

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

BLINDERN.

C - 255.

Industrivann fra Gravdalsvann.

Saksbehandler: Cand.real. J.E.Samdal

15. februar 1961.

INNHOLD:

	Side	
1. Innledning	1	
2. Overflatetemperaturer i Gravidalsvann 23/9-1960 til 30/1-1961	2	"
3. Prøvetagning i Gravidalsvann 23/9-1960	2	"
4. - " - " - " - 13/1-1961	4	"
5. Prøvetagninger i Gravidalsvann 10/10-1960 til 9/12-1960	6	"
6. Kloreringsforsøk med vann fra Gravidalsvann	6	"
7. Koaguleringsforsøk med vann fra Gravidalsvann	7	"
8. Prosessvann fra Laksevågs kommunale drikke- vannsforsyning	9	"
9. Kvalitetskravene til vannet	10	"
9.1. Kvalitetskravene til kjølevannet	10	"
9.2. - " - " prosessvann	11	"
9.3. Diskusjon av kvalitetskravene	12	"
9.3.1. Kjølevann	12	"
9.3.2. Prosessvann	14	"
10. Konklusjon og forslag til alternative løs- ninger for rensing av kjølevann og prosessvann. Sluttbemerkninger	15	"
10.1. Kjølevann	16	"
10.2. Prosessvann	17	"
10.3. Sluttbemerkninger	17	"

TABELLER OG KURVER:

Tabell 1. Prøvetagning i Gravidalsvann 23/9-1960	Side 18 - 19
" 2. - " - " - " - 13/1-1961.	" 20
" 3. Prøvetagninger i Gravidalsvann 10/10-1960 - 9/12-1960	" 21
" 4. Koaguleringsforsøk på vannprøve tatt 9/12-60 i Gravidalsvann	" 22 - 23
" 5. Kjemiske analyser på vannprøver tatt fra Laksevågs kommunale drikkevann	" 24
Fig. 1. Dybdeforhold i Gravidalsvann	" 25
" 2. Overflatetemperaturer i Gravidalsvann 23/9-60 - 30/1-61	" 26
" 3. Prøvetagning i Gravidalsvann 23/9-60	" 27
" 4. Magasinkurve for Gravidalsvann	" 28
" 5. Prøvetagning i Gravidalsvann 13/1-61	" 29
" 6. Klorering av vann fra Gravidalsvann	" 30
" 7. Koagulering av vann fra Gravidalsvann	" 31

Industrivann fra Gravdalsvann.

1. Innledning.

Den foreliggende rapport omtaler undersøkelser av vann fra Gravdalsvann (Top. kart, Bergen Omland 1 : 25000 Bl.V Askøy) med sikte på utnyttelse av vannet som vannkilde for A/S Norsk Blikkvalseverk, avd. A/S Norsk Jernverk, Simonsvik, Laksevåg pr. Bergen. Undersøkelsene er utført av Norsk institutt for vannforskning (NIVA) etter oppdrag fra A/S Norsk Jernverk, Oslo, ved ingeniørfirmaet Chr.F. Grøner, Oslo. Saksbehandlere for A/S Norsk Jernverk var ingeniørene F.O. Enger og G. Grimstvedt, og saksbehandler for Chr.F. Grøner var ingeniør T. Grøner.

Hensikten med undersøkelsene var å bestemme kvaliteten av vannet i Gravdalsvann med henblikk på hvilke prinsipielle rensemetoder som kunne tenkes å få anvendelse for å forsyne A/S Norsk Jernverks nye koldvalseverk med prosessvann og kjølevann. Det er oppgitt at første utbyggingstrinn av koldvalseverket vil kreve ca. 10 000 m³/døgn, mens annet utbyggingstrinn vil kreve ca. 15 000 m³/døgn. I første utbyggingstrinn vil det medgå ca. 500 m³/døgn til prosessvann, mens resten er kjølevann. Prosessvannet vil etter benyttelsen bli ført til kloakk, mens kjølevannet skal returneres til Gravdalsvann som fungerer som avkjølningsbasseng. Vannmengdene vil bli tatt i viken (Skinnevik) ved det gamle pumpehus, og her vil også kjølevannet returneres til Gravdalsvann. På dette stedet er Gravdalsvann forholdsvis grunt. Vanninntaket vil ligge i vannets overflatelag, og returvannet vil også bli ført ut i Gravdalsvannets overflatelag.

Største dyp i Gravdalsvann er ca. 24 m (Fig. 1). Overflaten er ca. 0,3 Km², og beregnet volum ca. 2,2 mill. m³. Nedslagsfeltet er ca. 2,8 Km². Vannet ligger ca. 13 m over havets overflate. Tilløpet er lite og kommer fra Liavann som benyttes som drikkevannskilde for Laksevåg kommune. Gravdalsvann er oppdemmet og benyttes som vannkilde for A/S Norsk Blikkvalseverks varmvalseverk i Simonsvik. Gjennomstrømningen av vann i Gravdalsvann er derfor trolig liten. Gravdalsvann mottar kloakkutslipp fra omliggende bebyggelse, men avskjærende kloakkledning er prosjektert.

Vi mottok den 20/9-1960 anmodning fra ingeniørfirmaet Chr. F. Grøner om å foreta undersøkelser i Gravidalsvann. Av hensyn til påtenkte bygningsarbeider med renseanlegg m.v. ønsket man undersøkelser avsluttet innen slutten av februar 1961. Når det gjelder undersøkelser av den foreliggende type er det vanlig å foreta undersøkelser over 1 år for å fastslå vannkvalitetens variasjoner gjennom hele året (vår-, sommer-, høst- og vintersituasjonen). På grunn av tidsfristen måtte undersøkelsene i Gravidalsvann begrenses til høst- og vintersituasjonen.

2. Overflatetemperaturer i Gravidalsvann fra 23/9-1960 til 31/1-1961.

I Fig. 2 har vi inntegnet overflatetemperaturen i Gravidalsvann og lufttemperaturen for dette tidsrommet. Lufttemperaturen er middeltallet for temperaturobservasjonene på meteorologisk stasjon Fredriksberg, Bergen, kl. 7, 13 og 19. Kurven for vanntemperaturen viser at allerede i begynnelsen av november var overflatevannet avkjølt til samme temperatur som bunnlagene hadde under sommerstagnasjonen. Man kan regne med at fullsirkulasjonen og utluftningen av vannmassene har foregått fra omtrent dette tidspunkt. Fra ca. midten av desember var Gravidalsvann tilfrosset noen døgn. Isen gikk imidlertid opp igjen, men vannet frøs igjen til i begynnelsen av januar 1961. Gravidalsvann var så dekket av is i alle fall til 31/1-1961.

3. Prøvetagning i Gravidalsvann 23/9-1960.

Prøvene ble tatt på to steder i vannet, stasjon 1 og 2, avmerket på kart Fig. 1. Prøvetagningen foregikk i sterkt regn med vekslende vind fra syd og sydvest.

Resultatene av de fysisk-kjemiske analyser som ble utført på vannprøvene fra denne prøvetagningen er fremstilt i Fig. 3 og i Tabell 1. Kurvene i Fig. 3 viser særlig den fysikalsk-kjemisk balanse i Gravidalsvann. I Tabell 1 er sammenstillet en del analysetall både fra stasjon 1 og fra stasjon 2. Tallene i Tabell 1 supplerer kurvene i Fig. 3.

Temperaturen i Gravidalsvann under prøvetagningen viser et forløp som er vanlig for innsjøer av denne typen. I topplagene er vannet relativt varmt. I sprangskiktet, fra ca. 6 - ca. 10 m, synker temperaturen raskt mot dypet. Vannet i dyplagene er ca. 7 - 8°C. Temperaturforandringene med dypet fører til at vannets tetthet forandres. Bevegelser i vannets overflate, (vind o.l.) klarer derfor bare å skape turbulens i topplagene, mens de tyngre bunnlagene er uberørt av slik bevegelse. Det er derfor bare vannets topplag som kan utluftes og tilføres oksygen fra luften. På grunn av den rike tilførsel av næringssalter til Gravidalsvann fra kloakkutløp vil det i topplagene av vannet opptre store mengder alger¹⁾ som ved hjelp av lys produserer oksygen. Produksjonen av oksygen forklarer at oksygenmetningen i topplagene er over 100%.

Suspenderte partikler som sedimenterer i vannmassene, akkumuleres i sprangskiktet. Her avtar sedimenteringshastigheten på grunn av at vannets tetthet og viskositet forandres med temperaturen. Verdiene for farge og turbiditet er høye i og like under sprangskiktet. Under sprangskiktet dominerer nedbrytningen (oksydasjonen) av organisk stoff, og oksygenet forbrukes.

Algenes assimilasjon forbruker kulldioksyd i de øvre topplag (inntil 2 m), og pH er derfor relativt høy. Dypere vil oksydasjonen dominere, og kulldioksyd produseres slik at pH synker og elektrisk ledningsevne stiger. Under ca. 10 m er vannet oksygenfritt. De oksygenfrie lag av vannet representerer imidlertid en relativt beskjeden mengde (ca. 0,4 mill. m³) av innsjøens samlede volum. Se magasinkurve, Fig 4. I sprangskiktet og like under dette vil oksydasjonen føre til produksjon av svovelhydrogen og fri kulldioksyd, som delvis bindes som bikarbonat. Derfor vil både pH, el.ledningsevne, asiditet og alkalinitet øke i dette dyp.

Nær bunnen viser farge og turbiditet økende tendens, og oksydasjonsprosesser vil dominere. Surhetsgraden, pH, vil igjen avta mens ledningsevne, asiditet og alkalinitet øker fordi det produseres kulldioksyd og bikarbonat.

1)

Særlig Sconedasmus.

I Tabell 1 er den fysikalsk-kjemiske balanse mellom de forskjellige komponenter oppført for stasjon 1. Forholdene ved denne stasjon når det gjelder temperatur, oksygen, farge, turbiditet, ledningsevne, permanganat-tall, alkalinitet og asiditet er i overensstemmelse med forholdene ved stasjon 2. Tabell 1 viser at vannet er bløtt til middels hårdt. Innholdet av klorid er for så vidt høyt. Forholdet henger sammen med at Gravdalsvann ligger nær kysten, samtidig som det er belastet med utslipp av kloakkvann. Innholdet av næringskomponentene nitrat og totalfosfat er også høyt og har sammenheng med kloakkutslippene i vannet.

