

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

O - 23/68

UNDERSØKELSER AV VANNKVALITETEN VED HORTEN VANNVERK

7/12-1971 - 26/4-1972

Saksbehandler: Ing. Lasse Berglind

Medarbeider: Cand.real. J. E. Samdal

Rapporten avsluttet 12. september 1972.

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
1. INNLEDNING	4
2. BESTEMMELSE AV OPTIMALT pH-OMRÅDE FOR FELLING MED ALUMINIUMSULFAT	4
2.1. Generelt	4
2.2. Laboratorieforsøk	4
2.3. Resultater	5
2.4. Diskusjon	5
2.5. Konklusjon på undersøkelsene vedrørende optimalt pH-område ved felling	6
3. FORSØK MED HJELPEKOAGULANTER	6
3.1. Innledning	6
3.2. Laboratorieforsøk	7
3.3. Forsøk med Wisprofloc 20 i vannverket	8
3.4. Filtrenes driftstider ved tilsats av hjelpekoagulant	9
3.5. Forsøk med Wisprofloc P i vannverket	9
3.6. Virkningen av forandret slamtømmingsprosedyre	11
3.7. Vurdering av polyelektrolytt anvendt som filterhjelp (Filter conditioner)	11
3.8. Diskusjon	12
3.9. Konklusjon	13
4. FORSØK MED MANGANFJERNING	14
4.1. Innledning	14
4.2. Vurdering av metoder for manganfjerning i Horten vannverk	15
4.3. Laboratorieforsøk	16
4.4. Forsøk med manganfjerning i vannverket	16
4.5. Innvirkning av permanganat på vannets lukt og smak	18
4.6. Undersøkelse i forbindelse med nytt inntaksdyp	18
4.7. Diskusjon	19
4.8. Konklusjon	21
5. LITTERATUR	22

TABELLFORTEGNELSE

	Side
1. Undersøkelse av optimal fellings pH ved Horten vannverk. Laboratorieforsøk utført 7/12-1972	23
2. Kjemisk/fysiske analyseresultater av prøver fra Horten vannverk tatt 2/12-1971	24
3. Laboratoriefellingsforsøk med råvann fra Horten vannverk, utført med råvann hentet 28/1-1972	24
4. Forsøk med Wisprofloc 20 i Horten vannverk 28/1 -9/2-1972	25 - 28
5. Manganfjerningsforsøk i vann fra Horten vannverk. Laboratorieforsøk utført 15/2 og 28/2-1972	29 - 30
6. Kjemisk/fysiske analyseresultater i forbindelse med manganfjerningsforsøk i Horten vannverk	31 - 36
7. Lukt- og smaksanalyser av vann fra Horten vannverk, tappet på laboratoriet til Kjøtt- og Næringsmiddelkontrollen, Borre, Holmestrand og Horten, Skippergt. 9, Horten	37
8. Kjemisk/fysiske analyseresultater av vannprøver fra Borrevatnet tatt 2/3-1972	38
9. Laboratoriefellingsforsøk med vann fra Borrevatnet utført 6/3-1972 med prøver hentet 2/3-1972	39
10. Fysisk/kjemiske analyseresultater av prøver fra Horten vannverk. Kontrollanalyser etter endring av råvannsinntak til 1,5 m dyp	40

FIGURFORTEGNELSE

1. Bestemmelse av optimalt pH-område for kjemisk felling ved Horten vannverk. Laboratorieforsøk utført 7/12-1972	41
2. Fjerning av mangan i råvann fra Horten vannverk. Laboratorieforsøk utført 15/2 og 28/2-1972	42
3. Forsøk med manganfjerning i Horten vannverk Manganinnhold i råvann og filtrert vann 28/1 - 24/3-1972	43

1. INNLEDNING

Denne rapport omhandler forsøk og undersøkelser som har vært foretatt ved Horten vannverk i tidsrommet fra 7/12-71 til 26/4-72. Opprinnelig tok undersøkelsene sikte på å bestemme betingelsene for optimal felling, og videre forsøk med hjelpekoagulanter som foreslått i vårt brev av 2/12-71. Mens dette arbeid pågikk, viste det seg at manganinnholdet i råvann var uvanlig høyt til å være på denne årstid. Det høye manganinnholdet ga seg utslag i betydelig forringelse av renvannets kvalitet ute på nettet p.g.a. at det oppløste mangan her ble felt ut som brunsten. Det ble derfor besluttet å foreta forsøk med henblikk på å fjerne det oppløste manganet i vannverket. Videre er det redegjort for undersøkelser i forbindelse med forandring av inntaksdyp for råvannet.

2. BESTEMMELSE AV OPTIMALT pH-OMRÅDE FOR FELLING MED ALUMINIUMSULFAT

2.1. Generelt

Ved felling av kolloider i vann med aluminiumsulfat, er det av avgjørende betydning at fellings-pH ligger i det optimale området. Hvis pH er lavere eller høyere enn dette området, blir koaguleringen av kolloidene ufullstendig og renseeffekten lav. De fnokker som dannes er meget små, og dette gjør at fnokkfjerningen i sedimenteringstanken blir liten. Dette gir igjen stor belastning på sandfiltrene slik at filtrenes driftstider blir korte. Ved pH utenom det optimale området, er også aluminium løselig, slik at etterutfelling av aluminiumhydroksyd kan skje på nettet.

2.2. Laboratorieforsøk

Laboratorieforsøkene for undersøkelse av optimalt pH-område for felling, er foretatt 7/12-71 med råvann fra vannverket hentet 2/12-71. Forsøkene er foretatt i laboratorieflokkulator i 1 liters begerglass. Koaguleringstiden var 3 min, mens flokkuleringstiden og sedimenteringstiden var henholdsvis 57 og 60 min.

Etter endt sedimenteringsperiode, ble prøver utpippetert 10 mm under overflaten og filtrert gjennom Schleicher & Schüll foldefilter nr. 597 $\frac{1}{2}$ før analyse. Alumdosen var 40 mg/l. 1/10 normal saltsyre ble tilsatt i forskjellige mengder for å gi prøver med lav pH. Likeledes ble kalkvann tilsatt i ulike mengder for å gi prøver med høy pH. Under koaguleringen, flokkuleringen og sedimenteringen var prøvene nedsenket i kjølebad slik at temperaturen var 5-6 °C. Dette ble gjort for at temperaturen skulle være mer lik den gjennomsnittstemperatur som antas å være vannverket.

2.3. Resultater

Som det fremgår av resultatene i tabel 1, reduseres renseeffekten under ca. pH 6,1 og over ca. pH 7,2. Det optimale pH-området for felling kan således ansees å ligge mellom disse to verdier. Resultatene er også illustrert i fig. 1. En nærmere angivelse om hvor man bør holde pH i dette området, bør undersøkes ved vanlig drift ved vannverket. Etter disse laboratorieforsøkene er optimal pH inntil videre satt til ca. pH 6,5. I perioder med tildels vanskelig råvannskvalitet har felling ved denne pH tilsynelatende gitt tilfredsstillende rensing uten overkoking av slam i sedimenteringstanken.

2.4. Diskusjon

Tidligere analyseresultater av prøver tatt i vannverket viser at pH ved fellingen stort sett ligger innen det optimale fellingsområdet. Dette var også tilfelle med prøve tatt 2/12-71 (tab. 2). Det kan imidlertid fastslåes at noen av de fellingsvanskeligheter som fra tid til annen har vært meldt fra vannverket, skyldes felling ved pH som har ligget utenom det optimale området. Dette var tilfelle den 2/3-72 da pH ved fellingen var for høy. Årsaken til dette var at råvannet ble forkalket i forbindelse med manganfjerningsforsøk. Kalkingen har antakelig blitt for sterk og en pH på 7,3 ble målt i fellingstanken. Dette ga små fnokker som i stor grad gikk over på filterne, slik at filtermotstanden øket meget raskt. Etter at forkalkingen var justert, ble pH igjen optimal og fellingen gikk tilfredsstillende.

pH har inntil for kort tid siden vært kontrollert med Hellige fargekomparator ved vannverket. Dette er en enkel og hurtig måte å måle pH på, men metoden har visse begrensninger. Blant annet kan nevnes at fargeindikatoren som tilsettes har en tendens til å buffre inn mot midten av måleområdet ¹⁾. Hvis vannprøven i seg selv har liten bufferkapasitet, vil dette utgjøre en feilkilde. Ved kontrollmålinger i vannverket har komparatoren avveket opptil 0,4 pH-enheter i forhold til pH-meter. Hvis pH ved fellingen skal kontrolleres med komparator vil det foreligge muligheter for å kunne felle utenfor optimalt pH-område. Sett på bakgrunn av dette vil vi anse at vannverket er bedre tjent med å bruke pH-meter istedenfor komparator.

2.5. Konklusjon på undersøkelsene vedrørende optimalt pH-område ved felling

- 1) Ved Horten vannverk bør pH ved felling holdes innen området 6,1 - 7,2. I praksis bør man ta sikte på å holde seg midt i dette området, d.v.s. ved ca. pH 6,5.
- 2) pH-meter bør benyttes til kontrollmåling.

