

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING
BLINDERN.

0 - 325.

Orienterende koaguleringsforsk
med vann fra Øyeren.

Saksbehandler: Cand.real. J.E. Samdal.

Rapporten avsluttet juli 1963.

INNHALDSFORTEGNELSE.

	Side:
1. INNLEDNING	2
2. PROBLEMSTILLING OG UNDERSØKELSESMETODIKK	2
3. RESULTATER	3
3.1. Felningsforsøk med vann tatt i Øyeren den 27/2 1963	3
3.2. Felningsforsøk med vann tatt i Øyeren den 27/5 1963	5
3.3. Koaguleringsprosessens pH. Forholdet mellom dosert mengde kalk og alum	7
4. SAMMENDRAG	7
5. KONKLUSJON	8

TABELLER.

1. Resultater av kjemisk analyse på råvannsprøve tatt på 45 m dyp i Øyerens sydende 27/2 1963	10
--	----

FIGURER.

1. Forsøksserie 1. Filtrert vann etter dosering av 3 mg Ca(OH) ₂ /l og 10 - 50 mg alum/l. Vanntemp. 15,4 - 17,4°C	11
2. Forsøksserie 2. Filtrert vann etter dosering av 5 mg Ca(OH) ₂ /l og 10 - 50 mg alum/l. Vanntemp. 16,1 - 17,9°C	12
3. Forsøksserie 3. Filtrert vann etter dosering av 3 - 7 mg Ca(OH) ₂ /l og 15 - 35 mg alum/l. Vanntemp. 11,3 - 14,1°C	13
4. Forsøksserie 4. Filtrert vann etter dosering av 2,5 - 5,8 mg Ca(OH) ₂ /l og 15 - 35 mg alum/l. Vanntemp. 11,2 - 14,3°C ²	14
5. Forsøksserie 5. Filtrert vann etter dosering av 2,5 - 5,8 mg Ca(OH) ₂ /l og 15 - 35 mg alum/l. Vanntemp. 17,1 - 18,2°C ²	15
6. Forsøksserie 6. Sedimentert vann etter dosering av 4,2 mg Ca(OH) ₂ /l og 25 mg alum/l. Vanntemp. 9,5 - 10,2°C	16
7. Forsøksserie 7. Filtrert vann etter dosering av 4,2 mg Ca(OH) ₂ /l, 25 mg alum/l og 1 - 5 mg aktiv. silica/l. Vanntemp. 14,9°C	17
8. Forsøksserie 8. Sedimentert vann etter dosering av 4,2 mg Ca(OH) ₂ /l, 25 mg alum/l og 2 mg aktiv. silica/l. Vanntemp. 9,1°C	18
9. Vannets pH ved forskjellige kalk-alumforhold. (Dose- ringskoeffisienter).	19

1. INNLEDNING.

Vår rapport O - 325, "Undersøkelse av Øyeren som drikkevannskilde for Eidsberg Vannverk" omtaler et undersøkelsesprogram som ble utført i Øyeren i tiden september 1961 - august 1962. På side 17 i rapporten er det angitt noen praktiske konklusjoner på grunnlag av våre undersøkelser. Det fremgår at den største ulempen ved vannet som drikkevann er innhold av suspenderte partikler. Partikkelinnholdet er av en slik art at partiklene ikke kan frafiltreres med tilfredsstillende resultat. Vi anbefaler derfor at vannet blir rensset ved kjemisk felning (fullrensning), og det foreslås utført felningsforsøk i laboratorieskala for nærmere å studere felningsbetingelsene for vannet. Den foreliggende rapport omhandler resultatene av felningsforsøkene.

2. PROBLEMSTILLING OG UNDERSØKELSESMETODIKK.

Felningsforsøk i laboratorieskala tar sikte på bestemmelse av felningsbetingelsene i liten målestokk. Man kan derfor ikke, ut fra resultatene fra slike felningsforsøk, trekke direkte konklusjoner som har betydning for konstruksjon av det tekniske felningsanlegg. Dette skyldes bl.a. at de hydrauliske og prosessmessige forhold i laboratorieglass atskiller seg fra det man har i tekniske anlegg med kontinuerlig drift. Resultatene fra felningsforsøk i liten målestokk i laboratoriekoagulator vil imidlertid ofte gi viktige og verdifulle retningslinjer når det gjelder de fysikalsk-kjemiske betingelser som må være tilstede i vannet for å oppnå gunstigste felningsbetingelser.

Felningsforsøkene er utført med vannporsjoner på 1 liter i liters begerglass. Laboratoriekoagulatoren var utstyrt med 2 serier á 6 røreverk. Alle røreverk i en serie kunne samtidig startes, stoppes og innstilles fra stor til liten omrøringshastighet. Omrøringen i begerglassene foregikk gjennom to faser. I første fase, koaguleringsfasen, ble kjemikaliene dosert samtidig til begerglass i én serie. Koaguleringsfasen varte i 3 minutter, og foregikk med 200 omdr./min. Etter 3 minutters forløp ble hastigheten på røreverkene omstilt til 20 omdr./min. Omrøringen foregikk så i 57 minutter med denne hastighet. Etter tilsammen

1 times oppholdstid i begerglassene ble omrøringen stoppet, og sedimenteringshastigheten anslått rent visuelt. For enkelte prøvers vedkommende ble det foretatt filtrering gjennom et Schleicher & Schüll foldefilter av papir, nr. 597 $\frac{1}{2}$. Analysemetodene var de samme som angitt i vår tidligere rapport 0 - 325, s. 9.

Forsøkene med aktivert silica som hjelpekoagulant er utført med Aurosil N 31. (Produsent A. Ågren, Göteborg). Aktiveringen ble foretatt med alum ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 16 - 18 H_2O$), og etter produsentens forskrifter. Tilsetningen av hjelpekoagulant foregikk etter at alum var tilsatt vannet. I samtlige forsøk ble kalk (kalkhydrat, $Ca(OH)_2$) dosert før alum.

Felningsforsøk i laboratorieglass bør fortrinnsvis utføres på stedet med rikelig tilgang på friskt forsøksvann. Praktiske og økonomiske hensyn gjorde det imidlertid nødvendig å utføre forsøkene på vannporsjoner som var transportert fra Øyeren til vårt laboratorium i Oslo. Vannporsjonene ble transportert og lagret på plastflasker (10 - 35 l). Det er mulig at vannporsjonene på forskjellige flasker har forandret seg på forskjellig måte under transport og lagring, og det kan tenkes at slike forhold kan forklare forskjell i kvalitet på råvann som ble benyttet i forskjellige forsøksserier. Man kan imidlertid regne med at forskjellige forhold som skyldes transport og lagring av vannporsjonene ikke har hatt innvirkning av betydning for konklusjonene i denne rapport.