4. Prøvetagning i Gravdalsvann 13/1-1961.

Prøvetagningen ble gjennomført i sterk vind fra syd og sydvest, med regnbyger. Hele Gravdalsvann var dekket med is av 4 - 10 cm tykkelse. Over hele isen var det 5 - 6 cm overvann. Det ble bare tatt prøver fra stasjon 2. Resultatene av de fysisk-kjemiske analyser for denne prøvetagningen er fremstilt i Fig. 5 og i Tabell 2.

Utover høsten 1960 foregikk det en avkjøling av topplagene i Gravdalsvann. I begynnelsen av november, da topplagene hadde samme temperatur som bunnlagene (se 2. og Fig. 2), var vannets tetthet den samme i hele vannmassen. Bevegelser i topplagene, forårsaket av vind o.l., kunne derfor skape turbulens i alle vannlag, og høstsirkulasjonen inntrådte. Høstsirkulasjonen har tydeligvis vedvart i flere uker. Under høstsirkulasjonen kunne vannmassene utluftes slik at vannet ble tilført oksygen fra atmosfæren. Temperaturkurven i Fig. 4 viser at vannet hadde temperatur fra 2 - 3°C. Dette henger sammen med at innsjøen er grunn, og det har vært en kraftig avkjøling av vannmassene gjennom høst- og vinterperioden frem til januar. Temperaturen av vannlaget like under isen var ca. 2°C. Forholdet skyldes at vannlaget var blandet med regn- og smeltevann (overvannet på isen). Selv om høstsirkulasjonen har gitt mulighet for relativt god utluftning av Gravdalsvann viser oksygenkurven i Fig. 4 at oksygenforbruket foregår til en viss grad selv vinterstid, når de biologiske prosesser forløper lang-

sommere enn på varmere årstider. De lave oksygenverdier om vinteren viser klart den store forurensningsbelastning innsjøen er utsatt for.

Kurvene for vannets farge og turbiditet forløper i Fig. 5 på en slik måte at forholdene er vidt forskjellig ^{fra} 23/9-60. Fargen og turbiditeten 13/1-61 viser ikke de karakteristiske variasjoner i forhold til dypet som ved prøvetagningen 23/9-60. Dette skyldes at hele vannmassen stort sett har samme temperatur, og de biologiske prosesser er stagnert. Tallene for farge og turbiditet er selv nå om vinteren høye. Som tidligere skyldes mesteparten av fargen suspenderte partikler (turbiditet). Fra ca. 2 - 12 m er turbiditeten litt over $\frac{1}{2}$ mg SiO_2 /l. Man kunne kanskje vente at partikler i vannet som forårsaker turbiditet under vintersituasjonen ville sedimentere i vannmassene, slik at turbiditeten var lavere enn i varmere årstider. Når så ikke er tilfelle antar vi at dette henger sammen med at turbiditeten i Gravidalsvann skyldes partikler som er så små at de holder seg svevende lenge i vannet.

Verdiene for pH, el.ledningsevne og alkalinitet i Fig. 5 viser også overensstemmelse med at de biologiske prosesser nå er stagnert, og at vannmassene i hovedtrekkene har samme sammensetning ved forskjellig dyp. Når ledningsevnen akkurat i overflaten er lav, må dette henge sammen med at overflatevannet var sterkt preget av regnvann og overvann på isen. For komponentene farge, turbiditet, el.ledningsevne, alkalinitet og pH finner man en lignende bunneffekt som ved prøvetagningen i september, idet komponentene viser en stigende verdi mot bunnen. På grunn av nedbrytningen som foregår i dyplagene er oksygenmetningskurven avtagende mot bunnen.

Et mål for vannets innhold av organiske stoffer er fremstilt ved bikromat-tallet og permanganat-tallet i Tabell 2. Bikromat-tallet viser et uregelmessig forløp i de forskjellige dyp. Permanganat-tallet viser at de organiske stoffene i vannet nå er mer jevnt fordelt enn ved prøvetagningen i september 1960. Stort sett ligger permanganat-tallet for siste prøvetagning

lavere enn for prøvetagningen i september. Dette henger sammen med at innhold av organisk substans nå er mindre.

5. Prøvetagninger i Gravdalsvann i tiden 10/10-1960 til 9/12-1960.

I dette tidsrum ble det tatt endel prøver fra Gravdalsvann for å undersøke vannets filtrabilitet, og for utførelse av koaguleringsforsøk. På vannprøver fra disse prøvetagningene er det utført noen kjemiske analyser, og resultatene er oppført i Tabell 3. Turbiditeten i overflaten er like høy for prøvetagningen i desember som for første prøvetagning i september. I desember hadde fullsirkulasjonen foregått, og temperaturforholdene i vannmassene var ensartet. Likevel har de suspenderte partikler ikke klart å sedimentere, et forhold som sikkert henger sammen med at disse partiklene er finfordelte og små. Vannets innhold av magnesium fra prøvetagningen 10/10-1960 viser en konsentrasjon på 1,2 mg MgO/l. Vann fra prøvetagning 11/10-60 har vi filtrert gjennom et Schleicher u. Schüll laboratoriefilter av papir, nr. 589³ (poreåpning 2,2 μ). Turbiditeten er redusert fra 4,1 til 0,4 mg SiO₂/l, og samtidig er fargen sunket fra 82 til 17 mg Pt/l. Disse tallene viser at de små partiklene som forårsaker turbiditet kan la seg filtrere når porestørrelsen på filteret er tilstrekkelig liten. Kaliumpermanganat- og kaliumbikromat-tallene er ikke redusert ved filtreringen. Det betyr at de oppløste organiske stoffene i vannet er utslagsgivende når det gjelder vannets oksyderbarhet. Turbiditeten, eller de svevende partikler i vannet, bidrar altså lite til vannets oksyderbarhet.

I hele perioden forekom store mengder av algen Scenedesmus.

6. Kloreringsforsøk med vann fra Gravdalsvann.

For å fastslå de omtrentlige doser som måtte bli nødvendig ved klorering, og for å bestemme vannets klorbehov, har vi utført noen enkle laboratorieforsøk på filtrert og ufiltrert vann fra Gravdalsvann. Forsøkene ble utført i én liters mørke glassflasker med glasspropp. Resultatene av forsøkene er fremstilt i Fig. 6.

Klorbehovet er som ventet størst for ufiltrert vann. Ved dosering av 2,2 mg $Cl_2/1$ synker restklormengden¹⁾ til 1,75 mg $Cl_2/1$ allerede etter 15 min.henstand. Klorforbruket her er derfor 0,45 mg $Cl_2/1$. For filtrert vann er klorforbruket etter 15 min. henstand 0,2 - 0,3 mg $Cl_2/1$. I alle tre forsøk avtar restklormengden langsomt med økende henstandstid. Selv etter 23 timer er det betydelige restklormengder tilstede.

Det er klart at enkle forsøk i laboratoriet bare gir en pekepinn om doseringsmengder og restklormengder i forhold til det man må vente å få ved klorering i et større kjølevannssystem. Legger man til grunn våre klortall fra forsøkene, så vil det sannsynligvis ikke bli aktuelt med større dosering av klor enn 1 mg $Cl_2/1$, hvis restklormengden i rørsystemet ikke skal overskride 0,4 mg/1 (se 9.1.). Kjølesystemets volum er oppgitt til ca. 180 m³. Med de store vannmengder det her er tale om vil oppholdstiden i kjølesystemet bli av størrelsesorden 20 - 30 min.

7. Koaguleringsforsøk med vann fra Gravdalsvann.

Koaguleringsforsøkene eller "jar-tests" ble utført for å skaffe opplysninger om doseringsforhold og koaguleringsbetingelser forøvrig for prosessvannet. Koaguleringsforsøkene ble utført i en laboratorieflokkulator, som ikke kan sies å gi samme koaguleringsbetingelser som et teknisk anlegg. Likevel gir koaguleringsforsøk i laboratorieskala verdifulle opplysninger om koaguleringsprosessen i sin almindelighet. For å utføre koaguleringsforsøk under mest mulig representative forhold er det vanlig at forsøkene utføres på stedet. For våre forsøk var slike undersøkelser på stedet ikke mulig, og vi valgte derfor å transportere vann fra Gravdalsvann til vårt laboratorium for at forsøkene kunne utføres her. Koaguleringsforsøkene i laboratoriekoagulatoren gir som nevnt bare relative mål for koaguleringsprosessen, og vi regner med at de forandringer som har foregått med vannet under transport og lagring ikke har vært av avgjørende betydning for resultatene av koaguleringsforsøkene. I vår laboratorieflokkulator utføres koaguleringsforsøkene på 1 liters vannprøver.

1) Med restklormengde menes her total restklor, bundet og fri.

Koagulerings- og blandefasen varer i 3 - 4 min., og i løpet av denne tid tilsettes koagulantene. Omrøringshastigheten er i koagulerings- og blandefasen 200 omdreininger/min, eller 0,6 m/sek. Flokkuleringsfasen varer i 56 - 57 min, og omrøringshastigheten er 20 omdr./min eller 0,06 m/sek. Etter at koaguleringsforsøket er utført, betraktes fnokkene og deres sedimentasjonshastighet rent visuelt. Vannprøvene blir så filtrert gjennom et Schleicher u. Schüll foldefilter av papir nr. 560. På filtratene utførte vi bestemmelse av permanganat-tall, turbiditet, farge og pH. I alt ble det utført 5 forsøk under varierende koaguleringsbetingelser. Resultatene er oppført i Tabell 4.

Forsøk 1 og 2 er identiske hva angår doseringsmengder. I Forsøk 1 har vi imidlertid dosert kalk først, mens det i Forsøk 2 først ble dosert alum.¹⁾ Doseringen 5 mg $\text{Ca}(\text{OH})_2/1$ og 20 mg alum/1 gir i begge forsøk gode fellingsbetingelser. Turbiditeten er redusert til 0,2 - 0,3 mg $\text{SiO}_2/1$, og fargen til 2 mg Pt/1. I Forsøk 1 er permanganat-tallet redusert med 61%, mens tilsvarende reduksjon for Forsøk 2 er 49%. Kalkdosering først er derfor muligens en fordel.

