

Vassdragsforurensinger
fra halmlutingsanlegg.

0-9 og 0-19

Saksbehandler: siv.ing. Kjell Baalsrud
Rapporten avsluttet 3. oktober 1957.

<u>Kap.</u>		<u>Side:</u>
1.	Innledning.	3
2.	Halmlutingsprosessen.	3
3.	Problemstilling.	5
4.	Undersøkellesmetoder.	6
a.	Prøvetagning og markobservasjoner.	6
b.	Kjemiske analyser.	7
c.	Mikrobiologiske analyser.	7
d.	Hydrauliske målinger.	8
5.	Svartlutens og skyllevannets sammensetning. Totalforurensing.	9
6.	Utslipp av skyllevann i elver.	12
7.	Utslipp av skyllevann i innsjøer.	13
8.	Skyllevannets virkning på mikroorganismer.	15
9.	Skyllevannets virkning på flora og fauna.	16

Kurver og tabeller.

- Kap.2. Fig.1. Skisse av halmlutingsanlegg.
- " 4.b. Tab.1. Kjemiske analysemetoder.
- " 4.d. Fig.2. Avtappingskurve for hevert.
Fig.3. Måling av vannføring.
- " 5. Tab.2. Svartlutens sammensetning.
Fig.4. Stabilisering av svartluten.
Fig.5. Skyllevannets sammensetning, Brunlanes.
Fig.6. " " Krokfoss.
Tab.3. Totale forurensinger.
Fig.7. Spesifikk vekt i første skyllevann, Hillestad.
- " 6. Fig.8. Vassdragsmåling - Kringlerdal, Leira.
Fig.9. " - Brunlanes, Halleelva.
Fig.10. " - Gjerdrum, Gjermåa.
- " 7. Fig.11. Skisse - forurensing av innsjø.
Fig.12. Kroki av Hillestadvannet med målesteder.
Fig.13. Temp.-målinger - Hillestad (snitt).
Tab.4. Analyser fra stasjon F₃ og VII.
Fig.14. Ledningsevne - snitt F₁, F₂, F₃.
Fig.15. " " VII, III.
Fig.16. Oksygenreserve og B.O.D. ved stasjon VII.
- " 8. Tab.5. Vekst av mikroorganismer i fortynninger av svartlut.
Tab.6. Undersøkelser av mulighet for vekst av E.coli i fortynninger av svartlut.
Tab.7. Vekst av E.coli i nøytraliserte fortynninger av svartlut sammenlignet med annet substrat.
- " 9. Tab.8. Boniteringsundersøkelser.

Kap. 1.

Innledning.

Halmluting har fått en betydelig utbredelse i vårt land, og i løpet av den siste 5-årsperiode er det bygget en rekke større fellesanlegg. Halmlutingen har vist seg å være et gunstig tiltak for jordbruket idet betydelige formengder kan innvinnes med en rimelig omkostning.

Imidlertid har det desverre vist seg at prosessen med sin nåværende utforming også har sine uheldige sider. Fra lutingsanleggene slippes det ut store mengder skyllevann som representerer en alvorlig forurensingsbelastning for vassdragene. Man har vært oppmerksom på dette problem og skjønnsmessig søkt å ta de nødvendige hensyn ved bygging av anlegg. Imidlertid har bedømmelsen av forurensingsproblemet hvilt på et spinkelt grunnlag, og det har vært ønskelig med en eksperimentell undersøkelse som kunne gi et bedre faglig grunnlag for å bedømme beliggenheten av nye anlegg og vurdere eventuelle skader fra anlegg som er i drift.

Initiativ til de undersøkelser som er beskrevet i denne rapporten, ble tatt av Norges Landbruksvitenskapelige Forskningsråd. Dette råd har også ydet en betydelig økonomisk støtte til undersøkelsene.

De undersøkelser som er omtalt i kapittel 9 er utført under ledelse av Inspektøren for ferskvannsfisket, Den vitenskapelige avdeling.

I forbindelse med undersøkelsene har vi hatt nær kontakt med konsulent E. Fyrileiv, Norsk Førkonservering A/S og kjørere og formenn i en rekke andelslag for luting av halm. Vi har alltid fått de opplysninger vi har bedt om og har møtt en velvilje og hjelpsomhet som har lettet vårt arbeid i vesentlig grad.

Undersøkelsene har vært utført i løpet av 2 driftssesonger fra januar 1956 til mai 1957. Etter første sesongs arbeid ble det utarbeidet en orienterende rapport som var ferdig i juli 1956. Denne endelige rapport dekker begge sesongers undersøkelser idet resultatene etter første sesong er blitt forkortet og redigert inn i det øvrige stoff for å gjøre fremstillingen mest mulig oversiktlig.

Kap. 2.

Halmlutingsprosessen.

For å gjøre halm mer skikket som dyrefór må man gjennomføre en nedbrytning av tungtfordøyelige inkrusterende stoffer

slik at mikroorganismene og fordøyelsesenzymene lettere kan utnytte næringsverdien.

Denne spaltningsprosessen kan utføres ved hjelp av forskjellige typer kjemikalier, man vanligvis brukes lutopløsning.

I prinsippet går lutingen ut på å bløte opp halmen en viss tid i natriumhydroksydoppløsning av en tilstrekkelig konsentrasjon og etterpå vaske fôret med vann for å fjerne overskudd av lut.

Halmlutingen utføres dels i lokale gårdsanlegg, gjerne anbragt i fjøset, dels i større fellesanlegg. Denne rapporten omfatter kun luting i fellesanlegg. Kapasiteten i disse strekker seg vanligvis fra 4 til 10 tonn tørr halm pr. døgn.

Fellessanleggene har 2 lutekar, 4.5 m brede, omlag 2.6 m dyp og med en lengde som kan variere fra 9.5 til 18 m. De to lutekarene er i drift annen hver gang slik at lutopløsningen, kalt svartluten, kan tappes frem og tilbake og brukes om igjen.

Etter at det ene karet er fylt med halm, i form av baller, fylles karet med svartlut og får stå i ca. 24 timer. I løpet av denne tiden fylles det andre karet med halmballer og deretter blir svartluten pumpet over fra det første karet.

For hver luting må svartluten konsentreres opp med ny natriumhydroksyd. Ved lutingens begynnelse forsøker man å holde en konsentrasjon på 15 gram NaOH pr. liter. Forbruket av lut skyldes dels at en del av svartluten blir hengende igjen i den våte halmen, dels at en del nøytraliseres av halmen.

Svartluten blir brukt om igjen gjennom hele driftssesongen som vanligvis varer fra september til mai. Etter driftssesongens slutt har det vært vanlig å tømme svartluten ut. I fig. 1. er skjematisk vist utformingen av et fellesanlegg for luting av halm.

Skyllingen.

Det er nødvendig med detaljert kjennskap til selve skyllingsprosessen for å forstå det forurensingsbillede som halmluting forårsaker.

Når svartluten er pumpet fra et kar over i det neste, vil en betydelig mengde av den henge igjen i den våte halmen. Tilsvarende mindre svartlut er pumpet over i det andre karet som derfor må etterfylles. Ved etterfyllingen søker man å få med seg mer svartlut ved å pumpe rent vann over den våte halmmassen og pumpe dette såkalte "lille skyllevann" videre til neste kar. Denne operasjon utføres slik at man akkurat oppnår å få riktig volum i neste

lutingskar. Tilbake i første kar har man en våt halmmasse som fremdeles inneholder betydelige mengder svartlut.

Skyllingen foregår med vann som pumpes fra en elv eller innsjø. Størrelsen på pumpen er slik at den i løpet av 12 timer vil yte omlag 11 m³ skyllevann pr. 100 kg tørr halm. Vannet sprøytes over halmmassen. Når karet er fylt med vann, starter automatisk en hevert (innvendig diameter 4-6") som vil tømme karet i løpet av en time. Idet hevertvirkningen opphører vil pumpen som arbeider kontinuerlig, fylle karet igjen i løpet av ca. 2 timer, hvorefter heverten starter og prosessen gjentar seg. Skyllingen begynner etter arbeidstid og pågår hele natten. Heverten vil virke 3 - 4 ganger i løpet av denne tiden.

Det er under utvaskingen av halmen på dette stadium at man får skyllevann som ledes gjennom et kloakkrør til nærmeste resipient.

Etterhvert som vannet passerer gjennom halmmassen, vil konsentrasjonen av forurensingene i skyllevannet avta. Spesielt sterk vil forurensingen være i begynnelsen.

Innflytelse av halmarter.

I de store fællesanlegg er lutings- og vaskeprosessen meget standardisert slik at man kan regne proporsjonalitet mellom skyllevannsmengder, forurensinger og antall kilo tørr halm. Det benyttes imidlertid halm av våre forskjellige kornsorter, og det er mulig at forurensingene vil variere noe med kornsorten. Halmkvaliteten kan også variere fra sted til sted og fra år til år. Av praktiske grunner har det ikke vært mulig å ta hensyn til disse variable faktorer som muligens har hatt betydning for enkelte av våre resultater.

Kap. 3.

Problemstillingen.

Ved undersøkelse av skadevirkningen av industrielt avfallsvann vil man stille problemene i følgende rekke:

1. hvor stor mengde med forurensinger slippes det ut fra et bestemt anlegg og hvorledes er det fordelt over et bestemt tidsrom.
2. hvilke fysiske og kjemiske forandringer kan avfallsvannet føre til i en bestemt resipient.
3. hvilke konsekvenser for resipientens biologiske liv og for dens brukbarhet til forskjellige formål har de fremkalte forandringer.

hadde den fordel at dybdemåling kunne foretas med meget stor nøyaktighet.

Kap. 4.b.

Kjemiske analyser.

De kjemiske analyser av svartlut og lutholdig vann ble utført etter standardmetoder som bare i få tilfelle måtte modifiseres for å tilpasses det spesielle formål. Hvis analysemetoden forutsatte bruk av indikator, ble prøven passende fortynnet fordi svartluten er så sterkt farget at egenfargen dominerer over indikatorfargen.

Tabell 1. med henvisninger viser metodene for de forskjellige bestemmelsene.

For bestemmelse av nitrogen i svartlut, ble 10 ml nøytralisert svartlut inndampet til tørrhet i Kjeldahl-kolbe på vannbad. Residuet ble tilsatt 10 ml konsentrert svovelsyre og oppløst med koppersulfat som katalysator. Oppløsningen ble fortynnet til 100 ml og det utfelte natriumsulfat frafiltrert. Alikvoter ble tilsatt alkali og vandampdestillert.

Ved bestemmelse av kaliumpermanganat-tallet ble prøver oppvarmet i 20,0 min med svovelsur permanganat, og reaksjonen så stoppet med overskudd av oxalsyre. Overskuddet ble titrert tilbake med n/80 permanganat.

Kap. 4.c.

Mikrobiologiske analyser.

Coliforme bakterier ble bestemt med den presumptive prøve som viser kullsyredannelse fra laktose ved 37°.

Totalt bakterietall ble bestemt på pepton-gjærekstrakt-agarplater ved 20°.

5 dagers biologisk oxygenforbruk ved 20° (B.O.D.) ble beregnet på vanlig måte ut fra bestemmelser av oppløst oxygen etter Alsterbergs modifikasjon av Winkler-metoden. Svartluten er praktisk talt steril, slik at den måtte tilsettes et inokulum for å få satt i gang de biologiske prosesser. Et inokulum lot seg fremstille ved å oppbevare en svartlutfortynning (1:200) ved romtemperatur til bakterievekst kom i gang. Etter gjentagne overføringer ble det anrikt en bakterieflora som i løpet av 24 timer ga en betydelig bakterievekst. En slik bakterierik kultur ble så blandet i fortynningsvannet og tjente dermed som inokulum for B.O.D.-analysene.

B.O.D. fra hver svartlutprøve ble bestemt for ialt 3 fortynninger av vedkommende svartlut. Passende fortynn-

inger lot seg lett velge etter svartlutens fargetall, og B.O.D.verdiene fra de forskjellige fortyninger lå i alle tilfelle så nær hverandre som noen kunne vente etter analysemetodenes nøyaktighet forøvrig.

Kap. 4. d.

Hydrauliske målinger.

1. Vannføring i hevert fra lutkarene.

For å kunne komme frem til den totale forurensing som slippes ut fra halmluteriet med hvert vaskevann, har det vært nødvendig å supplere de kjemiske analyseresultatene med data for vannføring i heverten.

På grunn av den synkende vannstanden i lutekaret etter hvert som avtapningen gjennom heverten pågår, vil vi få avtagende verdier for vannføring.

Istedenfor å foreta en ren beregning av vannføringen, er det gjort nytte av vannstandsmålinger som er utført av A/S Norsk Førkonservering.

Med disse målingene som grunnlag har det vært mulig å fremstille grafisk forholdet mellom trykkehøyde og vannføring. Likningen for den opptrukne kurven ble funnet å være $Q = 4.102 H^{0.45}$ (Q-vannføring i l/sek. H-trykkehøyde i cm).

Ved hjelp av denne kurven ble det regnet ut verdier for forholdet mellom vannføring og tid som vist i fig. 2.

Tilsvarende kurver ble regnet ut for de fire luteriene hvor skyllevannene har vært undersøkt.

De grunnleggende vannstandsmålingene i lutekaret ble foretatt ved Auli Fellesluteri i Vestfold hvor den innvendige hevertdiameter var 5". På grunn av at ett av de undersøkte luteriene har en hevertdiameter på 4", ble avtappingsformelen som er angitt ovenfor omregnet for en 4 diam. hevert.

