

0-
86068

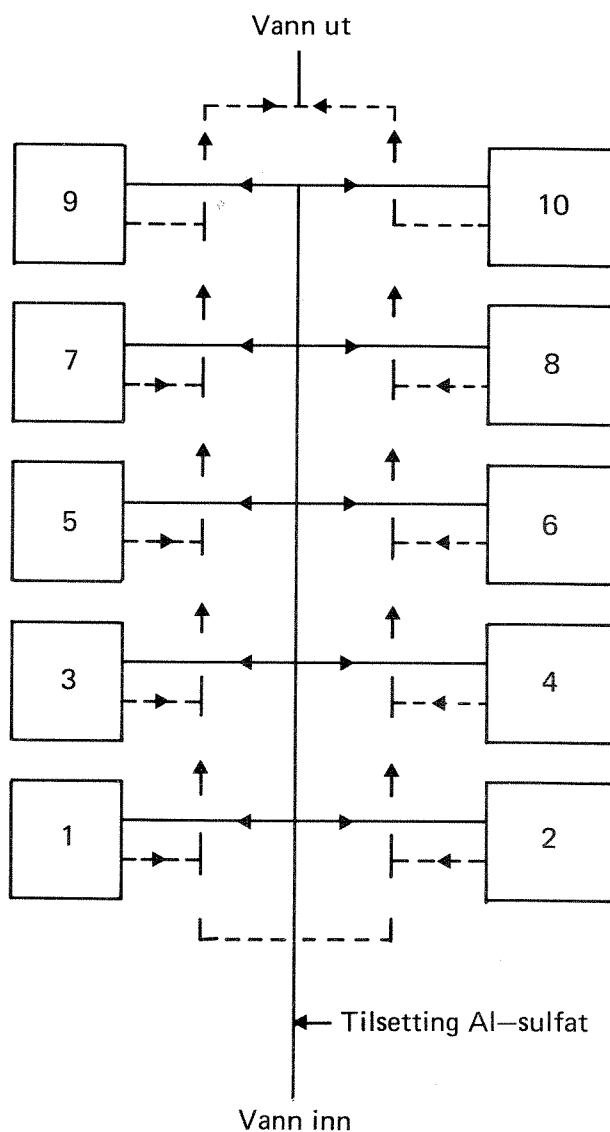
1904

ARKIV
EKSEMPLAR

RAPPORT 10|86

0-86068

Driftsundersøkelse
av VIV's
direktefiltrerings-
anlegg ved
Akersvann



NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

Hovedkontor

Postboks 333
0314 Oslo 3
Telefon (02) 23 52 80

Sørlandsavdelingen

Grooseveien 36
4890 Grimstad
Telefon (041) 43 033

Østlandsavdelingen

Rute 866
2312 Ottestad
Telefon (065) 76 752

Vestlandsavdelingen

Breiviken 2
5035 Bergen - Sandviken
Telefon (05) 25 97 00

Prosjektnr.:	0-86068
Undernummer:	
Løpenummer:	1904
Begrenset distribusjon:	

Rapportens tittel: DRIFTSUNDERSØKELSE AV VIV's DIREKTEFILTRERINGSANLEGG VED AKERSVANN	Dato: Juli 1986
	Prosjektnummer: 0-86068
Forfatter (e): Jens Arne Ohren	Faggruppe: VA-teknikk
	Geografisk område: Østlandet
	Antall sider (inkl. bilag):

Oppdragsgiver: VESTFOLD INTERKOMMUNALE VANNVERK (VIV)	Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):
--	----------------------------------

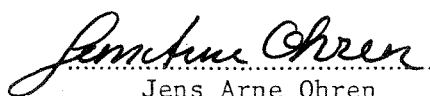
Ekstrakt:

En driftsundersøkelse av direktefiltreringsanlegget ved Akersvann er gjennomført. Anlegget har relativt lav netto kapasitet. Filterene går raskt mot gjennombrudd og renseseffekten er da dårlig. En rekke tiltak er foreslått som forventes å forbedre anlegget.

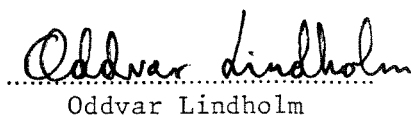
4 emneord, norske:
1. Vannforsyning
2. Direktefiltrering
3. Forbedret kapasitet
4. Forbedret vannkvalitet

4 emneord, engelske:
1. Water-supply
2. Direct-filtration
3. Improved capacity
4. Improved waterquality

Prosjektleder:


Jens Arne Ohren

For administrasjonen:


Oddvar Lindholm

ISBN 82-577-1123-3


Lasse Vråle

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING
OSLO

O-86068

DRIFTSUNDERSØKELSE AV VIV's
DIREKTEFILTRERINGSANLEGG VED AKERSVANN

Oslo, juli 1986

Prosjektleder: Jens Arne Ohren
Medarbeider: Lasse Vråle

I N N H O L D S F O R T E G N E L S E

	Side:
1. FORORD	4
2. SAMMENDRAG	5
3. INNLEDNING	7
4. ANLEGGETS OPPBYGGING	8
5. DRIFTSUNDERSØKELSE	11
6. VANNKVALITET	13
6.1 Råvannskvalitet	13
6.2 Filtrat	14
6.2.1 Turbiditet før spyling	14
6.2.2 Turbiditet etter spyling	18
6.2.3 Surhetsgrad	20
6.2.4 Alger	21
6.2.5 Total organisk karbon (TOC)	26
6.2.6 Andre vannkvalitetsparametre	28
6.3 Konklusjon vannkvalitet	34
7. ANBEFALINGER FOR FORBEDRET DRIFT AV ANLEGGET	36
7.1 Dosering av syre	36
7.2 Fordeling av vannmengde på de enkelte filtere	36
7.3 Dosering av hjelpekoagulant	37
7.4 Filtermediet	37
7.5 Registrering av vannkvalitet fra hvert filter	39
7.6 Første filtrat til avløp	39
7.7 Tilbakespylingsvann for filterene	40
7.8 Totalt organisk karbon (TOC)	41
8. VIDERE ARBEID	42

T A B E L L E R

Tabell 1.	Tilbakespyling av filtere	11
"	2. Råvannskvalitet ved undersøkelsen 22. april 1986	14
"	3. Turbiditet fra de enkelte filtere	18
"	4. Turbiditet i filtrat fra de enkelte filtere	19
"	5. Innhold av alger i filtrat	22
"	6. Innhold av alger i filtrat	24

INNHOLDSFORTEGELSE FORTS.

Side:

F I G U R E R

Figur	1.	Prinsippskisse for filterene.	9
"	2.	Snitt gjennom filterene	9
"	3.	Turbiditet i filtrat fra samleledningen	15
"	4.	Turbiditet i filtrat fra filter 9	17
"	5.	Turbiditet i filtrat fra filter 10	17
"	6.	Surhetsgrad i filtrat fra samleledningen	20
"	7.	Korrelasjon turbiditet - surhetsgrad mellom kl. 09.30 og 11.10	22
"	8.	Klorofyll-a i filtrat fra samleledningen	23
"	9.	Korrelasjon turbiditet - klorofyll	25
"	10.	Totalt organisk karbon i filtrat fra samleledningen	26
"	11.	Korrelasjon turbiditet-TOC i filtrat fra samleledningen	27
"	12.	Aluminiumsinnhold i filtrat fra samleledningen	29
"	13.	Korrelasjon turbiditet-aluminiumsinnhold i filtrat fra samleledningen	30
"	14.	Mangan i filtrat fra samleledningen	31
"	15.	Korrelasjon turbiditet - mangan i filtrat fra samleledningen	32
"	16.	Jerninnhold i filtrat fra samleledningen	33
"	17.	Korrelasjon turbiditet - jerninnhold	33
"	18.	Farge i filtratet fra samleledningen	34

F O R O R D

I august 1985 ble det påvist giftige alger og algetoksiner i renvannet fra direktefiltreringsanlegget ved Akersvannet. En driftsundersøkelse av anlegget ble igangsatt for å forbedre anleggets drift. Denne rapporten omhandler resultater fra undersøkelsen. En ny undersøkelse av anleggets drift vil finne sted i slutten av august 1986. Det vil da i større grad bli lagt vekt på alger og algetoksiner.

I planleggingen av prosjektet og gjennomføring av undersøkelsens første del var Lasse Vrøle sterkt involvert. Undersøkelsens siste del, vurdering av data og rapportering av prosjektet er i hovedsak utført av undertegnede.

Personell ved VIV bidro med meget verdifull innsats under selve driftsundersøkelsen.

Oslo, juli 1986

Jens Arne Ohren

2. SAMMENDRAG

Den 22. april 1986 ble en driftsundersøkelse gjennomført av vannbehandlingsanlegget ved Akersvann. Bakgrunnen for undersøkelsen var påvisning av alger og algetoksiner i renvannet fra vannverket den 22. august 1985.

Undersøkelsen den 22. april var generell og påviste bl.a. følgende:

- Lavt innhold av alger i råvannet. (Akersvann var på undersøkelsestidspunktet islagt). Turbiditet i råvannet var likevel betydelig.
- Filterene hadde relativt lang etableringstid, kort driftstid og gikk raskt mot filtergjennombrudd. Nettokapasiteten på anlegget var derfor liten i forhold til bruttokapasiteten.
- Midt i driftstiden for filteret ble det i filtratet registrert lavt innhold av:
 - * Alger
 - * Klorofyll
 - * Partikulært materiale
 - * Aluminium
 - * Farge
 - * Jern
 - * Mangan

Innholdet av totalt organisk karbon (TOC) var imidlertid noe høyt.

- Utover i fasen for filtergjennombrudd ble det registrert noe høyt innhold av partikulært materialet, klorofyll, alger, organisk materiale og aluminium. Vannets farge og innhold av jern og mangan var fortsatt lavt.

En del tiltak på anlegget er foreslått. Disse tiltakene forventes å resultere i forbedret drift av anlegget. Noen av disse tiltakene er:

- Dosering av syre for å oppnå optimal surhetsgrad i koaguleringen i sommermånedene.
- Forbedret fordeling av hydraulisk belastning mellom de enkelte filtere.
- Dosering av hjelpekoagulant for å bedre anleggets renseseffekt og forlenge filterenes driftstid og øke anleggets kapasitet.
- Kritisk gjennomgang av filtermediet og påsette rør på filtervegger for måling av trykktap gjennom filterene.
- Vannkvalitetsmåling fra de enkelte filtere for mer optimal drift av filterene.
- Føre første del av filtratet til avløp.
- Redusere pH-verdien i tilbakespylingsvannet for filterene.

Det er foreslått videre undersøkelser av vannbehandlingsanlegget i august etter noen av ovennevnte tiltak er gjennomført.

3. INNLEDNING

Akersvann benyttes som reservekilde for Vestfold interkommunale vannverk. Vannkilden har betydelige tilførseler av næringssalter som forårsaker stor oppvekst av alger i sommerhalvåret. I perioder utvikles også algetoksiner.

Den 22. august 1985 ble store algemengder påvist i renvannet til vannverket. Blant disse var Microcystis aeruginosa som er toksinproduserende. Det ble også påvist algetoksiner i råvannet.

Situasjonen var m.a.o. vanskelig og NIVA ble engasjert for å undersøke forholdet nærmere. Befaring til anlegget ble gjennomført den 8. april 1986. På denne befaringen ble det registrert flere ugunstige forhold ved vannbehandlingsanlegget. Det ble derfor foreslått en innledende undersøkelse av vannbehandlingsanlegget i april.

Denne rapporten omhandler resultatene fra undersøkelsen.

I løpet av sommeren og høsten 1986, når algeveksten normalt øker, er det planlagt en nærmere undersøkelse av vannbehandlingsanlegget. I den undersøkelsen vil det bli mer fokusert på alger og algetoksiner.

4. ANLEGGETS OPPBYGGING

Akersvannverket er reservevannverk for Vestfold interkommunale vannverk og benyttes kun når hovedvannverket helt eller delvis er satt ut av funksjon. Anlegget prøvekjøres imidlertid hvert kvartal hvor rentvannet føres til Akersvannet.

Vanninntaket ligger på ca. 7 meters dyp ca. 1,5 meter over bunnen i Akersvannet. Vannet passerer først en inntakssil med åpning ca. 10 mm og føres videre igjennom 260 meter inntaksledning med dimensjon 600 mm av PEH. Fra strandkanten og til råvannspumpeasjonen føres vannet gjennom en 600 mm ledning av duktilt støpejern og pumpes videre gjennom en ledning av rustfritt stål av varierende diameter og inn på filterene.

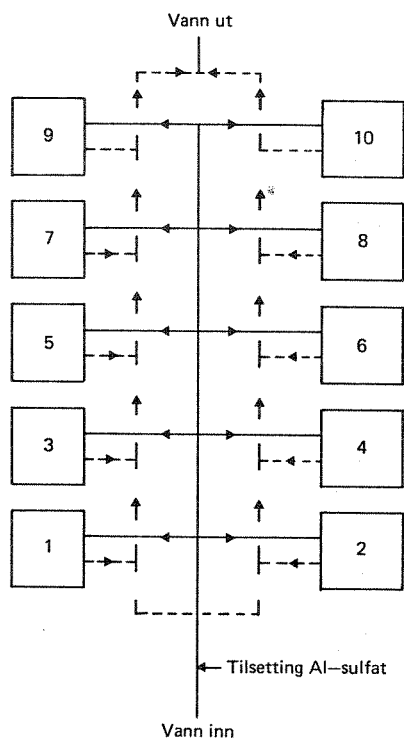
Oppløst aluminiumssulfat doseres direkte inn på pumpeledningen ca. 15 meter før første filter. Doseringen skjer proporsjonalt med innkommen vannmengde.

Filterene består av en gammel og en ny del. Den gamle delen har 4 filtere, hvert med et areal på 23 m^2 og 3 filtere hvert med et areal på 20 m^2 . De gamle filterene har øverst 30 cm antrasitt, nr. 2 med oppgitt kornstørrelse mellom 2,5 og 5 mm. Nederste laget er 60 cm sand med oppgitt størrelse mellom 0,8 og 2 mm. Ved en hydraulisk belastning på $3\,000 \text{ m}^3/\text{h}$, jevnt fordelt over totalt filterareal blir filterhastigheten ca. 7,5 m/h.