I Forsøk 3 doserte vi først 5 mg $\text{Ca}(\text{OH})_2/1$, og deretter 20 mg alum/1. Vi tilsatte så fra 1 - 7 mg Aurosil N 31 (aktivert silica, aktivert med alum). Med 5 mg Aurosil N 31/1 fikk vi relativt god reduksjon i permanganat-tall, men farge og turbiditet på filtratet ligger relativt høyt. Dette henger sikkert sammen med at fnokkene var så små at de tildels passerer gjennom filteret. Koaguleringen foregikk tydeligvis ved for lav pH (4,7 - 4,8).

Forsøk 4 er utført med samme doseringsrekkefølge som i Forsøk 3, men alumdosen og aurosildosen er holdt konstant, henholdsvis 20 mg/1 og 4 mg/1. Kalktilsetningen er variert fra 5 - 12 mg $\text{Ca}(\text{OH})_2/1$. Gunstigste fellingsbetingelser er ved pH 6,7 og dosering 5 mg $\text{Ca}(\text{OH})_2/1$. I siste forsøk holdt vi alumdoseringen konstant på 20 mg/1, mens kalk-doseringen og aurosildoseringen ble variert. Doseringskombinasjonen 3 mg $\text{Ca}(\text{OH})_2/1$, 1 mg Aurosil N 31/1 gir meget god reduksjon i permanganat-tall, farge og

¹⁾ aluminiumsulfat

permanganat-tall, farge og turbiditet. Tellingen foregår ved pH 6,6.

Resultatene av våre forsøk viser at vannet i Gravdalsvann lar seg koagulere relativt lett. Dette henger sammen med vannets turbiditet, idet partiklene fungerer som kimfnokker for dannelsen av fnokkene. Det ser ut til at kalk bør doseres først og deretter alum. Bruk av hjelpekoagulanten aktivert silica synes, ut fra våre forsøk, ikke å være nødvendig. Berettigelsen av aktivert silica som hjelpekoagulant i teknisk anlegg kan bare avgjøres ved forsøk i selve anlegget. Koaguleringsforsøkene viser at man ved å koagulere prosessvannet kan få vann av den kvalitet som forutsettes ut fra kvalitetskravene (se 9.2.).

I Fig. 7 er fremstilt resultatene av Forsøk 1. Kurvene viser tydelig at vannets permanganat-tall er det beste mål for koaguleringsprosessens effektivitet. Mens verdiene for farge og turbiditet er lave og tilnærmet de samme over et stort doseringsområde, varierer kaliumpermanganat-tallet over det samme området.

3. Prosessvann fra Laksevågs kommunale drikkevannsforsyning.

Et alternativ til prosessvann fra Gravdalsvann er prosessvann fra Laksevågs kommunale drikkevannsforsyning. I Tabell 5 er oppført resultatene av en del kjemiske analyser på vannprøver tatt 1/12 1960 av drikkevannet i Laksevåg. Prøven fra Løvstakkvann er tatt på hovedledningen nær inntaksmagasinet. Prøven fra Liavann er tatt på hovedledningen fra Lyngbøtjern, idet vann fra Liavann før distribuering pumpes opp i Lyngbøtjern. I tillegg til prøvene fra hovedledningen er det 2/12-60 tatt prøver fra ledningsnett i Laksevåg. Prøvetagningene er utført av Dr.ing. Ths. Svane, Bergen, som også har foretatt mesteparten av de kjemiske analysene.

I kjemisk henseende er vannet av den sure, bløte og humusholdige typen. Fargen og turbiditeten er relativt lav, mens permanganat-tallet er høyere enn det som kvalitetskravene tilsier (se 9.2.). Magnesiuminnholdet i vannet er av samme størrelsesorden som i Gravdalsvann. Innholdet av fritt klor er ikke bestemt, men vi

regner med at dette er lavt. Hvis kravet om det lave kaliumpermanganat-tall opprettholdes, måtte eventuelt også drikkevann fra Laksevåg kommune koaguleres for bruk som prosessvann. Samme synspunkter som for Gravdalsvann vil gjøre seg gjeldende når det gjelder vurdering av tilstedeværende små mengder magnesium. Sannsynligvis ville det være vanskeligere å koagulere vann fra Laksevågs drikkevann enn vann fra Gravdalsvann. Hvis kravet om lavt permanganat-tall og lavt innhold av magnesium ikke opprettholdes, kan drikkevann fra Laksevåg brukes direkte som prosessvann uten videregående rensning.

9. Kvalitetskravene til vannet.

Når det gjelder kvalitetskravene til vannet fra Gravdalsvann har vårt utgangspunkt vært at disse måtte fastsettes av leverandørene av det tekniske utstyr som vannet kommer i kontakt med. Dette utstyr grupperer seg naturlig i 2 hovedtyper: Utstyr for de forskjellige prosesser, og utstyr for kjøling.

9.1. Kvalitetskravene til kjølevannet.

Kjøleutstyr til koldvalseverket vil bli levert av A.E.G., Berlin-Grünwald, Tyskland, og av firma W.H.A. Robertsen Co., Ltd., Bedford, England. Firma A.E.G. har for sitt vedkommende opplyst at kjøleutstyret vil bestå av marinemetall. I brev av 1/12-1960 til A/S Norsk Jernverk anbefales generelt filtrering og klorering av kjølevann. Forøvrig er det ikke spesifisert kvalitetskrav av betydning, og vi har heller ikke foretatt undersøkelse av forholdet mellom nevnte metalltype og kvalitetene av vannet i Gravdalsvann.

Firma Robertsen skal levere utstyr av en legering som består av kopper, aluminium, sink og arsen. , alternativt en mer bestandig kopper-nikkellegering. Kvalitetskravene til vannet er antydnet i brev av 12/12-1960 til A/S Norsk Jernverk. Hovedinnholdet av brevet kan sammenfattes slik:

Organisk innhold i vannet reduseres til et minimum, om nødvendig ved koagulering (fullrensing).

Surhetsgrad. Vannets pH justeres til den alkaliske siden av nøytralpunktet (pH > 7).

Vannets alkalinitet økes til 40 mg/l, fortrinnsvis med kalkstein eller kalkhydrat.

Innhold av klorid. Hvor messing(hard-brass) er i kontakt med vannet må forholdet mellom temporær hårdhet og klorid ikke bli mindre enn 1,2.

Fritt klor og/eller kloraminer holdes så lavt som mulig, i alle tilfelle ikke mer enn 0,4 mg/l.

Algicider. Det kan anvendes 0,5 - 2 mg/l kopparsulfat like foran filtrering, alt etter karbonat-alkaliniteten.

Temperatur. Hvis inntaksvannet har en temperatur på 16°C vil vannets temperatur etter bruk til kjøling ikke overstige 25°C.

9.2. Kvalitetskrav til prosessvann.

Prosessutstyret, som består av utstyr for fortinning, avfetting og beising leveres av firma Ruthner, Wien. Kvalitetskravene til vannet er antydnet av Ruthner og overfor A/S Norsk Jernverk i brev av 8/9-1960, 15/11-60 og 14/12-60. Kvalitetskravene fra Ruthner er uklart formulert og er tildels, fra et vannteknisk og kjemisk synspunkt, lite forståelig. Hertil kommer at Ruthner ikke alltid har uttrykt sine krav tallmessig i internasjonalt anerkjente måleenheter for vannkvaliteter. Når det gjelder de kvalitetskrav som har praktisk betydning for vannet fra Gravidalsvann har vi imidlertid tolket Ruthners krav slik:

Vannets innhold av organisk stoff må reduseres slik at permanganat-tallet ligger fra 1,25 - 1,75 mg O/l¹⁾.

Vannets utseende. Fargen må ligge i området 1 - 5 mg Pt/l, og turbiditeten i området 1 - 2 mg SiO₂/l.

Desinfisering. Vannet må kloreres slik at restklormengden er 0,2 - 0,5 mg Cl₂/l.

¹⁾ Ved å dividere permanganat-tallet i mg KMnO₄/l med 4,0 fås tallet i mg O/l.

Avklorering. Etter kloringen skal vannet avkloreres før det benyttes i prosessene. Denne avklorering anbefales utført med aktivt kull. Under visse omstendigheter kan en konsentrasjon av fritt klor inntil 0,1 mg Cl₂ tolereres.

Uorganiske salter. Magnesium forlanges fjernet fullstendig med kationutbytter. Dette krav gjelder dog bare for fortinning og beising, men ikke for avfetting.

9.3. Diskusjon av kvalitetskræene.

I den følgende diskusjon av kvalitetskræene vil vi forsøke å belyse disse ut fra vårt kjennskap til kvaliteten av vannet i Gravdalsvann, samtidig som vi sammenholder dette med de kvalitetskrav som er fremkommet fra leverandørene av prosessutstyr og kjøleutstyr. Kvaliteten av vannet er også belyst i uttalelse av 15/9-60, som A/S Norsk Jernverk har innhentet fra N.V.Nederlands Verkoopkontoor Voor Walslerigproducten (N.V.W.).

9.3.1. Kjølevann.

Vanligvis henger kjølevannsproblemer sammen med tilstopping, begroing og korrosjon i kjølesystemet. Tilstopping skyldes at suspendert materiale i vannet, eller mikroorganismer fra dette, avsetter seg i rørsystemene. Begroing er at mikroorganismer setter seg fast i kjølesystemet, og ernærer seg av organiske stoffer i vannet. Korrosjonsplager kan føre til nedsatt hastighet på vannet eller tilstopping som følge av rustdannelser. Renseinstallasjoner for behandling av kjølevann må sees i sammenheng med kjølesystemets kostende og eventuelle driftsvanskeligheter som kan oppstå ved bruk av urensset vann som kjølevann. I utlandet ser man ofte, særlig i de senere år, nokså vidtgående rensesinnretninger for kjølevannsanlegg, mens det her i landet nærmest er uvanlig med rensing av kjølevann.