2. Måling og vannføring i elver.

I de vassdragene hvor forurensingen fra luteriene er blitt undersøkt, har det vært nødvendig å måle vannføringen.

Da vassdragene er relativt små, har det vært vanskelig med en direkte hastighetsmåling, og vi har isteden målt fortyningen av en tilsatt kjendt salt-mengde eller en målt mengde (W) av et annet stoff som vaskevannet fra halmluteriet inneholder.

Etter utslipningen i vassdraget er det tatt målinger av konsentrasjonen i elvevannet med relativt små tidsintervaller. Disse målingene er tatt så langt nedenfor utslippet

at man var sikker på god blanding.

Ved å sette opp resultatet av målingene grafisk og integrere har vi kunnet regne ut middelkonsentrasjonen (C_m) multiplisert med vannmengden som har passert målestedet i løpet av det valgte tidsintervall (t). Vannmengden er lik vannføringen (Q) multiplisert med tiden (t).

Hvis vi kjenner totalmengden som er tilført vassdraget får vi:

$$W = C_m \times t \times Q$$

$$\text{og vannføringen } Q = \frac{W}{C_m \times t}$$

Fig. 3. viser en typisk fortynningskurve fra et lite vassdrag.

Kap. 5.

Svartluten og skyllevannets sammensetning. Totalforurensing.

Svartluten.

Ved begynnelsen av en lutesong vil man starte med en oppløsning av lut i rent vann. I løpet av lutetiden vil noe av luten nøytraliseres samtidig som den opptar ekstraktstoffer fra halmen. Etter hvert som lutopløsningen brukes om og om igjen, vil ekstraktstoffene gi den en mørkebrun til svart farge, derav navnet svartluten.

Etter hver luting blir svartluten tilsatt ny kaustiksoda slik at den lutinnhold hele tiden svinger mellom de samme verdier. Hver gang svartluten overføres til nytt kar, vil en del av den gå tapt. Den tapte svartluten finnes igjen i skyllevannene. Innholdet av ekstraktstoffer vil stige inntil det tapes like meget ekstraktstoffer pr. svartlutoverføring som det ekstraheres pr. luting.

Ifølge våre undersøkelser kan vi som et middeltall sette at det tapes 10 % av svartluten pr. overføring. Kaller vi mengden ekstraktstoffer pr. luting for a , vil innholdet av ekstraktstoffer s_n som overføres til neste kar etter n lutinger, være

$$s_n = 9 a (1 - 0.9^n)$$

Etter uendelig mange lutinger vil svartluten etter en endt luting inneholde $10 a$ hvorav $9 a$ pumpes videre til neste kar og a tapes med skyllevannene. En grafisk fremstilling av denne ligning er vist i fig. 4. Det fremgår av denne at allerede etter 23 lutinger vil innholdet være over 90 % av grenseverdien.

Største delen av lutingsseasonen vil altså svartluten ha en tilnærmet konstant sammensetning som er en funksjon av halmkvaliteten og driftsteknikken.

Det fremgår av ovennevnte betraktning at kjennskap til svartlutens sammensetning er av stor betydning for å vurdere forskjellige forhold ved et lutingsanlegg.

I tabell 2. er stillet sammen analysedata av svartluten fra en del anlegg.

Skyllevannet.

Sammensetningen av skyllevannet er blitt undersøkt ved Hillestad, Lier, Krokfoss og Brunlanes halmlutingsanlegg. Ved Hillestad og Lier er bare det første skyllevannet undersøkt mens det ved Krokfoss og Brunlanes også er tatt analyser av det andre skyllevannet. Forurensingsmengden som det tredje og fjerde skyllevannet inneholder, er relativt liten og ble bestemt under de forberedende undersøkelser som ble avsluttet i juni 1956.

Skyllevannets sammensetning varierer sterkt i løpet av utslipningsperioden. Dette er vist i fig. 5. og 6. hvor variasjonen i alkalinitet med tid er tegnet inn grafisk. Tilsvarende kurve av alkalinitet $\text{pH} = 4$. og $\text{pH} = 3$, bikromat og farge er beregnet for de 4 luteriene som er undersøkt. Kurvene viser god overensstemmelse.

De høye konsentrasjonene som gjør seg gjeldende de første 5 - 10 min. skyldes at den svartluten som først blir vasket ut av halmen samles på bunnen av lutekaret mens fyllingen av vann pågår. På grunn av at skyllevannet tappes ut fra bunnen av lutekaret, oppnår vi følgelig de høye konsentrasjonene like etter at heverten er trådt i funksjon. Den spesifikke vekt av selve svartluten var 1.06.

På kurvene ser vi at det er en tendens til høyere konsentrasjoner også mot slutten av den tid heverten virker. Dette skyldes den krystningen som de flytende halmballene utsettes for, når de synker ned og hviler på bunnen. Kurven viser at disse stigende konsentrasjonene gjør seg gjeldende etter 45 - 50 min som er overensstemmende med det tidspunkt da halmballene vil nå bunnen av lutekaret.

For å komme frem til den totale forurensingsmengde pr. tidsenhet er konsentrasjonskurven multiplisert med vannføringskurven for heverten (fig.2.) og resultatet er trukket opp i fig. 5. Og 6. Disse kurvene for totalmengde er svært lik konsentrasjonekurvene, men er influert noe av den synkende vannføring.

Da det er ønskelig å skaffe en oversikt over hvor stor del av forurensingene som er blitt sluppet ut fra halmluteriet

på ethvert tidspunkt, er arealet under forureningskurven frem til et hvert tidspunkt regnet ut som prosent av den totale forurenningen i fire skyllevann. Forholdet er også fremstilt grafisk på fig. 5. og 6.

Kurvene viser at vi fjerner 77 % av total alkalinitet i første skyllevann og 10 % i andre. De resterende 13 % føres ut med tredje og fjerde skyllevann. Vi ser også at 60 % av forurenningene blir fjernet i løpet av de første 20 - 25 min.

Effektiviteten av skylleprosessen er forsøkt fremstilt nederst på fig. 5. og 6. hvor den prosentvise fjernelsen av alkalinitet er satt opp som funksjon av den forbrukte skyllevannsmengden. Denne fremstillingen vil ha interesse for å kunne bedømme muligheten av å utbygge utjevningsbasenger som kan redusere sjokkbelastning i resipienten.

Ved å integrere kurvene for totalmengde har vi funnet den samlede forureningsmengde i hvert skyllevann som angitt i tabell 3.

Forholdet mellom forurenningene i første, andre, tredje og fjerde skyllevann er funnet å være som 25 : 3.2 : 1.8 : 1. Vi har med andre ord en faktor på 1.3 mellom totalforurenningen som blir sluppet ut med 4 skyllevann og mengden i første skyllevann.

For å kunne forutsi forureningsmengder fra projekteerte halmlutingsanlegg, er det i tabell 3. regnet ut middelverdier av alkalinitet, bikromat og farge pr. 100 kg tørr halm for første og andre skyllevann samt totalmengden i alle fire skyllevann.

Sammelignes korresponderende tall i tabell 2. og 3., kan man regne ut hvor meget av svartluten som går tapt ved hver skylking. Svartlutens volum under lutingen er beregnet ved å anta at halmens spesifikke vekt er 0.6. Tapet er funnet å variere fra 7.5 - 12 %. Som et middeltall ved beregninger og overslag har vi brukt 10 %.

Fra tabell 3. kan man da beregne at pr. 100 kg tørr halm slippes det ut med skyllevannene 16.8 kg tørrstoff hvorav 2.85 kg er natrium, 0.119 kg er bundet nitrogen og 9.0 kg er organisk tørrstoff. Tar man i betraktning at halm inneholder 10 - 20 % fuktighet, sees et $1/4$ til $1/5$ av halmen går tapt under lutingen.

Forurenningene i skyllevannet fører til at det får en høyere spesifikk vekt enn rent vann. Skyllevannets fordeling ved utslipp i stillestående vann vil være bestemt av dets spesifikke vekt. I fig. 7 er vist variasjonene i spesifikk vekt i første skyllevann.

Kap. 6.

Utslipp av skyllevann i elver.

Forurensingen i elvevannet like nedenfor anlegget, vil være bestemt av forurensingsmengden som kloakken til en hver tid fører ut i elven og av elvens vannføring. Kjenner man vannføringen og forutsetter fullstendig blanding av skyllevann og elvevann, kan forandringene i elvevannet beregnes ut fra resultatene som er omtalt i kapittel 5.

Imidlertid må man alltid ta de lokale forhold i betraktning, spesielt kan følgende forhold ha betydning:

a. Hvis vannet fra før er forurenset eller inneholder naturlige urenheter, kan dette forandre virkningen av skyllevannsforurensingene, spesielt er det mulig at kullsyre og andre syrer kan nøytralisere hydroksylinnholdet slik at man ikke får så høye pH verdier som fortynningsgraden tilsier.

b. I et vassdrag med stor vannføring eller med et rolig løp, kan det ta lang tid før skyllevannet blandes jevnt i vannet. Nedenfor utslippet kan det oppstå en sone av betydelig lengde hvor man vil få sterkere forurensing enn fortynningsgraden tilsier. Det vil selsagt alltid være lokal kraftig forurensing nær utslippet, men alt etter graden av turbulens i vannet, kan forurensingen strekke seg langt nedover elveløpet.

c. Utslipningen av skyllevann er støtvis og vil føre til en støtvis forurensing av elven. Etterhvert som forurensingene føres nedover vassdraget, vil det skje utjevning. Det er vanskelig å bedømme denne utjevningseffekt som i første rekke er avhengig av hastighetsgradienten over elvens tverrsnitt. Effekten vil være mest tydelig i grunne løp med stryk og fosser. Hvis vassdraget får tilløp fra sideelver nedenfor utslipningsstedet, må selvsagt fortynningseffekten av disse regnes med.

d. Selrensing skyldes fysiske, kjemiske og biologiske prosesser som fører til at forurensingene avtar nedover i vassdraget. Prosessene foregår i selve vannet og kan være intensivert på grunn av kontakt med luft eller bunn.

Undersøkelser for å påvise forurensingen i elver er blitt utført i Leirelva, Gjermåa og Halleelven. Enkelte av de kjemiske analyser er vist grafisk i fig. 8, 9 og 10. I fig. 8. sees hvorledes forurensinger fra samtlige fire skyllevann kan gjenfinnes i elvevannet. Alle prøvene ble tatt på samme sted i elven. Fig. 9 viser forurensingene fra første skyllevann. Det midterste maksimum på kurven (etter 25 min) må antagelig forklares ved at prøvetagningsstedet ikke var helt heldig valgt. I fig. 10. ser vi hvorledes en og samme forurenseing kan følges nedover

et vassdrag. I dette tilfelle ble skyllevannsutslippet arrangert ved uttømming i Gjermaa av en svartlutmengde som svarer til 1. skyllevann.

Undersøleser i Gjermaa viste forøvrig at reduksjon av hydroksylkonsentrasjonen var den eneste selvreinsing som kunne påvises. Alkaliniteten holdt seg konstant slik at denne form for selvreinsing sansynligvis foregår ved at kullsyre nøytraliserer fritt hydroksyl. Vi har ikke kunnet påvise selvreinsing av de organiske stoffer i skyllevannsutslipp fra halmlutingsanlegg. Forklaringen kan bl.a. være at forurensingen opptrer i den kalde årstid da den biologiske aktivitet er liten.

Kap. 7.

Utslipp av skyllevann i innsjøer.

Det er en rekke faktorer som tilsammen bestemmer hva som skjer når skyllevannene slippes ut i en innsjø. Virkningen vil kunne variere sterkt fra et sted til et annet slik at det ikke er mulig å forutsi resultatet på samme måte som i en elv.

Virkningene vil være avhengig av:

1. Måten skyllevannene slippes ut på.
2. Topografiske forhold i innsjøen spesielt ved utslipningsstedet.
3. Hydrografiske forhold som igjen påvirkes av gjennomstrømning, vind, temperatur, islegging m.m.

For å kunne belyse de ovenfor nevnte punkter har vi foretatt en rekke undersøkelser i Hillestadvannet i Vestfold. Hillestadvannet har et areal på 1.55 km² og største dyp ved vintervannstand er 3.00 m. Mesteparten av vannet har en meget bløt gjørmebund. Disse forhold satte spesielle krav til prøvetagnings- og markmåleutstyret, som til dels måtte spesiallages. Da vannet var dekket av ca. 45 cm is, ble utstyret formet slik at det kunne senkes gjennom hullet etter et vanlig isbor med diameter ca. 11 cm.

Først ble den hydrografiske situasjon belyst ved et temperatursnitt. Fig. 11. viser hvorledes snittet ble lagt og fig. 12. hvorledes temperaturforholdene var. Det fremgår at vannet er meget stabilt med en karakteristisk horisontal lagdeling. Gradienten er meget stor idet sprang fra 0 - 4° forekommer over 1.20 m vertikalavstand. Den forholdsvis store avkjølingsflate og tilløpet av 0°C bekevann forklarer at vannet er kaldere i den trange bukten.

For å beskrive forurensingsbildet skal her bare tas med data fra observasjonene ved stasjon F (senere F₁F₂F₃) og

stasjon III og VII. Det største målte dyp ble funnet ved stasjon VII.

