

PRIMÆRRENS prosjekt 8: Fullskala verifisering av kriterier for dimensjonering, utforming og drift av finsilanlegg

Aquateam - Norsk vannteknologisk senter A/S

Rapport nr: 04-042

Prosjekt nr: 04045

Prosjektleder: Dr. ing. Bjørn Rusten

Medarbeidere: Kjemiingeniør Arne Lundar

aquateam RAPPORT

Postboks 6875 Rodeløkka
0504 Oslo
Telefon: 22 35 81 00
Telefaks: 22 35 81 10

Rapportnummer: 04-042
Tilgjengelighet: Begrenset

Rapportens tittel	Dato
PRIMÆRRENS prosjekt 8: Fullskala verifisering av kriterier for dimensjonering, utforming og drift av finsilanlegg. (Foreløpig utgave)	2004-12-02
	Antall sider og bilag
	58
Forfatter(e) sign.	Ansv. sign.
Bjørn Rusten	
Arne Lundar	Bjarne Paulsrud
	Prosjektnummer
	O-04045

Oppdragsgiver Statens forurensningstilsyn	Oppdr.givers ref. Ingunn Lindeman
--	--------------------------------------

Sammendrag For å etterprøve og verifisere de kriteriene for finsiling som ble etablert i et tidligere prosjekt, har det blitt gjennomført en sammenligning av benkeskala tester og fullskalare-sultater på 10 finsilanlegg. Forsøkene er utført på anlegg i Namsos, Bergen, Stavanger-regionen og Tromsø-regionen, med sildukåpninger fra 80 til 800 mikron. En totalvurdering av forsøkene viste godt samsvar mellom resultater fra benkeskala forsøk og resultater fra fullskala drift. Overensstemmelsen mellom benkeskala- og fullskalare-resultater var mer enn god nok til å rettferdiggjøre bruk av benkeskala forsøk som et verktøy for å få et bedre dimensjoneringsgrunnlag for nye finsilanlegg, samt for å optimalisere driften av eksisterende finsilanlegg. Det er viktig å få kjørt benkeskala forsøk under forskjellige forhold, som f. eks. høy/lav vannføring og høy/lav konsentrasjon på avløpsvannet. Dersom anlegget har industritilknytning av noe betydning, er det også viktig å få kartlagt industritilførselen og få kjørt tester henholdsvis med og uten industritilførsel. Fullskalaforsøkene bekreftet at renseeffektene kan økes ved å kjøre anleggene med så lave silingshastigheter som mulig. Det vil si at på anlegg med flere siler i parallell bør alle silene alltid være i drift, dersom målsettingen er å oppnå så høye renseeffekter som mulig. Våre forsøk med fullskalaanlegg omfattet silingshastigheter fra 25 til 308 m³/m² dukareal/h. Den høyeste silingshastigheten hvor det ble oppnådd over 50 % fjerning av SS var på 122 m³/m² dukareal/h. Fordi det vil være store variasjoner i avløpsvannets sammensetning, også på det enkelte renseanlegg, må det legges inn en sikkerhetsfaktor i dimensjoneringen. Testene på de 10 anleggene indikerer at en sikkerhetsfaktor på 2 vil være et godt utgangspunkt. Forsøkene har ikke vært omfattende nok til å kunne anbefale en lavere sikkerhetsfaktor.

Stikkord - norsk

Stikkord - engelsk

Primærrensing	Primary treatment
Finsiler	Fine mesh sieves
Suspendert stoff	Suspended solids
Organisk stoff	Organic matter

Fullskala verifisering	Full scale verification
------------------------	-------------------------

Innholdsfortegnelse

1. Innledning.....	4
2. Forsøksopplegg	5
3. Tester i Namsos	6
3.1. Bangsund renseanlegg	6
3.1.1. Karakterisering av avløpsvann	6
3.1.2. Benkeskala tester	6
3.1.3. Fullskala resultater.....	9
3.2. Tiendeholmen renseanlegg	9
3.2.1. Karakterisering av avløpsvann	9
3.2.2. Benkeskala tester	11
3.2.3. Fullskala resultater.....	12
3.3. Guldholmstranda renseanlegg.....	15
3.3.1. Karakterisering av avløpsvann	15
3.3.2. Benkeskala tester	15
3.3.3. Fullskala resultater.....	16
4. Tester i Bergen.....	18
4.1. Holen renseanlegg.....	18
4.1.1. Karakterisering av avløpsvann	18
4.1.2. Benkeskala tester	18
4.1.3. Fullskala resultater.....	20
4.2. Kvernevik renseanlegg	22
4.2.1. Karakterisering av avløpsvann	22
4.2.2. Benkeskala tester	22
4.2.3. Fullskala resultater.....	25
5. Tester i Stavanger-regionen.....	27
5.1. Bore renseanlegg.....	27
5.1.1. Karakterisering av avløpsvann	27
5.1.2. Benkeskala tester	27
5.1.3. Fullskala resultater.....	30
5.2. Sirevåg renseanlegg	30
5.2.1. Karakterisering av avløpsvann	32
5.2.2. Benkeskala tester	33
5.2.3. Fullskala resultater.....	33
6. Tester i Tromsø-regionen.....	38
6.1. Skjærvika renseanlegg	38
6.1.1. Karakterisering av avløpsvann	38
6.1.2. Benkeskala tester	38
6.1.3. Fullskala resultater.....	41
6.2. Selnes renseanlegg	43
6.2.1. Karakterisering av avløpsvann	43
6.2.2. Benkeskala tester	43
6.2.3. Fullskala resultater.....	46
6.3. Breivika renseanlegg	48
6.3.1. Karakterisering av avløpsvann	48
6.3.2. Benkeskala tester	49
6.3.3. Fullskala resultater.....	49
7. Samlet vurdering av resultatene	56
8. Referanser	58

1. Innledning

I et tidligere prosjekt (Rusten og Lundar, 2004) har det blitt utviklet prosedyrer og benkeskala utstyr for testing av avløpsvann med tanke på å skaffe et riktig grunnlag for dimensjonering av finsilanlegg for primærrensing. Det ble etablert en del kriterier for hvordan finsilanlegg bør dimensjoneres og drives for å oppnå høyest mulig renseeffekt.

Kort fortalt viste det tidligere prosjektet at renseeffekter for SS og organisk stoff kunne økes betydelig ved å kjøre silene med en filtermatte på silduken. Dette betyr at vi ønsker lavest mulig hydraulisk belastning på silene og at sildukene ikke skal rengjøres oftere enn høyst nødvendig. For siler med bevegelige (roterende) silduker betyr dette at sildukene bør stå i ro, eller bevege seg så sakte som mulig, inntil trykktapet over sildukene er slik at man må fjerne mer slam fra sildukene for å opprettholde nødvendig hydraulisk kapasitet.

Dersom mindre enn 20 % av avløpsvannets SS består av partikler større enn 350 mikron og FCOD/TCOD-forholdet er $>0,4$ vil det bli meget vanskelig å klare kravene til primærrensing ved bruk av finsil. Innholdet av store partikler vil være for lavt til å få etablert en skikkelig filtermatte på silduken, hvilket vil være nødvendig for å oppnå høye nok renseeffekter for SS og organisk stoff.

For å oppnå høyest mulige renseeffekter kan man forenklet si at silanlegg skal drives slik at de behandler minst mulig vann over lengst mulig tid. I praksis betyr dette at alle silanlegg bør ha frekvensstyrte innløpsspumper, slik at man unngår av/på drift. På anlegg med flere siler i parallell bør alle silene være i drift samtidig, selv ved små vannmengder. Dermed kan silene drives med en tykk filtermatte og oppnå høye renseeffekter.

Som en videreføring av det tidligere prosjektet har det i dette prosjektet blitt gjennomført tester på fullskala renseanlegg, for å etterprøve og verifisere de kriteriene som ble etablert på grunnlag av tidligere benkeskala tester. Det er utført tester på renseanlegg i Namsos, Bergen, Stavanger-regionen og Tromsø-regionen. Resultatene fra disse testene finnes i herværende rapport.

2. Forsøksopplegg

På hvert renseanlegg ble det gjennomført benkeskala forsøk med utrustning utviklet av Aquateam. Forsøkene ble gjennomført etter prosedyrene for den såkalte "stikkprøvetesten". Disse prosedyrene er beskrevet i en tidligere rapport (Rusten og Lundar, 2004) og vil ikke bli gjentatt her. Samtidig ble det tatt stikkprøver foran og etter fullskala siler på renseanleggene. Hensikten var å sammenligne resultatene fra benkeskala forsøk med resultatene fra fullskala. I en slik sammenligning vil vannføring, trykktap over silduk og sildukens rengjøring (dukshastighet, rotasjonshastighet, spyling, osv.) være viktige parametere for fullskalaanleggene. På noen anlegg var det instrumenterings- og styringsutrustning som gjorde det enkelt å få tak i disse driftsparametrene, mens det på andre anlegg var vanskelig eller helt umulig å få tallfestet slike driftsparametere.

Alle vannprøvene ble analysert med hensyn på total COD (TCOD) og suspendert stoff (SS). I tillegg ble flere prøver av ubehandlet avløpsvann analysert med hensyn på filtrert COD (FCOD). Analysene ble utført umiddelbart etter prøvetaking. COD ble målt med Dr. Lange teknologi. Glassfiberfiltre, type Whatman GF/C, ble brukt til all filtrering og til måling av SS. Fra to av renseanleggene ble det tatt noen få BOD-analyser.

3. Tester i Namsos

3.1. Bangsund renseanlegg

Bangsund renseanlegg er bygd med to finsiler i serie, med et flokkuleringsbasseng mellom silene. For de resultatene som presenteres her ble prøvene tatt i innløp og utløp av sil 1. Denne silen var av type Salsnes Filter SF 2000, med 350 mikron lysåpning i silduken. Nedykket silareal var på maksimalt 0,5 m².

3.1.1. Karakterisering av avløpsvann

Avløpsvannet på renseanlegget var meget tynt, på grunn av unormalt mye nedbør. Tabell 1 viser konsentrasjoner for avløpsvann i batch brukt til benkeskala tester og for innkommende avløpsvann i prøveseriene i fullskalaanlegget.

Tabell 1. Konsentrasjoner av avløpsvann ved testing på Bangsund renseanlegg.

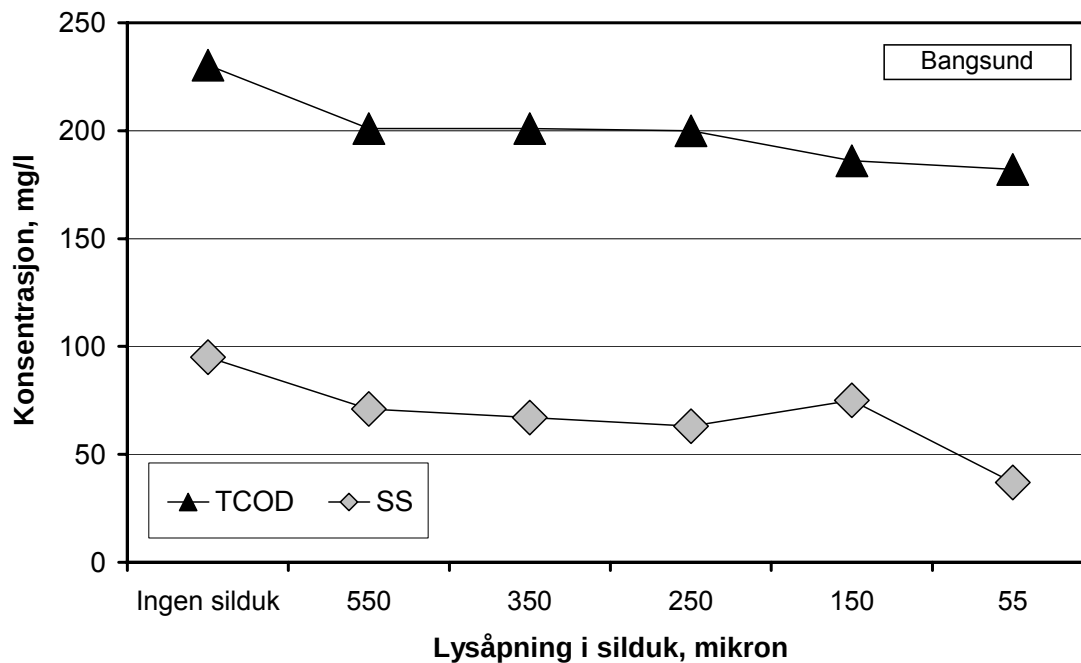
Prøveserie/ batch til benkeskala forsøk	Tid for uttak av vannprøve	Konsentrasjoner, mg/L			FCOD/TCOD- forhold
		SS	FCOD	TCOD	
Batch	11:15	95	95	230	0,41
1	12:04	131	154	336	0,46
2	14:15	50	89	194	0,46
3	14:45	140	224	420	0,53
4	15:20	104	161	365	0,44
5	17:40	190	161	388	0,41
6	18:25	222	164	588	0,28
7	18:40	288	211	539	0,39

3.1.2. Benkeskala tester

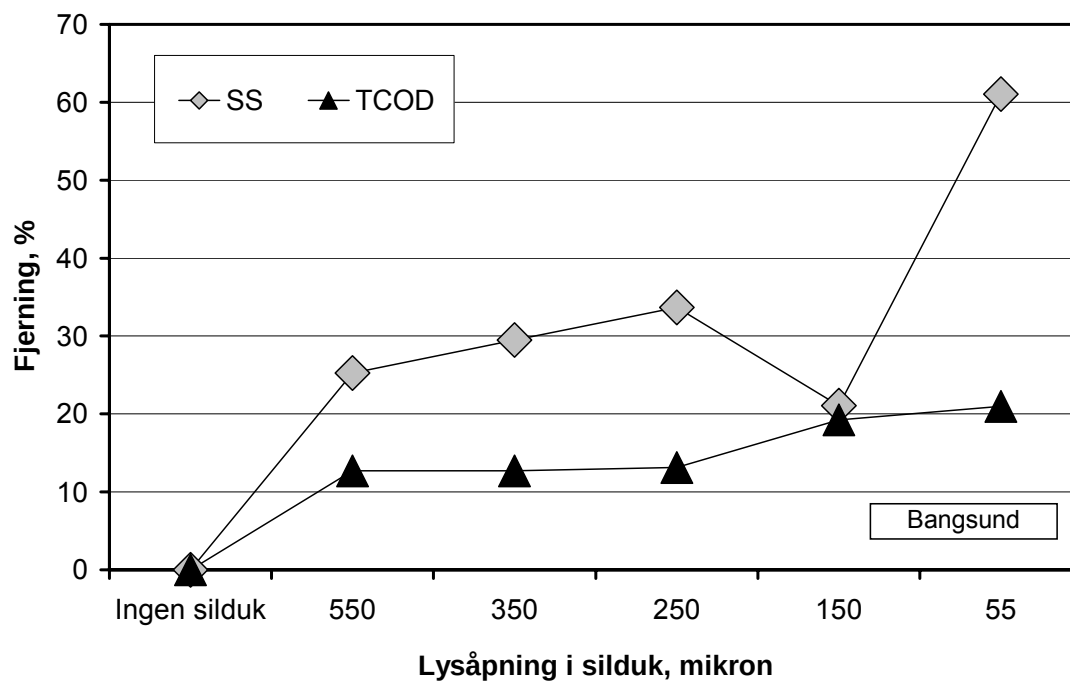
Benkeskala tester ble kjørt med en batch avløpsvann med konsentrasjoner som vist i tabell 1. Konsentrasjoner og renseeffekter for SS og TCOD, etter siling gjennom rene silduker med forskjellige lysåpninger, er vist i figurene 1 og 2. Uten filtermatte og med 350 mikron silduk kan man med dette avløpsvannet bare forvente snaut 30 % fjerning av SS og 10-15 % fjerning av TCOD. På grunn av usikkerheten i analysene antas SS etter siling gjennom 150 mikron duk å ha blitt noe for høy, mens SS etter siling gjennom 55 mikron duk antas å ha blitt noe for lav. Med de lave SS-konsentrasjonene i dette avløpsvannet vil en usikkerhet på 10-15 mg SS/l få store utslag på beregnede renseeffekter.

Figurene 3 og 4 viser renseeffekter for henholdsvis SS og TCOD, etter at det ble etablert en filtermatte på sildukene. Renseeffektene er vist som funksjon av silingshastighet. For å klare 50 % fjerning av SS måtte silingshastigheten være mindre enn 100 m³/m² dukareal/h.

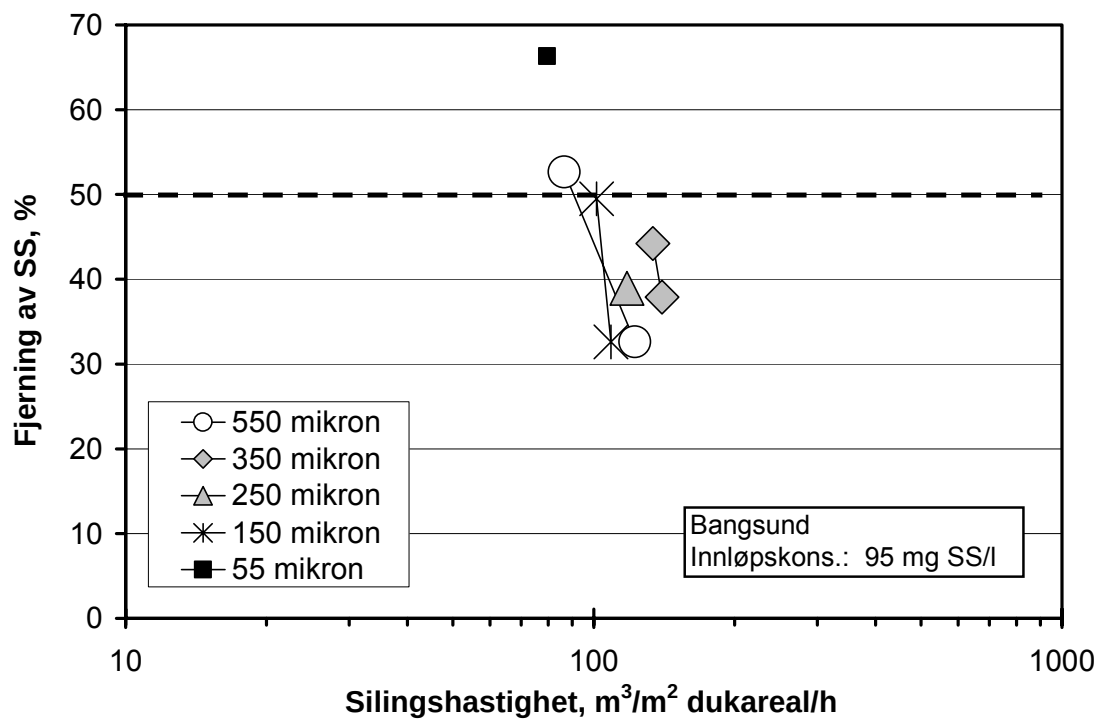
Fjerningen av TCOD var hele tiden relativt lav. Gjennomsnittlig renseeffekt for datapunktene i figur 4 var 22 % ved en gjennomsnittlig silingshastighet på 115 m³/m² dukareal/h.



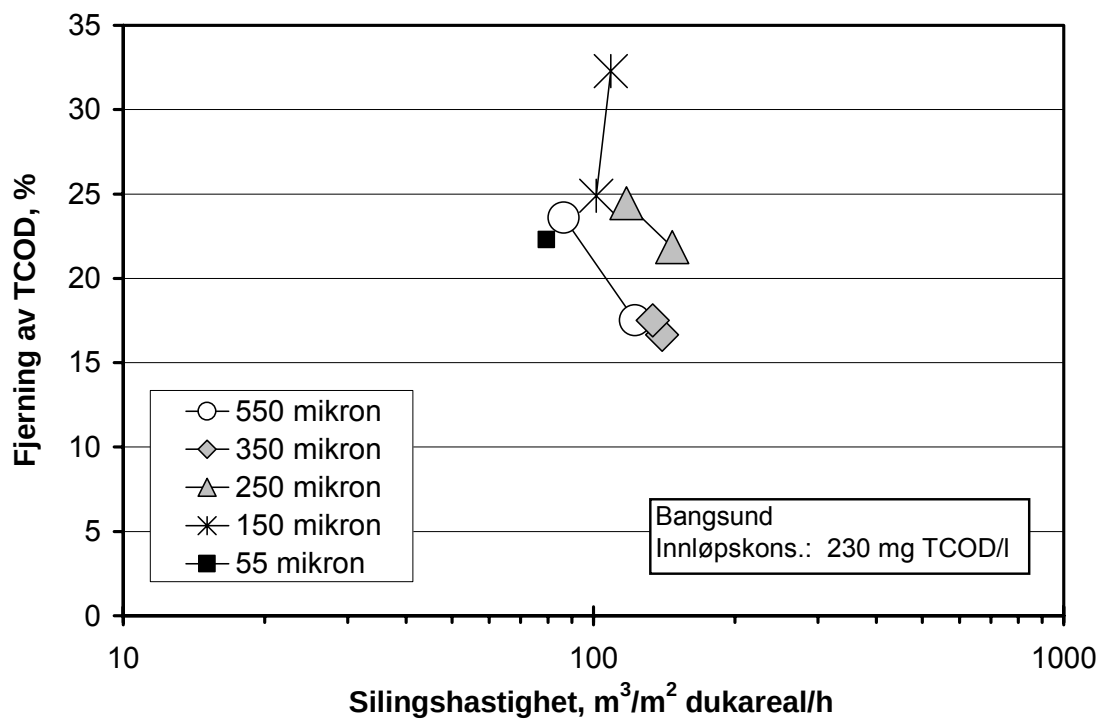
Figur 1. Konsentrasjoner av SS og TCOD for ubehandlet avløpsvann og etter passering gjennom silduker med angitt lysåpning. Gjelder avløpsvann fra Bangsund rensesanlegg, målt med rene silduker, uten filtermatte.



Figur 2. Fjerning av SS og TCOD etter passering gjennom silduker med angitt lysåpning. Gjelder avløpsvann fra Bangsund rensesanlegg, målt med rene silduker, uten filtermatte.



Figur 3. Fjerning av SS som funksjon av silingshastighet for avløpsvann fra Bangsund renseanlegg.



Figur 4. Fjerning av TCOD som funksjon av silingshastighet for avløpsvann fra Bangsund renseanlegg.

3.1.3. Fullskala resultater

Resultatene fra 7 serier med stikkprøver inn og ut av den første silen på Bangsund renseanlegg er vist i figur 5. Som det framgår av tabell 1 endret både konsentrasjoner og FCOD/TCOD-forhold seg til dels betydelig i disse prøveseriene, sammenlignet med den batchen med avløpsvann som ble brukt til benkeskalaforsøkene. Ved første øyekast kan derfor dataene i figur 5 virke noe forvirrende.

Basert på de kriteriene til primærrensing med finsiler som ble etablert basert på benkeskala forsøk (Rusten og Lundar, 2004), hadde prøveseriene 1 til 5 så høye FCOD/TCOD-forhold at det vil være vanskelig å klare kravene til primærrensing (SFT, 2003). For samtlige prøveserier var filtermatten på silduken relativt tynn. Trykktapet over silduken varierte fra 2 til 7 cm, hvilket indikerer at filtermatten ved de viste silingshastighetene i figur 5 b var betydelig tynnere enn filtermatten ved tilsvarende silingshastigheter i forsøkene i benkeskala. Silingshastighetene i benkeskala måles som kjent ved et midlere trykktap over silduken på 25 cm. Resultatene indikerer derfor at renseeffektene i fullskalaanlegget kan økes ved å kjøre silene med en tykkere filtermatte. Dette kan gjøres ved å endre settpunktene for når silduken skal bevege seg og hvor raskt den skal bevege seg.

Ellers bekrefter fullskalaresultatene at renseeffektene øker når silingshastigheten reduseres. Prøveserie 3 hadde det ugunstigste FCOD/TCOD-forholdet på 0,53, men også en lav silingshastighet. På grunn av den lave silingshastigheten ble det oppnådd 52 % fjerning av SS og 20 % fjerning av TCOD. Den aller laveste silingshastigheten var for prøveserie 6, som også hadde et meget gunstig FCOD/TCOD-forhold på 0,28. For denne prøveserien ble det målt 63 % fjerning av SS og 57 % fjerning av TCOD.

Prøveserie 5 hadde den høyeste silingshastigheten av alle seriene, og klarte ikke primærrensekravet til fjerning av SS, selv om FCOD/TCOD-forholdet var omtrent det samme som for prøveserie 7. Prøveserie 7 oppnådde 59 % fjerning av SS.

Av de 7 prøveseriene klarte ikke prøveseriene 1 og 5 kravene til primærrensing. Disse to prøveseriene hadde de to høyeste silingshastighetene. Prøveseriene 2 og 4 klarte heller ikke 50 % fjerning av SS, men primærrensekravet for SS ble oppfylt ved at utløpskonsentrasjonen var under 60 mg SS/l.

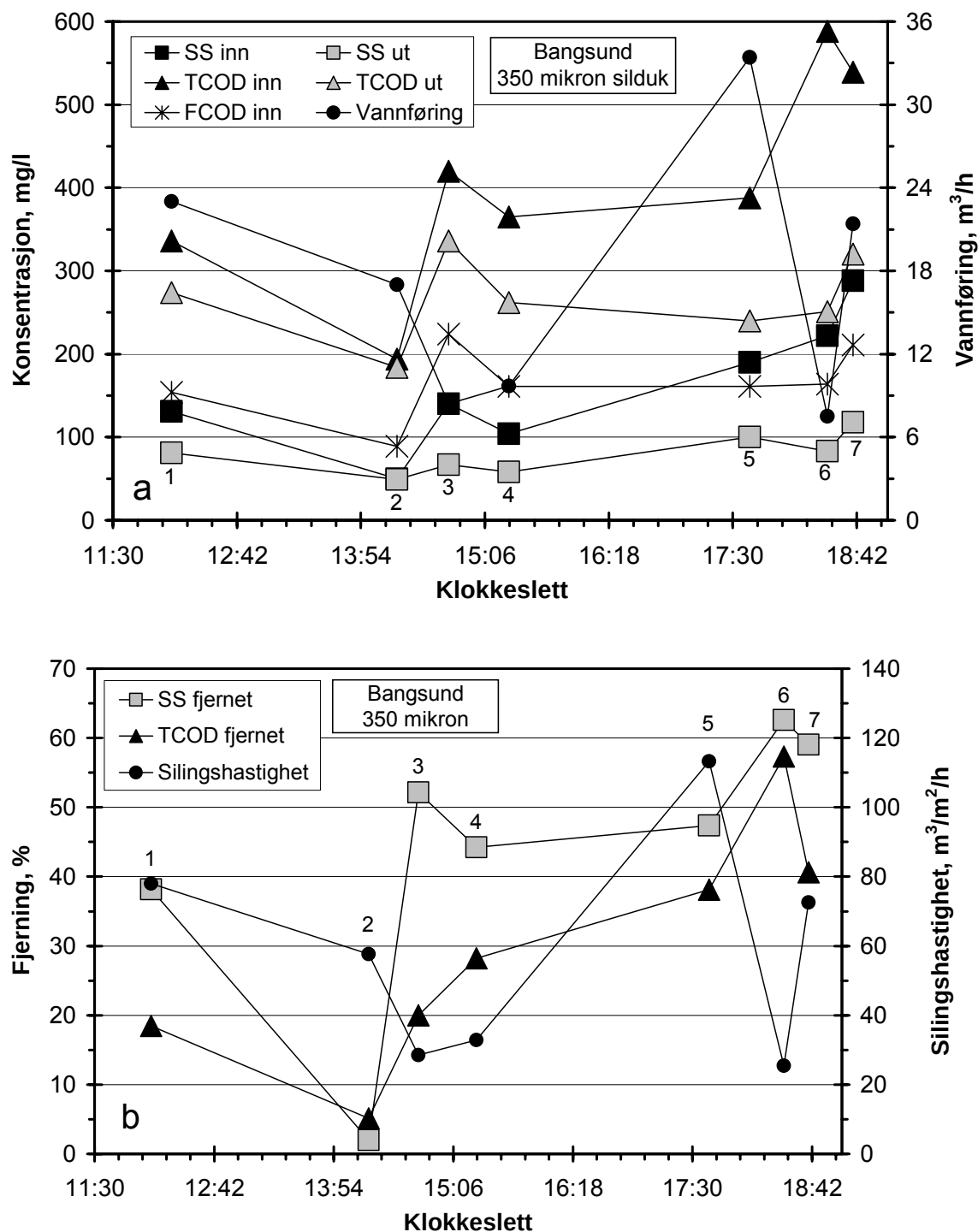
3.2. Tiendeholmen renseanlegg

Tiendeholmen renseanlegg er bygd med tre siler i parallell av typen Salsnes Filter SF 5000 med 350 mikron silduker. Disse silene har et maksimalt neddykket areal på 2,2 m² pr. sil. Anlegget har forbehandling med 6 mm trapperist og luftet sandfang. Stikkprøvene som presenteres her ble tatt fra utløp sandfang og fra utløp sil 1. Under forsøket ble den ene silen satt ut av drift og de to andre kjørt i auto. Fordi det ikke er individuell måling av vannføringen over silene, har vi vært nødt til å anta at det har gått like mye vann gjennom de to silene når de kjøres i auto. Anleggets PLS viste at øyeblikksforskjellen i trykktap over de to silene aldri var mer enn 1 til 2 cm.