Vannet i Gravdalsvann er sterkt forurenset og inneholder store mengder suspenderte partikler. Det er derfor rimelig at man fjerner suspendert materiale fra kjølevannet. Desinfeksjon av vannet er nødvendig for å hindre begroing. Fjerning av suspen-

dert materiale fra vannet kan foregå med filtreringsinstallasjoner, hvor selve filtermaterialet sannsynligvis bør ha liten pore-størrelse, idet den største mengden av partiklene i Gravdalsvann vil være meget små, størrelsesorden 5 - 10 μ . For desinfisering er klorgass velegnet, og det er mulig at man med fordel kan klorere foran filtreringsprosessen. Når det gjelder Robertsons krav om små restklormengder i kjølevannet, maksimalt 0,4 mg $Cl_2/1$, så må dette nøye vurderes ut fra den måten begroingen foregår på i kjølesystemet. I mange tilfeller kan det være en fordel med sjokk-klorering, d.v.s. klorering som for korte tidsrum fører til relativt høye restklormengder (> 0,4 mg $Cl_2/1$). Firma Robertsons krav om å redusere det organiske innhold i vannet til et minimum ved koagulering anser vi for å være et for vidtgående krav til kjølevannet. Med en effektiv filtreringsprosess som reduserer turbiditeten til 1 mg $SiO_2/1$ eller mindre, vil det fremdeles være tilstede oppløste organiske stoffer i vannet. Man kan imidlertid regne med at disse organiske stoffene vil ha liten betydning for brukbarheten av vannet som kjølevann.

Robertsons krav om pH på den alkaliske siden av nøytralpunktet anser vi for rimelig, og det er sannsynligvis en fordel å heve pH til omkring 8 for å redusere korrosjon av kopper og kopperlegeringer. Heving av pH kan utføres ved kalkdosering. Med hensyn til kravet om økning av vannets alkalinitet til minst 40 mg/1 antar vi at Robertson er i villrede med hensyn til karakteren av den foreliggende vanntype. Sannsynligvis mener firmaet her bikarbonat-alkalinitet på 40 mg $CaCO_3/1$. Ved kalking av vannet fra Gravdalsvann vil alkaliniteten i alt vesentlig bestå av bikarbonat-alkalinitet. Kalking av filtrert vann til pH 8,2 vil imidlertid bare resultere i en alkalinitet svarende til 2,3 ml N/10 HCl/1 (11 - 12 mg $CaCO_3/1$).

Av hensyn til korrosjon på messing (hard-brass) forlanger Robertson at forholdet temporær hårdhet/klorid skal være > 1,2. I vannet fra Gravdalsvann vil dette forholdet variere, men våre undersøkelser viser at det kan tenkes å bli så lavt som 1,1 - 1,2.

Robertsons krav om tilsetning av koppersulfat for kontroll av

algevekst kan man sannsynligvis se bort fra når vannet tilsettes klor. En særlig ulempe med koppersulfatdosering er kopperets aggressive tendens overfor aluminium. Sammenholdes Robertsons krav med forslagene fra N.V.W. er det forholdsvis god overensstemmelse.

9.3.2. Prosessvann.

Det fremgår av punkt 9.2. at kravene til prosessvannet for koldvalseverket er vidtgående. På grunn av tidsfristen for våre undersøkelser har det ikke vært mulig å få undersøkt om disse krav virkelig har en reell bakgrunn, eller om man her står overfor det forhold at utlendinger ofte har så dårlige vannkilder at de uten videre forlanger inngående rensning av alt vann, ut fra sine egne, rent lokale erfaringer. Vi har imidlertid bragt i erfaring at fortinning er en følsom prosess som lett forstyrres av tilstedeværende komponenter. Det er derfor ikke usannsynlig at det kan være nødvendig med meget inngående rensning av vannet i Gravidalsvann. Særlig gjelder det vannets innhold av suspenderte og oppløste organiske stoffer.

Med hensyn til Ruthners krav om farge $< 5 \text{ mg Pt/l}$, permanganattall fra $1,25 - 1,75 \text{ mg O/l}$ (fortrinnsvis $< 1,25 \text{ mg O/l}$) og turbiditet $1 - 2 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$, så foreligger det her et innbyrdes misforhold mellom farge, turbiditet og kaliumpermanganattall. Ruthner har tydeligvis ment at turbiditeten i alle fall må ligge under $1 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$. Kravet om det meget lave permanganattall skyldes ifølge Ruthner at man i minst mulig utstrekning ønsker å forgifte en etterfølgende kationutbytter med organiske stoffer fra vannet.¹⁾ De her nevnte krav med hensyn til farge, turbiditet og kaliumpermanganattall kan bare innfris ved at vannet behandles ved koagulering, sedimentering og sandfiltrering.

Neste trinn i renseprosessen bør ifølge Ruthner være klorering som resulterer i restklormengder på $0,2 - 0,5 \text{ mg Cl}_2/\text{l}$. Hvis vannet ikke skal benyttes som drikkevann er hensikten med denne klorering uklar for oss. Klorering på dette punkt vil antagelig medføre

1) Opplysninger fra N.V.W. antyder at kravet henger sammen med mulighetene for forurensning av produktene med organiske stoffer.

et lite klorbehovforbruk, men hvis kravet om klorering her opprettholdes, er det sannsynligvis nødvendig med en viss kontakttid for at vannet skal bli fullstendig desinfisert. Etter kloreringen forlanger Ruthner avklorering, idet litt høyere klor-konsentrasjoner tydeligvis forstyrrer prosessene. Riktignok angir Ruthner at klor $< 0,1 \text{ mg Cl}_2/1$ "unter gewissen Umstände" kan tolereres. Det foreligger derfor den mulighet å sløyfe avkloreringsanlegget hvis klordoseringen avpasses etter kontakttid slik at vannet er fullstendig desinfisert, men likevel inneholder $< 0,1 \text{ mg Cl}_2/1$ når det rekker frem til den egentlige prosess.

Ruthner forlanger at vannet til fortinnings- og beiselinjen ikke skal inneholde magnesium. Nå er magnesiumkonsentrasjonen i Gravdalsvann fra 1 - 2 mg MgO/l. Ifølge opplysninger innhentet fra N.V.W. er den øvre tillatte grense for magnesium 1 mg MgO/l. Det råder altså en viss uenighet mellom de forskjellige instanser når det gjelder tillatt innhold av magnesium. Hensikten med å fjerne magnesium fra vannet for fortinnings- og beiselinjen må åpenbart være at magnesium erfaringsmessig forstyrrer disse prosessene. Det er derfor rimelig at hensyn til prosessen bestemmer den konsentrasjon av magnesium som kan tolereres. Hvorvidt de små mengder magnesium som fins i Gravdalsvann fjernes ved koaguleringsprosessen er det vanskelig å ha noen formening om på forhånd, bl.a. fordi man ikke har noen oversikt over hvilke mengder magnesium de tilsatte koagulanter er forurenset med.

10. Konklusjon og forslag til alternative løsninger for rensning av kjølevann og prosessvann. Sluttbemerkninger.

Gravdalsvann er en sterkt forurenset innsjø. Forurensningene består dels av bestanddeler direkte fra kloakkutløp, dels av alger som opptrer sekundært fordi kloakkutslippene inneholder rikholdig næringsgrunnlag. Vannet fra Gravdalsvann kan etter forutgående rensning benyttes som prosessvann og som kjølevann for nytt koldvalseverk ved A/S Norsk Jernverk. Formålet med å rense prosessvannet er å fjerne forekommende komponenter som kan

forstyrre prosessene eller forurene de ferdige produkter. På samme måte er formålet ved rensning av kjølevannet å fjerne årsaker som kan føre til ulemper i kjølesystemet. Av forskjellige grunner er det naturlig at leverandører av prosessutstyr og utstyr til kjølesystemer stiller strenge krav til vannkvaliteter. Hovedproblemet er derfor å vurdere vannkvalitetene av rensset og urensset vann mot leverandørens krav. Hvis en slik vurdering skal foretas på helt eksakt grunnlag kreves det inngående kjennskap til de foreliggende prosesser og utstyr. På grunn av den korte tid som vi har hatt på våre undersøkelser er det vanskelig for oss å foreta en vurdering på et slikt eksakt grunnlag. Vi vil derfor foreslå alternative løsninger som forslag til rensning av kjølevann og prosessvann.

10.1. Kjølevann.

Alternativ 1.

1. Klorering.
2. Filtrering.
3. Plass avsatt for doseringsutstyr for tilsetning av kalk og inhibitorer.

Klorering av kjølevannet anser vi for å være helt nødvendig for å unngå begroing av kjølesystemet. Filtrering av kjølevannet vil være en fordel for å redusere slamdannelser i kjølesystemet. Filtrering må i tilfelle foregå på en slik måte at filtratet har en turbiditet på $1 \text{ mg SiO}_2/1$ eller mindre. For å oppnå så lav turbiditet på filtratet er det sannsynligvis nødvendig med plasskrevende og relativt kostbare filterinstallasjoner. Man må regne med at vannet, med sitt store innhold av små partikler, ikke er lett filtrerbart. Når det gjelder korrosjonsvanskeligheter i kjølesystemet, bør disse være gjenstand for undersøkelse etter at kjølesystemet er tatt i bruk. Sannsynligvis vil det opptre korrosjon i kjølesystemet, men berettigelsen av installasjoner for å hindre korrosjon bør vurderes etter noen tids drift.

Alternativ 2.

1. Klorering. I dette tilfelle vil man kunne forhindre begroing i kjølesystemet, mens slamavsetninger kan tenkes å forekomme. Det blir derfor nødvendig å komme til de forskjellige enheter i kjølesystemet for utbørsting av avsettbare stoffer.

10.2. Prosessvann.

Alternativ 1.

1. Koagulering.
2. Sedimentering.
3. Filtrering.
4. Klorering.
5. Avsatt plass for avklorering.
6. Avherdning.

Koagulering, sedimentering og filtrering av prosessvannet anser vi for å være helt nødvendig. Klorering slik at vannet er desinfisert med restklormengde $< 0,1 \text{ mg Cl}_2/\text{l}$ og etterfølgende avherdning, bringer vannets kvalitet i overensstemmelse med kvalitetskravene. Det må derfor i høyden være tilstrekkelig at det avsettes plass for avkloreringsanlegg.

Alternativ 2.

1. Koagulering.
2. Sedimentering.
3. Filtrering.
4. Avsatt plass for klorering.
5. Avsatt plass for avherdning.

Berettigelsen av klorering og avherdning er uklar. Det er derfor sannsynligvis riktig å la noen tids prøvedrift være bestemmende for om klorering og avherdning er nødvendig av det koagulerte og filtrerte vannet.

