

O-85301

# **Undersøkelse av vannkvaliteten ved Frogn vannverk**

21.januar-4.juni 1985

# NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Hovedkontor      Sørlandsavdelingen      Østlandsavdelingen      Vestlandsavdelingen  
Postboks 333      Grooseveien 36      Rute 866      Breiviken 2  
0314 Oslo 3      4890 Grimstad      2312 Ottestad      5035 Bergen - Sandviken  
Telefon (02)23 52 80      Telefon (041)43 033      Telefon (065)76 752      Telefon (05)25 53 20

Prosjektnr.:	0-85301
Undernummer:	
Løpenummer:	1749
Begrenset distribusjon:	

Rapportens tittel:  Undersøkelse av vannkvaliteten ved Frogn vannverk 21. januar - 4. juni 1985	Dato:  4. juli 1985
	Prosjektnummer:  0-85301
Forfatter (e):  Lasse Berglind	Faggruppe:
	Geografisk område:  Akershus
	Antall sider (inkl. bilag):  33

Oppdragsgiver:  Alfsen og Gunderson A/S	Oppdragsg. ref. (evt. NTNF-nr.):
---	----------------------------------

**Ekstrakt:**

Det er utført en undersøkelse av vannkvaliteten ved Frogn kommunes direktefiltreringsanlegg på Heer. Undersøkelsen viste for høye verdier for turbiditet og aluminium i forhold til SIFFs normer for drikkevann.

Med råvann fra vannverket er det gjort undersøkelser i laboratoriet for å klarlegge de optimale betingelsene for felling. I et pilotanlegg for direktefiltrering med samme filteroppbygging som i vannverket ble det oppnådd tilfredsstillende vannkvalitet. I vannverket ga imidlertid etterprøving ved optimale betingelser bare en viss forbedring av vannkvaliteten over en kortere periode.

Arsaken til at renseanlegget ikke ga tilfredsstillende renseeffekt er ikke klarlagt, men antas å ha sammenheng med at hurtigmixingen og flokkuleringen i anlegget bare delvis gir filtrerbare fnokker.

4 emneord, norske:
1. Direktefiltrering
2. Drikkevann
3. Vannkvalitet
4. Laboratorieforsøk

4 emneord, engelske:
1. Direct filtration
2. Drinking water
3. Water quality
4. Laboratory testing

Prosjektleder:

*Lasse Berglind*

For administrasjonen:

*Torsten Kallgren*

ISBN 82-577-0941-7

**NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING  
OSLO**

**0-85301**

**UNDERSØKELSE AV VANNKVALITETEN VED FROGN VANNVERK  
21. JANUAR - 4. JUNI 1985**

Oslo, 20. juni 1985

Saksbehandler: Lasse Berglind  
Medarbeider : Lasse Vråle  
For  
administrasjonen: Torsten Källqvist

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

<u>Seksjon</u>	<u>Side</u>
1. INNLEDNING	2
2. ALMENT OM FROGN VANNVERK OG RENSEMETODEN	2
3. INNLEDENDE UNDERSØKELSER VED RENSEANLEGGET	3
4. LABORATORIEFELLINGSFORSØK	7
4.1 Metodikk	7
4.2 Jar-test med aluminiumsulfat	7
4.3 Jar-test med jernklorid	8
4.4 Forsøk med hjelpekoagulant	9
5. FELLINGSFORSØK I PILOTANLEGG FOR DIREKTEFILTRERING	11
5.1 Beskrivelse av pilotanlegget	11
5.2 Undersøkelse av optimal fellings-pH i pilotanlegget	13
5.3 Undersøkelse av optimal ALS-dose i pilotanlegget	13
5.4 Direktefiltrering uten flokkulering	15
5.5 Direktefiltrering med og uten polymer	16
6. UTPRØVING I VANNVERKET	18
6.1 Undersøkelse 29. mars 1985	18
6.2 Undersøkelse 23. april 1985	18
6.3 Undersøkelse 13. mai 1985	21

<u>Seksjon</u>	<u>Side</u>
7. SAMMENFATNING - DISKUSJON	22
8. KONKLUSJON	24
9. LITTERATURHENVISNINGER	25

F I G U R F O R T E G N E L S E

<u>Figur</u>		<u>Side</u>
1	Frogn vannverk 21. januar - 22. januar 1985. Filtrert vann.	5
2	Frogn vannverk 7. februar - 8. februar 1985. Filtrert vann.	6
3	Pilotanlegg for direktefiltrering.	12
4	Undersøkelse av optimal pH ved direktefiltrering. Filtrert vann.	14
5	Undersøkelse av optimal ALS-dose ved direktefiltrering. Filtrert vann.	15
6	Forsøk med direktefiltrering med og uten flokkulering. Filtrert vann.	16
7	Direktefiltrering med og uten tilsats av polymer. Filtrert vann.	17
8	Frogn vannverk 29. mars 1985. Filtrert vann.	19
9	Frogn vannverk 23. april 1985.	20
10	Frogn vannverk 13. mai 1985. Filtrert vann.	21

## 1. INNLEDNING

Frogn kommunes nye vannrenseanlegg på Heer har i perioder hatt en vannkvalitet som har vært mindre tilfredsstillende. Vannets farge, turbiditet og aluminiumsinnhold har vært for høyt i forhold til de kvalitetskrav som er satt av SIFF (1976). NIVA ble oppmerksom på forholdet i forbindelse med en undersøkelse av flere norske vannverk, blandt disse var ovennevnte vannverk med. I programforslag av 22. desember 1983 og i et senere revidert programforslag av 4. oktober 1984 foreslo NIVA overfor Alfson og Gunderson A/S en undersøkelse som tok sikte på å komme frem til tiltak som kunne forbedre renseprosessen.

I brev av 16. januar 1985 engasjerte Alfson og Gunderson A/S NIVA til å gjøre en forundersøkelse og utføre laboratoriefellingsforsøk med råvannet. Senere er det blitt utført flere direktefiltreringsforsøk i et pilotanlegg på NIVA og videre undersøkelser i vannverket.

NIVA har også foretatt en undersøkelse for Frogn kommune vedrørende driftsforholdene ved renseanlegget på Heer (Vråle 1985).

## 2. ALMENT OM FROGN VANNVERK OG RENSEMETODEN

Frogn vannverks renseanlegg er et såkalt direktefiltreringsanlegg (engelsk: direct filtration), prosessen kalles også "felling på filter". Råvannet taes fra Oppegårdtjern og dette er vann med farge 90-111 H, turbiditet 0,7 - 0,9 FTU og  $\text{KMnO}_4$ -tall 12,9 mg O/l.  $\text{KMnO}_4$ -tallet indikerer at innholdet av organisk stoff er høyt, likeledes er fargetallet høyt. I renseanlegget som behandler ca. 190 m<sup>3</sup>/time, tilsettes først NaOH på ledningen foran en statisk mixer, deretter aluminiumsulfat (ALS) foran en ny statisk mixer. Deretter fordeler vannet seg på 2 stk. 2-media filtere med sand og hydroantrasitt montert i parallell, belastningen er ca. 14 m/time.

Sammenliknet med konvensjonelle fullrenseanlegg benyttes det ved direktefiltrering som oftest en kortere flokkuleringsperiode, men ikke sedimentering, derved spares ca. 30 % av anleggskostnadene samtidig som anlegget tar mindre plass. Alt slam vil imidlertid samles i filterene. Dette innebærer hyppigere tilbakespyling enn i kon-

vensjonelle anlegg og dermed et noe høyere spylevannsforbruk. Kjemikalieforbruket er lavere enn i vanlige fullrenseanlegg, imidlertid kan driftsstabiliteten bli dårligere. Direktefiltreringsanlegg for drikkevann er lite utbredt i Norge, men mer vanlig i utlandet. Det hevdes imidlertid at direktefiltrering har samme renseeffekt som konvensjonelle anlegg under forutsetning av at innholdet av suspendert materiale ikke er for høyt (Culp 1977). Andre hevder at råvannets farge heller ikke bør være for høyt (AWWA Committee Report (1979)).

### 3. INNLEDENDE UNDERSØKELSER VED RENSEANLEGGET

De første undersøkelser ved renseanlegget fant sted 21. januar og 7. februar 1985. Driftsforholdene ble undersøkt og det ble tatt vannprøver for analyse.

Anlegget har automatisk styring av filtrering og tilbakespyling. Det er flere operatører, ifølge driftsinstruksen har den viktigste oppgaven for disse vært å lage til kjemikalieoppløsninger for felling, klorering og alkalisering. Det føres driftsjournal, men daglige data for kjemisk/fysiske analyser, kjemikaliedosering, vannproduksjon og spylevannsforbruk har tilsynelatende ikke blitt notert. Vannverket har et lite laboratorium med det nødvendigste utstyr for måling av pH, farge, turbiditet og restklor. pH-instrumentet var imidlertid upålitelig fordi elektroden var for gammel.

Det er også installert 2 faste pH-målere i anlegget, en for inngående vann til filtrene og en for behandlet vann. Disse var åpenbart upålitelige fordi elektrodene var gamle og ukalibrerte, dessuten var skjermingen av elektroder og signalkabler tvilsom.

Det lå mye uoppløst ALS i forrådstankene, dette kan bety unøyaktig dosering. ALS i pulverform inneholder en del uoppløselige stoffer. Dessuten kan papirbiter fra sekkene falle ned i tankene. Dette har gitt tilstopping i siler og ventiler slik at anlegget periodevis har vært uten tilførsel av fellingskjemikalie. Slike problemer kan unngås ved innkjøp av ferdig oppløst ALS i tank.

Anlegget hadde ikke noen innretning for å øyeblikkskontrollere kjemikaliedoseringen. Eneste mulighet var å lese av litermarkeringene på tankene med lang tids mellomrom.