3. RESULTATER.

Felningsforsøkene er utført på vannporsjoner tatt i Øyerenes syde-ende på 45 m dyp den 27/2 og 27/5 1963. Under første prøvetaking var vannets temperatur 2,2 - 2,4 °C. Ved siste prøvetaking var gjennomsnittlig vanntemperatur 9 °C på 45 m, mens overflatetemperaturen var 12 °C. Resultatene av forsøkene er fremstilt i kurver og tabeller.

3.1. Felningsforsøk med vann tatt i Øyeren den 27/2 1963.

På vann fra denne prøvetakingen ble det i alt utført 4 forsøks-serier á 6 koaguleringsforsøk. Det fremgår av vår tidligere rapport at vannet i Øyeren om vinteren er av relativt god kva-

litet med lite innhold av suspenderte partikler. I tabell 1 er oppført en del analyseresultater på råvannsproven tatt den 27/2 1963. Resultatene av analysene viser at råvannet hadde ledningsevne, farge og turbiditet noe høyere enn for prøvetakingen i februar 1962 (se vår rapport av desember 1962, side 12 og fig. 6). Selv filtrering gjennom glassfilter med liten poreåpning reduserer ikke turbiditeten til lave verdier; et forhold som klart viser at partiklene i vannet i Øyeren er små og foreligger i kolloid tilstand. Partikler av denne typen vil i alle fall passere gjennom et konvensjonelt teknisk filter.

De første forsøkene var av innledende art for å fastslå omtrentlige, optimale koaguleringsbetingelser. Forsøksserie 1 ble utført med dosering 3 mg $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{l}$ og 10 - 50 mg alum/l. I denne serien ble det først observert fnokker etter 10 minutters koagulering og flokkulering. I figur 1 er resultatene med hensyn til farge, turbiditet og pH etter filtrering fremstilt. Man ser at 30 mg alum/l er nødvendig for at det filtrerte vann skal være av relativt god kvalitet, og optimale felningsbetingelser foreligger i et snevert pH-område. Større dosering enn 30 mg alum/l resulterer i dårligere vannkvalitet, idet koaguleringen her foregår utenfor det optimale pH-område for prosessen.

Forsøksserie 2 ble utført med 5 mg $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{l}$ og 10 - 50 mg alum/l. I denne serien ble det for doseringskombinasjonen 30 mg alum/l og 5 mg $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{l}$ observert små fnokker allerede etter 3 minutter. Gjennomgående var fnokkene i samtlige begerglass, både for forsøksserie 1 og 2, relativt små. Figur 2 fremstiller kvaliteten av filtrert vann i forsøksserie 2. På samme måte som på figur 1 fremgår det at 30 mg alum/l er helt nødvendig for å oppnå tilfredsstillende kvalitet på det koagulerte vann, mens ytterligere alumtilsetning ikke forbedrer koaguleringsbetingelsene, idet man befinner seg utenfor det optimale pH-område for koaguleringsprosessen.

Resultatene fra forsøksserie 1 og 2 tyder på at forholdet mellom alum og kalk bør være ca. 6 for å oppnå en pH-verdi som gir optimale felningsbetingelser. Forsøksserie 3 er gjennomført med forholdet 5 mellom alumdosering og kalkdosering. Kvaliteten av filtrert vann med hensyn til farge, turbiditet og pH fremgår av figur 3. I forsøksserie 4 er forholdet mellom alum og kalk-

doseringen 6, og resultatene er vist i figur 4. I hovedtrekkene er resultatene fra forsøksseriene 3 og 4 i relativt god overensstemmelse med resultatene fra forsøksseriene 1 og 2. I seriene 3 og 4 gir selv så lave doseringer som 20 og 25 mg alum/l relativt bra kvalitet av filtrert vann, men tendensen i resultatene tyder på at 30 mg alum/l er ønskelig. Koaguleringen foregår glattest ved pH ca. 6,5. Fnokkene dannes imidlertid langsomt, de er relativt små og sedimenterer sakte etter flokkuleringsstidens opphør.

3.2. Felningsforsøk med vann tatt i Øyeren den 27/5 1963.

Resultatene fra forsøksseriene 1 - 4 viser at vannet i Øyeren på vintertiden lar seg koagulere slik at det kan fremstilles vann med tilfredsstillende kjemisk kvalitet etter filtrering. Fnokkene i forsøksserien 1 - 4 var imidlertid små og lite sedimenterbare. Hertil kom at dannelsesstiden for fnokkene stort sett synes å være 6 - 10 minutter. Bestemmelsen av dannelsesstiden for fnokkene er svært subjektiv og beheftet med flere feilkilder.

For de videre forsøk ble det lagt vekt på å produsere en fnokktype som ble dannet raskt og som var lett sedimenterbar. Det ble ikke utført inngående råvannsanalyser av vannprøven tatt den 27/5 1963. Vannet i Øyeren på denne tid er imidlertid sterkt turbid og preget av flomforholdene. Råvannsprøvens turbiditet var 14 mg SiO₂/l og fargen på ufiltrert vann var 133 mg Pt/l.

Forsøksserie 5 er en gjentakelse av forsøksserie 4, idet forholdet mellom alum- og kalkdosering er 6. I dette forsøket viste første fnokkdannelse seg etter 7 minutter, og fnokkene tiltok stadig i størrelse gjennom flokkuleringsfasen. Etter at flokkuleringsfasen var opphørt og røreverkene stanset, sedimenterte alle store fnokker betydelig raskere enn i noen av forsøksseriene 1 - 4. I løpet av de første 3 minutter etter omrøringens opphør var alle store fnokker sedimentert. Sedimenteringsdybden i begerglassene var 16 cm, og sedimenteringshastigheten for store fnokker kunne derfor anslås til 3,2 m/h. Farge, turbiditet og pH etter filtrering i forsøksserie 5 er fremstilt i figur 5. I pH-området 6,2 - 6,4 foregår optimal flokkulering, og det ser ut til at dosering 25 mg alum/l er fullt tilstrekkelig for å oppnå god vannkvalitet på det filtrerte vann. Vannprøvene med dosering 20, 25, 30 og 35 mg alum/l var fargeløse etter filtrering.

Forsøksserie 6 ble utført for å få et mer detaljert bilde av sedimenteringshastigheten under samme flokkuleringsbetingelser som i forsøksserie 5. Etter at røreverket var stoppet ble det fra begerglassene utpipettert vannprøver etter økende henstandstid. I disse vannprøvene ble vannets farge og turbiditet målt. Resultatene av forsøksserie 6 er fremstilt i figur 6. Det fremgår at i de første 10 minutter foregår det en betydelig sedimentering, og vannets farge og turbiditet i dette tidsrom avtar sterkt. Fargen avtar ytterligere fra ca. 15 til ca. 7 mg Pt/l i tidsrommet fra 10 til 100 henstandsminutter. På samme måte avtar turbiditeten fra ca. 1,7 mg SiO₂/l etter 10 minutter til ca. 1 mg SiO₂/l etter 50 minutter. Turbiditeten er omtrent konstant i tiden mellom 50 og 120 henstandsminutter.