10.3. Sluttbemerkninger.

Alternativene 1 gir mulighet for full dekning av leverandørens kvalitetskrav, både for kjølevann og prosessvann. Alternativene 2 innebærer endel forenklinger av rensesystemene, men vil likevel gi mulighet for tilfredsstillende driftsforhold.

Tabell 1.

Prøvetagning i Gravdalsvann 23/9 1960.

Stasjon 1.

m dyp	Oksygen mg O/l	Permanganat-tall mg O/l	Hårdhet mg CaO/l
0	10,6	4,9	8,6
2	10,2	4,6	9,0
4	8,2	5,1	8,6
6	6,9	4,9	8,4
8	6,1	4,4	8,9
9	1,3	4,1	8,2
10	0,2	3,6	8,4
11	0,2	3,8	8,3
12	0,2	4,8	8,5
14	0	-	-
16	0	5,1	8,4
20	0	6,1	8,2

Prøvetagning i Gravdalsvann 23/9 1960.

Meter dyp	Prøvetype	Temperatur °C	Oksygen mg O/l	Oksygen % metning	pH	El. ledn. evne. 10^{-5} $\frac{\Omega}{cm}$	Farge mg Pt/l	Turbiditet mg SiO ₂ /l	Permanganat-tall mg O/l	Alkalinitet ml N/10 HCl/l	Asiditet ml N/10 NaOH/l	Sulfat mg SO ₄ /l	Klorid mg Cl/l	Nitrat mg NO ₃ /l	Totalfosfat mg PO ₄ /l	Hårdhet mg CaO/l	Jern mg Fe/l	Mangan mg Mn/l
Stasjon 1.																		
0 og 2	B1.pr.											7	8,3	0,32	-		0,44	0
4, 6 og 8	"											8	10,8	0,38	0,25		0,58	0
9, 10 og 12	"											2	10,2	0,36	0,32		1,9	0
14	E.pr.											<1	-	-	-		5,3	0
16 og 20	"											-	11,2	0,10	-		5,4	0,2
Stasjon 2.																		
1	E.pr.	13,0	10,9	107	7,5	6,45	108	5,8	4,7	2,2	0,2					8,6		
4	"	14,0	10,3	103	7,3	6,39	97	5,4	4,6	2,2	0,2					8,6		
8	"	13,1	6,9	67,6	6,8	6,39	76	4,2	4,2	2,4	0,4					9,2		
12	"	7,8	0	0	6,5	7,75	174	11	4,3	3,6	1,3					8,4		
1 og 4	B1.pr.											7	9,6	0,28			0,42	0
8	E.pr.											14	-	0,39			0,48	0
8 og 12	B1.pr.												10,2	0,14			5,0	0

E.pr. - enkeltprøve.
B1.pr. - blandprøve fra flere dyp.

Tabell 2.

Prøvetagning i Gravdalsvann 13/1 1961.

Stasjon 2.

m dyp	Prøvetype:	Bikromat-tall mg O/1	Permanganat-tall mg O/1
0	E.pr.	10,9	1,8
2	"	12,3	2,7
4	"	10,9	2,9
6	"	9,0	2,8
8	"	5,3	3,1
10	"	7,2	2,8
12	"	9,0	3,1
14	"	9,0	3,0
16	"	7,2	3,2
20	"	12,8	3,8

m dyp	Prøvetype:	Kalsium mg CaO/1	Magnesium mg MgO/1	E.F.A. ²⁾ mg N/1	Jern mg Fe/1	Total- fosfat mg PO ₄ /1
3 og 4 1 - 10	Bl.pr. " 1)	5,4	1,9	0,42	0,84	0,20

1) Biologisk oksygenforbruk i 5 døgn: 2 mg O/1.

E.pr. - enkelt prøve.

Bl.pr. - blandprøve fra flere dyp.

2) Bundet og fri ammonium.

Prøvetagninger i Gravdalsvann 10/10-60 til 9/12-60.

Prøvested:	Dato:	pH	El. ledn. evne. 10^{-5} %20	Farse mg Pt/l	Turbiditet mg SiO ₂ /l	Permanganat-tall mg C/l	Kaliumbikromat-tall mg O/l	Klorid mg Cl/l	Kalsium mg CaO/l	Magnesium mg MgO/l	Tørrstoff mg/l
Overflaten, ca. 200 m ut fra Skinnevik	10/10-60								5,5	1,2	
- " - " -	11/10-60			82	4,1	3,8	17,9	8,7			
- " - " -	- " -			17 ^{x)}	0,4 ^{x)}	3,8 ^{x)}	17,9 ^{x)}				
- " - " -	24/10-60				4,5						
- " - , ca. 100 m ut fra Skinnevik	9/12-60	6,9	6,75	70	4,2	3,5					51

x) Filtrert gjennom et Schleicher u. Schüll laboratoriefilter
av papir 589³ (poreåpning = 2,2 μ).

Tabell 4.

Koaguleringsforsøk på vannprøver tatt 9/12-60 i Gravdalsvann.

Forsøk 1.

Prøve nr.	Dosering:		Analyse:			
	mg Ca(OH) ₂ /l	mg alum/l	pH	Farge mg Pt/l	Turbiditet mg SiO ₂ /l	Permanganat-tall mg O/l
Bl.pr.	0	0	6,9	48	1,8	4,1
I	1	10	6,8	7	0,4	3,4
II	3	15	6,9	2	0,2	1,8
III	5	20	6,9	2	0,3	1,6
IV	7	25	7,1	2	0,3	1,8
V	10	30	7,3	2	0,3	2,0
VI	12	35	7,2	2	0,3	1,9
VII	15	40	7,0	3	0,5	3,4

Forsøk 2.

Prøve nr.	Dosering		Analyse:			
	mg Ca(OH) ₂ /l	mg alum/l	pH	Farge mg Pt/l	Turbiditet mg SiO ₂ /l	Permanganat-tall mg O/l
Bl.pr.	0	0	7,1	38	1,2	3,7
I	1	10	6,7	7	0,5	3,5
II	3	15	6,8	2	0,3	1,8
III	5	20	6,9	2	0,2	1,9
IV	7	25	7,0	2	0,3	2,0
V	10	30	7,1	2	0,3	1,9
VI	12	35	7,0	2	0,3	2,2
VII	15	40	7,4	3	0,3	2,4

Tabell 4. (forts.)

Koaguleringsforsøk på vannprøver tatt 9/12-60 i Gravdalsvann.

Forsøk 3.

Prøve nr.:	Dosering:			Analyse:			
	mg Ca(OH) ₂ /l	mg alum/l	Aurosil N 31 mg/l	pH	Farge mg Pt/l	Turbiditet mg SiO ₂ /l	Permanganattall mg O/l
Bl.pr.	0	0	0	7,0	48	2,0	3,2
I	5	20	1	4,7	6	0,8	1,7
II	5	20	2	4,8	3	0,9	1,8
III	5	20	3	4,8	5	1,3	1,7
IV	5	20	4	4,0	5	0,9	1,6
V	5	20	5	4,8	5	0,9	1,4
VI	5	20	6	4,8	9	0,9	1,5
VII	5	20	7	4,8	6	0,7	1,4
<u>Forsøk 4.</u>							
Bl.pr.	0	0	0	6,8	46	2,2	3,1
I	5	20	4	6,7	3	0,3	1,7
II	6	20	4	6,8	3	0,6	1,7
III	7	20	4	7,1	5	0,5	2,0
VI	8	20	4	7,5	11	0,5	2,4
V	9	20	4	7,4	12	0,6	2,4
VI	10	20	4	7,5	24	1,5	3,0
VII	12	20	4	8,0	46	1,8	3,3
<u>Forsøk 5.</u>							
Bl.pr.	0	0	0	7,0	46	1,8	3,4
I	5	20	2	6,9	3	0,3	1,5
II	5	20	3	6,8	3	0,3	1,6
III	5	20	4	6,8	3	0,3	1,4
IV	3	20	1	6,6	2	0,2	1,5
V	3	20	2	7,1	5	0,5	1,9
VI	3	20	3	7,5	12	0,8	2,7
VII	Gikk ut.						

Kjemiske analyser på vannprøver tatt fra Laksevågs kommunale drikkevann¹⁾.

Prøvested:	Liavann - Lyngbøtjern	Løvstakk- vann	Liavann - ledningsvann	Løvstakkvann - ledningsvann
Dato:	1/12-60	1/12-60	2/12-60	2/12-60
Surnhetsgrad, pH	5,8	5,5	5,3	5,6
El.ledningsevne, $\%_{20^{\circ}\text{C}}, \text{ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot 10^{-5}$	3,82	3,05	-	-
Farge, mg Pt/1	7	5	5	< 5
Permanganat-tall, mg O/1	2,7	2,1	2,9	2,2
Kalsium, mg CaO/1	2,2	1,2	2,2	1,4
Magnesium, mg MgO/1	1,1	1,1	1,1	1,0
Turbiditet ²⁾ , mg SiO ₂ /1	0,7	0,8	0,7	0,8
Alkalinitet ²⁾ , ml N/10 HCl/1	-	-	0,64	0,44
Jern ²⁾ , mg Fe/1	0,45	0,13	0,11	0,20
Klorid ²⁾ , mg Cl/1	5,4	6,8	6,9	5,3

1) Analysene utført av Dr.ing. Ths.Svanøe, Bergen.

2) Utført av NIVA.

Dybdeforhold i
Gravdalsvann.

dyp i m.