Den nye filterdelen har 10 filterenheter, hver med et areal på 25 m^2 . Det øverste laget består av 40 cm antrasitt nr. 2 med oppgitt kornstørrelse mellom 2,5 og 5 mm. Det nederste laget er 60 cm dypt, av sand med oppgitt kornstørrelse mellom 0,8 og 2 mm.

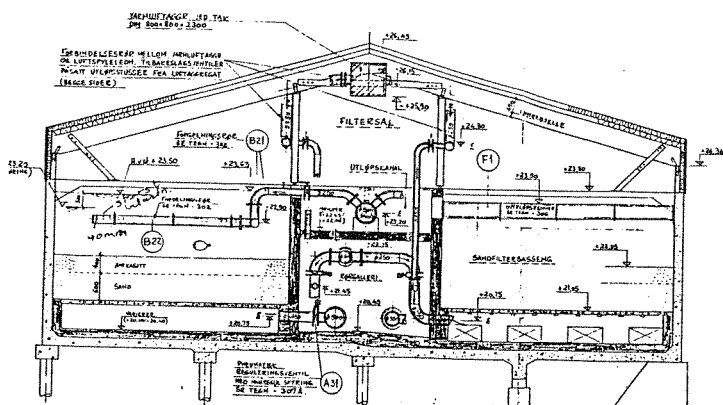
Ved en hydraulisk belastning på $2\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ og kun drift av de nye filterene er den gjennomsnittlige filterhastighet ca. 8 m/h.

Filterene i den nye delen er plassert i to rader hver med fem filtere (se figur 1).



Figur 1. Prinsippskisse for filterene. Tall angir filter nr.

En samlestock med diameter 500 og 400 mm har forgreininger med diameter 200 mm til hver av filterene (se figur 2). Forgreiningene ender i fordelingsrør ca. 85 cm over toppen av antrasittlaget. En utløpsrenne, plassert ca. 145 cm over toppen av antrasittlaget tjener som overløp ved normal drift og utløp ved tilbakespyling av filterene.



Figur 2. Snitt gjennom filterene.

Filterbunnen er av betong med innstøpte plastdyser. Utløpsrørene fra hvert filter føres til en samlestock, utformet som en ringledning. På utløpsledningene fra hvert av filterene er det montert en pneumatisk reguleringsventil styrt av vannnivået i filterbassengene. Systemet sikrer jevnt vannivå over filterene.

Samleledningene fra filterene fører vannet ut i et renavnnsbasseng hvor klor og natronlut tilsettes. Fra renavnnsbassengene pumpes vannet til distribusjonsnettene eller føres tilbake til Akersvannet.

Tilbakespylingen av filterene skjer tørst med trykklufttilførsel i noen få minutter. Deretter tilbakespyles filterene med en vannmengde på $1\ 100\ \text{m}^3/\text{h}$. Tilbakespylingen med vann tilsvarer en filterhastighet på ca. $44\ \text{m/h}$.

Spylevannet føres via overløpsrennene i filterene tilbake til Akersvannet.

Etter befaringen den 8. april ble det anlagt et uttak for filtrat på samleledningen.

5. DRIFTSUNDERSØKELSE

Den 22. april 1986 ble det gjennomført en driftsundersøkelse ved vannverkets nye del. Vannverket ble oppstartet kl. 0900 med en hydraulisk belastning på ca. 2 000 m³/h, tilsvarende en gjennomsnittlig filterhastighet på 8 m/h.

Dosering av aluminiumssulfat var fra oppstartning og til kl. 12.30 30,8 mg/l og etter kl. 1230 28,7 mg/l.

Natronlut ble dosert til renvannet gjennom første del av undersøkelsen. Kl. 1455 ble doseringen stoppet.

I undersøkelsens første del ble oppmerksomheten i hovedsak rettet mot filtrat fra samleledningen (vann fra alle filtere). Mistanke om individuelle forskjeller i filtrat fra de enkelte filtere medførte at hull ble boret i utløpsledningen fra alle 10 filterene. Utover i undersøkelsen ble derfor filtratet fra de enkelte filterene også viet en viss oppmerksomhet.

Tilbakespylingen av filterene skjedde som vist i tabell 1. Under vanlig drift ville tilbakespylingen startet tidligere.

Tabell 1. Tilbakespyling av filtere.

Filter nr.	Start tilbakespyling (kl)	Stopp tilbakespyling (kl)
10	17.00	17.15
9	17.12	17.23
8	17.15	17.30
7	17.30	17.45
6	17.35	17.50
5	17.50	18.05
4	18.35	18.50
3	18.45	19.00
2	18.57	19.13
1	18.52	19.08

Akersvannet var islagt på undersøkelsestidspunktet og algetoksiner eller store algekonsentrasjoner i vannmassene var derfor ikke forventet. En moderat oppmerksomhet ble derfor viet vannkvalitetsparametre som kan relateres til alger.

I undersøkelsen ble det lagt vekt på et bredt utvalg av vannkvalitetsparametre som gir et generelt bilde av anleggets drift.

6. VANNKVALITET

6.1 Råvannskvalitet

Vannkvaliteten i Akersvarnet er kartlagt gjennom flere tidligere undersøkelser utført ved NIVA og SIFF. Undersøkelsene fra 1985 viste høye verdier av bl.a. blågrønnalgen Microcystis aeruginosa og toksinet fra denne algen.

Hittil upubliserte undersøkelser utført av NIVA, (Skulberg) fra inntaksstedet 5. mars 1986, viste oksygenmetninger på vel 30 % på 8 meters dyp og oksygenfritt under 10 meters dyp.

Turbiditet lå mellom 0,9 og 1,0 FTU i de øverste seks meterene og økte fra 1,0 til 3,6 FTU mellom 6 og 10 meter. På 11 og 12 meters dyp var turbiditet målt til henholdvis 14 og 62 FTU.

Farge, totalt fosfor og oppløst fosfor viste også økende verdier mot bunnen.

Trolig er økningen i turbiditet, fosforinnhold og farge mot bunnen forårsaket av reduserende forhold i bunnlagene og utløsning av jern og fosforforbindelser fra sedimentene.

Akersvann var fortsatt islagt da driftsundersøkelsen fant sted. En var kommet enda lengre ut i stagnasjonsperioden for innsjøen. Det er derfor grunn til å anta at oksygenforholdene på inntaksdypet er enda dårligere under driftsundersøkelsen enn ved undersøkelsen 5. mars.

Tabell 2. Råvannskvalitet ved undersøkelsen 22. april 1986.

Kl.slett Parametre		10.00	12.20	22.30	22.45
		Turbiditet	FTU	3,4	
Jern	µg Fe/l	210		146	
Mangan	µg Mn/l	130		50	
TOC	mg/l	7,4		6,2	
Fargetall	mg Pt/l	23,5		23,5	
Aluminium	µg Al/l	24		33	
Klorofyll-a	µg/l		1,30		0,94

Råvannskvaliteten i begynnelsen og mot slutten av driftsundersøkelsen er angitt i tabell 2. Resultatene viser et avtagende innhold av svevepartikler, klorofyll, jern, mangan og TOC mot slutten av undersøkelsen.

Årsakene til forskjellene er vanskelig å angi med sikkerhet. Mellom kl. 10.00 og 22.30 er det imidlertid pumpet ut ca. 25 000 m³ vann. Det er derfor mulighet for at det etterhvert trekkes på råvann fra noe høyere liggende vannlag som er av bedre kvalitet.

Surhetsgraden i råvannet ble målt kontinuerlig gjennom hele undersøkelsen. Kl. 10.00 var pH-verdien 6.30 og økte jevnt til 6.40 kl. 21.45, for deretter å synke jevnt til ca. 6.30 kl. 22.30.

6.2 Filtrat

Prøver fra filtrat er tatt fra utløpsledningen umiddelbart etter filterene og før tilsetning av klor og natronlut.

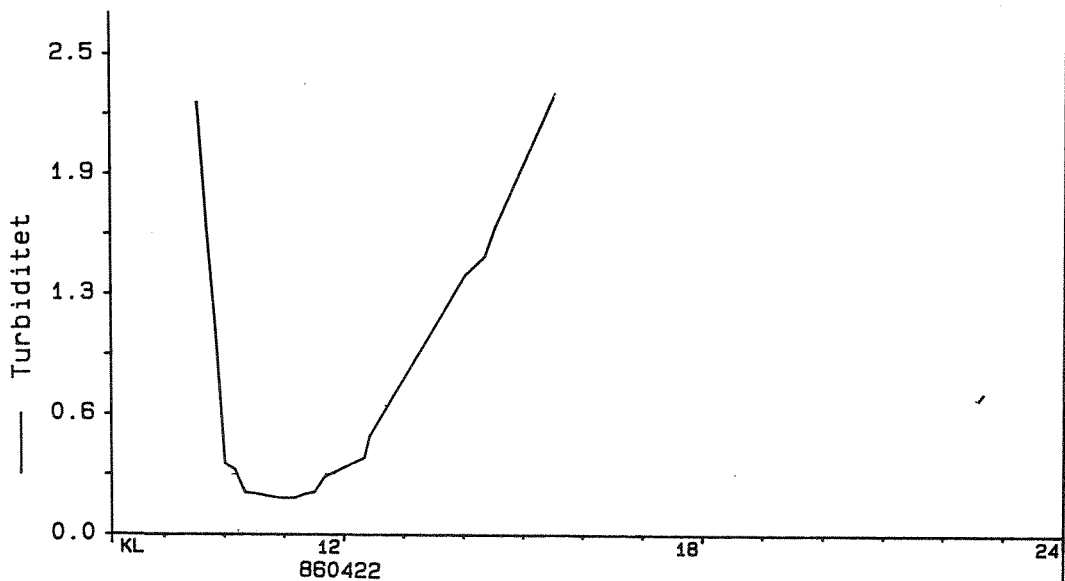
6.2.1 Turbiditet før spyling

Turbiditet angir innholdet av svevepartikler i vannet og er en svært sentral parameter for direktefiltreringsanlegg. Parameteren er enkel å

måle automatisk og gir en rimelig god opplysning om vannverkets drift. En rekke andre vannkvalitetsparametre har sammenheng med turbiditet (behandles senere).

Turbiditet er målt kontinuerlig (hvert minutt) med NIVAs mobil-lab. I løpet av undersøkelsen er totalt ca. 700 verdier av turbiditet registrert.

Figur 3 viser utviklingen i turbiditet i filtrat fra samleledningen (fra alle filtere) for en filtersyklus.



Figur 3. Turbiditet i NTU i filtrat fra samleledningen.

I begynnelsen av filterenes etableringsperiode ble filtratets turbiditet målt til 2,3 NTU. Etter 40 minutters drift ble den redusert til 0,30 NTU som er helsemyndighetenes krav til fullrenset vann. I 1 time og 40 minutter lå den under 0,30 NTU og økte så gradvis til 2,3 NTU kl. 15.30, etter 6 timers filterdrift.

Utviklingen i turbiditet er helt klassisk og følger tre forskjellige faser:

- En modningsfase hvor filtratets turbiditet starter høyt og reduseres raskt. Vanligvis føres filtratet fra denne fase til avløp.

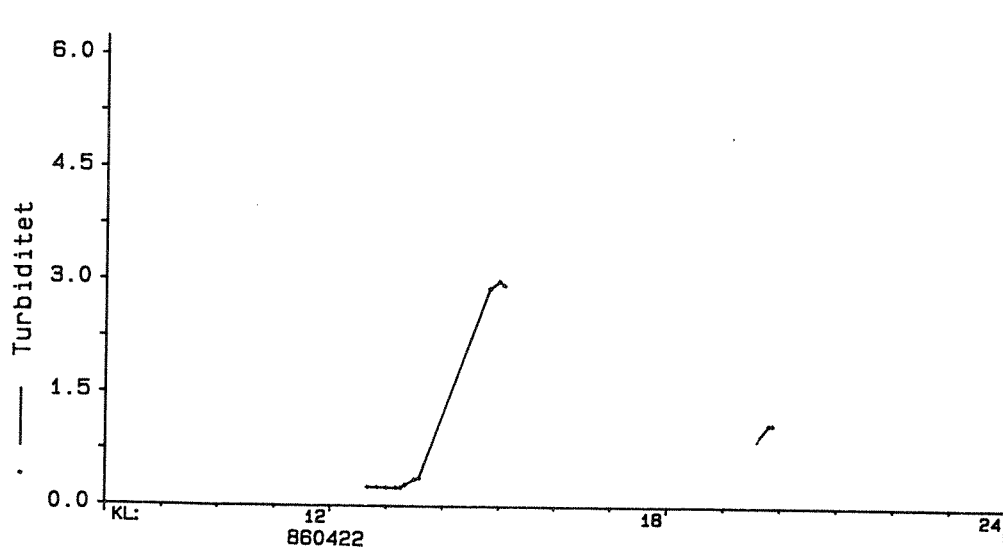
- En driftsfase hvor turbiditet ligger under kvalitetskravene til drikkevann.
- En fase med filtergjennombrudd hvor filterenes akkumuleringskapasitet av slam nærmer seg metning. Før denne fase inntreffer skal filterene normalt tilbakespyles.

Anlegget har ikke mulighet for å føre filtratet i modningsfasen til avløp. Renvannet inneholder derfor relativt mye partikulært materiale like etter filterstart.