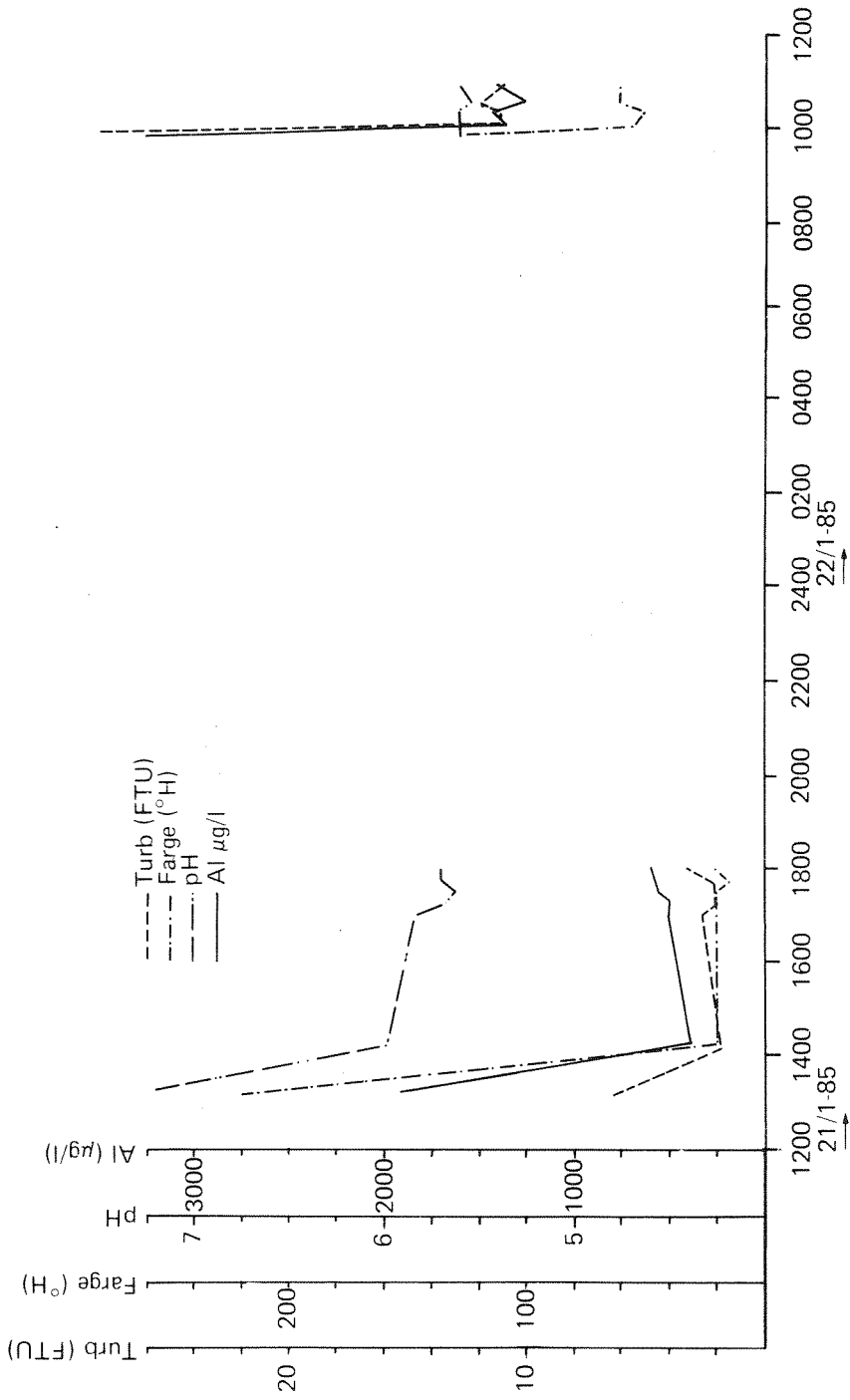
Det var vanskelig å få tatt ut prøver på ulike steder i renseanlegget.



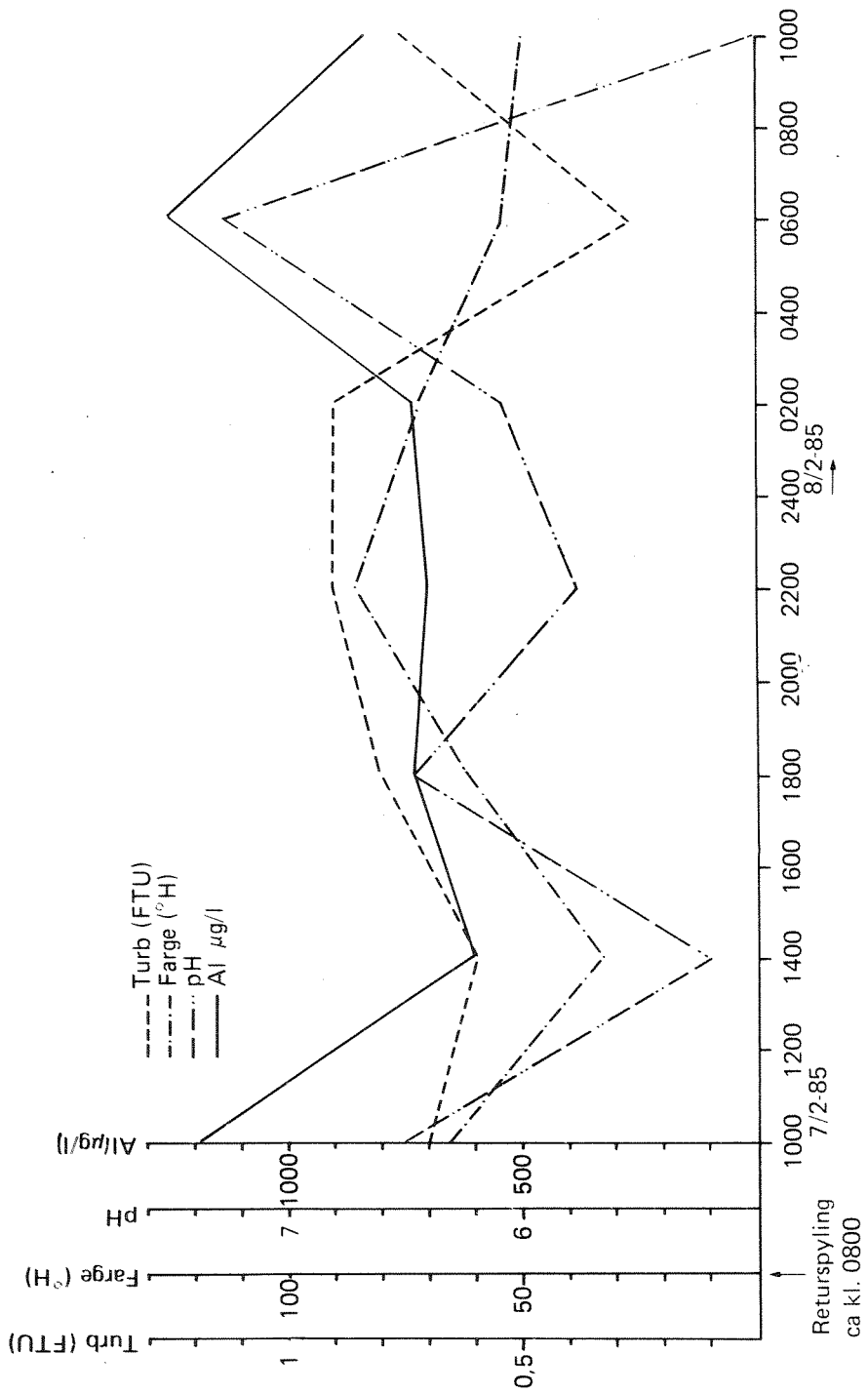
Prøvetaking av ferdig behandlet vann etter klortilsats var ikke mulig, dermed kan klorinnhold og pH ikke kontrolleres i det vann som går til rentvannsmagasinet.

Prøvetaking av vann i renseanlegget ble foretatt 21.-22. januar og 7.-8. februar 1985. ALS-dosen var 32 mg/l, NaOH ble tilsatt til fellings-pH 6,0. Prøvetakingsseriene ble startet etter spyling av filterne. Analysene for 21.-22. januar 1985 ble utført av Follo Kjøtt- og næringsmiddelkontroll og er ført opp i appendiks. Resultatene for filtrert vann, dvs. vann som kommer ut av filterne, er vist i figur 1 og 2. Det sees at vannet hadde høye og varierende verdier for farge (ufiltrert), turbiditet og aluminium. Verdiene lå hele tiden over SIFFs krav. Også pH varierte mye, figur 2 viser en variasjon fra 5,0 til ca. 7,15 over 1 døgn. De store pH-svingningene skyldes bl.a. at filtermassen "akkumulerer" alkali under spylingen med det basiske vannet fra høydebassenget. Under filtreringen "blør" denne luten ut igjen og dette bidrar til pH-svingningene. Denne effekten er også beskrevet av Eikebrokk (1984). pH forstyrres også i sammenheng med anleggets driftspauser (Vråle 1985).

Etter prøvetaking 8. februar 1985 ble anlegget stanset og filtermassen kontrollert. Det viste seg at det manglet 18 cm hydroantrasitt i filter 1 og 34 cm i filter 2, mens det skal være 100 cm. Hydroantrasitten inneholdt også en del myke klumper ("mudballs").



Figur 1. Frogn vannverk 21. januar - 22. januar 1985.  
Filtret vann.



Figur 2. Frogn vannverk 7. februar - 8. februar 1985.  
Filtrert vann.

#### 4. LABORATORIEFELLINGSFORSØK

##### 4.1 Metodikk

Laboratoriefellingsforsøkene (jar-test) ble utført med 1 l-porsjoner av råvann hentet 21.1.85 i et Phipps & Bird apparat. Fellingsbetingelsene var følgende etter tilsats av fellingskjemikalier:

Koaguleringstid - 1 min. ved 140 rpm  
Flokkuleringstid - 60 min. ved 10 rpm  
Sedimenteringstid - 60 "

Etter endt sedimenteringstid ble det klarede vannet tatt ut med hevert med lavest mulig fall og filtrert gjennom Schleicher & Schüll foldefilter nr. 597 1/2, før analyse.

Fellingsforsøkene ble utført uten temperaturregulering og temperaturen på prøvene varierte derfor mellom 4 og 11<sup>0</sup> C fra start til slutt.

##### 4.2 Jar-test med aluminiumsulfat

Aluminiumsulfat fra Lysaker kjemiske fabrikk ble benyttet. NaOH var av den kvalitet som benyttes på renseanlegg.