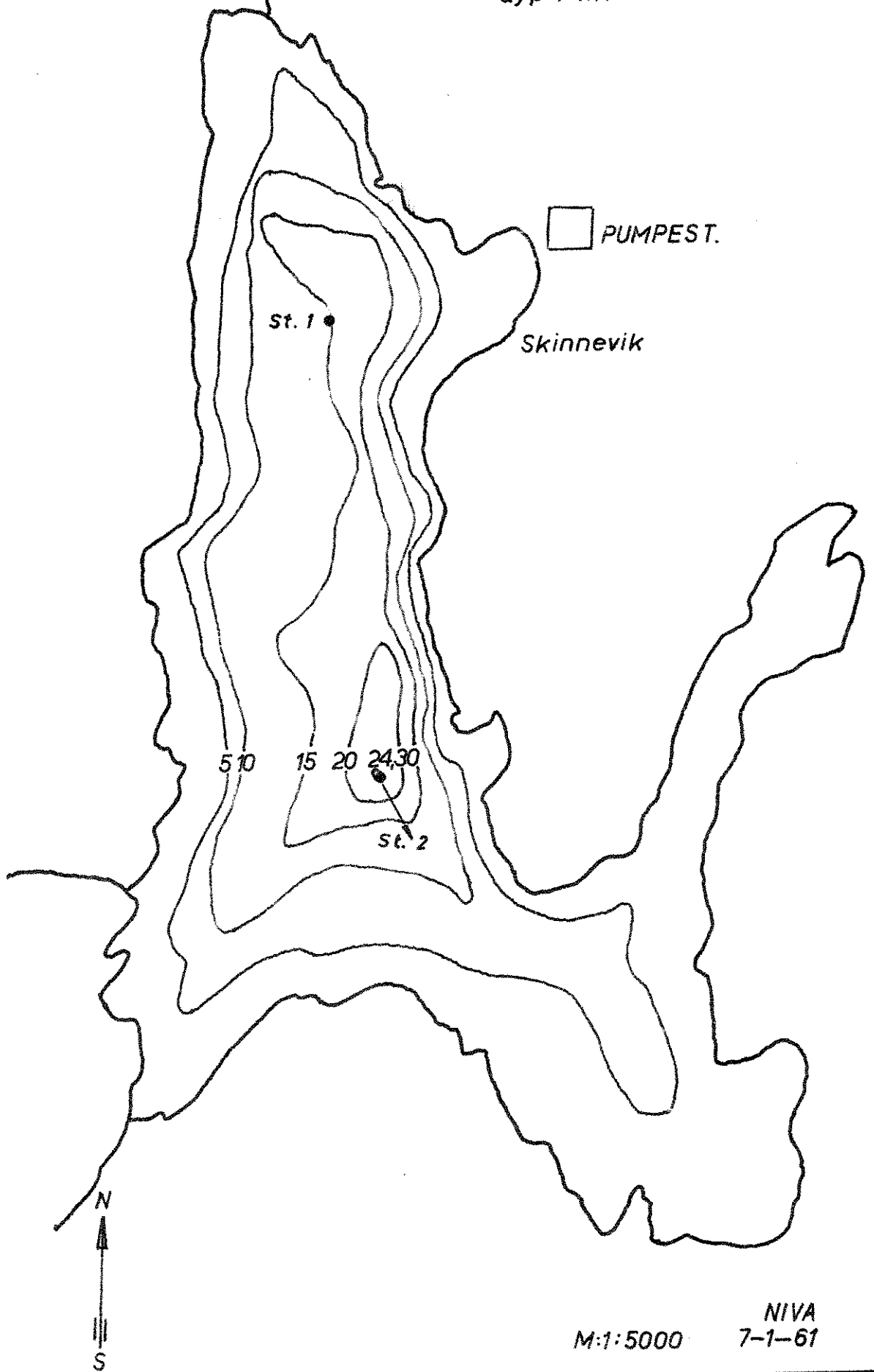
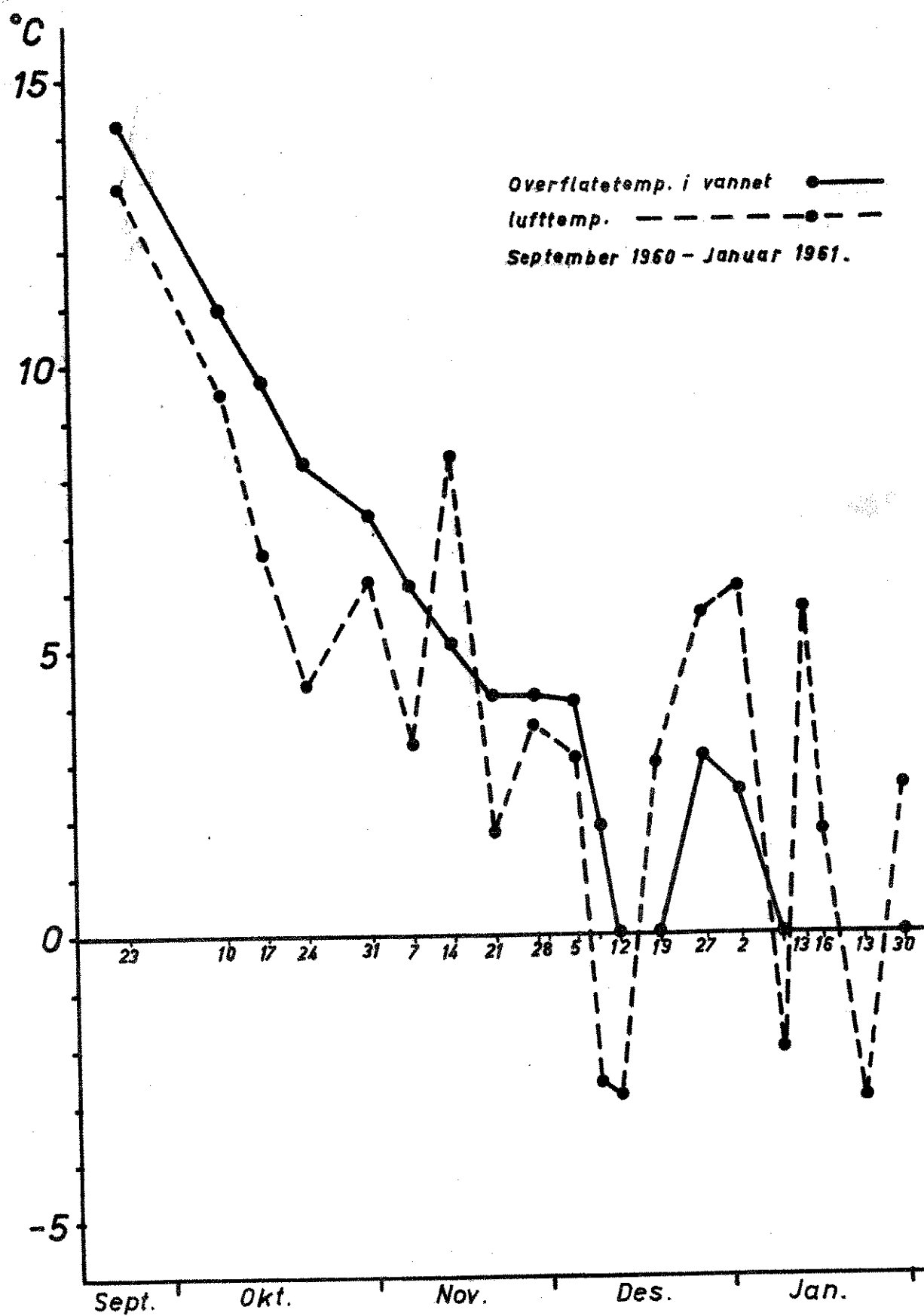


Fig. 2. Gravdalsvann.

Gravdalsvann.

23/9 - 1960

Gravdalsvann, 23/9-1960.