3.2.1. Karakterisering av avløpsvann

Renseanlegget mottok mye avløpsvann på grunn av nedbør. Likevel var avløpsvannet relativt konsentrert fordi det var dominert av bidrag fra næringsmiddelindustri (meieri + konserver). For alle prøveserier var avløpsvannet sterkt farget (gult, brunt, grønt) og det var fullt av fettperler. Tabell 2 viser konsentrasjoner for avløpsvann i batch brukt til benkeskala tester og for innkommende avløpsvann i prøveseriene i fullskalaanlegget. Konsentrasjonene endret

seg relativt raskt. Uttak av vann til batch og prøve for serie 1 ble i praksis tatt samtidig, men fordi det nødvendigvis tar litt tid å samle opp 120 l vann til batchen viser tabell 2 at konsentrasjonene i batchen var noe høyere enn for innløpsprøven i serie 1. For de etterfølgende prøveseriene var det også en betydelig reduksjon i innløpskonsentrasjonen av SS.



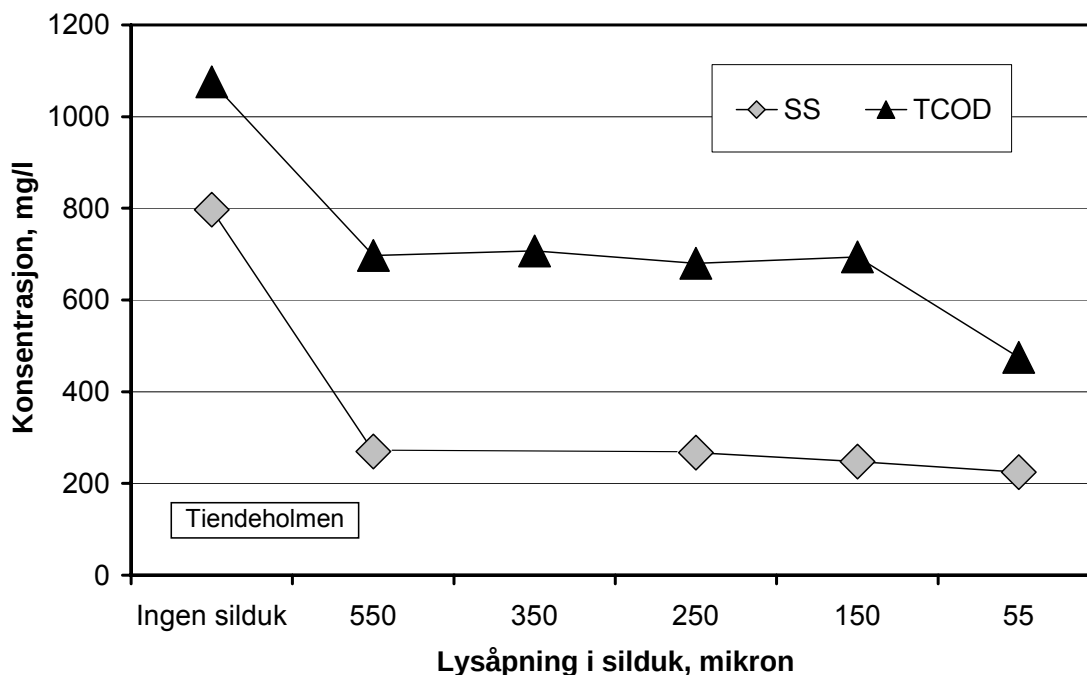
Figur 5. Resultater fra fullskaletester på Bangsund renseanlegg. Tallverdiene i figuren viser til prøveserie i tabell 1. Salsnes Filter SF 2000 sil med 350 mikron silduk.

Tabell 2. Konsentrasjoner av avløpsvann ved testing på Tiendeholmen renseanlegg.

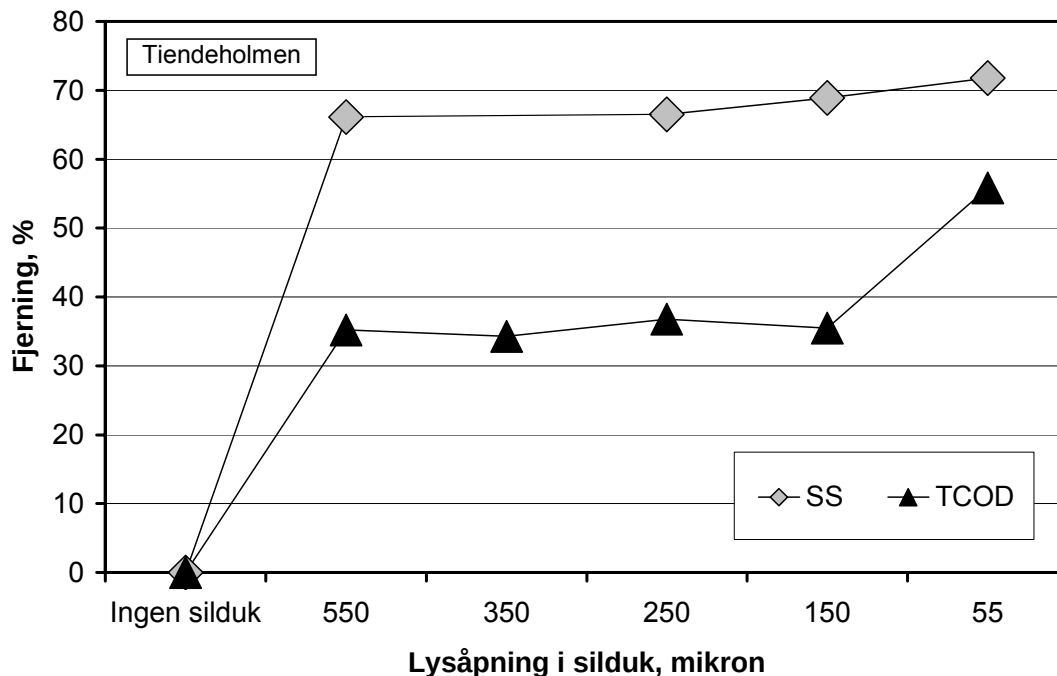
Prøveserie/ batch til benkeskala forsøk	Tid for uttak av vannprøve	Konsentrasjoner, mg/L			FCOD/TCOD- forhold
		SS	FCOD	TCOD	
Batch	15:15	797	310	1076	0,29
1	15:15	603	293	601	0,31
2	15:55	465	295	608	0,32
3	16:20	393	222	568	0,23
4	16:52	331	181	454	0,24
5	17:07	497	205	479	0,23
6	17:30	354	235	524	0,30

3.2.2. Benkeskala tester

Benkeskala forsøk ved Tiendeholmen renseanlegg ble kjørt med en batch avløpsvann med konsentrasjoner som vist i tabell 2. Konsentrasjoner og renseeffekter for SS og TCOD, etter siling gjennom rene silduker med forskjellige lysåpninger, er vist i henholdsvis figur 6 og 7. Uten filtermatte ble det med denne batchen avløpsvann målt 65 til 70 % fjerning av SS og ca. 35 % fjerning av TCOD med lysåpninger i sildukene fra 550 til 150 mikron.



Figur 6. Konsentrasjoner av SS og TCOD for ubehandlet avløpsvann og etter passering gjennom silduker med angitt lysåpning. Gjelder avløpsvann fra Tiendeholmen renseanlegg, målt med rene silduker, uten filtermatte.



Figur 7. Fjerning av SS og TCOD etter passering gjennom silduker med angitt lysåpning. Gjelder avløpsvann fra Tiendeholmen renseanlegg, målt med rene silduker, uten filtermatte.

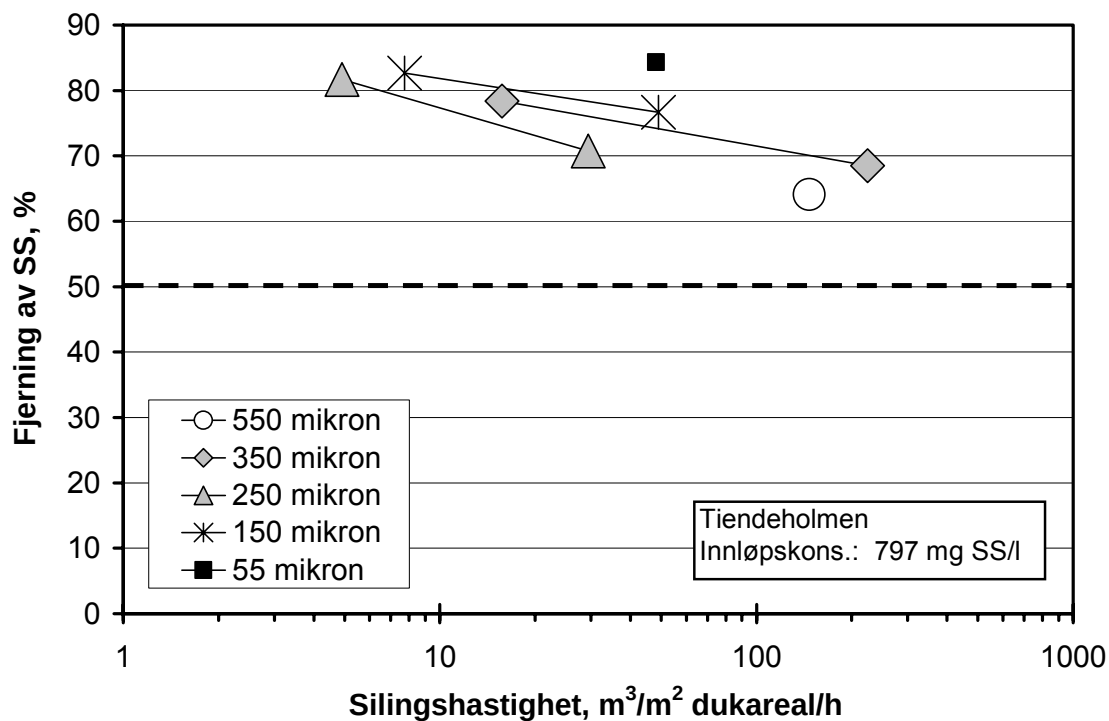
Figurene 8 og 9 viser renseeffekter for henholdsvis SS og TCOD, etter at det ble etablert en filtermatte på sildukene. Renseeffektene med hensyn på SS var hele tiden meget høye. Også for TCOD ble det hele tiden målt høye renseeffekter. Opp til en silingshastighet på 50 m³/m² dukareal/h var renseeffekten over 40 % for TCOD.

3.2.3. Fullskala resultater

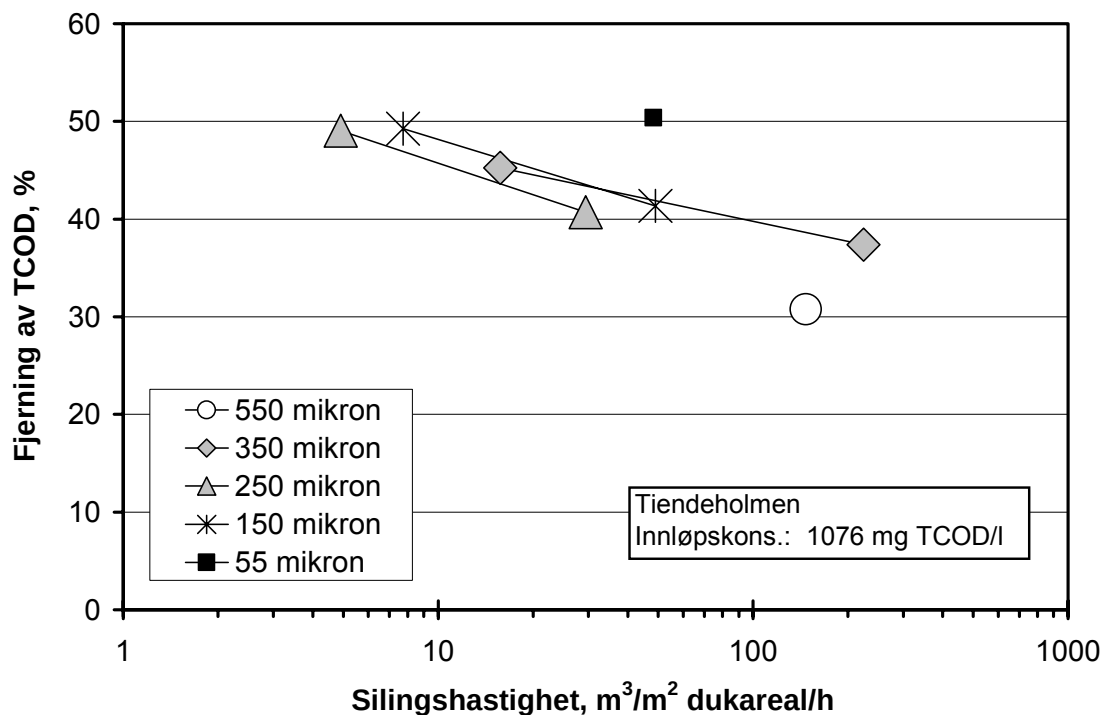
Resultater fra 6 serier med stikkprøver inn til og ut fra sil 1 på Tiendeholmen renseanlegg er vist i figur 10. Vannføringen var stabilt høy, med silingshastigheter fra 70 til 85 m³/m² dukareal/h. Trykktapet over silduken varierte fra 13 til 22 cm. FCOD/TCOD-forhold fra 0,23 til 0,32 indikerte at avløpsvannet for alle prøveseriene var velegnet til fjerning av KOF ved siling. For prøveserie 1 var det relativt høye innløpskonsentrasjoner av både SS og TCOD. Renseeffekter på henholdsvis 68 % for SS og 37 % for TCOD, ved en silingshastighet på snaut 80 m³/m² dukareal/h, var helt i overensstemmelse med resultatene fra testen i benkeskala.

For de neste prøveseriene endret imidlertid avløpsvannet karakter, ved at innløpskonsentrasjonen av SS ble merkbart lavere. Ingen av prøveseriene fra 2 til 6 klarte primærrensekrevet om 50 % fjerning av SS. Fjerningen av TCOD var imidlertid hele tiden høy, med renseeffekter fra 33 til 46 %. Ved silingshastigheter på ca. 80 m³/m² dukareal/h var dette i full overensstemmelse med resultatene vist i figur 9 for forsøkene i benkeskala. Det unormale var imidlertid at renseeffektene for TCOD var høyere enn renseeffektene for SS for prøveseriene fra 3 til 6. Dette er en umulighet dersom det er en lik partikkelstørrelsesfordeling av totalt partikulært materiale og av organisk partikulært materiale i avløpsvannet. Det er derfor nærliggende å tro at det er en serie med analysefeil med hensyn på SS. Resultatene vist i figur 10 er imidlertid mulige dersom det i avløpsvannet er en overvekt av store partikler be-

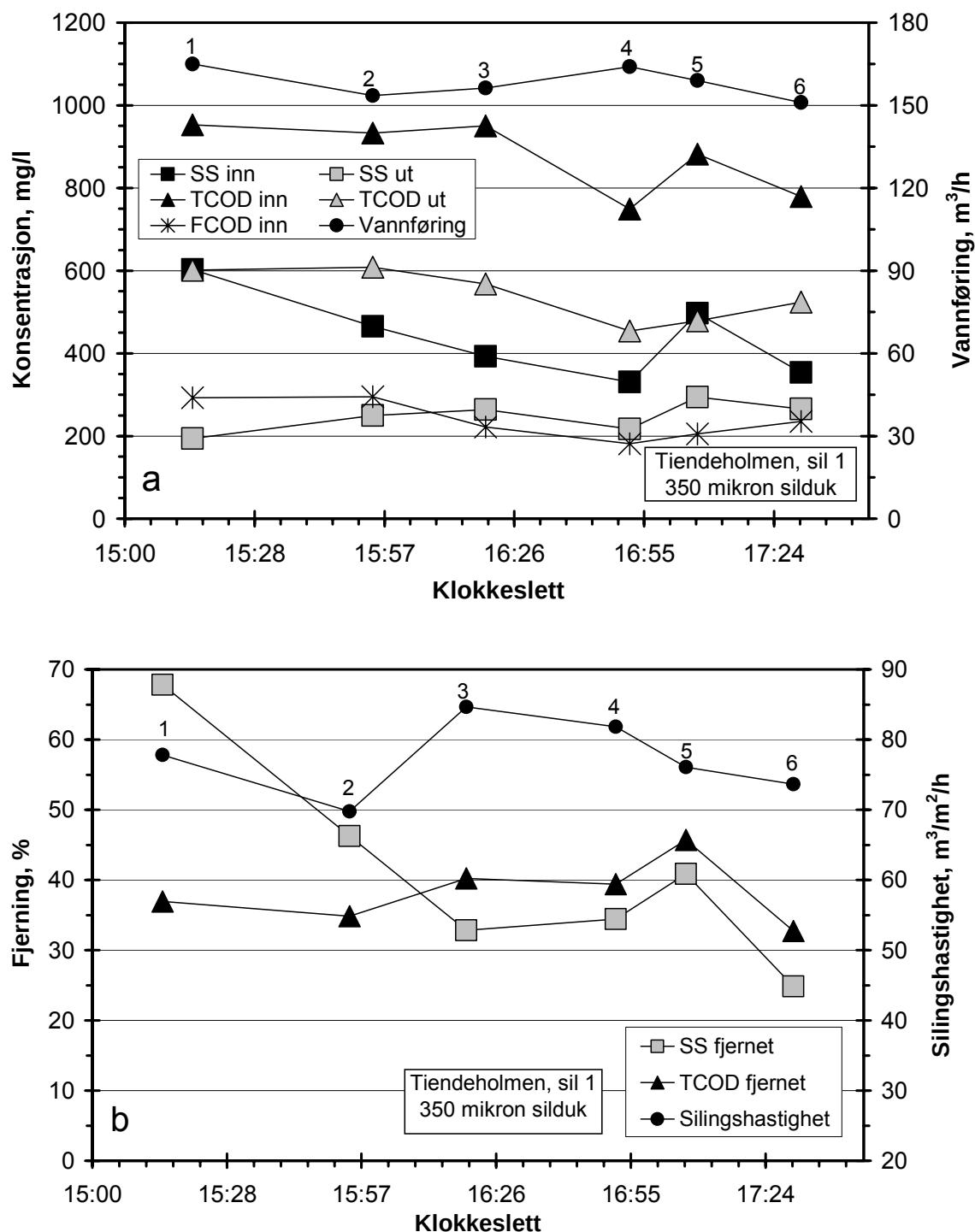
stående av fettperler, og en overvekt av små, inerte partikler. Grunnen til dette er at fett er meget energirikt og vil ha et høyt innhold av partikulært COD (PCOD) pr. mengde SS.



Figur 8. Fjerning av SS som funksjon av silingshastighet for avløpsvann fra Tiendeholmen renseanlegg.



Figur 9. Fjerning av TCOD som funksjon av silingshastighet for avløpsvann fra Tiendeholmen renseanlegg.



Figur 10. Resultater fra fullskalertester med sil 1 på Tiendeholmen renseanlegg. Tallverdiene i figuren viser til prøveserie i tabell 2. Salsnes Filter SF 5000 sil med 350 mikron silduk.

En nærmere analyse av prøveseriene fra 3 til 6 viser at ubehandlet avløpsvann inneholdt gjennomsnittlig 1,6 g PCOD/g SS, hvilket er noe høyt men ikke unormalt. Til sammenligning var innholdet for prøveserie 1 på 1,1 g PCOD/g SS. For prøveseriene 3 til 6 var gjennomsnittlig innhold i silt avløpsvann på 1,1 g PCOD/g SS, mens gjennomsnittlig innhold i fraskilt

slam var på 2,6 g PCOD/g SS. Dette viser at fraskilt slam i prøveseriene 3 til 6 i hovedsak bestod av fett, og at det primært var fett som ble fjernet i fullskalanlegget, mens en overvekt av uorganisk partikulært materiale gikk gjennom silduken.

3.3. Guldholmstranda renseanlegg

Guldholmstranda renseanlegg har én sil av typen Salsnes Filter SF 2000, med 350 mikron silduk og et neddykket silareal på maksimalt 0,5 m². Anlegget har ikke forbehandling. Avløpsvannet pumpes inn på silen. Stikkprøvene inn og ut fra anlegget ble tatt med fastmonterte prøvetakere som tok prøver fra henholdsvis innløpsrør og utløpsrør. Batchen med avløpsvann til benkeskala testing ble tatt ut med bøtte fra innløpskassa på silen.

3.3.1. Karakterisering av avløpsvann

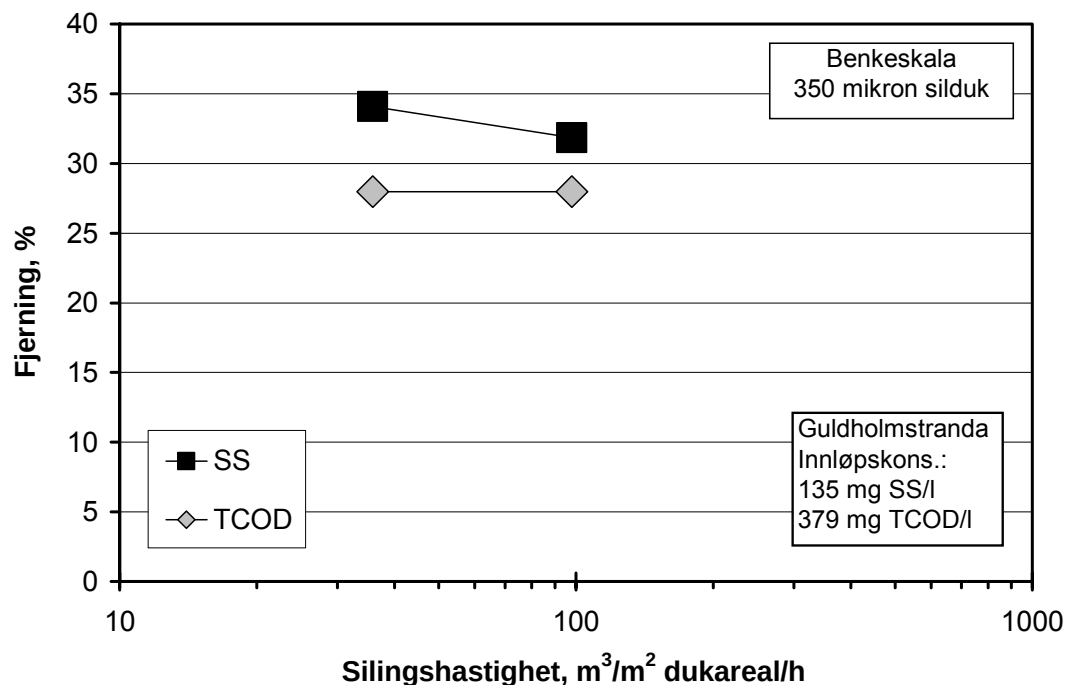
Renseanlegget mottok mye avløpsvann på grunn av nedbør. Tabell 3 viser at det var store og raske variasjoner i avløpsvannets sammensetning. Batchen med avløpsvann og prøveserie 4 i fullskala hadde de høyeste FCOD/TCOD-forholdene og de laveste konsentrasjonene. Prøveseriene 1 og 3 hadde meget lave FCOD/TCOD-forhold. Batchen med avløpsvann ble tatt ut mellom prøveserie 1 og 2, og det er påfallende hvor store variasjoner i konsentrasjoner det var mellom disse tre prøvene, tatt over en periode på under en halvtime.

Tabell 3. Konsentrasjoner av avløpsvann ved testing på Guldholmstranda renseanlegg.

Prøveserie/ batch til benkeskala forsøk	Tid for uttak av vannprøve	Konsentrasjoner, mg/L			FCOD/TCOD- forhold
		SS	FCOD	TCOD	
Batch	12:00	135	146	379	0,39
1	11:52	520	140	950	0,15
2	12:20	1280	290	865	0,34
3	13:08	368	187	948	0,20
4	13:27	205	352	792	0,44

3.3.2. Benkeskala tester

For batchen med avløpsvann fra Guldholmstranda ble det oppnådd bare 22 % fjerning av SS i benkeskala forsøk med 350 mikron silduk og uten filtermatte på duken. Selv med filtermatte ble det oppnådd kun 30-35 % fjerning av SS og 20-25 % fjerning av TCOD, ved silingshastigheter på ca. 40 og 100 m³/m² dukareal/h. Dette er vist i figur 11.



Figur 11. Fjerning av SS og TCOD som funksjon av silingshastighet for avløpsvann fra Guldholmstranda renseanlegg.

