NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING
BLINDERN

O - 31

Undersøkelse av slamdannelsestendens i Bærum vannverks ledningsnett fra Aurevatn og Østernvatn

Perioden mars 1969 - februar 1970

Saksbehandler: Siv.ing. Kari Ormerod
Medarbeider: Meieritekn. Harry Efraimsen
Rapporten avsluttet i april 1970.

INNHOLDSFORTEGNELSE:

SIDE:

1. INNLEDNING 5

2. FORSØKSBETINGELSER 8

2.1 Prøvesteder 8

2.2 Analysemetoder 9

3. RESULTATER 11

3.1 Vannets innhold av frafiltrerbart stoff 11

3.2 Vannets innhold av frafiltrerbart jern 13

3.3 Vannets innhold av frafiltrerbart mangan 15

3.4 Kimtalls- og klorrest-resultatene 23

3.5 Resultatene fra målingene av pH og farge 24

4. DISKUSJON AV RESULTATENE 25

4.1 Østernvatn-nettet 25

4.2 Aurevatn-nettet 27

4.3 Materialbalanse for ledningsnettene i undersøkelses-perioden 31

5. KONKLUSJON 41

6. ENGLISH SUMMARY 44

6.1 Introduction and methods 44

6.2 Results 45

6.21 Plate counts and residual chlorine 45

6.22 Measurements of pH-value and colour 46

6.23 Filterable material 47

6.3 Conclusion 50

7. LITTERATUR 51

TABELLFORTEGNELSE:

		SIDE:
1.	Analysedata fra bestemmelse av mengde og sammensetning av frafiltrerbart stoff i vannet i Aurevatn-nettet	Se bilag
2.	Analysedata fra bestemmelsen av mengde og sammensetning av frafiltrerbart stoff i vannet i Østernvatn-nettet	"
3.	pH-analyser	"
4.	Farge-analyser	"
5.	Klorrest-analyser	"
6.	Kimtalls-analyser	"
7.	Vannets innhold av frafiltrerbart tørrstoff	"
8.	Vannets innhold av partikulært jern	"
9.	Vannets innhold av partikulært mangan	"
10.	Forholdet Mn/Fe i frafiltrerbart tørrstoff	"
11.	Gløderest i frafiltrerbart tørrstoff	"
12.	Jern i frafiltrerbart tørrstoff	"
13.	Mangan i frafiltrerbart tørrstoff	"
14.	Vannets filtrerbarhet	"
15.	Frafiltrerbart tørrstoff (mg/m^3) Aurevatn-nettet i flere sommer - høst-perioder	30
16.	Gjennomsnittsverdier for Østernvatn-nettet i undersøkelsesperioden	31
17.	Gjennomsnittsverdier for Aurevatn-nettet i undersøkelsesperioden	32
18.	Økning i frafiltrerbart tørrstoff	33
19.	Mengde og sammensetning av frafiltrerbart tørrstoff	34
20.	Mengde og sammensetning av total-tørrstoff for Aurevatn-nettet	39

FIGURFORTEGNELSE:

SIDE:

1. Aurevatn-nettet. Vannets innhold av bakterier og frafiltrerbart tørrstoff 17

2. Aurevatn-nettet. Vannets innhold av frafiltrerbart jern og mangan 18

3. Østernvatn-nettet. Vannets innhold av bakterier og frafiltrerbart tørrstoff, inkludert jern og mangan 19

4. Aurevatn-nettet. Det frafiltrerbare tørrstoffs innhold av jern og mangan 20

5. Østernvatn-nettet. Det frafiltrerbare tørrstoffs innhold av jern og mangan 21

6. Nedbør og vannvolum i Trehørningsvassdraget i 1969, samt råvannstemperatur, Aurevatn 22

7. Materialbalanse for Aurevatn-nettet 35

1. INNLEDNING

Når vannet i et ledningsnett for drikkevann blir slamførende, kan forskjellige forhold ligge til grunn for dette. I tilfeller der råvannet bare blir grovsilt og tilsatt klor før det går inn i ledningsnettet, vil vannkvaliteten være svært avhengig av råvannskvaliteten. Partikler som er små nok til å passere grovsilene, kan være store nok til å være synlige i vannet. Jern og mangan i oppløsning, f.eks. i surstoff-fattig grunnvann eller ved bunnen av innsjøer, vil ved kontakt med oksygen oksyderes til uløselige forbindelser som felles ut i vannet. Hvis partikler i vannet sedimenterer i ledningsnettet, kan det bli dannet et slamteppe på bunnen av ledningene, og dette kan bli hvirvlet opp ved plutselige forandringer i strømningsforholdene i rørene.

Partikler fra vannet kan også adsorberes på rørveggenes innside. Det er spesielt manganoksyd som danner slike adsorberte belegg. Ifølge undersøkelser foretatt av NIVA (Kristiansen 1 og 2) dannes slike belegg fortrinnsvis i rør av jern og stål, mens det fra samme vannkilde i betongrør dannes belegg med en helt annen sammensetning. Noen eksempler fra de nevnte undersøkelser: Belegg fra jernrør viste seg å ha en gløderest på 70%, og gløderesten et Fe_2O_3- og MnO_2-innhold på henholdsvis 30 og 65%. Belegg fra betongrør med samme vanntype hadde bare 45% gløderest, og denne gløderesten et innhold på 65% Fe_2O_3 og 8% MnO_2.

Når MnO_2 på denne måten adsorberes til rørveggene, vil vannet vise avtakende innhold av partikulært mangan nedover i ledningsnettet. Adsorbert manganbelegg av denne type sitter godt fast på rørveggene, slik at det sjelden rives løs og forårsaker slamførende vann. Det kan imidlertid forårsake en vesentlig reduksjon i rørenes leveringskapasitet.

De hittil nevnte belegg er dannet ved sedimentering eller adsorbsjon av allerede eksisterende partikler i vannet. Imidlertid kan også oppløste stoffer forårsake at det dannes belegg i rørene. Det er spesielt oppløste organiske stoffer som er årsaken til dette, og det er bare små mengder stoff som skal til. Derfor kan man få slikt belegg også i vann som har vært gjenstand for diverse former for rensning eller annen behandling. Årsaken er i slike tilfeller at en rekke vannbakterier kan vokse fastsittende på rørveggene, og benytte seg av næringsstoffer

som blir ført med vannet. Selv om konsentrasjonen av næringsstoffer i vannet er liten, kan mengden som passerer bakteriene pr. døgn være stor, og disse bakteriene er spesialister i å ta til seg næring under slike forhold. Mange av disse typer bakterier er også istand til å oksydere jern- og mangan-forbindelser, og feller ut store mengder jern- og eventuelt manganoksyd i belegget som etterhvert blir dannet. Som eksempel kan nevnes bakteriene *Crenothrix*, *Leptothrix* og *Hyphomicrobium*, som oksyderer jern og mangan, *Gallionella* som bare oksyderer jern, og f.eks. *Aerobacter*, som under nedbrytning av organiske mangan- og jernholdige stoffer kan frigjøre disse metallioner, som så blir oksydert og utfelt ad kjemisk vei.

Denne bakteriologiske begroing er voluminøs og danner et slimete belegg som igjen kan fange opp partikler fra vannet. I de aller fleste tilfeller er belegg på rørenes innside dannet ved en kombinasjon av bakteriebegroing med sedimentering og adsorbsjon av partikler fra råvannet. Når belegget blir tykt nok, får også andre, ikke fastsittende mikroorganismer gode levevilkår der, og det observeres ofte både bevegelige bakterier, flagellater, ciliater, nematoder, børsteormer og små krepsdyr i slikt belegg. Belegg av en slik type sitter ikke så godt festet til rørveggene som det før nevnte, adsorberte manganbelegg. Det løsrives derfor lett når det blir for tykt, eller når strømningsforholdene i rørene endres. Belegget fordeler seg da som partikler i vannmassene, og vannets innhold av levende bakteriekim vil også bli høyt.

Ved høye vanntemperaturer og oppholdstider på mer enn ett døgn kan det i vann med relativt høyt innhold av organisk stoff også være tilstrekkelig vekst av bakterier i de frie vannmasser til at det kan registreres som økning i kimtall og muligens også som økning i mengde frafiltrerbart stoff.

Hvis det viser seg at det frafiltrerbare stoff inneholder store mengder bakterier, er det nærliggende å tro at den primære årsak er bakterievekst på grunn av vannets innhold av oppløst, lett nedbrytbart, organisk stoff. Da må man enten fjerne stoffet, eller tilsette vannet et desinfeksjonsmiddel som forhindrer bakterievekst i nettet. Viser det seg at slammet inneholder lite bakterier, er det nærliggende å tro at hovedårsaken ligger i vannets innhold av partikulært stoff, og da må dette fjernes før vannet slippes ut i nettet.

Bærum vannverks Aurevatn-nett har hatt stadige utbrudd av slamførende vann, spesielt om sommeren. Undersøkelser har vist at slammet inneholder store mengder bakterievekst (ORMEROD, 3). Det er blitt forsøkt desinfisering med forskjellige desinfeksjonsmidler, og resultatene fra disse forsøk er delvis beskrevet i et NIVA-notat (ORMEROD, 4) og delvis under utarbeidelse til rapport (perioden august 1966 - februar 1969).

I perioden behandlet i sistnevnte rapport ble slammengden i nettet registrert ved å filtrere vann fra et sedimenteringskar med oppholdstid 10 timer, og vann direkte fra kran i instituttsjef Kjell Baalsruds hus i Dragveien, Blommenholm. Det viste seg da at kun en meget liten del av det suspenderte stoff i vannet sedimenterte ut i løpet av vannets oppholdstid (10 timer) i slamsamleren. Slamsamleren gav imidlertid god registrering av tilstanden i ledningsnettet i perioden mellom hver prøvetaking, idet korte perioder med slam i ledningsvannet (rørbrudd, spyling, og andre årsaker) gav markert utslag. Prøvene direkte fra kranen gir bare opplysninger om vannmassene på stedet i det øyeblikk prøven blir tatt. Resultatene viste imidlertid at slike prøver kunne gi opplysninger om langtidsvariasjonene i ledningsnettet, selv om de enkelte data måtte tilskrives øyeblikkstilstander. Det var derfor nærliggende å forsøke om man med en slik enkel metode kunne påvise en økning av slammengden nedover i ledningsnettet.

Det ble derfor foreslått for overingeniør Kjell Thomassen ved Bærum vannverk at vi skulle prøve å registrere en eventuell slamdannelse i nettet ved å filtrere vann fra Jordbærhaugen, Sandvika og Fornebu i en periode av ett år. Dette ble godkjent. NIVA var også interessert i å undersøke metodens generelle anvendbarhet, samt å sammenlikne resultatene for Aurevatn-nettet med et ledningsnett med liknende vanntype der vannet ikke ble ozonert. Vi besluttet derfor i tillegg å filtrere vann fra Østernvatn-nettet i Bærum. Dette prosjekt ble bekostet av NIVA, og ble belastet forskningsprosjekt M-16/69. Alle data er imidlertid behandlet og presentert sammen med data for Aurevatn-nettet i denne rapport.

De ukentlige registreringer av vannets innhold av levende, heterotrofe bakterier (kimtall), vannets farge, pH-verdi og eventuell klorrest ble også fortsatt i denne perioden, og resultatene er tatt med i denne rapport.

2. FORSØKSBETINGELSER

2.1 Prøvesteder

For registrering av slamdannelsen i de nevnte ledningsnett ble følgende prøvesteder valgt:

Aurevatn-nettet: Prøvested I var kran i kummen på Jordbærhaugen, og skulle representere vannmassene slik de kommer ut av Aurevatn-magasinet.