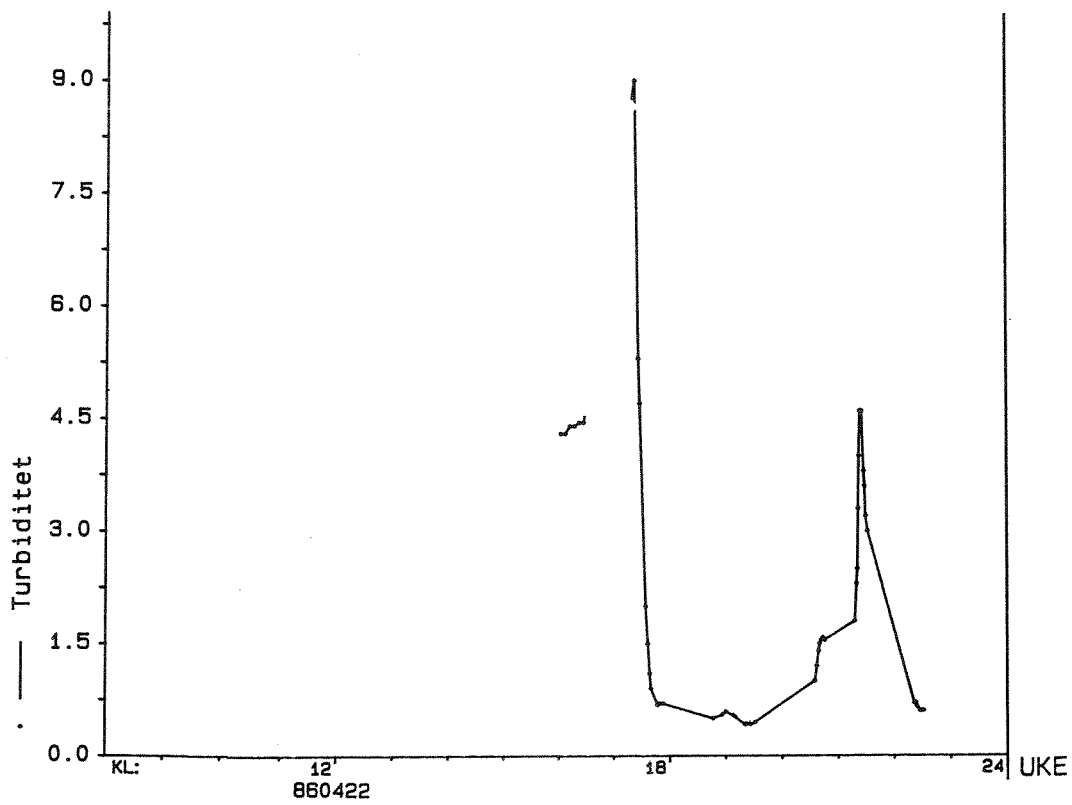
Driftsfasen for samleledningen varer kun 1 time og 40 minutter (før filtratet overskrider helsemyndighetenes vannkvalitetskrav). Denne tiden er svært kort og gir meget lav netto kapasitet på anlegget. Vannmengde og tid benyttet til tilbakespyling utgjør derfor en relativt stor del av henholdsvis total produsert vannmengde og total driftstid. Driftsfasen for filterene må derfor forlenges betraktelig for å øke anleggets kapasitet og filtratets kvalitet. Dette er særlig viktig siden råvannskvaliteten på sommeren vanligvis er betydelig dårligere enn i april.

De prosentvise renses effekter er vanskelig å angi eksakt siden råvannet har varierende turbiditet. I driftsfasen ligger imidlertid renses effekten i området 90 - 95 % for filtrat fra samleledningen.

Turbiditet ble også målt i filtrat fra de enkelte filtere. Figur 4 og 5 angir spredte turbiditetsmålinger fra henholdsvis filter 9 og 10. Videre angir tabell 3 spredte målinger fra filtene 1 - 7.



Figur 4. Turbiditet i filtrat fra filter 9.



Figur 5. Turbiditet i filtrat fra filter 10.

Tabell 3. Turbiditet fra de enkelte filtere.

Tidspunkt	14.45	15.10	15.15	15.18	15.20	15.21	15.25	15.30	15.45	15.47	15.50
Filter nr.	1	2	2	2	2	3	3	3	4	4	4
Turbiditet	0,20	1,1	1,10	1,10	1,05	0,19	0,21	0,19	0,9	0,94	0,96

Tidspunkt	15.57	16.00	16.03	16.04	16.05	16.10	16.15	16.15	16.20	16.21	16.25	16.30
Filter	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	7	7
Turbiditet	2,2	2,25	2,3	2,7	2,7	2,7	2,7	3,55	3,50	3,25	3,20	3,20

Resultatene viser store forskjeller i turbiditet i filtrat mellom de enkelte filtere.

Filtrat fra filterene 1, 2 og 3 har lave verdier av turbiditet i de angitte tidspunkt. Også filtrat fra filter nr. 4 har betydelig lavere turbiditet enn filtrat fra samleledningen. Derimot er turbiditet i filtrat fra filterene 6, 7, 9 og 10 høyere enn i filtratet fra samleledningen.

Filter nr. 9 viser et noe uvanlig forløp. Resultatene viser at lengre driftstid oppnås for dette filteret enn for samleledningen. Når filtergjennombrudd først er skjedd forverrer imidlertid turbiditeten seg raskere i filter nr. 9 enn i samleledningen. Ca. kl. 15.00 er partikkelinnholdet i filtrat fra filter nr. 9 betydelig høyere enn i filtrat fra samleledningen.

Det er viktig å merke seg at filterene ble drevet betydelig lengre enn de ellers ville, sett ut fra vannkvalitet. Vanligvis ville tilbakespylingen skjedd tidligere. Vannkvaliteten fra de enkelte filtere viser derfor at filterene er noe ute i fasen for filtergjennombrudd. Situasjonen er derfor ikke helt representativ for normal drift av anlegget.

6.2.2 Turbiditet etter spyling

Store forskjeller i turbiditet i filtrat fra de enkelte filtere ble registrert før tilbakespylingen. Etter tilbakespylingen ble derfor hovedvekten lagt på filtrat fra de enkelte filtere. Tabell 4 og figur 4 og 5 viser resultatene. Tabell 1 angir tidspunkt for tilbakespyling av filterene.

Tabell 4. Turbiditet i filtrat fra de enkelte filtere.

Tidspunkt	19.35	19.36	19.48	19.52	19.58	19.59	20.00	20.06	20.07	20.10	20.13	20.16
Filter nr.	9	9	9	9	8	8	8	7	7	7	7	7
Turbiditet	0,9	0,9	1,1	1,1	0,3	0,34	0,33	0,38	0,38	0,37	0,35	0,36

Tidspunkt	20.17	20.18	20.19	20.20	20.23	20.29	20.51	20.52	20.53	20.54	20.55	20.56
Filter nr.	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5
Turbiditet	0,42	0,43	0,45	0,5	0,58	0,59	0,7	0,65	0,6	0,6	0,57	0,55

Tidspunkt	20.58	20.59	21.00	21.02	21.04	21.05	21.06	21.07	21.08	21.14	21.34	21.35
Filter nr.	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	3	3
Turbiditet	0,55	0,56	0,6	0,56	0,35	0,28	0,27	0,23	0,22	0,2	0,5	0,51

Tidspunkt	21.39	21.40	21.41	21.42	21.44	21.45	21.47	21.48	21.56	21.57	21.58	22.01
Filter nr.	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2
Turbiditet	0,45	0,56	0,64	0,66	0,7	0,72	0,7	0,7	0,2	0,2	0,2	0,19

Tidspunkt	22.02	22.04	22.06	22.08	22.09	22.12	22.15	22.16
Filter nr.	2	2	2	1	1	1	1	1
Turbiditet	0,2	0,21	0,21	0,19	0,18	0,18	0,17	0,17

Resultatene viser at også etter tilbakespylingen varierer turbiditet i filtratet fra de enkelte filtere betydelig.

Filter nr. 10 (figur 5) har meget høy turbiditet i etableringsperioden, men etter ca. 20 minutters driftstid er turbiditetsverdien nede på ca. 0,6 NTU. Selv om en ytterligere reduksjon finner sted utover i driftsfasen kommer en ikke under kvalitetskravene til drikkevann for dette filteret.

Etter bare ca. 2,5 timers driftstid begynner filter nr. 10 å vise første tegn på filtergjennombrudd, og relativt raskt deretter oppnås svært dårlige resultater. Dette samsvarer godt med resultatene fra før tilbakespylingen.

Et stykke ut i perioden for filtergjennombrudd bedres filtratet betraktelig. Det er ikke funnet noen sikker forklaring på dette.

Også filtrat fra filter nr. 9 viser høye verdier for turbiditet. Kl. 19.35 og 19.52 måles turbiditet på henholdsvis 0,9 og 1,1 NTU, ca. 2,5 - 3 timer etter avslutning av tilbakespyling av filteret. Dette samsvarer også godt med resultatene for filteret fra før tilbakespylingen.

Filtratet fra filter nr. 1 og 2 viser turbiditet i området 0,17 - 0,2 NTU mellom kl. 21.56 og 22.16, altså etter ca 3 timers driftstid. Resultatene ligger godt under drikkevannskravene og er betydelig bedre

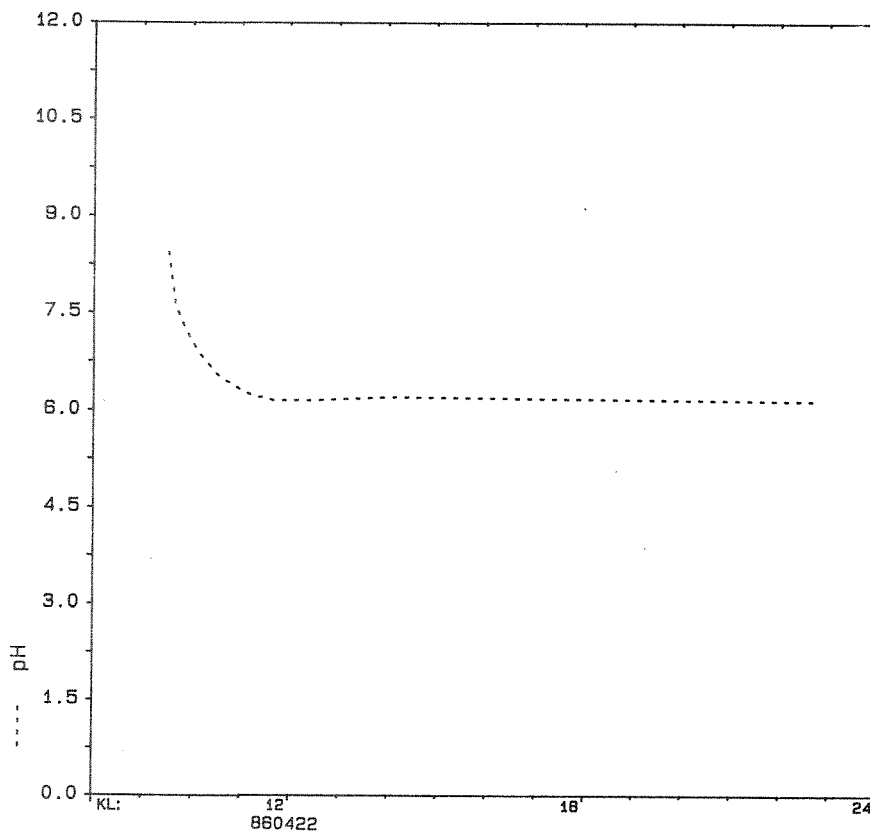
enn resultatene fra de andre filterene. Forholdet samsvarer også godt med resultatene fra disse filterene fra før tilbakespyling.

Resultatene fra filterene 3 - 8 ligger nå mellom resultatene fra ovennevnte filtere. Forholdet er også i hovedsak i samsvar med resultatene fra før tilbakespylingen.

6.2.3 Surhetsgrad

Surhetsgraden i koagulert vann er svært viktig for fellingsprosessen. Det optimale område regnes vanligvis å ligge mellom pH 5,8 og 6,2.

Figur 6 viser surhetsgraden i filtrat fra samleledningen. Den første tiden etter oppstartning av anlegget ligger pH-verdien opp mot pH 9. Kl. 11.20 er den imidlertid falt til under pH 6,2 og ligger i hovedsak jevnt i området pH 6,1 - 6,2 gjennom resten av undersøkelsen.



Figur 6. Surhetsgrad i filtrat fra samleledningen.

Resultatene av målingene av surhetsgrad fra de enkelte filtere er ikke gjengitt, men viser svært jevne verdier i området pH 6,1 - 6,2.

Tilbakespylingene av filterene resulterer ikke i endringer av pH-verdien. Den eneste endring av surhetsgraden som registreres etter modningsfasen for filterene er tilbakelagt, er en økning fra pH 6,15 til pH 6,3 mellom kl. 12.30 og 12.45. Endringen ble registrert under måling av filtrat fra filter 9 og resultatene er ikke gjengitt. Det er grunn til å anta at en tilsvarende endring også finner sted for filtrat fra samleledningen og de andre filterene. Endringen i surhetsgraden er sannsynligvis forårsaket av reduksjonen i dosering av aluminiumsulfat fra ca. 31 mg/l til 28,7 mg/l ca. kl. 12.30.

Den høye pH-verdien etter oppstartning av anlegget er trolig forårsaket av den høye pH-verdien i tilbakespylingsvannet. Det tar hele 1 time og 50 minutter før restene av lutforbindelsene tilfredsstillende er vasket ut av filterene, og pH-verdien er kommet ned mot den øvre del av det optimale området for fellingsprosessen. Denne ugunstige surhetsgrad kan forlenge etableringsfasen for filterene etter oppstartning.

Lutdoseringen til renvannet ble stanset kl. 14.55. Under tilbakespylingen av filterene ble derfor vann med pH-verdi i området 6,1 - 6,2 benyttet. Dette forårsaket ingen endring i filtratets surhetsgrad etter tilbakespylingen.

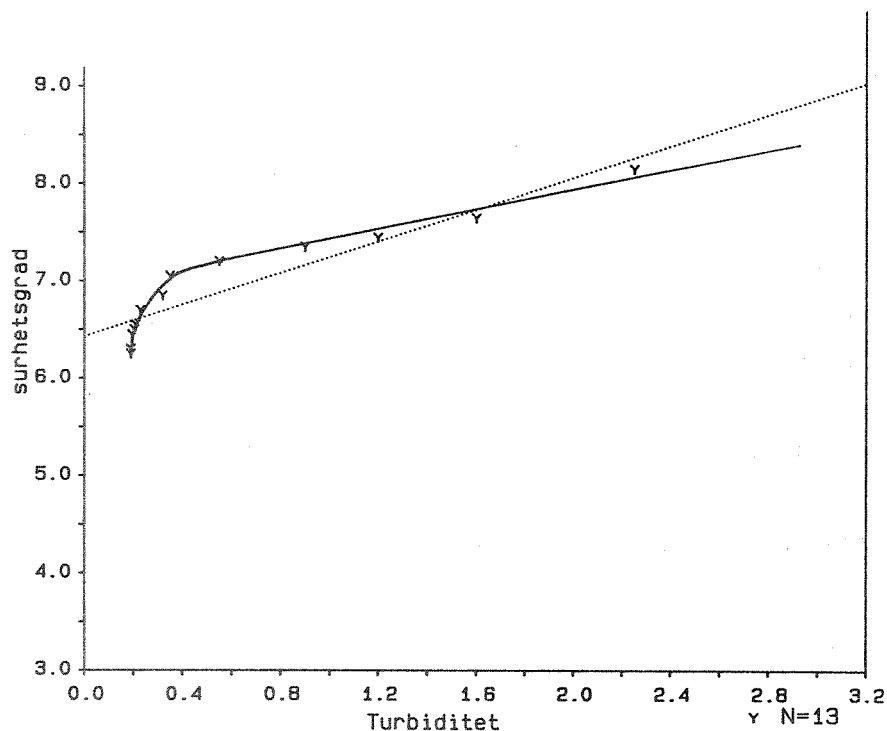
Figur 7 angir sammenhengen (korrelasjonen) mellom turbiditet og surhetsgrad i etableringsfasen for filterene (mellom kl. 09.30 og 11.10). Den lineære sammenhengen er tilfredsstillende og den ikke lineære sammenhengen er meget god. Høy turbiditet og høy pH-verdi sammenfaller. Det samme gjør lav turbiditet og lav pH-verdi.