3.3.3. Fullskala resultater

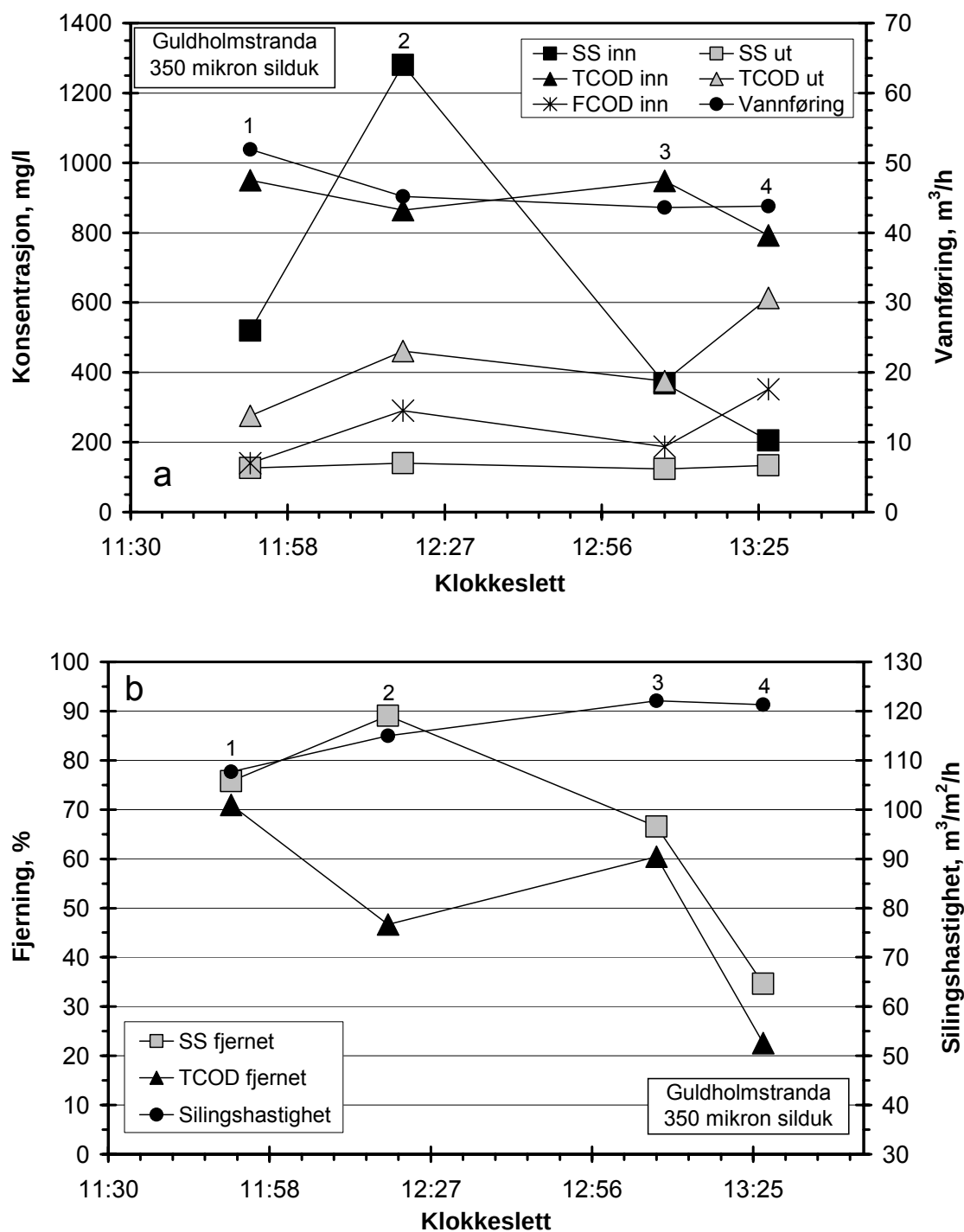
Resultater fra 4 serier med stikkprøver inn til og ut fra silen på Guldholmstranda renseanlegg er vist i figur 12. Vannføringen var høy, og for prøveserie 1 gikk innløpspumpen for fullt. Silingshastigheten for de 4 prøveseriene varierte fra 108 til 122 $\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ dukareal/h}$. Trykktapet over silduken var 22 cm for prøveserie 1. For de andre prøveseriene varierte trykktapet fra 8 til 12 cm. Visuelt var det en tydelig filtermatte for prøveserie 1, og meget tynne filtermatter for prøveseriene 2 til 4.

For de tre første prøveseriene ble det oppnådd meget gode renseeffekter. Fjerningen av SS varierte fra 67 til 89 %, og fjerningen av TCOD varierte fra 47 til 71 %. FCOD/TCOD-forhold fra 0,15 til 0,34 indikerte at avløpsvannet i disse 3 prøveseriene var velegnet til fjerning av KOF ved siling.

Prøveserie 4 hadde lavest innløpskonsentrasjoner og var den prøveserien hvor avløpsvannet lignet mest på avløpsvannet i batchen brukt til benkeskalaforsøk. FCOD/TCOD-forholdet for prøveserie 4 var på 0,44, hvilket indikerte at det ville være vanskelig å klare kravene for primærrensing. Figur 12 viser da også at det bare ble oppnådd 35 % fjerning av SS og 23 % fjerning av TCOD for prøveserie 4, hvilket samsvarer ganske godt med benkeskala resultatene vist i figur 11.

En massebalanse basert på de 4 prøveseriene, hvilket vil tilsvare det man måler i en vannmengdeproporsjonal blandprøve, viser at lav renseeffekt i et enkelt prøveuttak ikke får så stor betydning for totalresultatet. Samlet renseeffekt for de 4 prøveseriene vist i figur 12 var såpass høy som 78 % for SS og 51 % for TCOD. For en slik samleprøve er FCOD/TCOD-forholdet beregnet til 0,28.

De store forskjellene vi så på stikkprøver tatt med relativt korte mellomrom, viser hvor viktig det er med vannmengdeproporsjonale døgnblandprøver med korte intervaller mellom prøveuttakene, for å måle riktige innløps- og utløpskonsentrasjoner på dette renseanlegget.



Figur 12. Resultater fra fullskalatester med sil på Guldholmstranda renseanlegg. Tallverdiene i figuren viser til prøveserie i tabell 3. Salsnes Filter SF 2000 sil med 350 mikron silduk.

4. Tester i Bergen

4.1. Holen renseanlegg

Holen renseanlegg har forbehandling bestående av 2 stk. Meva Rotoscreen rister med spalteåpning 6 mm, etterfulgt av sand- og fettfang. Deretter renses avløpsvannet enten med 3 stk. Meva Monoscreen rister med 1 mm spalteåpning, eller med et kanalmontert Soby filter. Alle våre forsøk ble kjørt med Soby filteret. Renseanleggets prøvetakere ble benyttet. Normalt ble det tatt prøver foran grovrister og etter Soby filteret. Unntaket var prøveserie1 og batchen til benkeskala tester, hvor innløpsvannet ble tatt nedstrøms grovrister. Soby filteret var montert i en kanal med 1500 mm bredde. Silduken hadde et neddykket areal på 2,58 m² og en lysåpning på 350 mikron.

4.1.1. Karakterisering av avløpsvann

Avløpsvannet var ekstremt tynt, på grunn av store mengder nedbør. Konsentrasjonene er vist i tabell 4. Etter forslaget til avløpsforskrift (SFT, 2003) oppfylder innkommende avløpsvann primærrensekravet for SS fordi alle innløpskonsentrasjonene var lavere enn 60 mg SS/l.

Tabell 4. Konsentrasjoner av avløpsvann ved testing på Holen renseanlegg.

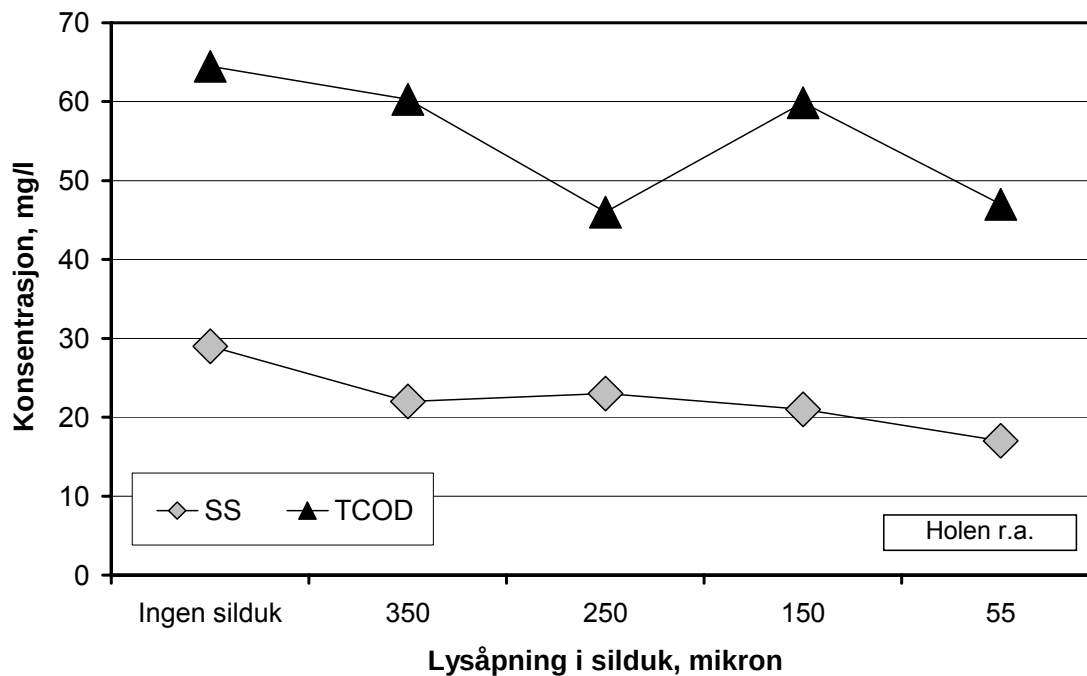
Prøveserie/ batch til benkeskala forsøk	Tid for uttak av vannprøve	Konsentrasjoner, mg/L			FCOD/TCOD- forhold
		SS	FCOD	TCOD	
Batch*	12:50	29	37	64	0,58
1*	12:25	34	31	50	0,62
2	13:40	31	39	73	0,53
3	14:10	43	33	73	0,45
4	15:30	38	38	118	0,32
5	16:30	45	45	154	0,29
6	17:23	46	51	99	0,51

* Tatt etter grovrister

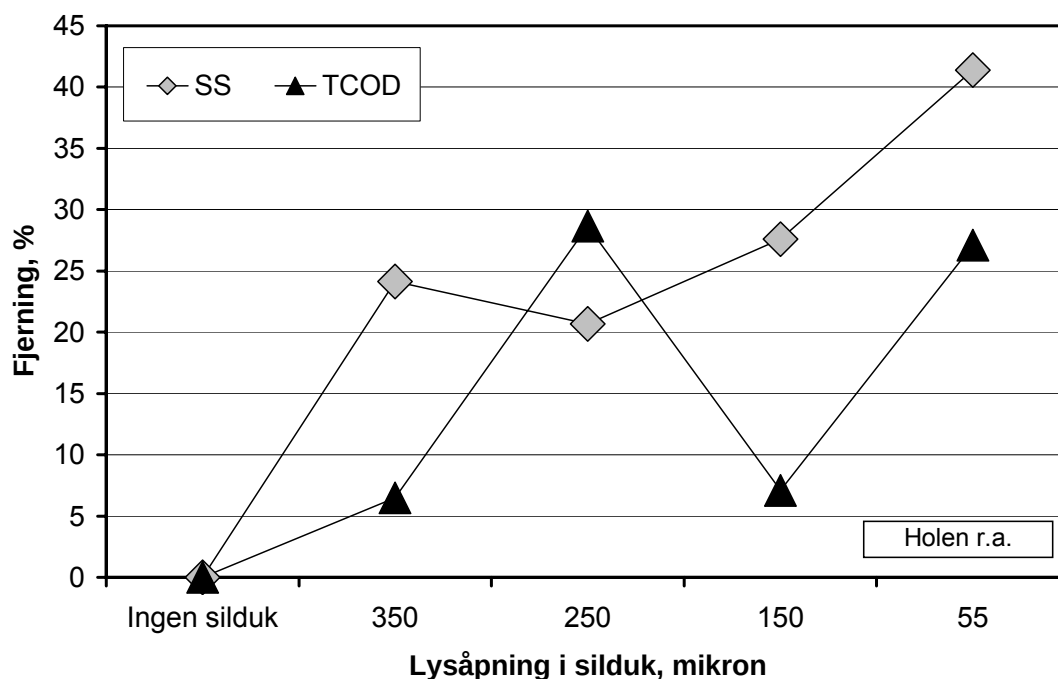
Med innløpskonsentrasjoner som vist i tabell 4 vil enkeltverdier for FCOD/TCOD-forhold ha relativt stor usikkerhet fordi normalt standardavvik for analysenøyaktighet vil gi store utslag når COD verdiene er så lave.

4.1.2. Benkeskala tester

Benkeskala tester ved Holen renseanlegg ble kjørt med en batch avløpsvann med konsentrasjoner som vist i tabell 4. Konsentrasjoner og renseeffekter for SS og TCOD, etter siling gjennom rene silduker med forskjellige lysåpninger, er vist i henholdsvis figur 13 og 14. Uten filtermatte ble det med denne batchen avløpsvann målt fra ca. 20 til 40 % fjerning av SS og fra ca. 5 til 30 % fjerning av TCOD, med lysåpninger i sildukene fra 350 til 55 mikron. På grunn av de ekstremt lave konsentrasjonene vil små unøyaktigheter i analysene gi store utslag i renseeffekter. Dette kan man for eksempel se for fjerning av TCOD i figur 14.

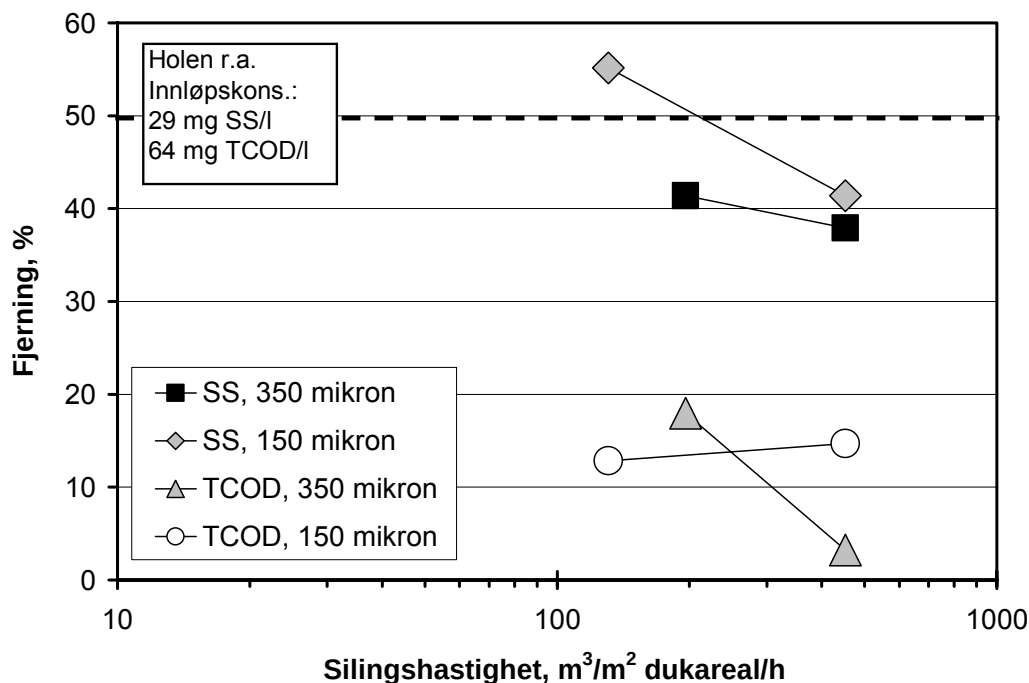


Figur 13. Konsentrasjoner av SS og TCOD for ubehandlet avløpsvann og etter passering gjennom silduker med angitt lysåpning. Gjelder avløpsvann fra Holen renseanlegg, målt med rene silduker, uten filtermatte.



Figur 14. Fjerning av SS og TCOD etter passering gjennom silduker med angitt lysåpning. Gjelder avløpsvann fra Holen renseanlegg, målt med rene silduker, uten filtermatte.

På grunn av det store vannforbruket ble benkeskala forsøk med filtermatte på silduken kjørt kun med silduker med 150 og 350 mikron lysåpninger. For å få en meget tynn matte, tilsvarende en silingstid på ca. 1 sekund, var det behov for ca. 80 l avløpsvann. Resultatene er vist i figur 15. Det ble fjernet mindre enn 20 % TCOD. Fjerningen av SS var 55 % med 150 mikron silduk og en silingshastighet på 130 m³/m² dukareal/h. Ved en silingshastighet på 450 m³/m² dukareal/h var midlere fjerning av SS på 40 % for de to sildukene.



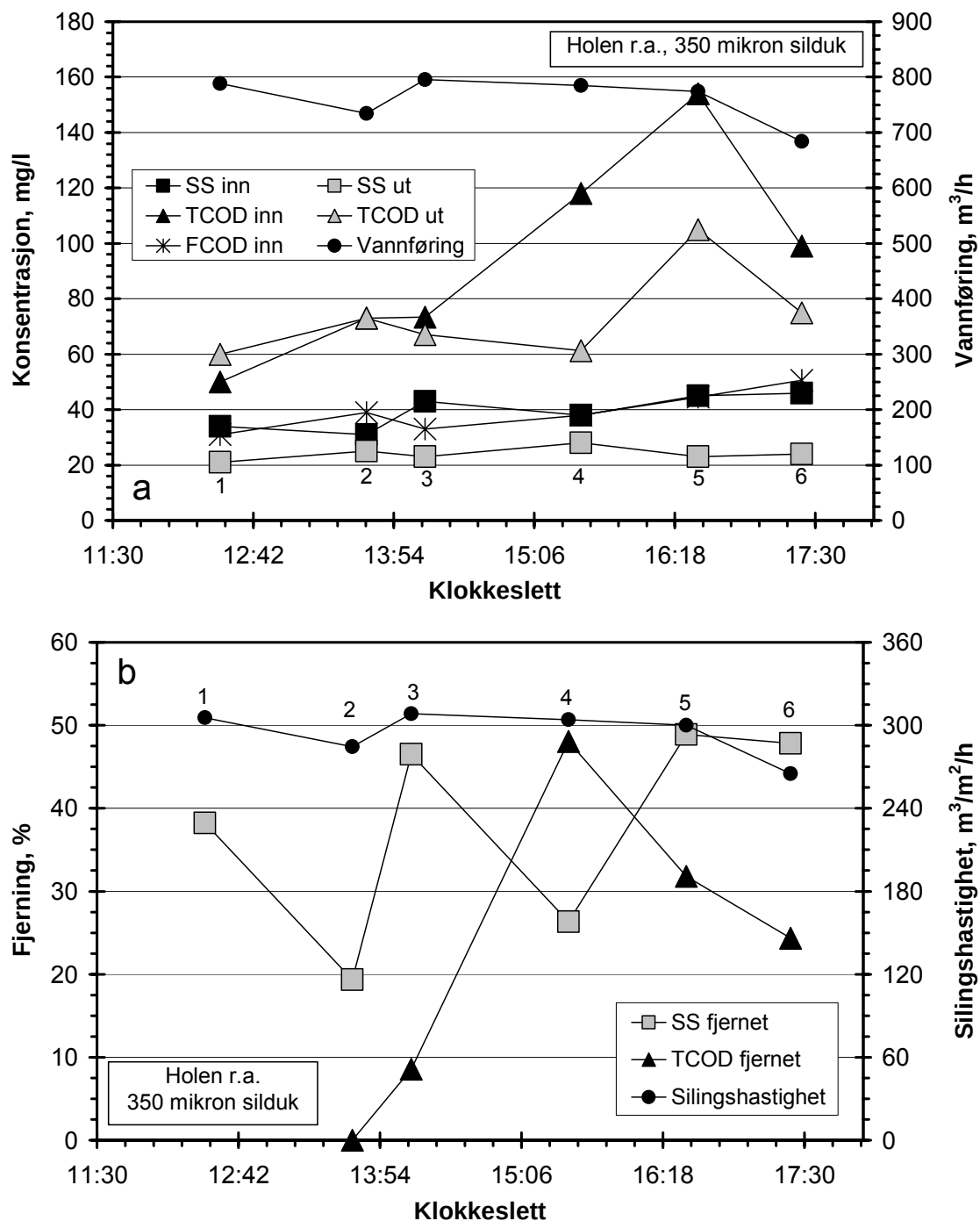
Figur 15. Fjerning av SS og TCOD som funksjon av silingshastighet for avløpsvann fra Holen renseanlegg.

4.1.3. Fullskala resultater

Resultatene fra 6 serier med stikkprøver før og etter finsilen (kanalmontert Soby filter) er vist i figur 16. Innløpsprøven for serie 1 ble tatt nedstrøms grovrisset, mens de andre innløpsprøvene ble tatt oppstrøms grovrisset. Avløpsvannet var meget tynt og vannføringen var stor. Silingshastigheten varierte fra 265 til 308 m³/m² dukareal/h, og det ble målt trykktap over silduken fra 92 til 101 cm. Sildukens hastighet varierte fra 15 til 20 cm/sekund.

Figur 16 viser store spredninger i renseeffekter for både SS og TCOD. For prøveserie 1 ble det målt negativ renseeffekt for TCOD. Dette skyldes at konsentrasjonene av SS og COD var så lave at analysenøyaktigheten ikke er god nok. I det aktuelle konsentrasjonsområdet oppgir Dr. Lange en analysenøyaktighet for COD på ca. ± 15 %. Dette kan gi store utslag i beregnede renseeffekter. Det mest representative vil derfor være å se på veide middelverdier (tilsvarende en vannmengdeproporsjonal blandprøve) for alle de 6 prøveseriene. Disse viser et innkommende avløpsvann med 39 mg SS/l, 94 mg TCOD/l og et FCOD/TCOD-forhold på 0,45. Renseeffektene var 38 % for SS og 15 % for TCOD ved en silingshastighet på 295 m³/m² dukareal/h. Dette stemmer forbløffende bra med resultatene fra benkeskala forsøk med 350 mikron silduk, tidligere vist i figur 15.

Med normale forholdstall mellom BOD og COD, ble de forventede kravene til utløpskonstrasjoner for TCOD og SS fra primærrenseanlegg (SFT, 2003) oppnådd i alle 6 prøveseriene.



Figur 16. Resultater fra fullskalatester med sil på Hølen renseanlegg. Tallverdiene i figuren viser til prøveserie i tabell 4. Kanalmontert Soby filter med 350 mikron silduk.

4.2. Kvernevik renseanlegg

Kvernevik renseanlegg har forbehandling bestående av 2 grovrister, type Meva Rotoscreen RS 21, med 3 mm spalteåpning. Deretter passerer avløpsvannet 4 finsiler eller 2 finrister. Finsilene er av type Anebra skivefilter, modell 415, med 1,5 m skivediameter og et dykket silareal på 5,4 m² pr. sil. Silduken hadde en lysåpning på 400 mikron.

Renseanleggets prøvetakere ble benyttet. Innløpsprøver ble tatt oppstrøms grovrister, mens utløpsprøver ble tatt nedstrøms finsilene. Finristene var ikke i bruk.

4.2.1. Karakterisering av avløpsvann

Avløpsvannet var meget tynt, på grunn av store mengder nedbør. Konsentrasjonene er vist i tabell 5. Etter forslaget til avløpsforskrift (SFT, 2003) oppfyller innkommende avløpsvann primærrensekravet for SS for prøveseriene 5 og 6, fordi innløpskonsentrasjonene var lavere enn 60 mg SS/l. Med unntak av batchen til benkeskala forsøk og prøveserie 1, hadde avløpsvannet høye FCOD/TCOD-forhold. For prøveserie 4 var dette forholdet såpass høyt som 0,62.

Tabell 5. Konsentrasjoner av avløpsvann ved testing på Kvernevik renseanlegg.

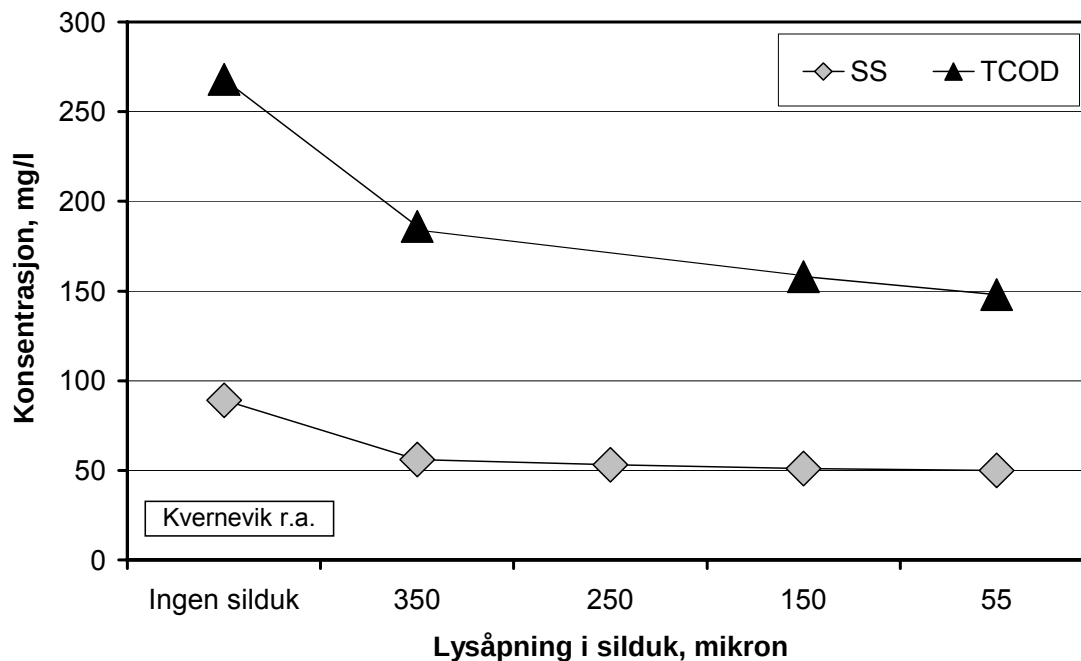
Prøveserie/ batch til benkeskala forsøk	Tid for uttak av vannprøve	Konsentrasjoner, mg/L			FCOD/TCOD- forhold
		SS	FCOD	TCOD	
Batch	10:55	89	82	268	0,31
1	10:20	93	95	289	0,33
2	11:30	128	112	283	0,40
3	12:20	73	46	---	---
4	13:30	77	132	214	0,62
5	14:20	57	82	173	0,47
6	15:30	56	71	157	0,45

4.2.2. Benkeskala tester

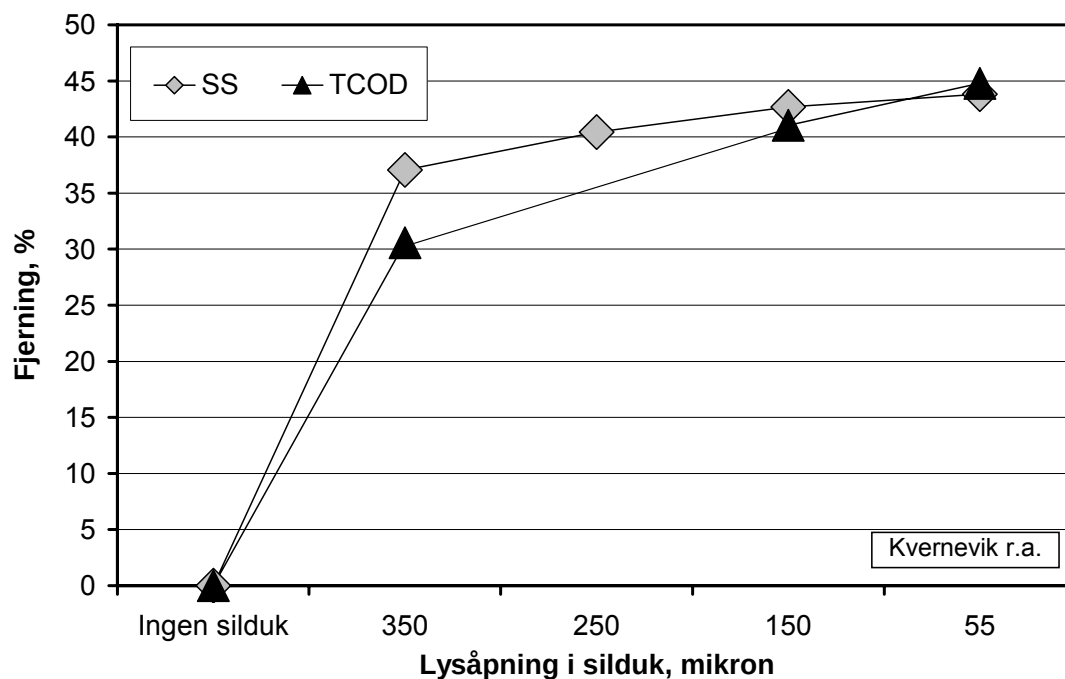
Benkeskala tester ved Kvernevik renseanlegg ble kjørt med en batch avløpsvann med konsentrasjoner som vist i tabell 4. Konsentrasjoner og renseeffekter for SS og TCOD, etter siling gjennom rene silduker med forskjellige lysåpninger, er vist i henholdsvis figur 17 og 18. Uten filtermatte ble det med denne batchen avløpsvann målt fra 37 til 44 % fjerning av SS og fra 31 til 45 % fjerning av TCOD, med lysåpninger i sildukene fra 350 til 55 mikron. Dette indikerer at batchen med avløpsvann var velegnet for primærrensing med finsiler. Med et FCOD/TCOD forhold på 0,31 er det bare mulig å oppnå de meget høye renseeffektene for TCOD dersom de partiklene som frasepareres på silduken i stor grad inneholder fett. Se pkt. 3.2.3 for en tidligere diskusjon om dette tema.