Prøvested II var i Rådhuset i Sandvika (kran i toalettrom) og skulle representere vannmassene i Vestre Bærums ledningsnett.

Prøvested III var på Fornebu flyplass (kran i toalettrom), og skulle representere vannmassene i Østre Bærum, dvs.: vann som har passert Kolsåsmagasinet.

Fra Østernvatn-nettet ble det valgt følgende to prøvesteder:

Prøvested I var kran i klorhuset ved begynnelsen av ledningsnettet, og skulle representere vannet slik det kom inn i ledningsnettet.

Prøvested II var kran i en forretning i kjøpesenteret på Eiksmarka (Th. Ihle-Hansen, jernvarer og kjøkkenutstyr), og skulle representere vannmassene hos forbrukerne på Eiksmarka.

For registrering av de øvrige parametre nevnt i innledningen, var følgende prøvesteder utvalgt:

Aurevatn-nettet:

Jordbærhaugen: Som nevnt under slamregistreringen.

Grinda: Kran i fordelingskum, etter fordeling mot Løken.

Sandvika (Løken-nettet): Som nevnt under slamregistreringen.

Ramstad skole (Løken-nettet): Kran på utsiden av bygningen.

Knabberud (Kolsås-nettet): Kran i kum ved utløpet fra Kolsås-magasinet.

Stabekk (Kolsås-nettet): Kran i stasjonsbygningen.

Fornebu (Kolsås-nettet): Som nevnt under slamregistreringen.

Østernvatn-nettet:

Eiksmarka: Som nevnt under slamregistreringen.

2.2 Analysemetoder

Kimtallsbestemmelsen ble utført etter NIVA's rutinemetode Kr-67: Innstøpning av et volum prøve i spesiell næringsagar, inkubering ved værelsestemperatur (18 - 22°C).

pH ble målt elektrometrisk ved 20°C.

Farge ble bestemt med fotoelektrisk kolorimeter (10 cm celler) som er kalibrert mot fargeoppløsninger i Hazens skala (platin-koboltklorid-løsning). Ved sammenlikning med fargemålinger utført ved Aurevatn renseanlegg, viste det seg at NIVA's verdier alltid lå vesentlig lavere. Forholdet ble undersøkt nærmere, og det viste seg at de ferdiglagede, konsentrerte standardoppløsningene av platin-koboltklorid som NIVA hadde benyttet i lengre tid gav resultater som ikke stemte overens med standarder laget etter opprinnelig oppskrift. Fra og med 19/1 1970 er fargen målt mot selv-lagede standardløsninger.

Klorrest ble målt som 20 minutters-avlesning (bundet og fri klor, kloraminer) etter o-tolidinmetoden, i B.D.H. Lovibond Nesslerizer apparatur.

Bestemmelse av mengde og sammensetning av suspendert stoff i vannet.
Ved hver prøvetaking ble det innsamlet ca. 10 l vann fra hvert prøvested, og vannet ble fraktet i 10 l plastflasker til laboratoriet. Til frafiltrering av suspendert stoff i vannet ble det benyttet Whatman GF/C glassfiberfiltre, som er standardfiltre for bestemmelse av suspendert stoff i vann. Til filtreringen ble det benyttet Millipore glass-filterholder, og vannstrålepumpe.

Filtrene var på forhånd vasket ved gjennomtrekking av minimum 100 ml destillert vann, deretter glødet ved 580 - 590°C i 30 minutter, avkjølt i eksikator og veid.

Det ble forsøkt filtrert ca. 10 l pr. prøve, og for hver prøve ble det benyttet tre filtre som ble veid under ett for å redusere veiefeilen til et minimum. Hvis filtrene ble tettet igjen før alt vannet var filtrert, ble dette notert. Det nøyaktige volum vann filtrert, ble alltid notert. Filtrene ble så tørket i 1 time ved 105°C, avkjølt i eksikator og veid som før nevnt. Differansen mellom de to nevnte veininger er vekten av det tørkede, frafiltrerte stoff, dvs. tørrstoffverdien.

Det var også av interesse å bestemme innholdet av gløderest, jern og mangan i det frafiltrerte stoff. Derfor ble filtrene glødet i 30 minutter ved 580 - 590 °C, avkjølt og veid - man fikk dermed gløderestverdien. På grunn av at filtrene ble tettet igjen av relativt lav vekt av frafiltrerbart stoff, ble gløderestverdiene så lave at de ofte lå i variasjonsområdet for vekten av ubenyttede, glødede filtre. Dette variasjonsområdet var vesentlig høyere enn tilsvarende for tørrstoffbestemmelsen, fordi glødetemperaturen for tørrstoffbestemmelsen ligger ca. 100°C høyere enn den anbefalte maksimumstemperatur for filtrene, 500°C. Ved temperaturer uvesentlig høyere enn 600°C smelter glassfibrene i filtrene slik at de blir ødelagt. Analysen må derfor utføres med den største påpasselighet.

Det er av denne grunn ikke tilrådelig å anse gløderestverdiene som sikre verdier, og bare de verdier som klart ligger over det vanlige variasjonsområdet for analysen er tatt med i denne rapport.

Gløding av filtrene var også nødvendig for å bestemme det frafiltrerte stoffs innhold av jern og mangan. Ved glødingen ved ca. 600°C forsvinner alt organisk stoff, jern oksyderes til Fe_2O_3 og mangan til MnO_2. Disse oksyder ble løst ut fra gløderesten ved å ekstrahere filtrene med varm, konsentrert HCl. Ekstraktet ble så dampet inn og HCl drevet av ved hjelp av overflatefordampere. Residuet ble løst igjen i 0,1 N HCl, volumet av denne løsning ble målt, og Fe- og Mn-innholdet i løsningen ble bestemt ved hjelp av Perkin-Elmer Atomabsorbsjonsspektrofotometer, modell 303.

3. RESULTATER

De forskjellige analysedata er vedlagt som tabeller i bilag til rapporten.

Tabell 1 viser analysedata for tørrstoff, gløderest, jern og mangan i Aurevatn-nettet, tabell 2 tilsvarende data for Østernvatn-nettet. Tabell 3 viser resultatene fra målingen av vannprøvenes pH-verdi og tabell 4 fargeanalyser. Tabell 5 gir resultatene fra klorrestmålingene og tabell 6 resultatene fra kimtallsanalysene.

Disse resultatene er behandlet videre og presentert i hoveddelen av rapporten, enten som figurer eller som tabeller. De opptrukne kurver i figurene må ikke anses som beskrivende for vannet ved de forskjellige prøvesteder i tiden mellom hver prøvetaking. De forskjellige punkter er knyttet sammen til kurver for å lette oversikten over langtidsvariasjonene av de forskjellige komponenter i vannet.

Kimtallsresultatene er av praktiske grunner ikke trukker opp som kurver, men som søyler over hver prøvetakingsdato på abscissen.

3.1 Vannets innhold av frafiltrerbart stoff

Tabell 7 og figurene 1 og 3 viser innholdet av frafiltrerbart stoff, målt som tørrstoff, i vann fra de to ledningsnett. Det viste seg at innholdet av frafiltrerbart stoff var nær det samme ved de tre prøvestedene på Aurevatn-nettet i mars og april måned, ca. 250 - 350 mg/m^3. Fra midten av mai måned begynte tørrstoffinnholdet å stige ved Jordbærhaugen, til en maksimalverdi på ca. 800 mg/m^3. Fra slutten av juni var tørrstoffinnholdet svært varierende her, og i slutten av juli - begynnelsen av august lå tørrstoffinnholdet allerede ved dette prøvested nær grensen for lett synlige partikler i vannet (800 - 1.125 mg/m^3). Ved prøvesteder i Sandvika viste tørrstoffinnholdet svært varierende verdier fra mai til august. Generelt var det økning i tørrstoff, og til sine tider var økningen svært stor (opp til 7.600 mg/m^3). Disse meget høye tørrstoffverdier kan ha vært resultatet av kortvarige perioder med mye slam i vannet, f.eks. på grunn av spyling eller støtvis løsrivning av slam fra belegg i rørene.

Data fra Fornebu i den samme perioden viste bare svak stigning i tørrstoffverdiene i mai måned, mens en meget betydelig økning fant sted i løpet av juni og juli (maksimum 3.100 mg/m^3). Denne økning var jevn og meget betydelig allerede før spyleperioden, slik de høye verdier her ikke alene kan skyldes økt mengde slam på grunn av spyling. Da ozonering og kalking av råvannet ble stoppet, og klorert råvann sluppet ut i ledningsnettet den 3/8 1969, kom det en jevn nedgang i tørrstoffmengden ved Fornebu. Sandvika viste en meget høy verdi dagen etter at råvann var sluppet ut i ledningsnettet, men på grunn av at dette falt sammen med spyleperioden er det vanskelig å trekke noen slutning om årsakssammenhengen. Også et par ganger senere på året viste dette prøvested slike kortvarige, meget store økninger i tørrstoff. Ved Jordbærhaugen viste vannet avtakende tørrstoffinnhold etter at råvann var sluppet ut i nettet. Det var en liten økning i begynnelsen av november, antakelig på grunn av fullsirkulasjon i Aurevatn. Fra midten av oktober til begynnelsen av januar lå Jordbærhaugen og Fornebu ganske likt, mens Sandvika viste noe høyere verdier. I januar økte verdiene for alle prøvestedene, men mest ved Jordbærhaugen (til 940 mg/m^3). Senere sank verdiene til de i slutten av februar lå nesten likt ved alle tre prøvesteder (500 - 650 mg/m^3).

På figur 1 er det trukket en horisontal linje ved 1.125 mg/m^3 for å markere en tilsynelatende grense for lett synlige partikler i vannet. Grensen er basert på egne observasjoner straks etter at prøven var tappet på flaskene. Observasjon av partikler som sedimenterer ut ved henstand, vil gi en langt lavere grense. Disse observasjoner viser at man i Sandvika og ved Fornebu sannsynligvis hadde lett synlige partikler i vannet i hele juli og august måned, og at Sandvika hadde mer sporadisk forekommende perioder med synlige partikler også senere på høsten.

Tørrstoffverdiene for Østernvatn-nettet viste ikke så store svingninger som Aurevatn-nettet (Fig. 3). Det fant også her sted en økning i tørrstoffinnhold i løpet av mai og juni (maks. 760 mg/m^3). Det er sannsynlig at tørrstofføkningen i begge ledningsnettene i denne perioden henger sammen med isløsningen, fullsirkulasjonen og den markerte økning av algepopulasjonen i innsjøene på forsommeren. Samtidig med denne økning i tørrstoff ble vannet mindre filtrerbart (tabell 14). Dette registreres

også for råvannet ved Aurevatn renseanlegg, da man hver vår hittil har hatt vanskeligheter med mikrosilingen av råvannet.

I Østernvatn-nettet avtok tørrstoffinnholdet litt fra juni til juli (til 400 - 500 mg/m^3), men så steg det igjen mot de samme verdier som i mai - juni. Fra slutten av august viste vannet ved Eiksmarka tydelig høyere verdier enn vannet ved klorhuset, og i månedsskiftet august - september var tørrstoffinnholdet ved Eiksmarka på grensen for lett synlige partikler i vannet (1.230 mg/m^3). Etter november måned avtok tørrstoffinnholdet ned til 450 mg/m^3, og forskjellen mellom de to prøvesteder ble mindre markert.