3. FORSØK MED HJELPEKOAGULANTER

3.1. Innledning

Fra 24/7 til 8/8-1970 ble Wisprofloc 20 forsøkt som hjelpekoagulant ved vannverket med gunstig resultat (resultatene er gjengitt i vårt brev av 18. august 1970). Etter dette ble Wisprofloc 20 tatt i bruk ved vannverket. Hjelpekoagulant ble tilsatt i en dose som varierte fra 1,5 - 2 ppm. Ved tilsats av hjelpekoagulant ble filtrenes driftstider noe nedsatt, og hjelpekoagulant ble derfor bare benyttet i perioder da det var nødvendig, dvs. i perioder med "overkoking" av slam i sedimenteringstanken. Ved bruk av hjelpekoagulant kunne også kapasiteten økes til ca. 680 m³ pr. time uten at man risikerte "overkoking" av slam i sedimenteringstanken.

Fra september 1971 uteble imidlertid den gunstige virkning med Wisprofloc 20. Tilsats av Wisprofloc 20 ga bare ubetydelig bedring av sedimenteringen, og sandfiltrene tettet seg relativt fort.

Muligens skyldtes dette en bedring av råvannskvaliteten som vanligvis opptrer når høsten kommer. Den lave råvannstemperaturen kan også ha hatt betydning. I tidligere år gikk vannverket over til råvannsfiltrering i perioder med godt råvann og fellingsproblemer. Statens institutt for folkehelse har imidlertid nå forlangt felling året rundt, og for å muliggjøre anvendelse av hjelpekoagulant under også slike forhold, ble det besluttet å gjøre forsøk med andre hjelpekoagulanter enn Wisprofloc 20.

3.2. Laboratorieforsøk

De hjelpekoagulanter som ble undersøkt var Wisprofloc P og Purifloc N 17. Wisprofloc P er likesom Wisprofloc 20 tidligere godkjent av Statens institutt for folkehelse. Wisprofloc P er en kationisk hjelpekoagulant laget på stivelsebasis. Purifloc N 17 er en syntetisk nonionisk hjelpekoagulant laget på polyacrylamid-basis. Sjefsingeniør Haffner ved Statens institutt for folkehelse har gitt muntlig tilsagn om at også Purifloc N 17 vil bli godkjent for bruk i norske vannverk. For å få et sammenlikningsgrunnlag ble også Wisprofloc 20 benyttet ved laboratorieforsøkene.

Laboratorieforsøkene er foretatt i 1 liters begerglass i laboratorieflokkulator. Forsøkene er gjort med råvann hentet fra vannverket 28/1-72. Hensikten med forsøkene var å undersøke i hvilken grad Wisprofloc P eller Purifloc N 17 kunne gi flokkene bedre sedimenteringsegenskaper enn tilsats av Wisprofloc 20. Som det fremgår av resultatene i tabell 3, ga tilsats av Purifloc N 17 og Wisprofloc P flokkene klart bedre sedimenteringsegenskaper enn Wisprofloc 20. Laboratorieforsøket indikerte at Purifloc N 17 var best, men forskjellen mellom Purifloc N 17 og Wisprofloc P var ikke stor. Ved forsøket ble prøvene holdt nedkjølt i 4°C, forat temperaturen skulle være omtrent den samme som for råvannet under vinterhalvåret.

3.3. Forsøk med Wisprofloc 20 i vannverket

Som foreslått i vårt program av 30/11-71, har vi foretatt et forsøk for å undersøke hvilken effekt tilsats av hjelpekoagulant har på sedimenteringsforløpet. Forsøket ble foretatt fra 28/1 til 9/2-72. Opplegget ble imidlertid noe forenklet i forhold til det opprinnelig foreslåtte program. Således ble forsøk nr. 1 og 4 som foreslått under pkt. 1 i programmet, sløffet.

Før forsøket tok til hadde aluminiumsulfat og hjelpekoagulant vært tilsatt samtidig i første koaguleringskammer. Ved lav temperatur er det imidlertid normalt at hjelpekoagulantene blir blandet inn i vannmassen etter alumtilsatsen på et sted hvor hydroksydfnokene såvidt er blitt synlige, dvs. like etter koaguleringen. Scholtens Chemische Fabriek N.V. som produserer Wisprofloc, har opplyst at Wisprofloc bør tilsettes minst 30 sekunder etter aluminiumsulfatet. Før forsøket ble igangsatt ble derfor doseringspunktet for Wisprofloc flyttet til utløpet av porten mellom kammer nr. 2 og 3. Aluminiumsulfatet ble tilsatt i kammer nr. 2. Med en kapasitet på 550 m^3 pr. time ble da tidsdifferansen mellom doseringspunktene for aluminiumsulfat og hjelpekoagulant ca. 2 min. For å forbedre innblandingen av hjelpekoagulant i vannmassen ble løsningen ledet ut i et perforert rørsystem som var plassert ved utløpet av porten.

Den første uken under forsøket ble det tilsatt 1,5 ppm Wisprofloc 20. Alumdosen var 50 ppm og råvannskapasiteten ca. $550 \text{ m}^3/\text{t}$. Etter en uke var det meningen å avbryte doseringen av Wisprofloc 20 for at vannverket skulle gå en uke med bare tilsats av alum. Etter bare 2 dagers drift uten Wisprofloc 20 fikk man imidlertid problemer med "overkoking" av slam i sedimenteringstanken og tilsatsen av Wisprofloc 20 måtte igjen igangsettes. Resultatene av dette forsøket er gjengitt i tabell 4 og viser bare små forskjeller i verdiene for farge, turbiditet, KMnO_4 -tall og aluminium for sedimentert og filtrert vann i periodene med og uten tilsats av hjelpekoagulant. Sammenlikninger av verdiene i periodene med og uten hjelpekoagulant blir noe usikre da antallet observasjoner fra perioden uten tilsats av hjelpekoagulant er få i forhold til perioden hvor hjelpekoagulant har vært tilsatt. Hovedvirkningen av Wisprofloc 20 var altså eliminering av "overkoking".

3.4. Filtrenes driftstider ved tilsats av hjelpekoagulant

Ved tilsats av hjelpekoagulanter i vannverk er det ikke uvanlig at filtrenes driftstider blir noe forkortet når filtermassen består av et enkelt sandlag med en kornstørrelse på ca. 0,5 - 0,8 mm slik som ved Horten vannverk. Denne effekt er tidligere erfart ved utenlandske vannverk og ved forsøk som vårt institutt har foretatt ved Oppegård vannverk. Forklaringen er antakelig at bruk av hjelpekoagulant gir sterkere fnokker som bare i liten grad blir trukket ned i filtermassen. Fnokkene vil altså akkumulere seg i overflaten av filtermassen og dette kan gi en forholdsvis hurtig øking av filtermotstanden. Denne effekt kan unngås ved bruk av et dobbelt filterlag bestående av normal filtersand nederst og et grovere antrasittlag på toppen. ²⁾

Ved forsøket med Wisprofloc 20 i vannverket var filtrenes driftstider følgende:

Dosering av 1,5 ppm Wisprofloc 20	Filter nr.	Observerte driftstider i timer	Gj.sn.verdier timer
28/1 - 2/2-72 og	1	36, 36, 52, 94	55
3/2 - 9/2-72	2	53, 45, 65	54 53
	3	36, 50, 46, 69	50

Den gjennomsnittlige driftsperiode på filtrene ved bruk av Wisprofloc 20, 53 timer, er noe lavere sammenliknet med perioder hvor vannet kan felles uten hjelpekoagulant. I slike perioder kan driftstiden gå opp til ca. 72 timer og mer. En driftstid på 53 timer kan likevel ansees som akseptabel ettersom laveste mulige driftsperiode ved normal kapasitet er ca. 25 - 30 timer. Ved kortere driftsperioder enn dette blir spylevannsforbruket så høyt at vannverket ikke greier å levere nok vann.

3.5. Forsøk med Wisprofloc P i vannverket

På grunnlag av laboratoriefellingsforsøkene med Wisprofloc 20, Wisprofloc P og Purifloc 17 (tab. 3), ble det besluttet å forsøke

Wisprofloc P i vannverket. Wisprofloc P ga fnokkene klart bedre sedimenteringsegenskaper enn Wisprofloc 20 ved laboratorieforsøket og var bare ubetydelig dårligere enn Purifloc N 17. Sistnevnte hjelpekoagulant var heller ikke på det daværende tidspunkt blitt godkjent av Statens institutt for folkehelse for bruk i norske vannverk.

Wisprofloc P ble første gang forsøkt i vannverket den 28/2-72. Wisprofloc 20 ble på det daværende tidspunkt tilsatt i en dose på 1,5 ppm, men man hadde likevel problemer med overkoking, og av denne årsak hadde kapasiteten denne dagen derfor blitt satt ned fra 550 til 450 m³/time. pH i fellingstanken ble kontrollert med pH-meter og denne ble funnet å være 6,5, dvs. i det optimale pH-området. Man skiftet så over til dosering med Wisprofloc P (1,5 ppm) og dette øket straks fnokkstørrelsen fra ca. 3-4 mm til ca. 8-10 mm. Etter ca. 2 timer var slamskyene i sedimenteringstanken forsvunnet og kapasiteten kunne igjen økes til 550 m³/time uten vanskeligheter. I dette tilfelle gjorde således bruken av Wisprofloc P det mulig å opprettholde den ønskede kapasitet ved vannverket.

Fra 28/2 til 16/3-72 ble Wisprofloc P benyttet periodevis ved vannverket. Filtrenes driftstider har vært noe vekslende, men stort sett reduserer Wisprofloc P filtrenes driftstider med ca. 25 - 30% i forhold til det som kan oppnås når vannverket går uten tilsats av hjelpekoagulant. Fra 28/2 til 16/3-1972 ble det tilsatt permanganat i vannverket i forbindelse med manganfjerning, men dette har neppe hatt noen innvirkning på de erfaringer som ble gjort med Wisprofloc P i denne perioden.