Resultatene fra benkeskala forsøk med filtermatte på sildukene er vist i figurene 19 og 20. Det ble oppnådd meget høye renseeffekter for både SS og TCOD. Med silingshastigheter fra 39 til 86 m³/m² dukareal/h ble det målt renseeffekter fra 58 til 65 % for SS, og fra 48 til 57 % for TCOD.

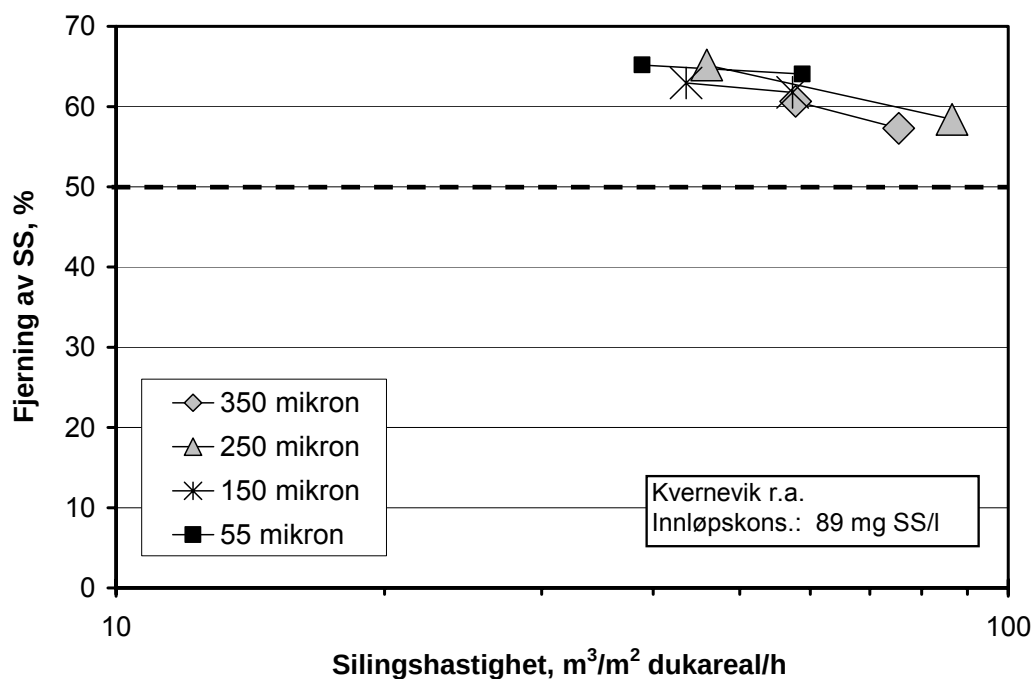
For samtlige silduker, både med og uten filtermatte på dukene, var utløpskonsentrasjonene under det alternative primærrenskravet på 60 mg SS/l.



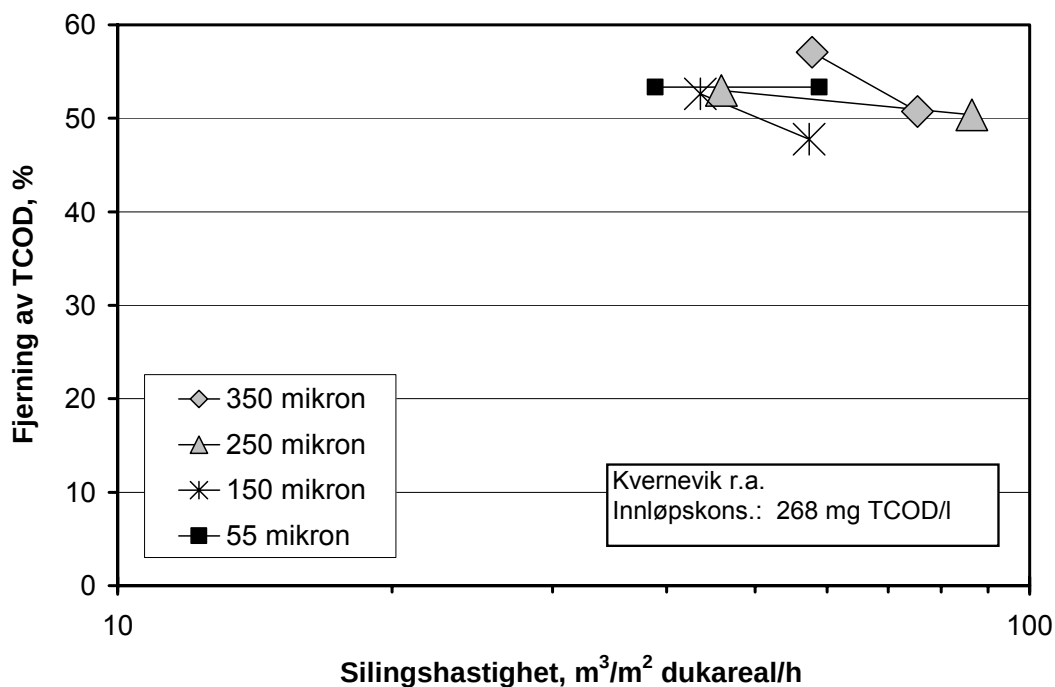
Figur 17. Konsentrasjoner av SS og TCOD for ubehandlet avløpsvann og etter passering gjennom silduker med angitt lysåpning. Gjelder avløpsvann fra Kvernevik renseanlegg, målt med rene silduker, uten filtermatte.



Figur 18. Fjerning av SS og TCOD etter passering gjennom silduker med angitt lysåpning. Gjelder avløpsvann fra Kvernevik renseanlegg, målt med rene silduker, uten filtermatte.



Figur 19. Fjerning av SS som funksjon av silingshastighet for avløpsvann fra Kvernevik renseanlegg.



Figur 20. Fjerning av TCOD som funksjon av silingshastighet for avløpsvann fra Kvernevik renseanlegg.

4.2.3. Fullskala resultater

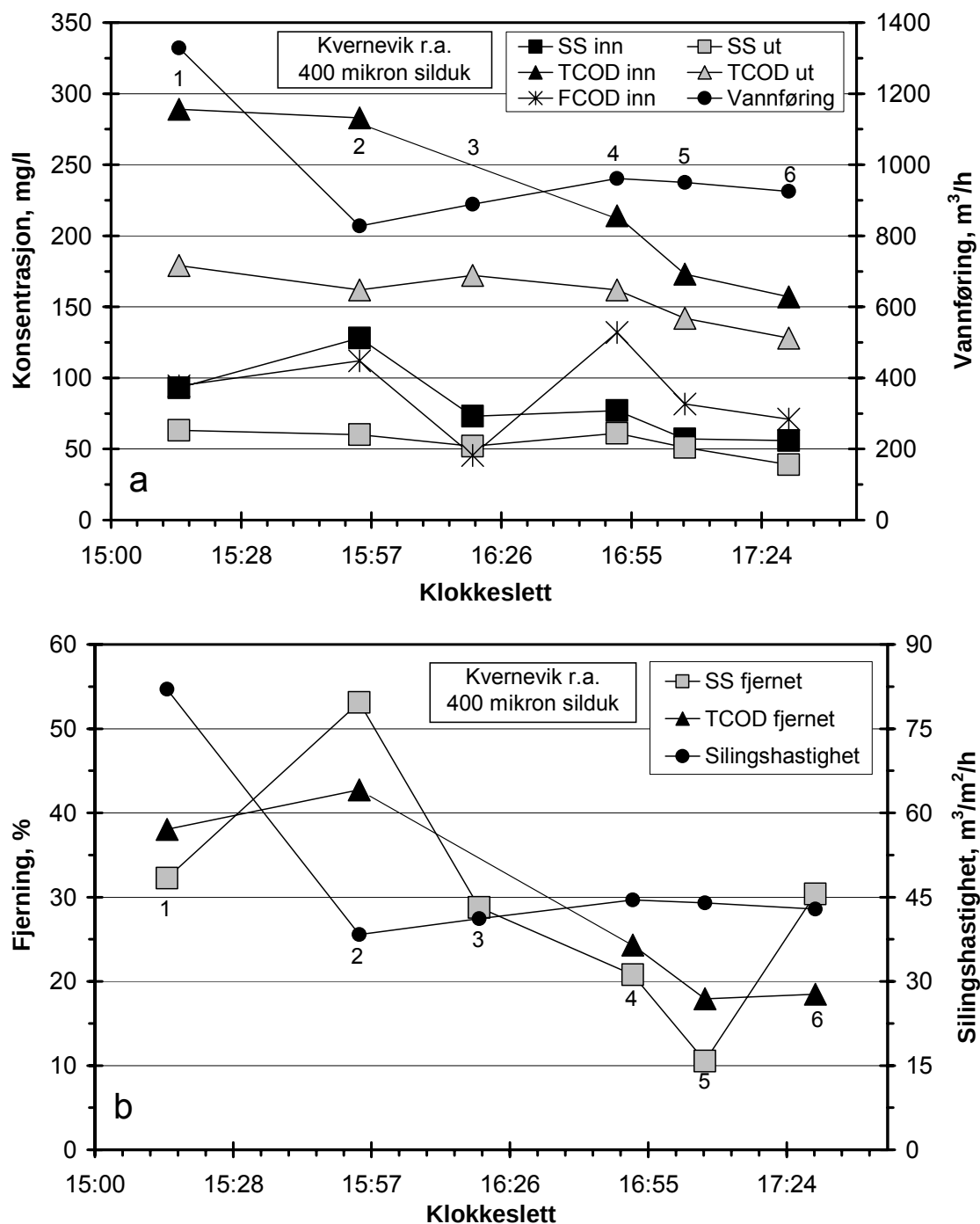
Resultatene fra 6 serier med stikkprøver tatt foran grovrister og etter finsiler (Anebra skivefiltre) på Kvernevik renseanlegg, er vist i figur 21. Avløpsvannet var tynt og vannføringen var stor. For den første prøveserien var bare 3 finsiler i drift og silingshastigheten var så høy som $82 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dukareal/h. For de resterende prøveseriene sank vannføringen litt, samtidig som alle 4 finsilene var i drift, slik at silingshastighetene lå fra 38 til $45 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dukareal/h. For prøveserie 1 var trykktapet over silene på 56 cm. For de resterende prøveseriene varierte trykktapet fra 36 til 41 cm. Finsilene roterte med en fast hastighet på 6,1 omdreininger pr. minutt.

Avløpsvannet i prøveserie 1 hadde omtrent samme karakteristikk som avløpsvannet brukt til benkeskala tester, hvilket vil si at det var velegnet for finsiling. Ved en silingshastighet på $82 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dukareal/h indikerer benkeskala resultatene i figur 19 minst 55 % fjerning av SS. I fullskalaanlegget ble det målt bare 32 % fjerning av SS. Nå hadde riktignok fullskalaanlegget en silduk med lysåpning på 400 mikron, men uansett viser dette at anlegget gikk uten filtermatte på silduken og at renseeffektene sannsynligvis vil tilsvare det man måler med rene duker i en benkeskala test. Visuell registrering av eventuell filtermatte var ikke mulig på grunn av sprut fra spyling av silene. Reduksjonen av TCOD var på 38 %, og en såpass høy reduksjon er bare mulig dersom de partiklene som ble fjernet hadde et betydelig høyere enn gjennomsnittlig innhold av organisk stoff. Unormalt høye reduksjoner av TCOD er imidlertid i tråd med resultatene fra forsøkene i benkeskala, og dette indikerer at det er en god del fett i det slammet som fjernes ved finsiling ved Kvernevik renseanlegg.

Prøveserie 2 hadde den høyeste innløpskonsentrasjonen av SS. Det ble målt en renseeffekt på 53 % for SS og 43 % for TCOD ved en silingshastighet på $38 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dukareal/h. For både SS og TCOD var dette ca. 10 % lavere enn det som ble registrert i benkeskala forsøk ved noe høyere silingshastigheter. Årsakene til dette kan være at avløpsvannets egnethet for siling har endret seg, eller at fullskalaanlegget ikke hadde skikkelig filtermatte på silduken. Med filtermatte på silduken skulle det ikke være noen praktisk forskjell på 350 mikron silduk (benkeskala) og 400 mikron silduk (fullskala).

For prøveseriene 4 og 5 ble det igjen registrert større fjerning av TCOD enn av SS. Dette kan skyldes høyt organisk innhold i fraseparerte partikler, analyseusikkerheten når avløpsvannet har så lave konsentrasjoner, eller en kombinasjon av disse to tingene.

Av de 6 prøveseriene var det kun én som klarte kravet til 50 % fjerning av SS ved primærrensing. Tre prøveserier klarte det alternative kravet til utløpskonsentrasjon under 60 mg SS/l og for to av disse var også innløpskonsentrasjonen under 60 mg SS/l. To prøveserier klarte ikke primærrensekravet for SS.



Figur 21. Resultater fra fullskalatester med finsiler på Kvernevik renseanlegg. Tallverdiene i figuren viser til prøveserie i tabell 5. Henholdsvis 3 stk. (prøveserie 1) og 4 stk. (prøveserie 2 til 6) Anebra skivefiltre, modell 415, med 400 mikron silduk.

5. Tester i Stavanger-regionen

5.1. Bore renseanlegg

Bore renseanlegg er dominert av industribelastning, blant annet fra flere meierier. Forbehandling består av en trapperist med spalteåpning på ca. 6 mm. Renseanlegget har to finsiler av type Salsnes Filter SF 5000. Hver finsil har et dykket sildukarell på maksimalt 2,2 m². Kort tid før vårt besøk ble silduken på den ene silen byttet fra 840 mikron lysåpning til 350 mikron lysåpning. Det ble også installert frekvensstyring av den ene innløpspumpen.

I forbindelse med våre forsøk ble alt avløpsvannet kjørt over den ene silen med 350 mikron silduk. Innløps- og utløpsprøver ble tatt manuelt med prøvestusser montert på henholdsvis innløpskassen og utløpskassen av silen.

5.1.1. Karakterisering av avløpsvann

Konsentrasjoner for avløpsvannet på Bore renseanlegg, tatt etter grovrist, er vist i tabell 6. For de forskjellige prøveseriene varierte FCOD/TCOD-forholdet fra 0,38 til 0,58. Innløpskonsentrasjonen av COD var meget varierende, med verdier fra 127 til 426 mg FCOD/l og fra 306 til 840 mg TCOD/l.

Tabell 6. Konsentrasjoner av avløpsvann ved testing på Bore renseanlegg.

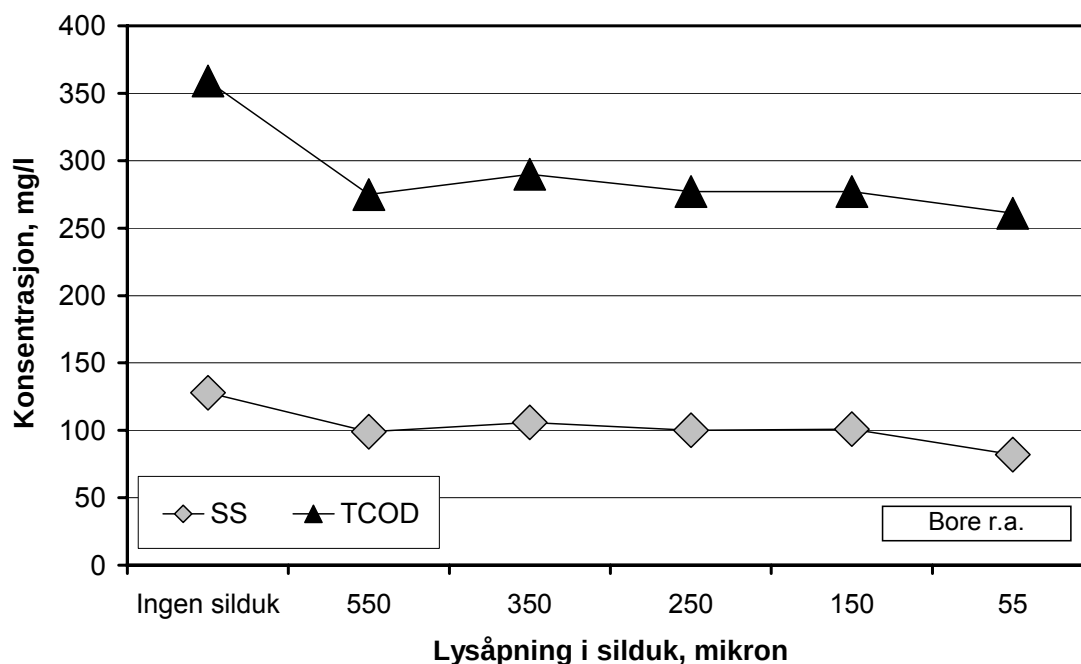
Prøveserie/ batch til benkeskala forsøk	Tid for uttak av vannprøve	Konsentrasjoner, mg/L			FCOD/TCOD- forhold
		SS	FCOD	TCOD	
Batch	10:45	128	195	359	0,54
1	10:40	147	127	306	0,42
2	11:30	203	426	840	0,51
3	12:27	184	285	658	0,43
4	12:53	237	413	711	0,58
5	13:28	165	267	470	0,57
6	13:58	141	184	484	0,38

5.1.2. Benkeskala tester

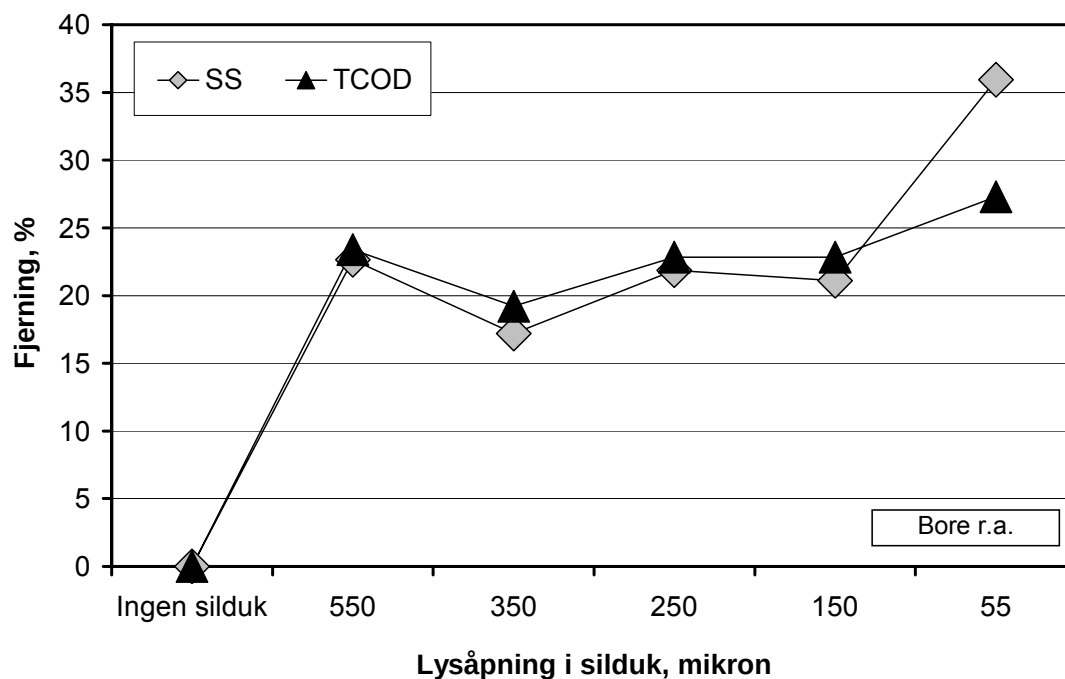
Benkeskala tester ved Bore renseanlegg ble kjørt med en batch avløpsvann med konsentrasjoner som vist i tabell 6. Konsentrasjoner og renseeffekter for SS og TCOD, etter siling gjennom rene silduker med forskjellige lysåpninger, er vist i henholdsvis figur 22 og 23. Uten filtermatte ble det målt fra 17 til 23 % fjerning av SS, med lysåpninger fra 550 til 150 mikron i sildukene. Dette indikerer at avløpsvannet ikke er det mest velegnede for primærrensing med finsiler, men at det kan være mulig å oppnå akseptable renseeffekter med en skikkelig filtermatte på silduken.

Uten filtermatte på sildukene og med lysåpninger fra 550 til 150 mikron, ble det målt fra 19 til 23 % fjerning av TCOD. Sammenlignet med SS-fjerningen er dette bare mulig dersom de partiklene som fjernes primært består av fett. Beregninger viser at ubehandlet avløpsvann fra denne batchen hadde et PCOD/SS-forhold litt under 1,3, mens PCOD/SS-forholdet for partikler fjernet med silduker fra 550 til 150 mikron var på nesten 3. Samtidig sank

PCOD/SS-forholdet til 0,8 i det avløpsvannet som gikk gjennom silene. Dette indikerer at det var primært fett i de store partiklene som ble fjernet, mens de mindre partiklene som gikk gjennom sildukene var dominert av inert materiale.

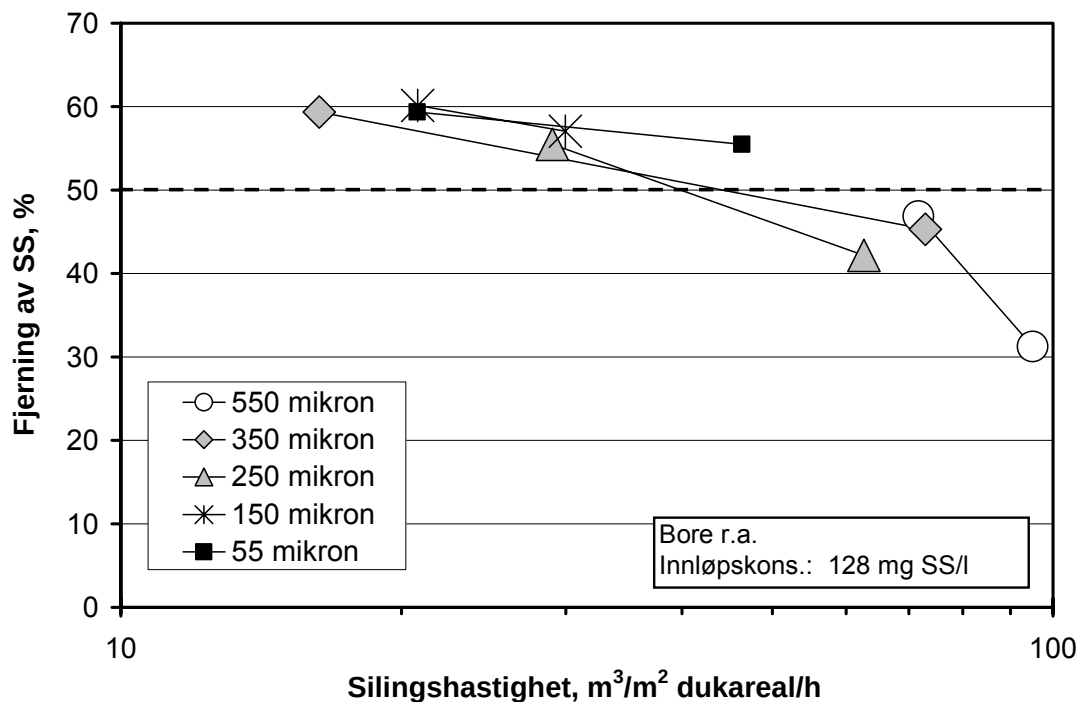


Figur 22. Konsentrasjoner av SS og TCOD for ubehandlet avløpsvann og etter passering gjennom silduker med angitt lysåpning. Gjelder avløpsvann fra Bore renseanlegg, målt med rene silduker, uten filtermatte.

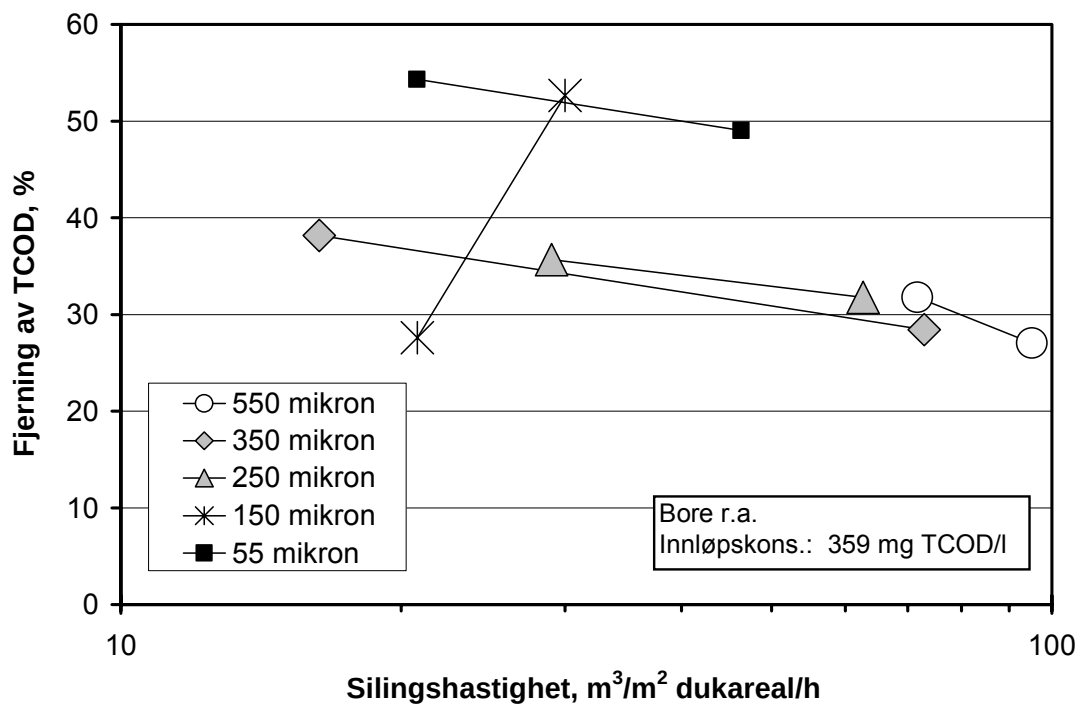


Figur 23. Fjerning av SS og TCOD etter passering gjennom silduker med angitt lysåpning. Gjelder avløpsvann fra Bore renseanlegg, målt med rene silduker, uten filtermatte.