6.2.4 Alger

Alger ble bestemt i råvann i to forskjellige tidspunkt i filtrat fra samleledningen. Tabell 4 viser resultatene.

Råvannet viser relativt lave verdier. Dette har selvsagt sammenheng med at Akersvannet var islagt og algeproduksjonen av den grunn var

svært begrenset. Av de tilstedeværende alger var Microcystis aeruginosa den klart dominerende. Men det ble også påvist celler av Stephanodiscus astra og Melosira ambigua.



$$Y = 0.82X + 6.43 \quad R = 0.93 \quad P < 0.001 \quad SD = 0.43$$

Figur 7. Korrelasjon turbiditet - surhetsgrad mellom kl. 09.30 og 11.10.

Tabell 5. Innhold av alger i filtrat.

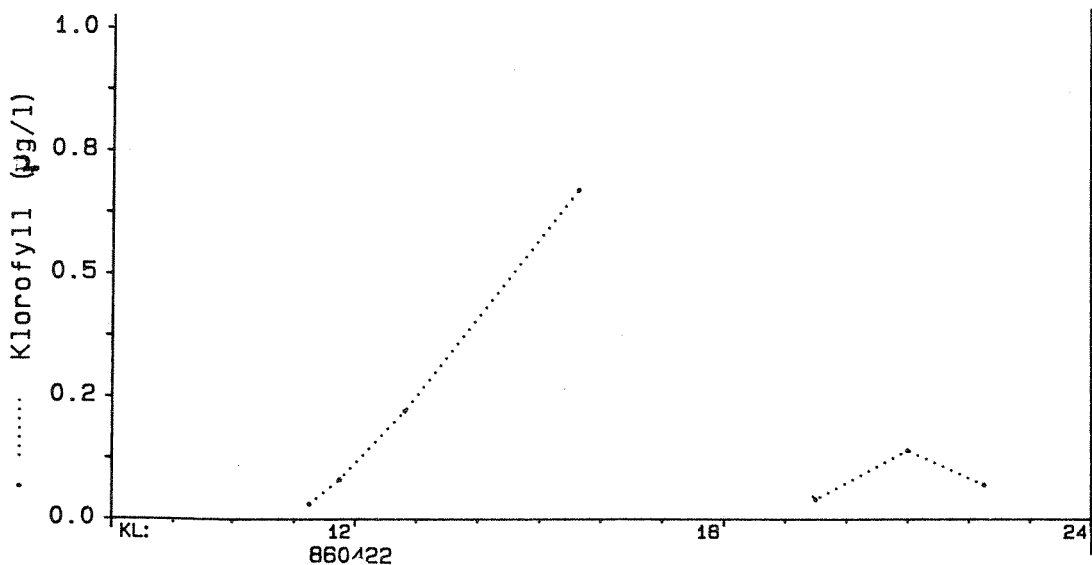
Filter nr.	Tidspunkt	Klorofyll a i ug/l	Rense- effekt
Samleledning	11.15	0,03	98
"	11.45	0,08	94
"	12.50	0,22	83
"	15.40	0,67	49
"	19.30	0,03	97
"	21.00	0,14	85
"	22.15	0,07	93
9	12.50	0,09	93
9	16.40	1,14	12
9	19.30	0,11	88
10	16.40	0,97	25
10	17.50	0,09	93
10	19.05	0,06	94
10	20.40	0,25	73
10	21.15	0,49	48
8	16.40	0,97	25
8	20.00	0,04	96

Filter nr.	Tidspunkt	Klorofyll a i ug/l	Rense- effekt
7	16.40	0,83	36
7	19.55	0,05	95
6	16.05	0,55	58
6	20.15	0,04	96
5	15.55	0,43	67
5	20.50	0,11	88
4	21.00	0,03	97
3	15.20	0,24	82
3	21.30	0,02	98
2	15.10	0,02	99
2	21.50	0,03	97
1	22.00	0,02	98
Råvann	12.20	1,30	-
"	22.45	0,94	-

Figur 8 angir trendkurve for klorofyll-a i filtrat fra samleledningen. Tabell 5 viser klorofyll-a i råvann og i spredte prøver i filtrat fra de enkelte filtere.

Kl. 11.00 påvises ikke alger i filtratet fra samleledningen. Avskillingen av alger i filterene i denne periode er meget god. Tidspunktet samsvarer da også med lave målinger av bl.a. turbiditet. En del andre parametre indikerer også et gunstig driftstidspunkt for filterene.

I filtratet uttatt kl. 15.30 påvises imidlertid alle tre ovennevnte alger. Turbiditet er i dette tidspunktet målt til 2,3 NTU og angir at filterene skulle vært tilbakespylt for lenge siden. Den prosentvise renseeffekten av Microcystis aeruginosa er likevel nesten 60 % og renseeffektene for Stephanodiscus astraea og Melosira ambigua er henholdsvis 72 % og 57 %.



Figur 8. Klorofyll-a i filtrat fra samleledningen.

Tabell 6. Innhold av alger i filtratet.

	Råvann	Filtrat	Renseeffekt
Tidspunkt kl.	11.00	11.00	11.00
Microcystis aeruginosa antall celler/l	483 400	- 0	- 100 %
Stephanodiscus astraee antall celler/l	4 040	- 0	- 100 %
Melosira ambigua antall celler/l	2 920	- 0	- 100 %

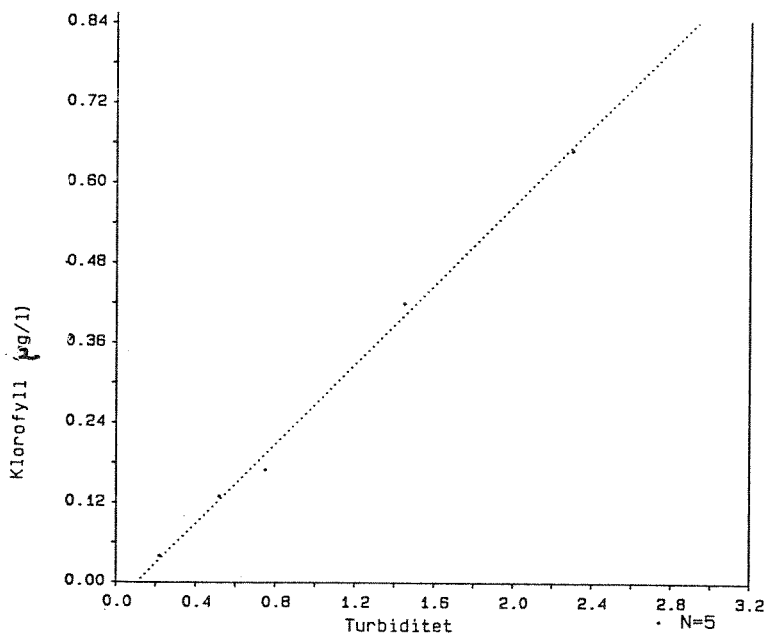
Tidspunkt kl.	15.30	15.30
Microcystis aeruginosa antall celler/l	194 400	60 %
Stephanodiscus astraee antall celler/l	1 120	72 %
Melosira ambigua antall celler/l	1 246	57 %

De to råvannsprøvene varierer noe. Forholdet samsvarer med verdier funnet for turbiditet. Filtratet fra samleledningen viser svært lave verdier for klorofyll-a i driftsfasen av filterene.

Utover i filtersyklusen øker imidlertid klorofyllinnholdet. Men renses-effektene er fortsatt ca. 50 prosent kl. 15.30. Da skulle filterene normalt vært tilbakespylt for lenge siden. Råvannskvaliteten kl. 10.00 er benyttet for utregning av renseseffekter for filtrat fra før tilbakespyling av filterene. Etter tilbakespyling av filterene er råvannskvaliteten kl. 22.30 benyttet.

For de enkelte filtere øker også gjennomgangen av klorofyll utover i filtersyklusen. De enkelte filtere viser imidlertid store individuelle forskjeller. I hovedsak har filterene 6, 7, 8, 9 og 10 de dårligste renseseffekter, mens 1, 2, 3 og 4 har de beste renseseffekter. Forholdet samsvarer i store trekk med det som ble registrert for turbiditet og har trolig samme forklaring.

Figur 9 angir sammenhengen mellom turbiditet og klorofyll. Som det framgår av figuren er sammenhengen ekstremt god. Ligningen for sammenhengen er angitt under figuren.



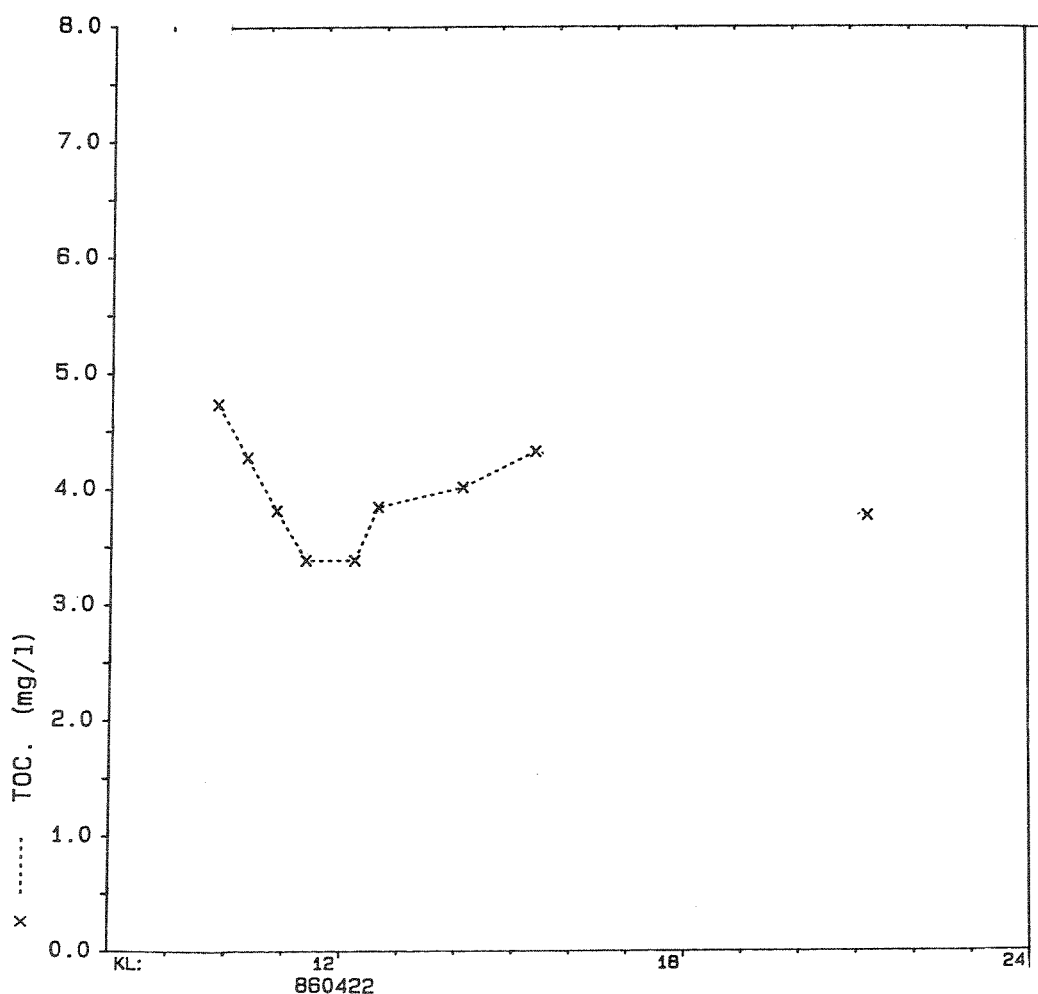
$$Y = 0.30X - 0.03 \quad R = 1.00 \quad P < 0.001 \quad SD = 0.14$$

Figur 9. Korrelasjon turbiditet - klorofyll.

Den gode sammenhengen mellom turbiditet og klorofyll medfører at turbiditet i filtrat i rimelig grad også kan benyttes for indikasjon av alger i filtrat. En daglig drift av anlegget etter turbiditet, som er enkel og rask å måle, medfører at også algene holdes under kontroll. Det understrekes imidlertid at sammenhengen mellom turbiditet og klorofyll kan endres over tid, pga. bl.a. endringer i råvannskvaliteter eller endringer i driftsforhold ved anlegget. En kan derfor ikke forutsette at ovennevnte sammenheng er helt identisk under andre råvannskvaliteter eller andre driftsforhold.

6.2.5 Total organisk karbon (TOC)

Totalt organisk karbon (TOC) er målt i samleledningen. Resultatene er angitt i figur 10.



Figur 10. Totalt organisk karbon i filtrat fra samleledningen.