Alle vannmasser og forurensinger som tilføres hoveddelen av innsjøen fra bugten, må passere sundet ved stasjon F. Ved hjelp av pumpe var det mulig å ta prøver av vannlaget nærmest bunnen, og det viste seg at dettevannlag hadde en kraftig, gul farge med pH opp til 10.2.

Analyseresultater fra stasjonen F₃ er vist i tabell 4. Det er ingen tvil om at det er skyllevannsforurensingene som gjenfinnes her. For å få et kvantitativt bilde av gradienten mot bunnen, ble det brukt en ledningsevne måler hvor elektrodeavstanden var 1 cm. Med denne ble ledningsevnen målt med ned til 2 cm dybdeintervaller. De målte verdier for ledningsevnen viste seg helt reproducerbare med den nøyaktighet ($\pm 10\%$) som feltinstrumentet hadde. Resultatene er vist som et tredimensjonalt diagram i fig. 13. Det fremgår av figuren at skyllevannet opptrer i den dypeste delen av sundet. Når man tar i betraktning at den vertikale målestokk er 100 ganger større enn den horisontale, sees at forurensingene opptrer i en karakteristisk horisontal skiktning.

Siden skyllevann er tyngre enn rent vann, som vist i fig. 7., vil utslippet fra anlegget ligge som et skikt på bunnen. Ved stasjon F må vi anta at forurensingsskiktet beveger seg langsomt mot de dypere områder i innsjøens hovedbaseng. Hvorledes forurensingsbildet ser ut akkurat ved utløpet, vet vi ikke, men forholdene på dette sted er antagelig avgjørende for den skiktning som er påvist lenger ute i innsjøen. Fra Hillestad halmlutingsanlegg blir skyllevannet ført ut i innsjøen gjennom en bred grøft som er uten fall. Analyseresultatene fra stasjon VII er også vist i tabell 4. Det fremgår at det ved denne stasjon midt i vannet, 1200 m fra utslipningsstedet, fremdeles er en kraftig skyllevannsforurensing langs bunnen. Høyeste konsentrasjon er her tredieparten av det som ble funnet ved stasjon F₃. Den gulbrune fargen, som er karakteristisk for skyllevannene, var ved stasjon VII delvis gått over i en gråsvart farge og det luktet råttent av vannet. De organiske stoffer her var under sterk nedbryting, men natriuminnholdet viser graden av skyllevannets forurensinger. I tabell 4., siste kolonne er angitt natriumkonsentrasjonen ved forskjellige dyp sammenlignet med middelkonsentrasjonen av første skyllevann.

Grafisk opptegning av natriuminnholdet og integrering av mengden som overstiger vannets normale konsentrasjon (6.2 mg/l), viser at skyllevannet ved stasjon F₃ har tilført innsjøen 40 g natrium pr. m² overflate. Tilsvarende tall for stasjon VII er 47.5 g natrium pr. m². Om man antar at det lutes 75 ganger i løpet

av den tiden vannet er islagt, vil skyllevannene kunne dekke omlag $1/6$ av Hillestadvannets bunn beregnet på grunnlag av analysene fra disse to stasjoner.

For videre å belyse situasjonen i innsjøens midtparti er ledningsevnen ved stasjon III og VII (se kroki fig.12.) vist i fig. 15. Den høye ledningsevne nær bunnen skriver seg på begge steder fra skyllevannsforurensinger.

I fig. 16. er gitt en grafisk fremstilling av oksygenforholdene ved stasjon VII. På figuren er avsatt dels oppløst oksygen i mg/l og dels vannets biologiske oksygenbehov, B.C.D. også i mg/l. Undersøkelsen viser at sist i mars var det bare et tynt lag under isen som inneholdt oppløst oksygen. De nederste 1.5 m var fri for oksygen og inneholdt organsik stoff med et betydelig biologisk oksygenbehov. Takket være den typiske horisontale lagdeling som har forhindret blanding av vannmassene, har et tynt skikt under isen kunnet beholde et visst oksygen-innhold hele vinteren og dermed sikret mange dyreformer mot undergang.

Sist i april, dagen etter at vannet var isfritt, ble oksygensituasjonen igjen undersøkt for å påvise hvorledes forurensingene oppførte seg i den kritiske vårløstningstiden. Det fremgår av fig. 16. at vannet nå inneholdt oppløst oksygen helt til bunns. Kjemiske analyser viste at bare spor av forurensingene langs bunnen ennå var tilstede.

Mar. 8.

Skyllevannets virkning på mikroorganismer.

Skyllevannet fra halmlutingsanlegg inneholder organiske ekstraktstoffer som er utmerket substrat for mikroorganismer. Imidlertid vil den høye pH drepe eller vanskeliggjøre veksten av organismene. Ved fortynning vil pH synke, men samtidig vil konsentrasjonen av ekstraktstoffer også synke og tilslutt bli for liten til å gi vekst.

Ved forsøkene som er omtalt her, er en svartlutprøve fra Hillestad (se tabell 2) brukt som utgangsmateriale. Alle forsøk ble gjort ved værelsetemperatur.

Fortynning av svartluten med dest.vann og henstand i 23 dager ga ikke vekst i fortynning 1 : 60 (pH = 10.6) eller lavere. Hvis prøvene ble inokulert med bakterier som var anriktet i tilsvarende medier, kunne vekst oppnåes ved fortynning ned til 1 : 50. Tabell 5. gir resultatene av et forsøk med forskjellige fortynninger inokulert fra tidlige prøver fortynnet 1 : 100. pH synker i prøvene allerede før man kan se tegn til vekst i dem, og dette skyldes sansynligvis vesentlig kullsyreopptak

fra luften. Når vekst av mikroorganismer inntreer, bringes pH raskt ned til 7, det vil si nøytral reaksjon.

Biologisk nøytralisasjon ble også utført i halvkontinuerlig prosess, med svartlut som var fortynt 1 : 10 med springvann. Anaerobisk gjæring ved 30° med gjennomsnittlig oppholdstid på 15 døgn ga en stabilisert biologisk nedbrytningsprosess som viste at biologisk rensing av svartlut og skyllevann er teoretisk mulig.

For å belyse skyllevannets betydning for de rent hygieniske forhold i vannet, ble det utført en del forsøk med en renkultur av Escherichia coli.

En rekke svartlutfortynninger ble inokulert med E.coli. Tabell 6. viser hvorledes pH forandrer seg uten at bakterievekst kunne observeres. Telling etter 24 timer viste en kraftig reduksjon av antallet E.coli. Resultatene må tolkes slik at i de forskjellige svartlutfortynninger er enten pH for høy eller substratkonsentrasjonen for lav til å fremkalle vekst.

Det ble undersøkt om svartlut i det hele tatt inneholder stoffer som kan ernære E.coli. Forsøk hvor svartluten på forhånd var nøytralisert til pH = 9 er vist i tabell 7. En viss vekst ble observert, men tilsetning av pepton-gjærekstrakt øket veksten betydelig. Veksten av E.coli i svartluten fører ikke til nøytralisasjon, mens den i kontrollene, hvor det var tilsatt annet næringssubstrat, fører til den karakteristiske syredannelse.

Fra disse forsøk kan slutes at svartlut og skyllevann kan danne utmerket grobunn for bakterier når bare pH ikke er for høy. Derimot er det et dårlig substrat for E.coli. Selv om man ikke med sikkerhet kan dra slutninger fra forsøk med E.coli til det som kan skje med de typiske patogene tarmbakterier, er det lite sansynlig at disse kan nyttiggjøre seg de organiske skyllevannsforurensingene bedre og derfor ikke vil ha noen mulighet for å formere seg som følge av halmlutforurensinger.

Kap. 9.

Skyllevannets virkning på flora og fauna.

Spesielle undersøkelser er blitt utført for å belyse virkningen av skyllevann på flora og fauna. Imidlertid har det ikke vært anledning til å legge så meget arbeide i disse problemer som i de øvrige undersøkelser.

På grunnlag av en kortsiktig undersøkelse som foreligger, kan det være vanskelig å trekke riktige konklusjoner ut fra innsamlet biologisk materiale når det gjelder innvirkningen av forurensinger på dyre- og planteliv, fordi en

slik innvirkning ofte bare kan påvises etter lengere tids forløp.

Det er sannsynlig at en slik miljøforandring, som halm-lutingsforurensingene i mange tilfeller forårsaker, på lengere sikt kan føre til betydelige forandringer i den naturlige flora og fauna. Hver organisme har sin karakteristiske livs-syklus som i forskjellig grad er avhengig av ytre faktorer. Et naturlig plante- og dyresamfunn representerer en fint avbalansert samhörighet. Hvis ytre faktorer direkte påvirker noen av artene, vil det etter hvert kunne forrykke forholdet mellom alle de andre.

I det følgende skal nevnes noen eksempler på undersøkelser hvor det har vært forholdsvis lett å påvise om skadevirkning foreligger eller ikke.

Innvirkning av skyllevann på laks og ørret (som dels var i plumme-sekkstadiet, dels i alderen 1 - 2 år) viste at pH = 9.7 førte til betydelig dødelighet av begge yngelstadier. Selv pH = 9.1 resulterte i dødelighet klart over det normale. Skyllevann som var nøytralisert med saltsyre til pH = 7.0, virket derimot ikke drepende på fisk selv i meget høye konsentrasjoner. Det er derfor skyllevannets basiske karakter som i første omgang dreper fisken. Større mengder organiske ekstraktstoffer kan på den annen side føre til opblomstring av mikro-organismer som forbruker oppløst oksygen. Resultatet kan bli et oksygen-underskudd som medfører skadevirkninger på fiskebestanden.

Fisketelling som ble utført med elektrisk apparat i to mindre elver (vannføring mindre enn 1 m³/sek) viste at fiskebestanden var unormalt liten i en betydelig strekning nedenfor utslippet fra halm-lutingsanlegget. Forholdet skyldes utvilsomt skadevirkning på fisken som følge av skyllevannsutslipp i elvene.

Næringsdyrene har bare vært undersøkt i én elv som inneholder forurensinger fra halm-lutingsanlegg. Det ble i dette tilfelle konstatert en påtagelig minskning i antall av næringsdyr nedenfor halm-lutingsanlegget.

En del undersøkelser for å undersøke skadevirkningene av skyllevann på planter og dyr har vært utført i Hillestadvannet, men resultatene har ikke vært så entydige som ovenfor. Etter isløsningen hadde fullsirkulasjonen ført til at det var rikelig med oksygen i alle dyp (se fig. 16.). Tabell 8. viser imidlertid at dyrelivet i Hillestadvannet på dette tidspunkt var fattigere enn i et nærliggende kontrollvann (Holmsvannet), og forskjellen kan muligens tolkes som skadevirkning av skyllevann. Hillestadvannets hydrografiske forhold, som ble klarlagt vinteren 1957, ga på forhånd grunn til å anta at skadevirkningene ville bli lette å påvise. Når så ikke var tilfelle, kan forklaringen

være at dyr og planter om vinteren befinner seg i dvale-tilstand, slik at motstandskraften mot ytre påvirkninger er stor. Det kan også tenkes at organismene om vinteren tar opphold i bunnslammet, og på den måten unngår virkningen av skyllevannsfurensinger.

En undersøkelse av plankton og høyere planter i Hillestadvannet førte ikke til resultater som kunne tolkes som skadevirkninger.

Tabell 1. Kjemiske analysemetoder.

Bestemmelse av:	Analysemetode:
Alkalinitet	Titrering med n/10 HCl og fenolftalein (pH=8) og bromcresolgrønt (pH=4)
pH	Elektrometrisk måling med glasselektrode.
Farge	Visuell sammenligning med standarder etter Hazens metode. Standard methods ¹⁾ s.87.
Kaliumbi-kromat-tall	Koking i 2 timer, deretter tilbaketitrering med FeSCl_4 (NH_4) SCl_4 Stand.methods ¹⁾ s.332.
Kaliumperman-ganat-tall	20.0 min i kokende vannbad n/80 KMn Cl_4
Nitrogen	Kjeldahls metode, oppslutning med etterfølgende vanddampdest. i Parnas-Wagner halvmikroapparat
Cl	Titrering med AgNO_3 etter Mohrs metode.
Na	Flammefotometrisk med Perkin-Elmer flammefotometer.
Tørrstoff	Inndampning på vannbad og tørring til konst. vekt ved 105° C.
Gløderest	Gløding ved 600° til konstant vekt.

1) Standard methods for the Examination of Water, Sewage and Industrial Wastes.

Tabell 2.

Krokfoss	Alkalinitet pH=8 ml N/10 HCl pr l	Alkalinitet pH=4 ml N/10 HCl pr l	pH	Farge Olsen	K ₂ Cr ₂ O ₇ -tall mg oksygen pr l	Kjeldahl mg nitrogen pr l	B.O.D. mg pr l.	Klor mg pr l	Natrium mg pr l	Tørrstoff mg pr l	Gløderest mg pr l
Krokfoss	4750	7100	12.2	132 000	67 900	544	24 500	2251	18 300	100 945	33 705
Hillestad	2260	3910	12.3	150 000	63.500	700	20 730	1623	12 900	86 205	28 165
Lier	4740	6930	12.2	140 000	69 000	765	31 170	4520	19 800	113 260	45 445
Ringerike	4250	5770	12.1	100 000	51 600	413	20 730	2400	15 700	79 215	29 585
Røvetal	2730	4960	12.1	175 000	64 400	772	27 270	3320	15 400	102 460	31 430
Høyjord	3200	4620	12.2	125 000	53 000	467	20 270	1850	13 300	72 785	28 200
Sem	3000	4330	12.2	120 000	47 500	468	18 800	1325	12 400	67 315	24 050
Brunlanes	2480	4620	12.1	200 000	71 500	676	29 900	3560	15 400	103 295	32 810
Middel	3430	5280	12.2	142 000	61 000	641	24 170	2606	15 400	90 682	31 673

Tabell 3. Skyllevannsforurensinger fra halmlutingsanlegg.