Resultatene fra benkeskala forsøk med filtermatte på sildukene er vist i figurene 24 og 25. Opp til en silingshastighet på 40 m³/m² dukareal/h ble det fjernet mer enn 50 % SS. Figur 24 indikerer at fjerningen av SS vil synke til mellom 30 og 40 % ved en silingshastighet på 100 m³/m² dukareal/h.



Figur 24. Fjerning av SS som funksjon av silingshastighet for avløpsvann fra Bore renseanlegg.



Figur 25. Fjerning av TCOD som funksjon av silingshastighet for avløpsvann fra Bore renseanlegg.

For TCOD har det tydeligvis vært noen unøyaktigheter med analysene for silduken med 150 mikron lysåpning, og sannsynligvis også for silduken med 55 mikron lysåpning. For de andre sildukene ligger resultatene pent og pyntelig på linje. De viser at det kan forventes snaut 40 % fjerning av TCOD ved en silingshastighet på $15 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dukareal/h, og at renseeffekten for TCOD reduseres til drøyt 25 % når silingshastigheten øker til $100 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dukareal/h. Med filtermatte på sildukene var fjerningen av SS generelt sett 10 til 20 % høyere enn fjerningen av TCOD, og differansen var økende ved økende tykkelse på filtermatten (lavere silingshastigheter). Dette skyldes at en økende andel av de små partiklene med lavt COD-innhold blir fjernet på filtermatten.

5.1.3. Fullskala resultater

Resultater fra de 6 seriene med stikkprøver tatt inn til og ut fra silen med 350 mikron silduk på Bore renseanlegg, er vist i figur 26. Vannføringen var stor og silen gikk med silingshastigheter fra 116 til $161 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dukareal/h. Netto trykktap over silduken varierte fra 12 til 18 cm. Hastigheten på silduken varierte fra 4 til 15 cm/sekund. Visuelt bedømt ble filtermatten på silduken ansett for å være svært tynn. Ingen av prøveseriene klarte kravet til primærrensing på 50 % fjerning av SS.

Fjerningen av TCOD var hele tiden lavere enn fjerningen av SS. Ser vi på veid gjennomsnitt av alle prøveseriene var PCOD/SS forholdet 1,7 i innløpet og 1,8 i fraseparert silslam. Fjerning av store fettpartikler var derfor ikke noen dominerende mekanisme for rensingen av avløpsvannet i disse fullskalaforsøkene.

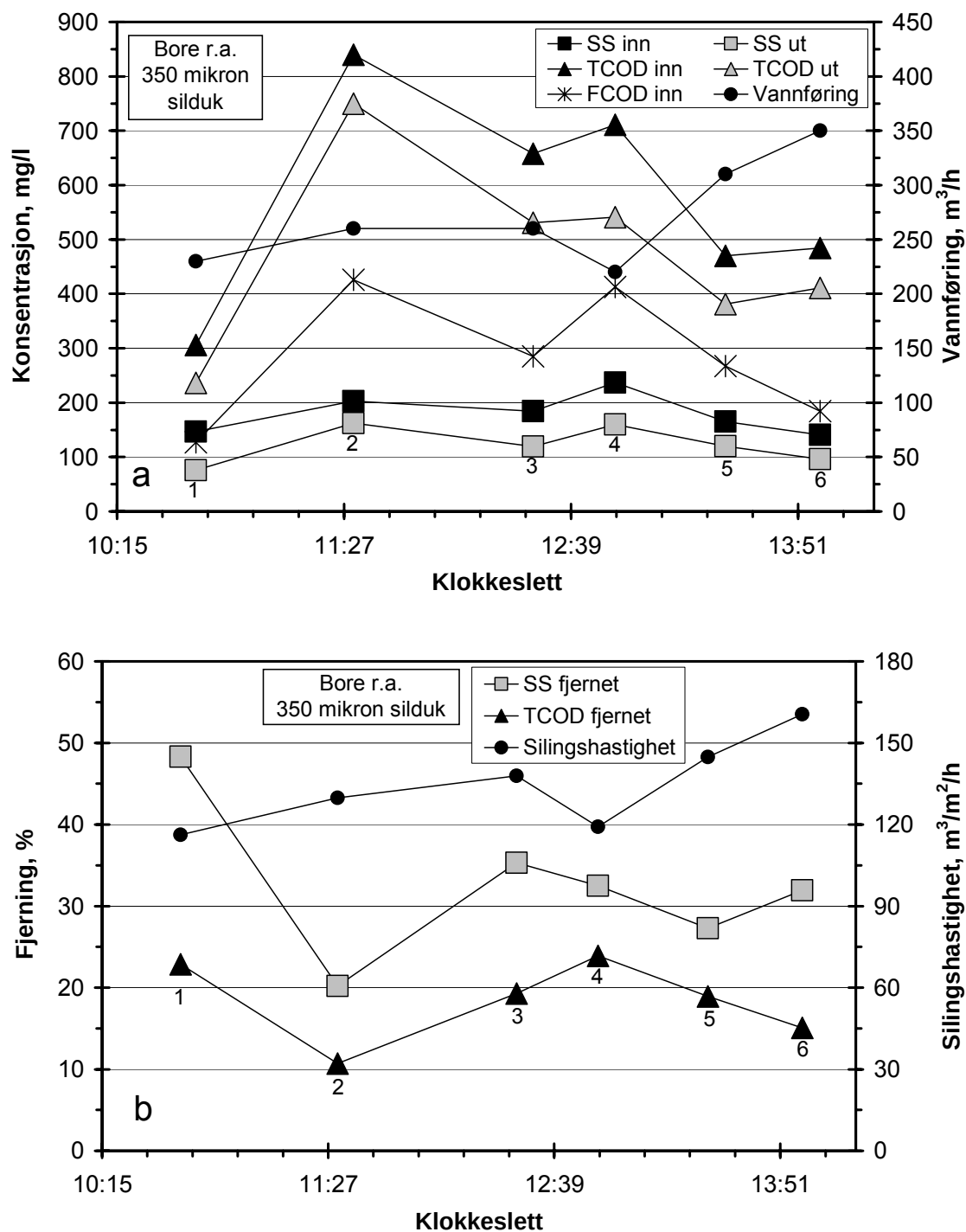
Veid gjennomsnitt for alle prøveseriene viser at avløpsvannet hadde et FCOD/TCOD-forhold på 0,48, og at det ble fjernet 32 % SS og 18 % TCOD ved en silingshastighet på $137 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dukareal/h. Dette er egentlig i meget godt samsvar med resultatene fra forsøkene i benkeskala. En ekstrapolering av dataene i figurene 24 og 25, til en silingshastighet på 135 - $140 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dukareal/h, vil indikere drøyt 30 % fjerning av SS og drøyt 20 % fjerning av TCOD. Den noe lavere fjerningen av TCOD i fullskala kan forklares med at det var en lavere andel av store fettpartikler i fullskalaprøvene enn i batchen brukt til benkeskala forsøk.

Virkelige renseeffekter i fullskalanlegget var større enn det som ble målt i våre forsøk, fordi en del partikler ble fjernet på grovristen oppstrøm vår prøvetaking. Visuell inspeksjon av grovristen viste at denne hadde et teppe av ristgods.

5.2. Sirevåg renseanlegg

Sirevåg renseanlegg er fullstendig dominert av tilførsler fra diverse industri. Renseanlegget er kommunalt, men må prosessmessig betraktes som et industrirensesanlegg med noe tilsig av kommunalt avløpsvann. Industripåslippene kommer blant annet fra fiskeforedlingsbedrifter, og fabrikker for hundefôr og pelsdyrfôr. Avløpsvannet pumpes direkte inn på renseanlegget fra en ekstern pumpestasjon. Pumpene er frekvensstyrt. Det er ingen forbehandling på renseanlegget.

Anlegget er utstyrt med 2 stk. siler av type Salsnes Filter SF 4000. Hver sil har et dykket sildukareal på maksimalt 1 m^2 . Sil 1 hadde en silduk med 840 mikron lysåpning, mens sil 2 hadde en silduk med 350 mikron lysåpning. Ved vårt besøk gikk alt vannet gjennom sil 2. Sil 2 var utstyrt med automatiske prøvetakere, som tok prøver fra silkassen henholdsvis foran og bak silduken. Disse prøvetakerne ble tvangskjørt for å ta ut våre prøveserier og avløpsvann til benkeskala tester.



Figur 26. Resultater fra fullskalatester med sil på Bore renseanlegg. Tallverdiene i figuren viser til prøveserie i tabell 6. Salsnes Filter SF 5000 sil med 350 mikron silduk.

5.2.1. Karakterisering av avløpsvann

Konsentrasjonene for innkommende avløpsvann til Sirevåg renseanlegg er vist i tabell 7. Det var meget stor spredning i de målte innløpskonsentrasjonene. FCOD/TCOD-forholdet varierte fra 0,16 til 0,48.

Tabell 7. Konsentrasjoner av avløpsvann ved testing på Sirevåg renseanlegg.

Prøveserie/ batch til benkeskala forsøk	Tid for uttak av vannprøve	Konsentrasjoner, mg/L			FCOD/TCOD- forhold
		SS	FCOD	TCOD	
Batch	10:40	420	235	1139	0,21
1	10:50	680	326	1991	0,16
2	12:50	291	187	551	0,34
3	13:20	215	187	540	0,35
4	13:42	283	219	646	0,34
5	14:05	223	241	500	0,48
6	15:05	1071	1018	2974	0,34

De virkelige innløpskonsentrasjonene på dette renseanlegget kan ha vært betydelig høyere enn det som ble målt. Avløpsvannet inneholdt periodevis mye partikler som var for store til å bli med gjennom prøvetakerslangen. Ved vårt besøk var det store mengder kjøttbiter på 15 – 30 mm i innkommende avløpsvann, og en titt i silgodscontaineren viste at denne var full av slike kjøttbiter. Figur 27 viser et bilde fra innløpskassa på sil 2 på Sirevåg renseanlegg.



Figur 27. Innløpskasse på sil 2 på Sirevåg renseanlegg.

5.2.2. Benkeskala tester

Benkeskala tester ved Sirevåg renseanlegg ble kjørt med en batch avløpsvann med konsentrasjoner som vist i tabell 7. Konsentrasjoner og renseeffekter for SS og TCOD, etter siling gjennom rene silduker med forskjellige lysåpninger, er vist i henholdsvis figur 28 og 29. Uten filtermatte ble det målt fra 19 til 24 % fjerning av SS, med lysåpninger fra 550 til 150 mikron i sildukene. Dette indikerer at avløpsvannet ikke er det mest velegnede for primærrensing med finsiler, men at det kan være mulig å oppnå akseptable renseeffekter med en skikkelig filtermatte på silduken.

Uten filtermatte på sildukene og med lysåpninger fra 550 til 150 mikron, ble det bare målt fra 3 til 8 % fjerning av TCOD. Beregninger viser at ubehandlet avløpsvann fra denne batchen hadde et såpass høyt PCOD/SS-forhold som 2,2, mens PCOD/SS-forholdet for partikler fjernet med silduker fra 550 til 150 mikron var så lavt som 0,7. Dette viser at de partiklene som gikk gjennom disse sildukene var energirike, med et beregnet PCOD/SS-forhold på 2,5. For silduken med 55 mikron lysåpning ble det oppnådd 19 % fjerning av TCOD og 30 % fjerning av SS. Partiklene som gikk gjennom denne silduken hadde et beregnet PCOD/SS-forhold på 1,8. Det observerte resultatet kan forklares med at avløpsvannet innholdt en energirik fraksjon i partikkelstørrelsesområdet fra 55 til 155 mikron.

Resultatene fra benkeskala forsøk med filtermatte på sildukene er vist i figurene 30 og 31. Fordi dette avløpsvannet ganske raskt tettet sildukene, fikk vi bare utført målinger for én silingshastighet pr. duk. Ved påfyllingen av mer avløpsvann fikk vi ikke avløpsvannet til å gå gjennom filtermatten og silduken i løpet av akseptabel tid.

Resultatene for silduken med 550 mikron lysåpning er atypiske og antas å skyldes unøyaktige analyser. For denne silduken antar vi at den viste reduksjonen av SS er for høy, og at reduksjonen av TCOD er for lav. For de andre sildukene viser resultatene drøyt 30 % fjerning av SS og drøyt 20 % fjerning av TCOD ved silingshastigheter under $10 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dukareal/h. Det ene punktet ved en silingshastighet på ca. $90 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dukareal/h, oppnådde 30 % fjerning av SS og 9 % fjerning av TCOD (med 250 mikron duk).

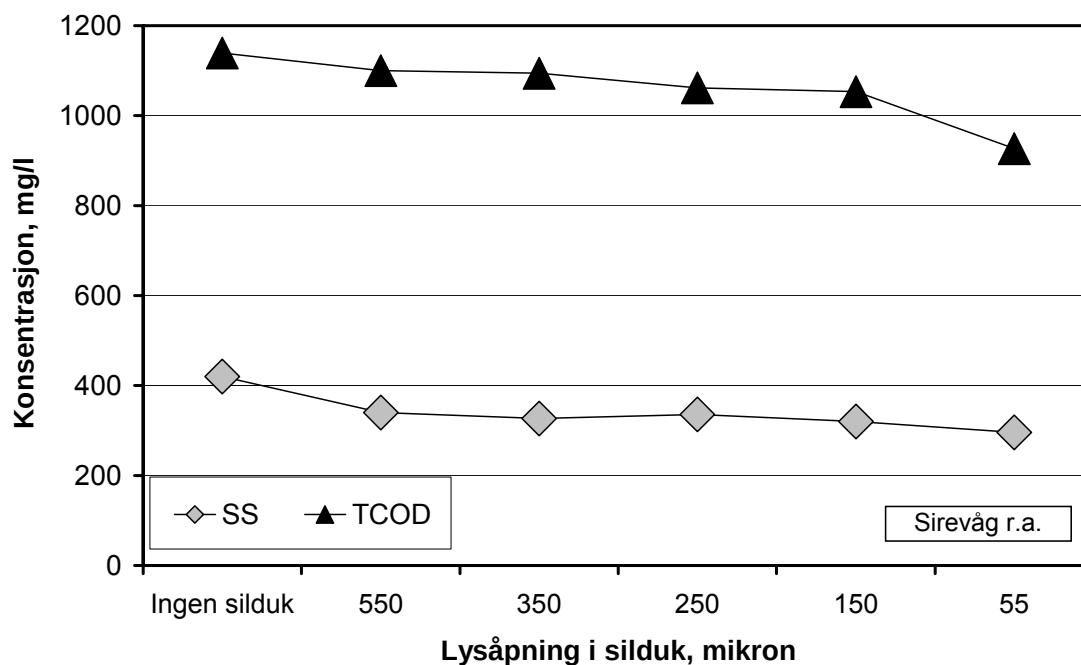
5.2.3. Fullskala resultater

Resultater fra de 6 seriene med stikkprøver tatt inn til og ut fra silen med 350 mikron silduk på Sirevåg renseanlegg, er vist i figur 32. Vannføringen var relativt stor og silen gikk med silingshastigheter fra 40 til $80 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dukareal/h. Netto trykktap over silduken varierte fra 12 cm til over 28 cm, hvilket vil si at det gikk avløpsvann i overløp. Hastigheten på silduken var 5 cm/sekund for prøveserie 2, 11 cm/sekund for prøveserie 3 og 19 cm/sekund for alle de andre prøveseriene. Filtermatten på silduken ble visuelt bedømt til å være svært tynn og transparent. For de tre siste prøveseriene (serie 4, 5 og 6) gikk det vann i overløp.

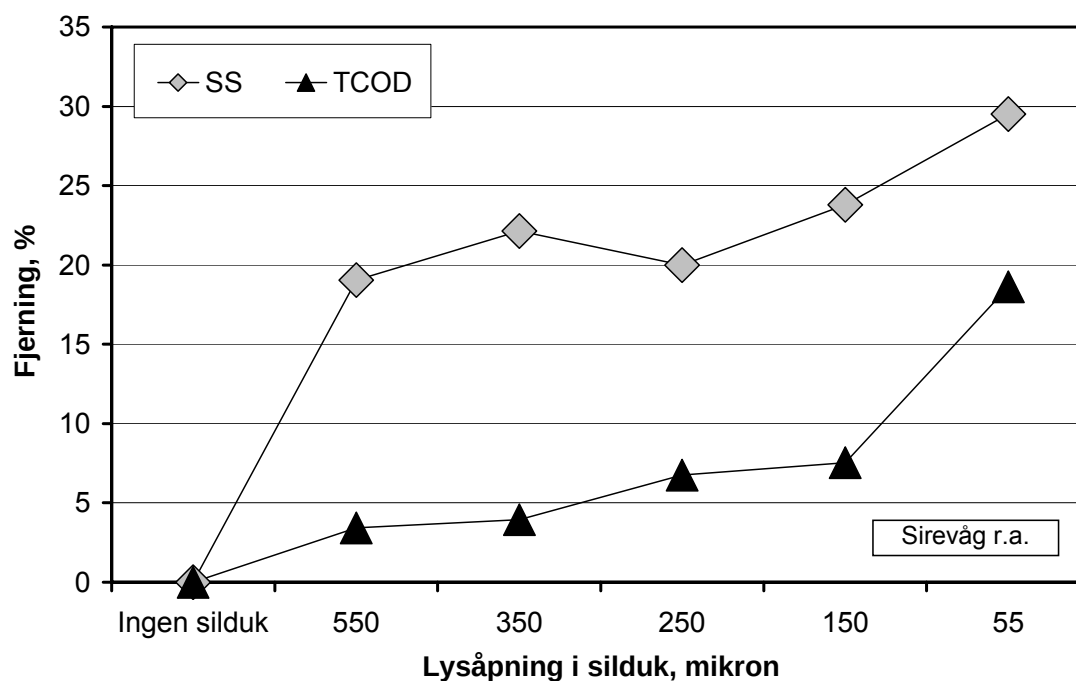
Ingen av prøveseriene klarte kravet til primærrensing på 50 % fjerning av SS. For prøveseriene 2, 3 og 4 ble det målt fra 45 til 47 % fjerning av SS ved silingshastigheter fra 49 til $59 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dukareal/h. Det er sannsynlig at man kunne klart 50 % fjerning av SS med en lavere silingshastighet. Det er også sannsynlig at kravet til 50 % SS-fjerning ved dette renseanlegget er innfridd dersom det gjøres en korrekt massebalanse som inkluderer alle de partiklene som er for store til å bli med i innløpsprøven.

På grunn av de store variasjonene i avløpsvannets sammensetning er det kun prøveserie 1 som til en viss grad kan sammenlignes med resultatene fra forsøkene i benkeskala. Ved en silingshastighet på $79 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dukareal/h ble det målt 23 % fjerning av SS og 16 % fjerning av

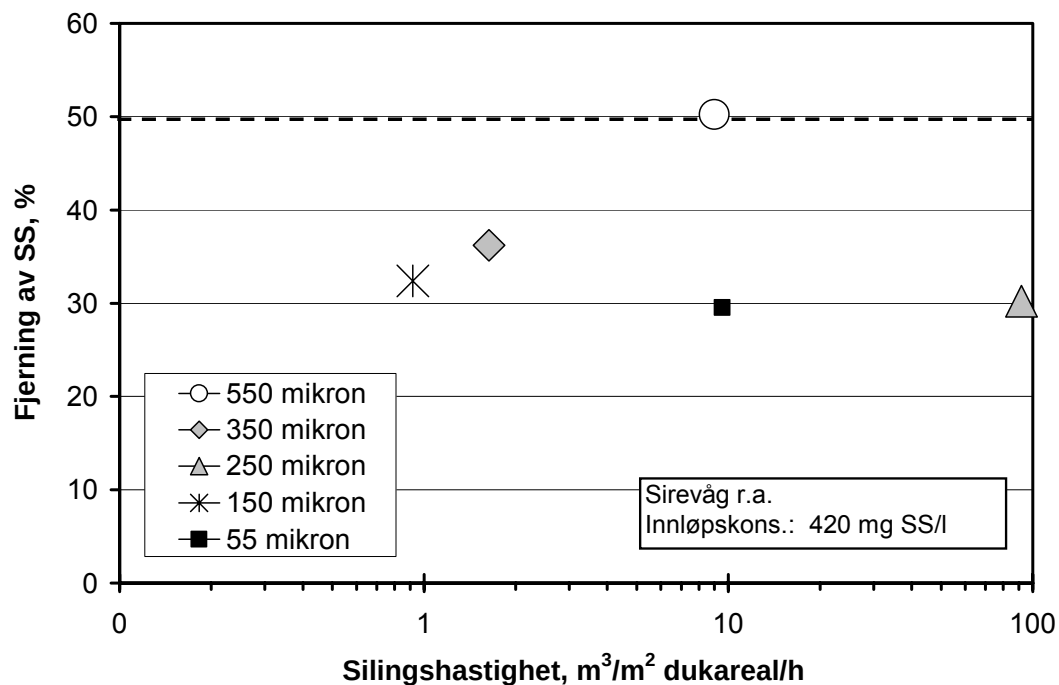
TCOD. Dette stemmer ganske bra med resultatene fra benkeskala forsøk når vi, som tidligere nevnt, ser bort fra datapunktene for duken med 550 mikron lysåpning.



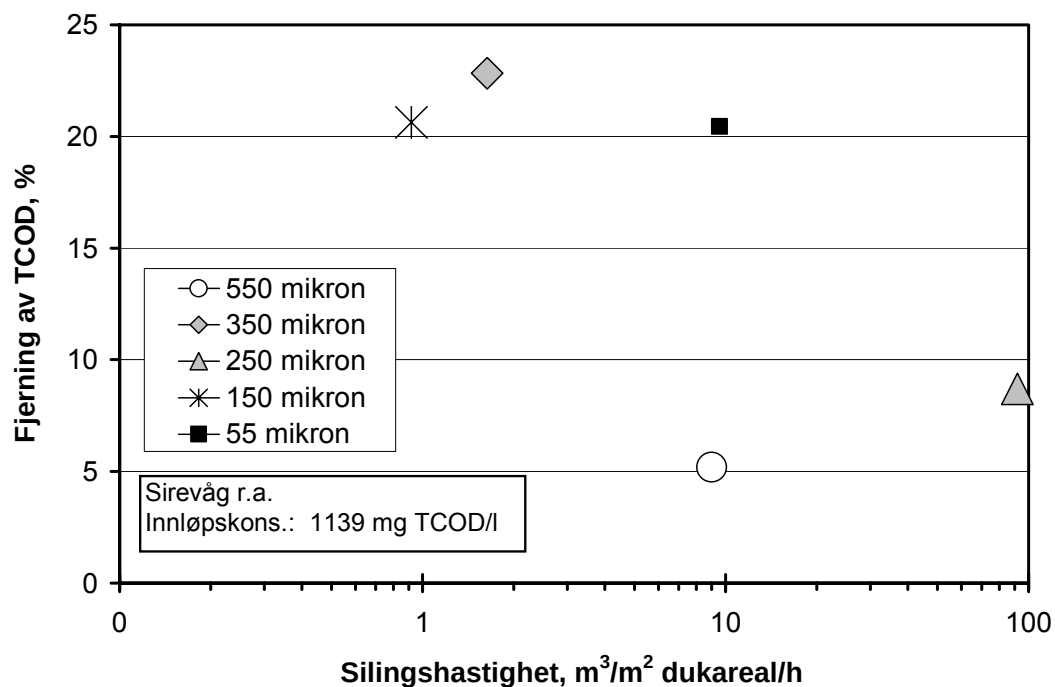
Figur 28. Konsentrasjoner av SS og TCOD for ubehandlet avløpsvann og etter passering gjennom silduker med angitt lysåpning. Gjelder avløpsvann fra Sirevåg renseanlegg, målt med rene silduker, uten filtermatte.



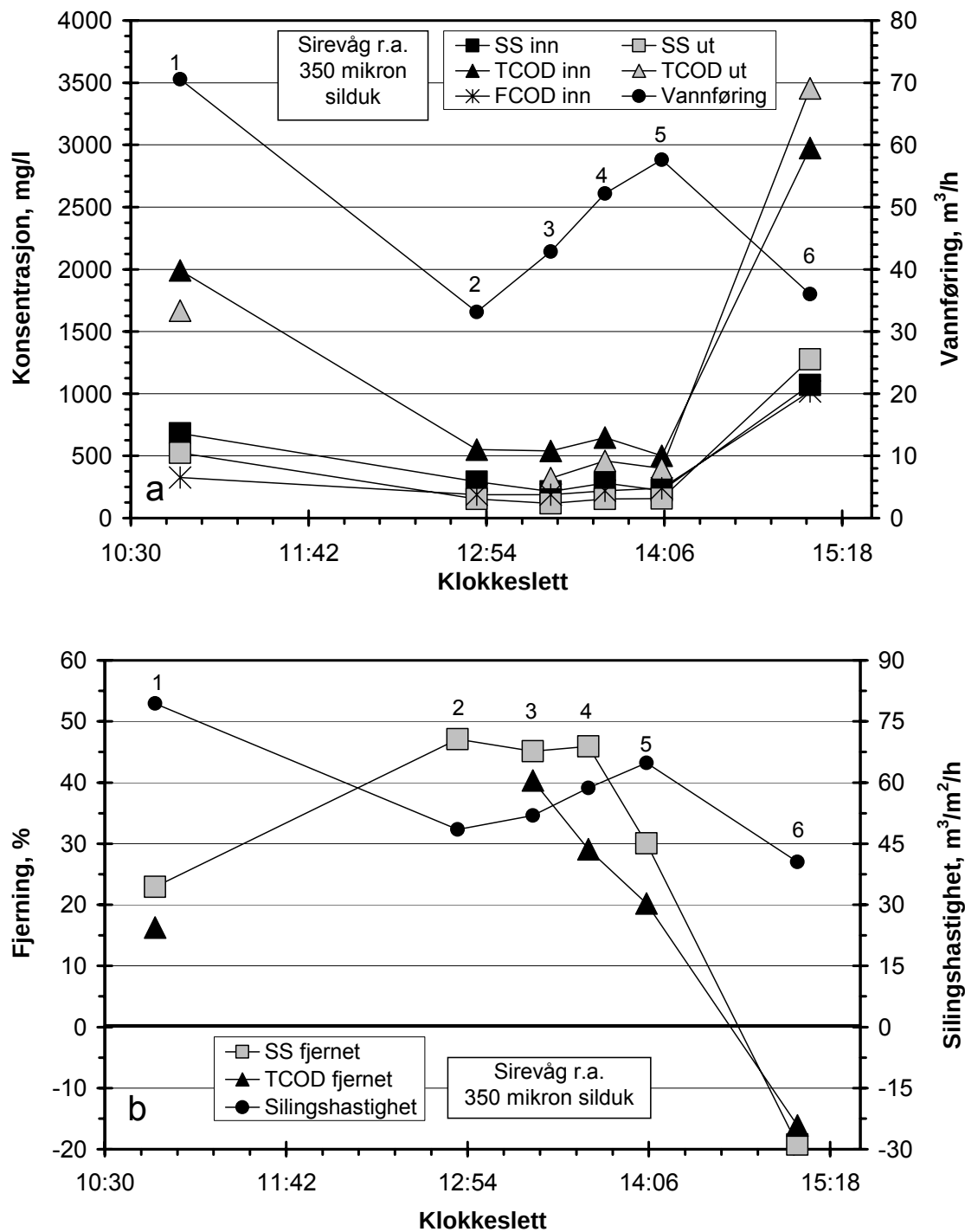
Figur 29. Fjerning av SS og TCOD etter passering gjennom silduker med angitt lysåpning. Gjelder avløpsvann fra Sirevåg renseanlegg, målt med rene silduker, uten filtermatte.