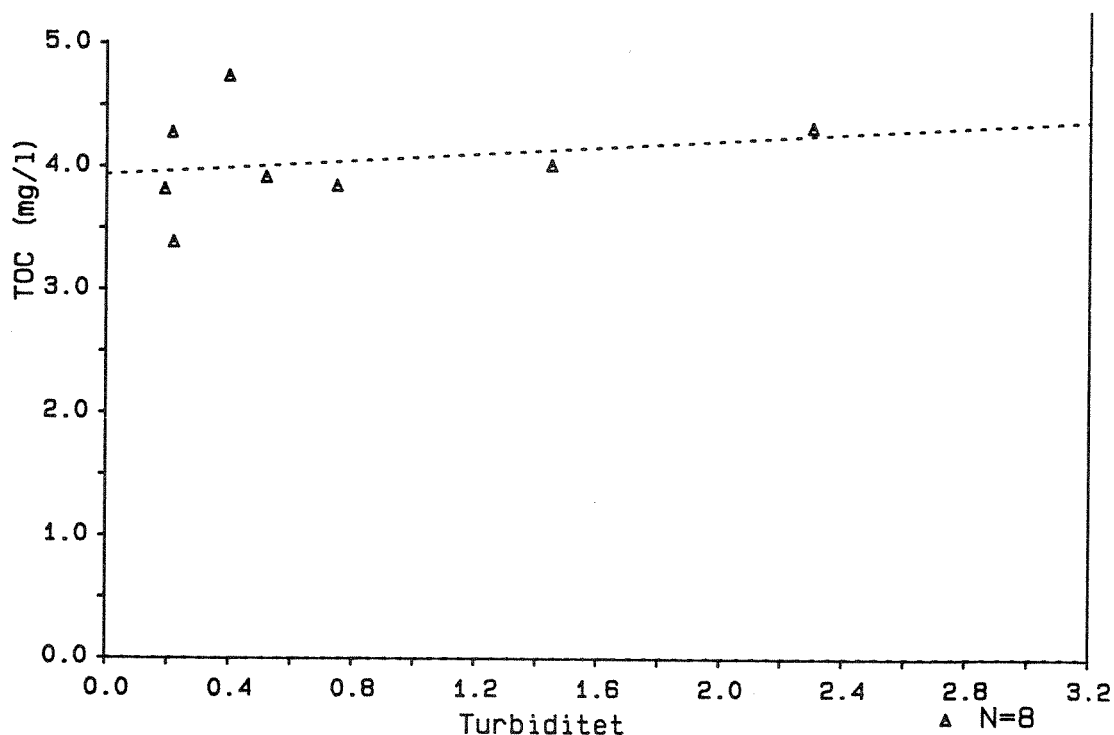
Trendkurven for TOC viser i hovedsak samme generelle utvikling som for bl.a. turbiditet og klorofyll. I etableringsperioden for filterene har innholdet av TOC i filtratet en fallende trend med renseeffekter i området 35 - 55 prosent. I beste del av filtrenes driftsperiode er renseeffektene ca. 55 prosent, men innholdet av TOC er likevel hele 3,4 mg C/l i filtratet.

For TOC er kvalitetskravene til drikkevann 2 mg C/l. Overskridelsen er dermed i området 70 - 140 prosent.

Råvannskvaliteten på sommeren med økt algevekst resulterer trolig i enda høyere innhold av TOC. Dette øker behovet ytterligere for reduksjon av innholdet av TOC i renvannet.

Sammenheng mellom turbiditet og TOC er vist i figur 11. Resultatene viser ingen eller svært dårlig sammenheng mellom disse parametrene.

Det er ikke gått inn på differensiering av TOC, men resultatene tyder på at TOC i liten grad foreligger i partikulær form i filterenes driftsfase.



Figur 11. Korrelasjon turbiditet i TOC i filtrat fra samleledningen.

6.2.6 Andre vannkvalitetsparametre

I tillegg til parametre, som i hovedsak er relatert til alger, er det medtatt en del andre data for vannkvalitet. Disse parametre er:

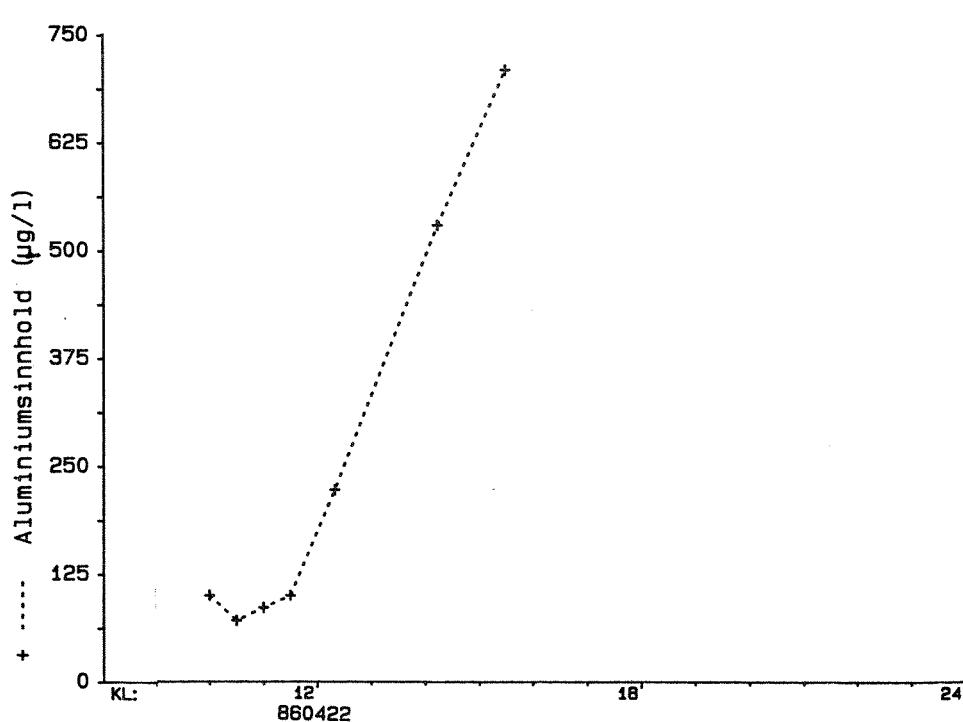
- Aluminium
- Jern
- Mangan
- Farge

Ønske om å medta aluminium er begrunnet ut fra at tilsetning av aluminiumssulfat i koaguleringsprosessen ofte fører til et uønsket høyt innhold av aluminium i filtratet. I den senere tid har det vært en sterk fokusering på aluminium fordi inntak fryktes å innebære helsemessige uheldige effekter.

Undersøkelse av jern, mangan og farge i filtratet har bakgrunn i mulige lave oksygeninnhold og derfor mulige reduserende forhold i vannet på inntaksdypet i Akersvann. Jern og mangan fryktes derfor å utløses fra bunnsedimentene.

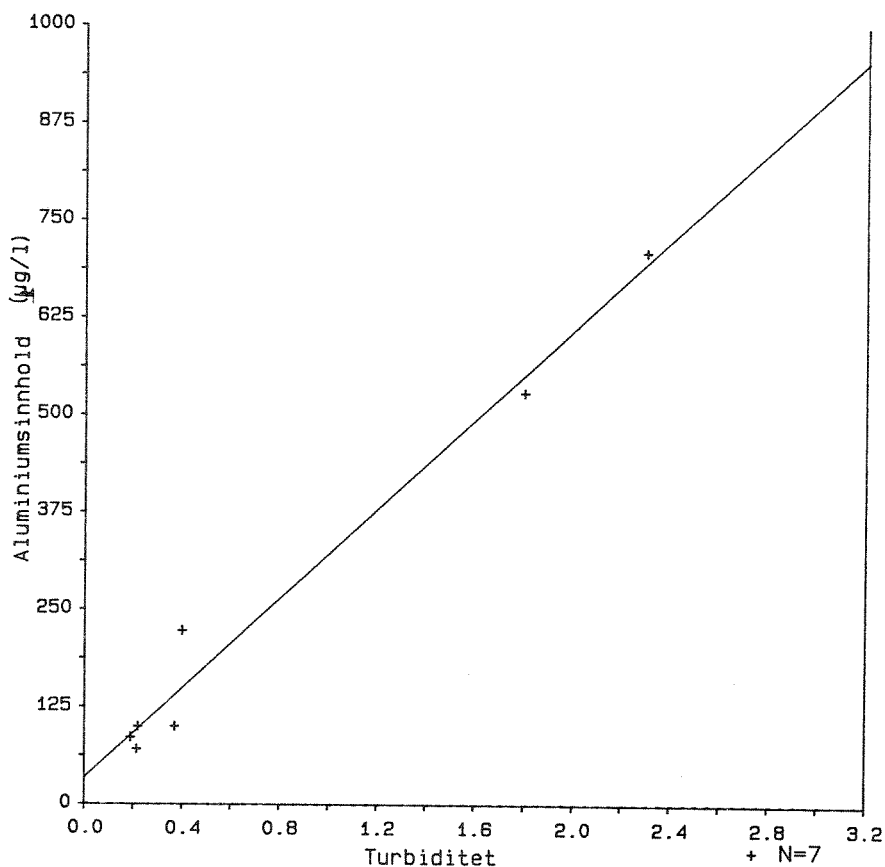
Aluminium

Råvannet har et aluminiumsinnhold på 24 og 33 µg Al/l henholdsvis kl. 10.00 og 22.30. Figur 12 viser trendkurve for aluminiumsinnhold i filtratet fra samleledningen. Som det framgår av figuren øker aluminiumsinnholdet raskt utover i filtersyklusen. Allerede kl. 11.30 overskrides kvalitetskravene til drikkevann, som er 100 µg Al/l for fullrenset vann.



Figur 12. Aluminiumsinnhold i filtrat fra samleledningen.

Figur 13 angir sammenhengen mellom turbiditet og aluminiumsinnhold i filtrat fra samleledningen. Resultatene viser meget god korrelasjon mellom overnevnte parametre og tyder på at turbiditet i filtratet også gir gode opplysninger om innholdet av aluminium.



$$Y = 288.13 X + 33.82 \quad R=0.99 \quad P_{\leq} 0.001 \quad SD=130.77$$

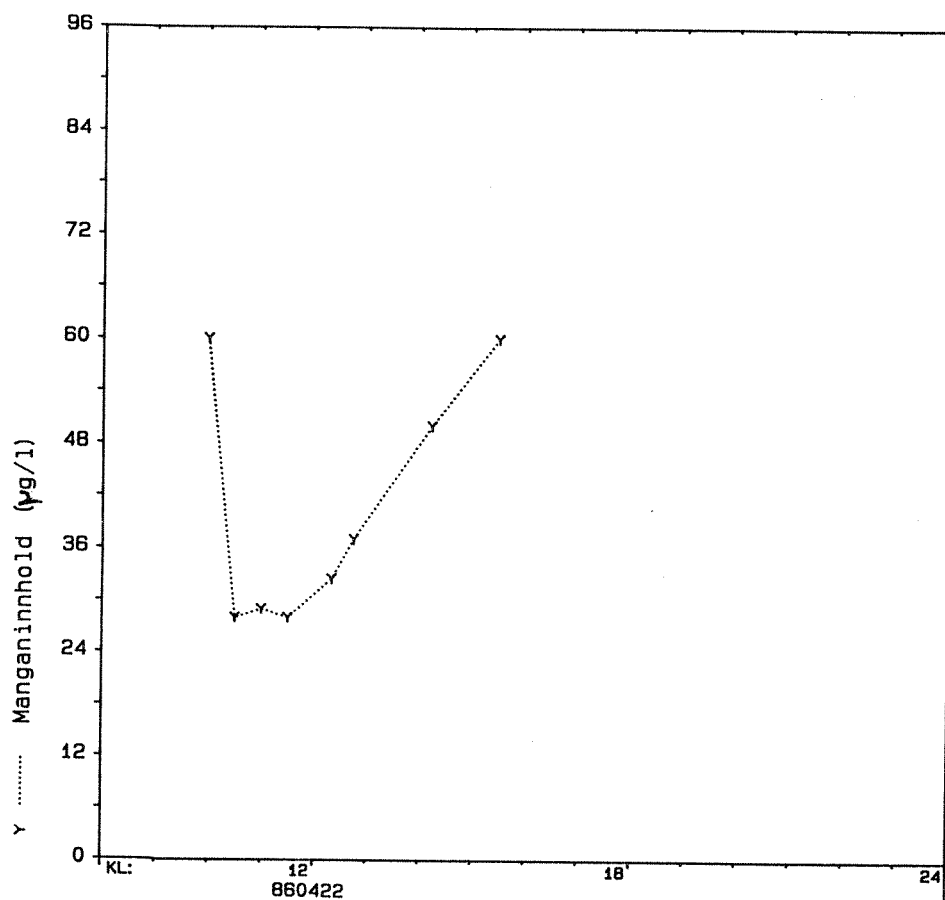
Figur 13. Korrelasjon turbiditet aluminiumsinnhold i filtrat fra samleledningen.

Regresjonsligningen nederst på figur 13 viser at ved turbiditet 0,30 NTU (kvalitetskravene til drikkevann) fås et aluminiumsinnhold på 120 µg Al/l i filtratet. Av de to overnevnte parametre er derfor aluminiumsinnholdet begrensende for driften av anlegget. Ved bruk av aluminium som driftskriterium er driftstiden for filterene enda kortere enn den tidligere angitte 1 time 40 minutter.

Mangan

Manganinnholdet i råvannet er 130 og 50 µg Mn/l henholdsvis kl. 10.00 og 22.30.

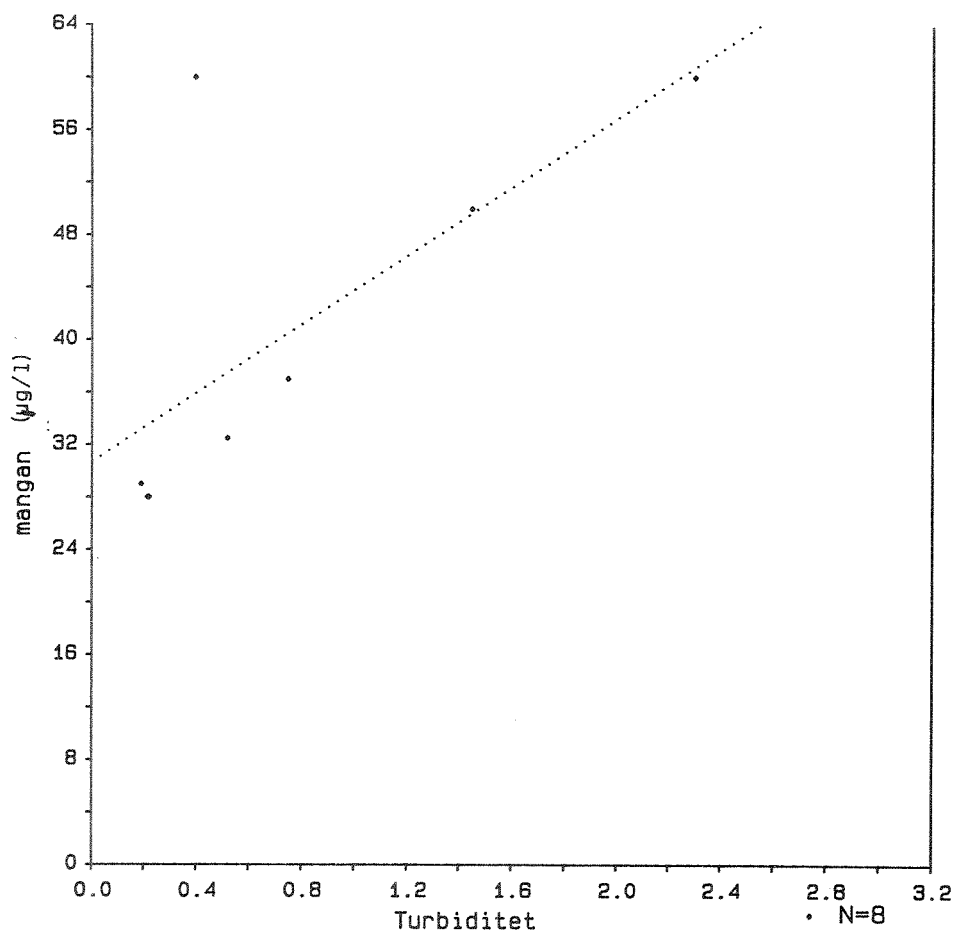
Figur 14 angir manganinnhold i filtrat fra samleledningen. Generelt viser resultatene samme forløp som for flere av de andre parametre.