Anlegg	Skyllevann	Alkalinitet pH-4 uttrykt som ml N/10 HCl	Alkalinitet pH-8 uttrykt som ml N/10 HCl	Bikromat- tall uttrykt som mg oksygen	Farge uttrykt som °H eller mg Pt pr. l
Hillestad	første	57.40 x 10 ⁶	34.25 x 10 ⁶	548 x 10 ⁶	1530 x 10 ⁶
Lier	første	53.25 x 10 ⁶	35.00 x 10 ⁶	458 x 10 ⁶	820 x 10 ⁶
Brunlanes	første	36.60 x 10 ⁶	20.75 x 10 ⁶	428 x 10 ⁶	954 x 10 ⁶
	andre	4.03 x 10 ⁶	2.81 x 10 ⁶	46 x 10 ⁶	115 x 10 ⁶
Krokfoss	første	56.90 x 10 ⁶	28.00 x 10 ⁶	494 x 10 ⁶	1070 x 10 ⁶
	andre	9.94 x 10 ⁶	3.79 x 10 ⁶	65 x 10 ⁶	112 x 10 ⁶
Middel pr 100 kg tørr halm	første	85.00 x 10 ⁴	49.00 x 10 ⁴	320 x 10 ⁴	1850 x 10 ⁴
	andre	11.00 x 10 ⁴	6.20 x 10 ⁴	102 x 10 ⁴	230 x 10 ⁴
	4 skyllevann	111.00 x 10 ⁴	64.00 x 10 ⁴	1065 x 10 ⁴	2400 x 10 ⁴

Tabell 4. Analysér fra st. F₃ og VII i Hillestadvannet.

Avstand fra utløp til st. F₃ = 500 m

" " " " st.VII =1200 m

Stasjon	Dyp i cm	Alkalinitet ml N/10 HCl pr l	Farge ° Hazen	KMnO ₄ oksygen pr l	Cl mg pr l	Na mg pr l	pH	Fortynning av l. skyllevann x)
F ₃	150	pH=8 pH=4 11.5	35	5.1	9.14	11.9	6.82	1:58
	185	20.1	125	8.2	17.6	37.0	7.01	1:19.2
	190	43.3	625	104	18.7	118	8.50	1:5.85
	195	22.8	2330	520	64.0	390	9.02	1:1.77
	200	25.4	3250	705	87.5	510	8.90	1:1.55
VII	150	9.2	33	5.8	7.95	12.0	6.72	1:57.5
	200	12.5	60	5.6	7.65	15.0	6.87	1:46.0
	250	20.0	137	7.4	6.30	30.0	7.10	1:23.0
	270	26.8	250	30.3	11.2	53.0	7.30	1:13.0
	280	33.2	320	78.5	15.0	78.0	8.30	1:8.85
	280	4.62 46.2	644	89.6	18.2	128	9.10	1:5.40
	300	60.1	800	144	20.7	180	8.71	1:3.75

x) Denne faktor er beregnet ut fra middelkonsentrasjonen i første skyllevann.

Tabell 5.

Vekst av mikroorganismer i fortynninger av svartlut.

Fortynning	Start	2 dager		4 dager		6 dager	
	pH	pH	Vekst	pH	Vekst	pH	Vekst
1:700	9.82	7.90	+	7.00	+		+
1:500	10.05	9.10	+	7.05	+		+
1:400	10.10	9.50	-	7.13	+		+
1:300	10.25	9.67	-	7.13	+		+
1:200	10.50	10.35	-	9.48	+	7.60	+
1:100	10.31	10.40	-	9.72	+	7.45	+
1:70	10.90	10.79	-	10.69	-	9.15	+

Tabell 6.

Undersøkelse av mulighet for vekst av E.coli
i fortynninger av svartlut.

Svartlut fort.	pH			Vekst mikroskop
	Start	24 timer	72 timer	
1:10	12.05	12.05	11.90	+
1:30	11.80	11.55	10.28	+
1:60	11.50	11.20	10.00	+
1:100	11.30	10.25	9.10	+
1:300	10.75	9.15	8.30	+
1:600	10.35	8.75	8.09	+
1:1000	10.05	7.90	7.82	+
1:3000	9.35	7.55	7.42	+
1:6000	8.90	7.20	7.30	+
1:10000	8.55	8.50	7.12	+

Tabell 7.

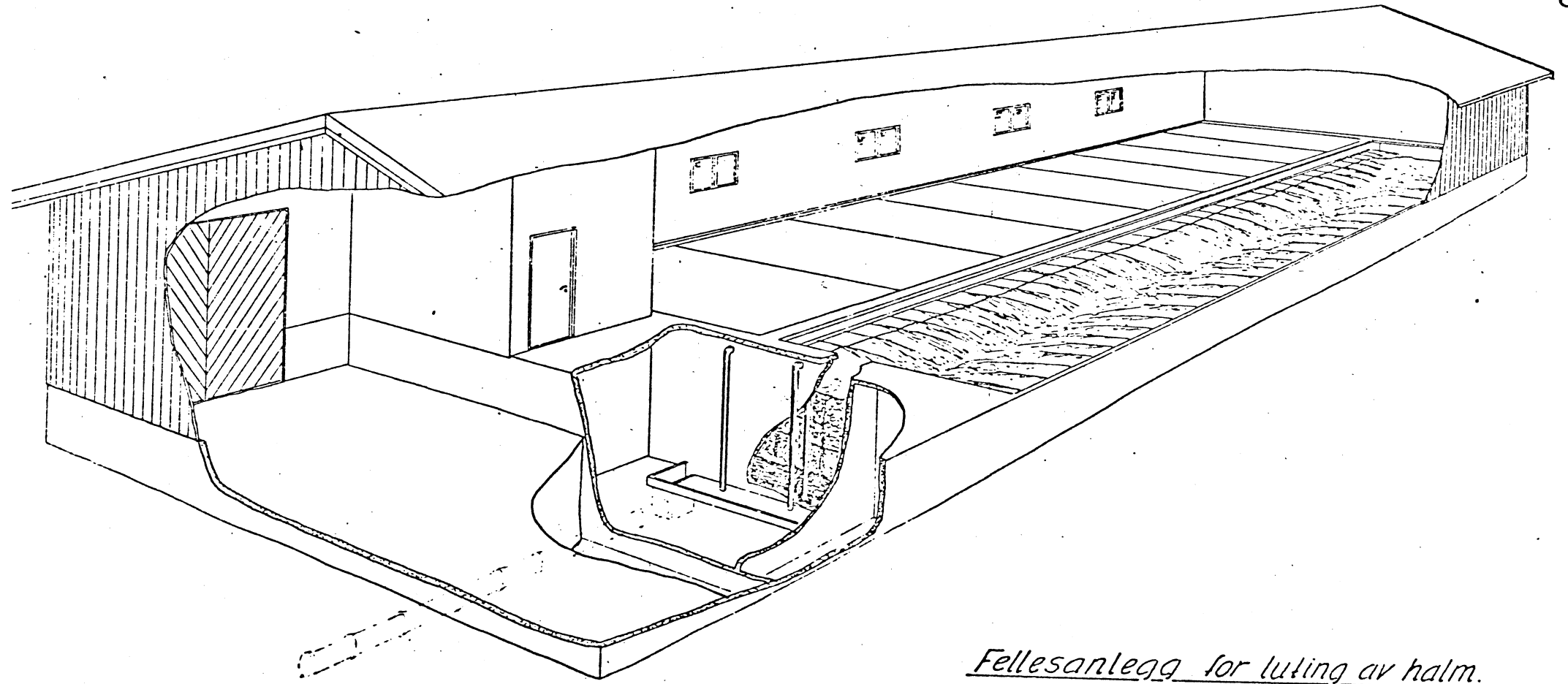
Vekst av E.coli i nøytraliserte fortynninger av svartlut, sammenlignet med annet substrat.

Svartlut fort.	Uten tilsetning				Med tilsatt pepton 10g/l " " gjærekstrakt 3g/l			
	pH			Vekst 24 timer	pH			Vekst. 24 timer
	Start	24 timer	72 timer		Start	24 timer	72 timer	
1:1	9.05	9.05	8.85	-	8.20	6.40	5.72	+++++
1:4	9.00	7.90	8.35	+++	8.00	5.75	5.31	+++++
1:10	8.90	7.70	8.10	+++	7.60	5.50	5.10	+++++
1:100	7.95	7.75	7.70	-	7.15	5.05	4.72	+++++
Blind					7.15	5.00	4.30	+++++
Blind					7.10	5.00	4.70	+++++

Tabell 8.

Boniteringsundersøkelser.

Dyp m	Hillestadvannet		Holmsvannet	
	Antall dyr	vekt i mg	Antall dyr	vekt i mg
0.5-1.5	17.3	348.0	12.6	102.8
1.6 - 3	3.8	48.1	11.4	51.4

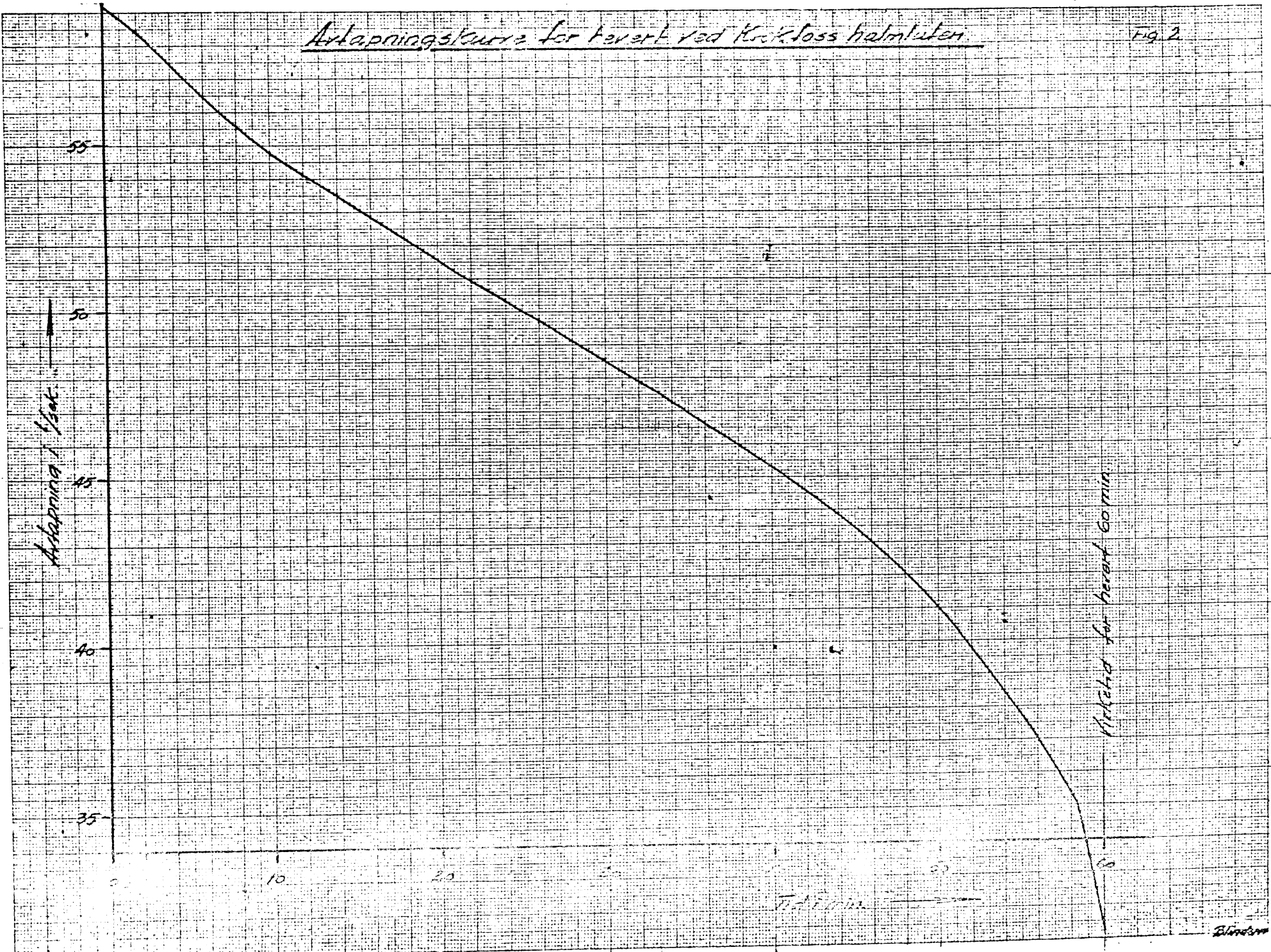


Fellesanlegg for luting av halm.