Først ble optimal fellings-pH bestemt. Ut fra råvannets farge (111<sup>0</sup>H) og tidligere erfaring med drikkevannsfelling ble det valgt å benytte en dose på 50 mg/l.

Resultater:

Prøve	Al-sulfat mg/l	NaOH mg/l	pH	Farge <sup>0</sup> H **)	Tid for første syn- lige fnokker	Fnokk- størrelse*
1	50	-	5.1	11.5	1-2 min.	3-4 mm
2	50	6.5	5.7	7.5	1-2 "	3-4 "
3	50	9.5	6.02	7.5	1-2 "	3-4 "
4	50	11	6.19	9.5	2-3 "	3-4 "
5	50	13	6.34	11.5	5 "	3-4 "
6	50	16	6.59	16	5 "	3-4 "
7	50	18	6.86	> 150	Ingen fnokker	

\* Målt etter 10 min.

\*\* Ufiltrert.

Ut fra ovennevnte tabell synes optimalt pH-område for felling å ligge i området 5.7 - 6.1.

Deretter ble optimal fellingsdose bestemt.

Resultater:

Prøve	Al-sulfat mg/l	NaOH mg/l	pH	Kond. mS m	Farge H*	Turbi- ditet FTU	Alumi- nium µg Al/l	KMnO <sub>4</sub> - tall mg O/l	Tid for første synlige fnokker
1	30	5	6.1	-	>150	-	-	-	Ingen fnokker
2	35	6.5	6.17	-	42	-	-	-	~ 1 min
3	40	7	6.06	-	14	-	-	-	~ 2 "
4	45	8	6.01	-	9.5	-	-	-	~ 1 "
5	50	10	6.03	12.2	5.0	0.2	64	3.52	~ 1 "
6	55	12	6.1	-	5.0	-	-	-	~ 1 "
råvann	-	-	6.7	9.6	111	0.9	78	12.9	-

\*) ufiltrert.

Ovennevnte tabell viser at ut fra jar-test var optimal dose av Al-sulfat ved felling 50 mg/l. Høyere dose (55 mg/l) ga ikke bedre fargereduksjon.

Det fremgår av ovennevnte tabell at med optimal ALS-dose var fargereduksjonen 94.6 %, turbiditetsreduksjonen 77.7 % og reduksjonen i KMnO<sub>4</sub>-tall 72.7 %. Sett under ett var renseeffekten god ved den kjemiske fellingen.

#### 4.3 Jar-test med jernklorid

3-verdig jernklorid (FeCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O) fra Boliden ble benyttet, dessuten teknisk NaOH og Ca(OH)<sub>2</sub>.

Følgende forsøk ble utført for bestemmelse av optimal fellings-pH. Dosen på 40 mg/l av jernklorid ble valgt ut fra råvannsvannfarge og

tidligere erfaring med laboratoriefellingsforsøk.

Resultater:

Prøve	Jern- klorid mg/l	NaOH mg/l	Ca(OH) <sub>2</sub> mg/l	pH	Farge H *)	Første synlige fnokker etter
1	40	3	-	3.95	14	1-2 min.
2	40	10	-	4.45	9.5	1-2 "
3	40	12.5	-	4.77	7.5	1-2 "
4	40	15	-	5.71	14	1-2 "
5	40	18	-	6.27	>150	Ingen fnokker
6	40	26	-	7.24	>150	Ingen fnokker
7	40	30	-	8.68	>150	Ingen fnokker
8	40	40	-	10.-	61.5	20-25 min.
9	40	65	-	11.-	37	20-25 "
10	40	-	25	10.-	39.5	1-2 "
11	40	-	40	11.-	28	1-2 "

\*) Ufiltrert.

Ut fra jar-test synes optimal fellings-pH å være ca. 4.8 med jernklorid. Felling var også mulig i det basiske område, men fargereduksjonen var ikke så god som ved pH 4.8. Ved felling i det basiske område dannet fnokkene seg mye raskere ved alkalisering med kalk istedenfor natriumhydroksyd.

Ettersom god fargereduksjon med jernklorid bare var mulig ved nokså lav pH synes bruk av dette fellingskjemikalie lite aktuelt pga korrosjonsfaren i anlegget. Ytterligere forsøk med jernfelling er derfor ikke utført.

#### 4.4 Forsøk med hjelpekoagulant

Forsøket tok sikte på å klarlegge om bruk av hjelpekoagulant kan redusere tilsatsen av hovedkoagulant, i dette tilfelle aluminiumsulfat. To typer av hjelpekoagulant ble prøvet, nemlig den syntetiske Magnafloc LT20 og den stivelsebaserte Wisprofloc 20. Magnafloc LT20 ble kun tilsatt i en mengde av 0.1 mg/l ettersom dette ut fra litteraturen synes å være høyeste aktuelle dose som hjelpekoagulant ved felling på filter. Hjelpekoagulantene ble tilsatt etter hovedkoagulant.

Resultater:

Prøve	Al-sulfat mg/l	NaOH mg/l	Magnafloc LT20 mg/l	Wisprofloc 20 mg/l	pH	Farge °H
1	40	6	0.1	-	6.0	14
2	40	6	-	0.1	6.0	14
3	40	6	-	-	6.0	14
4	50	9	-	-	6.0	7.5

Resultatene viser at hjelpekoagulant ikke ga noen forbedret farge-reduksjon som kan indikere at hovedkoagulant-dosen eventuelt kan reduseres. Den eneste effekt som kunne observeres var at i prøven med Wisprofloc 20 ble det dannet store, voluminøse fnokker.

Det vil antakelig være mer aktuelt å prøve hjelpekoagulanter ved dosering på filtrene for å prøve om dette kan forbedre filtrerings-egenskapene.

## 5. FELLINGSFORSØK I PILOTANLEGG FOR DIREKTEFILTRERING

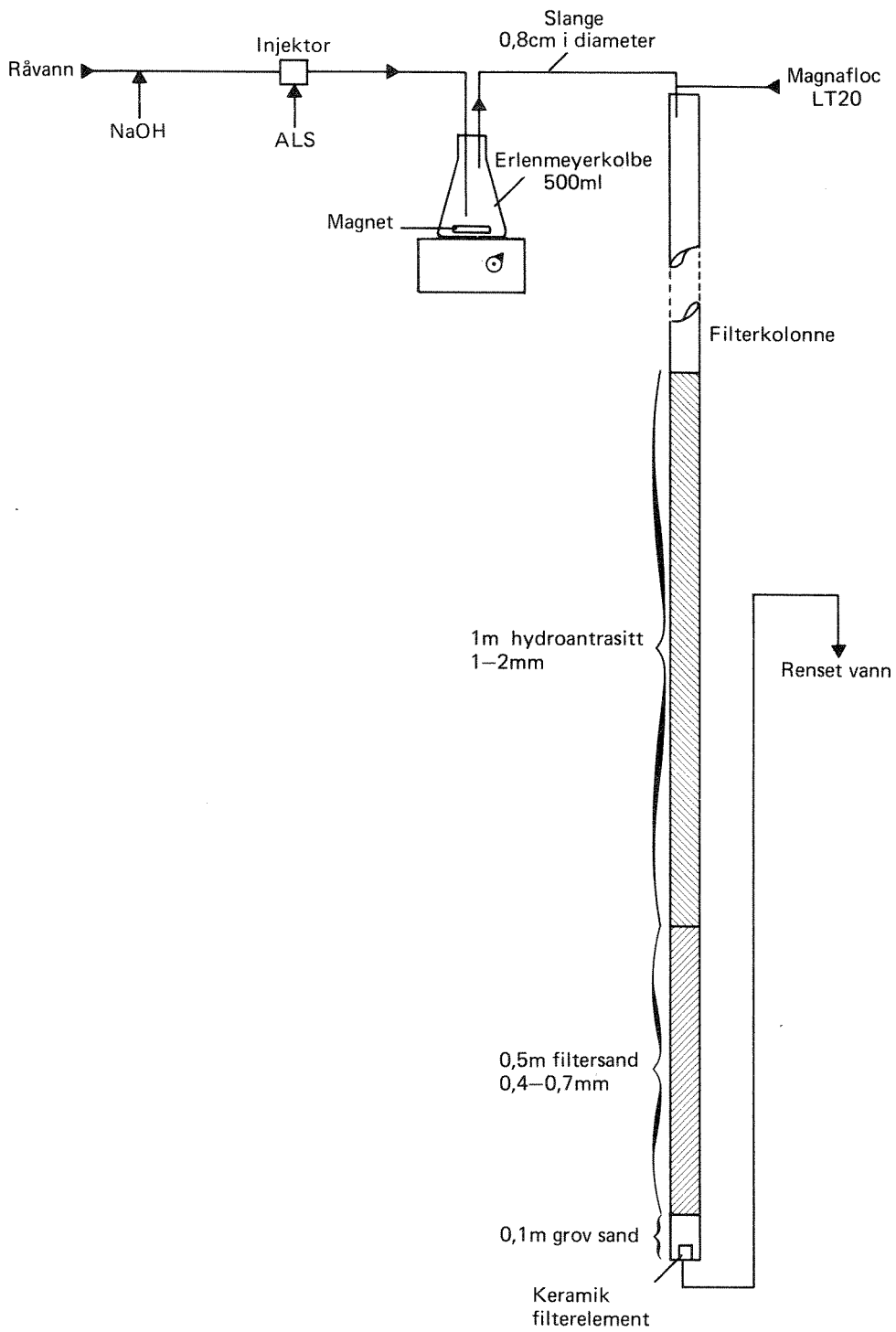
I litteraturen er det nevnt at jar-test gir en god indikasjon om optimal fellings-pH ved direktefiltrering (Eikebrokk 1982). De optimale dosene av fellingskjemikalie ved direktefiltrering kan imidlertid være 50 % lavere enn det en jar-test indikerer. (Westerhoff et al. (1980), (Bowen 1981). Culp (1977) anbefaler forsøk i pilotanlegg for nærmere undersøkelse av optimale driftsbetingelser ved direktefiltrering.