En sammenlikning mellom de to ledningsnett viser at tørrstoffinnholdet var nær det samme i perioden fra mars til slutten av juni, da Østernvatn-nettet som vanlig hadde klorert råvann, og Aurevatn-nettet som vanlig hadde mikrosilt, ozonert, kalket vann. Fra slutten av juni og frem til begynnelsen av august, før klorert råvann ble sendt inn i Aurevatn-nettet, viste sistnevnte ledningsnett en meget stor økning i tørrstoff, mens Østernvatn-nettets verdier varierte i samme område som før. I løpet av august måned (med råvann), sank verdiene for Aurevatn-nettet slik at de i begynnelsen av september lå på samme nivå som de nå økede verdier for Østernvatn-nettet. Fra desember måned varierte verdiene for begge ledningsnett igjen innen samme område, og viste avtakende tendens ned mot verdiene fra mars måned året før.

Det ble også tatt analyser av råvann og mikrosilt vann etter at mikrosilingen og ozoneringen var satt i full drift igjen ved Aurevatn i februar 1970. Tørrstoffverdiene viste seg å ligge i samme område som for vannet på Jordbærhaugen.

3.2 Vannets innhold av frafiltrerbart jern

Tabell 8 viser innholdet av jern i det frafiltrerbare stoff, uttrykt som mg Fe/m^3 vann. Disse data er også framstilt i kurveform på figurene 2 og 3.

De tre prøvesteder på Aurevatn-nettet viste ingen vesentlig forskjell i partikulært jern-innhold (35 - 70 mg Fe/m^3) før i en periode ved månedsskiftet mai - juni, da tørrstoffinnholdet også viste økning.

Figur 2 viser tydelig at økningen av partikulært jern var størst for vannet ved Jordbærhaugen (191 mg Fe/m^3) - den skrev seg derfor mest sannsynlig fra forholdene i råvannet. Sandvika viste i denne perioden litt økning i jern (96 mg Fe/m^3), mens Fornebu viste nær samme verdier som før. I slutten av juni begynte jerninnholdet igjen å øke, men nå var økningen størst for prøvestedene i Sandvika (maks. 770 mg Fe/m^3) og Fornebu (maks. 360 mg Fe/m^3). Dette tydet på at en vesentlig del av økningen foregikk i løpet av vannets oppholdstid i ledningsnettet. Da råvann ble sluppet inn i nettet, avtok vannets partikkelbundne jerninnhold, og bortsett fra periodisk høye verdier i Sandvika, lå alle tre prøvesteder resten av året på nær lik verdi - svakt avtakende mot verdiene for mars og april foregående år.

Figur 3 viser de tilsvarende kurver for Østernvatn-nettet. Fra midten av mars måned til midten av mai hadde begge prøvesteder nær samme verdi (45 - 70 mg Fe/m^3) - og disse lå i samme område som de tilsvarende analyser for Aurevatn-nettet. Fra begynnelsen av mai til begynnelsen av juni var det en rask og vesentlig økning ved begge prøvesteder. Prøvestedet ved Eiksmarka nådde imidlertid opp i de høyeste verdier i denne perioden (maks. 148 mg Fe/m^3), som så ut til å være slutt i midten av juni. I juli og august viste innkomstvannet (klorhuset) uregelmessige, og som oftest høyere, verdier enn vannet ved Eiksmarka, som viste avtakende verdier helt fram til midten av august. For innkomstvannet fortsatte jerninnholdet å avta helt til slutten av oktober. Ved Eiksmarka var det en markert økning fra midten av august til midten av oktober (maks. 120 mg Fe/m^3), da jerninnholdet igjen avtok ned mot verdiene for innkomstvannet (ca. 70 mg Fe/m^3). Deretter (fra begynnelsen av november) var det en jevn økning for begge prøvestedene, og etter fire uker nåddes et nytt maksimum, 135 mg Fe/m^3 for Eiksmarka og 100 mg Fe/m^3 for klorhuset.

En sammenlikning mellom innholdet av partikulært jern i Aurevatn-nettet og Østernvatn-nettet viste nær samme innehold for alle prøvestedene fra mars til midten av mai. I mai - juni-perioden med økt jerninnhold, kom innkomstvannet fra Aurevatn opp i høyere verdier enn det fra Østernvatn, men jerninnholdet ute i ledningsnettene var omtrent likt.

Jerninnholdet i innkomstvannet fra Østernvatn gikk tilbake etter denne nevnte perioden, mens det i vannet fra Aurevatn fortsatte å stige utover sommeren. Først i slutten av september var disse to vanntyper igjen nede på samme nivå. I juli og august var jerninnholdet meget høyere i Aurevatn-nettet enn i Østernvatn-nettet, men i september steg verdiene for Eiksmarka til samme nivå som for Fornebu og Sandvika. I oktober var verdiene nær like, men i november steg verdiene for Eiksmarka mens de andre holdt seg på samme nivå som i oktober. Fra januar måned var det liten forskjell mellom prøvene fra de to ledningsnett.

Prøvene av råvann, tatt i februar 1970, viste nær samme verdier for jern som de tilsvarende prøver fra Jordbærhaugen. Prøvene av mikrosilt vann viste i det ene tilfelle vesentlig lavere jernverdi enn råvann og vann fra Jordbærhaugen.

3.3 Vannets innhold av frafiltrerbart mangan

Data fra denne analyse er presentert i tabell 9 og på figurene 2 og 3. Fra mars til og med juni måned lå innholdet av partikulært mangan på samme nivå for begge ledningsnett, på verdier mellom 3 og 8 mg Mn/m^3 vann. I juli måned fant det sted en vesentlig økning i manganinnholdet fra Jordbærhaugen, og da innholdet holdt seg på dette nivå i nær to måneder etter at man gikk over til klorert råvann, antas økningen ved Jordbærhaugen å skyldes en økning i råvannets innhold av partikkelbundet mangan.

Allerede i slutten av juni kom det en markert økning i manganinnholdet i vannet på Fornebu, og det fortsatte å stige til det ved overgang til råvann lå på 170 mg Mn/m^3 vann. Vannet i Sandvika viste også økende verdier, men de varierte sterkt, med et maksimum - som også falt sammen med overgangen til råvann - på 413 mg Mn/m^3 vann.

Vannet i Østernvatn-nettet viste jevnt stigende verdier mot ca. 12 mg Mn/m^3 vann i begynnelsen av september. Eiksmarka viste i hele perioden svakt lavere verdier enn klorhuset. Etter en avtaking, med like verdier for begge prøvesteder ned mot 5 mg Mn/m^3 i midten av oktober, steg manganinnholdet igjen og holdt seg på verdier mellom 7 og 17 mg Mn/m^3 i resten av undersøkelsesperioden. Fra slutten av november lå Eiksmarka

imidlertid betydelig lavere i verdi enn klorhuset. I Aurevatn-nettet viste Sandvika og Fornebu litt lavere manganverdier enn Jordbærhaugen i 11 uker, mellom 3/3 og 13/5 1969. Da råvann ble sluppet direkte inn i Aurevatn-nettet, sank manganinnholdet i Sandvika øyeblikkelig til samme verdi som for Jordbærhaugen, og bortsett fra et par registrerte tilfeller, holdt den seg på denne nivå i resten av undersøkelsesperioden. På Fornebu kom det også en rask avtaking i løpet av de to første uker av august, og deretter en langsommere avtaking i manganinnholdet, til verdiene i midten av november var kommet ned til samme nivå som for de to andre prøvestedene, hvilket var det samme som for Østernvatn-nettet.

De to prøvene fra råvann og mikrosilt vann viste at det var en gradvis avtaking i manganinnhold fra råvann til mikrosilt og ozonert vann. Tidligere undersøkelser har også vist en liknende reduksjon i partikkelbundet mangan, spesielt ved ozoneringen av vannet.