[Handwritten signature]

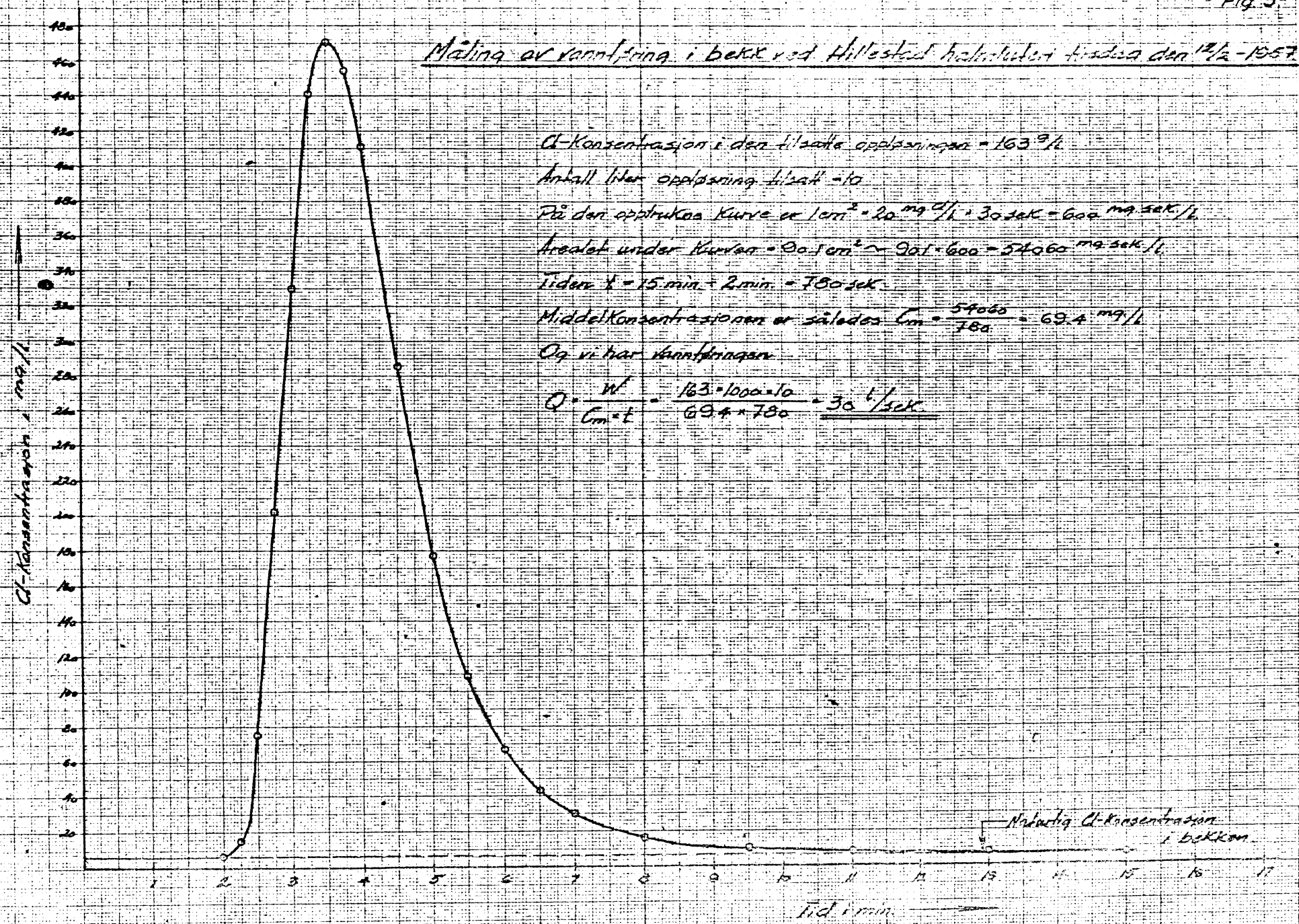
Arbapningskurva for hjerter ved Krok-Loss hjalmluten.

Fig. 2



Arbapning for hjerter 60 min

Mätning av vanning i bett vid Hillestad halvtidstid den 12/2-1957



Cl-koncentration i den tilsette oppløsningen = 163 g/l
 Antall liter oppløsning tilsett = 10
 På den opptrukne kurve er $1 \text{ cm}^2 = 20 \text{ mg dl} \cdot 30 \text{ sek} = 600 \text{ mg sek/l}$
 Arealet under kurven = $90.5 \text{ cm}^2 \cdot 30 \text{ sek} = 54060 \text{ mg sek/l}$
 Tiden $t = 15 \text{ min} \cdot 2 \text{ min} = 780 \text{ sek}$
 Middellkoncentrationen er således $C_m = \frac{54060}{780} = 69.4 \text{ mg/l}$
 Og vi har vannføringen

$$Q = \frac{W}{C_m \cdot t} = \frac{163 \cdot 1000 \cdot 10}{69.4 \cdot 780} = \underline{\underline{30 \text{ l/sek}}}$$

Målbeting Cl-koncentration i bettet

Tid i min.