### 5.1 Beskrivelse av pilotanlegget

Forsøk med direktefiltrering i pilotanlegg er blitt foretatt med råvann fra Frogn vannverk hentet i tidsrommet februar-mai 1985. Anlegget er vist i figur 3. Filteret besto av et 3 m langt glassrør med indre diameter 37 mm og var av 2-mediatypen med 0,5 m filtersand med kornstørrelse 0,4 - 0,7 mm og 1 m hydroantrasitt med kornstørrelse 1-2 mm. Dette er samme filtermasse som benyttes i vannverket. Ved alle forsøk ble anlegget tilsatt 0,25 l råvann/minutt, tilsvarende en belastning på 14 m/time, det samme som i vannverket. Først ble NaOH tilsatt på tilførselsledningen for kontroll av fellings-pH. Deretter ble ALS tilsatt i en injektor for å oppnå hurtigmixing. Flokkulering fant sted i en 0,5 l Erlen-Meyerkolbe med 60 x 10 mm magnetrører som roterte med 100-120 omdreininger pr. minutt. Intensiteten ved denne omrøringen (G-verdi) er ikke kjent. Oppholdstiden ved flokkuleringen var 2 minutter. Etter flokkuleringen gikk vannet til filterkolonnen i en 1 m lang slange med indre diameter 8 mm som ga en hastighet på 8,3 cm/sek. I enden av denne innløpsledningen ved kolonnen ble polymeren Magnafloc LT20 tilsatt som filterhjelp i en konsentrasjon av 0,1 mg/l. Kolonneinngangen er nevnt som et gunstig doseringspunkt for polymer brukt som filterhjelp (Hutchison og Foby (1974), Eikebrokk (1982). Magnafloc LT20 er nonionisk (syntetisk) polymer og er godkjent av SIFF for bruk i norske vannverk etter at renseanlegget ble prosjektert. Eikebrokk (1982, 1984) har rapportert om god effekt med denne ved direktefiltrering med humusholdig råvann.

Pilotanlegget hadde ikke utstyr for måling av filtermotstand.





Figur 3. Pilotanlegg for direktefiltrering.

## 5.2 Undersøkelse av optimal fellings-pH i pilotanlegget

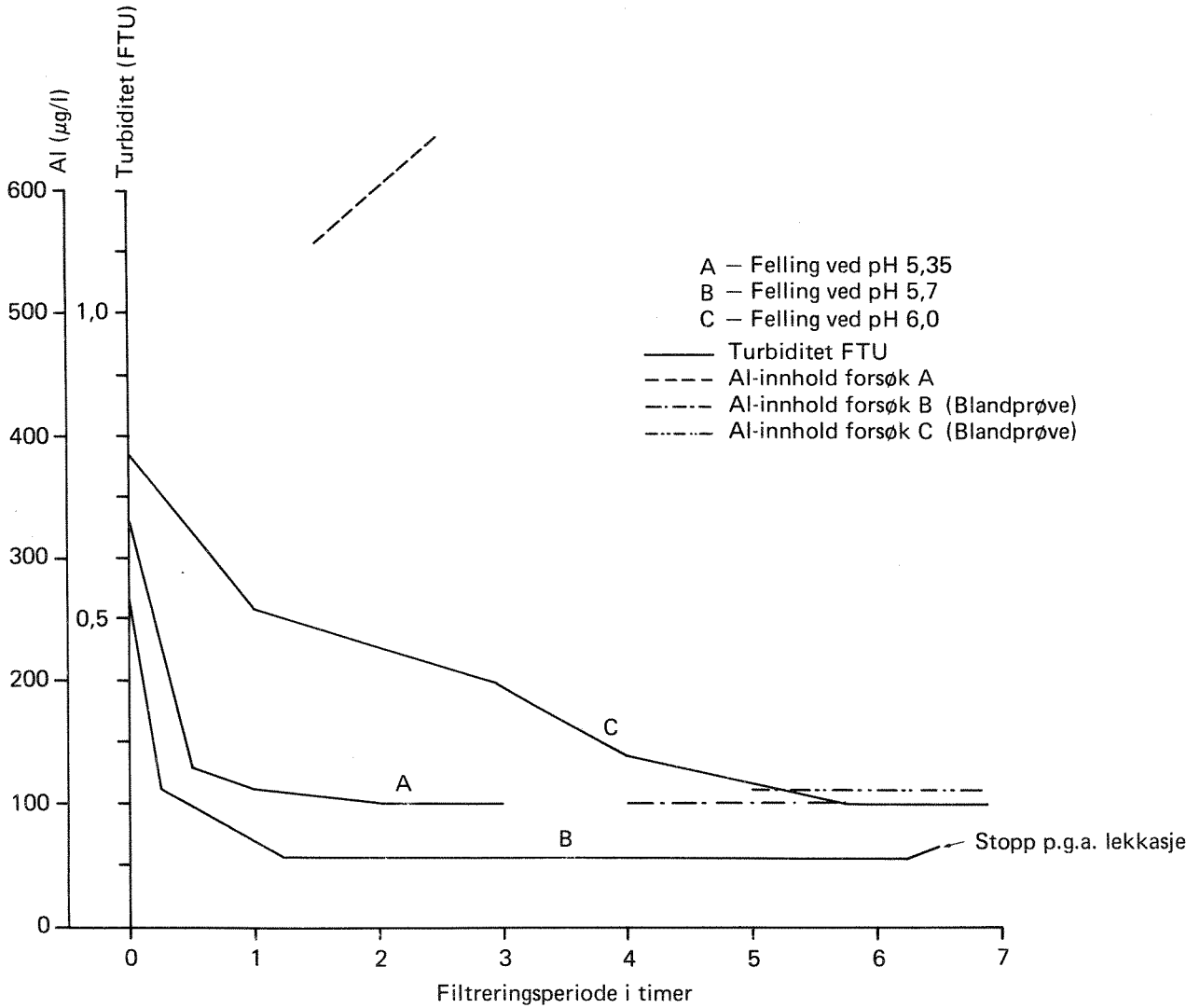
Disse forsøkene er utført for å etterprøve det optimale området for fellings-pH som ble funnet å være 5,7-6,1 ved jar-test. Ved forsøkene ble det valgt å benytte en ALS-dose på 35 mg/l som er lavere enn den dose som ble funnet å være optimal ved jar-test. Tilsatsen av Magnafloc LT20 var 0,1 mg/l. Det ble kjørt tre forsøk med pH henholdsvis 6,0 5,7 og 5,35. Turbiditeten i filtrert vann er vist i figur 4 som funksjon av filtreringstid. Dessuten er innholdet av restaluminium vist for deler av filterperiodene.

Figur 4 viser at best resultat ble oppnådd ved pH 5,7, det vil si i nedre del av det optimale område som ble funnet ved jar-test (pkt. 4.2). Dette er i overensstemmelse med de resultater Eikebrokk (1982) har fått med vann med høy farge.

Under nesten hele filterperioden på 6,5 timer med pH 5,7 var turbiditeten klart lavere enn SIFFs krav. Ved pH 5,35 ble turbiditeten også raskt bedre enn kravet, men det sees at innholdet av restaluminium var høyere enn kravet på 100 µg Al/l. Årsaken til dette er at aluminiums løselighet øker med lavere pH. Direktefiltrering med så lav pH er derfor ikke å anbefale med vanlig direktefiltrering. Ved felling ved pH 6,0 tok det lang tid før tilfredsstillende turbiditet ble oppnådd, og tilfredsstillende vannkvalitet ble bare oppnådd i de siste 3 timene av filterperioden.

## 5.3 Undersøkelse av optimal ALS-dose i pilotanlegget

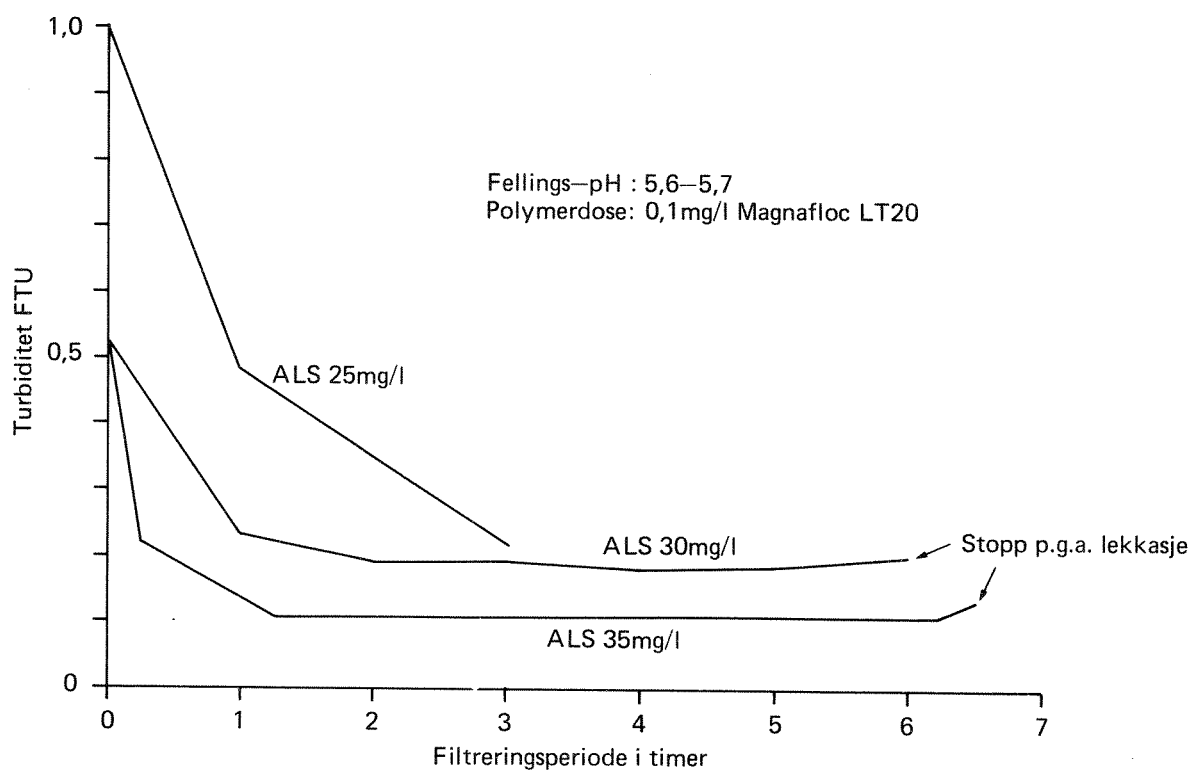
Ved direktefiltrering er det viktig at ALS-dosen er optimal, dels for å oppnå tilfredsstillende renseeffekt, dels for at ALS-dosen ikke er høyere enn strengt nødvendig. I et direktefiltreringsanlegg vil alt fellings slam bli holdt tilbake i filteret og derfor vil en overdosering av ALS gi tidlig gjennombrudd og dermed lavere vannproduksjon. For å klarlegge dette nærmere ble det kjørt ytterligere 2 forsøk med ALS-doser på henholdsvis 25 og 30 mg/l ved fellings-pH 5,6-5,7 og med tilsats av 0,1 mg/l av Magnafloc LT20. Resultatene er illustrert i figur 5 hvor også filtreringsforløpet med 35 mg/l av ALS (pkt. 5.2) er tegnet inn.