Fra den 15/3 til 23/3-72 ble det gjort forsøk for å undersøke om tilsats av Wisprofloc P kunne øke kapasiteten ytterligere. Klokken 0930 den 15/3 ble vannføringen satt opp til 620 m³/time (råvannsføring) og alumdosen satt til 50 ppm. Doseringen av Wisprofloc P ble satt til 0,5 ppm uten at dette ga særlig mindre fnokker enn det som tidligere var blitt oppnådd med en dose på 1,5 ppm. Anlegget gikk med denne kapasitet til neste dag uten vanskeligheter med "overkoking". Neste dag ble doseringen av Wisprofloc P avbrutt for å undersøke om dette ga overkoking.

Noen overkoking av slam i sedimenteringstanken forekom imidlertid ikke, selv ikke da kapasiteten ble satt opp til 720 m^3 råvann/time. Dette er råvannpumpens maksimalkapasitet. Ut fra dette vil det kunne forstås at på grunn av de gode driftsforhold man hadde ved vannverket i denne perioden, var det ikke mulig å få undersøkt i hvilken grad tilsats av Wisprofloc P kunne øke kapasiteten ved vannverket.

3.6. Virkingen av forandring i slamtømmingsprosedyre

Det er grunn til å anta at de vanskeligheter vannverket har hatt med overkoking av slam i sedimenteringstanken delvis kan ha hatt sin årsak i mangelfull slamavtapping fra sedimenteringstanken. Ved mangelfull slamavtapping vil man kunne tenke seg at slam kan akkumuleres på visse steder nede i sedimenteringstanken slik at noen av utløpsportene fra flokkuleringstanken blokkeres. Dette vil i såfall kunne øke utløpshastigheten i de øvrige portene slik at slammet her løftes opp til overflaten. Dette kan kanskje være forklaringen på at overkokingen av slam som regel finner sted på bestemte steder i sedimenteringstanken. Slamtømmingen har tidligere vært gjort ved at ventilene for slamavtappingsrørene i bunnen av sedimenteringstanken ble åpnet en gang i timen i 120 sekunder. Den 24/1-72 ble dette forandret slik at slamtømmingen nå foregår hver halv-time i 80 sekunder. Betjeningen ved vannverket har opplyst at denne forandring har gjort at de ikke så ofte må tømme sedimenteringstanken for å fjerne fastsittende slam. Det er opplyst at når det samler seg opp slam i bunnen av sedimenteringstanken som ikke lar seg fjerne ved slamtømmingen, øker dette faren for "overkoking". Sammenfatningsvis kan man altså si at forandringen av slamtømmingsmåten har redusert hyppigheten av "overkoking" av slam.

3.7. Vurdering av polyelektrolytt anvendt som filterhjelp (Filter conditioner)

I fullrenseanlegg er det vanligvis to måter polyelektrolytt kan brukes på. Enten kan polyelektrolytten tilsettes før flokkuleringstanken som hjelpekoagulant, slik at fnokkenes sedimenterings-

egenskaper bedres, eller den kan tilsettes før filtrerne slik at filtreringsegenskapene bedres. En kombinasjon av disse to bruksmåter er også mulig. Det er den førstnevnte måten som har vært forsøkt ved Horten vannverk. Forsøk med polyelektrolytt tilsatt som filterhjelp (filter conditioner) er ennå ikke forsøkt ved Horten vannverk. Ved å tilsette polyelektrolytt før filtrerne kan man oppnå at partiklene i større grad holdes tilbake i filtrerne slik at kvaliteten på det filtrerte vann bedres. Dette vil i praksis bety en reduksjon av turbiditeten og dermed også innholdet av organisk stoff og partikulært mangan og jern. Når polyelektrolytt anvendes som filterhjelp, er dosen langt lavere enn det som er tilfelle når det brukes som hjelpekoagulant. Dosen pleier vanligvis å variere mellom 0,002 til 0,01 ppm. Når det gjelder innvirkningen på filtrenes driftstider, vil en slik doseringsmåte normalt ikke kunne øke disse. Med riktig dose vil heller ikke driftstidene forkortes i noen vesentlig grad ifølge utenlandske erfaringer³⁾. Som det fremgår av analyseresultater for filtrert vann i denne rapport (tab. 4 og 6), har verdiene for turbiditet og innholdet av organisk stoff ved enkelte anledninger vært noe høye. Sett på bakgrunn av dette kan det kanskje være hensiktsmessig å forsøke polyelektrolytt som filterhjelp.

3.8. Diskusjon

Forsøkene i vannverket har vist at både Wisprofloc 20 og Wisprofloc P motvirker overkoking av slam i sedimenteringstanken. I perioder hvor Wisprofloc 20 ikke har kunnet motvirke "overkoking" har Wisprofloc P muliggjort normal drift. Dette bekrefter således laboratorieforsøkene som har vist at Wisprofloc P gir fnokkene bedre sedimenteringsegenskaper enn Wisprofloc 20. Wisprofloc P har imidlertid inntil nå bare vært forsøkt i en forholdsvis kort tidsperiode, og det er derfor for tidlig å si noe om denne polyelektrolytt vil vise seg effektiv ved alle tilfeller av "overkoking" av slam i fremtiden.

Ved tilsats av Wisprofloc P og Wisprofloc 20 i en dose på 1,0 til 1,75 ppm blir filtrenes driftstider redusert i forhold til det som er vanlig når vannverket går normalt uten overkoking med bare

aluminiumsulfatfelling. Den gjennomsnittlige nedsettelse av driftstiden er stort sett ca. 30 %. En mulig medvirkende årsak til denne effekt kan kanskje være at tilsatsen av hjelpekoagulant har vært for stor. Utilstrekkelig innblanding av hjelpekoagulant før sedimenteringstanken kan også ha hatt betydning i denne sammenheng. Ved fremtidige forsøk med hjelpekoagulant vil vi derfor foreslå at det forsøkes med en lavere dose av hjelpekoagulant enn det som hittil har vært forsøkt. Passende dose kan kanskje være 0,3 - 0,5 ppm. I det nåværende doseringspunkt for hjelpekoagulant er hastighetsgradientene lave, og det bør derfor lages en anordning for å øke turbulensen i vannet på dette sted. Et enkelt system med ledevegger vil kanskje være hensiktsmessig.

I enkelte perioder har det i vannverket vært benyttet en alumdose på opptil 75 - 85 ppm. Ut fra turbiditeten i råvannet er det grunn til å anta at denne dose er høyere enn den såkalte optimale alumdose. Denne kan bestemmes ved laboratorieforsøk. Man bør ikke tilsette mer aluminiumsulfat enn det som er nødvendig slik at mengden av utfelt slam kan holdes på et minimum. Dette vil også redusere mengden av fnokker som går over på sandfiltrene.

3.9. Konklusjon

1. Laboratorieforsøkene har vist at Purifloc N 17 og Wisprofloc P er klart bedre enn Wisprofloc 20 med hensyn til å øke fnokkenes sedimenteringsegenskaper. Laboratorieforsøkene synes å vise at Purifloc N 17 gir litt bedre sedimenteringsegenskaper enn Wisprofloc P, men forskjellen er liten.
2. Ved forsøk i vannverket har det vist seg at Wisprofloc P motvirker "overkoking" av slam i sedimenteringstanken i sterkere grad enn Wisprofloc 20.
3. Tilsats av både Wisprofloc P og Wisprofloc 20 reduserer filterenes driftstider med ca. 30% i forhold til det som kan oppnås når vannverket går normalt med bare alumfelling.

4. For å redusere den raskere økingen av filtermotstanden ved bruk av hjelpekoagulant, bør dosen ikke være høyere enn det som er nødvendig for å motvirke "overkoking". Passende dose bør forsøksvis være 0,3 - 0,5 ppm.
5. Innblandingen av hjelpekoagulant i vannmassen bør forbedres.
6. Alumdosen bør ikke være høyere enn nødvendig for å redusere mengden av utfelt slam i sedimenteringstanken og dermed også mengden av fnokker som går over på sandfiltrene.
7. Tilsats av små mengder av polyelektrolytt før filtrene bør prøves for å undersøke om dette kan forbedre kvaliteten på filtrert vann.

4. FORSØK MED MANGANFJERNING

4.1. Innledning

Tidligere, da vannverket tok sitt råvann fra ca. 14 meters dyp, var det vanlig at råvannet i stagnasjonsperiodene kunne inneholde ganske mye mangan. Som eksempel kan nevnes den siste delen av sommerstagnasjonsperioden i 1969. Fra midten av juli til midten av september dette år øket manganinnholdet fra ca. 600 til henimot 2000 $\mu\text{g Mn/l}$. (Vår rapport av 29. desember 1969). Den 12/10-69 ble inntaksdypet forandret til 8 meters dyp for å gi råvann med bedre kvalitet. Ifølge analyseresultater fra 9/12-69 til 9/6-70 ga dette råvann med lavere manganinnhold. (Vår rapport av 1. juli 1970).