I forsøksserie 7 er det foruten alum og kalk også dosert aktivert silica som hjelpekoagulant. Resultatene av forsøkene med hensyn til pH, farge og turbiditet på filtrert vann er illustrert i figur 7. I forsøkene med fra 2 - 5 mg aktivert silica/l ble det fremstilt store fnokker som sedimenterte i løpet av 3 minutter. Etter filtrering var vannets farge og turbiditet meget lav. Allerede 1 - 2 mg silica/l gir optimale resultater med hensyn til fnokktype, sedimenteringshastighet, farge og turbiditet på filtrert vann.

Forsøksserie 8 (figur 8) illustrerer forholdene i sedimentert vann med hensyn til farge og turbiditet etter dosering av 4,2 mg Ca(OH)₂/l, 25 mg alum/l og 2 mg aktivert silica/l. Forsøksserien er utført på grunnlag av resultatene av forsøksserie 6 og 7. På samme måte som i forsøksserie 6 avtar farge og turbiditet betydelig i løpet av 10 - 20 minutter sedimenteringstid. Kurvene for farge og turbiditet i forsøksserie 6 og forsøksserie 8 har i hovedsaken samme forløp, og det synes ikke som om dosering av aktivert silica har nevneverdig innvirkning på sedimenteringshastigheten.

En enkelt forsøksserie med ferrisulfat og kalkhydrat ble gjennomført. Resultatene viste at doseringskombinasjonen 5 mg Ca(OH)₂/l og 30 mg ferrisulfat/l gav fargeløst vann med turbiditet 0,2 mg SiO₂/l etter filtrering, når koaguleringen foregikk ved pH 5,4. Sedimenteringsevnen for fnokkene var god, og mesteparten av fnokkene var sedimentert i løpet av 3 minutter.

3.3. Koaguleringsprosessens pH. Forholdet mellom dosert mengde kalk og alum.

Av det foregående fremgår det at pH er en viktig parameter for koaguleringsprosessen. Det er derfor av betydning at koaguleringsprosessen foregår ved den pH-verdi som gir optimale koaguleringsbetingelser. Forandres forholdet mellom dosert mengde alum og dosert mengde kalk, forandres også vannets pH. Til den nødvendige mengde alum for optimal flokkulering svarer en kalkmengde som reguleres slik at pH faller innenfor det optimale område. Figur 8 illustrerer resultatene av et forsøk som ble utført ved å tilsette fra 5 - 50 mg alum i vannporsjoner på 1 liter. Vannporsjonene var på forhånd tilsatt 5 mg $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Det fremkommer tilnærmet rette linjer som skjærer hverandre ved pH 7,1, eller nær vannets nøytralpunkt (pH 7,0). I området pH 7,1 - 9,2 er forandringen i pH, med en viss forandring i doseringskoeffisient (mg alum/l : mg kalk/l) relativt stor. Dette pH-området har ut fra det foregående liten interesse for koagulering av vann fra Øyeren. Det er pH-området 5,2 - 7,1 som interesserer for koagulering av vann fra Øyeren, og figur 8 viser at i dette området er forandringen av pH med doseringskoeffisienten relativt stor. Dette betyr at man i prosessen må være særlig omhyggelig med riktig alum - kalkforhold for å oppnå den pH som gir optimal koagulerings-effekt. Våre forsøksserier viser at pH maksimalt kan variere innen området 6,0 - 6,7. Figur 8 illustrerer at dette i høyden tillater et alum - kalkforhold som varierer fra 5 - 7.

4. SAMMENDRAG.

Det er utført en del orienterende koaguleringsforsøk i laboratorieskala med vann fra 45 m dyp i Øyerens sydende. Forsøkene ble utført i Oslo på vannprøver som var transportert fra Øyeren. Det ble utført forsøk både på vann som representerer vinterkvalitet i Øyeren og på vann som er representativt for vannkvaliteten om våren under flomforhold. Forskjellen i vannkvaliteten om vinteren og om våren skyldes særlig svevende leirpartikler som følger med vannet under vårflommen.

Resultatene viser at vintervannet i Øyeren lar seg koagulere med alumdosering i området 25 - 30 mg/l, og kalkdosering fra 5 - 6

mg $\text{Ca}(\text{OH})_2/1$, slik at pH ligger i området 6,2 - 6,7. Optimale koaguleringsbetingelser ligger altså innenfor et snevert pH-område, og det ser ut til at pH bør ligge i den laveste del av dette pH-område. Vannets farge og turbiditet etter filtrering er lav (se figur 1 - 4). Det tar imidlertid relativt lang tid innen fnokkene dannes. Stort sett er fnokktypen liten og sedimenteringen går langsomt.

Koagulering av vann tatt i Øyeren i flomperioden går glatt med 25 mg alum/1 og 4,2 mg $\text{Ca}(\text{OH})_2/1$, slik at pH er 6,2 - 6,4 (figur 5). Etter filtrering er vannets farge og turbiditet lav. Dannelses tiden for fnokkene er gjennomgående ca. 3 minutter. Fnokkene er relativt store og sedimenterte 16 cm i løpet av 3 minutter i begerglass. Etter stillestående henstand i begerglass var fargen og turbiditeten lav på sedimentert vann med henstandstid 60 minutter eller mer (figur 6).

Sammen med doseringskombinasjonen 4,2 mg $\text{Ca}(\text{OH})_2/1$ og 25 mg alum/1 gav tilsetninger av 1 - 5 mg aktivert silica/1 pH 6,4. Fargen og turbiditeten på filtrert vann var lav, og dannelses tiden for fnokkene var ca. 3 minutter (figur 7). Fnokkene sedimenterte relativt raskt ved henstand i begerglass. Sedimenteringsforsøk med doseringskombinasjonen 4,2 mg $\text{Ca}(\text{OH})_2/1$, 25 mg alum/1 og 2 mg aktivert silica/1 viste i hovedtrekkene samme forhold som sedimenteringsforsøk med alum + kalkdosering alene (figur 8). Fordelene ved aktivert silica-dosering synes å ligge i stabilisering av riktig pH, og kort dannelses tid for fnokkene.

I forhold til forsøkene med vintervann (lite leire) tyder forsøkene med flomvann avgjort på at en viss leirmengde bør være tilstede som kim for fnokkdannelse, slik at fnokkene dannes raskt og sedimenterer hurtig.

For å oppnå riktig pH (6,0 - 6,7) for optimal koagulering ved gitt alumdosering, synes det som om forholdet alum/kalk bør ligge i området 5 - 7 (figur 9).