Figur 4. Undersøkelse av optimal pH ved direktefiltrering. Filtrert vann.

Figur 5 viser at filtrering med 30 og 25 mg ALS/l ikke ga noe bedre resultat enn med 35 mg ALS/l. Med 30 mg/l ble turbiditeten litt dårligere enn med 35 mg ALS/l, men turbiditeten var likevel tilfredsstillende etter SIFFs krav i minst 5,5 timer. Med 25 mg ALS/l tok det ca. 2,5 timer før turbiditet var tilfredsstillende, og dette kan tyde på for lav dose.

De tre filtreringsforsøkene synes å vise at optimal ALS-dose var ca. 35 mg ALS/l.

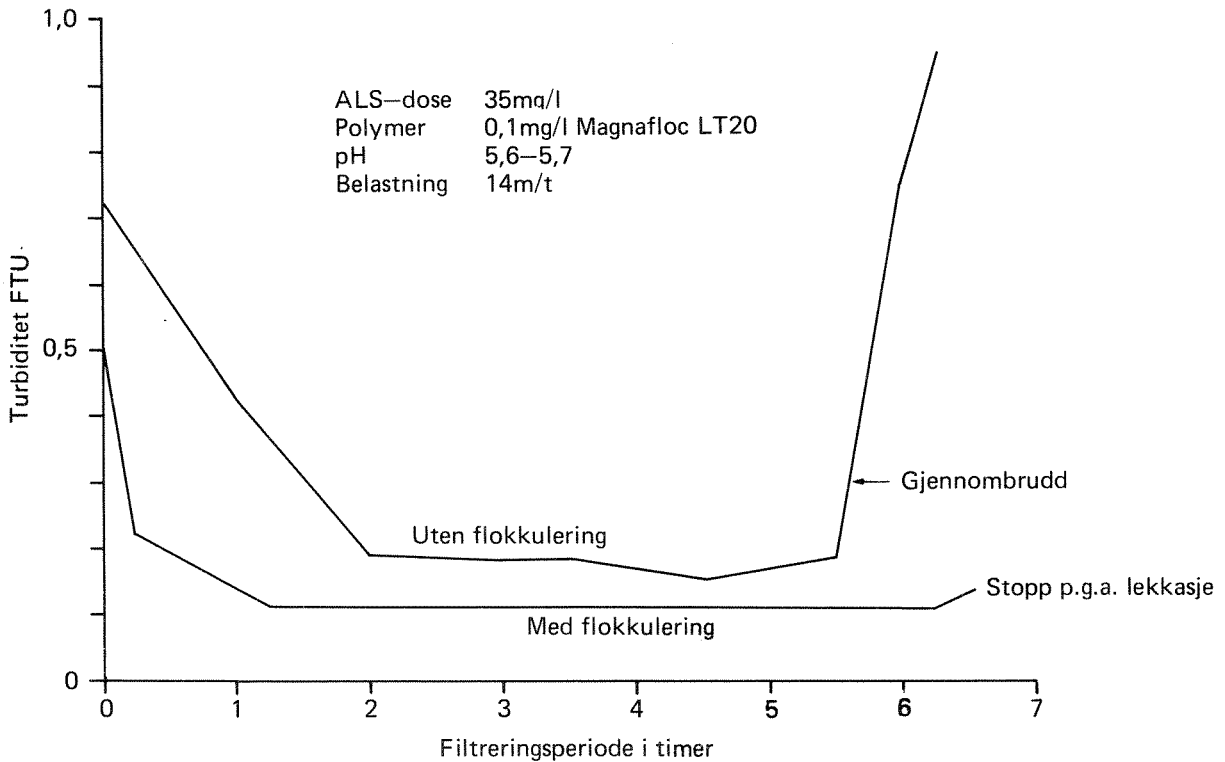


Figur 5. Undersøkelse av optimal ALS-dose ved direktefiltrering.  
Filtrert vann.

#### 5.4 Direktefiltrering uten flokkulering

Ved dette forsøket ble flokkuleringstrinnet som er vist på figur 3 sløyfet. Mellom injektoren hvor ALS ble tilsatt, og filterkolonnen ble det satt inn en slange med indre diameter 0,4 cm og lengde 150 cm. Dette ga en oppholdstid i slangen etter ALS-tilsatt på 4,5 sekunder før kolonnen og en hastighet på ca. 34 cm/sek., det vil si et arrangement som er mer likt det som brukes i vannverket enn de øvrige forsøkene i pilotanlegget som er omtalt i denne rapport. Det ble benyttet optimale betingelser mht. ALS-dose og fellings-pH. Magnafloc LT20 ble tilsatt i kolonneinngangen i en konsentrasjon av 0,1 mg/l som ved de øvrige forsøk. Filtreringsforløp er vist i figur 6 hvor også det tilsvarende forsøket med flokkulering er inntegnet. Figuren viser at uten flokkulering var vannkvaliteten tilfredsstillende i bare 4 timer (<0,3 FTU), mens den tilsvarende periode med flokkulering var minst 6 timer. Dessuten kan det ses at uten flokkulering kom det til et filtergjennombrudd minst 1 time tidligere sammenlignet med forsøket hvor flokkulering ble benyttet.

Forsøket gir en antydning om at uten en viss flokkulerings-periode blir vannkvaliteten noe dårligere og filterperioden noe kortere enn med tilleggsflokkulering. Dette synes å være i samsvar med resultater rapportert av Monseviz J.T. et al. (1978) og Treweek (1979).

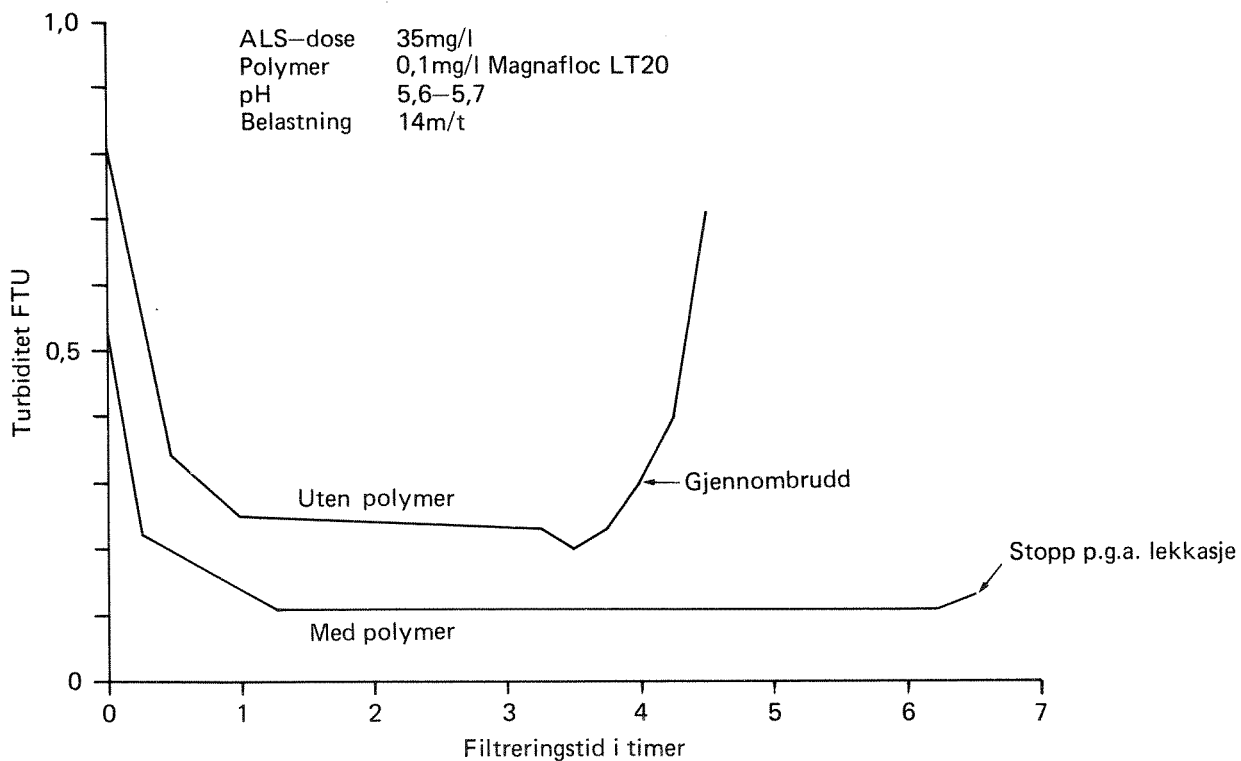


Figur 6. Forsøk med direktefiltrering med og uten flokkulering. Filtret vann.

### 5.5 Direktefiltrering med og uten polymer

Ved alle pilotforsøk som er beskrevet i denne rapport er den syntetiske polymeren Magnafloc LT20 blitt tilsatt som filterhjelp. For å demonstrere effekten av dette ble det kjørt et forsøk uten dosering av polymeren, det ble kun tilsatt 35 mg ALS/l ved optimal fellings-pH etter det opplegg som er vist i figur 3. Filtreringsforløpet er vist i figur 7, hvor også forløpet for det optimale forsøket som er omtalt i punkt 5.2 er tegnet inn.

Figur 7 viser at uten tilsats av polymer ble det bare med knapp margin oppnådd tilfredsstillende filtrerturbiditet over en periode på litt over 3 timer. Med polymer var den tilsvarende perioden minst 6,5 time, dessuten var turbiditeten gjennomgående lavere. Dette er i samsvarende med resultater rapportert av Eikebrokk (1982), Eikebrokk (1984).