Figur 30. Fjerning av SS som funksjon av silingshastighet for avløpsvann fra Sirevåg renseanlegg.



Figur 31. Fjerning av TCOD som funksjon av silingshastighet for avløpsvann fra Sirevåg renseanlegg.



Figur 32. Resultater fra fullskalatester med sil 2 på Sirevåg renseanlegg. Tallverdiene i figuren viser til prøveserie i tabell 7. Salsnes Filter SF 4000 sil med 350 mikron silduk.

Det ble for øvrig gjort flere interessante observasjoner på Sirevåg renseanlegg. Silduken spyles normalt med varmt vann. Dette er gunstig for fjerning av fett, men fiskeproteiner på silduken koagulerer og blir som lim ved spyling med varmtvann. Dette ble observert ved

varmtvannsspyling etter prøveserie 1, og det ble foretatt manuell spyling med kaldtvann for å få ren silde.

For prøveserie 6 ble prøvene tatt ut mens det foregikk varmtvannsspyling av silde. Dermed spyles det noen partikler ned i utløpet og dette kan forklare den negative renseeffekten for stikkprøvene i prøveserie 6.

6. Tester i Tromsø-regionen

6.1. Skjærvika renseanlegg

Skjærvika silanlegg ligger i Finnsnes i Lenvik kommune. Det har 2 stk. Sobyte Miljøfilter med 750 mikron silduk og et dykket sildukareal på ca. 1,5 m² pr. sil. De to silene drives vekselvis og vil gå samtidig kun når den hydrauliske kapasiteten på én sil overskrides. Anlegget har ikke grovrist. Innløpspumpene har av/på-styring, slik at den hydrauliske belastningen på silene er meget varierende.

Ved vårt besøk var det bare sil 1 som var i drift. Innløpsprøver ble tatt som stikkprøver fra turbulent sone i innløpskassen til silen. Utløpsprøver ble tatt som stikkprøver med stasjonær prøvetaker plassert i utløpspumpesump.

6.1.1. Karakterisering av avløpsvann

På grunn av nedbør var avløpsvannet tynt. Visuelt inneholdt det en god del fett. Innløpskonsentrasjoner for de forskjellige prøveseriene og for batchen med avløpsvann til benkeskala tester, er vist i tabell 8.

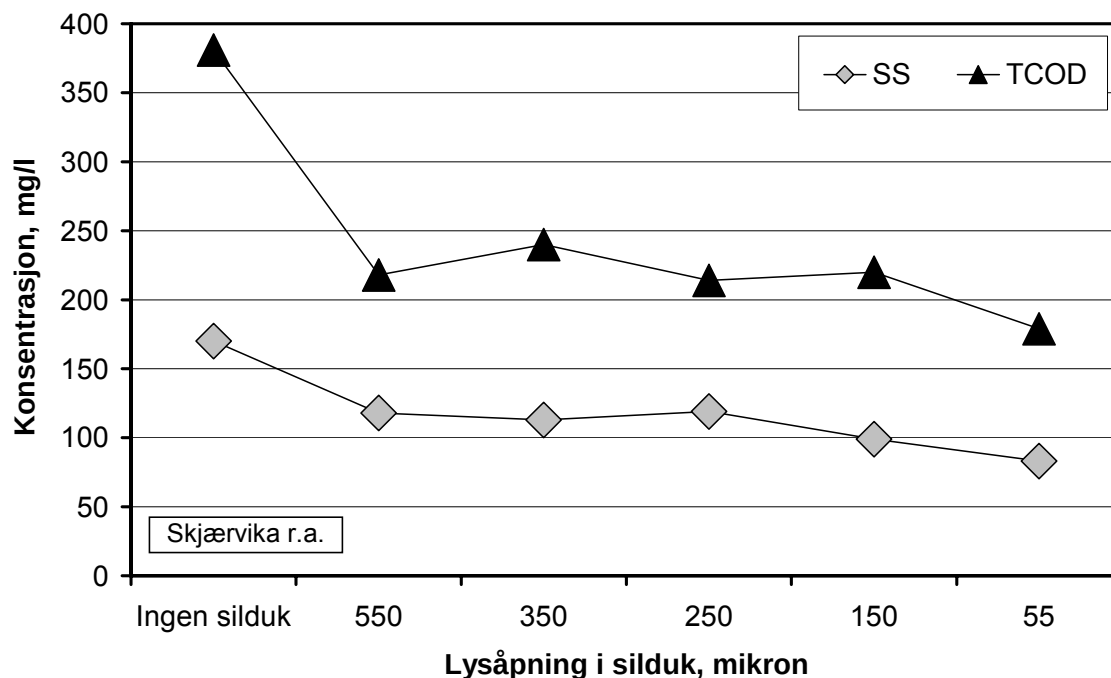
Tabell 8. Konsentrasjoner av avløpsvann ved testing på Skjærvika renseanlegg.

Prøveserie/ batch til benkeskala forsøk	Tid for uttak av vannprøve	Konsentrasjoner, mg/L			FCOD/TCOD- forhold
		SS	FCOD	TCOD	
Batch	10:20	170	48	381	0,13
1	10:30	233	73	485	0,15
2	11:05	149	59	210	0,28
3	11:45	96	47	195	0,24
4	12:10	121	52	237	0,22
5	12:40	89	61	154	0,40
6	13:10	65	41	144	0,28

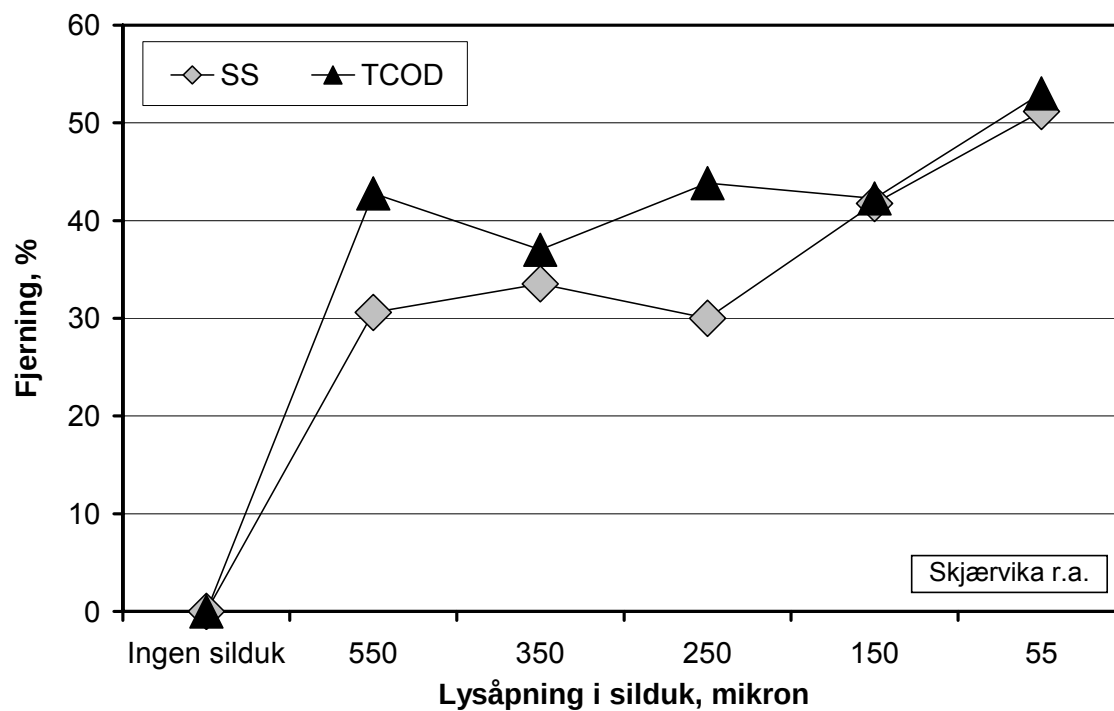
Innløpskonsentrasjonene varierte med en faktor på ca. 3,5 for SS og TCOD. Innløpskonsentrasjonen av FCOD varierte med en faktor på 1,8. FCOD/TCOD-forholdet varierte fra 0,13 til 0,40.

6.1.2. Benkeskala tester

Benkeskala tester ved Skjærvika renseanlegg ble kjørt med en batch avløpsvann med konsentrasjoner som vist i tabell 8. Konsentrasjoner og renseeffekter for SS og TCOD, etter siling gjennom rene silduker med forskjellige lysåpninger, er vist i henholdsvis figur 33 og 34. Uten filtermatte ble det målt fra 30 til 42 % fjerning av SS, med lysåpninger fra 550 til 150 mikron i sildukene. Dette indikerer at avløpsvannet er velegnet for primærrensing med finsiler, og at meget høye renseeffekter kan oppnås med en skikkelig filtermatte på silduken.



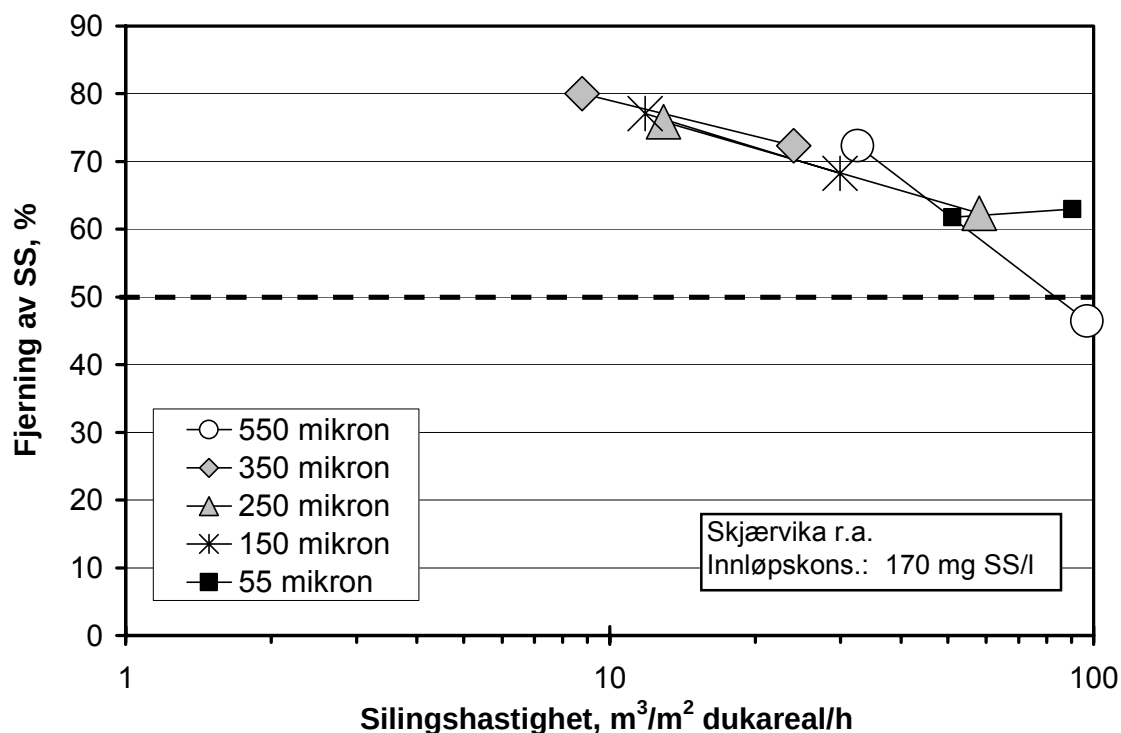
Figur 33. Konsentrasjoner av SS og TCOD for ubehandlet avløpsvann og etter passering gjennom silduker med angitt lysåpning. Gjelder avløpsvann fra Skjærvika renseanlegg, målt med rene silduker, uten filtermatte.



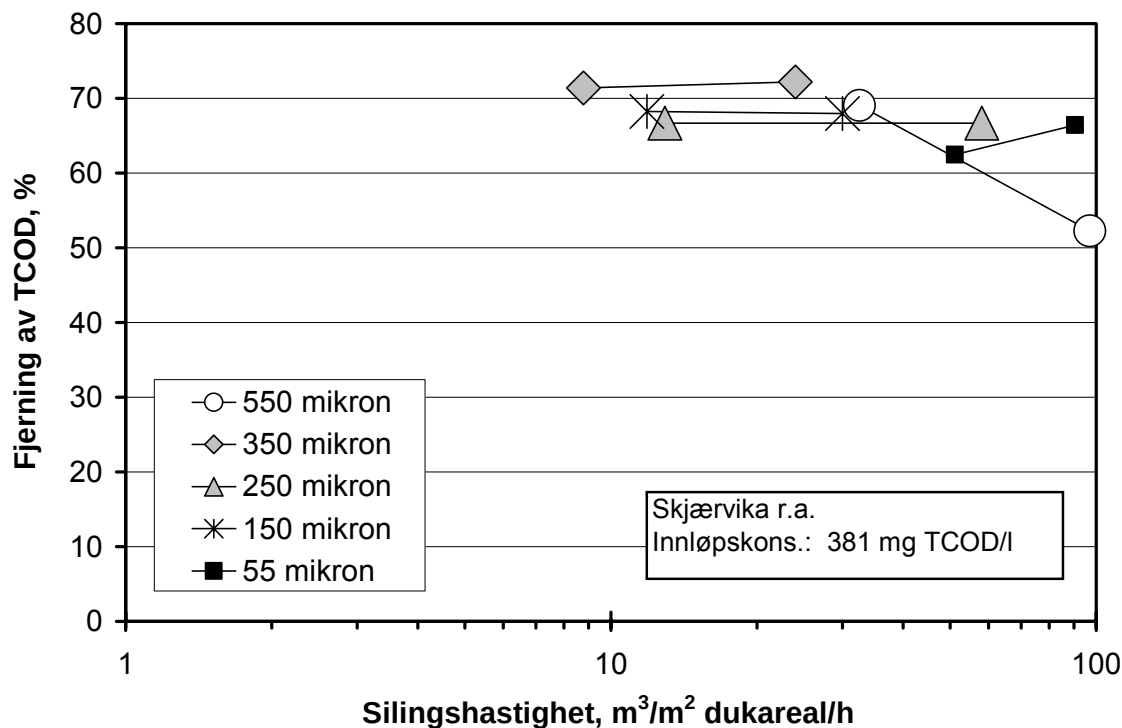
Figur 34. Fjerning av SS og TCOD etter passering gjennom silduker med angitt lysåpning. Gjelder avløpsvann fra Skjærvika renseanlegg, målt med rene silduker, uten filtermatte.

Uten filtermatte på sildukene og med lysåpninger fra 550 til 150 mikron, ble det målt fra 37 til 44 % fjerning av TCOD. Sammenlignet med SS-fjerningen er dette bare mulig dersom de partiklene som ble fjernet inneholdt mye fett, selv om FCOD/TCOD-forholdet i denne batchen var så lavt som 0,13. Beregninger viser at ubehandlet avløpsvann fra denne batchen hadde et PCOD/SS-forhold litt under 2, mens PCOD/SS-forholdet for partikler fjernet med silduker fra 550 til 150 mikron var på 2,8. Samtidig sank PCOD/SS-forholdet til under 1,6 i det avløpsvannet som gikk gjennom silene. Dette indikerer at det var primært fett i de store partiklene som ble fjernet, mens de mindre partiklene som gikk gjennom sildukene hadde lavt innhold av fett.

Resultatene fra benkeskala forsøk med filtermatte på sildukene er vist i figurene 35 og 36. Det ble oppnådd meget høye renseeffekter. Fjerningen av SS var så høy som 80 % ved en silingshastighet på $9 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dukareal/h. Med 550 mikron silduk indikerer figur 35 at fjerningen av SS vil synke til 50 % ved en silingshastighet på ca. $80 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dukareal/h. For TCOD var målt renseeffekt hele tiden større enn 50 %, og den var fra 67 til 72 % ved silingshastigheter under $40 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dukareal/h.



Figur 35. Fjerning av SS som funksjon av silingshastighet for avløpsvann fra Skjærvika renseanlegg.



Figur 36. Fjerning av TCOD som funksjon av silingshastighet for avløpsvann fra Skjærvika renseanlegg.

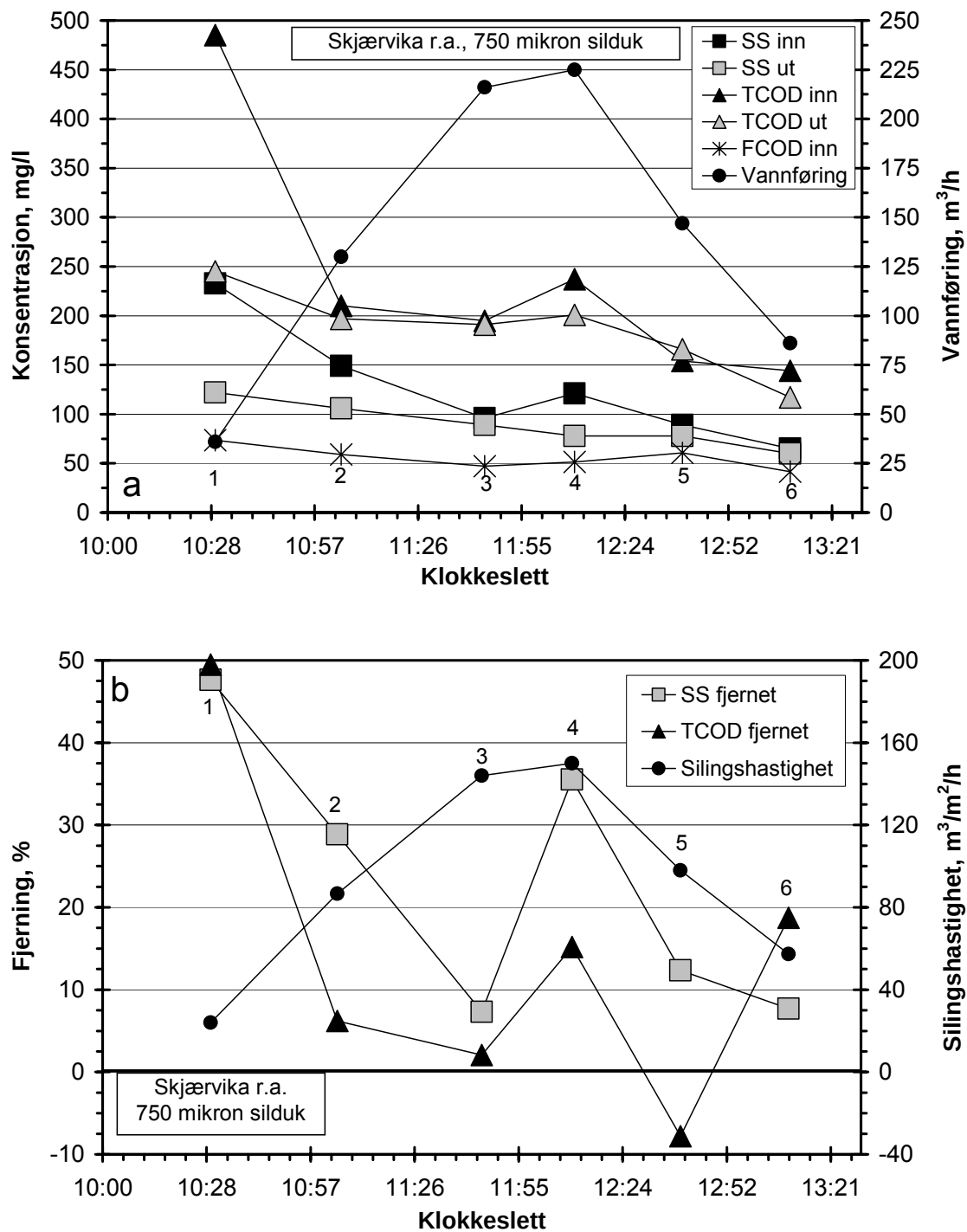
6.1.3. Fullskala resultater

Resultater fra de 6 seriene med stikkprøver tatt inn til og ut fra silen med 750 mikron silduk på Skjærvika renseanlegg, er vist i figur 37. Vannføringen var meget variabel og silen gikk med silingshastigheter fra 24 til 150 m³/m² dukareal/h. Netto trykktap over silduken varierte fra 29 cm til 55 cm. Hastigheten på silduken varierte fra snaut 3 cm/sekund til snaut 12 cm/sekund. Filtermatten på silduken ble visuelt bedømt til å være svært tynn.

Ingen av prøveseriene klarte kravet til primærrensing på 50 % fjerning av SS. Prøveserie 1 var nærmest, med 48 % SS-reduksjon. Denne prøveserien hadde lavest silingshastighet (24 m³/m² dukareal/h) og lavest FCOD/TCOD-forhold (0,15). Fordi avløpsvannet var så tynt klarte prøveserie 6 kravet til en utløpskonsentrasjon på 60 mg SS/l, selv om renseeffekten bare var på 8 %.

På grunn av de store variasjonene i avløpsvannets sammensetning er det kun prøveserie 1 som kan sammenlignes med resultatene fra forsøkene i benkeskala. Tilsvarende renseeffekter som for prøveserie 1 ble i benkeskala oppnådd ved en silingshastighet på nesten 100 m³/m² dukareal/h med 550 mikron silduk. Med en silingshastighet i fullskala på bare 24 m³/m² dukareal/h indikerte dette at duken beveget seg for raskt (dukshastighet på 5,2 cm/sekund) til å få bygd opp en tilstrekkelig filtermatte. PCOD/SS-forholdene indikerte at det var primært fett som ble fjernet i prøveserie 1.

Negativ renseeffekt for TCOD i prøveserie 5 skyldes at fjerningen av partikler var så lav at de reelle differansene i TCOD-konsentrasjoner var lavere enn analyseusikkerheten.



Figur 37. Resultater fra fullskalatester med sil 1 på Skjærvika renseanlegg. Tallverdiene i figuren viser til prøveserie i tabell 8. Sil av type Soby Miljøfilter med 750 mikron silduk.

En massebalanse (tilsvarende en vannmengdeproporsjonal blandprøve) for de 6 prøveseriene viser en midlere renseeffekt på 21 % for SS og 8 % for TCOD, ved en midlere silingshastighet på 115 m³/m² dukareal/h.

6.2. Selnes renseanlegg

Selnes renseanlegg på Kvaløya i Tromsø ble bygd i 1981 med en MaskoZoll sil med 800 mikron silåpning. Silen har en diameter på 0,5 m og er 6 m lang. Det er ingen forbehandling på renseanlegget. I 2003 ble anlegget bygd om til to-trinns siling, ved at MaskoZoll silen etterfølges av et trommelfilter med 80 mikron lysåpning. Trommelfilteret er av type Hydrotech 1605/1H og totalt silareal er oppgitt til 9,0 m². Vannstanden i trommelfilteret ble ikke målt ved vårt besøk, men dykket silareal er anslått til ca. 40 %, tilsvarende ca. 3,6 m².

Anlegget har prøvetaker som tar innløpsprøver på innløpsrør mellom pumpesump og MaskoZoll når innløpspumpa går. Prøvetaker for utløp tar prøver fra utløpskasse etter Hydrotech trommelfilter. Ved vårt besøk tok vi i tillegg manuelle prøver fra utløp av MaskoZoll sil.

6.2.1. Karakterisering av avløpsvann

På grunn av nedbør var avløpsvannet meget tynt. Innløpskonsentrasjoner for de forskjellige prøveseriene og for batchen med avløpsvann til benkeskala tester, er vist i tabell 9. Innløpskonsentrasjonene var stabilt lave, med unntak av en økning i både total og filtrert COD i prøveserie 4. FCOD/TCOD-forholdet varierte fra 0,22 til 0,34.

Tabell 9. Konsentrasjoner av avløpsvann ved testing på Selnes renseanlegg.

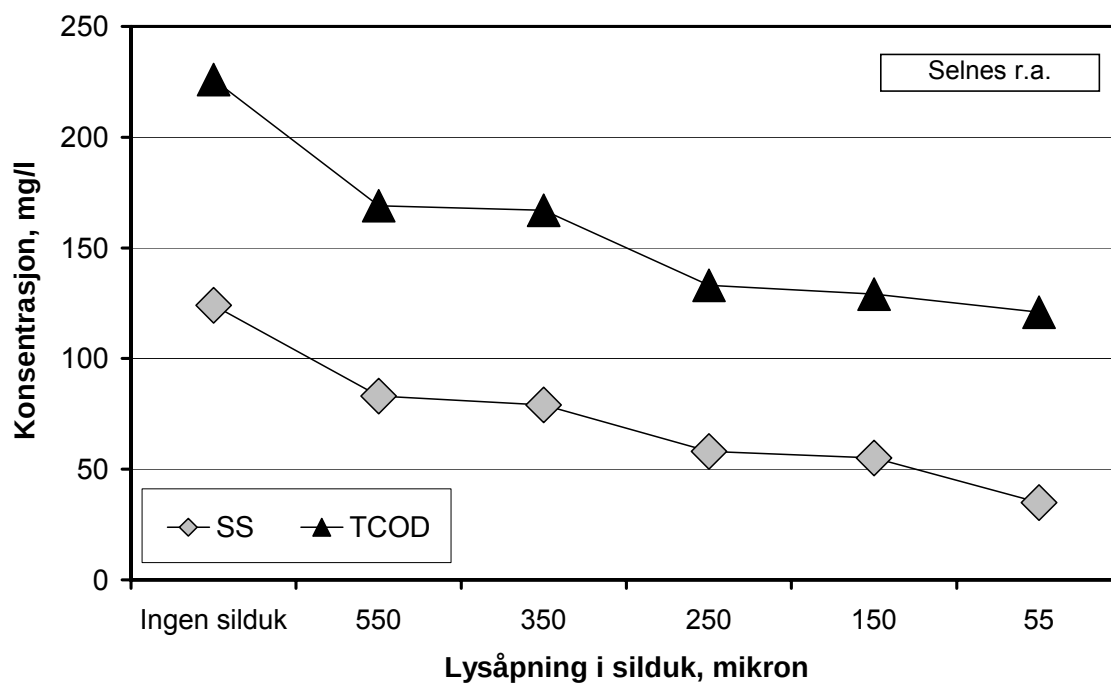
Prøveserie/ batch til benkeskala forsøk	Tid for uttak av vannprøve	Konsentrasjoner, mg/L			FCOD/TCOD- forhold
		SS	FCOD	TCOD	
Batch	10:20	124	57	226	0,25
1	10:35	155	57	211	0,27
2	11:10	125	51	227	0,22
3	11:40	92	57	187	0,30
4	12:25	128	112	329	0,34

I prøveserie 3 ble det også målt en total BOD₅ (TBOD₅) i innløpet på 47 mg/l, tilsvarende et TBOD₅/TCOD-forhold på 0,25.