Fig. 1 Aurevatn-nettet. Vannets innhold av bakterier og frafiltrerbart törrstoff

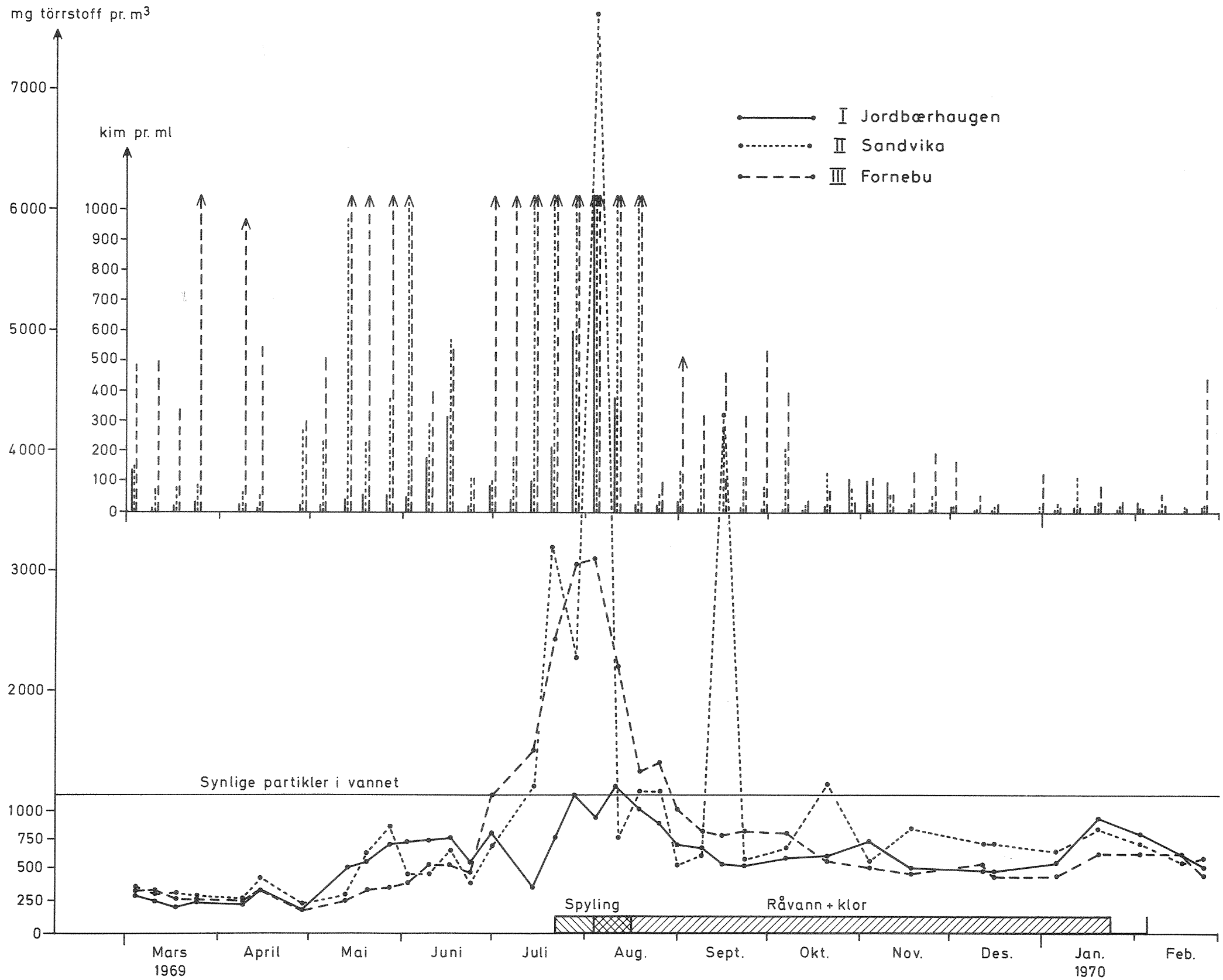


Fig. 2 Aurevatn-nettet. Vannets innhold av frafiltrerbart jern og mangan

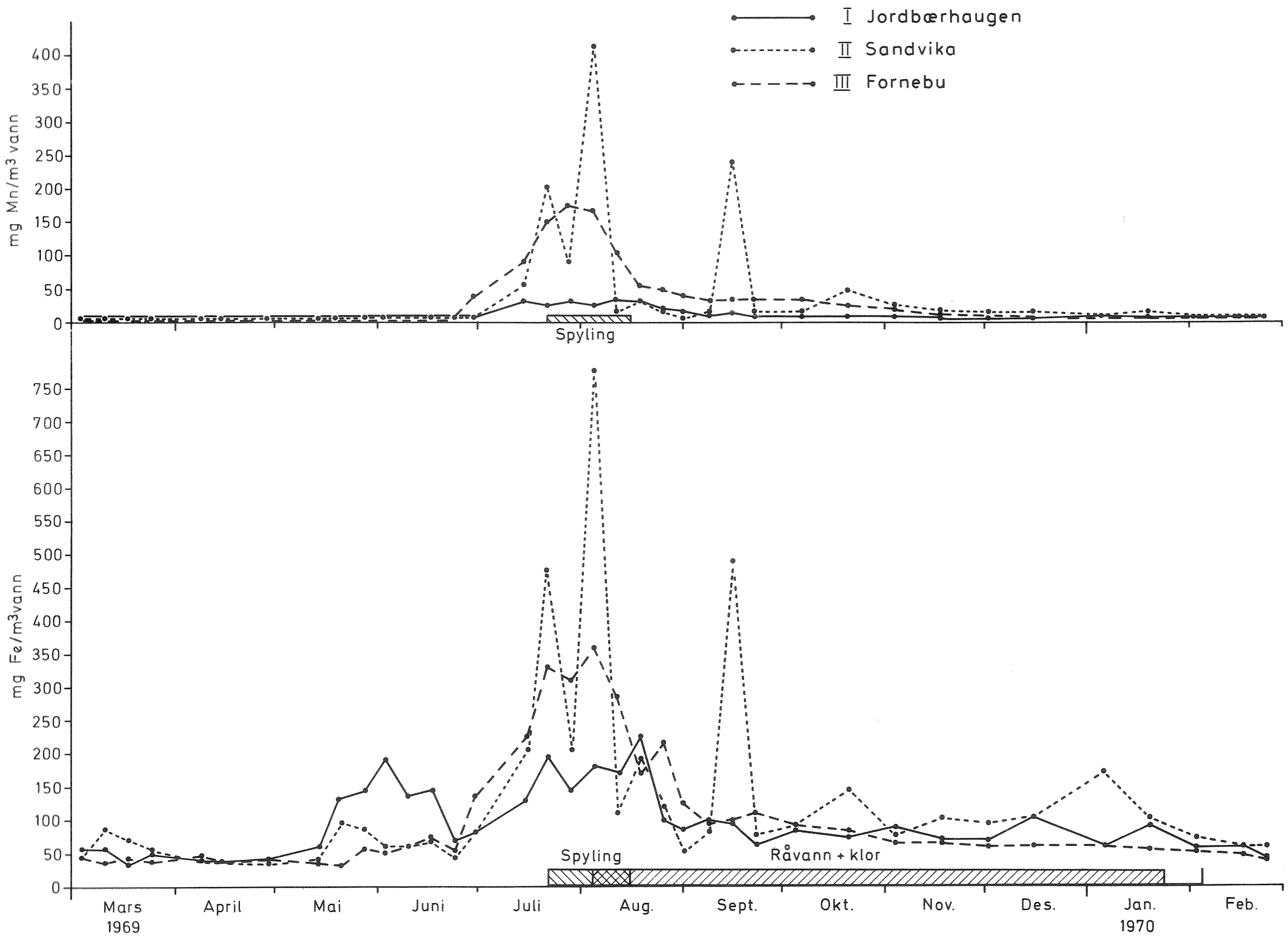


Fig. 3 Östernvatn-nettet. Vannets innhold av bakterier og frafiltrerbart törrstoff, inkludert jern og mangan

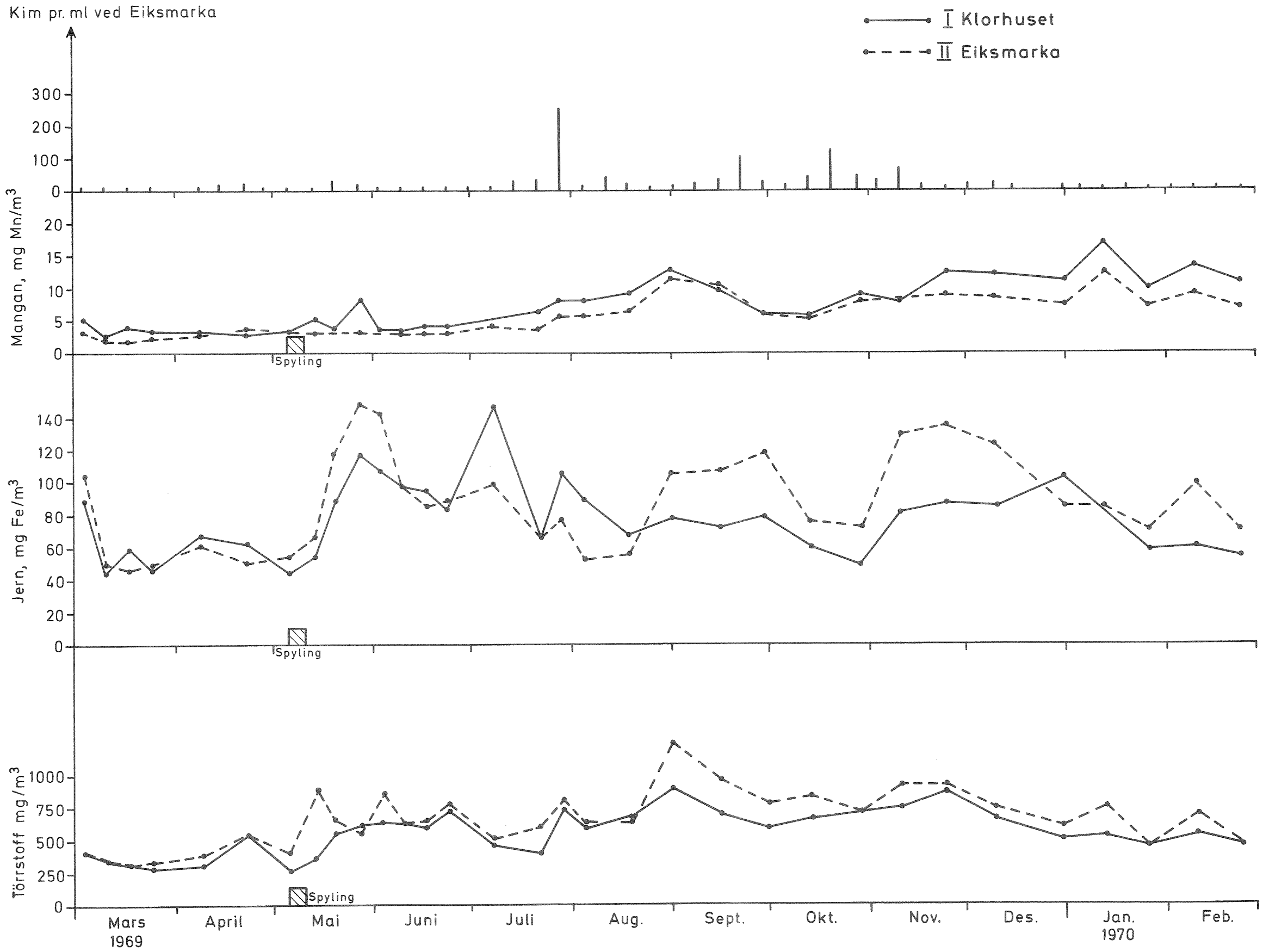


Fig.4 Aurevatn-nettet. Det frafiltrerbare törrstoffs innhold av jern og mangan

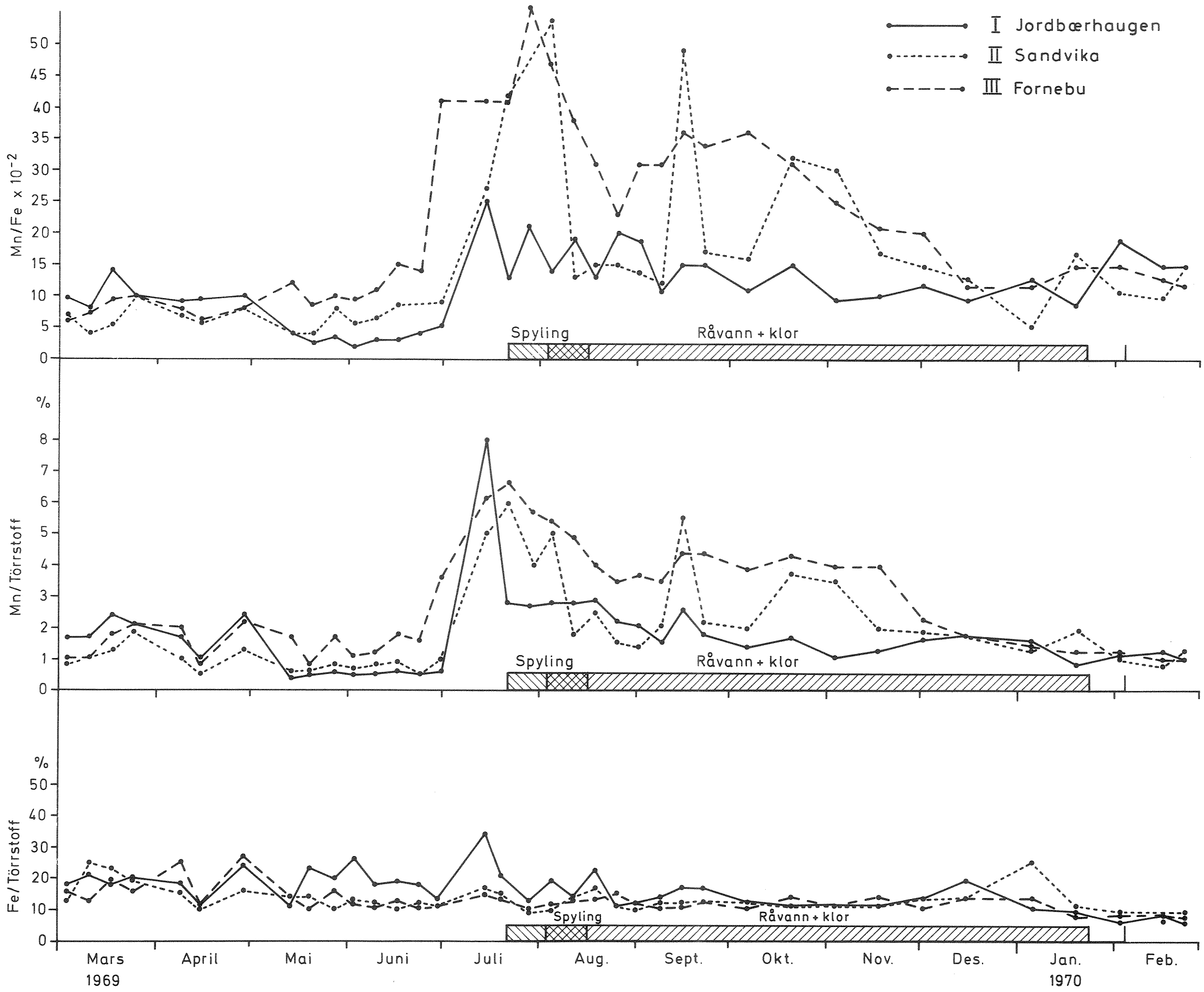


Fig. 5 Österns vatn-nettet. Det frafiltrerbare törrstoffs innhold av jern og mangan