Figur 7. Direktefiltrering med og uten tilsats av polymer. Filtrert vann.

## 6. UTPRØVING I VANNVERKET

### 6.1 Undersøkelse 29. mars 1985

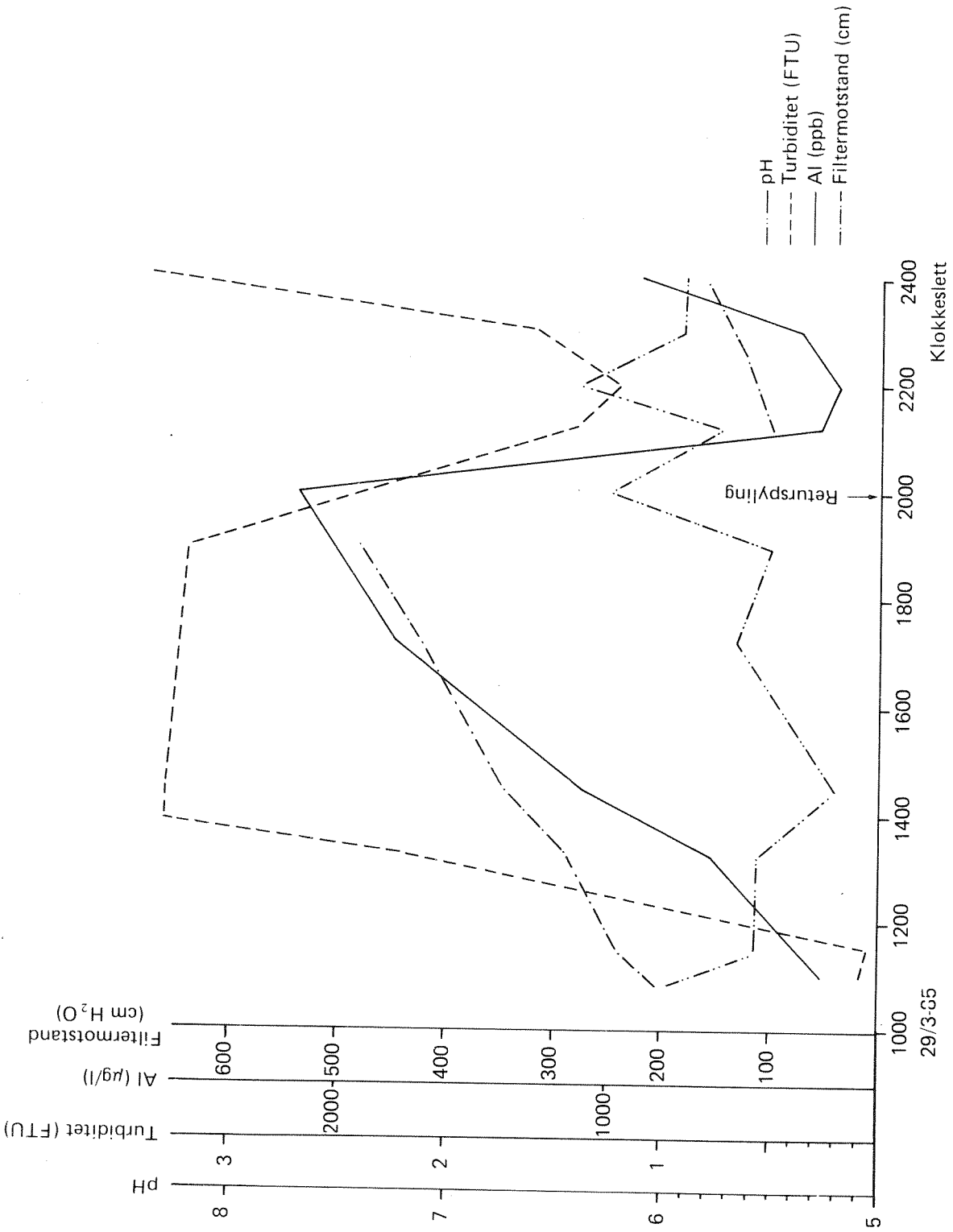
Undersøkelsen ble foretatt etter at manglende hydroantrasitt var påfylt filtrene og filtermassen vasket med kalsiumhypoklorittløsning for å fjerne "mud-balls". Siden forrige befaring (7.-8. februar 1985) var det også blitt montert graderte målebeholdere mellom kjemikalietankene og doseringspumpene for å kunne kontrollere doseringen. Alfsen og Gunderson A/S hadde også foretatt forandringer i den automatiske returspylingen av filtrene for å forbedre filtervaskingen.

Analysene som ble utført på filtrert vann er vist i figur 8. pH viste en synkende tendens fra 5,95 til 5,2 i de første timer og kl. 1430 ble lutdosering igangsatt da pH var blitt vesentlig lavere enn 5,7, som ble funnet å være nedre grense for optimalt område ifølge våre tidligere forsøk. Deretter holdt pH seg omtrent i optimalt område. Turbiditeten i filtrert vann varierte mellom 0,45 og 3,3 FTU og økte med høyere filtermotstand. Aluminiumsinnholdet varierte mellom 150 og 1790 µg/l og var lavest etter filterspyling. Høyeste verdi ble målt umiddelbart før spyling.

Sett under ett var vannkvaliteten dårlig under prøvetakingsperioden. Dette kan kanskje delvis ha sammenheng med at ALS-dosen på 40 mg/l, som ble brukt denne dagen, var for høy. Eikebrokk (1982) fremhever at koagulantdosen ikke må være høyere enn absolutt nødvendig fordi dette gir mere slam som igjen gir kortere filtersykluser og dårligere filtratkvalitet.

### 6.2 Undersøkelse 23. april 1985

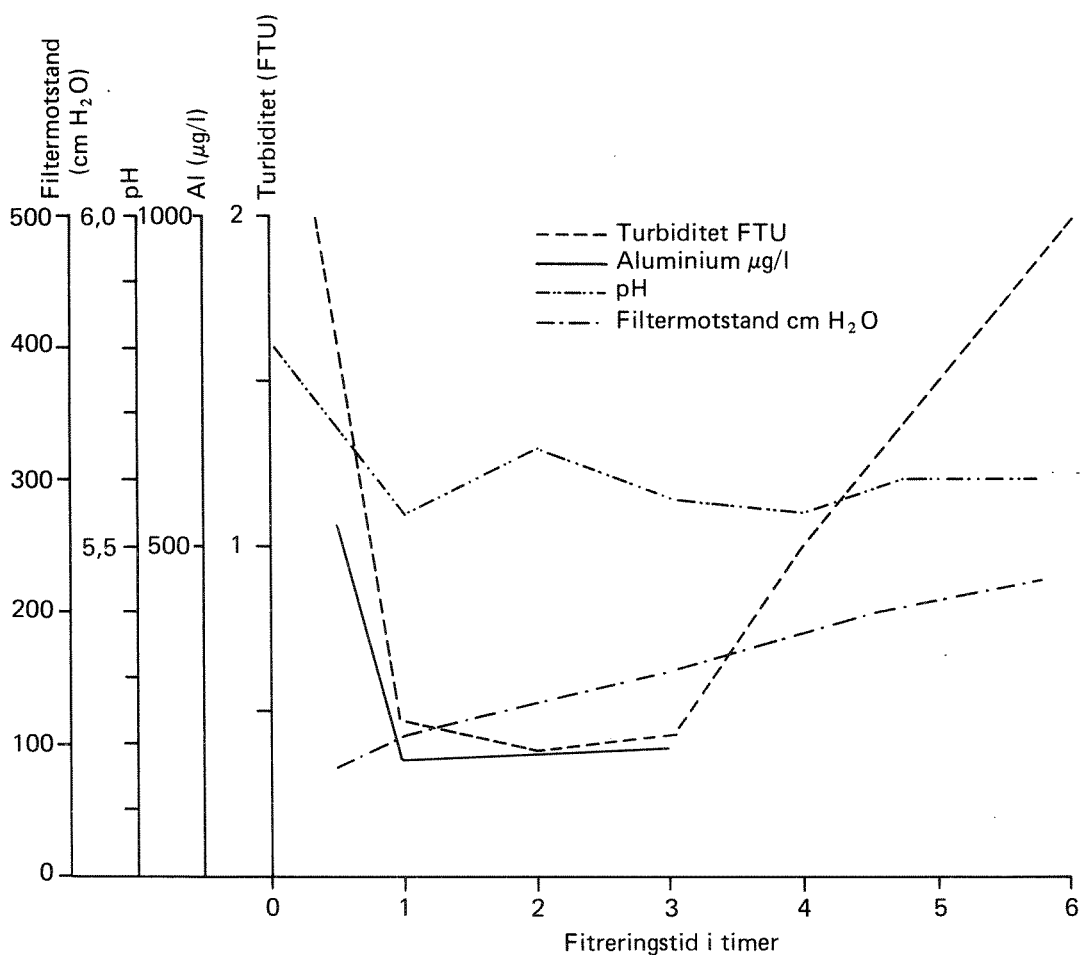
Undersøkelsen ble gjort etter at pilotforsøkene som er beskrevet i punkt 5.2 og 5.3 var utført. Anlegget ble kjørt med optimal ALS-dose, 35 mg/l, og optimal pH, dvs. 5,6-5,7. Magnafloc LT20 ble tilsatt i en dose av 0,1 mg/l. Doseringen ble gjennomført midlertidig ved at tilsatsen foregikk gjennom rørene for avlufting av filtrene, dvs. umiddelbart før vannet kommer inn på filtertoppene. Polymeren ble løst opp i tanken for lut til alkalisering. Alkalisering ble derfor ikke utført under perioden med hjelpekoagulant.



Figur 8. Frogn vannverk 29. mars 1985.  
Filtrert vann.