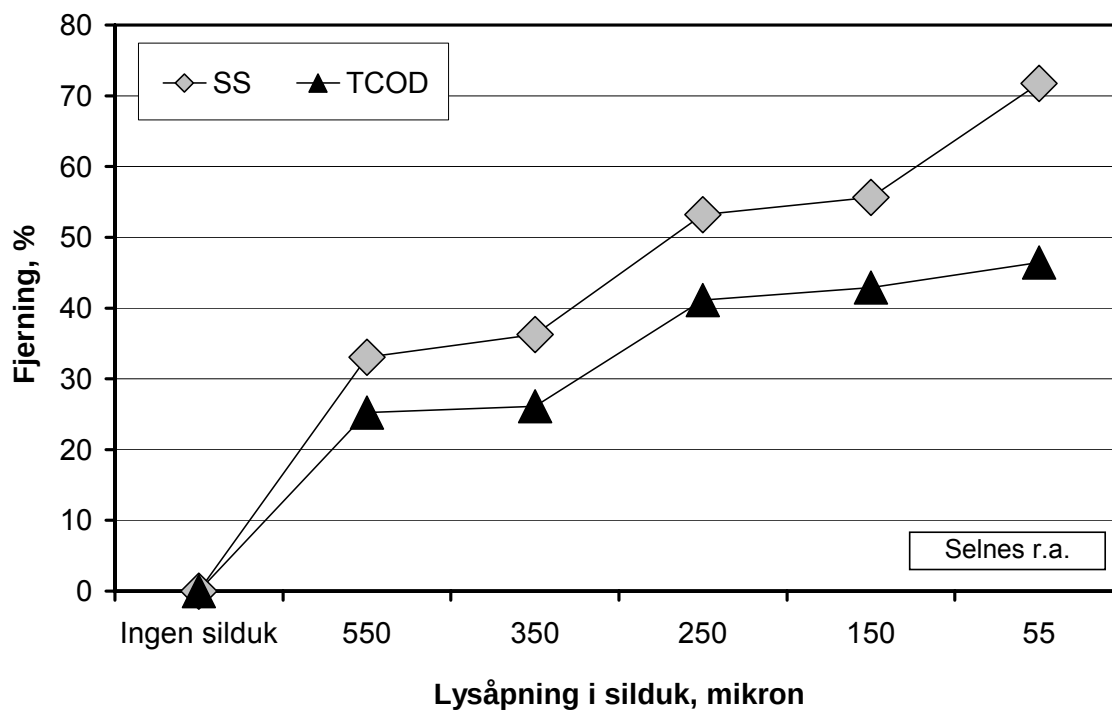
6.2.2. Benkeskala tester

Benkeskala tester ved Selnes renseanlegg ble kjørt med en batch avløpsvann med konsentrasjoner som vist i tabell 9. Konsentrasjoner og renseeffekter for SS og TCOD, etter siling gjennom rene silduker med forskjellige lysåpninger, er vist i henholdsvis figur 38 og 39. Uten filtermatte ble det målt fra 33 til 72 % fjerning av SS, med lysåpninger fra 550 til 55 mikron i sildukene. Dette indikerer at avløpsvannet er velegnet for primærrensing med finsiler, og at meget høye renseeffekter kan oppnås ved høye silingshastigheter. Med lysåpning ≤ 250 mikron i silduken vil man klare minst 50 % fjerning av SS, selv med renvasket silduk. Figur 39 indikerer at det bør oppnås minst 60 % renseeffekt for SS ved bruk av en sil med 80 mikron silduk.

Uten filtermatte på sildukene og med lysåpninger fra 550 til 55 mikron, ble det målt fra 25 til 47 % fjerning av TCOD. Med lysåpning ≤ 250 mikron i silduken ble det målt minst 40 % fjerning av TCOD, selv med renvasket silduk. Figur 39 indikerer at det bør oppnås ca. 45 % renseeffekt for TCOD ved bruk av en sil med 80 mikron silduk.



Figur 38. Konsentrasjoner av SS og TCOD for ubehandlet avløpsvann og etter passering gjennom silduker med angitt lysåpning. Gjelder avløpsvann fra Selnes renseanlegg, målt med rene silduker, uten filtermatte.

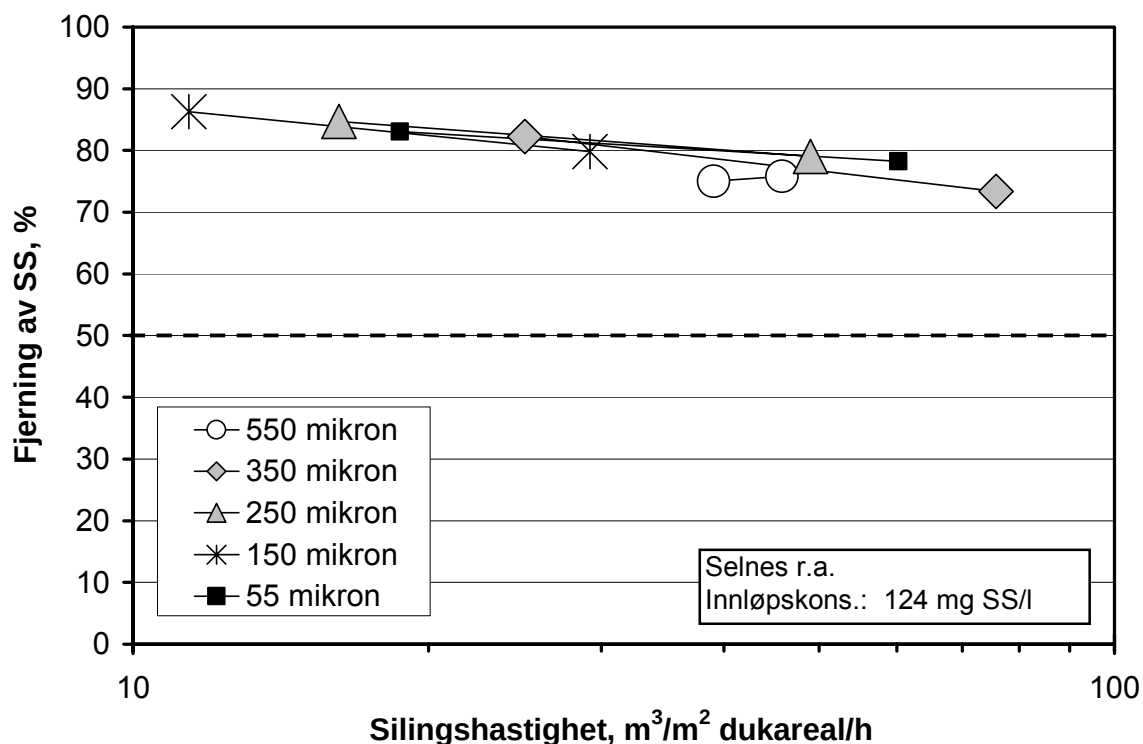


Figur 39. Fjerning av SS og TCOD etter passering gjennom silduker med angitt lysåpning. Gjelder avløpsvann fra Selnes renseanlegg, målt med rene silduker, uten filtermatte.

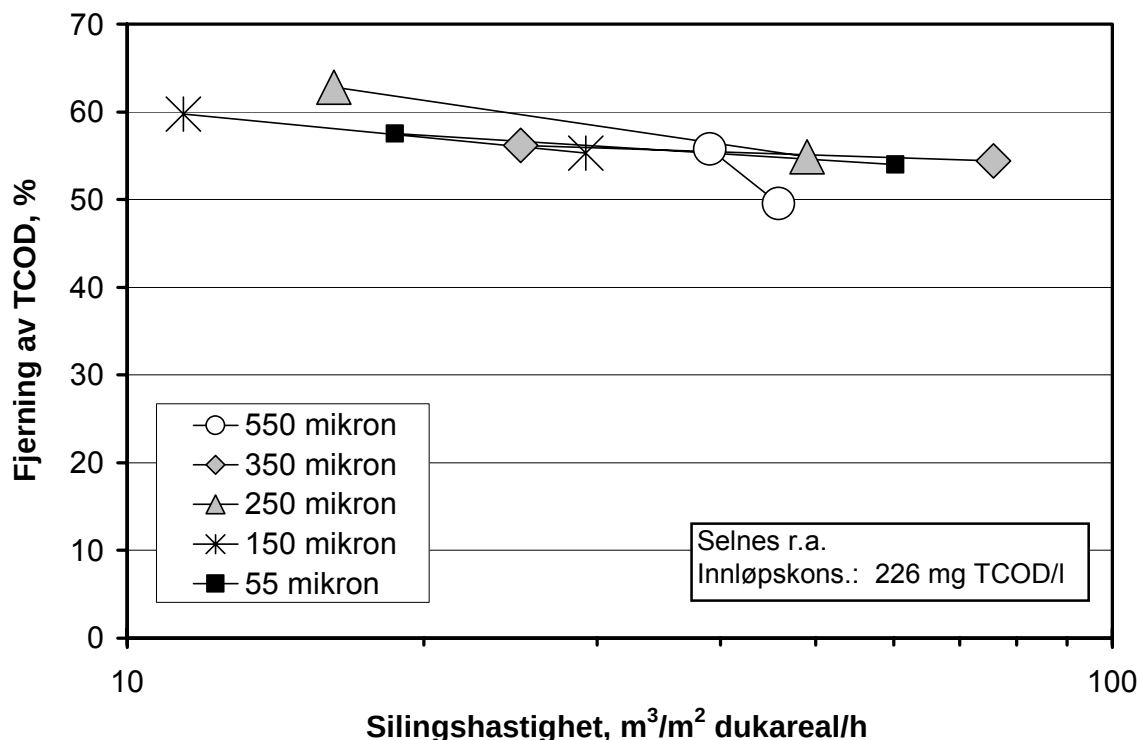
Resultatene fra benkeskala forsøk med filtermatte på sildukene er vist i figurene 40 og 41. Det ble oppnådd meget høye renseeffekter. Fjerningen av SS var så høy som 86 % ved en silingshastighet på 11 m³/m² dukareal/h. Med økende silingshastighet sank renseeffekten for SS gradvis til 73 % ved en silingshastighet på 76 m³/m² dukareal/h.

Med filtermatte på sildukene ble det hele tiden målt minst 50 % renseeffekt for TCOD. Som middelerverdi for alle sildukene indikerer figur 41 at renseeffekten for TCOD sank fra ca. 60 % ved en silingshastighet på ca. 15 m³/m² dukareal/h, til ca. 55 % ved en silingshastighet på ca. 60 m³/m² dukareal/h.

Med filtermatte på sildukene var samtlige utløpskonsentrasjoner godt under det alternative primærrensekravet på 60 mg SS/l. Utløpskonsentrasjonene varierte fra 17 til 33 mg SS/l, med en middelerverdi på 25 mg SS/l. Selv med renvasket silduk (uten filtermatte) var utløpskonsentrasjonene under 60 mg SS/l når silduken hadde lysåpning på 250 mikron eller mindre.



Figur 40. Fjerning av SS som funksjon av silingshastighet for avløpsvann fra Selnes renseanlegg.



Figur 41. Fjerning av TCOD som funksjon av silingshastighet for avløpsvann fra Selnes renseanlegg.

6.2.3. Fullskala resultater

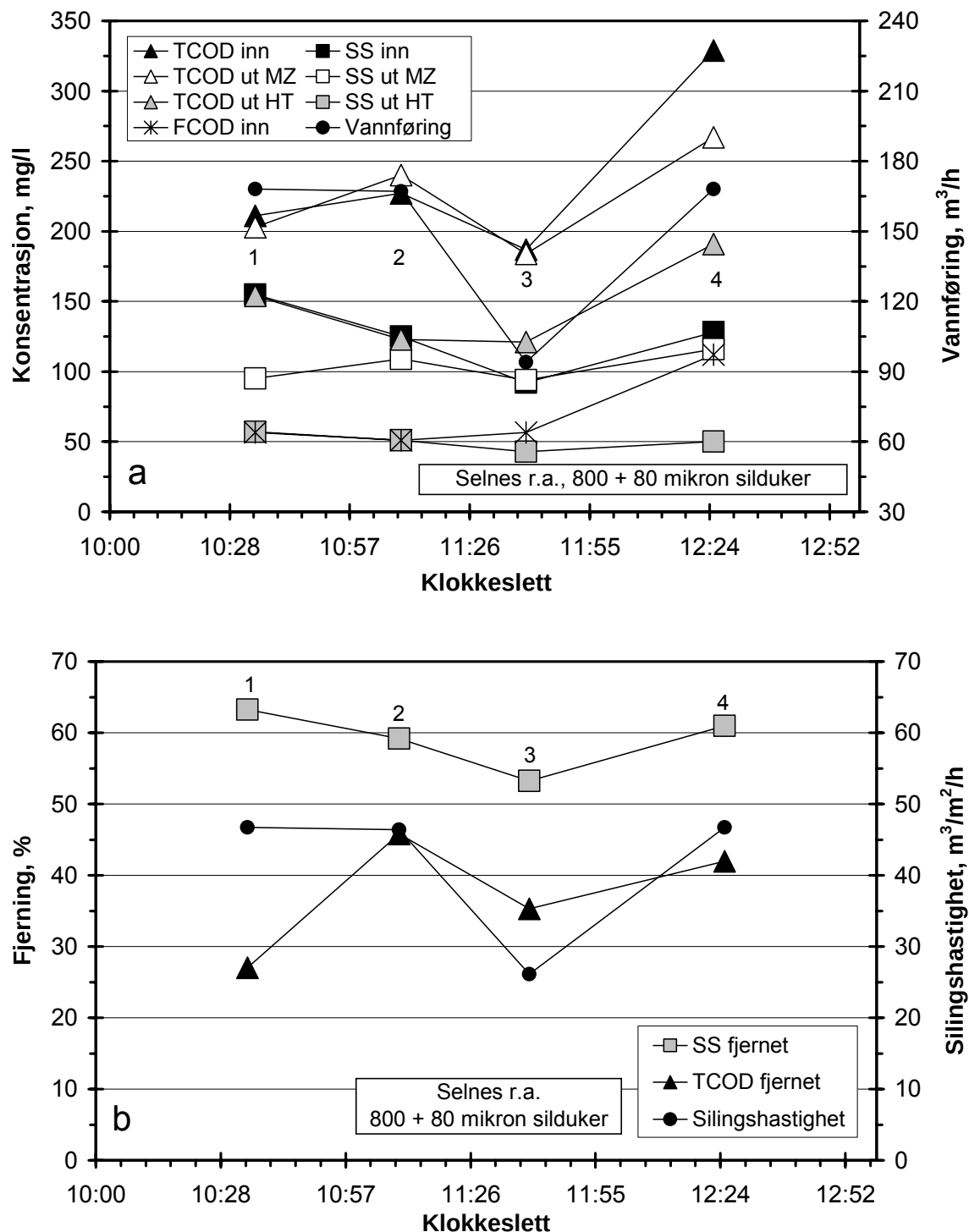
Resultater fra de 4 seriene med stikkprøver tatt av innløpsvann, utløp fra MaskoZoll (MZ) sil og utløp fra Hydrotech (HT) trommelfilter på Selnes renseanlegg, er vist i figur 42. Vannføringen var 94 m³/h i prøveserie 2. For de andre prøveseriene var vannføringen mellom 165 og 170 m³/h, hvilket var ca. 30 % av den oppgitte maksimale kapasiteten for trommelfilteret fra Hydrotech. Trommelfilteret ble spylt kontinuerlig og roterte med 3 omdreininger pr. minutt. Uten spesielt verneutstyr var det ikke mulig å registrere trykktapet over trommelfilteret eller få en visuell sjekk av om silduken hadde filtermatte.

Med unntak av prøveserie 1, hvor det ble målt 39 % fjerning av SS, var renseeffektene over MaskoZoll silen meget lave. På grunn av begrenset analysenøyaktighet ble det i enkelte tilfeller registrert negative renseeffekter over denne silen. Veid middel av de 4 prøveseriene viste midlere renseeffekter på 17 % for SS og 5 % for TCOD.

For renseanlegget som helhet, med de to silene med silåpninger på henholdsvis 800 og 80 mikron koblet i serie, ble primærrensekravet til fjerning av SS oppfylt for alle 4 prøveseriene. Benkeskalatesting indikerte at minst 60 % fjerning av SS burde oppnås med en silduk på 80 mikron, når denne ble kjørt uten filtermatte. Veid middel av de 4 prøveseriene viste 60 % fjerning av SS og 38 % fjerning av TCOD. Utløpskonsentrasjonene for SS varierte fra 43 til 57 mg/l, med en veid middelvei på 51 mg SS/l. Det vil si at avløpsvannet var så tynt at man for samtlige utløpsprøver også oppfylte det alternative primærrensekravet om en utløpskonsentrasjon under 60 mg SS/l.

Silingshastighetene i fullskalanlegget var under 50 m³/m² dukareal/h. Forsøkene i benkeskala viste over 70 % fjerning av SS, selv ved den høyeste silingshastigheten på 76 m³/m² duka-

real/h. Resultatene fra fullskalaanlegget på Selnes indikerer derfor at trommelfilteret gikk uten filtermatte på silduken.



Figur 42. Resultater fra fullskala tester med silene på Selnes renseanlegg. Tallverdiene i figuren viser til prøveserie i tabell 9. Siler av type MaskoZoll (MZ) med 800 mikron silåpning, og Hydrotech (HT) med 80 mikron silduk, drevet i serie.

For prøveserie 3 ble det målt 47 mg TBOD₅/l i innløp til renseanlegg og 23 mg TBOD₅/l i utløp, tilsvarende en renseeffekt på 51 %. For den samme prøveserien var renseeffekten for TCOD på 35 %. For BOD₅ oppgir laboratoriet en måleusikkerhet på ± 25 %, hvilket vil si at renseeffekten for TBOD₅ i prøveserie 3 var mellom 18 og 71 %.

6.3. Breivika renseanlegg

Breivika renseanlegg er bygd med tre siler i parallell av typen Salsnes Filter SF 4000 med 350 mikron silduker. Neddykket silareal er på maksimalt 1,0 m² pr. sil. Forbehandlingen består av et langsandfang med en skruetransportør i bunnen.

Testing og prøvetaking på Breivika renseanlegg strakte seg over totalt 3 dager. Den første dagen (mandag) ble prøver tatt som stikkprøver fra utløp sandfang og fra utløp renseanlegg. Det var kun én av silene som var i drift. Det ble imidlertid observert at sandfanget til en viss grad fungerte som et sedimenteringsbasseng, og at sedimentert materiale ble virvlet opp som en sky når skruetransportøren i bunnen startet. Dermed kunne man risikere å få utløpsprøver fra sandfanget som inneholdt meget høye konsentrasjoner av SS. Dag to (tirsdag) ble det derfor tatt stikkprøver av både innløp til sandfang, utløp fra sandfang og utløp fra renseanlegget. Også denne dagen var det kun én av silene som var i drift. Den tredje dagen (torsdag) ble det tatt én stikkprøveserie av innløp til sandfang og utløp fra renseanlegget. Ved prøvetakingen på dag tre var alle tre silene i drift.

6.3.1. Karakterisering av avløpsvann

På grunn av nedbør var avløpsvannet tynt. Innløpskonsentrasjoner for de forskjellige prøveseriene og for de to batchene med avløpsvann til benkeskala tester, er vist i tabell 10.

Tabell 10. Konsentrasjoner av avløpsvann ved testing på Breivika renseanlegg.

Prøveserie/ batch til benkeskala forsøk	Tid for uttak av vannprøve		Konsentrasjoner, mg/L			FCOD/TCOD- forhold
	Dag	Klokkeslett	SS	FCOD	TCOD	
*Batch 1	1	15:10	134	177	364	0,49
*1	1	15:20	140	163	379	0,43
*2	1	16:00	138	143	359	0,40
*3	1	16:40	116	157	343	0,46
*4	1	18:40	94	109	224	0,49
Batch 2	2	10:15	173	92	359	0,26
5	2	10:25	178	86	315	0,27
6	2	11:32	185	117	326	0,36
7	2	12:15	167	100	330	0,30
8	2	13:25	166	94	365	0,26
9	3	15:00	156	135	351	0,38

* Prøver tatt i utløp fra sandfang.

På dag 1 ble innløpsprøvene tatt i utløpet fra sandfanget. Alle disse prøvene hadde meget høye FCOD/TCOD-forhold, med verdier fra 0,40 til 0,49. På dag 2 ble innløpsprøvene tatt foran sandfanget. Denne dagen var FCOD/TCOD-forholdene noe lavere, med verdier fra 0,26 til 0,36. Den ene innløpsprøven på dag 3 ble tatt foran sandfanget og denne hadde et relativt høyt FCOD/TCOD-forhold på 0,38. På dag 3 ble det også målt en TBOD₅ i innløpsprøven på 79 mg/l, tilsvarende et TBOD₅/TCOD-forhold på 0,23.

6.3.2. Benkeskala tester

Benkeskala tester ved Breivika renseanlegg ble kjørt med to batcher med avløpsvann, som hadde konsentrasjoner som vist i tabell 10. Batchen på dag 1 ble tatt fra utløpet av sandfanget, mens batchen på dag 2 ble tatt foran sandfanget. Konsentrasjoner og renseeffekter for SS og TCOD, etter siling gjennom rene silduker med forskjellige lysåpninger, er vist i henholdsvis figur 43 og 44. Uten filtermatte ble det på dag 1 målt fra 32 til 48 % fjerning av SS, med lysåpninger fra 550 til 55 mikron i sildukene. Avløpsvannet hadde et FCOD/TCOD-forhold på 0,49 og fjerningen av TCOD varierte fra 19 til 27 % med lysåpninger fra 550 til 55 mikron i sildukene. Dette indikerer at avløpsvannet i denne batchen ikke var spesielt velegnet for primærrensing med finsiler, men at akseptable renseeffekter bør kunne oppnås med filtermatte på sildukene.

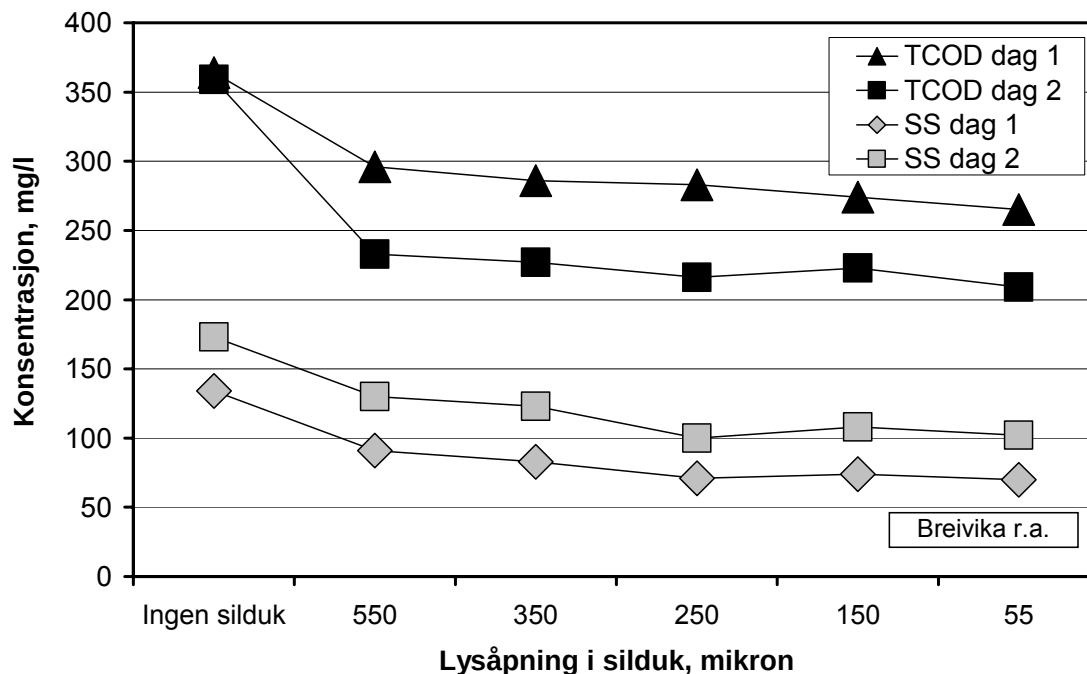
Uten filtermatte på sildukene og med lysåpninger fra 550 til 55 mikron, ble det på dag 2 målt fra 25 til 41 % fjerning av SS og fra 35 til 42 % fjerning av TCOD. Med lysåpninger på 550 og 350 mikron i sildukene var fjerningen av TCOD til dels betydelig høyere enn fjerningen av SS, og med lysåpninger i sildukene fra 250 til 55 mikron var fjerningen av TCOD omtrent den samme som fjerningen av SS. Dette er bare mulig dersom de partiklene som ble fjernet stort sett bestod av fett. PCOD/SS-forholdene indikerer at dette var tilfellet. Urenset avløpsvann hadde et PCOD/SS-forhold på 1,5, mens de fjernede partiklene hadde PCOD/SS-forhold på 2,9 for 550 mikron silduk og på 2,6 for 350 mikron silduk. For sildukene fra 250 mikron til 55 mikron var PCOD/SS-forholdene for de fjernede partiklene på ca. 2,0. Dermed var hovedtyngden av fettpartiklene å finne i partikkelstørrelsesfraksjonen over 350 mikron.

Resultatene fra benkeskala forsøk med filtermatte på sildukene på dag 1 er vist i figur 45. Disse forsøkene ble kun kjørt med 350 mikron silduk og det ble oppnådd fra 56 til 60 % fjerning av SS ved silingshastigheter fra 55 til 93 m³/m² dukareal/h. Dette var ca. 20 % høyere enn det som ble oppnådd med denne silduken uten filtermatte. For TCOD ble det oppnådd fra 28 til 32 % fjerning ved silingshastigheter fra 55 til 93 m³/m² dukareal/h. Dette var ca. 10 % høyere enn den TCOD-fjerningen som ble oppnådd med denne silduken uten filtermatte.

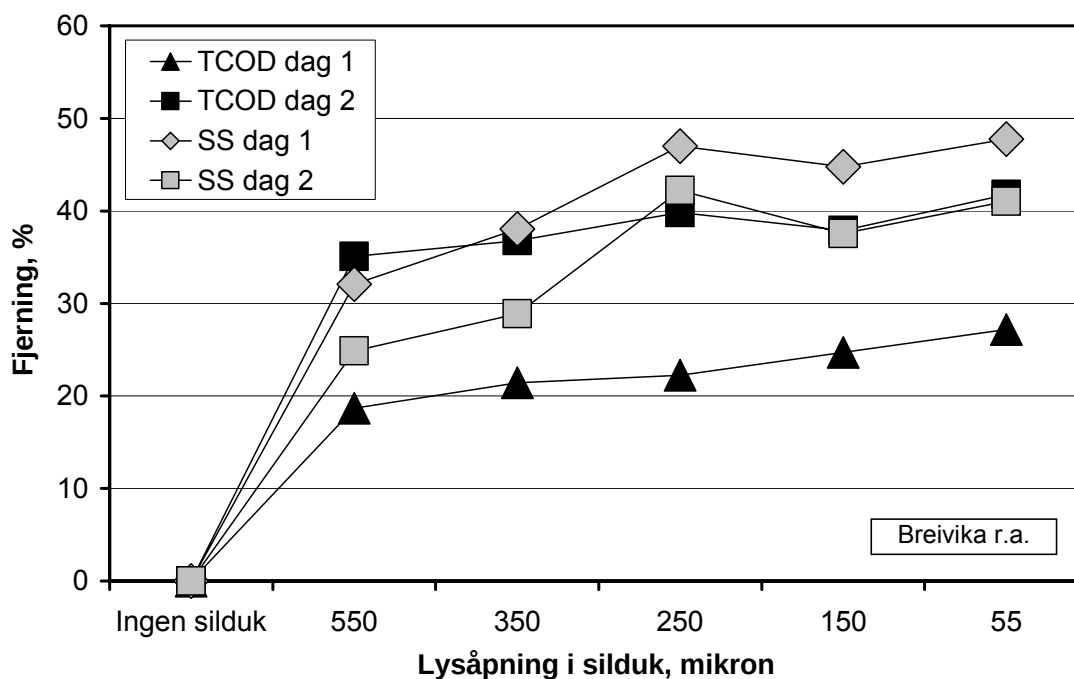
Resultatene fra benkeskala forsøk med filtermatte på sildukene på dag 2 er vist i figurene 46 og 47. Disse forsøkene ble kjørt med alle sildukene. Det framgår av figur 46 at kritisk silingshastighet for å klare 50 % fjerning av SS var mellom 60 og 70 m³/m² dukareal/h. På grunn av høy fjerning av fettpartikler ble det også fjernet ca. 50 % TCOD opp til en silingshastighet mellom 60 og 70 m³/m² dukareal/h. Disse renseeffektene kan sammenlignes med 29 % fjerning av SS og 37 % fjerning av TCOD med en 350 mikron silduk uten filtermatte.

