeplater i kanal	Målbar effekt ved små vannmengder	27.09	LAH	
Forlenget/forhøyet ledeplater	Økt effekt ved små vannmengder	07.09	LAH	
Skiftet ny type tetninger	Bedre press mot silduk	04.10	LAH	
Effektivisert rengjøring sil	Større effekt-rensing/kapasitet ?	20.10	LAH	

Silen var montert noe brattere i kanalen enn det som er vanlig; 40-41° mot normalt ca 35°. Soby Miljøfilter as monterte medbringere på silduken for å hindre slampartikler å trille av duken ved store slammengder, noe som til en viss grad så ut til å hjelpe.

Silbåndhastigheten ble redusert fra 50 Hz til 35 Hz når man gikk over fra mekanisk til kjemisk behandling, men hastigheten kunne med fordel ha vært skrudd ned noe mer.

4. Forslag til forbedringer av fellingsprosessen

En utbedring av dagens prosess bør omfatte flere punkter:

1. Innblandingen av polymer bør effektiviseres, f.eks ved innpumping i bunnen av sandfanget sammen med luftinnblåsing, eller tilsette fortynningsvann direkte til doseringsslangen for polymer, for å sikre bedre spredning i hele vannsøylen.
2. Doseringen av JKL/PAX XL60 kan bedres ved å inkludere den organiske belastningen (i tillegg til vannføringen) som en styringsparameter.
3. Det bør sørges for redusert turbulens under flokkuleringen, ved bl.a å flytte tilbakeføringen av filterspylevannet fra rett i forkant av silen til i forkant av flokkulantdoseringen. Øvrige tiltak for å sikre lite turbulens rett før silduken vil sannsynligvis kreve noe større inngrep.
4. Det bør også forsøkes etablert flotasjon i forkant av silen for å gi en tykkere slamkake inn på silduken, noe som bør skje ved å kombinere trykksatt vann og trykkluft.
5. Det bør monteres varmtvannspyling eller luftkniv på Sobyefilteret for å fjerne tilsynelatende utfelt fett på silduken og dermed øke kapasiteten på silen.
6. Det vil kunne være fornuftig å gjøre silduken mindre bratt og å redusere rotorhastigheten.

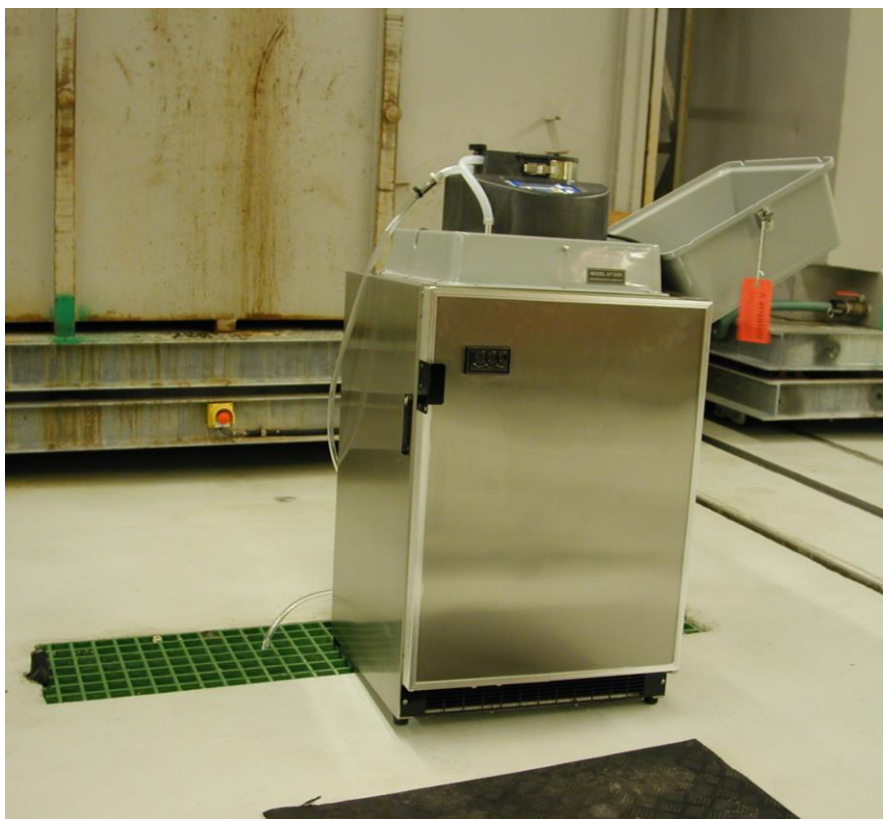
Vedlegg B. Bilder fra anlegget



Figur B1. Tilbakeføring av spylevann fra vasking av silduk til kanal rett før sil. Merk: Under den kjemiske behandlingen ble røret forlenget, slik at vannet da gikk helt ned i vannmassene.



Figur B2. Innløpsprøvetaker



Figur B3. Utløpsprøvetaker