5. KONKLUSJON.

Ved prosjektering av koaguleringsanlegg med vann fra Øyeren sydende bør man ta hensyn til:

1. For koaguleringen doseres minst 25 mg alum/l og 4 - 5 mg Ca(OH)_2 /l (hydratkalk). Antakelig er kalktilsetning før alumtilsetning fordelaktig, men doseringspunktene for alum og kalk bør helst fastsettes etter forsøksdrift i det tekniske anlegg.
2. Det avsettes plass for dosering av aktivert silica (hjelpokoagulant) etter alumdoseringen.
3. Det avsettes plass for dosering av leire, bentonitt e.l. (hjelpokoagulant) før alum - kalkdoseringen.
4. Vannet gis tilstrekkelig oppholdstid både for flokkulering og for sedimentering.
5. Hvis alum og kalk benyttes som koagulanter foregår koaguleringen innen et snevert pH-område, og det bør tas hensyn til dette i doseringsteknisk henseende.
6. Vannet kloreres etter filtrering. Klorering før koagulering bør overveies.
7. For å forhindre korrosjon på ledningsnettet økes vannets pH til ca. 8, alt avhengig av hvilke materialer nettet består av.
8. For riktig drift av renseanlegget bør en opplært laborant utføre nødvendige koaguleringsforsøk, samt kontrollanalyser av råvann, og renvann.

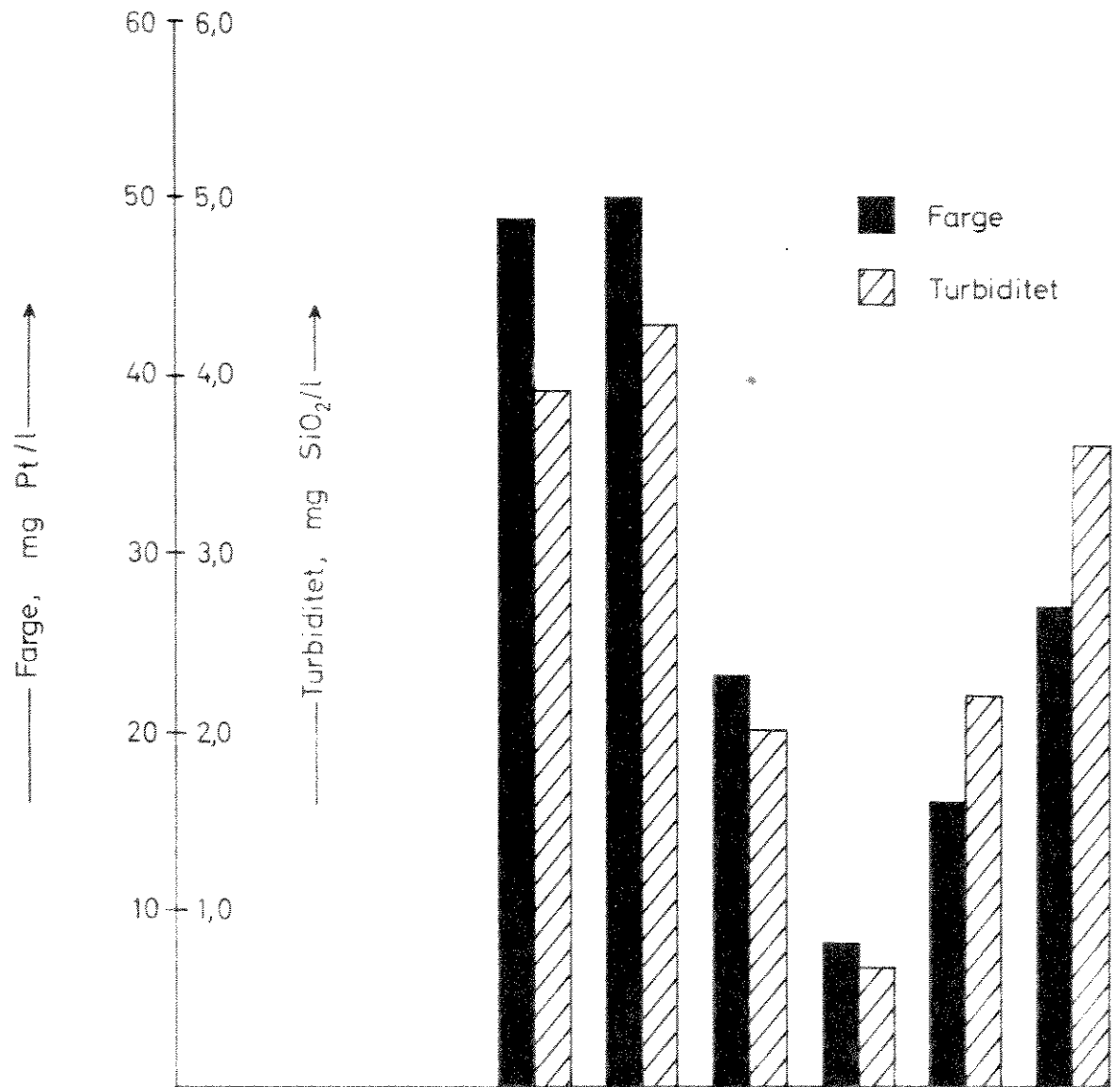
Tabell 1.

Resultater av kjemisk analyse på råvannsprøve
tatt på 45 m dyp i Øyerens sydende 27/2 1963.