Konsentrasjon av ekstraktstoffer i svartlut
som funksjon av antall lutinger

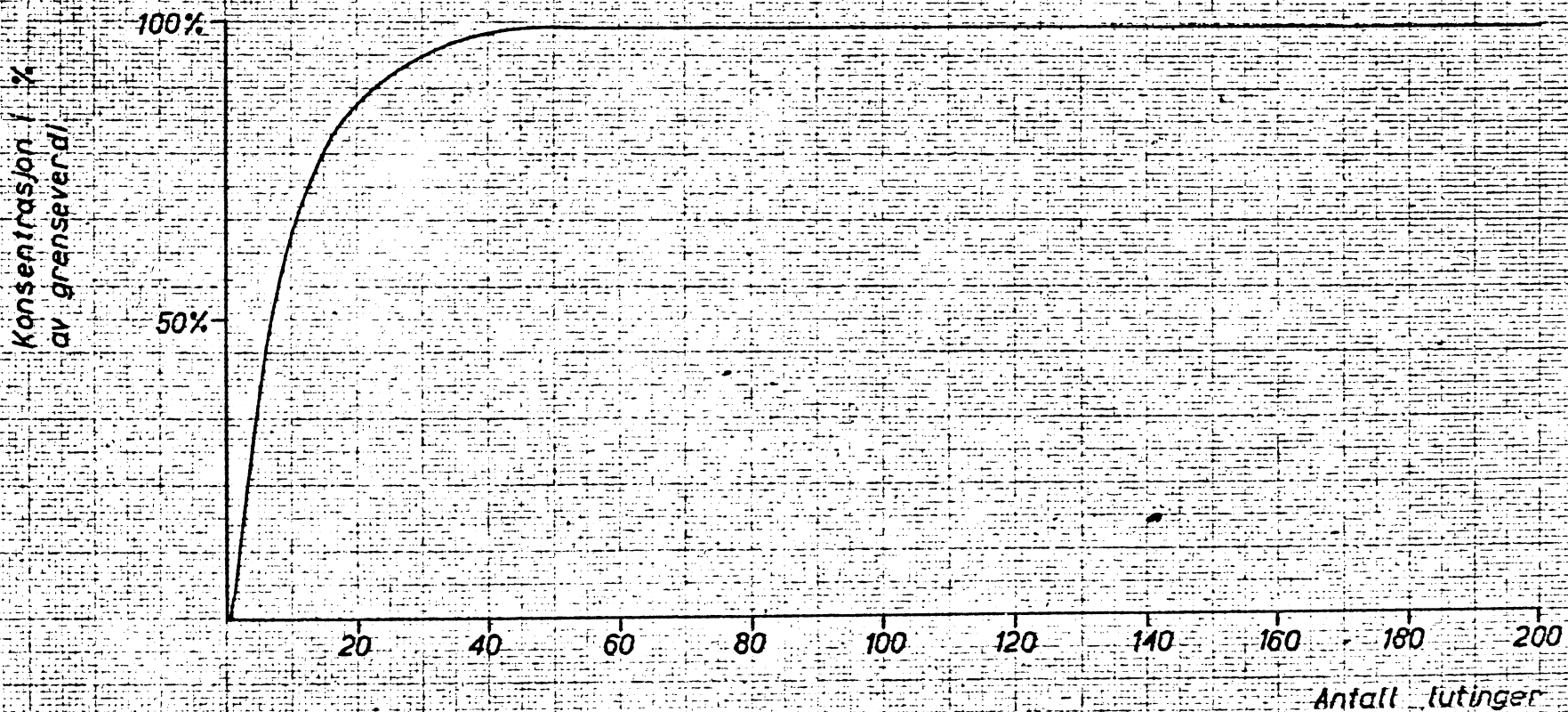


Fig. 5

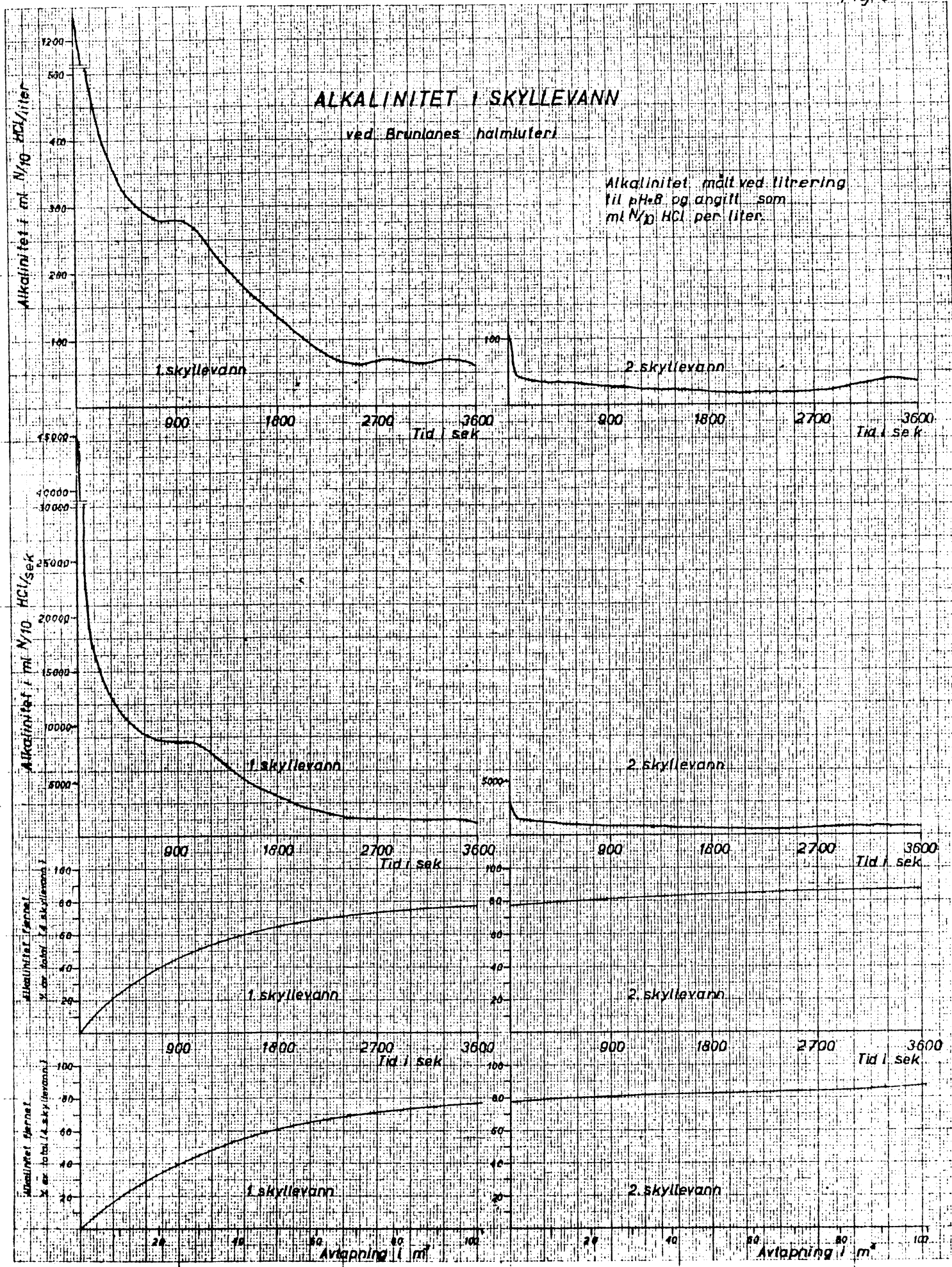


Fig. 6

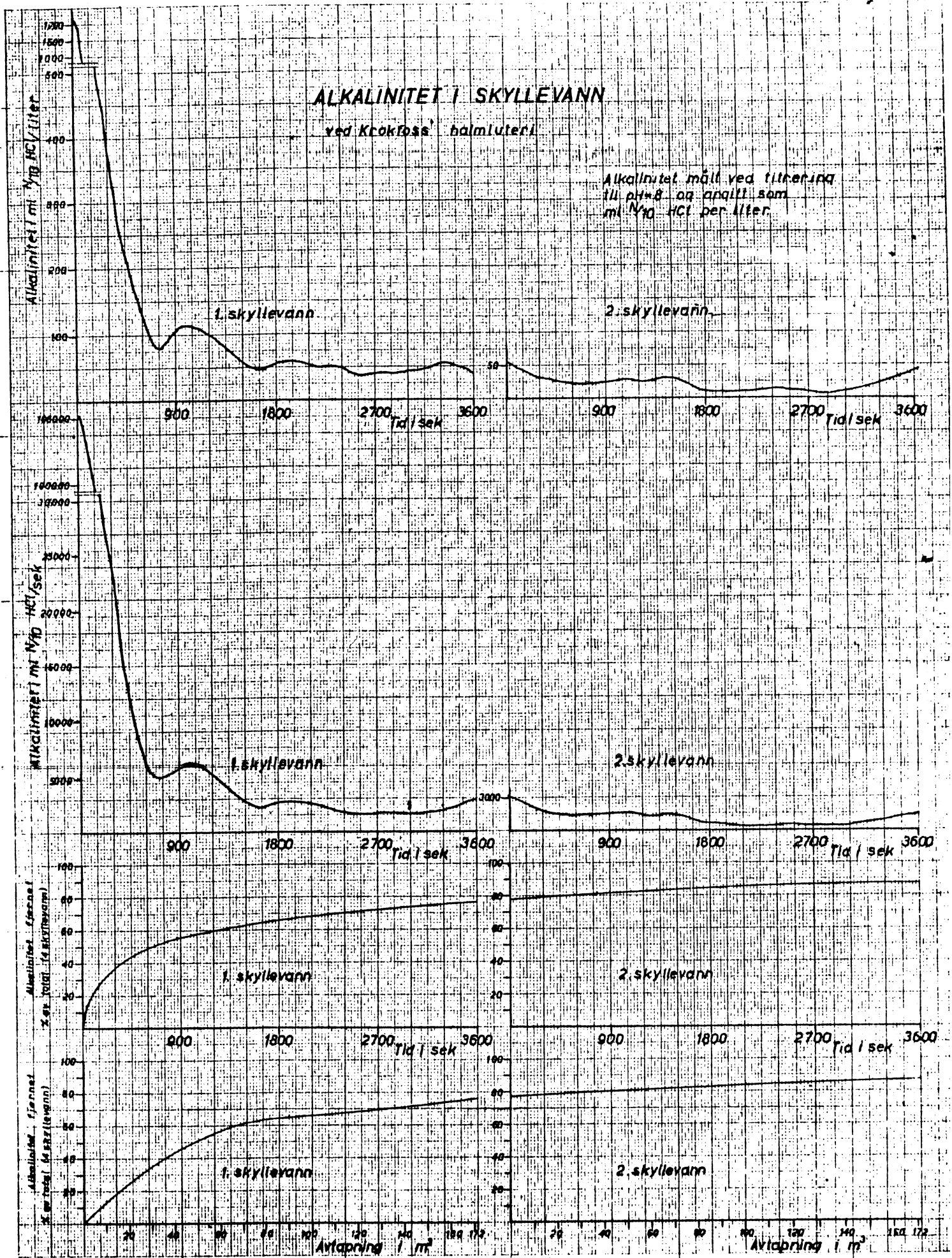


Fig. 7.

Bestemmelse av sp.v ved 22,5°C
av 1. skyllenvann fra Hillestad fellesluteri.

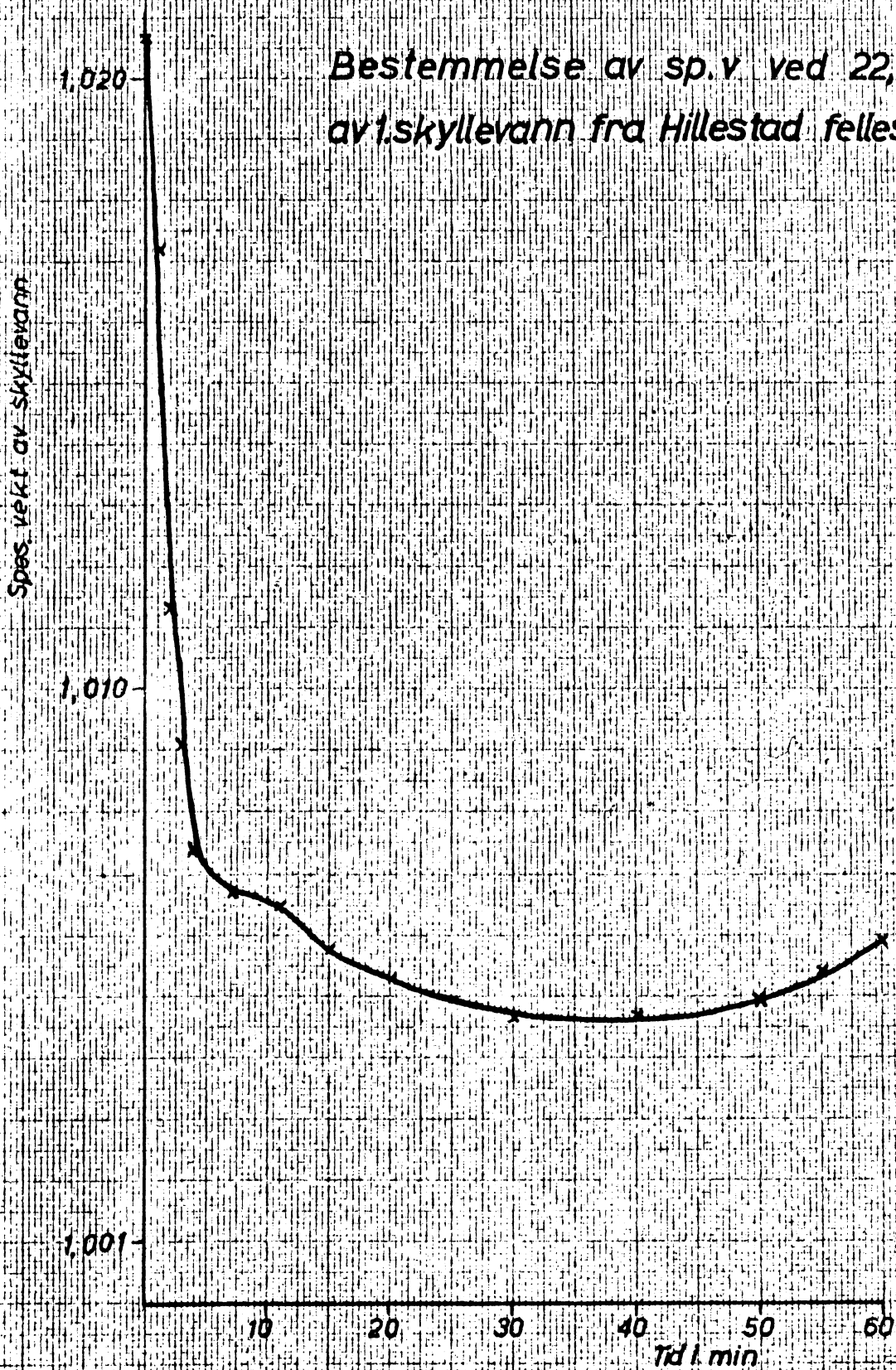
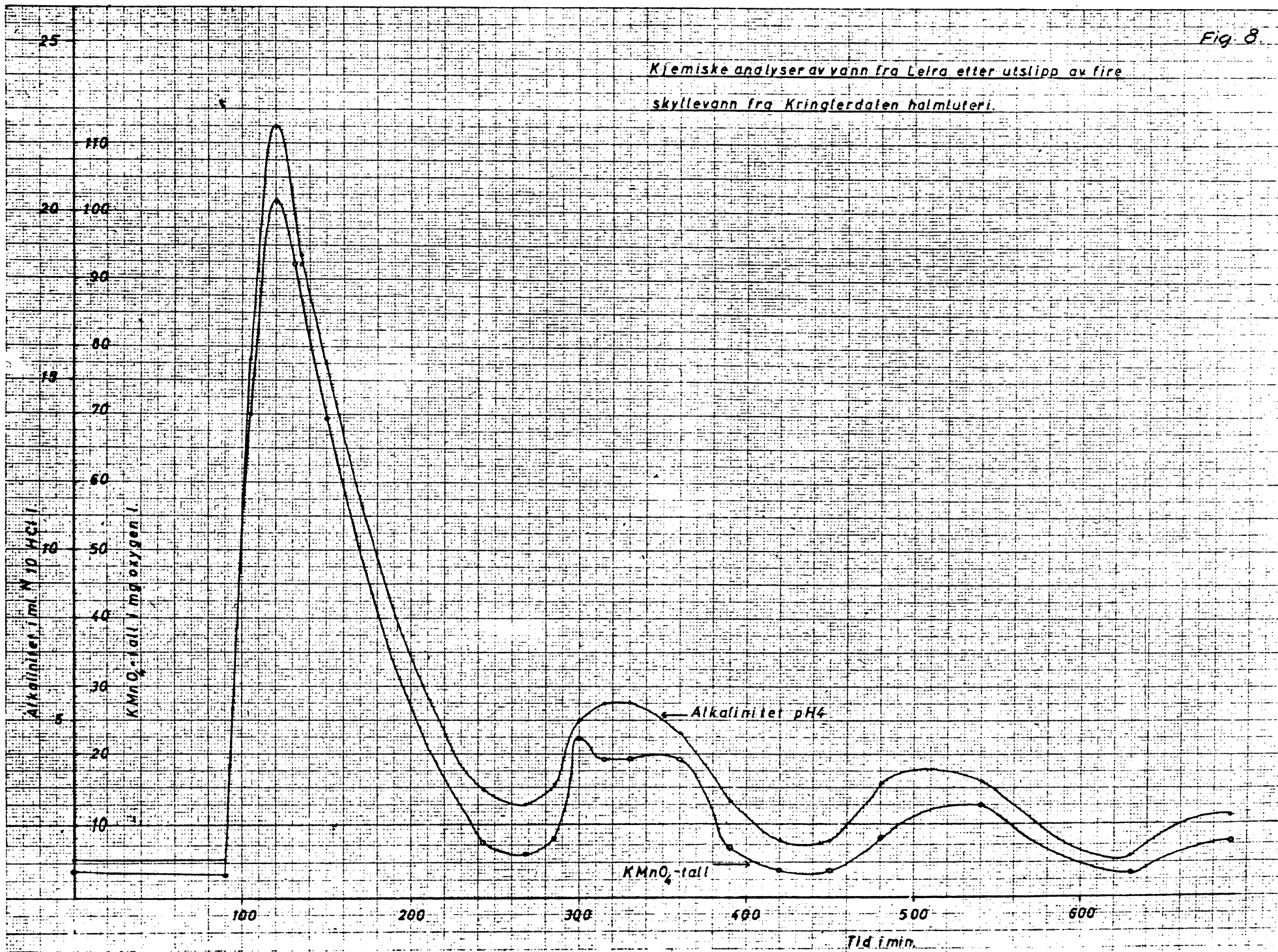


Fig. 8.

Kjemiske analyser av vann fra Lelra etter utslipp av fire
skyllevann fra Kringlerdalen halmtuteri.



0-10

Fig. 9

Kjemiske analyser av vann fra Hålleelva etter utslipp av første skyllevann fra Bruntnes haituteri.