Fra 2/12-71 til 28/1-72 ble det noe uventet en økning av manganinnholdet fra 70 til 600 $\mu\text{g mangan pr. liter}$ (tab. 1, 2 og 4). Det er mulig at dette kan ha sammenheng med uvanlig sen islegging. Sterk vind kan ha skapt en blanding av vannmassene like før isleggingen, slik at bunnvann med høyt manganinnhold har blitt transportert oppover i vannmassen. Som det fremgår av analyseresultatene (tab. 6) ble manganinnholdet i liten eller ingen grad redusert i renseanlegget. Dette viser at manganet forelå i oppløst tilstand som toverdige man-

gan Mn^{2+} . I ledningsnettets ble det oppløste mangan oksydert og utfelt som brunsten sannsynligvis på grunn av mikrobiologisk aktivitet. Dette ga en betydelig økning i ledningsvannets turbiditet og farge. Det kom en rekke klager fra konsumentene, særlig fra husmødre som hadde fått brune avsetninger på tøyvet ved vask. Det kan her innskytes at under hele perioden fram til manganfjerningsforsøket i vannverket tok til, var innholdet av jern i filtrert vann lavt. (tab. 2, 4 og 6). Utfelling av jern har derfor neppe medvirket til kvalitetsforringelsen av ledningsvannet.

På dette tidspunkt hadde NIVA nettopp avsluttet et vellykket forsøk med manganfjerning ved Oppegård vannverk ved tilsats av kaliumpermanganat $KMnO_4$ til råvannet. Den 16/2-72 ble det avtalt at NIVA skulle foreta et tilsvarende forsøk ved Horten vannverk.

4.2. Vurdering av metoder for manganfjerning i Horten vannverk

De fleste metoder for fjerning av mangan i et renseanlegg, tar sikte på å felle ut det oppløste mangan som brunsten før koaguleringen slik at det kan flokkuleres sammen med andre kolloider i råvannet. Utfellingen av det oppløste mangan til brunsten kan foretas ved lufting ved høy pH, kloring ved høy pH, tilsats av klordioksyd eller kaliumpermanganat $KMnO_4$. Lufting og kloring vil vi anse som mindre egnede metoder, fordi den mulige teoretiske oppholdstiden i anlegget før alumtilsatsen er for kort til at det utfelte mangan kan oksyderes fullstendig. Klordioksyd oksyderer mangan hurtigere enn klor, men er foreløpig ikke vurdert da utstyr for produksjon av klordioksyd ikke finnes i vannverket. Det kan nevnes at klordioksyd er mer kostbart enn klor. Kaliumpermanganat oksyderer toverdig mangan til brunsten meget hurtig. Prisen for kaliumpermanganat er forholdsvis rimelig og det kreves intet spesielt utstyr for dosering. Oppløst mangan kan også fjernes ved å brunstenbelegge sandkornene i filteret ved hjelp av kaliumpermanganat. Dette katalyserer oksydasjonen av oppløst mangan ved hjelp av det oksygen som finnes i vannet. Denne fremgangsmåte har tidligere vært forsøkt ved Oppegård vannverk. Metoden hadde imidlertid der visse ulemper, og vi har derfor ikke villet foreslå denne metode. Ut fra disse vurderinger ble tilsats av kaliumpermanganat før koaguleringen ansett for å være den mest lovende metoden.

4.3. Laboratorieforsøk

Laboratorieforsøkene er utført i den samme laboratorieflokkulatoren som har vært benyttet ved fellingsforsøkene med hjelpekoagulanter. Prøvene ble først omrørt med permanganat i 3 minutter for at det oppløste mangan skulle kunne bli utfelt før alumtilsatsen. Ved tilsats av alum ble det utfelte mangan, d.v.s. brunsten, koagulert og fjernet ved sedimentering og filtrering. Resultatene av laboratorieforsøkene er gjengitt i tabell 5.

Laboratorieforsøk nr. 1 (tab. 5) viser den manganfjerningseffekt som ble oppnådd ved tilsats av permanganat uten forkalking. Denne prøveserie ble utført før manganfjerningsforsøkene i vannverket tok til. Som det sees av resultatene, ble det oppnådd best resultat med en permanganatdose på 1,5 mg/l. Manganinnholdet ble da redusert fra 600 til 50 µg/l, d.v.s. en reduksjon på 91,6%.

Laboratorieforsøk nr. 2 (tab. 5) viser den manganfjerningseffekt som ble oppnådd ved at råvannet ble forkalket før permanganattilsats. Dette laboratorieforsøket ble utført etter at driftforsøkene i vannverket hadde pågått i en tid. Det vil sees at med forkalking ble det oppnådd en noe bedre manganfjerning med omtrent bare halvparten av den permanganatdose som ble benyttet i forsøk nr. 1. Årsaken til at dette forsøk ble utført, vil bli nærmere omtalt under pkt. 4.4. Resultatene av forsøk 1 og 2 er forøvrig illustrert i fig. 2.

4.4. Forsøk med manganfjerning i vannverket

På grunnlag av laboratorieforsøk nr. 1 (tab. 5) ble det den 22/2-72 igangsatt dosering av KMnO_4 til råvannet. Permanganat av teknisk kvalitet med en oppgitt renhet på 99% ble benyttet. Permanganatet ble tilsatt i 2,5% i løsning gjennom et plastrør til det punkt hvor råvannet strømmer inn i det første kammeret i vannverket (overløpskammeret). Det ble valgt å begynne med en dose på 2 ppm, d.v.s. litt høyere enn den optimale dose som ble funnet ved laboratorieforsøket. Etter ca. 2 timers dosering ble vannmassen i renseanlegget uventet svakt rødfarget. I filtrert vann kunne det også

observeres en anelse av rødfarge. Etter dette ble permanganatdosen gradvis redusert til ca. 1,2 ppm og rødfargen i vannmassen forsvant. Det kan nevnes at ved laboratorieforsøket kunne det ikke observeres noen rødfarge, selv ved en permanganatdose på 2,5 ppm.

Doseringen av kaliumpermanganat til råvannet fortsatte fram til den 28/2. I enkelte kortvarige perioder fikk vannmassene igjen en svak rødfarge, og dette bevirket at filtermotstanden økte betydelig raskere enn normalt. Prøver som ble tatt den 23/2 og den 28/2 viste en manganfjerning på 45 til ca. 56%, d.v.s. lavere enn ved det tilsvarende laboratorieforsøket.

Ettersom tilsats av permanganat til råvannet ikke ga den gode manganfjerning som ble oppnådd ved laboratorieforsøket, ble det besluttet å gjøre forsøk med forkalking av råvannet før permanganat-tilsats. Ifølge utenlandske erfaringer kan kalking av råvannet til pH 7,5 til ca. 8 før permanganattilsatsen øke manganfjerningseffekten samtidig som permanganatdosen kan reduseres. 4), 5), 6). Laboratorieforsøk 2 (tab. 5) hvor råvannet er kalket til pH 7,75 før permanganattilsats, synes å bekrefte dette. Med en permanganatdose på 0,75 ppm ble det oppnådd en manganfjerning på 94,4%, mens det uten kalking (forsøk 1) var nødvendig med en permanganatdose på 1,5 ppm for å oppnå tilnærmedesvis samme manganreduksjon.

Fra den 28/2-1972 ble råvannet i vannverket kalket med forkalkingsapparatet i vannverket før permanganattilsats. Alumdoseringen ble flyttet til innløpet til kammer nr. 3, slik at råvannet etter permanganattilsatsen fikk en teoretisk oppholdstid på ca. 3 min. (ved $550 \text{ m}^3/\text{time}$) før alumtilsatsen. Man tok sikte på å holde pH i råvannet på ca. 7,7, men på grunn av tekniske vanskeligheter var det ikke til å unngå at det ble en del svingninger i pH. Permanganatdosen ble gradvis redusert til 1 ppm, og fra 1/3 og til den 23/3 da forsøket ble avsluttet, lå manganreduksjonen i gjennomsnitt på ca. 88%. (tab. 6). Variasjonene av manganinnholdet i råvann og filtrert vann under forsøket er forøvrig vist i fig. 3.

Selv om tilsats av permanganat ga en hurtig reduksjon av mangan i renvannet ut fra renseanlegget, tok det en viss tid før verdiene

for mangan, farge og turbiditet ble redusert i påviselig grad ute på nettet (tab. 6). Den 6/3 var manganinnholdet i vann fra Skippergt. 9 kommet ned i 75 µg/l, mens fargen var 5 mg Pt/l. Ved prøvetaking senere i perioden med manganfjerning ble det påvist høyere konsentrasjoner av mangan i vann fra dette prøvetakingsstedet, selv om manganfjerningen i renseanlegget gikk tilfredsstillende. Det er grunn til å anta at dette skyldes tilfeldige utspylinger av avleiret brunsten i ledningene. Det vil videre fremgå av resultatene at verdiene for farge, turbiditet, permanganattall og mangan for prøver fra Skippergt. 9 gjennomsnittlig lå lavere i perioden med manganfjerning sammenliknet med perioden før manganfjerningsforsøket tok til. Vi regner med at denne kvalitetsforbedring på ledningsvannet skyldes manganfjerningen i vannverket, selv om råvannet i forsøksperioden var noe bedre enn i perioden før manganfjerningsforsøket.

4.5. Innvirkning av permanganat på vannets lukt og smak

Under manganfjerningsforsøket var det av interesse å få klarlagt om tilsatsen av permanganat kunne ha noen gunstig innvirkning på renvannets lukt og smak.

Før manganfjerningsforsøket tok til, ble det gjort avtale med Kjøtt- og Næringsmiddelkontrollen i Borre, Holmestrand og Horten om å foreta analyser av lukt og smak på ledningsvannet før og under forsøket. Av disse analysene kan det fastslås at tilsats av kaliumpermanganat i de konsentrasjoner som ble benyttet, 1 - 2 ppm, ikke hadde noen påviselig effekt på lukt og smak. Dette kan sees av verdier for den 22/2 og 24/2 i tab. 7.