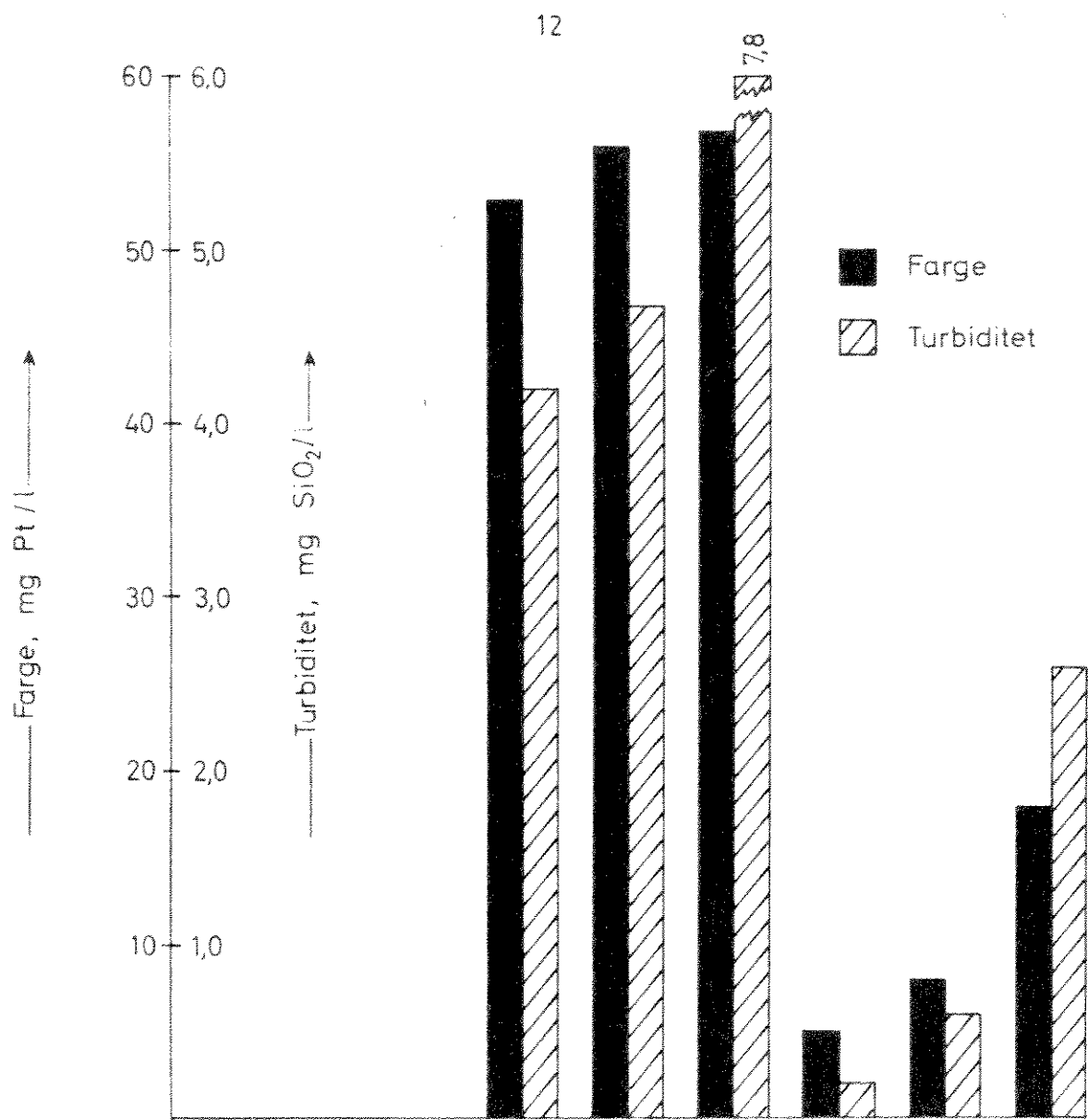
Temperatur °C	2,2 - 2,4 ¹⁾
Surhetsgrad, pH	7,1
Elektrisk ledningsevne, 20°C, 10 ⁻⁶ , ohm ⁻¹ . cm ¹	43,3
Farge ²⁾ , mg Pt/l	63
Turbiditet ²⁾ , mg SiO ₂ /l	6,4

1) Prøven ble tatt med sugepumpe og vannets temperatur varierte i løpet av pumpetiden.

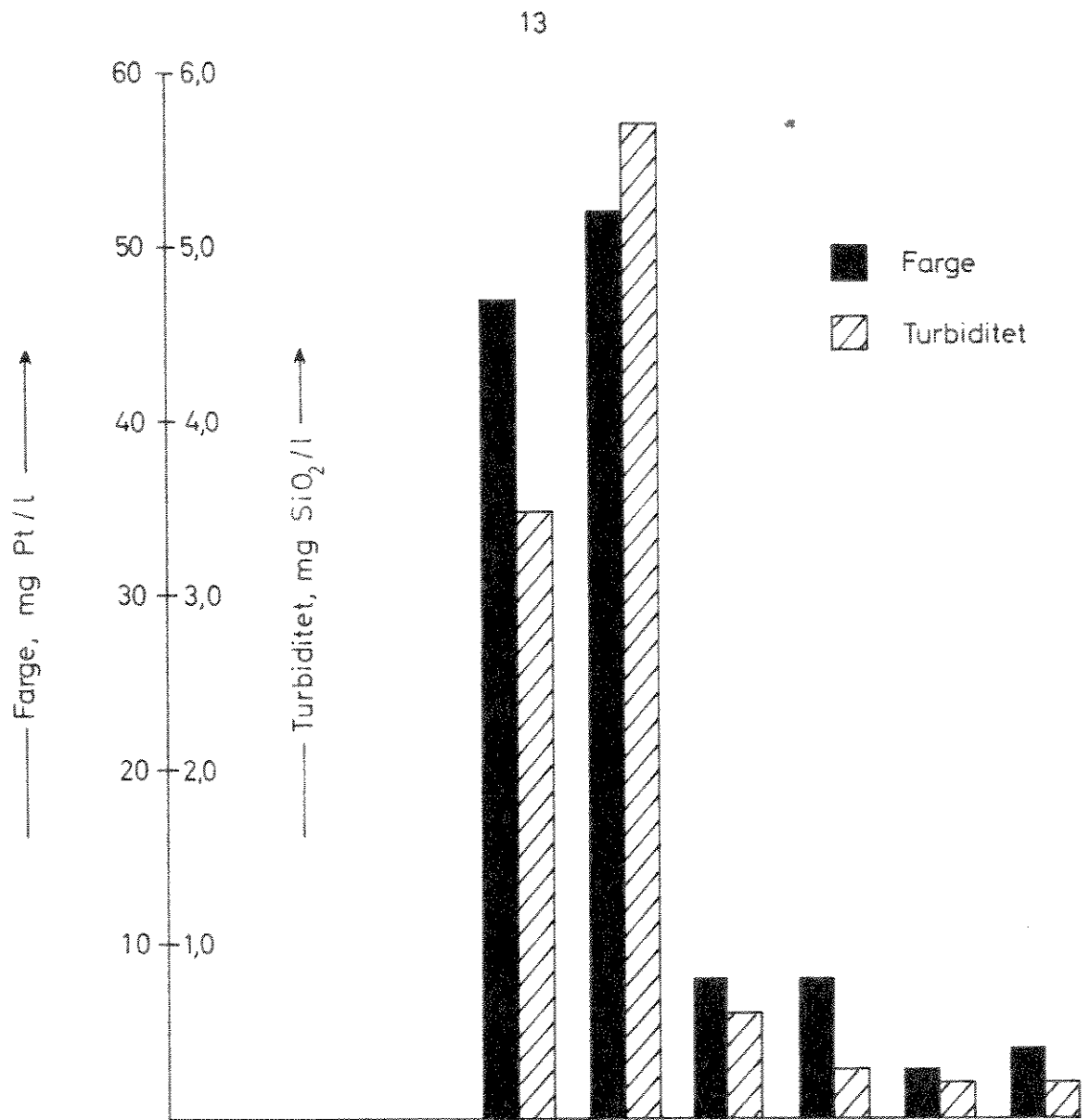
2) Ufiltrert prøve. Etter filtrering gjennom Whatman Glassfilter GF/C (poreåpning < 1 μ) var fargen 46 mg Pt/l og turbiditeten 3,1 mg SiO₂/l.