6.3.3. Fullskala resultater

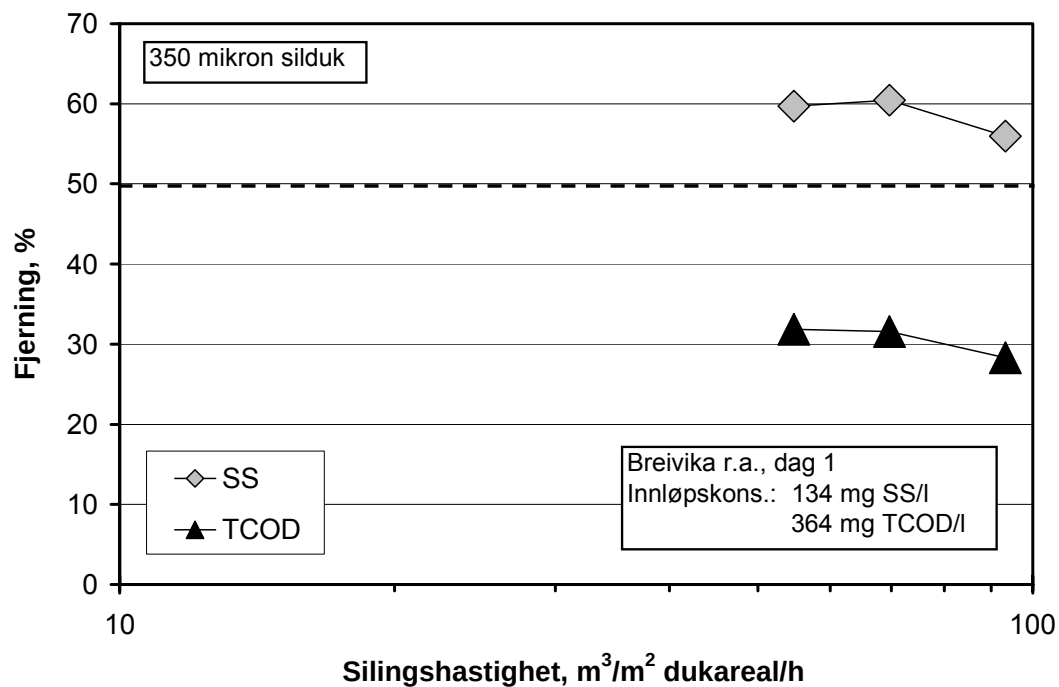
Både på dag 1 og dag 2 ble det visuelt registrert at silduken på den ene silen som var i drift gikk ca. 20 % tiden, og at den ellers sto i ro. På begge dagene varierte trykktapet over silduken fra 5 cm til 21 cm, med et midlere trykktap anslått til ca. 13 cm.



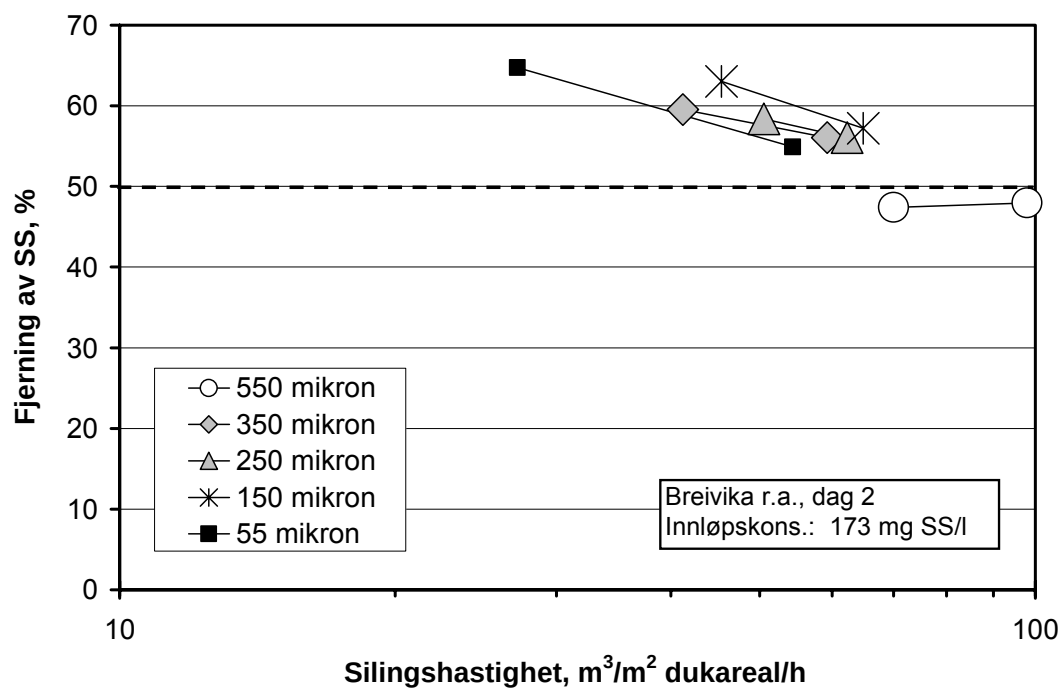
Figur 43. Konsentrasjoner av SS og TCOD for ubehandlet avløpsvann og etter passering gjennom silduker med angitt lysåpning. Gjelder avløpsvann fra Breivika renseanlegg, målt med rene silduker, uten filtermatte.



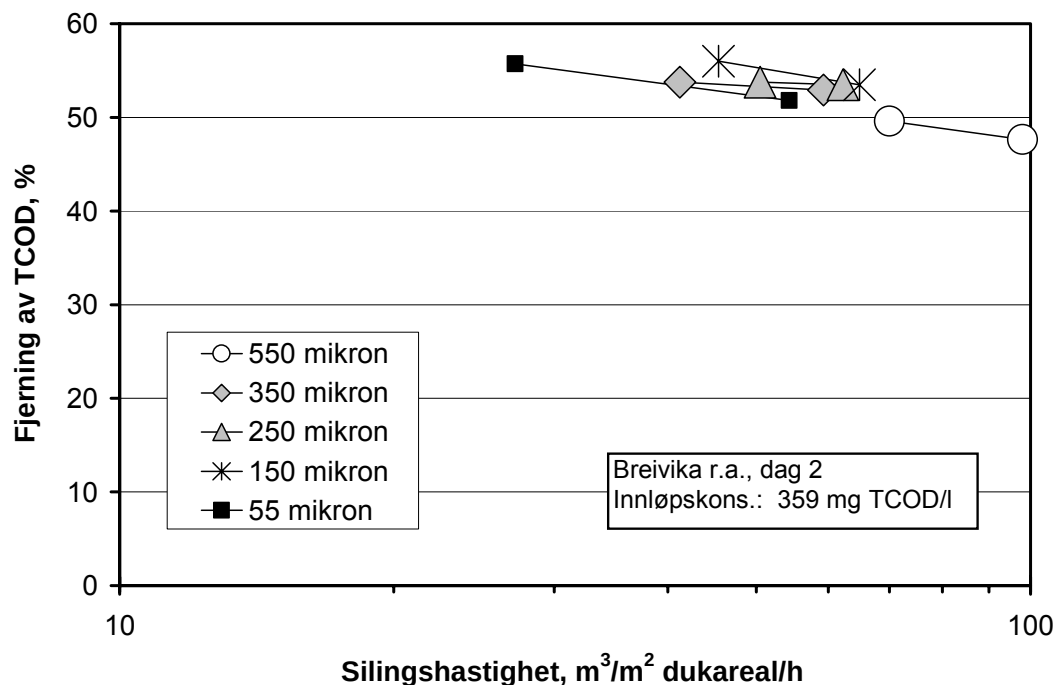
Figur 44. Fjerning av SS og TCOD etter passering gjennom silduker med angitt lysåpning. Gjelder avløpsvann fra Breivika renseanlegg, målt med rene silduker, uten filtermatte.



Figur 45. Fjerning av SS og TCOD som funksjon av silingshastighet for avløpsvann fra Breivika renseanlegg. Data fra testing på dag 1, med 350 mikron silduk.



Figur 46. Fjerning av SS som funksjon av silingshastighet for avløpsvann fra Breivika renseanlegg. Data fra testing på dag 2.



Figur 47. Fjerning av TCOD som funksjon av silingshastighet for avløpsvann fra Breivika renseanlegg. Data fra dag 2.

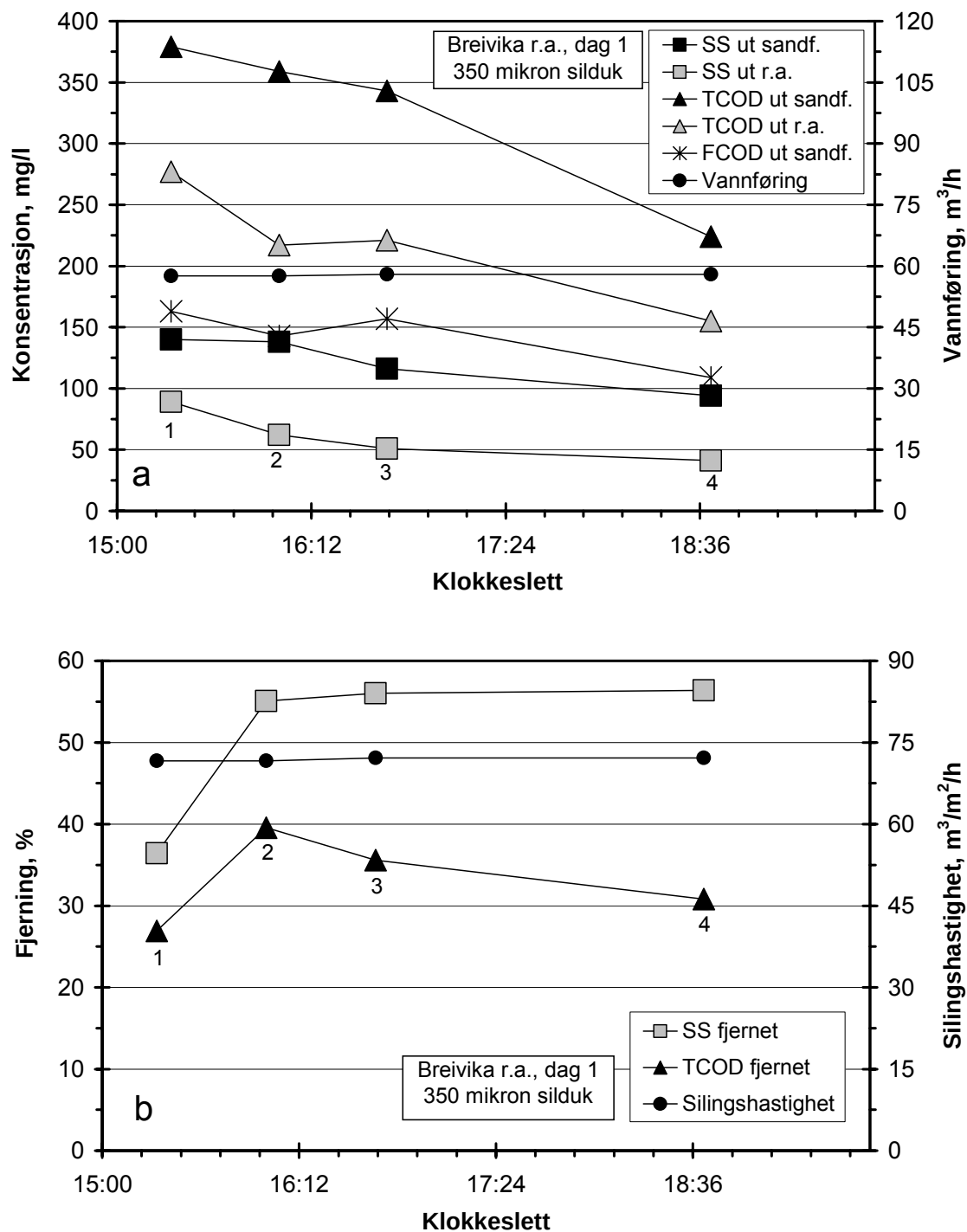
Resultatene fra de 4 seriene med stikkprøver, tatt ved utløpet av sandfanget og utløpet av renseanlegget på dag 1, er vist i figur 48. Vannføringen var tilnærmet konstant, med en vannmengde på ca. 58 m³/h og en silingshastighet på ca. 72 m³/m² dukareal/h. Innløpskonsentrasjonene var gradvis avtakende utover ettermiddagen/kvelden.

I prøveserie 1 ble det bare oppnådd 36 % fjerning av SS. I de tre andre prøveseriene på dag 1 ble det fjernet gjennomsnittlig 56 % SS. Prøveserie 2 hadde lavest FCOD/TCOD-forhold, og denne serien oppnådde høyest fjerning av TCOD med 40 %. Prøveseriene 3 og 4 hadde utløpskonsentrasjoner av SS på henholdsvis 51 og 41 mg/l, slik at de lå godt under det alternative primærrensekravet på 60 mg SS/l. Veid middel av de 4 prøveseriene på dag 1 viste en renseeffekt på 51 % for SS og 33 % for TCOD. Virkelig renseeffekt over hele anlegget var noe høyere enn dette, fordi det må antas at noen partikler ble fjernet i sandfanget.

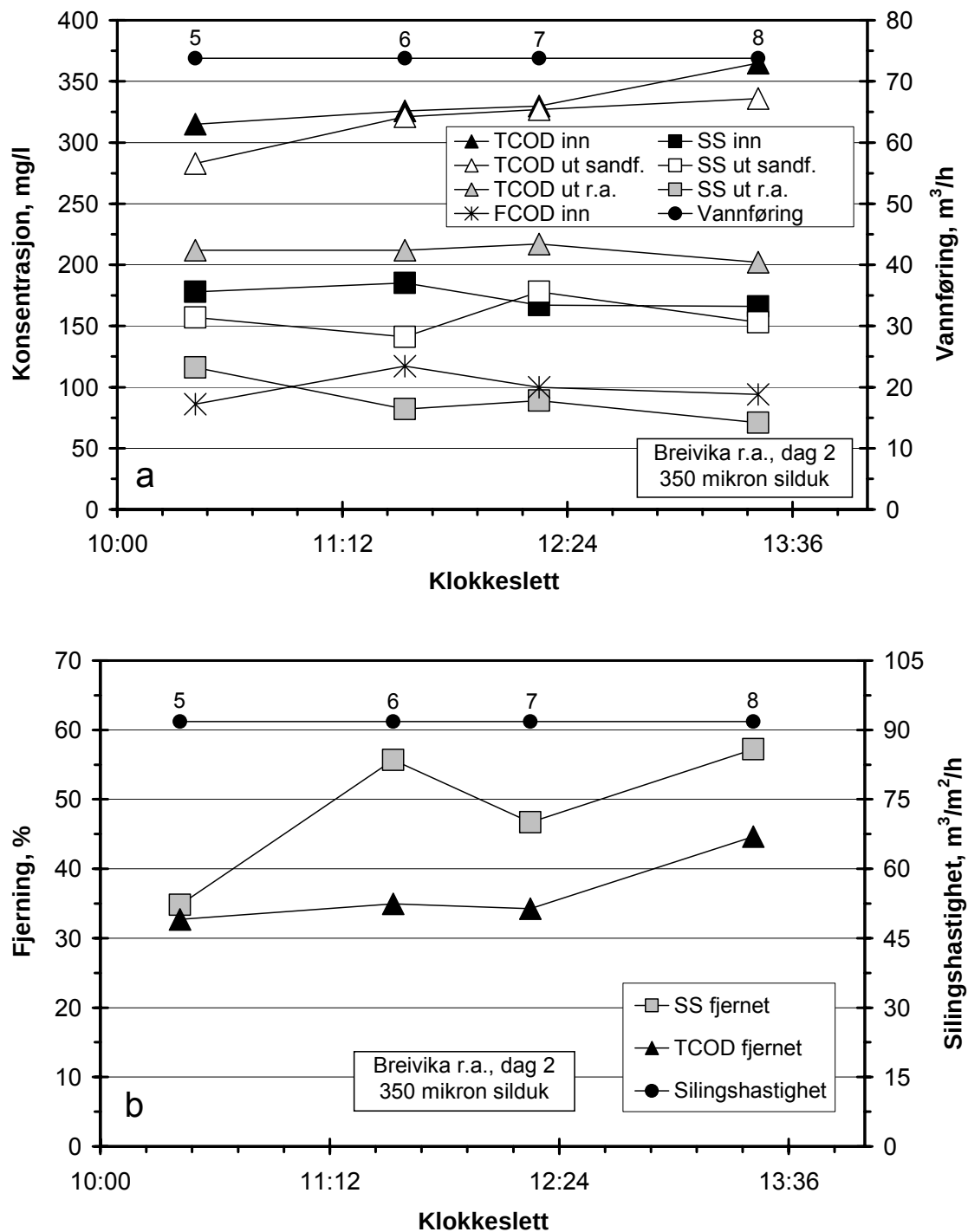
Sammenlignet med benkeskalatesten var prøveserie 1 en uteligger. Prøveseriene 2, 3 og 4 bekreftet de resultatene som ble oppnådd i benkeskala med filtermatte på silduken. Visuell observasjon i fullskala viste at det var filtermatte på silduken i alle prøveseriene, men at denne matten virket mye mer porøs i serie 1 enn i de tre andre seriene. Filtermatten var tynneste i prøveserie 4, hvor også partikkelbelastningen var klart lavest.

Resultatene fra de 4 seriene med stikkprøver, tatt ved innløpet til sandfanget, utløpet av sandfanget og utløpet av renseanlegget på dag 2, er vist i figur 49. Vannføringen var tilnærmet konstant, med en vannmengde på ca. 74 m³/h og en silingshastighet på ca. 92 m³/m² dukareal/h. Visuelt var det en brukbar filtermatte på silduken i alle forsøksseriene. Innløpskonsentrasjonene var meget stabile. Midlere renseeffekt over sandfanget var 9 % for SS og 5 % for TCOD. For SS varierte imidlertid renseeffekten over sandfanget fra pluss 24 % i prøveserie 6 til minus 7 % i prøveserie 7. Skruetransportøren i bunnen av langsandfanget ble kjørt manuelt mellom prøveserie 6 og 7. Denne virvlet opp partikler og det var effekten av dette som førte til økt SS-konsentrasjon ut av sandfanget i prøveserie 7.

På dag 2 ble kravet til 50 % fjerning av SS oppnådd bare i prøveserie 6 og prøveserie 8. Midlere fjerning for prøveseriene 5 til 8 var 49 % for SS og 37 for TCOD. Dette stemmer godt med resultatene fra benkeskala forsøk, som viste 48 % fjerning av SS ved en silingshastighet på 98 m³/m² dukareal/h.



Figur 48. Resultater fra dag 1 med fullskalatester med én sil i drift på Breivika renseanlegg. Tallverdiene i figuren viser til prøveserie i tabell 10. Salsnes Filter SF 4000 sil med 350 mikron silduk. Beregnede renseeffekter basert på prøver fra utløp sandfang og utløp renseanlegg.



Figur 49. Resultater fra dag 2 med fullskalatester med én sil i drift på Breivika renseanlegg. Tallverdiene i figuren viser til prøveserie i tabell 10. Salsnes Filter SF 4000 sil med 350 mikron silduk. Beregnede renseeffekter basert på prøver fra innløp sandfang og utløp renseanlegg.

Resultatene fra den ene prøveserien (prøveserie 9) på Breivika renseanlegg på dag 3, er oppsummert i tabell 11. Alle tre silene var i drift, slik at silingshastigheten på 26 m³/m² duka-

real/h var betydelig lavere enn de silingshastighetene som ble brukt på dag 1 og dag 2. Det ble kun tatt prøver av renseanleggets innløp (foran sandfang) og utløp.

Tabell 11. Resultater fra prøveserie 9 på Breivika renseanlegg på dag 3. Alle tre Salsnes Filter SF 4000 siler i drift.

Parameter	Verdi
Tidspunkt	15:00
Vannføring, m ³ /h	77
Silingshastighet, m ³ /m ² dukareal/h	26
SS i innløp, mg/l	156
SS i utløp, mg/l	76
SS fjernet, %	51
TCOD i innløp, mg/l	351
TCOD i utløp, mg/l	227
TCOD fjernet, %	35
TBOD ₅ i innløp, mg/l	79
TBOD ₅ i utløp, mg/l	68
TBOD ₅ fjernet, %	14

Prøveserie 9 overholdt primærrensekravet om 50 % fjerning av SS. Fjerningen av TCOD indikerer at kravet om 20 % fjerning av BOD₅ skulle være overholdt med god margin, men BOD-analysene viste bare 14 % fjerning. Laboratoriet oppgir imidlertid en måleusikkerhet for BOD-analysen på ±25 %, slik at den virkelige fjerningen av total BOD₅ kan være alt fra negative verdier til pluss 48 %.

7. Samlet vurdering av resultatene

Det er viktig å være klar over at alle de stikkprøvene fra fullskalaanlegg, som er tatt i dette prosjektet, kun er ment for å verifisere egnetheten av den benkeskala testen som ble utviklet i et tidligere prosjekt (Rusten og Lundar, 2004), samt for å verifisere de kriteriene for dimensjonering, utforming og drift av finsilanlegg som også ble etablert i dette tidligere prosjektet. Våre stikkprøveresultater vil derfor ikke nødvendigvis være representative for om de anleggene vi var innom vil oppfylle de foreslåtte kravene til primærrensing (SFT, 2003) i en normal driftssituasjon. Dette må eventuelt bedømmes på grunnlag av vannmengdeproporsjonale døgnblandprøver, hvor man også får med seg effekten av eventuell slambehandling. Et eksempel vil være partikler fra sedimentering av spylevann på Selnes renseanlegg. Disse partiklene pumpes tilbake til MaskoZoll silen bare én gang pr. døgn, og denne pumpen var ikke i drift i forbindelse med vår prøvetaking på anlegget.

En totalvurdering av de forsøkene vi har gjennomført på 10 fullskala finsilanlegg viste godt samsvar mellom resultater fra benkeskala forsøk og resultater fra fullskala drift. Overensstemmelsen mellom benkeskala- og fullskalaresultater var mer enn god nok til å rettferdiggjøre bruk av benkeskala forsøk som et verktøy for å få et bedre dimensjoneringsgrunnlag for nye anlegg.

Dimensjoneringsgrunnlaget vil bli sikrere jo flere benkeskala forsøk man kan gjennomføre. Det er viktig å få kjørt slike forsøk under forskjellige forhold, som for eksempel høy/lav vannføring og høy/lav konsentrasjon på avløpsvannet. Dersom det aktuelle anlegget har industritilknytning av noe betydning, er det også viktig å få kartlagt industritilførselen og få kjørt benkeskala tester henholdsvis med og uten industritilførsel.

I tillegg til å skaffe et pålitelig dimensjoneringsgrunnlag for nyanlegg, kan benkeskala tester også brukes for å optimalisere driften av eksisterende silanlegg. I benkeskala kan man teste en rekke variable, som for eksempel lysåpning i silduk, effekt av filtermatte og silingshastighet. Dermed kan man få en pekepinn på hvordan diverse tiltak vil påvirke renseeffekten for fullskalaanlegget. Aktuelle tiltak kan for eksempel være utvidelse med en ekstra sil, ombygging til frekvensstyrte innløpspumper, bytting til silduk med en annen lysåpning, eller endrede rutiner for rengjøring/spyling av silduk.

Fullskalaforsøkene på de 10 finsilanleggene bekreftet nytten av en filtermatte på silduken for å oppnå høyest mulig renseeffekter. Forsøkene bekreftet også at renseeffektene kan økes ved å kjøre anleggene med så lave silingshastigheter som mulig. I praksis vil dette si at på anlegg med flere siler i parallell bør alle silene være i drift samtidig, selv ved relativt moderate vannmengder, dersom målsettingen for finsilanlegget er å oppnå så høye renseeffekter som mulig.

På flere av anleggene ble det observert at silgodset (de partiklene som ble fjernet på sildukene) hadde høye PCOD/SS-forholdet. Et høyt PCOD/SS-forhold indikerer et energirikt slam, som må antas å inneholde en god del fett.

Jo lavere silingshastighet man må ha for å oppnå tilstrekkelig høy renseeffekt, jo større silanlegg må man bygge. Ved lave silingshastigheter må man derfor vurdere om andre former for primærrensing vil være mer økonomisk. Våre forsøk med fullskalanlegg omfattet silingshastigheter fra 25 til 308 m³/m² dukareal/h. For de prøveseriene fra fullskalanleggene som oppnådde mer enn 50 % fjerning av SS, var den høyeste silingshastigheten på 122 m³/m² dukareal/h (Guldholmstranda renseanlegg, 67 % fjerning av SS).

Fordi det vil være store variasjoner i avløpsvannets sammensetning også på det enkelte renseanlegg, må det legges inn en sikkerhetsfaktor i dimensjoneringen. Denne sikkerhetsfaktoren vil bli mindre jo flere vannprøver og tester man baserer dimensjoneringen på. Etter hvert

som man vinner erfaringer og får et tilstrekkelig datagrunnlag kan nødvendig sikkerhetsfaktor bestemmes statistisk. Inntil videre ble det i et tidligere prosjekt (Rusten og Lundar, 2004) anbefalt at man bruker en sikkerhetsfaktor på minst 2 ved beregning av dimensjonerende dukareal ut fra den type kurver over renseeffekter og silingshastigheter som bestemmes ved benkeskala forsøk. Testene på de 10 fullskalaanleggene indikerer at en sikkerhetsfaktor på 2 vil være et godt utgangspunkt. Forsøkene har ikke vært omfattende nok til eventuelt å kunne anbefale en lavere sikkerhetsfaktor.

8. Referanser

SFT (2003) Forslag til forskrift om utslipp av avløpsvann (avløpsforskriften). 24. juni.

Rusten B. og Lundar A. (2004) PRIMÆRRENS prosjekt 4: Etablering av kriterier for dimensjonering, utforming og drift av finsilanlegg. (Foreløpig utgave). Aquateam rapport nr. 04-041, november.