4.6. Undersøkelse i forbindelse med nytt inntaksdyp

Selv om forsøket med manganfjerning hadde gitt godt resultat, ble det den 1/3-1972 besluttet å undersøke om råvannet kunne tas på et mindre dyp hvor manganinnholdet normalt er lavere. Den 2/3-1972 ble det tatt en serie med vannprøver i Borrevatnet, og det ble også tatt vann fra 2, 4 og det daværende inntaksdyp, 8 m, for fellingsforsøk. Analyseresultatene er gjengitt i tabell 8. Som ventet var manganinn-

holdet lavere på mindre dyp, og vann fra ca. 2 - 4 meters dyp syntes å ha gunstig fysisk/kjemisk kvalitet. Både mangan- og jerninnholdet var akseptabelt, og lukten var mindre intens enn fra inntaksdypet på 8 m. Fellingsforsøkene med vann fra 2 og 4 meter viste at det tilsynelatende ikke var vanskeligere å felle vann fra disse dyp enn fra 8 m (tab. 9). Koagulert og filtrert vann fra 2 m dyp hadde også lavere fargetall enn vann fra inntaksdypet.

Den 23/3-1972 ble inntaksdypet forandret fra 8 til ca. 1,5 m. Samtidig ble forsøket med tilsats av permanganat til råvannet for fjerning av mangan i vannverket avsluttet. Man hadde ved vannverket ingen spesielle problemer med å felle vann fra 1,5 m dyp. Som det sees av analyseresultatene for filtrert vann den 24/3 og den 10/4 (tab. 10), var nå kvaliteten av renvannet ut fra vannverket tilfredsstillende. Det gikk imidlertid ennå en tid før vannet ute på nettet var av like god kvalitet som det utgående renvann fra vannverket. Den 5/4 ble det rapportert om brunfarget vann fra Baggerødgate i Horten, men prøver som ble tatt fra forskjellige hydranter på nettet i Horten den 10/4 viste at det brunfargede vannet skyldtes brunsten som hadde samlet seg opp i grenrørene opp til hydrantventilene. Etter kort tids tapping var vannet igjen klart. Prøvene som ble tatt i Baggerødgate og i Skippergaten 9 samme dag hadde imidlertid høyere manganinnhold enn renvannet ut fra vannverket, men årsaken til dette var antakelig at avleiret brunsten i ledningene fortsatt ble spylt ut. Den 26/4 var imidlertid vann fra både Skippergt. 9 og fra Holtandalen av tilnærmedesvis like god kvalitet som utgående renvann fra vannverket.

Det vil også kunne sees at prøver som ble uttatt den 18/4 og den 30/5, d.v.s etter at inntaket var hevet, hadde lavere verdier for lukt sammenliknet med prøver som ble analysert mens vannverket ble forsynt med råvann fra 8 meters inntaket (tab. 7).

4.7. Diskusjon

Undersøkelser har vist at et innhold på 400 til 700 µg løst mangan pr. liter har hatt en betydelig negativ innvirkning på renvannets kvalitet. Det oppløste mangan har blitt felt ut til brunsten og

har gitt en markant økning i renvannets farge og turbiditet. Den utfelte brunstenen har i mange tilfeller gitt brune avsetninger på klesvask, og den høye fargen på vannet har likeledes gjort at mange konsumenter har kviet seg for å bruke vannet som drikkevann. I fremtiden er det således grunn til å treffe de nødvendige tiltak for å holde mangankonsentrasjonen i renvannet på et betryggende lavt konsentrasjonsnivå. Etter moderne krav til drikkevann, bør mangankonsentrasjonen ikke overstige 50 µg Mn/l.

Ved høye mangankonsentrasjoner i råvannet bør det undersøkes om det er mulig å ta råvannet fra et annet dyp med lavere manganinnhold. Under vinterstagnasjonen 1971/72 var det gunstig å heve råvannsinntaket fra 8 til ca. 2 meter hvor manganinnholdet var lavt. Det bør imidlertid nevnes at det kan være hygienisk betenkelig å ta råvann fra små dyp, da dette ofte inneholder større mengder bakterier enn vann fra større dyp. I fremtiden bør derfor inntaket ikke heves mer enn nødvendig.

Hvis manganinnholdet i råvannet viser økende tendens i til eks. midten eller slutten av en sommerstagnasjonsperiode, kan det kanskje være vanskelig å unngå manganholdig råvann ved å flytte inntaket til et mindre dyp, fordi det vanligvis på denne årstid forekommer store algekonsentrasjoner i overflatelaget som erfaringsmessig gir vanskeligheter ved rensingen. I slike tilfeller kan manganet i råvannet fjernes i vannverket ved tilsats av kaliumpermanganat. Ved manganfjerningsforsøket fra den 23/2 - 23/3-1972 ble det oppnådd best manganfjerning ved oksydasjon ved pH 7,5 - 7,7. Manganinnholdet ble da redusert fra i gjennomsnitt ca. 480 µg Mn/l til ca. 60 µg Mn/l, d.v.s. en reduksjon på ca. 88%. Optimal permanganatdose under forsøket var 1 ppm, og dette gir forholdet permanganatdose:manganinnhold i råvann = ca. 2:1. Årsaken til at permanganat oksyderer toverdig mangan mer effektivt i basisk miljø enn i surt, er at Mn^{2+} oksyderes mer selektivt og dermed kan også permanganatdosen reduseres. 5)

Undersøkelse av lukt og smak før og under manganfjerningsforsøket viste at permanganatdosen som ble nyttet, d.v.s. 1-2 ppm, ikke hadde noen påviselig effekt på renvannets lukt og smak. Dette behøver ikke å bety at permanganat ikke oksyderer de stoffer som gir lukt og

smak, men at oksydasjonsproduktene kanskje er av en slik art at disse også gir lukt og smak.⁷⁾ Det er mulig at behandling med både permanganat og aktivt kull samtidig kan være mer effektivt. Dette må eventuelt bli gjenstand for videre undersøkelser. Tidligere undersøkelser har forøvrig vist at aktivt kull kan redusere lukt på vann fra Horten vannverk (vår rapport av 29/12-1969).

Ved manganfjerningsforsøket i vannverket viste det seg at det ofte var vanskelig å holde korrekt pH ved manganoksydasjonen. Dette kunne ha innvirkning på resultatene slik som til eksempel den 16/3 da manganfjerningen var mindre tilfredsstillende på grunn av svikt i forkalkingen. Hvis permanent utstyr for manganfjerning skal installeres i vannverket, bør det derfor installeres en automatisk pH-alarm som kan varsle hvis pH ved manganoksydasjonen ikke er optimal. Likeledes bør det gjøres oppmerksom på at permanganat kan tørrdoseres. Derved vil man kunne unngå plasskrevende oppløsningstanker og det søl som gjerne er forbundet med tillagningen av permanganatløsning.

4.8. Konklusjon

1. Undersøkelsene har vist at høyere konsentrasjoner av oppløst mangan i renvannet fra vannverket felles ut i vannledningene og skaper betydelige ulemper for konsumentene. En bør derfor hyppig kontrollere råvannets manganinnhold og treffe tiltak for å unngå at mangan kommer ut på nettet.
2. Hvis mulig bør manganholdig råvann unngås ved å legge inntaket til dyp med lavere manganinnhold.
3. I de tilfelle hvor man vanskelig kan unngå manganholdig råvann, kan det oppløste manganet fjernes i vannverket ved tilsats av kaliumpermanganat til råvannet. Manganoksydasjonen bør foregå i pH-området 7,5 - 7,7 etter forkalking. Forsøk har vist at over 90% av oppløst mangan kan fjernes på denne måte. Permanganatdosen bør fastsettes ved laboratorieforsøk.

4. Forsøkene har hittil ikke vist at permanganattilsats reduserer renvannets lukt og smak i påviselig grad. Det er mulig at tilsats av aktivt kull ved siden av permanganat kan gi en tilfredsstillende reduksjon av renvannets lukt og smak.

5. LITTERATUR

- 1) Jenssen, Ingebrikt:
Artikkel i "Vann" nr. 1 1972.
- 2) Minz, D. M.:
"Aids to coagulation"
International Water Supply Association, London 1964.
- 3) Geise, Pitman, Wells:
"Use of Filter Conditioner in Water Treatment"
Jour. AWWA Oct. 1967.
- 4) Höll, Karl:
"Wasser". Vierte Auflage
Verlag Walter de Gruyter & Co., Berlin.
- 5) Adams, Reginald B.:
"Manganese Removal by Oxidation with Potassium Permanganate"
Jour. AWWA Feb. 1960.
- 6) Griffin, Attmore E.:
"Significance and Removal of Manganese in Water Supplies"
Jour. AWWA Oct. 1960.
- 7) Dougherty, Morris:
"Studies on the Removal of Actinomycete Musty Tastes and Odor
in Water Supplies"
Jour. AWWA Oct. 1967.

Tabell 1. Undersøkelse av optimal fellings pH ved Horten vannverk.
Laboratorieforsøk utført 7/12-1971.