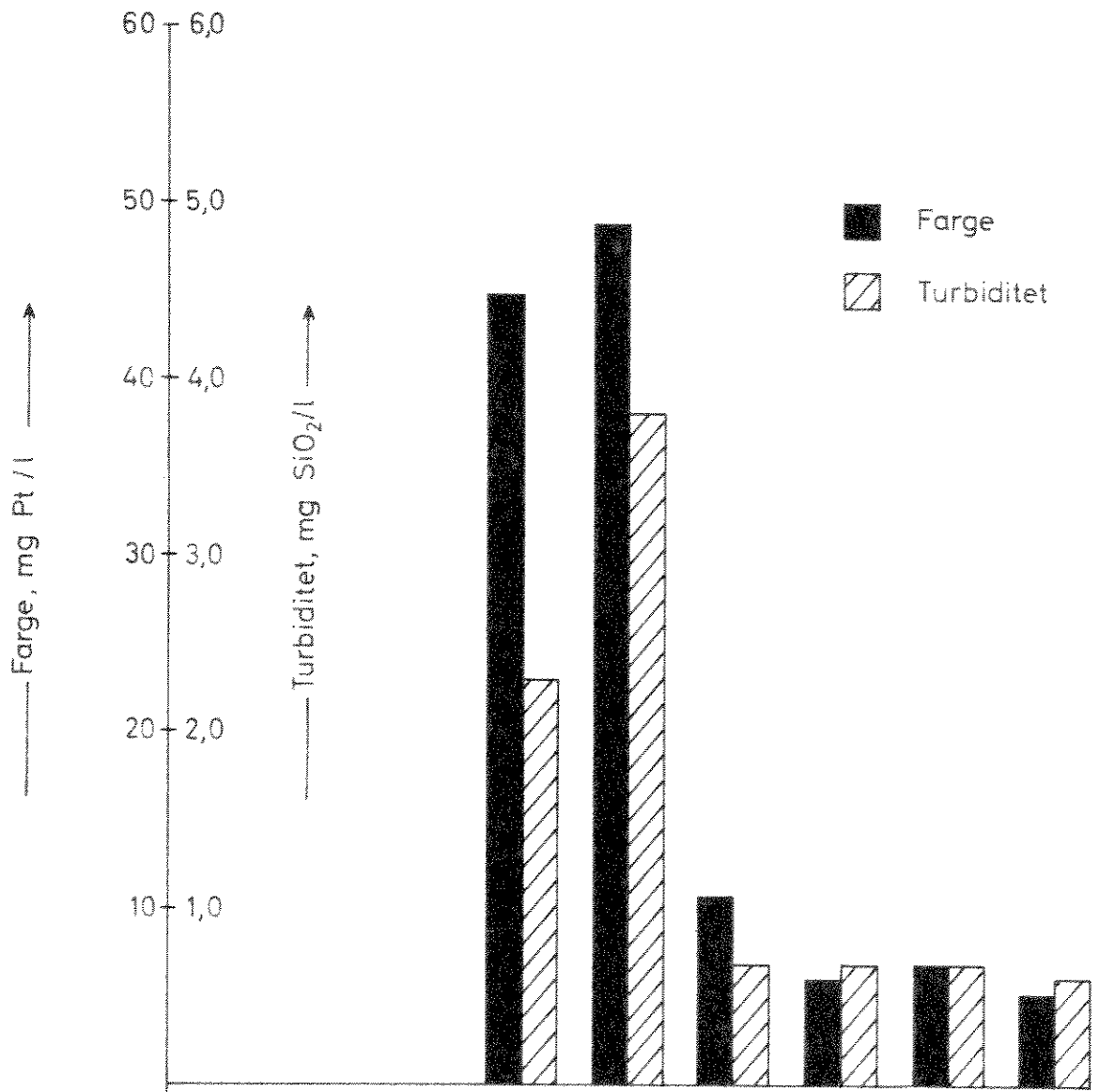
Alum-dosering mg/l	Blind- prøve	10	20	30	40	50	
pH	→	7,1	7,2	6,8	6,2	5,7	5,3
Dannelsestid- første fnokker (min)	→		10	10			



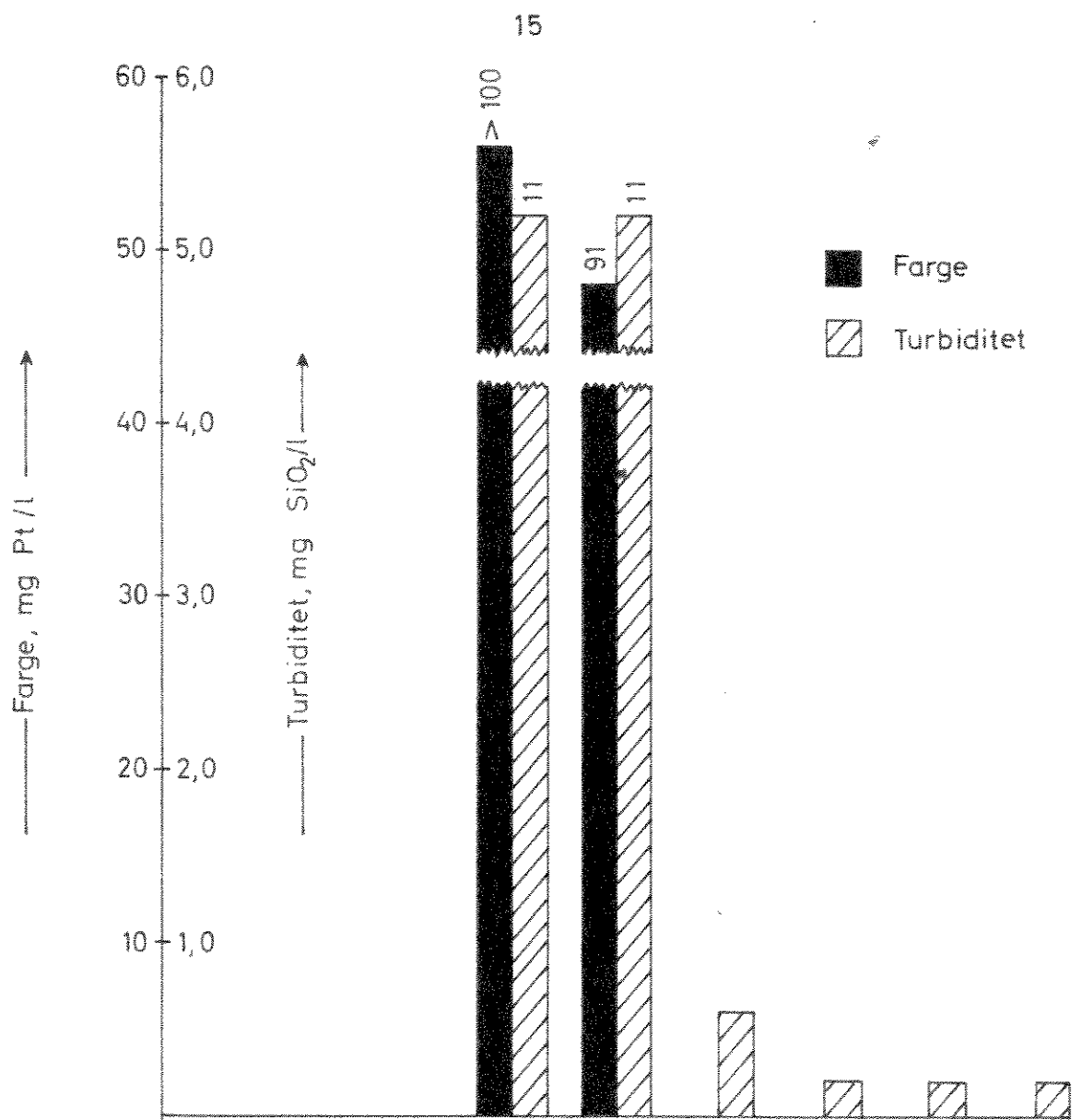
Alum-dosering mg/l	→ Blind- prøve	10	20	30	40	50
pH	→	7,1	7,2	6,8	6,2	5,3
Dannelsestid- første fnokker (min.)	→			3	20	