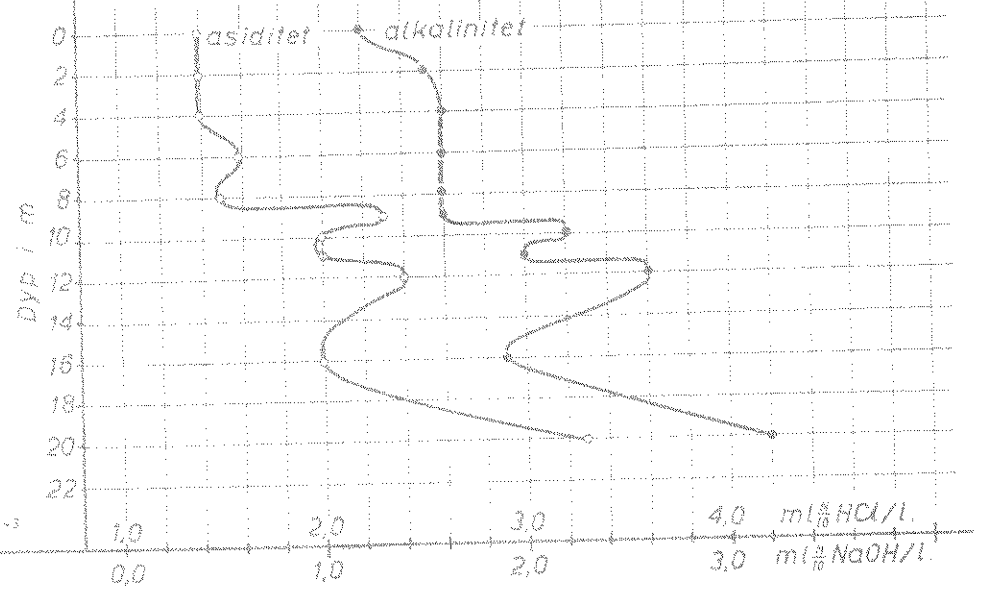
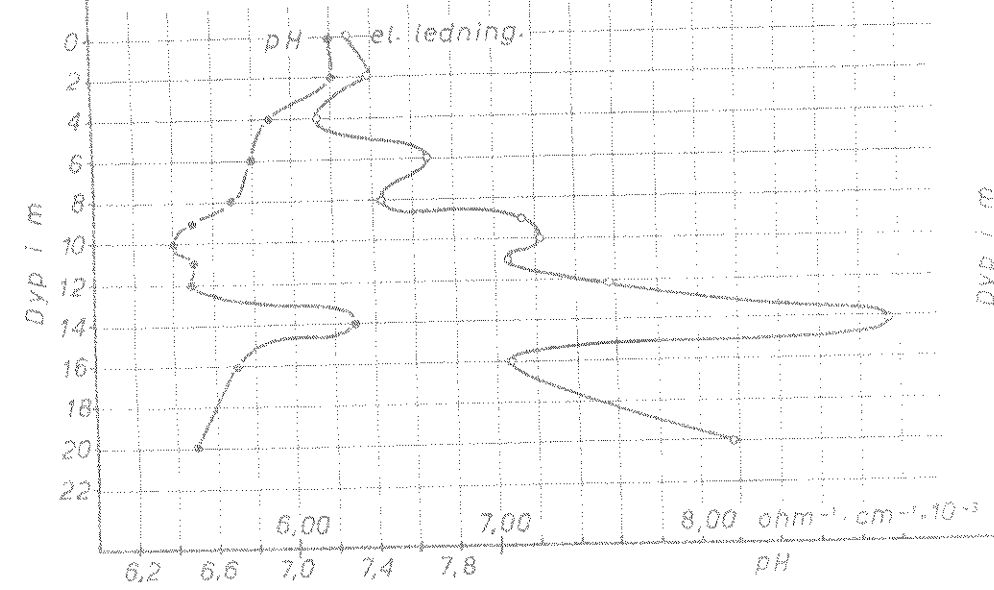
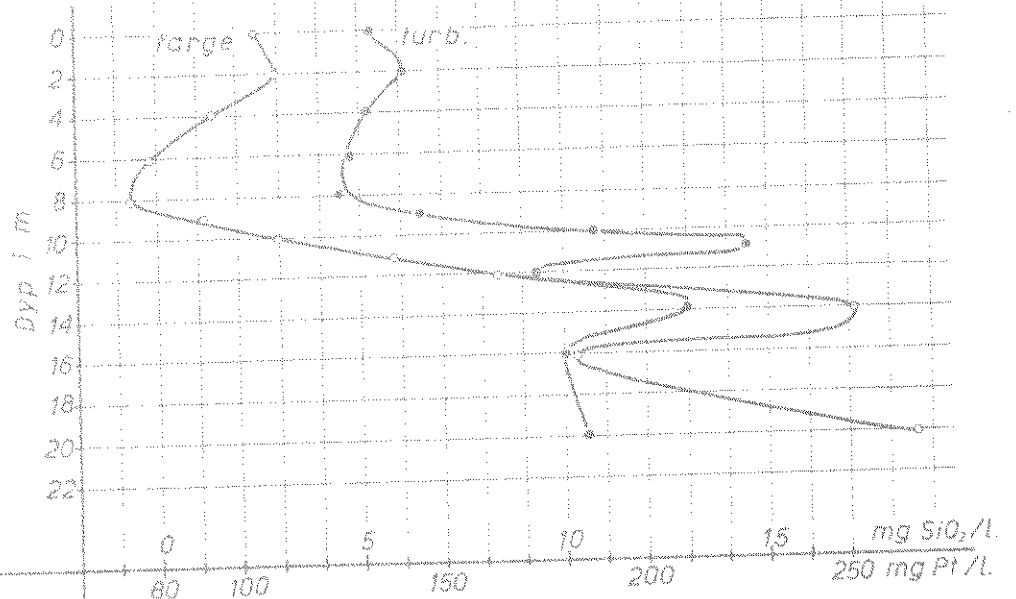
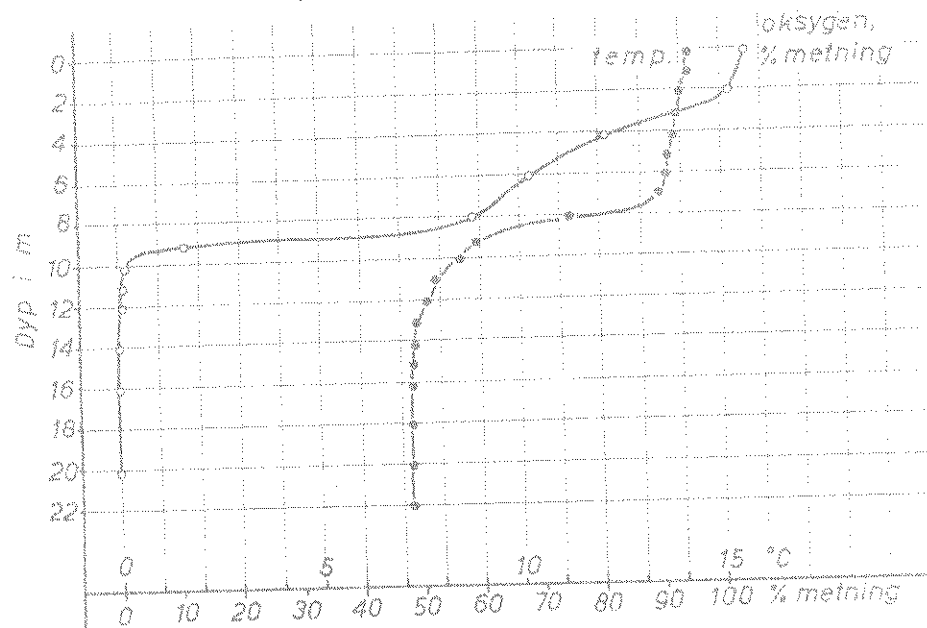
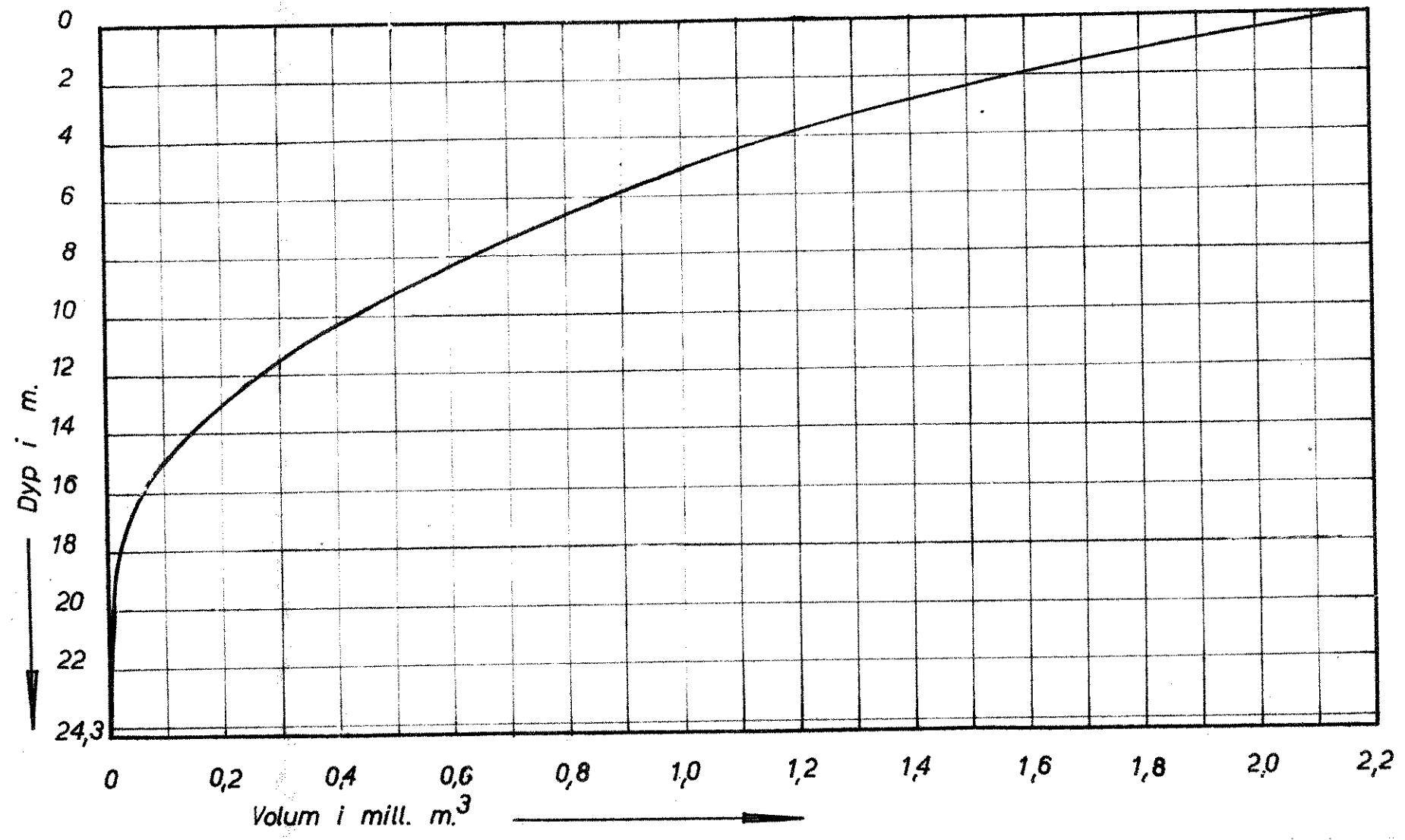


Fig. 3.

- 27 -

Magasinkurve for Gravdalsvann.



Gravdalsvann

13/1-1961.

Gravdalsvann, 13/1-1961.