Forsøk nr.	Alum mg/l	ml. $\frac{N}{10}$ HCL pr. 1	Ca(OH) ₂ mg/l	Temp. °C	Målt på filtrert vann				Tid for dannelse av første synlige fnokker
					pH	Farge mg Pt/l	Turbiditet J.T.U.	Aluminium µg/l	
1	40	8		Ca.5	4,4	24	1,8	2000	x)
2	40	6		" 5	5,1	12	1,8	1300	7-8 min
3	40	5		" 5	5,6	12	1,1		Ca. 3 min
4	40	4		" 5	5,9	6	0,42	300	" 3 "
5	40	3		" 5	6,1	4	0,38	140	" 3 "
6	40	2		" 5	6,4	6	0,24	70	" 3 "
7	40	1		" 5	6,6	5	0,23	60	" 3 "
8	40			" 5	6,8	4	0,21	50	" 3 "
9	40		4,8	" 5	7,2	5	0,23	60	" 3 "
10	40		9,7	" 5	7,4	4	0,23	190	" 3 "
11	40		14,5	" 5	7,8	7	0,28	490	" 3 "
12	40		19,5	" 5	8,1	10	0,42	770	" 6 "

x) Ingen koagulering

Anmerkninger:

1. Forsøkene er foretatt i vår laboratorieflokkulator i 1 liters begerglass.

Koaguleringstid ved 200 rpm = 3 min

Flokkuleringstid ved 20 rpm = 57 "

Sedimenteringstid = 60 "

Prøvene ble uttatt 10 mm under overflaten og filtrert gjennom foldefilter Schleicher & Schüll 597½ før analyse.

2. Til forsøkene ble det benyttet råvann fra Borrevatnet hentet 2/12-1971 (8 m)

pH = 7,18 Farge = 40 mg Pt/l $KMnO_4$ -tall = 3,2 mg O/l

Spes.el. ledningsevne 20°C = 213 Turbiditet = 3,2 J.T.U.

Mangan = 70 µg Mn/l Jern = 90 µg Fe/l.

Tabell 2. Kjemisk/fysiske analyseresultater av prøver fra Horten vannverk tatt 2/12-1971.

Prøve	pH	Spes.el. ledn. evne 20°C	Farge mg pt/l	Farge filtr. mg Pt/l	Turbiditet J.T.U.	KMnO ₄ mg O/l	Mangan µg Mn/l	Jern µg Fe/l	Tørrest. filter g/l
Råvann	7,2	213	40	10	3,2	3,2	70	90	0,0026
Felt vann	6,9	-	-	-	0,4	-	70	10	0,0008
Filtret vann	6,8	-	1	-	0,32	1,0	70	10	0
Renvann	8,5	216	11	0	0,78	0,9	-	-	-

Tabell 3. Laboratoriefellingsforsøk med råvann fra Horten vannverk, utført 31/1-1972 med råvann hentet 28/1-1972.

Forsøk	Alum mg/l	Hjelpekoagulant/dose	Temp. °C	Tid for første synlige fnokker	Fnokkesørrelse mm	Rangering etter sedimenteringsegensk.
1	40		4,5	2 min	2-4	4
2	40	Wisprofloc 20 0,5 ppm	4,5	2 "	4-5	3
3	40	" P 0,5 "	4,5	2 "	7-8	2
4	40	Purifloc N 17 0,5 "	4,5	2 "	9-11	1

	pH	Farge mg Pt/l	Turbiditet J.T.U.	KMnO ₄ -tall mg O/l	Mangan µg Mn/l
Råvann 28/1-1972	7,0	72	6,4	4,19	600

Anmerkninger:

1. Innblandingstiden for kjemikaliene var totalt 3 min ved 200 rpm
2. Hjelpekoagulantene ble tilsatt 60 sekunder etter alum
3. Flokkuleringstid ved 20 rpm = 57 minutter.

Tabell 4. Forsøk med Wisprofloc 20 i Horten vannverk 28/1 - 9/2 1972.

Dato	Råvanns- temp. °C	Råvanns- kapasitet m ³ /t	Prøve	pH	Farge mg Pt/l	Turbiditet J.T.U.	KMnO ₄ - tall mg O/l	Aluminium µg Al/l	Mangan µg Mn/l	Wispro- floc 20 dose ppm
28/1	2,0	580	Råvann	7,0	72	6,4	4,19	-	600	
			Sedimentert vann	6,4	5	1,1	1,42	280	600	1,5
			Filtrert vann	6,4	0	0,18	1,42	60	590	
29/1	3,0	470	Råvann	-	-	-	-	-	-	
			Sedimentert vann	-	-	0,63	1,74	320	-	1,5
			Filtrert vann			0,40	1,74	80	-	
30/1	2,0	520	Råvann	-	-	-	-	-	-	
			Sedimentert vann	-	-	0,86	2,77	1050	-	1,5
			Filtrert vann	-	-	0,32	1,58	90	-	

Tabell 4 (forts.)

Dato	Råvanns- temp. °C	Råvanns- kapasitet m ³ /t	Prøve	pH	Farge mg Pt/l	Turbiditet J.T.U.	KMnO ₄ - tall mg O/l	Aluminium µg Al/l	Mangan µg Mn/l	Wispro- floc 20 dose ppm
31/1	2,0	520	Råvann	7,0	79	4,9	4,58	30	-	
			Sedimentert vann	6,0	4	0,69	2,21	320	-	1,5
			Filtrert vann	6,1	0	0,67	1,50	100	-	
1/2	2,0	520	Råvann	-	-	-	-	-	-	
			Sedimentert vann	6,2	7	1,3	-	390	-	1,5
			Filtrert vann	-	0	0,41	1,34	90	-	
2/2	2,0	520	Råvann	-	-	-	-	-	-	
			Sedimentert vann	6,1	3	0,59	-	220	-	
			Filtrert vann		1	0,46	1,34	90	-	
3/2	2,5	520	Råvann	6,8	95	4,5	4,03	20	590	
			Sedimentert vann	6,2	5	1,2	-	330	730	
			Filtrert vann	6,3	0	0,33	0,71	50	730	

Tabell 4 (forts.)

Dato	Råvanns- temp. °C	Råvanns- kapasitet m ³ /t	Prøve	pH	Farge mg Pt/l	Turbiditet J.T.U.	KMnO ₄ - tall mg O/l	Aluminium µg Al/l	Mangan µg Mn/l	Jern µg Fe/l	Wispro- floc 20 dose ppm	
4/2	3,0	520	Råvann	-	-	-	-	-	-	-	-	
			Sedimentert vann	6,2	33	4,4	1,74	1200	-	-	-	1,5
			Filtret vann	6,1	0,50	0,50	1,10	100	-	-	-	-
5/2	2,5	520	Råvann	-	-	-	-	-	-	-	-	
			Sedimentert vann	6,4	24	1,2	1,74	290	-	-	-	1,5
			Filtret vann	6,4	0,38	0,38	1,10	50	-	-	-	-
6/2	2,5	520	Råvann	6,8	120	4,7	3,64	40	630	310	-	
			Sedimentert vann	6,4	31	1,3	1,90	360	660	30	-	1,5
			Filtret vann	6,4	1	0,27	1,58	60	630	10	-	-
7/2	2,5	520	Råvann	-	-	-	-	-	-	-	-	
			Sedimentert vann	6,4	31	1,2	1,66	370	-	-	-	1,5
			Filtret vann	6,4	3	0,58	1,58	70	-	-	-	-

Tabell 4 (forts.)

Dato	Råvann- temp. °C	Råvann- kapasitet m ³ /t	Prøve	pH	Farge mg Pt/l	Turbiditet J.T.U.	KMnO ₄ - tall mg O/l	Aluminium µg Al/l	Mangan µg Mn/l	Jern µg Fe/l	Wispro- floc 20 dose ppm
8/2	3,0	530	Råvann Sedimentert vann Filtrert vann	- 6,6 6,5	- 11 1	- 1,8 0,36	- 1,74 1,19	- 410 50	- - -	- - -	- 1,5
9/2	2,5	530	Råvann Sedimentert vann Filtrert vann	7,1 6,6 -	75 6 1	4,2 0,72 0,33	3,40 1,50 1,50	50 390 70	550 370 660	210 30 20	1,5

Middelverdier for noen parametre:

Prøve	Tids- periode	Antall observasjoner	pH	Farge mg Pt/l	Turbiditet J.T.U.	KMnO ₄ - tall mg O/l	Aluminium µg Al/l
Råvann	28/1 - 9/2	4 - 5	6,9	88	4,9	3,96	40
Med tilsats av hjelpekoagulant	28/1 - 2/2 3/2 - 9/2	9 - 11 7 - 11	6,3 6,3	17 4	1,38 0,44	1,84 1,42	490 70
Uten tilsats av hjelpekoagulant	2/2 - 3/2	2	6,2	4	0,90	-	280
		2	6,3	1	0,40	1,02	70

Tabell 5. Manganfjerningsforsøk i vann fra Horten vannverk. Laboratorieforsøk utført 15/2 og 28/2-1972.
 Forsøk 1. Utført 15/2-1972 med råvann hentet 28/1-1972.

Prøve nr.	Alum mg/l	Wisprofloc P mg/l	KMnO ₄ mg/l	pH ved KMnO ₄ -oksydasjonen	Temp. °C	Målt på filtrert vann		
						Farge mg Pt/l	Mangan µg Mn/l	% Mangan- fjerning
1	50	0,5	0,4	6,9	10	12	380	36,6
2	50	0,5	0,6	6,9	10	-	350	41,6
3	50	0,5	0,8	6,9	10	-	280	53,3
4	50	0,5	1,0	6,9	10	-	190	68,3
5	50	0,5	1,2	6,9	10	-	130	78,3
6	50	0,5	1,5	6,9	10	12	50	91,6
7	50	0,5	2,0	6,9	10	-	90	85
8	50	0,5	2,5	6,9	10	-	140	76,6

Forts.

Tabell 5. Forsøk 2. Utført 28/2-1972 med råvann hentet 23/2-1972.