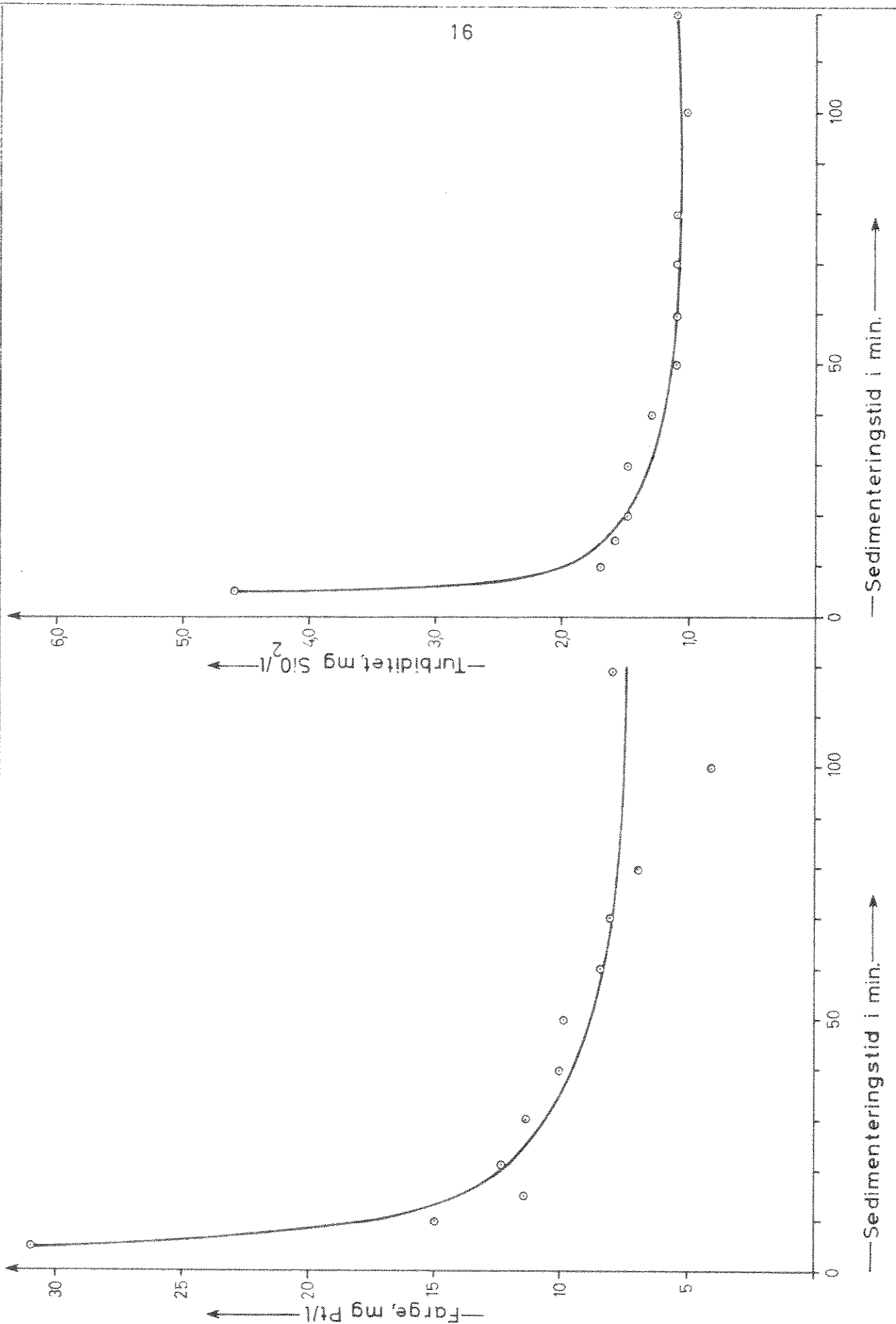
Alum - dosering mg/l	→ Blind- prøve	15	20	25	30	35	
Kalk - dosering mg Ca(OH) ₂ /l	→ - " -	3	4	5	6	7	
pH	→	7,0	6,8	6,8	6,6	6,6	6,5
Dannelsestid - første fnokker (min.)	→		10	10	10	10	



Alum - dosering mg/l	→	Blind- prøve	15	20	25	30	35
Kalk - dosering mg Ca(OH) ₂ /l	→	- - -	2,5	3,3	4,2	5,0	5,8
pH	→	7,0	6,8	6,7	6,6	6,4	6,3
Dannelsestid - første fnokker (min.)	→			6	6	6	