Filtreringsforløpet er vist i figur 9. Turbiditeten er høy i begynnelsen av filtersyklusen (modningsperioden), men synker etter 1 time til et nivå som er nær SIFFs krav på 0,3 FTU. Etter 3 timer begynner turbiditeten igjen å stige mot 2 FTU. I den beste perioden, fra 1 til 3 timer etter filterstart, varierte aluminiumsinnholdet fra 352 til 385  $\mu\text{g}/\text{l}$  mens SIFFs krav er 100  $\mu\text{g}/\text{l}$ . pH var langt mer stabil enn ved de innledende undersøkelsene (figur 1 og 2). Årsaken var dels at filtrene ikke ble tilbakevasket med basisk vann, dels at anlegget gikk uten pauser under prøvetakingsperioden.

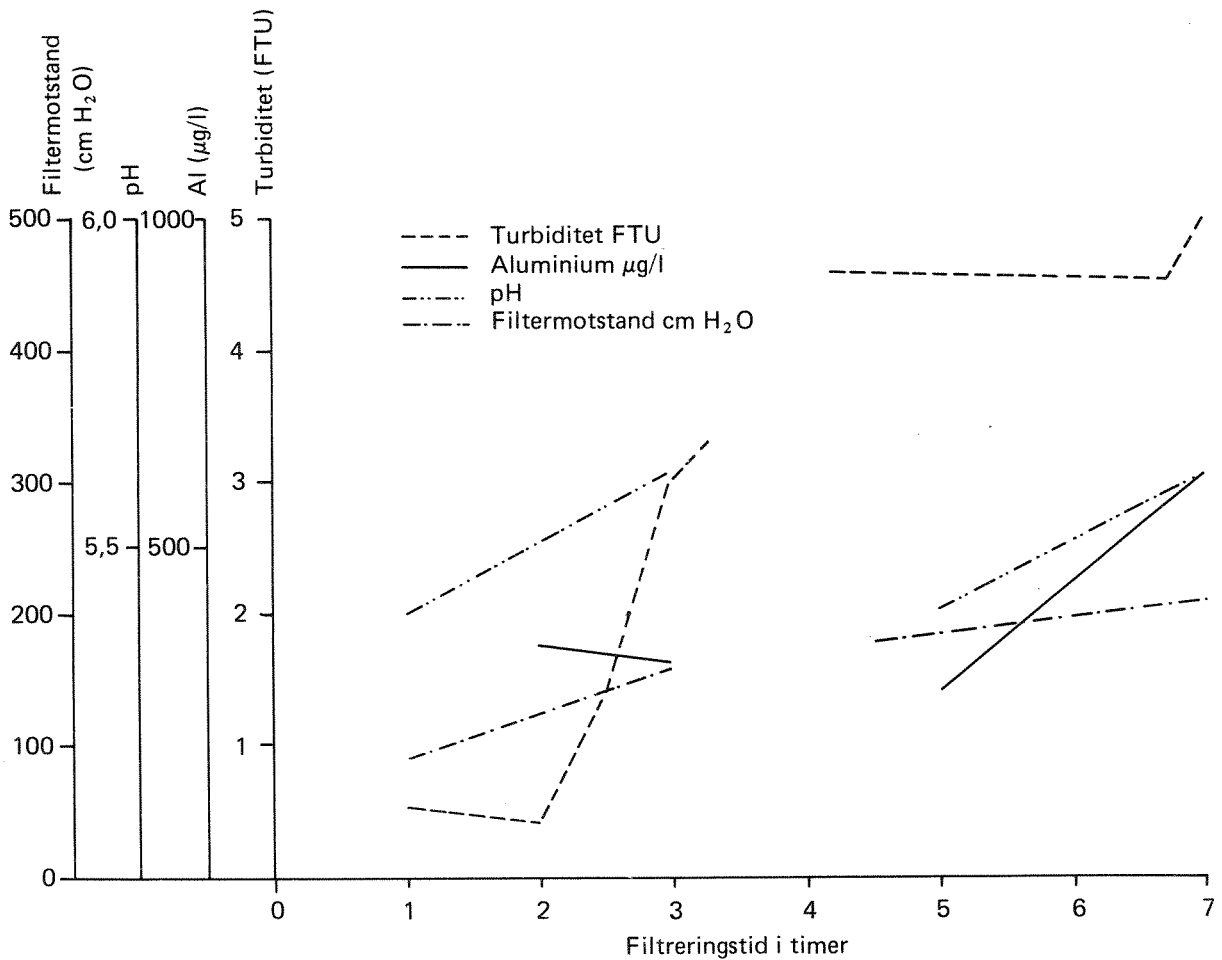


Figur 9. Frogn vannverk 23. april 1985.

### 6.3 Undersøkelse 13. mai 1985

Hensikten med undersøkelsen 13. mai 1985 var å klarlegge om renseanlegget ville gi akseptabel vannkvalitet med dosering av 30 mg ALS/l over lengre tid enn med 35 mg ALS/l.

Ved ankomsten hadde anlegget vært i drift 1 time etter filterspyling. ALS-dosen var satt ned til 30 mg/l, ellers var betingelsene de samme som ved undersøkelsen 23. april 1985. Resultatene er vist i figur 10. Også ved dette forsøket var det en periode med relativt lav turbiditet i begynnelsen, men denne var åpenbart kortere enn ved den forrige undersøkelsen (punkt 6.2). Deretter steg turbiditeten til 5-6 FTU, dvs. høyere enn ved forsøket 23. april 1985. Anlegget hadde en pause på 1 time midt i undersøkelsesperioden. Aluminiumsinnholdet varierte fra 325-355 µg/l for første del av perioden, etter pausen steg Al-innholdet til 570 µg/l.



Figur 10. Frogn vannverk 13. mai 1985.  
Filtrert vann.

## 7. SAMMENFATNING - DISKUSJON

Undersøkelsene i vannverket har vist at kvaliteten på rensset vann har vært varierende, men har ikke på noe tidspunkt fullt ut tilfredsstillt SIFFs krav til turbiditet og aluminiumsinnhold, som er de viktigste parametrene for å bedømme renseseffekten. Årsaken til disse ulempene skyldes i stor grad at filteranlegget på Heer ikke virker tilfredsstillende. Ved rensesprosessen tilsettes aluminiumsulfat (ALS) til vannet og det dannes små fnokker av aluminiumshydroksyd. Disse fnokker binder humuskolloidene som gir råvannet den høye fargen og det høye innholdet av organisk stoff. Slamfnokkene skal holdes tilbake i filtrene over en viss periode inntil disse ikke kan lagre mer slam og man får gjennombrudd. Filtrene må da renses ved tilbakespylling. I rensaneanlegget på Heer har imidlertid et delvis gjennomslipp av slam funnet sted under hele filterperioden, lite i begynnelsen og noe sterkere mot slutten. I tillegg vil en del løst aluminium passere filteret på grunn av varierende pH-verdier. Det høye aluminiumsinnholdet forårsaker etterutfelling på nettet slik at det dannes ansamlinger av brunfarget slam særlig i ledninger med liten gjennomstrømning. Dette bidrar til at forbrukerne periodevis får vann med høy farge og høy turbiditet, dessuten hele tiden med for høyt aluminiumsinnhold.

Rensesprosessen har vært undersøkt på NIVA med laboratoriefellingsforsøk med råvann fra Frogn vannverk. Forsøkene har blitt utført med jar-test og i et pilotanlegg for direktefiltrering. Pilotanleggets filter har hatt samme oppbygging som på Heer, men i motsetning til vannverket ble det benyttet flokkulering med 2 minutters oppholdstid før filteret. Laboratorieforsøkene har tatt sikte på å finne de optimale fellingsbetingelsene, noe som er viktig ved direktefiltrering. Med en flokkuleringsperiode på 2 minutter var optimal fellings-pH 5,6-5,7 og optimal ALS-dose 35 mg/l. Med belastning 14 m/time, slik som i vannverket, ga pilotanlegget vann med tilfredsstillende turbiditet (0,25 FTU) i ca. 3 timer. Ved samtidig å tilsette 0,1 mg/l av polymeren Magnafloc LT20 i kolonneinnløpet ga pilotanlegget vann med ennå lavere turbiditet (0,11 FTU), restaluminium 100 µg/l og farge 5-7 °H, dvs. over 90% fargereduksjon over minst 6,5 timer. Dette er av samme kvalitet som oppnås med norske humusholdige vanntyper i konvensjonelle fullrensaneanlegg.

Flokkuleringsbetingelsene ved pilotforsøkene har ikke vært optimalisert. Det kan derfor tenkes at en annen omrøringsintensitet

(G-verdi) og oppholdstid samt en mer effektiv røreinnetning kanskje hadde gitt ennå gunstigere resultater.

Etterprøvingen i vannverket av de optimale fellingsbetinelsene som ble funnet ved laboratorieforsøkene ga tilsynelatende ifølge figur 9 en tilnærmet akseptabel vannkvalitet i første fase av filterperioden. Hvis denne relativt gunstige perioden kan utnyttes mest mulig ved at driftstiden på filterne reduseres, bør vannkvaliteten totalt sett kunne forbedres noe. Det vil imidlertid være avhengig av om filternes driftstider kan reduseres uten at det går ut over vannproduksjonen, dels fordi hyppigere returspylinger reduserer kapasiteten, dels fordi den utnyttbare magasineringskapasiteten er begrenset.

Ut fra de utførte undersøkelsene er det vanskelig å trekke noen entydig konklusjon om hvorfor renseanlegget på Heer ikke funksjonerer tilfredsstillende, mens pilotanlegget har gitt akseptabel vannkvalitet. Det er imidlertid nærliggende å tro at årsaken kan ligge i hurtigmixingen og flokkuleringstrinnet. Hurtigmixeren består av en statisk mixer montert på tilførselsledningen hvor ALS tilsettes. Før filterne skjer flokkuleringen i ledningen etter den statiske mixeren, men oppholdstiden her er bare ca. 5 sekunder, mens det i litteraturen er anbefalt flokkuleringstider på fra 2-10 minutter ved direktefiltrering med ALS og polymer som filterhjelp. (Eikebrokk (1982), McCormick og King (1982), Culp (1977), Treweek (1979), Moncsvitz et al. (1978), Hutchison og Foley (1974)). Pilotforsøket som er omtalt under pkt. 5.4 viste også at renseeffekten ble dårligere når flokkuleringen ble sløffet. Et annet forhold som kan nevnes er at hastigheten i ledningen etter den statiske mixeren er fra 90-180 cm/s. Dette er klart høyere enn i pilotanlegget og andre omtalte anlegg, og kan muligens ha en negativ effekt på fnokkdannelsen.