Prøve nr.	Alum mg/l	Kalk mg Ca(OH) ₂ /l	Wisprofloc P mg/l	KMnO ₄ mg/l	pH ved KMnO ₄ - oksydasjonen	Temp. °C	Målt på filtrert vann		
							pH	Mangan µg Mn/l	% mangan- fjerning
1	50	ca. 6,0	0,5	0,25	7,75	10	6,7	300	53,7
2	50	" 6,0	0,5	0,50	7,75	10	6,7	150	72,2
3	50	" 6,0	0,5	0,75	7,75	10	6,7	30	94,4
4	50	" 6,0	0,5	1,00	7,75	10	6,7	40	92,5
5	50	" 6,0	0,5	1,25	7,75	10	6,7	40	92,5

Råvann 28/1-1972 Råvann 23/2-1972	pH	Farge mg Pt/l	Turbiditet J.T.U.	KMnO ₄ -tall mg O/l	Mangan µg Mn/l
6,9	52	4,8	3,63	540	

Anmerkninger:

1. Prøvene ble omrørt med KMnO₄ i 3 min før alumtilsats (200 rpm).
2. Prøvene ble omrørt i 1 min etter alumtilsats før Wisprofloc P ble tilsatt (200 rpm).
3. Prøvene ble deretter omrørt i ytterligere 2 min før hastigheten ble redusert til 20 rpm.
4. Flokkulering i 57 min ved 20 rpm.
5. Sedimenteringstid 60 min. Prøver ble tatt ut 10 mm under overflaten og filtrert i foldefilter, Schleicher og Schüll 597½, før analyse.

Tabell 6. Kjemisk/fysiske analyseresultater i forbindelse med manganfjerningsforsøk i Horten vannverk.

Dato	Kapasitet råvann m ³ /t	KMnO ₄ -dose i råvann mg/l	pH i mangan- oksydasjons-kammer	Prøve	Temp. °C	pH	Farge mg Pt/l	Turbiditet J.T.U.	KMnO ₄ -tall mg O/l	Jern µg Fe/l	Mangan µg Mn/l	% Mangan-fjerning	Anmerkninger
1972													
10/2				Skippergt. 9 Holtandalen ^{x)}		6,5 6,4	106 25	5,10 2,3	1,42 1,82	110 230	630 195		
18/2				Råvann Sedimentert vann Filtrert vann Skippergt. 9 Holtandalen		6,8 6,2 6,2 7,1 6,6	72 18 66 72	5,8 0,55 2,5 0,6	3,87 1,26 1,56 1,26	360 20 60 20	705 675 685 585 670	2,8	Prøver tatt før mangan-fjerningsforsøket begynte i vannverket
21/2				Råvann Sedimentert vann Filtrert vann Skippergt. 9 Holtandalen		6,8 6,2 6,3 7,1 6,6	63 3 23 22	4,5 0,42 1,6 0,58	4,42 1,58 1,42 1,58		645 655 670 650	0	

x) Prøver fra Holtandalen er tatt i Joh. Solliesgt. 20.

Tabell 6. Forts.

Dato	Kapasitet råvann m ³ /t	KMnO ₄ -dose i råvann mg/l	pH i mangan- oksydasjons- kammer	Prøve	Temp. °C	pH	Farge mg Pt/l	Turbi- ditet J.T.U.	KMnO ₄ - tall mg O/l	Jern µg Fe/l	Mangan µg Mn/l	% Mangan- fjerning	Anmerkninger
1972	520	2,0	Ca. 6,8	Råvann Sedimentert vann Filtrent vann		6,9 5,8 5,9	52 6	4,8 0,65	3,63 0,87		540 425 235		KMnO ₄ -dose- ring igang- satt 22/2.
				Skippergt.9 Holtandalen		7,0 6,8	19 16	1,4 1,0	1,26 0,87		530 180	56,5	
28/2	480-550	1,7	7,7	Råvann Sedimentert vann Filtrent vann		6,6					510 130 280	45	Forkalking av råvann for KMnO ₄ -tilsats ble igangsatt
29/2	480-520	1,4-1,7	7,5-7,6	Råvann Sedimentert vann Filtrent vann							490 190 75	84,7	
1/3	520	1,0	7,6-8,5	Råvann Sedimentert vann Filtrent vann							390 50 30	92,3	

Tabell 6. Forts.

Dato	Kapasitet råvann m ³ /t	KMnO ₄ -dose i råvann mg/l	pH i mangan- oksydasjons- kammer	Prøve	Temp. °C	pH	Farge mg Pt/l	Turbi- ditet J.T.U.	KMnO ₄ - tall mg O/l	Jern µg Fe/l	Mangan µg Mn/l	% Mangan- fjerning	Anmerkninger
1972													
2/3	520	1,0	7,75	Råvann Sedimentert vann Filtret vann		6,7					430 40 40	90,7	
3/3	520	1,0		Råvann Sedimentert vann Filtret vann Skippergt.9 Holtandalen		6,9 6,8 6,5 6,6 7,5	0 20 5	0,35 2,40 0,80	1,03 0,95 0,95	<10 70 <10	500 75 25 250 35	95	
6/3	520	1,0		Råvann Filtret vann Skippergt. 9 Holtandalen		7,0 6,9 7,6 7,3	61 1 5 5	5,5 0,3 1,5 1,9	4,27 2,45 1,66 1,34	220 <10 20 20	510 10 75 95	98	

Tabell 6. Forts.

Dato	Kapasitet råvann m ³ /t	KMnO ₄ -dose i råvann mg/l	pH i mangan- oksydasjons- kammer	Prøve Prøve	Temp. °C	pH	Farge mg Pt/l	Turbiditet J.T.U.	KMnO ₄ - tall mg O/l	Jern µg Fe/l	Mangan µg Mn/l	% mangan- fjerning	Anmerkninger
8/3	520	1,0	7,86	Råvann Sedimentert vann Filtret vann Skippergt. 9 Holtandalen		6,8 6,2 6,3 7,5 8,1	47 5 15 7	3,1 0,35 0,65 0,40	4,2 1,4 1,0 3,3		510 265 150 145 55	70,6	Svikt i dosering av KMnO ₄
13/3	520	1,0	7,33	Råvann Sedimentert vann Filtret vann Skippergt. 9 Holtandalen		6,9 6,9 6,7 8,5 7,8	56 0 12 11	3,5 0,41 1,3 0,77	3,24 0,63 1,19 1,74		410 235 15 100 35	96,3	
16/3	620	1,0	7,3	Råvann Filtret vann Skippergt. 9 Holtandalen	3,0	6,9 6,5 7,7 7,4	63 7 25 24	4,3 0,32 0,86 0,82	2,44 1,03 0,71 0,95		565 155 135 160	72,5	Den lave manganfjerning skyldes antakelig svikt i forkalking

Tabell 6. Forts.

Dato	Kapasitet råvann m ³ /t	KMnO ₄ -dose i råvann mg/l	pH i mangan- oksydasjons- kammer	Prøve	Temp. °C	pH	Farge mg Pt/l	Turbi- biditet J.T.U	KMnO ₄ - tall mg O/l	Jern µg Fe/l	Mangan µg Mn/l	% mangan- fjerning	Anmerkninger
1972													
20/3	620	1,0		Råvann Filtret vann Skippergt. 9 Holtandalen	3,0	6,8	57	4,8	5,06	260	550	94,5	
22/3	720	1,0		Filtret vann		6,6	1	0,22	1,26	10	145	ca. 73,6	
24/3				Råvann Filtret vann Skippergt. 9 Holtandalen	3,0	7,0	33	3,2	3,16		75		Råvannin- ket hevet fra fra 8 til 1,5 m dyp. Mangan fjerningsfor- søket avslut- tet.
						6,3	0	0,56	1,03		50		
						7,3	12	0,72	0,47		230		
						8,3	11	0,98	0,95		40		

Midlere manganinnhold i råvann f.o.m. 29/2 t.o.m. 20/3 = 484 µg Mn/l

" " " filtret vann f.o.m. 29/2 t.o.m. 20/3 = 59 µg Mn/l.

Midlere manganfjerning i vannverket " 29/2 " 20/3 = 88 %

Tabell 6. Forts.

Middelverider for noen parametre i råvann og i vann fra Skippergt. 9, Horten.

Råvann				Skippergt. 9			
Farge mg Pt/l	Turb. J.T.U.	KMnO ₄ -tall mg O/l	Mangan µg Mn/l	Farge mg Pt/l	Turb. J.T.U.	KMnO ₄ -tall mg O/l	Mangan µg Mn/l
67	5,2	4,14	675	65	3,06	1,50	628
56 1)	4,3 1)	3,80 1)	512 1)	15 2)	1,42 2)	1,29 2)	144 2)

Perioden før manganfjerning
i vannverket 10/2 - 21/2

Perioden med manganfjerning
i vannverket

1) Tidsperioden 23/2 - 20/3

2) " 3/3 - 20/3

Tabell 7. Lukt- og smaksanalyser av vann fra Horten vannverk, tappet på laboratoriet til Kjøtt- og Næringsmiddelkontrollen, Borre, Holmestrand og Horten, Skippergt. 9, Horten.

Dato 1972	Lukt v/60°C LGV	Smak v/40°C SGV
22/2	8	2
24/2	8	2
25/2	4	4
26/2	4	4
28/2	4	4
29/2	4	4
1/3	4	4
14/3	8	2
18/4	2	2
30/5	2	2

Analysene er utført av Kjøtt- og Næringsmiddelkontrollen, Borre, Holmestrand og Horten.