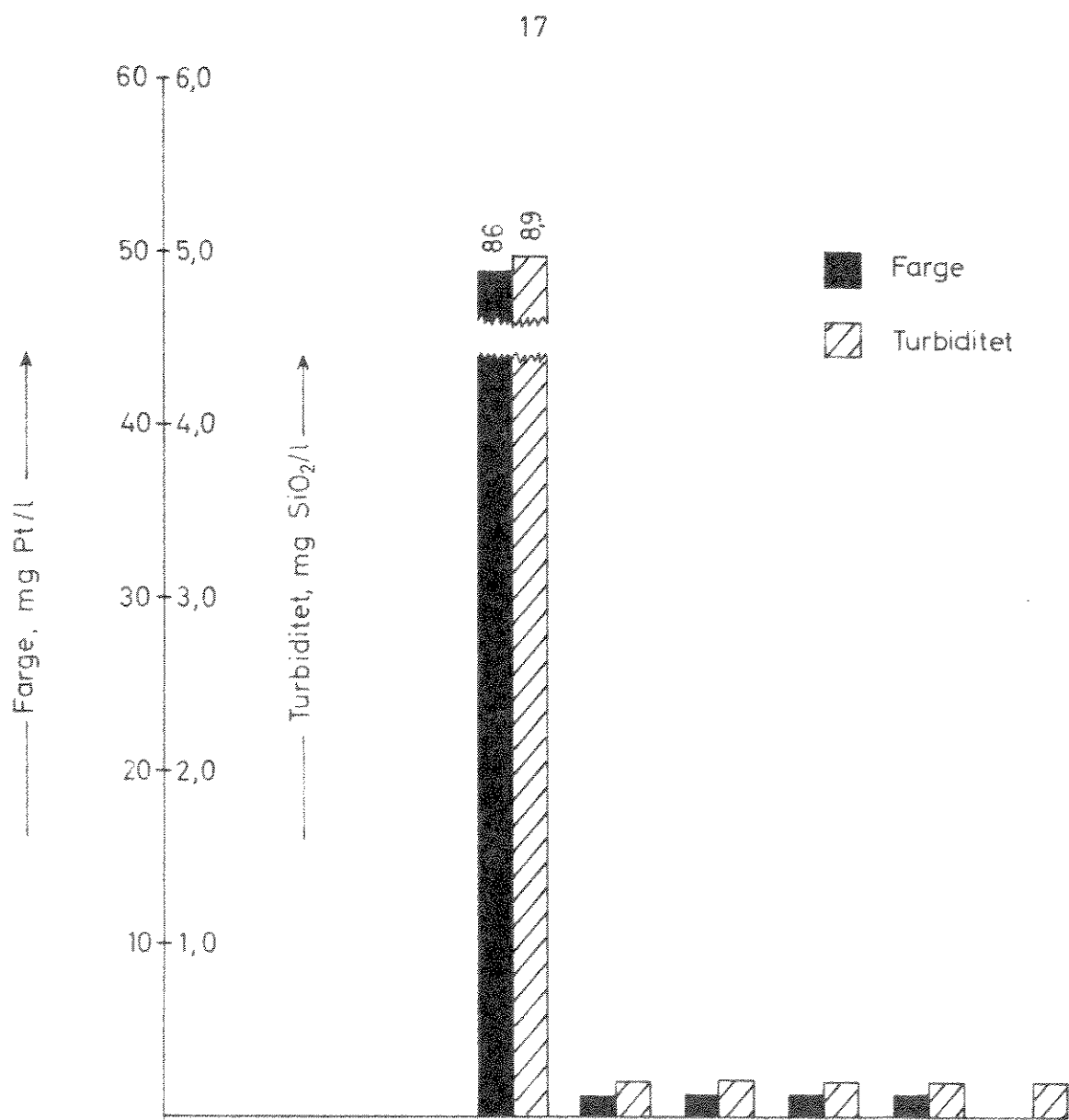


Alum - dosering mg /l	→	Blind- prøve	15	20	25	30	35
Kalk - dosering mg Ca(OH) ₂ /l	→	---	2,5	3,3	4,2	5,0	5,8
pH	→	6,8	6,6	6,4	6,0	6,1	6,2
Dannelsestid - første fnokker (min.)	→			7	7	7	7

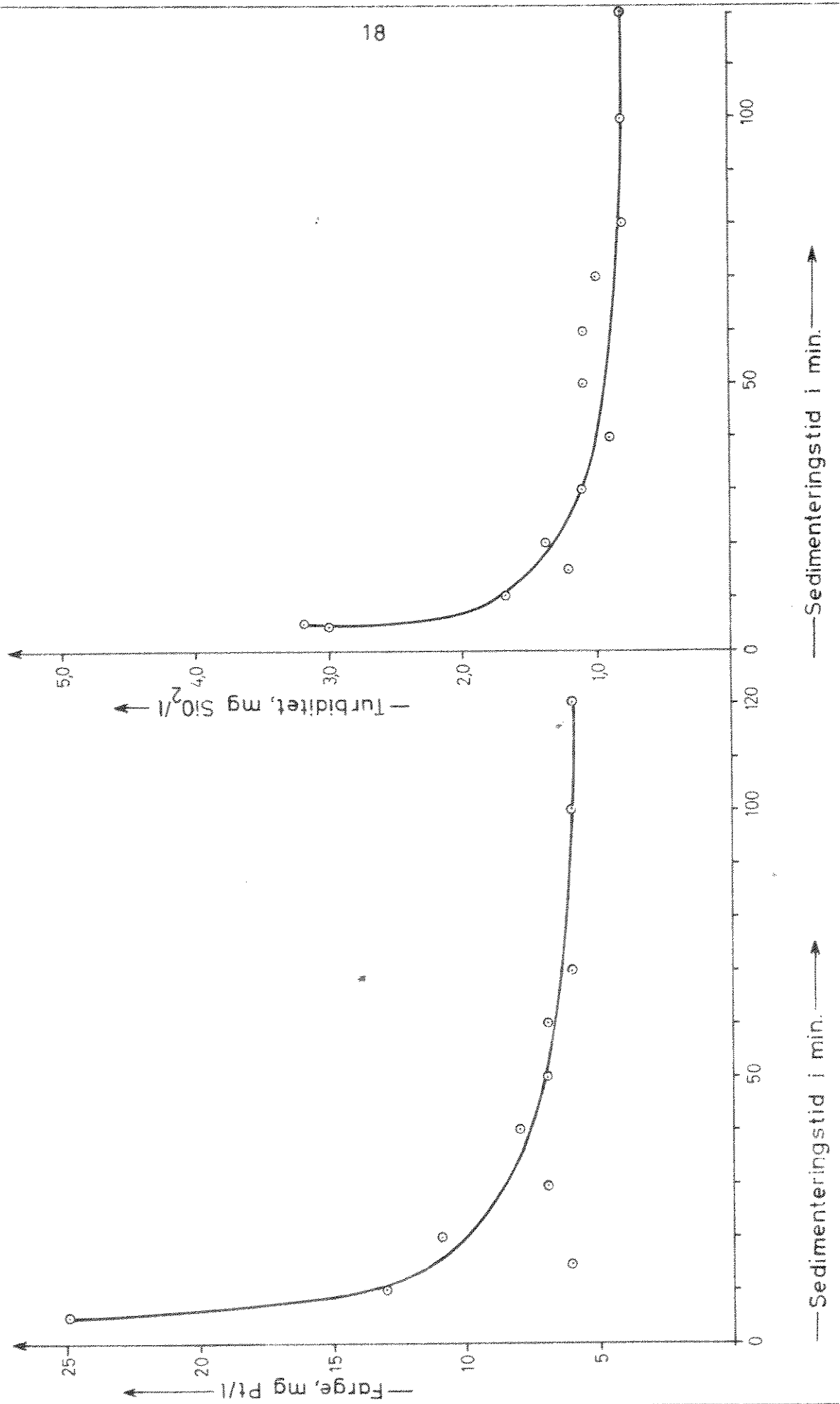


NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING BLINDERN	Forsökserie 6. Sedimentert vann etter dosering av 4,2mg Ca(OH) ₂ /l og 25mg alum/l. Vanntemp. 9,5 - 10,2 °C.	Fig. 6
		O-325

4342



Akt. silica dosering, mg/l	Blind-prøve	1	2	3	4	5
pH	6,9	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
Dannelsestid - første fnokker (min.)		3	3	3	3	3



NORSK INSTITUTT FOR
VANNFORSKNING
BLINDERN

Forsøksserie 8. Sedimentert vann
etter dosering av 4,2 mg Ca(OH)₂/l,
25 mg alum/l og 2 mg akt. silica/l.
Vanntemp. 9,1 °C.

Fig. 8

O-325