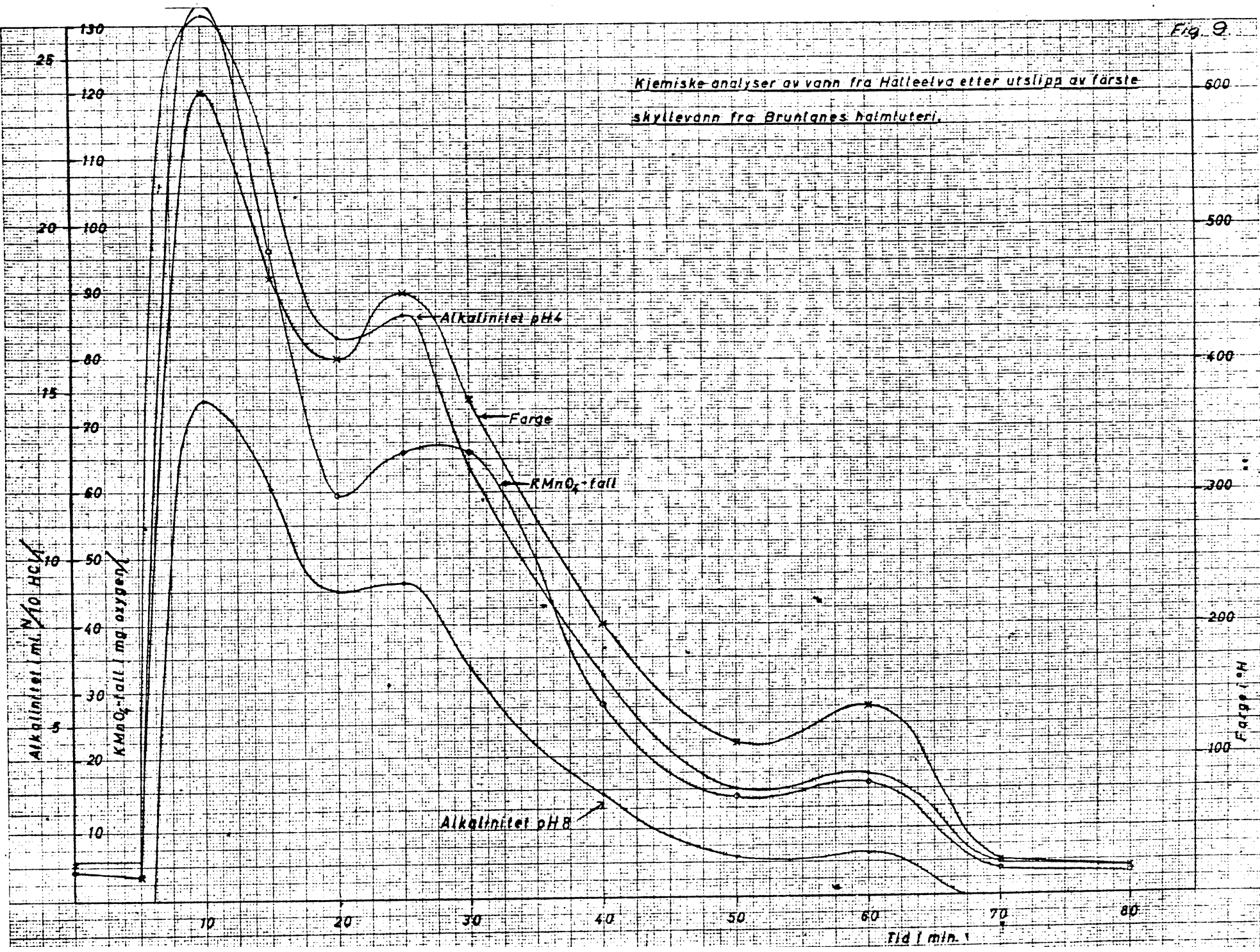
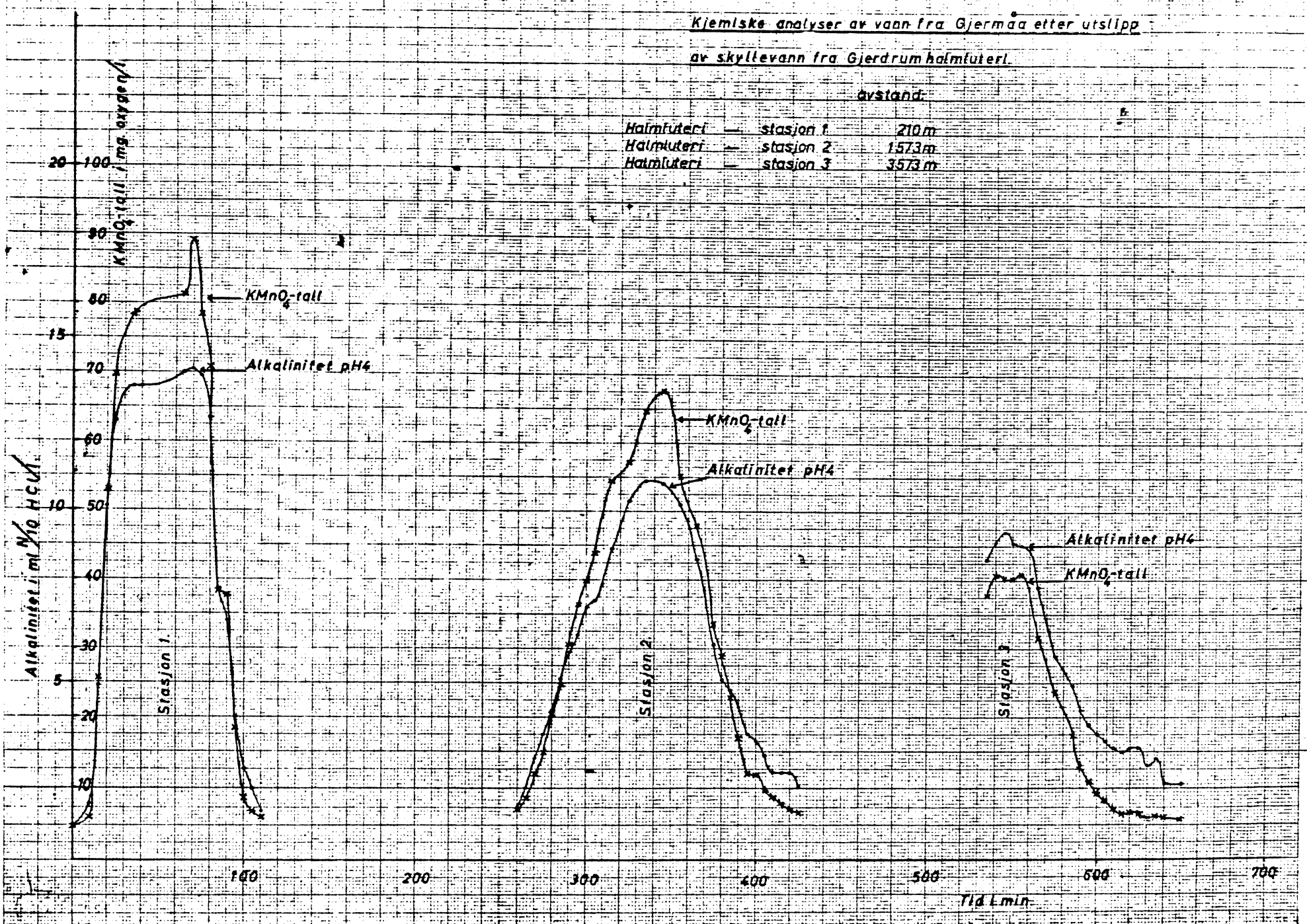


Fig. 10.

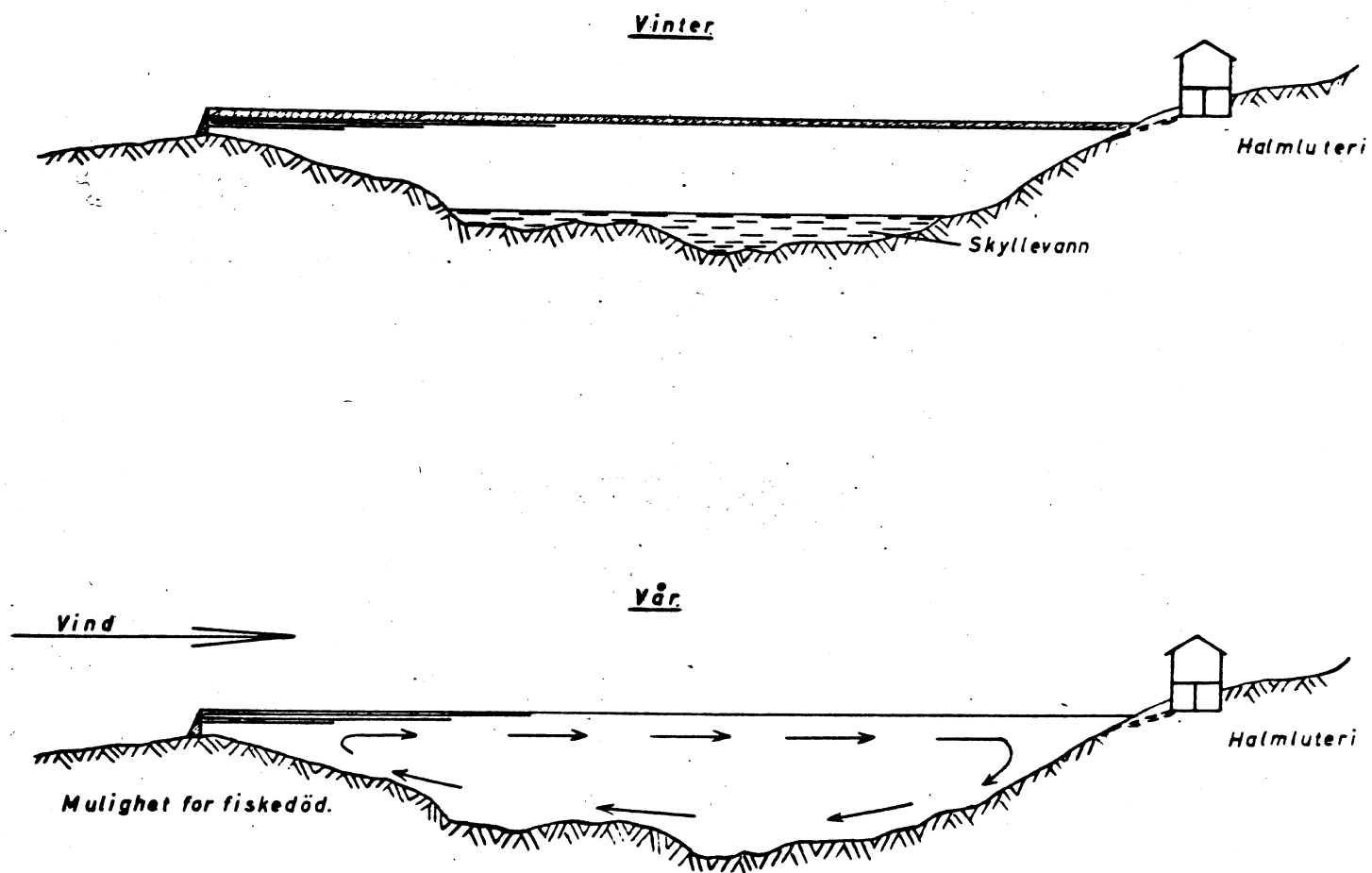
Kjemiske analyser av vann fra Gjermaa etter utslipp
av skyllevann fra Gjerdrum halmfuteri.

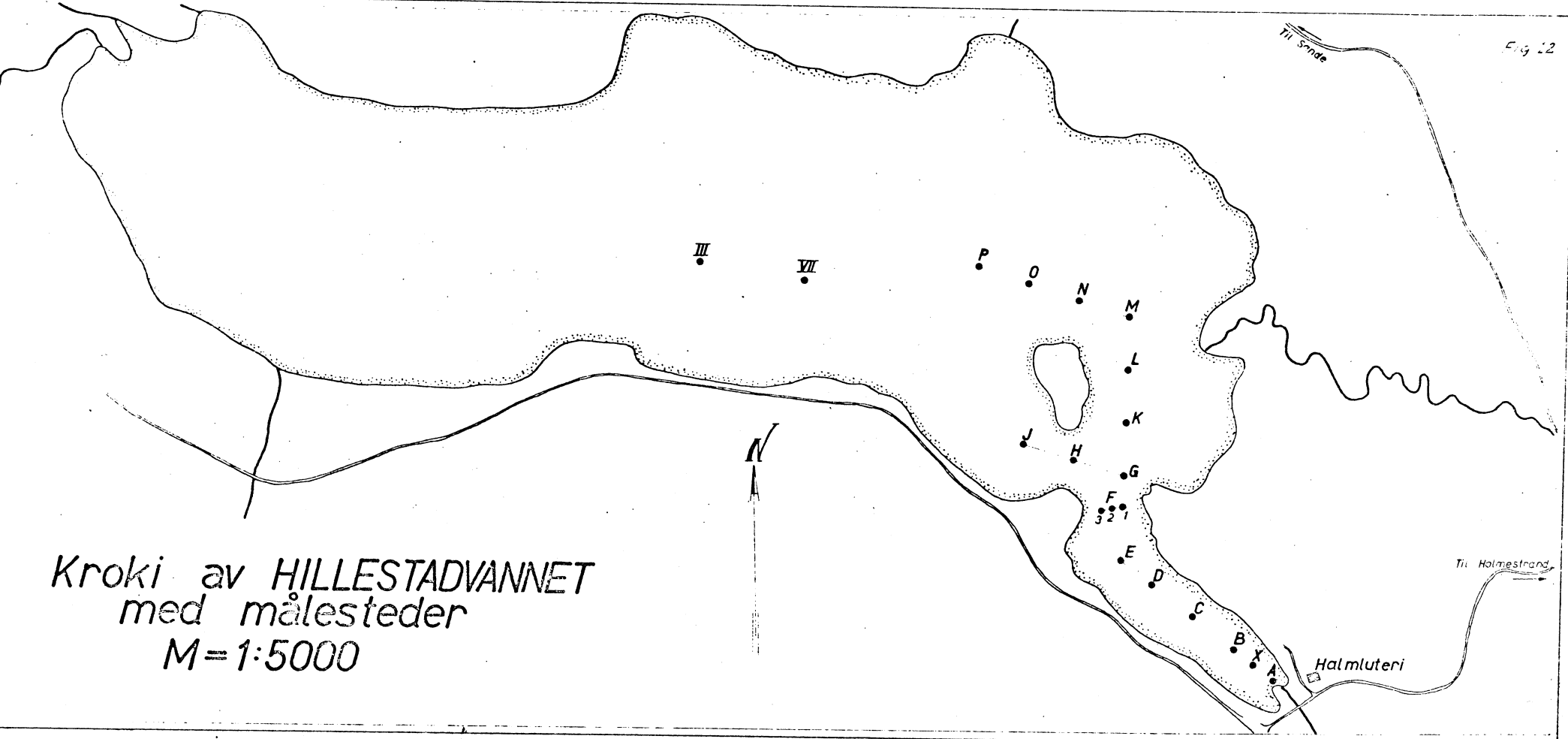
avstand:

Halmfuteri	— stasjon 1	210 m
Halmfuteri	— stasjon 2	1573 m
Halmfuteri	— stasjon 3	3573 m



Fordeling av avfallsvann i en innsjö.