Figur 14. Mangan i filtrat fra samleledningen.

Selv om manganinnholdet øker relativt mye utover i filtersyklusen er likevel innholdet lavt i forhold til drikkevannskravene (100 µg Mn/l).

Figur 15 viser kurve for sammenhengen mellom turbiditet og mangan i filtratet. Utenom én verdi er sammenhengen mellom disse parametre meget god og viser at også turbiditet kan benyttes som driftsparameter for mangan.



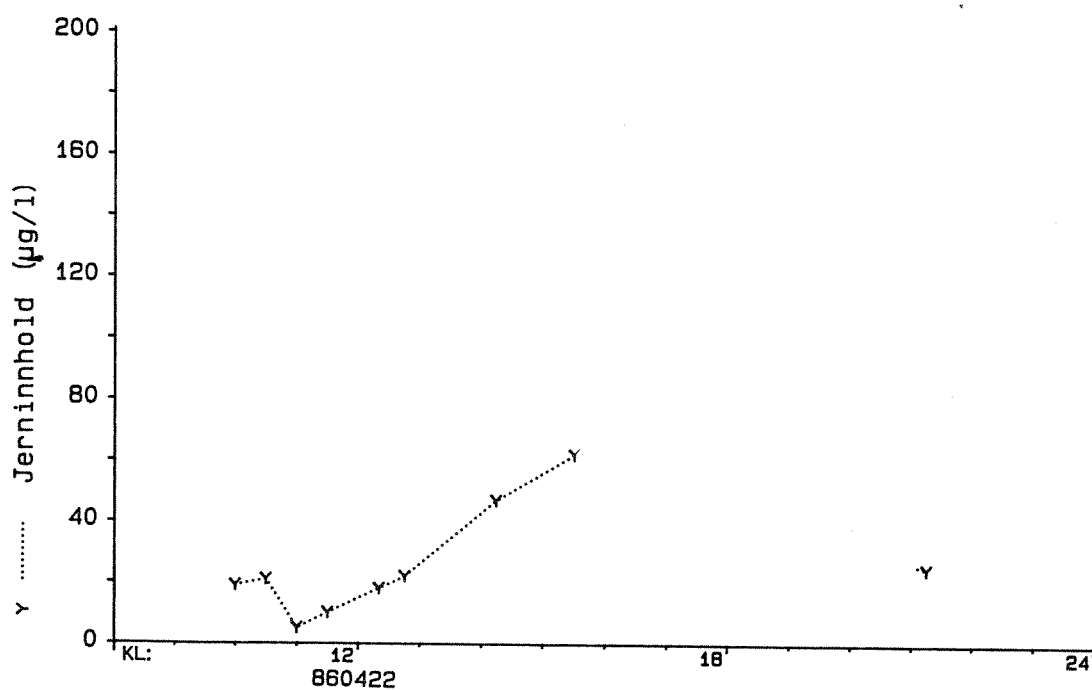
$$Y = 13.08 X + 30.68 \quad R=0.70 \quad P \leq 0.100 \quad SD=10.57$$

Figur 15. Korrelasjon turbiditet - mangan i filtrat fra samleledningen.

Jern

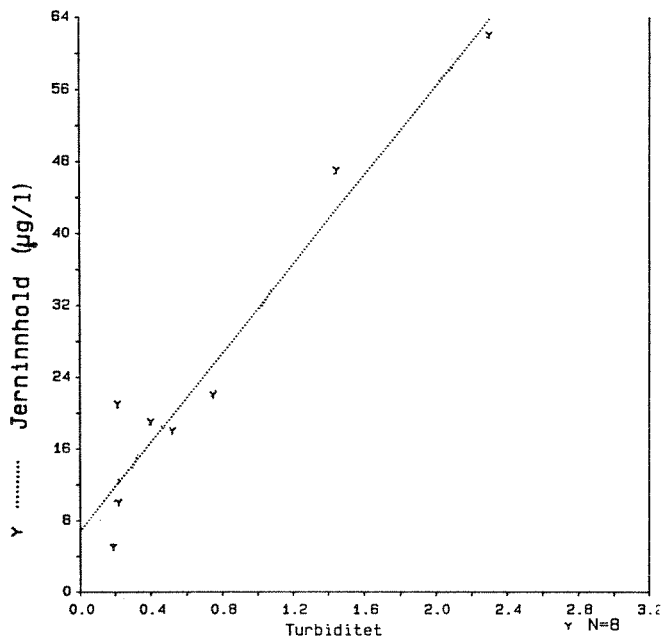
I råvannet er det målt jerninnhold på 210 og 150 µg Fe/l henholdsvis kl. 10.00 og kl. 22.30. Figur 16 angir innholdet av jern i filtrat fra samleledningen. Resultatene viser et økende innhold utover i filter-syklusen. Renseeffektene er imidlertid 70 - 98 % og gir verdier helt ned i 5 - 60 µg Fe/l i filtratet.

Helsemyndighetenes krav til jern i drikkevann er 100 µg Fe/l for fullrenset vann.



Figur 16. Jerninnhold i filtrat fra samleledningen.

Figur 17 angir kurve for sammenhengen mellom turbiditet og jern. Resultatene viser meget god sammenheng mellom disse parametre. Turbiditet kan derfor også benyttes som driftsparameter for jern.



$Y = 24.75 X + 6.80$ $R = 0.97$ $P < 0.001$ $SD = 15.98$

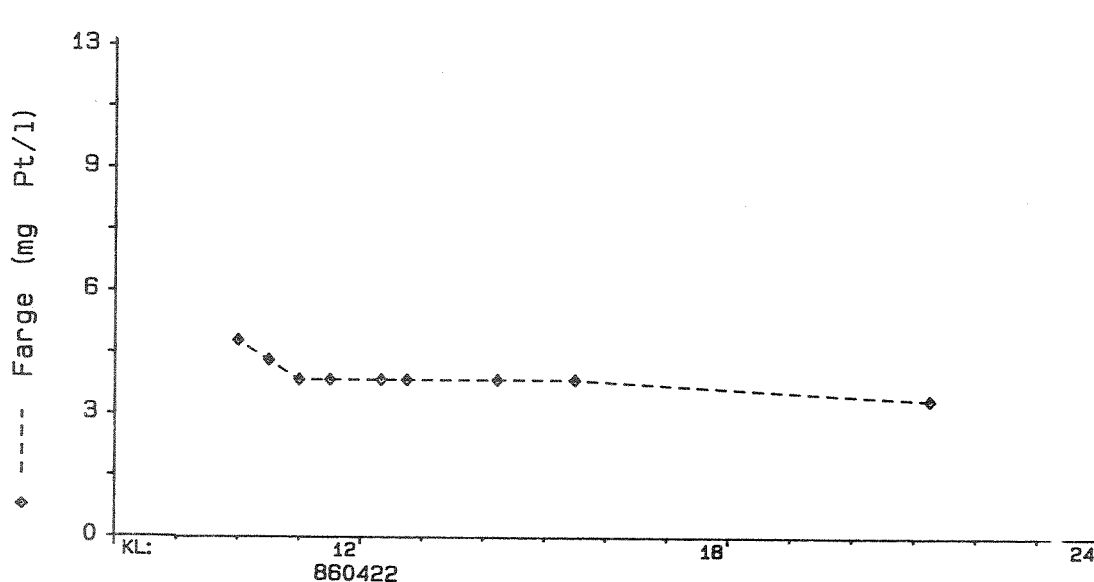
Figur 17. Korrelasjon turbiditet - jerninnhold.

Farge

Farge ble i råvannet målt til 23,5 og 23 mg Pt/l henholdsvis kl. 10.00 og 22.30.

Figur 18 angir resultatene for filtrat i samleledningen. Fargen ligger jevnt i området 4 - 5 mg Pt/l gjennom hele filtersyklusen. Dette gir en renseeffekt på vel 80 %.

Helsemyndighetenes krav til farge i fullrenset vann er 5 mg Pt/l.



Figur 18. Farge i filtratet fra samleledningen.

6.3 Konklusjon vannkvalitet

Ut fra de foreliggende kvalitetsdata kan følgende konklusjon trekkes om vannkvaliteten:

- Råvannet har (selvsagt) et relativt lavt innhold av alger. Innholdet forventes å øke betydelig utover sommeren.
- Modningsfasen for filterene er svært lang. Betydelig forurensningsmengder blir tilført renvannet i denne perioden.

- Driftsfasen for filterene er svært kort og resulterer i svært lav kapasitet på anlegget.
- pH-verdien i modningsfasen for filterene er for høy og ligger utenfor optimalt pH-område.
- Turbiditet i filtrat i samleledningen er høy i modningsfasen for filterene, relativt lav i driftsfasen og øker raskt i fasen for filtergjennombrudd. Det er store individuelle forskjeller mellom de enkelte filtere.
- Innhold av klorofyll i filtrat er svært lavt i filterenes driftsfase, men øker noe utover i filtersyklusen. Klorofyllinnhold i filtrat fra de enkelte filtere viser store forskjeller. Sammenhengen mellom turbiditet og klorofyll i filtratet er svært god.
- Alger holdes godt tilbake under optimal drift av filterene, men bryter gjennom filterene i fasen for filtergjennombrudd.
- Innholdet av TOC i filtratet er relativt høyt også i filterenes driftsfase.
- Aluminiumsinnhold i filtrat fra samleledningen er lav i driftsfasen, men øker raskt utover i filtersyklusen. Sammenhengen mellom turbiditet og aluminiumsinnhold i filtratet er svært god.
- Farge, jern og mangan er lavt i filtratet fra samleledningen i store trekk gjennom hele filtersyklusen.
- Det er meget gode korrelasjoner mellom turbiditet og parameterene klorofyll, aluminium, jern og mangan i filtratet. Turbiditet er derfor en god driftsparameter for disse parametre.

7. ANBEFALINGER FOR FORBEDRET DRIFT AV ANLEGGET

Basert på foreliggende data gis en del anbefalinger om endringer i anlegget. I denne omgang er anbefalingene i hovedsak begrenset til enkle og relativt sett lite kostnadskrevende tiltak som fortrinnsvis bør gjennomføres før neste undersøkelse startes. Anbefalingene er følgende:

7.1 Dosering av syre

Surhetsgraden i råvannet forårsaket relativt små problemer under denne undersøkelsen. Utover sommeren forventes imidlertid pH-verdien å øke betydelig pga. algevekst. Det regnes derfor med at det blir vanskelig å holde surhetsgraden innenfor det optimale området for fellingsprosessen uten store doseringer av aluminiumssulfat. Det anbefales derfor dosering av syre til råvannet. Tilsetningen bør skje i god avstand før tilsetning av aluminiumssulfat. Doseringen bør styres proporsjonalt med vannmengde og med manuell tilleggsjustering. Siden Akersvannverket kun er et reservevannverk, som sjelden benyttes, er overstyring av doseringen etter pH ikke nødvendig.

En mulighet for kontinuerlig måling av pH-verdi i filtrat bør etableres.

7.2 Fordeling av vannmengde på de enkelte filtere

Det ble registrert store forskjeller i vannkvalitet mellom de ulike filtere. Forholdet kan ha flere årsaker, bl.a. kan filtermediet være et problem. Et forhold som trolig også har en viss betydning er skjev hydraulisk belastning mellom de ulike filtere. Det finnes ikke vannmålere på utløpsledningene fra hvert enkelt filter. Indirekte volumetriske målinger har gitt indikasjoner om at skjevheter i hydraulisk belastning forekommer mellom de enkelte filtere. I skrivende stund er tiltak igangsatt for forbedring av dette ved installasjon nye innløpsrør til hvert filter.

7.3 Dosering av hjelpekoagulant

Et stort problem er som tidligere nevnt kort filtersyklus, dårlig kapasitet og rask utvikling av dårlig kvalitet i filtratet. Egentlig er dette tre sider av samme sak.

Bruk av hjelpekoagulant forbedrer ofte heftmekansimene mellom slam og filtermedium og gir ofte forlenget driftstid for filterene og forbedret filtrat. Det finnes flere typer hjelpekoagulanter på markedet. Magnafloc LT 20 er en nonionisk type som har vist seg effektiv ved mange vannverk. Denne anbefales benyttet.

Doseringen av hjelpekoagulant bør skje proporsjonalt med hydraulisk belastning og videre skje midt mellom doseringspunkt for aluminiumsulfat og utløp av råvannsledningen til filterene. Oppholdstiden mellom doseringspunkt for LT 20 og innløp til filterene kan bli noe kortere enn optimalt. Det er imidlertid vanskelig på en rimelig måte å forbedre dette.

Det er vanskelig på forhånd å angi nødvendig dosering. For bestemmelse av optimal dosering av Magnafloc LT 20 bør flere ulike doseringer utprøves. Vanligvis ligger doseringene i området 0,05 - 0,20 mg/l.

7.4 Filtermediet

Filtermediet er selvsagt helt essensielt i en filterprosess.

Prøver er tatt fra filtermediet i filter nr. 5.

Kornfordelingsanalysene viser kornstørrelser, med effektiv diameter (d_{10}) på 1,25, 1,60, 1,40 og 1,65 mm for henholdsvis 5 cm, 20 cm, 35 cm ned i antrasitt og 10 cm ned i sand. Uniformitetskoeffisientene for overnevnte filtermedier er utregnet til henholdsvis 1,90, 1,75, 1,85 og 1,5.