Forholdene vedrørende hurtigmixingen og flokkuleringstrinnet og dermed fnokkoppbygningen i anlegget på Heer kan være av avgjørende betydning for renseeffekten og driftstiden og bør derfor undersøkes nærmere. Optimal oppholdstid ved flokkulering, flokkulerings-system, og intensitet ved flokkulering (G-verdi) bør studeres nærmere ved pilotforsøk i vannverket. Videre bør det klarlegges hvilken maksimal hastighet vannet kan ha i ledningen mellom hurtigmixing og filter uten at fnokkene ødelegges.

Det er påvist for store svingninger i pH når anlegget er i drift. Det er imidlertid viktig at pH holdes stabilt i området 5,6-5,7 ved felling. Tilbakespyling med ikke alkalisert vann og kontinuerlig drift av anlegget vil kunne redusere svingningene.

## 8. KONKLUSJON

1. Innledende undersøkelser har vist at renseanlegget på Heer som er et direktefiltreringsanlegg ikke leverte vann med akseptabel kvalitet. Det rensede vannets turbiditet, farge og aluminiumsinnhold var høyere enn SIFFs krav.
2. De optimale fellingsbetingelsene for råvann fra Frogn vannverk er funnet ved laboratoriefellingsforsøk (jar-test) og prøvet i et pilotanlegg for direktefiltrering. Tilfredsstillende vannkvalitet ble oppnådd over en sammenhengende filterperiode på minst 6,5 timer.
3. Etterprøving av de optimale fellingsbetingelser i vannverket ga en tilnærmet akseptabel vannkvalitet i en periode av ca. 2 timers varighet i begynnelsen av filterperioden. Hvis driftstiden på filtrene kan reduseres, bør anlegget kunne levere vann med noe bedre kvalitet enn det som har vært vanlig til nå.
4. Den viktigste årsaken til at renseanlegget ikke fungerer tilfredsstillende antas å ha sammenheng med at fnokkoppbyggingen før filtrene er noe for dårlig. Denne er av meget kort varighet, dessuten er hastighetsgradienten høy. Dette forårsaker trolig at dannelsen av filtrerbare fnokker reduseres.
5. Det bør utføres pilot-forsøk i vannverket for å klarlegge hvilken grad av hurtigmixing og flokkulering som må til for at renseanlegget skal kunne fungere optimalt både med hensyn til vannkvalitet og varigheten av filtersyklusen.
6. pH ved fellingen i anlegget må stabiliseres.

## 9. LITTERATURHENVISNINGER

- AWWA Committee Report: "Organics removal by coagulation: A review and research needs" Journal of AWWA, October 1979.
- Bowen, R.: "Direct filtration studies at Traverse City water treatment plant". Water Eng. & Management, July 1981.
- Culp, R.L.: "Direct filtration". Journal of AWWA, July 1977.
- Eikebrokk, B.: "Koagulering/direktefiltrering for fjerning av humus fra drikkevann". Avhandling for graden doktor ingeniør ved Norges Tekniske Høgskole 1982.
- Eikebrokk, B.: "Oppstrøms direktefiltrering for fjerning av humus i drikkevann". Prosjektrapport 6/84. NTNf Program for VAR-teknikk 1984.
- Gadkari, S.K. et al.: "Studies of direct filtration of raw water". Indian J. Environ. Hlth, Vol. 22, No. 1, 1980.
- Hutchison, W. and Foly, P.D.: "Operational and Experimental Results of Direct Filtration", Journal of AWWA, February 1974.
- McCormick, R.F. and King, P.H.: "Factors that affect use of direct filtration in treating surface waters", Journal AWWA, May 1982.
- Monscivitz, J.T. et al.: "Some practical experience in direct filtration". Journal of AWWA. October 1978.
- SIFF: "Kvalitetskrav til vann". Utgitt av Sosialdepartementet, Helsedirektoratet ved Sanitær-kjemisk avdeling, Statens institutt for folkehelse, 1976.
- Treweek, P.T.: "Optimization of Flocculation Time Prior to Direct Filtration". Journal of AWWA. February 1979.
- Vråle, L.: "Prosesstekniske undersøkelser av renseprosessen ved Frogvannverk og forslag til løsninger". Norsk institutt for vannforskning, O-85211, 18. februar 1985.
- Westerhoff, G.P. et al.: "Plant-Scale Comparison of Direct Filtration Versus Conventional Treatment of a Lake Erie Water". Journal of AWWA, March 1980.

A P P E N D I K S

# FOLLO KJØTT- OG NÆRINGSMIDDELKONTROLL

ENEBAKK · FROGN · NESODDEN · OPPEGÅRD · SKI · ÅS  
Storgt. 18, Postboks 67, 1441 Drøbak  
Telefon 93 14 84

Norsk institutt for vann-  
forskning,  
v/Lasse Berglind,  
Postboks 333 Blindern,  
0314 OSLO 3.

NORSK INSTITUTT FOR VANNEFORSKNING	
J.nr.:	384/85
Sak nr.:	
Mottatt:	31.1

Drøbak, 30. januar 1985.

J.nr. 209/85  
Ark. nr. 630 F

OF/TB

ANALYSER AV VANNPRØVER FRA FROGN VANNVERK TATT UT 21. og 22.  
JANUAR 1985.

Vedlagt følger resultater av de analyser vi har foretatt av vann-  
prøver fra Frogn vannverk.

Vennlig hilsen

  
Odd Fleisje

Vedlegg.



FOUO E VATT OG NERINGSSTOFF I VANNPRØVER FRA FROGN VANNVERK TATT UT 21. JANUAR 1985.  
 Leiddik-irggt-Noskubn-ir-gubn-ir-g

n.nr.	Prøvens art	pH	Fargetall mg Pt/l	Turbiditet FTU	Spes.ledn.evne 25°C µS/cm	Kalium- permanganat- tall. mg KMnO <sub>4</sub> /l	Jern Mg Fe/l	Mangan mg Mn/l	Aluminium Mg Al/l	Sulfat mg SO <sub>4</sub> /l
210	Råvann uten lut	6,58	65	0,90	86	51	0,33	0,10	0,065	14
211	Prosessvann (Råvann + lut + Al dos.)Før filter kl. 13.15	5,22	90	20	99	50	0,34	0,10	2,95	25
212	Behandlet vann 3 kl. 12.30	10,00	50	0,65					1,38	
213	Filtret vann 1 (etter 5 min.) kl. 13.15.	7,21	220	6,3					1,86	
214	Filtret vann kl. 14.15.	5,99	20	2,0					0,41	
215	Renvann 1 (etter 5 min.) kl. 13.15.	10,51	220	1,8					1,76	
216	Renvann kl. 14.35.	10,10	20	0,27					0,46	
217	Prosessvann kl. 17.00.	6,50	90	2,2					1,01	
218	Prosessvann kl. 17.15	5,56	100	19					2,83	
219	Prosessvann kl. 17.30	5,21	90	18					2,89	
220	Prosessvann kl. 17.45	5,43	100	18					3,00	
221	Prosessvann kl. 18.00	5,46	100	20					2,78	
222	Filtret vann kl. 17.00	5,86	20	2,6					0,51	
223	Filtret vann kl. 17.15	5,68	20	2,0	100	21	0,037	0,081	0,50	
224	Filtret vann kl. 17.30	5,64	20	2,0					0,55	
225	Filtret vann kl. 17.45	5,73	15	2,1	101	21	0,048	0,082	0,51	
226	Filtret vann kl. 18.00	5,72	20	3,2					0,59	

FOU- OG NEDINGSVANNKONTROLL

Enteleggelse av vannprøver fra Frogn vannverk tatt ut 21. januar 1985.

nr.	Prøvens art	pH	Fargetall mg Pt/l	Turbiditet FTU	Spes. ledn. evne 25°C µS/cm	Kalium- permanganat- tall. mg $\text{KMnO}_4$ /l	Jern Mg Fe/l	Mangan mg Mn/l	Aluminium Mg Al/l	Sulfat mg $\text{SO}_4$ /l
227	Renvann kl. 17.00	7,54	15	0,58					0,45	
228	Renvann kl. 17.15	7,51	15	0,56	128	21	0,032	0,081	0,53	
229	Renvann kl. 17.30	10,57	25	0,22					0,56	
230	Renvann kl. 17.45	10,46	25	0,26	216	22	0,043	0,11	0,68	
231	Renvann kl. 18.00	10,51	25	0,27					0,67	

Landbruks- og Næringsmiddelkontrollen VANNPRØVER FRA FROGN VANNVERK TATT UT 22. JANUAR 1985.

.nr.	Prøvens art	pH	Fargetall mg Pt/l	Turbiditet FTU	Spes. ledn. evne 25°C µS/cm	Kalium- permanganat- tall. mg KMnO <sub>4</sub> /l	Jern Mg Fe/l	Mangan mg Mn/l	Aluminium Mg Al/l	Sulfat mg SO <sub>4</sub> /l
32	Prosessvann kl. 9,50.	6,67	80	5,0					1,50	
33	Prosessvann kl. 10,05	5,24	120	18					3,05	
34	Prosessvann kl. 10,20	5,24	90	18					4,00	
35	Prosessvann kl. 10,35	5,80	100	14					2,35	
36	Prosessvann kl. 10,50	5,87	100	15					2,35	
37	Filtret vann kl. 9,50	5,59	125	28	103	56	0,42	0,11	3,28	
38	Filtret vann kl. 10,05	5,53	55	11	101	29	0,13	0,087	1,30	
39	Filtret vann kl. 10,20	5,51	50	11					1,34	
40	Filtret vann kl. 10,35	5,53	60	12					1,26	
41	Filtret vann kl. 10,50	5,64	60	11					1,33	
42	Renset vann kl. 9,50	8,42	70	2,5	144	40	0,29	0,16	2,28	
43	Renset vann kl. 10,05	10,32	45	0,63	208	29	0,13	0,087	1,26	
44	Renset vann kl. 10,20	10,52	50	0,60					1,60	
45	Renset vann kl. 10,35	9,66	45	0,68					1,43	
46	Renset vann kl. 10,50	9,66	50	0,66					1,63	