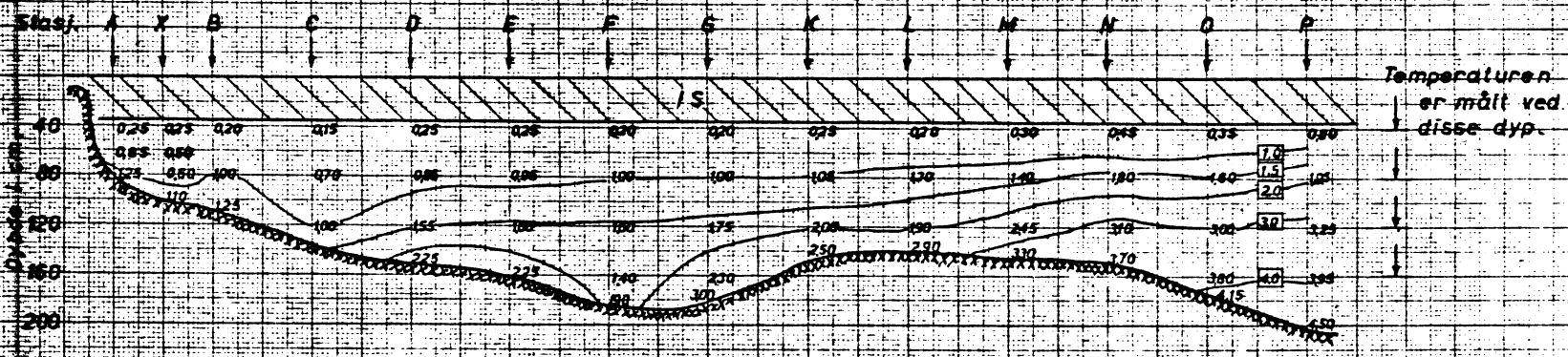




Kroki av HILLESTADVANNET
med målesteder
M=1:5000

TEMPERATURMÅLINGER I HILLESTADVANNET 14/6 57.

Horis målestokk 1:5000



Stasjonene A-P ble brukt 14/6-57
 Stasjonene VII-II ble brukt 27/6-57
 Avstanden J-VII er ca 520 m

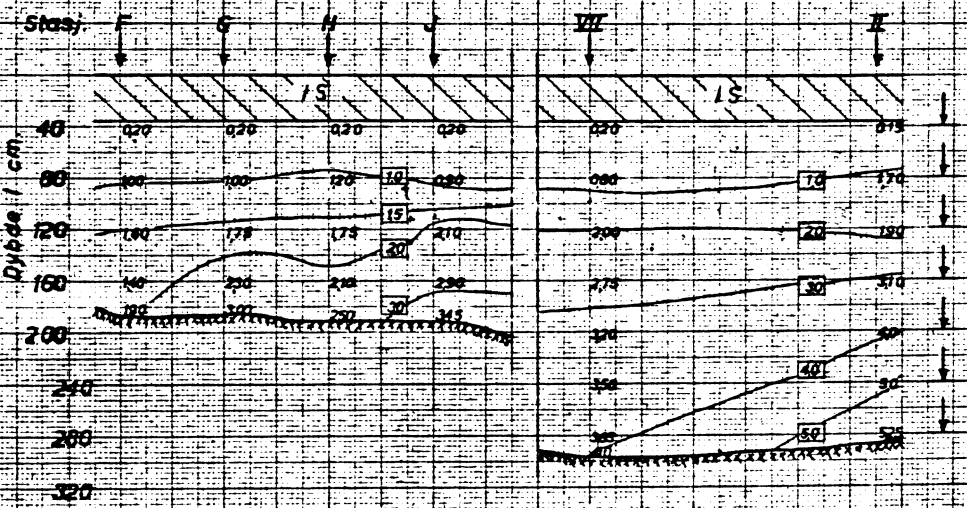


Fig. 14.

Målinger av ledningsevne ved stasjonene F_1, F_2, F_3 i Hillestadvannet den 27-3-57.

(ikke korr. for temp.)

Ledningsevne avantl som tredje dimensjon

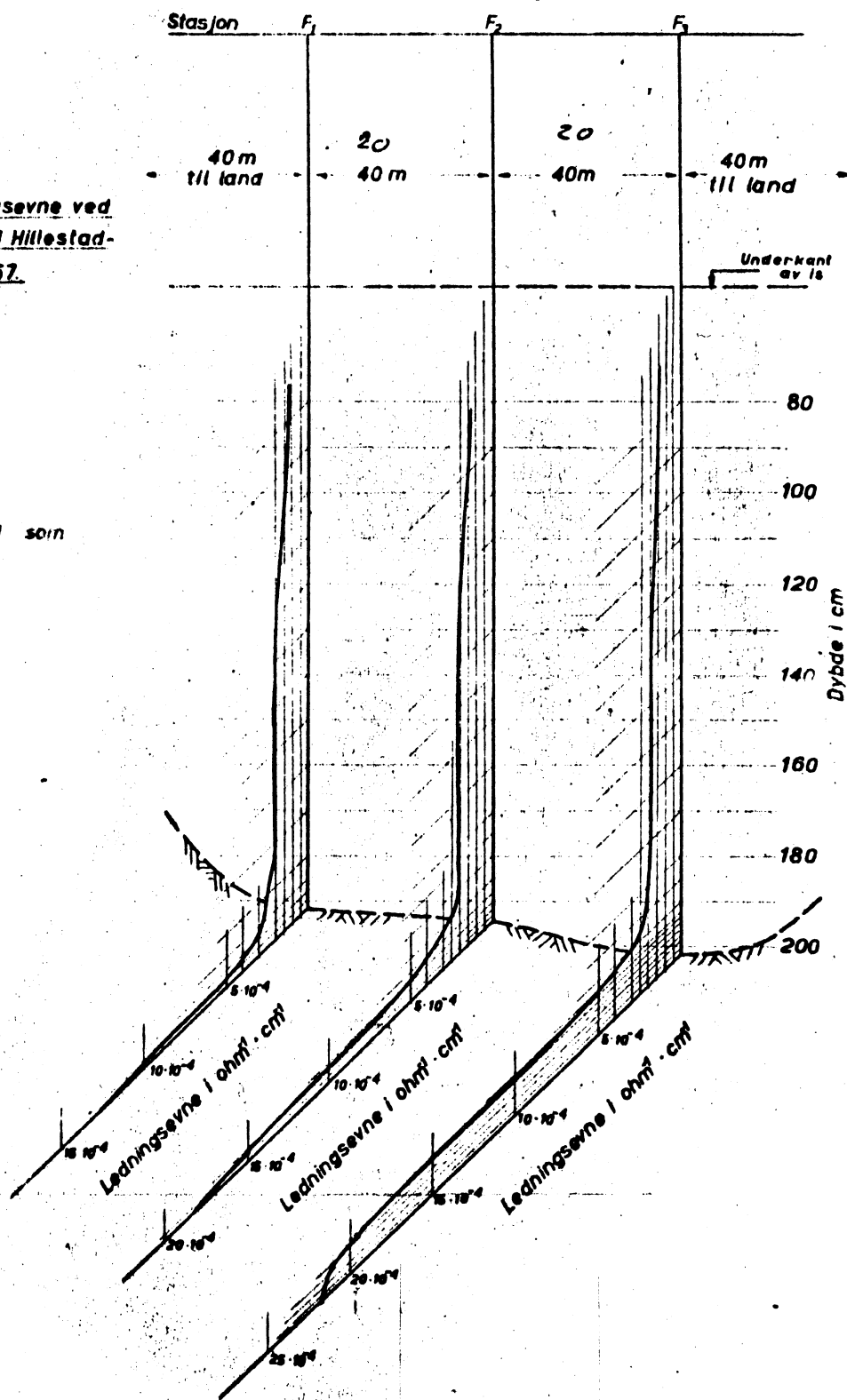


Fig 15

Måling av ledningsevne ved stasjonene III og VII i Hillestadvannet den 27-3-57

(ikke korr. for temp.)

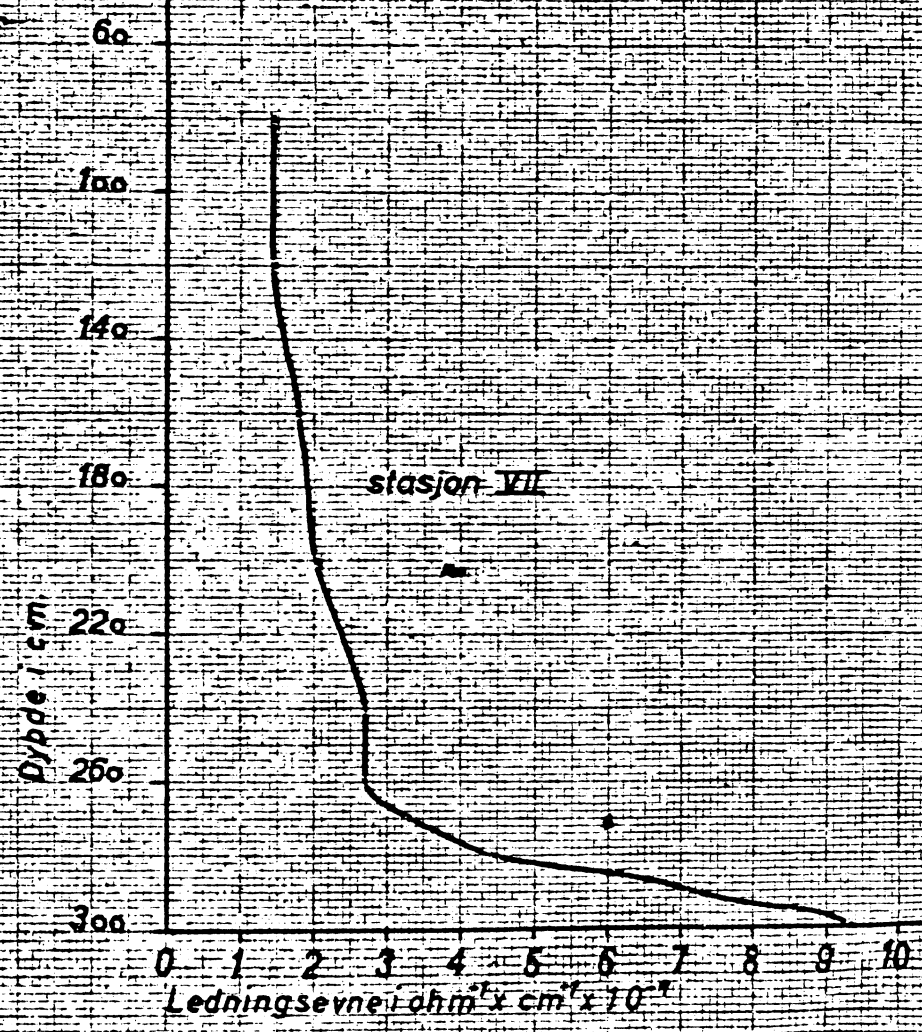
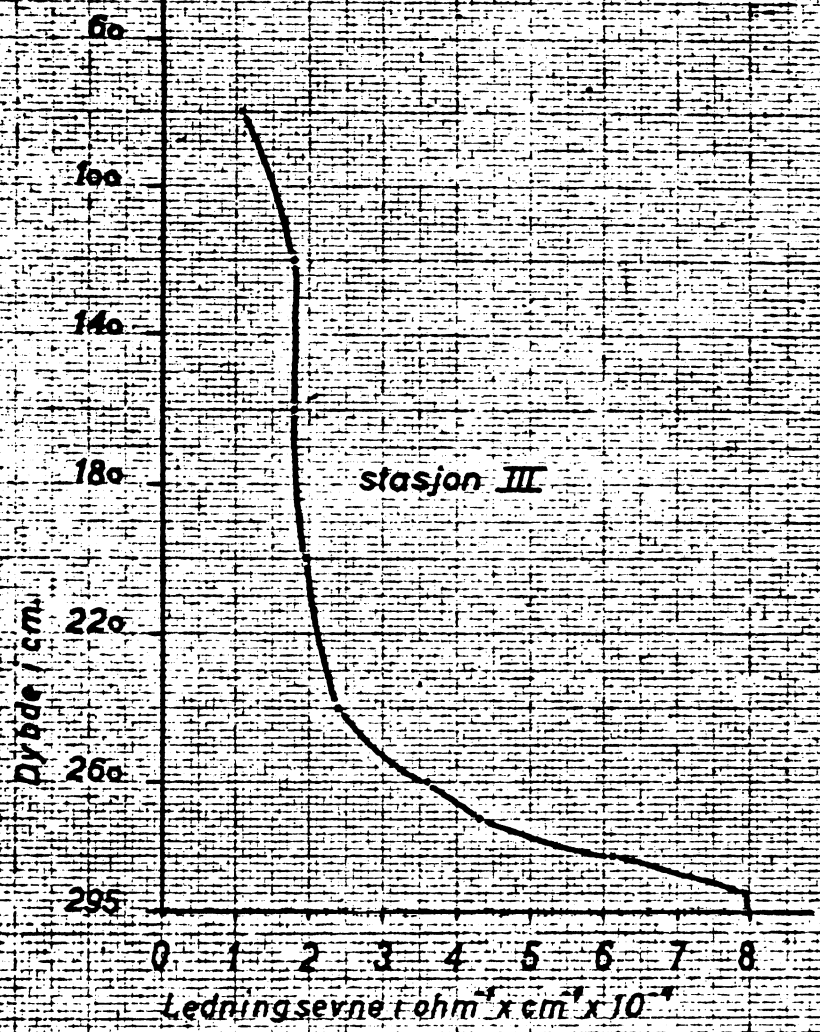


Fig 16

Oppløst oxygen og oxygenbehov ved stasjon VII
i Hålestadvannet før og etter ismelting.

Date 28-6-57

Date 27-3-57