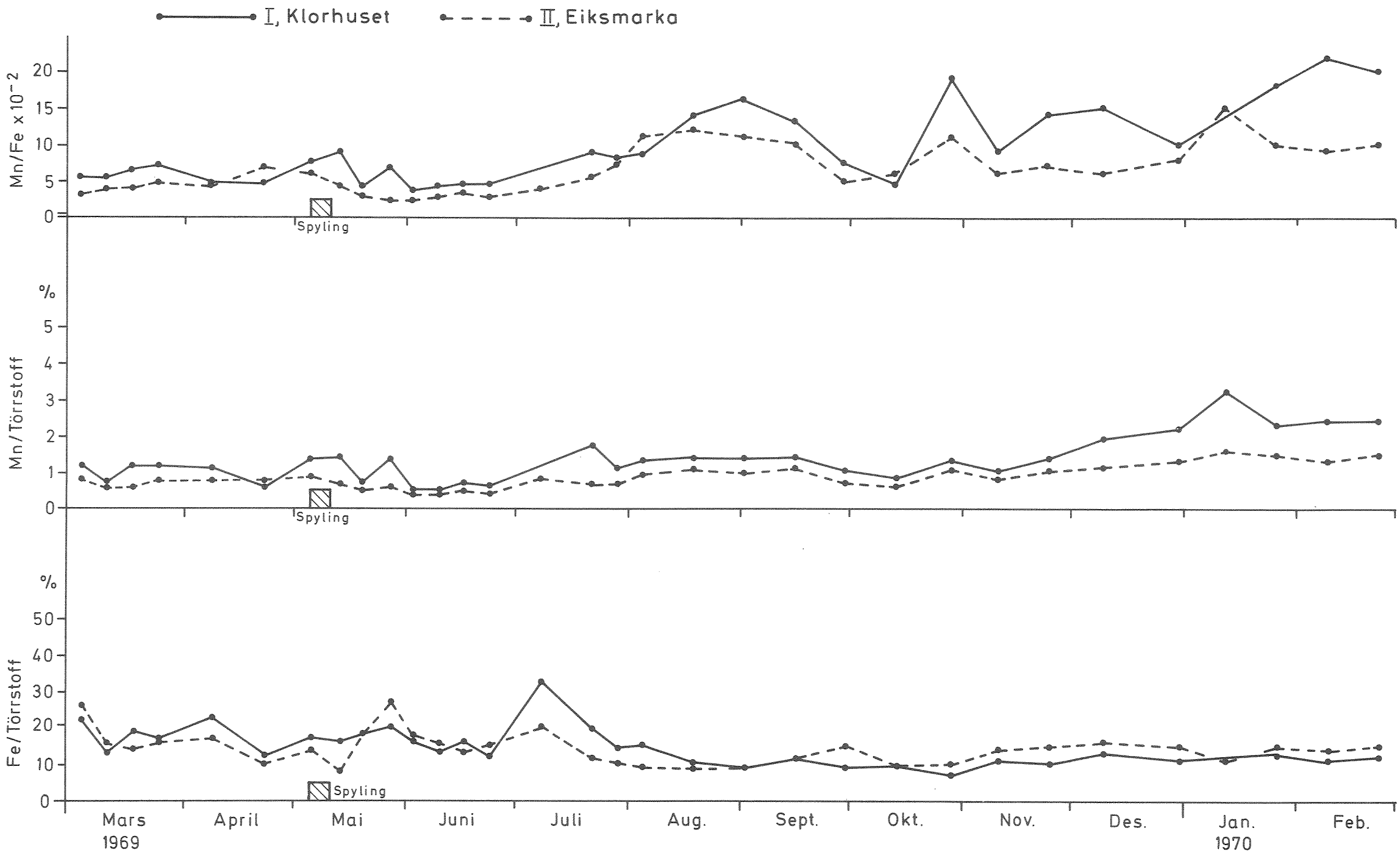
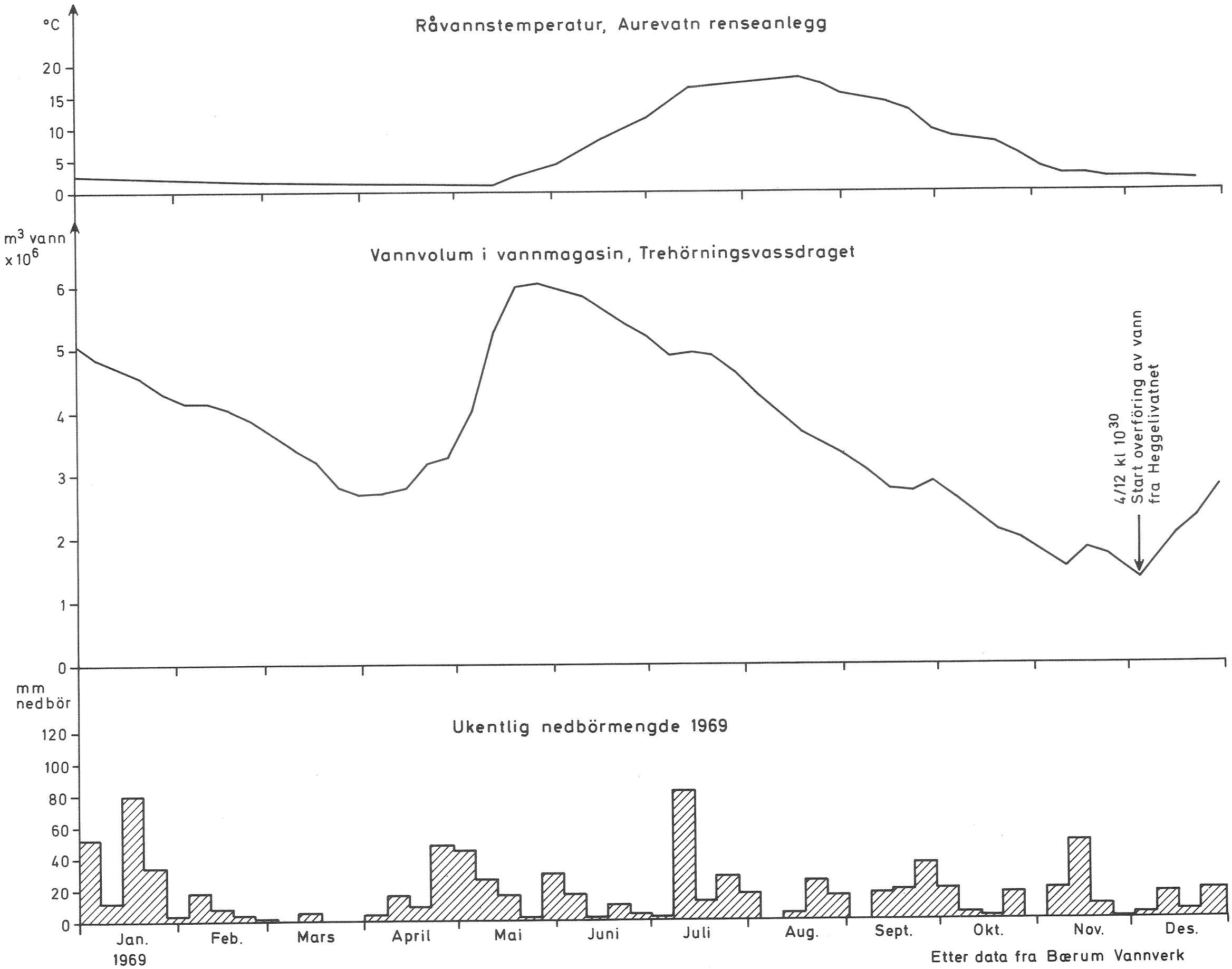


Fig. 6 Nedbör og vannvolum i Trehörningsvassdraget 1969, samt råvannstemperatur



3.4 Kimtalls- og klorrest-resultatene

Resultatene fra kimtallsanalysene er presentert i tabell 6 og enkelte prøvesteder også på figurene 1 og 3.

For å lette sammenlikningen mellom de to ledningsnett er resultatene for Østernvatn og Aurevatn presentert i samme målestokk på figurene.

Klorrestmålingene, tabell 5, viser at det ved prøvestedene Jordbærhaugen, Grinda, Knabberud og Eiksmarka nesten alltid var klorrest i vannet. Sandvika hadde klorrest noen få ganger om høsten, da det ble benyttet klorert råvann. Ramstad skole, som også har vannforsyning over Løken, viste ikke klorrest som i Sandvika. Fornebu, Stabekk og Ramstad skole viste ingen klorrest i undersøkelsesperioden.

Fra tabellene 5 og 6 kan man se at prøvestedene med klorrest på 0,10 ppm og over hadde betydelig lavere kimtallsverdier enn prøvestedene med lavere eller ingen klorrest. Dette kom spesielt godt fram i perioden fram til august, da Aurevatn-nettet var forsynt med mikrosilt, ozonert, kalket vann tilsatt kloramin. Eiksmarka viste i denne periode, selv med klorrest under 0,10 ppm, som oftest betydelig lavere kimtall enn Aurevatn-nettet, og dette forhold fortsatte også etter at Aurevatn-nettet ble forsynt med klorert råvann. Dette fremkommer tydelig på figurene 1 og 3.

Etter overgang til råvann holdt kimtallene for Aurevatn-nettet seg på mer enn 2.000 kim/ml i de tre første ukene der det var mindre enn 0,10 ppm Cl_2 i vannet. Deretter holdt kimtallene seg stort sett under 500 kim/ml for alle prøvesteder; men Ramstad skole og Fornebu hadde som regel vesentlig høyere verdier enn Sandvika og Stabekk. Stabekk viste kimtall på samme nivå som Jordbærhaugen og Grinda helt fra september til midten av februar, enda det her aldri ble påvist klorrest.

Virkningen av desinfisering med kloramin i den første halvpart av undersøkelsesperioden er spesielt behandlet i et NIVA-notat, og vil derfor ikke bli nærmere diskutert i denne rapport (ORMEROD, 4).

3.5 Resultatene fra målingene av pH og farge

Fra tabell 3 kan man se at det ikke var noen vesentlig forskjell i pH-verdiene for vannet ved de forskjellige prøvesteder i Aurevatn-nettet. Da man i august gikk over til klorert råvann, stoppet man også kalktilsetningen. Fra 17/11 ble det igjen tilsatt kalk til vannet. Selv i perioden med råvann uten kalktilsetning viste dette høyere pH-verdi enn vann fra Østernvatn-nettet. Sistnevnte var altså tydelig mer surt. I den samme perioden viste vannet på Stabekk stadig høyere pH-verdi enn vannet på Knabberud og Fornebu - og de andre prøvestedene i fordelingsnettet. Dette nevnes fordi det ved dette prøvested også ble observert lavere kimtall enn ventet etter prøvestedets beliggenhet.

Fargeanalysene ga, som nevnt under pkt. 2.2 Analysemetoder, ikke resultater etter graderingen i Hazens skala, fordi den benyttede, ferdigkjøpte standardløsning viste seg å gi for lave verdier. Foreløpig har vi ikke fått utarbeidet noen omregningsfaktor. Derfor er resultatene ført inn i tabell 4 slik de ble avlest, men fra og med 19/1 1970 er fargen avlest mot korrekt standardløsning.

Fra mars til og med mai måned viste alle prøvesteder for Aurevatn-nettet nær samme farge, og denne var betraktelig lavere enn for Østernvatn-nettet. Fra juni måned økte fargen på vannet fra begge ledningsnett, og i juli og august var det svært høye fargeverdier i Sandvika, på Stabekk og på Fornebu, mens Ramstad skole lå på nivå med Knabberud, Grinda og Jordbærhaugen - og Eiksmarka på Østernvatn-nettet.