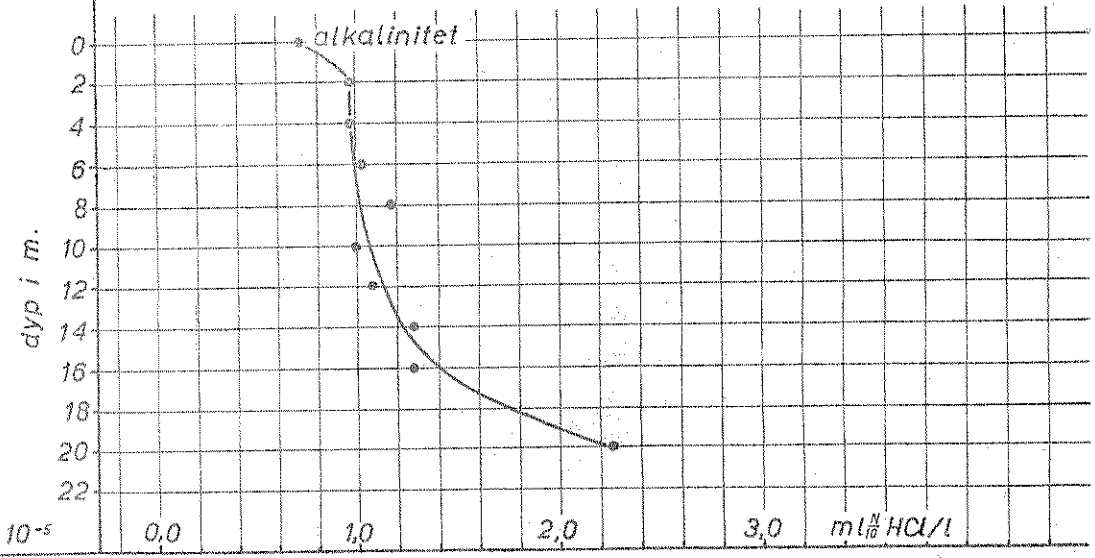
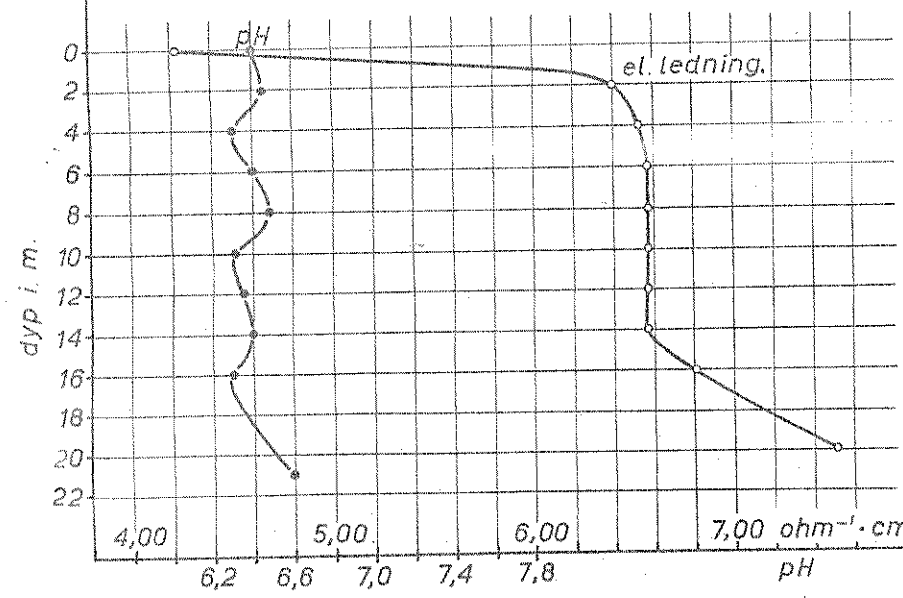
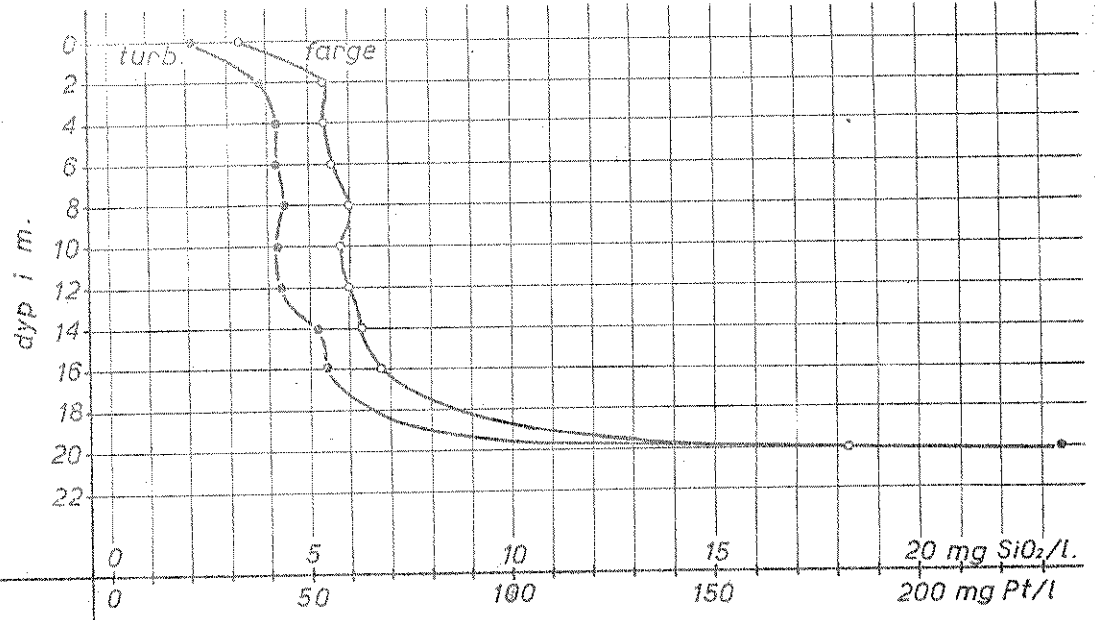
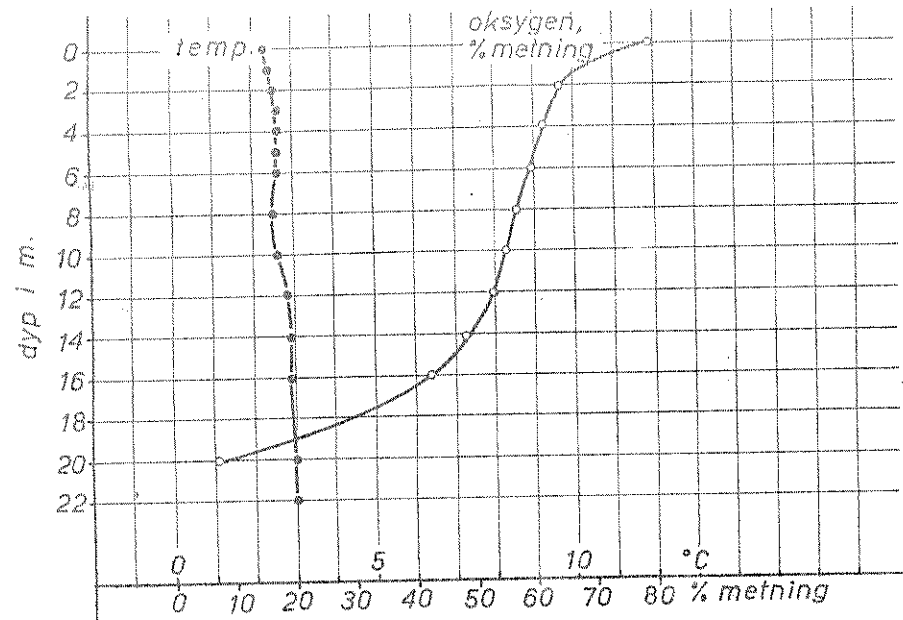
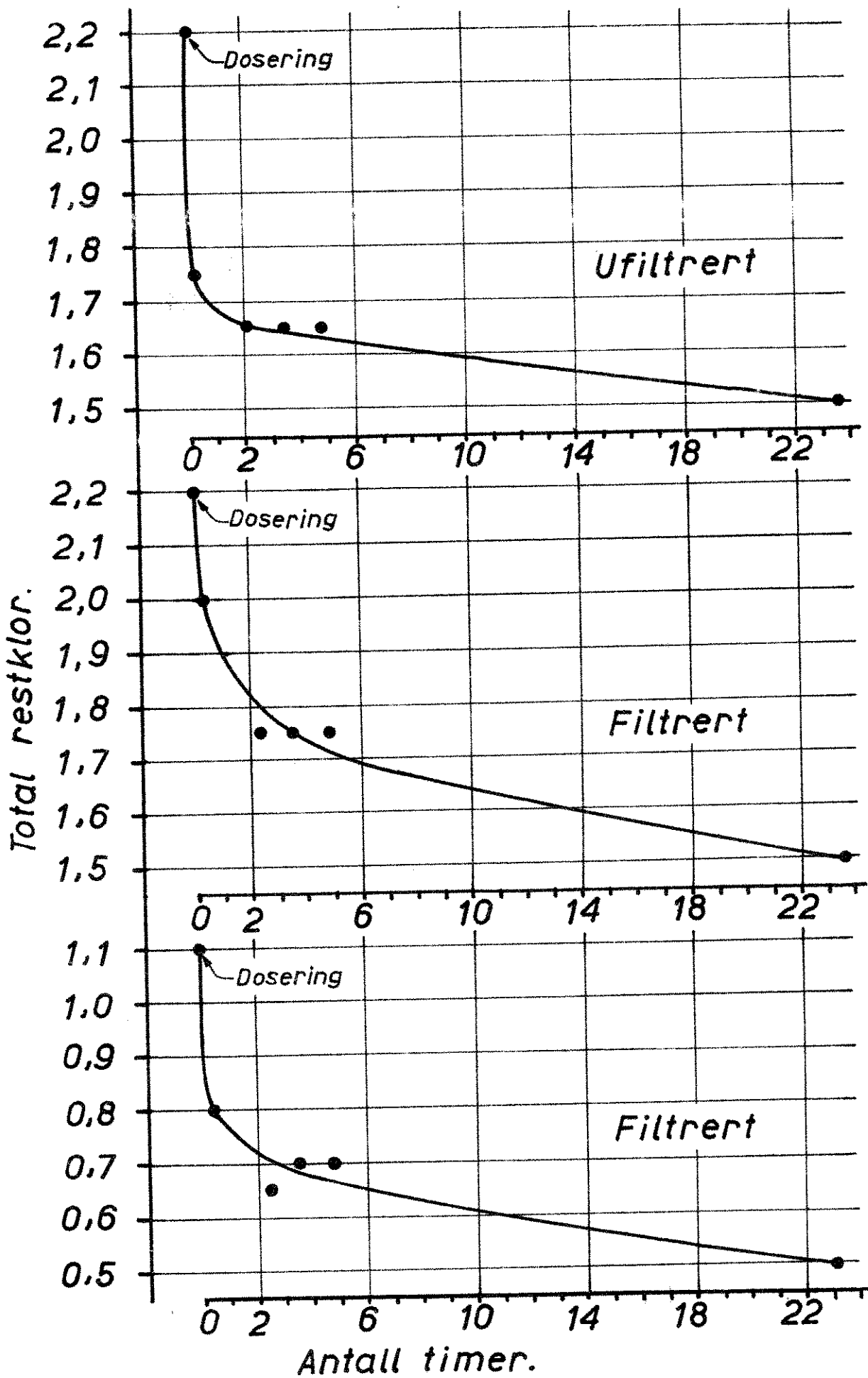


FIG. 5.

Klorering av vannprøver
tatt 9/12-60 i Gravdalsvann.



Koagulering av vannpröver
tatt i Gravidalsvann 9/12-60.

Forsök 1. Tabell 4.