Det minste filtermediet ligger på toppen av filteret og det største ned mot bunnen av filteret. Faktisk har sanden større kornstørrelse (d_{10}) enn alle de tre målte kornstørrelser i antrasitten. Fordelingen av mediene i dybden er helt motsatt det som tilstrebes i et filter. For å oppnå størst mulig slamlagringskapasitet i filteret bør de største kornstørrelsene være på toppen av filteret og for å oppnå best mulig renseseffekt bør de fineste kornstørrelsene være i bunnen. Trolig er derfor filtermediet en medvirkende årsak til at anlegget fungerer utilfredsstillende.

Uniformitetskoeffisientene for mediene er også noe høye. Et generelt kriterium er at den bør være under 1,5.

Kornfordelingsanalyse er også foretatt for filtermediet i filter nr. 1. Den effektive diameter (d_{10}) er 1,5, 1,6 og 1,8 mm for henholdsvis 0 - 5 cm og 30 cm ned i antrasitt og midt ned i sanden. Uniformitetskoeffisienten for de tre ovennevnte medier er henholdsvis 2,0, 2,25 og 1,5.

Filtermaterialet har noe større effektiv diameter i filter nr. 1 enn filter nr. 5. Den samme generelle trenden forekommer imidlertid også i filter nr. 1. Den fineste kornstørrelsen ligger øverst i filteret og den største nederst. Altså som nevnt det motsatte av hva som er ønskelig. Uniformitetskoeffisientene i antrasittlagene er også noe stor i filter nr. 1.

Det kan også reises tvil om kornstørrelsene ligger i det riktige området. Det kan tenkes at kornstørrelser for sand er noe stor. For nærmere vurdering av filtermediet og slammets akkumulering i filteret anbefales hull boret i filterveggene i to av filterene.

Hullene bør være 1 - 2 cm i diameter å ha følgende plassering:

- Noen få cm over antrasittlaget.
- 5 cm under overkant antrasittlag.
- Midt nede i antrasittlag.
- 5 cm over underkant av antrasittlag.
- 5 cm under overkant sandlag.
- 20 cm nede i sandlag
- 40 cm nede i sandlag.

Et kort rør bør monteres inne i hullene og en gjennomsiktig plastledning monteres på rørene. Plastledningene bør føres over høyeste nivå i filterene og forsynes med cm-avlesning på baksiden. Disse rørene vil gi verdifull informasjon om slamakkumuleringen i filterene og indikere om riktig kornstørrelse på filtermediet er valgt.

Rørene vil også gi opplysninger om undertrykk oppstår inne i filteret. Undertrykk kan forekomme inne i filterene mot slutten av filtersyklusen ved store slambelastninger og store hydrauliske belastninger. Undertrykkene forårsakes av for stort falltap i filteret i forhold til tilgjengelig trykk over filteret. Ved undertrykk kan slam akkumulert i filteret løsne og tilføres filtratet.

Trolig er det liten sannsynlighet for at undertrykk forekommer inne i filteret, men undertrykk kan muligens forklare den plutselige toppen i turbiditet i filtrat fra filter nr. 10 ca. kl. 21.30.

7.5 Registrering av vannkvalitet fra hvert filter

Under første del av undersøkelsen var det kun mulig å følge vannkvaliteten fra samleledningen. En hadde imidlertid mistanke om forskjeller i vannkvalitet mellom de ulike filtere og hull ble under undersøkelsen boret i utløpsledningen fra hvert av filterene. Dette gjorde det mulig å følge vannkvaliteten fra de enkelte filtere.

Mistanken ble bekreftet. Det var store forskjeller i vannkvalitet mellom filterene. Selv om tiltak nå er gjennomført for å redusere disse forskjeller anbefales likevel kraner påsatt disse hull og ledninger ført fra de enkelte filtere og til et samlepunkt hvor vannkvaliteten kan følges. En kan da tilbakespyle filterene mer optimalt. Turbiditet er en parameter som har sammenheng med en rekke andre parametre for vannkvalitet. Turbiditet kan derfor benyttes for daglig drift av filterene.

7.6 Første filtrat til avløp

Utløpene fra filterene føres til samleledning og videre til renavnns-tank. Det er ingen mulighet for å føre førstefiltratet etter oppstartning eller tilbakespyling av filterene til avløp. Resultatene fra vannkvali-

tetsmålingene viser høye verdier av forurensninger i første del av filtersyklusen. Selv om vesentlige forbedringer gjennomføres for drift av filterene, vil likevel første del i en filtersyklus alltid ha dårlig vannkvalitet. En meget vesentlig del av forurensningene i filtratet gjennom en filtersyklus vil forekomme i modningsfasen for filteret. Det er derfor vesentlig at dette føres til avløp.

Det anbefales montering av T-rør og ventiler på utløpsledningen fra hvert filter. Det er svært trangt for denne montering på disse ledningene og kostnadene vil bli noe høye. Det er likevel viktig å gjøre disse endringene.

7.7 Tilbakespylingsvann for filterene

Tilbakespylingen av filterene skjer med alkalisert renvann. Like etter oppstarting av filterene har derfor filtratet meget høye pH-verdier, og langt over det optimale for fellingsprosessen. Dette medvirker trolig til en forlengelse av modningstiden for filterene og en forverring av filtratets kvalitet.

Siden førstefiltratet ikke føres til avløp, men går til renvannstanken og videre til forbruker, er det særlig viktig å forbedre forholdet. Også dersom nødvendige ombygginger utføres slik at førstefiltratet føres til avløp vil en mer optimal fellings-pH redusere modningstiden for filterene og dermed øke anleggets kapasitet og forbedre filtratets kvalitet.

Forbedringen kan skje på flere ulike måter. Noen av disse er:

- Stoppe alkaliseringen til renvannet. Tilbakespylingen av filterene skjer da med vann med pH 5,8 - 6,2. Tiltaket er enkelt og rimelig og gir optimale forhold for koaguleringsprosessen. Imidlertid blir renvannets pH-verdi i området 5,8 - 6,2, som er langt lavere enn kvalitetskravene til drikkevann tilsier. Disse kravene til surhetsgrad er i hovedsak begrunnet ut fra reduksjon av den mer langsiktige korrosjon på ledninger og armatur. Siden Akersvannverket årlig er i drift i svært begrenset tid, har denne korrosjonen ingen vesentlig praktisk betydning.

Det som imidlertid kan være et problem er at surhetsgraden i ledningsnettets endres tildels betydelig etter oppstartning av Akersvannverket. Denne raske endring av surhetsgrad på ledningsnettets kan medføre at bl.a. fastsittende organismer i ledningsnettets føres med vannet til forbruker og kan bl.a. misfarge vannet.

I hovedsak er dette et bruksmessig problem av trolig begrenset varighet. Problemene må veies opp mot forventet forbedret renseseffekt i filterets etableringsfase. Den forbedrede renseseffekt er av både fysikalsk-kjemisk, biologisk og mikrobiologisk art og kan ha reell hygienisk betydning.

- Etableringen av syretilsetning i koaguleringsprosessen muliggjør også en viss tilleggsjustering av surhetsgraden i filterenes etableringsfase. Siden pH-verdien i filtratet synker relativt raskt utover i etableringsfasen kreves en tilsvarende endring i dosering av syre. Det kan også forventes noe ulik endring i pH-verdi i forskjellige dybder av filteret som vanskeliggjør bruken av syre til dette formålet.

7.8 Totalt organisk karbon (TOC)

Et noe høyt innhold av TOC ble registrert i renvannet, selv i gunstigste driftsperiode for anlegget. Selv om overnevnte tiltak vil forbedret anleggets drift, vil de neppe i tilstrekkelig grad redusere innholdet av TOC.

8. VIDERE ARBEID

Det foreslås gjennomført en ny undersøkelse i løpet av august 1986. Algeveksten forventes da å være høy. Tiltakene nevnt under punktene 7,1 - 7,2 - 7,3 og 7,4 bør utføres eller forberedes før den nye undersøkelsen gjennomføres. Under denne undersøkelsen vil den økte algemengden i råvannet skape betydelig forverrede driftsforhold. Det kan derfor tenkes at tiltak utover det som er nevnt i punkt 7 vil bli foreslått. Disse tiltakene vil være mer omfattende og kostnadskreven-
ende. På det nåværende tidspunkt er det noe tidlig å si noe om dette.

I neste undersøkelse vil det i betydelig sterkere grad bli fokusert på alger og algetoksiner i filtratet.

LITTERATUR

1. Water treatment plant design - R.L. Sanks (Ann Arbor Science 1978).
2. Water Treatment plant design. American Water Works Ass. (1971).

rapporter utgitt av NIVA

- 1/78 Tiltak i eksisterende avløpssystem. Delrapport 1.
C2-31 Kjell Øren. November 1978
- 1/79 Kjemisk felling med kalk og sjøvann. Del 2
C2-34 O-40/71 A Lasse Vråle. Juli 1979
- 2/79 Driftsresultater fra norske simultanfellingsanlegg.
C2-28 Lasse Vråle, Eilen A. Vik. Juli 1979
- 3/79 Slamavvanning med filterpresser. Del 1
O-78102 Bjørn-Erik Haugan. November 1979
- 4/79 Slamavvanning med filterpresser. Del 2
O-78102 Bjørn-Erik Haugan. September 1979
- 5/79 Sivevann fra søppelfyllplass.
C2-26 Torbjørn Damhaug, Arild Eikum,
Ole Jakob Johansen. August 1979
- 6/79 Vannforurensning fra veg.
O-79024 Eivind Lygren, Egil Gjessing,
John Ferguson. Desember 1979
- 9/79 Primærfelling med ulike fellingskjemikalier
ved Sandvika renseanlegg.
O-79001 Lasse Vråle. Desember 1979
- 1/80 Bakteriologiske forhold i norske og utenlandske
råvannskilder
O-78029 Jens J. Nygård. Februar 1981
- 2/80 Treatment of Septic Tank Sludge
Research Proposal
F-80413 Arild Eikum. Januar 1980
- 3/80 Industrifyllplass i Arendal-Grimstadregionen
Vurdering av vannforurensning og rensetekniske
tiltak for alternativene Gloseheia og Lundeheia
O-80016 Torbjørn Damhaug, Hans Holtan. Mars 1980
- 4/80 Utprøving av analysemetoder for PAH og kartlegging
av PAH-tilførsler til norske vannforekomster
A3-25 Lasse Berglind. Mars 1980
- 5/80 Mobil avvanning av septikslam
Utprøving av septikbil »HAMSTERN»
O-80019 Bjørn-Erik Haugan. November 1980
- 6/80 Tilføringsgrad
Kontroll og kalibrering av vannmålestasjon
ved Monserud kloakkrenseanlegg. Del 1
O-78107 Lasse Vråle. Oktober 1980
- 7/80 Tilføringsgrad
Forensningsstilførsler og beregning av
tilføringsgrad for Monserud renseanlegg i 1979. Del 2
O-78107 Lasse Vråle. Oktober 1980
- 8/80 Overløp i avløpsnett
Tilstand i dag og mulige tiltak
C2-32 Eivind Lygren. September 1980
- 9/80 Sikring av vannforsyning i Oslo mot
forurensninger ved uhell eller sabotasje
Vurdering av faremomenter. (Sperrret)
O-79084 Egil Gjessing, Jens J. Nygård. September 1980
- 10/80 Important aspects of water treatment in USA
XT-25 Eilen Arctander Vik. Juli 1980
- 11/80 Myrgrøfting, effekt på vannkvalitet
Noen observasjoner fra grøftet myrområde
i Røyken 1971-79
XK-05 Egil Gjessing. September 1980
- 12/80 Driftsundersøkelse av vannbehandlingsanlegg
F-80417 Torbjørn Damhaug. November 1980
- 13/80 Hvirveloverløp
Avskilling av sedimenterbart materiale og
flytestoffer i overløpsvann
O-79090 Eivind Lygren. Desember 1980
- 14/80 Use of UV and H₂O₂ in water and
wastewater treatment
Research Proposal
F-80415 Arild Schanke Eikum. Desember 1980
- 1/81 Treatment of potable water containing humus by
electrolytic addition of aluminium followed by
direct filtration
Research Proposal
F-80415 Eilen Arctander Vik. Januar 1981
- 2/81 Water research in developing countries
A desk survey about planning and ongoing
research projects
O-80028 Svein Stene Johansen. Januar 1981
- 3/81 VA-teknisk forsøksall Sentralrenseanlegg Vest SRV
Notat
Arild Schanke Eikum, Arne Lundar. Februar 1981
- 4/81 Alkalization/hardening of drinking water
Research proposal
G-314 Egil Gjessing. Februar 1981
- 5/81 Tiltak mot forurensning fra fiskeoppdrett
Behandling av vann i resirkuleringsanlegg for fiskeoppdrett
Forskningsprogram 1981-1984
FP-80802 Arild Schanke Eikum, Eivind Lygren. Mai 1981
- 6/81 Tiltak i eksisterende avløpssystem. Delrapport 2
O-80018 Svein Stene Johansen. Mai 1981
- 7/81 Kalking av tilløp til lille Asketjern for fjerning av humus
Innledende forsøk. O-81065 Eilen Arctander Vik. August 1981
- 8/81 Tilføringsgrad for oppsamlingsnett
Status for eksisterende målinger
O-80055 Lasse Vråle. August 1981
- 9/81 A Water Pricing Study for Western Province,
Zambia. Draft !
O-81022 Svein Stene Johansen. September 1981
- 10/81 Fjerning av humus ved H₂O₂ tilsetning
og UV - bestråling
F-80415 Lasse Berglind. Oktober 1981
- 11/81 Treatment of Septic Sludge
European practice
O-80040 Arild Schanke Eikum. November 1981