Fra ca. tre uker etter at råvann ble tatt i bruk i Aurevatn-nettet var fargen for alle prøvestedene stabilisert på verdier like eller lavere enn for Østernvatn. Da ozoneringen ble satt igang igjen, ble det en markert reduksjon i fargen på vann fra Aurevatn-nettet.

De høye fargeverdiene i juli og august skyldtes for en stor del brune partikler i vannet. Det er i den forbindelse verdt å nevne at Stabekk i en lang periode viste høyere fargeverdier enn både Sandvika og Fornebu, slik at det er en mulighet for at slammengden i vannet der var høyere enn det som ble registrert ved de to andre prøvestedene.

Resultatene fra farge-analysene vil ikke bli kommentert utover dette i denne rapport.

4. DISKUSJON AV RESULTATENE

På figurene 1 og 3 var resultatene fra slamregistreringen angitt som mg stoff pr. m^3 vann.

For å få opplysninger om sammensetningen av det frafiltrerbare stoff, er analyseresultatene også benyttet til beregning av mg gløderest, jern og mangan pr. 100 mg tørrstoff, og presentert i tabellene 11, 12 og 13, og på figurene 4 og 5. Forholdet mellom mengdene av Mn og Fe er også beregnet og tatt med i tabellene og på figurene.

4.1 Østernvatn-nettet

I perioden fra mars til mai var det liten variasjon i sammensetningen av tørrstoff ved de to prøvesteder. Da vannets innhold av tørrstoff, jern, og for innkomstvannet også mangan, begynte å øke i midten av mai måned, viste innkomstvannets tørrstoff en svak økning i manganinnhold. I vannet ved Eiksmarka hadde tørrstoffet samme manganinnhold som før, mens jerninnholdet økte vesentlig. På dette tidspunkt må det derfor ha foregått en utfelling av jern i ledningsnettet. Denne perioden (mai) hadde også en økning i kimtall ved Eiksmarka, så det er mulig at jernutfellingen kan skyldes økt bakterieaktivitet i nettet, som nevnt i innledningen. Tørrstoffets jerninnhold viste nytt maksimum i juli, noe som antakelig skyldtes innkomstvannets høye jerninnhold på det tidspunkt. Deretter var det liten variasjon, og jerninnholdet lå på et lavere eller på samme nivå som i første halvdel av undersøkelsesperioden.

Etter et minimum i juli viste tørrstoffets manganinnhold økende tendens i resten av undersøkelsesperioden, fra henholdsvis 0,5 og 0,4% for innkomstvann og vann ved Eiksmarka i juli 1969, til henholdsvis 2,4 og 1,5% i februar 1970. Både figur 3 og figur 5 viser tydelig at det i lange perioder var mindre partikulært mangan i vannet ved Eiksmarka enn ved klorhuset. Da også innholdet av mangan i tørrstoffet var betydelig redusert, tyder dette på at vannet inneholdt manganoksyd (MnO_2) som ble adsorbert til rørveggene slik at det forsvant fra de frie vannmasser, som nevnt i innledningen.

Kurvene for forholdet mellom mangan og jern i tørrstoffet viser en markert forskjell mellom de to prøvesteder i begynnelsen av mai, da forholdet var økende for innkomstvannet men avtakende for vannet ved Eiksmarka. Selv om forholdstallet varierte en del, var det en markert tendens til økning av mangan i forhold til jern i hele perioden fra juni 1969 til februar 1970, og økningen var mest markert i innkomstvannet. Dette kan ha sammenheng med at sommeren og høsten 1969 var svært nedbørfattig, slik at magasinene var langt nedtappet, og at muligheten for dårligere vannkvalitet, dvs. høyere innhold av mangan i vannet, dermed økte.

Figur 3 viser at fra august til og med november var jerninnholdet i tørrstoffet ved Eiksmarka betydelig høyere enn ved klorhuset. I samme periode var det også en økning av kimtallene i nettet ved Eiksmarka. Det er mulig at den økede utfelling av jern samtidig med økningen i tørrstoffmengden ved dette prøvested skyldes den økede bakterieaktivitet. Vanntemperaturen antas her å ha vært i samme område som for Aurevatn-nettet i sommerperioden (fig. 6), og vanntemperaturer mellom 4 og 20°C gir gode forhold for vekst av vannbakterier.

Ved mikroskopering pleier slam fra Østernvatn-nettet å vise betydelige mengder jernbakterier av type *Leptothrix* og *Gallionella*. Disse bakterier vokser imidlertid ikke på vårt kimtallsmedium, og en øket aktivitet av slike bakterier i nettet vil derfor ikke registreres som en økning i kimtallene. De vokser også som regel fastsittende på rørveggene, og vil derfor bare være tilstede i de frie vannmasser når begroingen løsner. Som nevnt i innledningen vil slikt begroingsslam også gi gode vekstmuligheter for bakterier som ikke er fastsittende, og en økning av slike bakterier vil registreres ved våre kimtallsanalyser dersom de kommer ut i de frie vannmasser.

Gløderestanalysene viste generelt sett at det frafiltrerbare stoff hadde overvekt av organisk materiale. Bare i de to første ukene i mars måned 1969 var gløderesten mer enn 50% av tørrstoffverdien.

4.2 Aurevatnnettet

Vinter- og vårsituasjonen

Tørrstoff-resultatene, figur 1, viser at vannet ved Jordbærhaugen hadde første signifikante økning i tørrstoff under vårløsningen i mai. I samme periode var det også en markert økning i vannets innhold av partikulært jern. Jerninnholdet i det frafiltrerbare stoff varierte betydelig i hele vårperioden, slik at det er vanskelig å trekke sikre slutninger, men det var iallfall ingen markert forandring i mai måned. Tørrstoffets manganinnhold sank betraktelig i denne perioden ved dette prøvested, mens vannets innhold av partikulært mangan var det samme som før. Da vannets klorrest var større enn 0,10 ppm, kimtallene relativt lave og vanntemperaturen også var lav, er det rimelig å anta at det var liten bakterieaktivitet i ledningen mellom Aurevatn-magasinet og Jordbærhaugen. De nevnte forandringer i kvantitet og kvalitet av det frafiltrerbare stoff ved dette prøvested representerer derfor mest sannsynlig forandringer i råvannskvaliteten. Som før nevnt merkes dette også hvert år på samme tid under mikrosilingen av vannet. Analyseresultatene tyder på at råvannet i denne perioden hadde et øket innhold av partikulært, spesielt jernholdig, organisk stoff, og dette kan henge sammen med vårløsningen - med øket avrenning fra de myrlendte områdene rundt innsjøen.

Vannet ved Fornebu og Sandvika viste mindre økning i tørrstoff og bare svak økning i jerninnhold. Det ekstra innhold av jern og organisk stoff i innkomstvannet måtte derfor være blitt utfelt i ledningsnettet før vannet nådde Sandvika og Fornebu. Tørrstoffet fra de to sistnevnte prøvesteder viste i denne periode mindre innhold av jern enn tørrstoffet ved Jordbærhaugen. Tørrstoffets manganinnhold varierte i samme område som før for Fornebu, mens det for Sandvika lå på samme lave nivå som for Jordbærhaugen. Kimtallene for Sandvika og Jordbærhaugen lå på verdier mindre enn 100 kim/ml helt til slutten av april måned, mens kimtallene for Fornebu varierte fra 300 til større enn 1.000 kim/ml. Samtidig med den første registrerte økning av tørrstoffverdiene begynte også kimtallene for Sandvika å øke til et nivå litt lavere enn for Fornebu, men langt over verdiene for Jordbærhaugen.

Sommerperioden

Etter en kort tids nedgang i kimtall fra alle tre prøvesteder i juli steg de igjen; først Fornebu som nådde over 1.000 kim/ml i begynnelsen av juli, så Sandvika som nådde denne grense i midten av juli. I slutten av juli nådde Jordbærhaugen en verdi større eller lik 600 kim/ml, og dagen etter at råvann var sluppet inn i nettet var kimtallsplatene fra dette prøvested helt overgrodd av bakterier - sammenliknet med resultatene fra andre prøvesteder antakelig over 10.000 kim/ml. Vannet hadde da en målt klorrest på 0,15 ppm. Den samme dato, 4/8 1969, ble de største mengder tørrstoff i hele undersøkelsesperioden registrert i Sandvika - 7,6 mg tørrstoff pr. liter vann. Den store økning i tørrstoff i vannet i Sandvika og Fornebu i juni - juli var ledsaget av en markert økning også i jern og mangan. Vannet ved Jordbærhaugen viste også vesentlig økning i tørrstoff og jern, mens økningen i mangan var liten (men tydelig) i forhold til de to andre prøvesteder. Tørrstoffets jerninnhold viste for Sandvika og Fornebu ingen forandring, mens manganinnholdet viste sterk økning i denne perioden. Bortsett fra ved en enkelt prøvetakingsdato viste tørrstoff fra Jordbærhaugen i disse to månedene lavere manganinnhold enn tørrstoff for de andre prøvestedere.

I denne perioden var vanntemperaturen steget fra ca. 7 til 17°C (figur 6). Kimtallsresultatene var som nevnt høye, og indikerte stor bakterieaktivitet i vannet. Mikroskopering av slammet viste alltid et stort innhold av *Hyphomicrobium* og stavbakterier. Dr. Peter Taylor ved Hobart University på Tasmania arbeider med bakteriologisk karakterisering av belegg fra renvannsledninger, og fikk av oss tilsendt en prøve av slammet. Han isolerte derfra en *Hyphomicrobium* sp. som meget aktivt oksyderte mangan.

Vår antakelse om at slamplagen vesentlig skyldtes bakteriologisk begroing av ledningsnettet, og at i det minste noen av disse bakteriene spesielt måtte være aktive i oksydering av mangan, så derfor ut til å være bekreftet. Nå viste imidlertid også vannet ved Jordbærhaugen en økning i tørrstoff, jern og til en viss grad også mangan, enda vannet ved dette prøvested alltid hadde klorrest. Kimtallsresultatene tydet imidlertid på at det til tross for klorresten var en viss bakterieaktivitet i nettet ved dette prøvested. Den kunne f.eks. ha foregått i et belegg på rørveggene, hvor desinfeksjonsmidlet ikke har samme desinfiserende virkning som i de fri vannmasser. Økningen av partikulært stoff kunne derfor i

denne perioden delvis skyldes løsrevet belegg fra ledningen mellom Aurevatn og Jordbærhaugen. De få ganger vi har funnet nok slam i vann fra Jordbærhaugen til å kunne mikroskopere det, har det vist samme innhold av bakterier som slammet lengre nede i ledningsnettet.

Som før nevnt valgte vi Jordbærhaugen som prøvested for vann ut fra renseanlegget, idet vi antok at det på grunn av stadig høy klorrest ved dette prøvested ikke kunne ha foregått store forandringer av kvaliteten siden vannet forlot renseanlegget. Ferdig behandlet vann, som det tappes ved renseanlegget, passerer en trykktank ved vannverket, men det har ikke passert renvannsmagasinet. Under vannets opphold i renvannsmagasinet sedimenterer en del av den tilsatte kalk. Da vi ikke visste om denne sedimenteringen foregikk i samme utstrekning i den nevnte trykktank, foretrakk vi ikke å ta vann derfra.

Mikrosilt vann er lett tilgjengelig - men vannet tappes da ut gjennom en lang slange, og vi har erfaring for at belegg i slangen kan rives løs, slik at prøvene ikke blir representative. Direkte tapping av mikrosilt vann er mulig, men vanskelig tilgjengelig. Ved filtrering av råvann får man også frafiltrert det som mikrosilene fjerner, og råvannsprøver egner seg derfor ikke som sammenlikningsgrunnlag for prøver fra ledningsnettet.