Tabell 8. Kjemisk/fysiske analyseresultater av vannprøver fra Borrevatnet tatt 2/3-1972.

Dyp i m	Temp. °C	pH	Spes. el. ledn. evne µS	Farge mg Pt/l	Farge filtrert mg Pt/l	Turbiditet J.T.U.	KMnO ₄ -tall mg O/l	Jern µg Fe/l	Mangan µg Mn/l	Oksygen mg O/l	% O ₂ metning	Lukt 2)	Rangering etter lukt-egenskaper 2)
1	1,50	7,1	180	49	12	3,4	3,8	50	50	8,8	62,5	-	-
2	2,20	7,2	186	50	14	3,5	3,9	40	60	8,5	62,5	Jordaktig	Best
4	2,85	7,2	185	57	14	3,2	3,8	50	90	6,9	52	Jordaktig	Nestbest
6	3,45	7,2	184	49	12	3,0	3,7	50	205	5,3	40,5	-	-
8	3,80	7,1	185	47	12	3,3	3,7	70	445	2,9	22,5	-	-
10	3,80	7,0	200	57	18	4,9	3,7	190	695	0,35	2,8	-	-
12	4,40	6,8	266	64	23	4,2	4,9	190	700	0,35	2,8	-	-
1)		7,2	224	61	19	4,3	4,1	160	490	-	-	Gressaktig	Dårligst

Anmerkninger:

1) Råvann fra inntaket. Prøven er tatt i inntakstårnet (Inntaksdyp oppgitt til 8 m).

2) Luktbestemmelsene er foretatt ved 60°C.
Prøven fra 2 m hadde litt svakere lukt enn prøven fra 4 m.
Prøven av råvannet hadde tydelig sterkere lukt enn prøvene fra 2 og 4 m.

Tabell 9. Laboratoriefellingsforsøk med vann fra Borrevatnet utført 6/3-1972 med prøver hentet 2/3-1972.

Prøve	Målt på filtrerte prøver										Fnokkenes sedimenteringssegenskaper
	Alum mg/l	pH	Farge mg Pt/l	Turbiditet J.T.U.	KMnO ₄ -tall mg O/l	Mangan µg Mn/l	Jern µg Fe/l	Tid for dannelse av første synlige fnokker (min)	Temperatur 4°C		
Råvann 8 m	40		12	0,45		440	<10	2 min			
" 8 "	40	6,5	15	0,35	2,61	440	<10	2 "			
Vann fra 4 m dyp	40	6,6	15	0,35	2,21	65	<10	2 "			Like gode for alle prøvene
4 " "	40	6,4	5	0,55	2,45	65	<10	2 "			
Vann fra 2 m dyp	40	6,6	3	0,45	2,77	45	<10	2 "			
2 " "	40	6,4	5	0,35	2,37	45	<10	2 "			

Anmerkninger:

1. Forsøkene er utført i laboratorieflokkulator i 1 liters begerglass.
2. Prøvene ble etter tilsats av alum omrørt i 3 min ved 200 rpm (koagulering). Deretter ble prøvene flokkulert ved 20 rpm i 57 min og fikk deretter sedimentere i en time. Deretter ble det tatt ut vann med pipette 10 mm under overflaten som ble filtrert gjennom Schleicher og Schüll foldefilter nr. 597½ før analyse.

Tabell 10. Fysisk/kjemiske analyseresultater av prøve fra Horten vannverk. Kontrollanalyser etter endring av råvannsinntak til 1,5 m dyp.

Dato 1972	Prøve	Temperatur °C	pH	Farge mg Pt/l	Turbiditet J.T.U.	KMnO ₄ -tall mg O/l	Mangan µg Mn/l	Jern µg Mn/l	Oksygen mg O/l	% O ₂ -metn.
10/4	Råvann	0,8	7,0	79	5,5	4,35	65	70	9,0	65
	filtrert vann	1,68	6,1	5	0,88	0,79	55	10	11,0	81,5
	Trostestien 9 x)	1,65	8,1	4	0,35	1,26	35	20	11,0	82,5
	Rentvannsmagasinet	1,7	7,7	6	0,41	1,26	45	20	11,1	82,5
	Baggerødt. 26 x)	1,8	7,6	19	0,86	1,42	115	50	11,0	81,5
	Skippergt. 9 x)	2,1	7,7	31	2,5	1,11	115	20	11,5	85,0
26/4	Råvann		7,0	66	4,5	4,35	70	110		
	Filtrert vann		6,4	1	0,27	1,74	45	<10		
	Skippergt. 9		7,5	9	0,5	1,42	65	60		
	Holtandalen		7,2	7	0,37	1,74	25	20		

x) Prøven er tatt fra hydrant.

Fig.1 Bestemmelse av optimalt pH-område for kjemisk felning ved Horten vannverk

Laboratorieforsök utfört 7.12.71

Analyseresultater for koaguleret, filtrert vann

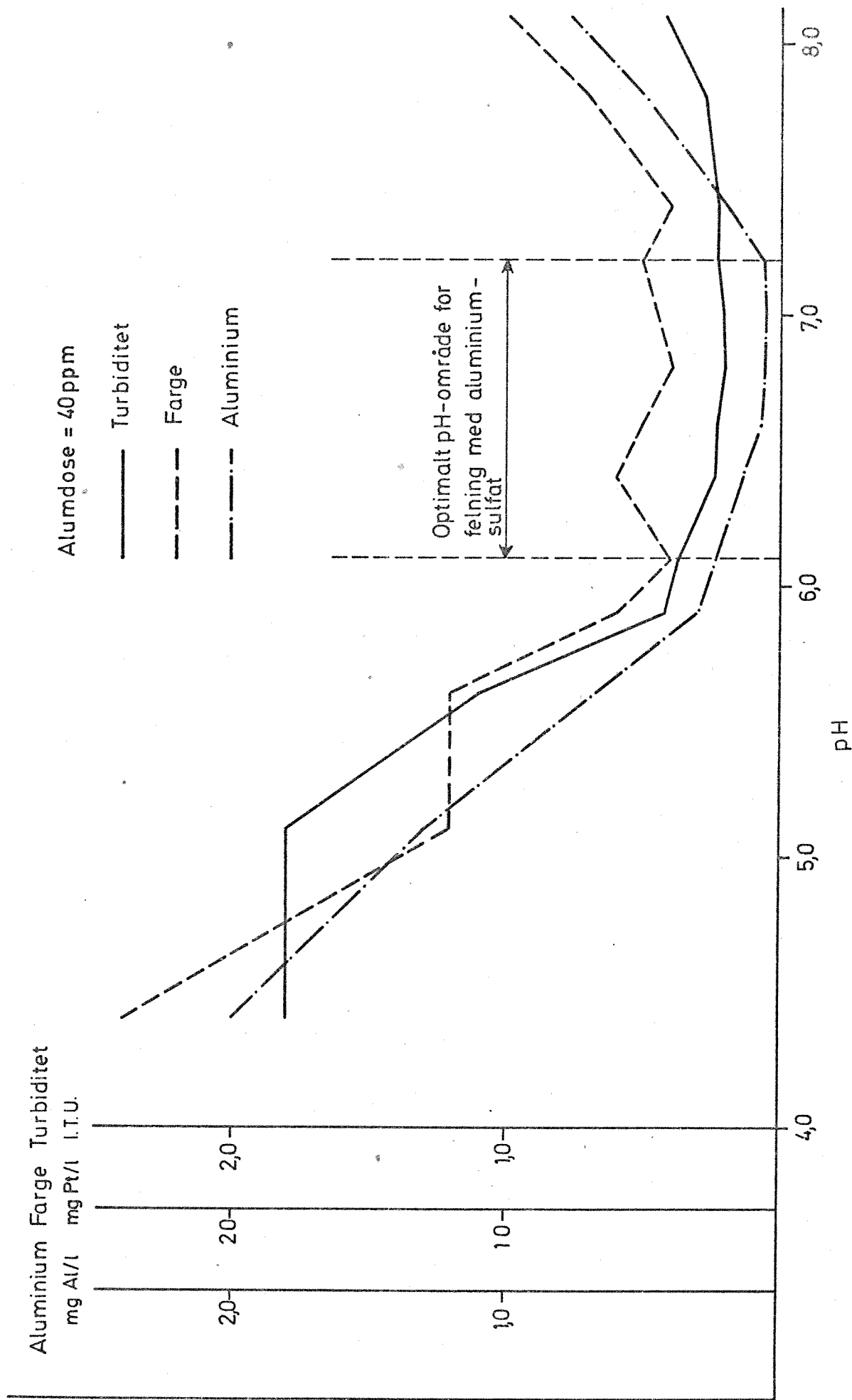


Fig. 2 Fjerning av mangan i råvann fra Horten vannverk

Laboratorieforsøk utført 15. 2. 72 og 28. 2. 72

Manganinnhold i råvann forsøk 1 = 600 µg Mn/l
" " " " " " 2 = 540 " " " " " " " " " " " "

Manganinnhold i koagulert, filtrert vann, µg Mn/l

Mn²⁺ oksydasjon uten kalking. pH = 6,9 (Forsøk 1)

Mn²⁺ oksydasjon med tilsats av 6 ppm Ca(OH)₂ pH = 7,75 (Forsøk 2)

1,0
2,0
mg KMnO₄/l

Fig.3 Forsök med manganfjerning i Horten vannverk
Manganinnhold i råvann og filtrert vann 28.1 - 24.3.1972