- 12/81 Silgrainsyre som fellingsmiddel for avløpsvann
Buhrestua renseanlegg, Nesodden
O-80093 Lasse Vråle. Desember 1981
- 13/81 Analyse av vannbehov i husholdninger, næringsvirksomhet
institusjoner og til kommunaltekniske formål
O-78028-01 Svein Stene Johansen, Kim Wedum. Desember 1981
- 1/82 Fjerning av nitrogen fra kommunalt avløpsvann
ved ammoniakkavdrivning
F-81427 Torbjørn Damhaug. Mars 1982
- 2/82 Rensing av sigevann fra søppefyllplasser
OF-80606 Torbjørn Damhaug. Juni 1982
- 3/82 Hvirvelkammer og hvirveloverløp
Regulering av vannføring og rensing av overløpsvann
O-79090 Eivind Lygren, Kim Wedum. Mai 1982
- 4/82 Avvanning av septikslam i container
O-81104 Bjarne Paulsrud. August 1982
- 5/82 Kalibrering og justering av vannføringsmålere
O-82011 Kim Wedum. Mai 1982
- 6/82 Vurdering av driftsinstruksur og driftsforhold
ved renseanlegg rundt Indre Oslofjord
O-82004 Arne Lundar, Bjarne Paulsrud. August 1982
- 7/82 Styring av kjemikaliedosering ved kjemiske renseanlegg
Erfaringer med bruk av ledningsevne som styringsparameter
O-82025 Torbjørn Damhaug, Bjarne Paulsrud. August 1982
- 8/82 Strålingskjemisk oksydasjon av organisk stoff i vann
Programforslag. (Sperrret)
F-80415 Kim Wedum. September 1982
- 9/82 Slamstabilisering under høy temperatur ved bruk av rent oksygen
F-81430 Bjørn-Erik Haugen. Oktober 1982
- 10/82 Tørrværsavsetninger i fellessystemrør
O-82022 Oddvar Lindholm. November 1982
- 11/82 Treatment of septage
European practice
O-80040 Arild Schanke Eikum. Februar 1983
- 1/83 Alkalisering av drikkevann
Delrapport 1 NIVA/SIFF
F-82441 Eilen A. Vik. Mars 1983
- 2/83 Industriavløp på kommunale renseanlegg
Førbehandling av meieriavløp i luftede utjevningsbasseng
Delrapport 1
O-82017 Torbjørn Damhaug. Februar 1983
- 3/83 Samlet optimalisering av avløpsrenseanlegg
og avløpsledningsnett
O-82124 Oddvar Lindholm. Februar 1983
- 4/83 Driftskontrollprogram for galvanoindustriens renseanlegg
O-79049 Eigil Iversen. Mars 1983
- 6/83 Optimalisering av galvanotekniske industrirensanlegg
O-82119 Eigil Iversen. Mai 1983
- 7/83 Utslipp av syre, løst organisk materiale og suspendert
stoff fra Hunsfos Fabrikker og Norsk Wallboard
juli-oktober 1982
O-82067 Øivind Tryland. Mars 1983
- 8/83 Analyseresultater for avløpsvann fra
Mosjøen Aluminiumverk april-oktober 1982
O-82027 Øivind Tryland. Mars 1983
- 9/83 Vannforurensning ved bruk av kalksalpeter som
støvdempingsmiddel på grusveger
O-81050 Eivind Lygren, Reidun Schei. Juni 1983 (Sperrret)
- 10/83 Funksjonsprøving nr 2 av membran
kammerfilterpresser VEAS Mars 1983
O-82130 Lasse Vråle. Mars 1983
- 11/83 Spillvannstap fra oppsamlingsnett
Delrapport 1
Forurensningsproduksjon fra boligfelt med tett
opsamlingsnett i Sydsbogen, Røyken kommune
O-81041 Lasse Vråle. April 1983
- 12/83 Spillvannstap fra oppsamlingsnett
Delrapport 2
Automatisk overvåking av vannforbruk og lekkasje som
alternativ metode for beregning av tilføringsgrad.
Resultater fra undersøkelsene ved Sydsbogen,
Buhrestua og Siggerud.
O-81041 Lasse Vråle. Desember 1984
- 13/83 Spillvannstap fra oppsamlingsnett
Delrapport 3
Spillvannstapets resipient påvirkning i Siggerudgryta,
Ski kommune
O-81041 Lasse Vråle. August 1983
- 14/83 Spillvannstap fra oppsamlingsnett
Delrapport 4
Spillvannstapets innvirkning på grunnvannskvalitet.
Buhrestua sendedistrikt, Nesodden kommune.
O-81041 Lasse Vråle. Oktober 1984
- 15/83 A feasibility study of fishfarming in Jordan
O-83026 Eivind Lygren, Torbjørn Damhaug. Juni 1983 (Sperrret)
- 16/83 Driftsanalyse av Bekkelaget renseanlegg
O-82005 Bjarne Paulsrud, Kim Wedum. Juni 1983 (Sperrret)
- 17/83 Water Research in Zambia
A review of the need for water research
O-83014 Svein Stene Johansen. September 1983
- 18/83 Water Research in Kenya
A review of the need for water research
O-83014 Svein Stene Johansen. September 1983
- 19/83 Water research in Tanzania
A review of the need for water research
O-83014 Svein Stene Johansen, Torbjørn Damhaug. May 1984
- 20/83 Mikrobiologisk angrep på gummipakninger til vann- og avløpsrør
Programforslag
O-83033 Kim Wedum. Juni 1983 (Sperrret)

- 21/83 **Slamdeponering ved norske mangansmelteverk**
Fysisk-kjemisk karakterisering av drenevann og virkninger av drenevann på biologiske forhold i resipienten
O-80058 Øivind Tryland, Harry Efraimssen. April 1983
- 22/83 **Sandstangen vannverk**
O-83079 Eilen A. Vik. Juni 1983 (Sperrert)
- 23/83 **Erfaringer med mottak av septikslam på kommunale renseanlegg**
O-82037 Bjarne Paulsrud. Juli 1983
- 24/83 **Miljøgifter i overvann**
O-83063 Oddvar Lindholm. August 1983
- 25/83 **Arealfordeling av korttidsnedbør**
O-83005, F-83450 Oddvar Lindholm. Oktober 1983
- 26/83 **Urbanhydrologi i Sverige**
En litteraturstudie
O-83092 Oddvar Lindholm. November 1983
- 27/83 **Tørrværsavsetninger i fellessystemrør**
Fase II
O-82111 Oddvar Lindholm, November 1983
- 28/83 **Bruk av rent oksygen for luktreduksjon ved renseanlegg R-2, Lillehammer**
O-82083 Bjarne Paulsrud, Bjørn-Erik Haugan. November 1983
- 29/83 **Avsluttende funksjonsprøve for membran-filterpresser ved VEAS, oktober-november 1983**
O-83098 Lasse Vråle, Bjarne Paulsrud. November 1983 (Sperrert)
- 30/83 **Emerging European Wastewater Treatment Technology Preliminary Description**
O-83150 Arild Schanke Eikum. Desember 1983 (Sperrert)
- 31/83 **Treforedlingsindustriens avløpsvann**
Mikrobiell nedbrytning av klorert organisk materiale i blekeriavløpsvann
F-81434 Øivind Tryland, Harry Efraimssen. Desember 1983
- 32/83 **Suspensjoners synkehastighet**
Metode for analyse av finfordelte partiklers synkehastighet i vann
F-81434 Øivind Tryland. Desember 1983
- 33/83 **Silgrainsyre som fellingsmiddel ved SRV, VEAS Slammestad**
O-82102 Lasse Vråle, P. Sagberg. Desember 1983. (Sperrert)
- 1/84 **Industriavløp på kommunale renseanlegg**
O-82017 Torbjørn Damhaug. Januar 1984
- 2/84 **Luftet lagune for rensing av sivevann**
Delrapport 1. Driftserfaringer
O-83027 Ragnar Storhaug. Februar 1984
- 3/84 **Highway pollution in a Nordic Climate**
O-79024 Eivind Lygren. Mars 1984
- 4/84 **An evaluation of large-scale algal cultivation systems for fish feed production**
O-84002 Torbjørn Damhaug et al. Februar 1984 (Sperrert)
- 5/84 **Matematisk modell av avløpsrenseanlegg**
O-82124/F-83448 Oddvar Lindholm. Februar 1984
- 6/84 **Adsorption in Water Treatment Fluoride Removal**
FP-83828 Eilen A. Vik. Februar 1984
- 7/84 **Analyse av vannføringsdata**
O-81113 Kim Wedum. Januar 1984
- 8/84 **Renseeffekt i Heistad renseanlegg med og uten tilkopling av industrielt avløpsvann**
O-83093 Øivind Tryland. April 1984
- 9/84 **Hygienisering av slam ved bruk av rent oksygen**
F-81430 Bjarne Paulsrud, Bjørn-Erik Haugan, Gunnar Langeland. Juli 1984
- 10/84 **Slamavvanning med filterpresser ved SRV**
Økonomisk sammenligning av Lasta membran-filterpresser og Rittershaus & Blecher kammerfilterpresser
O-83098 Lasse Vråle, Bjarne Paulsrud. Mai 1984 (Sperrert)
- 11/84 **Separat behandling av slamvann fra avvanning av septikslam**
Biologisk rensing ved bruk av aktivslam
O-83021 Ragnar Storhaug. Juni 1984
- 12/84 **Industriutslipp til vassdrag**
Avveininger for å beskytte resipienten, eksempel fra en tekstilbedrift
OF-81618 Bjørn-Erik Haugan, Kim Wedum. April 1984 (Sperrert)
- 13/84 **Treforedlingsindustriens avløpsvann**
Virkning av peroksyd og UV-bestråling på klororganisk materiale og farge i celluloseblekeriers avløpsvann
F-81434 Øivind Tryland. Mai 1984
- 14/84 **Driftsassistanse**
Vannrenseanlegg, ÅSV A/S Fundo Aluminium
O-83141 Eigil Iversen, Torbjørn Damhaug. Juni 1984
- 15/84 **Ammonium som forureningsparameter**
O-83035 Kim Wedum. August 1984
- 16/84 **Driftsoppfølging av Biovac renseanlegg for helårsbolig**
O-82101 Bjarne Paulsrud. September 1984
- 17/84 **Kalkfelling på små renseanlegg**
O-83067 Ragnar Storhaug. Oktober 1984
- 18/84 **Hygienisering av slam ved lufttilførsel (Janca-prosessen)**
O-84050 Bjarne Paulsrud, Gunnar Langeland. September 1984
- 19/84 **Utvikling av lukket mærkonstruksjon.**
Prosessløsning og optimalisering
O-84091 Kjell Maroni, Eivind Lygren, Bjørn Braaten. Oktober 1984. (Sperrert)
- 20/84 **Forureningsproduksjon fra husholdning**
Halvårlig sommerundersøkelse fra Sydsbogen i 1983, Røyken kommune.
F-83451 Lasse Vråle. Oktober 1984
- 21/84 **Luftet lagune for rensing av sivevann**
O-83027 Ragnar Storhaug. April 1985
- 22/84 **Avløpsvannmengder tilført påslippene ved SRV i 1983 og 1984**
O-83090 Lasse Vråle. April 1985

WA rapporter utgitt av NIVA

- 1/85 **Spesifikk forurensningsproduksjon fra husholdning**
Enkel litteraturstudie
O-84131-01 Lasse Vråle. Mars 1985
- 2/85 **Kritisk analyse av spesifikke forurensningsmålinger**
O-84131-02 Lasse Vråle. Mars 1985
- 3/85 **Treatment of leachate in aerated lagoons**
Lab-scale study
O-84022 Ragnar Storhaug. Juli 1985
- 4/85 **Fiskeoppdrett på Granerudstøa, Nesodden**
O-85233 Bjørn Braaten, Torbjørn Damhaug. Juni 1985
- 5/85 **Oppdrett av ferskvannskreps ved Mesna Bruk A/S**
Forprosjekt
O-85126 Sigurd Rognerud, Stellan Karlson
Torbjørn Damhaug, Gösta Kjellberg. August 1985
- 6/85 **Driftsassistanse - Vannrensaneanlegg ved Steens Fornikling A/S**
O-84157 Øivind Tryland. August 1985
- 7/85 **Spillvarmebasert akvakulturanlegg i Tyssedal**
Forprosjekt
O-85226 Kjell Maroni, Erlend Waatevik. September 1985 (Sperret)
- 8/85 **Driftsassistanse - Avløpsledning**
Høvik Lys A/S
O-85221 Øivind Tryland, Eigil Iversen,
Åse K. Rogne. August 1985
- 9/85 **Teknologi og miljø i oppdrettsnæring**
O-84159/0-84160 Kjell Maroni. Januar 1985
- 10/85 **Rensing av blyholdig avløpsvann.**
Undersøkelser ved Sønnak Batterier A/S
O-85222 Eigil Iversen, Øivind Tryland. September 1985
- 11/85 **Spillvarmebasert oppdrettsanlegg i tilknytning**
til Sauda Smelteverk A/S
O-84167 Kjell Maroni. April 1985 (Sperret)
- 12/85 **Overføring av avløpsvann fra Bekkelaget rensedistrikt**
til Sentralrensaneanlegg Vest, SRV.
Noen vurderinger av VA-tekniske konsekvenser
O-85147 Lasse Vråle. Oktober 1985
- 13/85 **Arealreduksjonsfaktorer. Fase III**
Nedbørmålinger i finmasket nett i Oslo
O-85213 Oddvar Lindholm. Desember 1985
- 14/85 **Vann- og avløpstekniske løsninger for Helleberg hytteområde**
Nordstul, Store-Ble, Notodden kommune
O-85292 Lasse Vråle. Oktober 1985
- 15/85 **Fremdriftsrapport for Frogn Vannverk**
Perioden juni-oktober 1985
O-85211 Lasse Vråle. Oktober 1985
- 17/85 **Landbasert fiskeoppdrettsanlegg i Grimstad**
O-85262/Kristoffer Næs, Eivind Lygren, Torbjørn Damhaug,
Kjell Maroni, Bjørn Braaten. November 1985 (Sperret)
- 1/86 **NIVANETT på mikrodatamaskin**
O-85207 Oddvar Lindholm. Januar 1986
- 2/86 **Utvikling av resirkuleringsanlegg for fiskeoppdrettsanlegg**
O-81068 Eivind Lygren, Kjell Maroni. April 1986
- 3/86 **Avfall fra skip på norske strender**
O-85174 Tor Moxnes. Mars 1986
- 4/86 **Driftsundersøkelse av sølvvarefabrikkers rensaneanlegg**
O-82108 Egil Iversen, Februar 1986
- 5/86 **Utvikling av intensive oppdrettsanlegg**
O-83089 Eivind Lygren. April 1986
- 6/86 **Minivannverk - forsøk i full skala med prototyp**
O-84114 Tor Moxnes. Mai 1986
- 7/86 **Sanitærbidrag fra yrkesaktive i Ringbygget**
O-85255 Lasse Vråle. Mai 1986
- 8/86 **Virkning av dynamisk regn på hydrogram**
O-86037 Oddvar Lindholm. Juni 1986
- 9/86 **Driftserfaringer fra kalkdoseringsanlegg i vannverk**
O-86092 Jens Arne Ohren. Juni 1986