Da vi fikk resultatene fra Jordbærhaugen-prøvene fra juli måned, besluttet vi så snart som mulig å sammenlikne vann fra dette prøvested med råvann og mikrosilt vann, og dette ble gjort så snart renseanlegget var i normal drift igjen. Vanntemperaturen var da imidlertid lav, slik at den bakterielle aktivitet var liten. Disse vannprøvene og vann fra Jordbærhaugen viste uvesentlig forskjellig innhold av de undersøkte komponenter, men en slik kontroll bør om mulig også utføres om sommeren når bakteriene har gode vekstbetingelser.

Det er imidlertid også før observert høyt innhold av frafiltrerbart stoff i innkomstvannet til Aurevatn renseanlegg over sommeren. Til sammenlikning kan følgende data angis:

Tabell 15. Frafiltrerbart (GF/C) tørrstoff, mg/m^3, i Aurevatn-nettet i flere sommer - høst-perioder.

Dato	Råvann	Mikrosilt (slange)	Ozonert (ikke kalket)	Jordbær-haugen	Sandvika	Fornebu
28/4-67	410	390	300	-	-	-
18/8-67	1050	-	-	500	1880	840
6/9-68	950	867	645	780		600
28/7-69	-	-	-	1130	2280	3040
16/2-69	650	640	660	610		490

Sommeren 1969 ble grensen for lett synlige partikler i vannet funnet å være mellom 800 og 1125 mg tørrstoff/m^3 vann.

Det er derfor meget mulig at den store mengde synlig slam om sommeren skyldes en kombinasjon av forringet råvannskvalitet og bakterievekst i nettet.

Slik forringet råvannskvalitet kan ha sammenheng med vanninntakets beliggenhet i forhold til innsjøens sprangsjikt eller eventuelt bunnsjikt med dårlig vann. For å få klarhet i dette bør råvannet og forholdene ved vanninntaket underkastes en grundig undersøkelse i perioden juli - august. Foreliggende observasjoner tyder på at man i månedsskiftet juli - august ved Aurevatn tar inn vann fra innsjøens sprangsjikt (ÖZTÜRK, 5).

Høstperioden

Den markerte nedgang i alle de undersøkte parametre for vannet i Sandvika og på Fornebu straks etter at råvann ble sendt inn i ledningsnettet, tyder på at vekstbetingelsene for bakteriene i ledningsnettet var blitt vesentlig forringet. Det er mindre sannsynlig at dette var et resultat av spylingen alene, fordi man da skulle vente at de forskjellige parametre ville stige igjen i løpet av september måned da vanntemperaturen fremdeles var høy. Også vannet på Jordbærhaugen viste forbedring i kvalitet, og i løpet av august måned var alle de undersøkte parametre nede på samme nivå som før vårløsningen i mai måned. Manganinnholdet i vannet ved

Fornebu viste imidlertid en vesentlig saktere tilbakegang, og manganinnholdet i tørrstoffet fra Fornebu og til en mindre grad også fra Sandvika, holdt seg meget høyere enn normalt for "vinterperioden" helt til midten av desember måned 1969. For Fornebu steg kurven for forholdet Mn/Fe til og med til et nytt maksimum, 35.10^{-2}, i september - oktober, etter at den først hadde vist en rask avtaking mot et minimum på 22.10^{-2} i august måned.

Denne betraktelige økning av partikulært mangan i løpet av vannets oppholdstid i nettet er ikke i samsvar med det som ble funnet for Østernvatn-nettet, der forholdet var omvendt. Da vi vet at de bakterier som dominerer i slammet fra Aurevatn-nettet oksyderer mangan med stor aktivitet, er det nærliggende å ta økningen av mangan som et bevis på at det er vekst av bakterier som er hovedårsaken til at vannet blir slamførende. Tilbakegangen i mengdene av de analyserte parametre da råvann ble sendt inn i ledningene, tyder på at det ozonerte, kalkede vann forårsaker større bakterieaktivitet enn råvann.

4.3 Materialbalanse for ledningsnettene i undersøkelsesperioden

Ved hjelp av planimeter ble arealet under hver av kurvene for mg stoff pr. m^3 vann (figurene 1 - 2 og 3) bestemt som cm^2. De framkomne areal ble multiplisert med ordinatangivelsen og dividert med 385 døgn (undersøkelsesperioden), slik at de resulterende verdier ga den gjennomsnittlige konsentrasjon av de forskjellige komponenter i undersøkelsesperioden. Disse gjennomsnittlige verdier er presentert i tabellene 16 og 17.

Tabell 16. Gjennomsnittsverdier for Østernvatn-nettet i undersøkelsesperioden.

Prøvested:	mg stoff pr. m^3		
	Tørrstoff	Fe	Mn
Klorhuset I	550	75	8,4
Eiksmarka II	670	88	6,1
II - I = Δ	120	13	- 2,3
Δ som % av I	22%	17%	- 27%

Tabell 16 viser at for hver m^3 vann som gikk inn i nettet ved klorhuset, ble det gjennomsnittlig produsert 120 mg tørrstoff, derav 13 mg jern, mens det ble avsatt 2,3 mg mangan.

Ut fra opplysninger i årsrapporten for Bærum Vannverk 1969, var årsforbruket av vann fra Østernvatn 1.899.476 m^3, eller tilnærmet $1,9.10^6$ m^3.

Regnes dette årsforbruk som representativt for undersøkelsesperioden, kan man kalkulere hvor mye det funne stoff utgjør på årsbasis, og disse data er presentert i tabellene 18 og 19.

Tabell 17. Gjennomsnittsverdier for Aurevatn-nettet i undersøkelsesperioden.

Prøvested	mg stoff pr. m^3		
	Tørrstoff	Fe	Mn
Jordbærhaugen I	608	91	9,8
Sandvika II	945	119	30,8
Fornebu III	763	95	29,3
II - I = Δ_{II}	337	28	21,0
III - I = Δ_{III}	155	4	19,5
Δ_{II} som % av I	55%	31%	214%
Δ_{III} som % av I	26%	4,4%	200%

Bærum vannverks årsrapport 1969 oppga som årsforbruk for Aurevatn-nettet 12.378.517 m^3, dvs. ca. $12,4.10^6$ m^3.

Opplysninger fra 1968 om årsforbruk ut fra Aurevatn- og Kolsås-magasinet viste en fordeling på 69% ut fra Kolsåsmagasinet, og de gjenværende 31% ble betraktet som årsforbruk for Vestre Bærum over Løken. Benyttes årsforbruket for 1969 med fordeling som i 1968, som representativt for undersøkelsesperioden, fås følgende fordeling:

Årsforbruk ut fra Kolsås-magasinet: $8,55.10^6$ m^3.
Årsforbruk over Løken : $3,85.10^6$ m^3.

Disse verdier er benyttet til å beregne den totalt transporterte og produserte mengde frafiltrerbart stoff i de to deler av dette ledningsnett, og resultatene er vist på figur 7. Innkomstvannets verdier er basert på data fra Jordbærhaugen. Oppholdstidene ned til Fornebu og Sandvika er antatte verdier, mens oppholdstidene ned til Knabberud og Løken er beregnet (ORMEROD, 4).

Data angående økning i og sammensetning av frafiltrerbart tørrstoff for de to undersøkte ledningsnett er sammenstilt i tabellene 18 og 19.

Tabell 18. Økning i frafiltrerbart tørrstoff.

	Østernvatn		Aurevatn			
			over Løken		over Kolsås	
	inn	Eiksmarka	inn	Sandvika	inn	Fornebu
Oppholdstid		?		$1\frac{1}{2}$ døgn		$3\frac{1}{2}$ døgn
Avstand (i luftlinje)		ca. 2 km		12 km		15 km
m^3 vann pr. år	$1{,}9.10^9$		$3{,}85.10^9$		$8{,}55.10^9$	
kg frafiltrerbart tørrstoff pr. år	1.050	1.275	2.350	3.640	5.200	6.530
Økning i tørrstoff, kg pr. år		225		1.290		1.330
Økning som % av det innkomne stoff		21		55		26

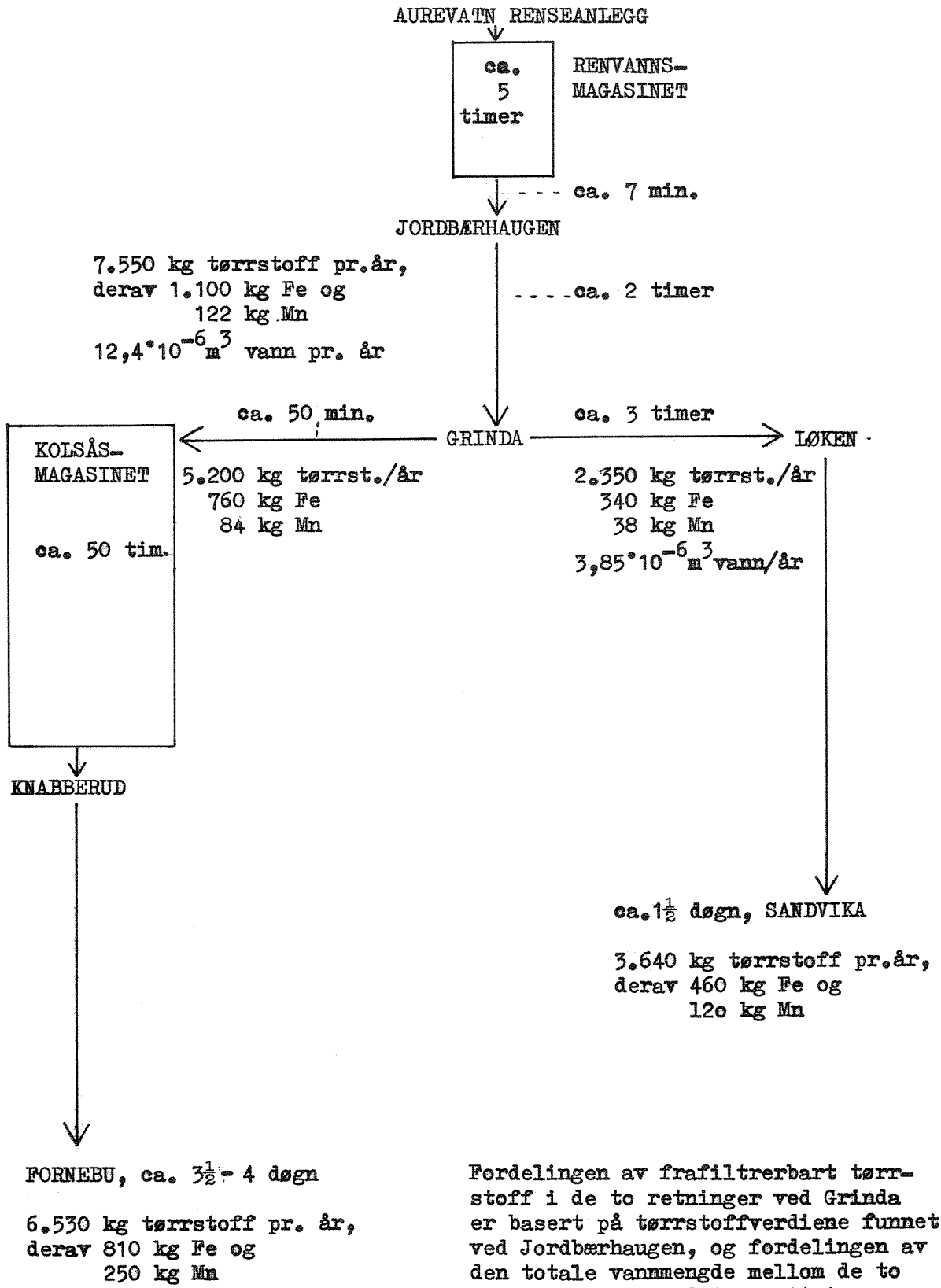
Ved å kombinere opplysninger fra tabellene 16, 17, 18 og 19 kommer man fram til følgende:

Ved Eiksmarka var vannets innhold av frafiltrerbart tørrstoff øket 22%, frafiltrerbart jern øket 17% og frafiltrerbart mangan avtatt med 27% av innkomstvannets innhold av disse komponenter. I hele undersøkelsesperioden utgjorde økningen 225 kg tørrstoff og 25 kg jern, mens 4 kg mangan ble avsatt i ledningsnettet. Tørrstoffet i innkomstvannet inneholdt 13,6% jern og 1,5% mangan, og summen jern + mangan utgjorde ca. 15% av tørrstoffverdien. Andelen av jern i tørrstofføkningen ved Eiksmarka var 11%. Da manganinnholdet var avtatt med en mengde som tilsvarte 1,8% av tørrstofføkningen, måtte det i tillegg til den funne tørrstofføkning ha vært produsert 1,8% eller ca. 4 kg av annet tørrstoff enn jern

Tabell 19. Mengde og sammensetning av frafiltrerbart stoff.

Komponent	Østernvatn			Aurevatn					
				over Løken			over Kolsås		
	Inn	Eiksmarka	Produsert	Inn	Sandvika	Produsert	Inn	Fornebu	Produsert
kg. pr. år									
Tørrstoff	1050	1275	225 + 4	2350	3640	1290	5200	6530	1330
Fe	143	168	25	340	460	120	760	810	50
Mn	16	12	- 4	38	120	82	84	250	166
kg. pr. 100 kg. tørrstoff									
Fe	13,6	13,2	11,1	14,5	12,6	9,3	14,5	12,4	3,8
Mn	1,5	0,9	- 1,8	1,6	3,3	6,4	1,6	3,8	12,5
Fe + Mn	15,1	14,1	9,3	16,1	15,9	15,7	16,1	16,2	16,3
Rest	85	86	91	84	84	84	84	84	84
Som Fe_2O_3 + MnO_2	22	20	13	23	23	23	23	24	25
Rest	78	80	87	77	77	77	77	76	75

Figur 7. MATERIALBALANSE FOR AUREVATN-NETTET.



Fordelingen av frafiltrerbart tørrstoff i de to retninger ved Grinda er basert på tørrstoffverdiene funnet ved Jordbærhaugen, og fordelingen av den totale vannmengde mellom de to hovedgrener av ledningsnettet.

og mangan, slik at den "produserte" tørrstoffmengde var ca. 230 kg, mens den funne økning var 225 kg.

Tabell 19 viser at hele 91% av tørrstofføkningen skyldes andre stoffer enn jern og mangan. Dersom man antar at forandringene i jern- og manganinnhold skyldes en økning eller avleiring av metallenes oksyder, Fe_2O_3 og MnO_2, vil den resterende del av tørrstofføkningen utgjøre 80%. For Østernvatn-nettet kan derfor opp til 80% av tørrstofføkningen skyldes bakterievekst eller utfelling av andre stoffer enn jern og mangan fra vannet.

Ledningsnettet fra Aurevatn over Løken viste i Sandvika en økning på 55% i frafiltrerbart tørrstoff, en økning på 31% i frafiltrerbart jern, og en økning på 214% i frafiltrerbart mangan, i forhold til innkomstvannets innhold av disse komponenter. I hele undersøkelsesperioden utgjorde økningen 1.290 kg tørrstoff, derav 120 kg jern og 82 kg mangan. Andelen av jern i tørrstofføkningen var 9,3%, mangan 6,4%, og summen jern + mangan utgjorde 15,7%. Omregnet til Fe_2O_3 + MnO_2 blir det 23% av tørrstofføkningen. Opp til 77% av tørrstofføkningen kan derfor ha vært forårsaket av bakterievekst eller utfelling av andre stoffer enn jern og mangan fra vannet.

Ledningsnettet over Kolsås-magasinet viste på Fornebu en økning på 26% i frafiltrerbart tørrstoff, en økning på 4,4% i frafiltrerbart jern og en økning på 200% i frafiltrerbart mangan i forhold til innkomstvannets innhold av disse komponenter. I hele undersøkelsesperioden utgjorde økningen 1.330 kg tørrstoff, derav 50 kg jern og 166 kg mangan.

Andelen av jern i tørrstofføkningen var 3,8%, mangan 12,5%, og summen jern + mangan utgjorde 16,3% av tørrstofføkningen. Omregnet til Fe_2O_3 + MnO_2 blir dette 25% av tørrstofføkningen. Opp til 75% av tørrstofføkningen kan derfor ha vært forårsaket av bakterievekst eller utfelling av andre stoffer enn jern og mangan fra vannet.

Vannet i begge de nevnte innsjøer er preget av humusstoffer, og det er derfor nærliggende å anta at det kan foregå en utfelling i ledningsnettet av humusstoffer som før forelå i kolloidal løsning. Dette er rapportert i litteraturen (BOUCHER, 6) for humusholdig vann som er ozonert, og for å påskynde utfnokkingen tilsettes gjerne en elektrolytt, f.eks.

$Al_2(SO_4)_3$. Ved Aurevatn blir vannet ozonert og tilsatt kalk, så mulighetene for en utfnokking av humuskomponenter er tilstede. Det synes rimelig å anta at sammensetningen av slikt utfelt stoff ikke vil skille seg vesentlig fra de frafiltrerbare (humus)stoffer i innkomstvannet, eventuelt bortsett fra i innhold av kalsium.

I Østernvatn-nettet var det ingen økning av mangan. Jerninnholdet i det produserte tørrstoff var 11%, mot 13,6% i innkomstvannet. Forskjellen i jerninnhold var her så liten (ca. 3%) at en utfelling av humusstoffer ikke kan utelukkes som hovedårsak til "produksjonen". Den økede bakterieaktivitet i perioder med stor "produksjon" av tørrstoff tyder, som før nevnt, på at vekst av bakterier også kan være medvirkende årsak. Hvis disse bakterier vokser fastsittende på rørveggene, skulle man vente at avleiringen av mangan også ville finne sted i denne begroingen, og dermed bli å finne igjen i det frafiltrerbare tørrstoff når begroingen løsner og kommer ut i vannmassene som "produsert" tørrstoff. Det var imidlertid ingen registrerbar konsentrering av mangan i det "produserte" tørrstoff. I litteraturen (BEGER, 7) er det imidlertid beskrevet at de forskjellige typer jern- og mangan-bakterier ser ut til å foretrekke forskjellige soner av den indre røroverflate når vannhastigheten når opp i en viss størrelse. De spesielt manganoksyderende *Crenothrix* og de jernoksyderende *Gallionella* vokser gjerne i den øvre hvelving av røret, mens *Leptothrix*-arter gjerne vokser mer eller mindre løstliggende ved bunnen av røret. I slam fra Østernvatn-nettet er det observert *Leptothrix*-arter og *Gallionella*.

Hvis bakterieaktiviteten i dette nettet er hovedårsaken til "produksjonen" av tørrstoff, må man gå ut fra at bakterieveksten enten foregår i de frie vannmasser, eller at mangan avleires i en annen sone av rørledningsflaten enn der veksten av fastsittende bakterier foregår.

Aurevatn-nettet. Sammensetningen av det "produserte" tørrstoff inneholdt store mengder mangan i forhold til tørrstoffet i innkomstvannet. Summen jern + mangan var nær den samme som i stoff fra innkomstvannet, men forholdet mellom jern og mangan var vesentlig forskjøvet. De gjennomsnittlige forholdstallene Mn/Fe og Fe/Mn er vist i følgende oppstilling:

	Mn/Fe	Fe/Mn
Tørrstoff ved Jordbærhaugen	0,11	9,0
Tørrstoff ved Sandvika	0,26	3,8
Tørrstoff ved Fornebu	0,31	3,3
"Produsert" tørrstoff, Sandvika	0,68	1,5
"Produsert" tørrstoff, Fornebu	3,3	0,30
Sammenlikning:		
Tørrstoff ved Klorhuset	0,11	9,0
Tørrstoff ved Eiksmarka	0,07	14

Forholdstallene viser seg å være like for innkommende vann i Aurevatn- og Østernvatn-nettene, men forandringene under vannets gang i ledningsnettene gikk i motsatt retning. Ved Fornebu var det til og med stor overvekt av mangan i forhold til jern i det "produserte" tørrstoff.

Man kan spørre seg hvor all denne mangan kommer fra. Hvis råvannet tas fra en sone i innsjøen der vannet alltid er nær mettet med oksygen, skulle det ikke kunne være vesentlige mengder løste Mn^{II}-salter i vannet. Ozoneringen kan imidlertid føre til at en del Mn^{III}-forbindelser (MnO_2) blir oksydert videre til permanganat, som er lett løselig i vann. Permanganaten vil raskt reagere med f.eks. organisk stoff i vannet, og reduseres dermed, vesentlig til MnO_2, som er uløselig i vann og derfor felles ut.

Vi har under arbeidet med å undersøke slamdannelsen i Aurevatn-nettet også forsøkt å gjøre en totalanalyse av vann fra forskjellige deler av ledningsnettet, men av analysetekniske grunner har det vært vanskelig å få dette gjennomført. Vi har imidlertid én helt vellykket serie, tatt 6/9 1968, og disse analyseresultater er presentert i tabell 20.

Tabell 20. Mengde og sammensetning av totalt tørrstoff for Aurevatn-nettet 6/9 1968.

Prøvested	Oppløst mg/m^3				Frafiltrerbart, mg/m^3				Sum Mn
	Tørr-stoff	Gløde-rest	Fe	Mn	Tørr-stoff	Gløde-rest	Fe	Mn	
Råvann	31.200	17.800	104	30	950	-	149	50	80
Mikrosilt (slange)	31.800	19.400	125	30	867	200	168	45	75
Ozonert (direkte)	30.600	17.700	124	51	645	-	135	50$^{x)}$	101
Jordbærhaugen	37.500	23.200	-	49	780	-	113	29	78
Dragveien	36.300	22.800	135	13	733	110	126	38	51
Fornebu	37.000	24.200	139	12	600	-	114	34	46

x) Tidligere analyser viste nedgang i partikulært Mn etter ozonering av mikrosilt vann, slik at summen av partikulært og løst mangan var konstant.

Analyseresultatene viser en tydelig økning av løst mangan etter ozoneringen, og en tilsvarende økning ble også funnet i de andre nevnte serier. Resultatene viser også at det ble avsatt 27 mg Mn/m^3 mellom Jordbærhaugen og Dragveien, og 32 mg Mn/m^3 mellom Jordbærhaugen og Fornebu. Dette var registrerbart bare i oppløst mangan, da mengden av frafiltrerbart mangan økte ned til de to nevnte prøvesteder. Legger man nå som grunn at forholdet:

$$\frac{\text{29 mg uløst mangan}}{\text{78 mg løst + uløst mangan}} = \frac{37}{100} \text{ eller } \underline{37\%}$$

er representativt for vannet ved Jordbærhaugen, kan man på grunnlag av opplysningene i tabell 19, om mengde frafiltrerbar (uløst) mangan ved Jordbærhaugen, regne ut den totale mengde av mangan i innkomstvannet i undersøkelsesperioden. Dessuten skulle da, etter tabell 20,

$$\frac{27}{78}\,100 = 35\% \text{ og } \frac{32}{78} \cdot 100 = 41\% \text{ av}$$

det totale manganinnhold i henholdsvis Løken-nettet og Kolsås-nettet være utfelt ned til henholdsvis Dragveien og Fornebu, og det utgjør