

# NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN



Edvigs V. Kanavin

## VINTERFORHOLDENE I GJENNOMSTRÖMTE INNSJÖER

BIDRAG TIL ÅRSMÖTE I NORSK GEOFYSISK FORENING  
AUGUST 1968

RAPPORT NR. 8/68

---

VASSDRAGSDIREKTORATET  
HYDROLOGISK AVDELING

OSLO AUGUST 1968

## VINTERFORHOLDENE i GJENNOMSTRÖMTE INNSJØER

### 1 Innledning.

Et isdekket beskytter vannet under isen for omröring av vind og vannlagene kommer i likevekt slik at det letteste vann er överst, mens eventuelt tyngre vann finner sin plass i det dyp hvor det omgivende vann har samme egenvekt. I en innsjö er vanntemperaturen  $0^{\circ}\text{C}$  like under isen, men så tiltar temperaturen raskt i et forholdsvis tynt skikt (bare ca. 10-30 cm) og deretter blir den nesten konstant eller svakt tiltakende videre nedover til en viss dybde (ca. 10-15 m). Etterpå jevnt økende til vannets maksimale tetthet oppnås eller til bunns.

Denne lagdeling er meget stabil i de övre lag. Hvis noe av vannet bringes höyere opp, vil det synke nedover igjen, og hvis det bringes dypere ned vil vannet stige oppover mot sin plass igjen.

Gjennomströmningen av en innsjö kan karakteriseres som en langsom bevegelse av vannmasser i et stort strömförande tverrsnitt avhengig av sjöens topografi.

Observasjoner viser at der hvor vann strömmar inn i sjöen med betydelig hastighet, blir det en utpreget hvirvling (turbulens) i en stor blandings- og bremsesone, hvor bevegelsen etter hvert blir overfört til större vannmasser, mens hastigheten i hovedströmnningen avtar.

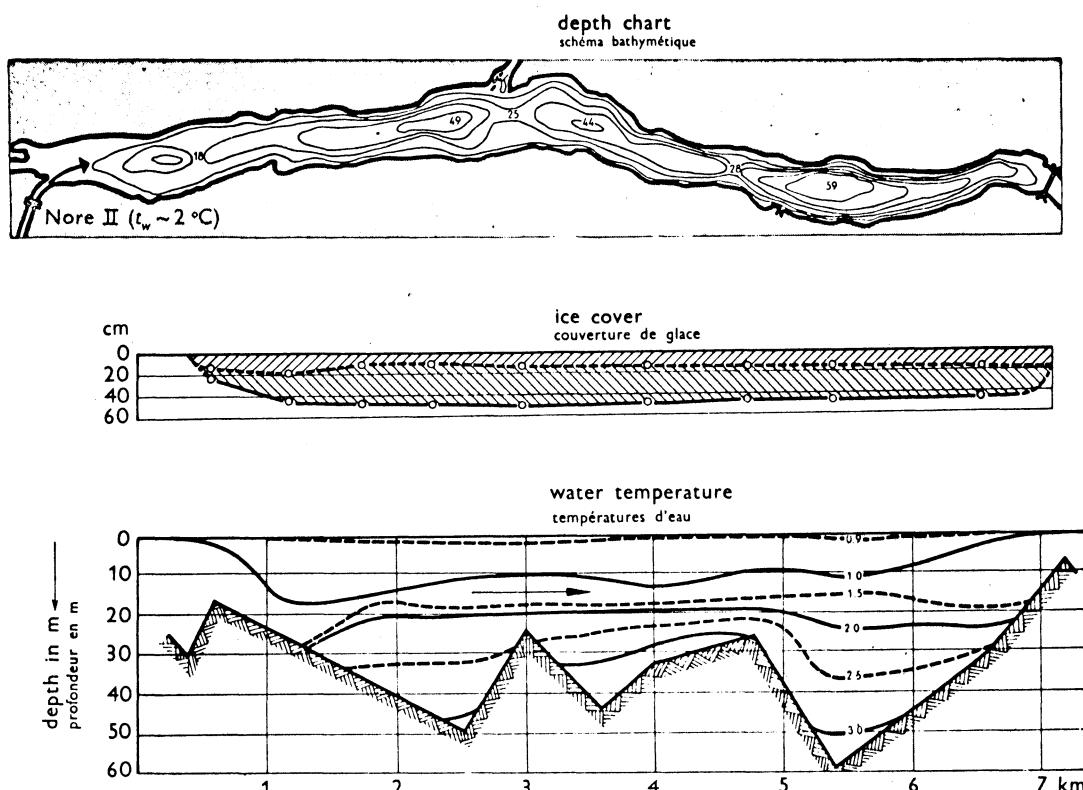
I en dyp innsjö avtar hastigheten av gjennomströmningen hurtig og vannmassene finner sin plass der den naturlig hörer hemma efter temperatur och tetthet. Den beveger sig deretter som ett mer eller mindre avgrenset strömdrag vidare nedover. Dette är grunden till att i sjöer med stort och djupt vatten kan vannmassorna med forholdsvis hög temperatur (f.eks. upp till  $2-3^{\circ}\text{C}$  i Norefjord, och vassföring ca.  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ ) flyta kilometerlange streckningar utan att tåla något viktigt på isen. Det är bara i de partierna av sjöen där tverrsnittet är viktigt innsnevret att en merkbart omröring av vannlagene under isen finns och bringar varme upp som reduserar isväxten eller tiner bort allerede dannede is.

Fig. 1 viser temperaturforholdene i Norefjord efter mätningar i mars i 1956.

I en slik dyp innsjö är lagdelningen under vintern närmast stabil, och vannlaget närmest undan isen kommer att praktiskt tala i ro. Varmtransporten upp mot isens undersida är inte merkbart. Hur långt ned i sjöen turbulensen kommer att hänga beroende av bunntopografien och strömhastigheten.

Fig. 1

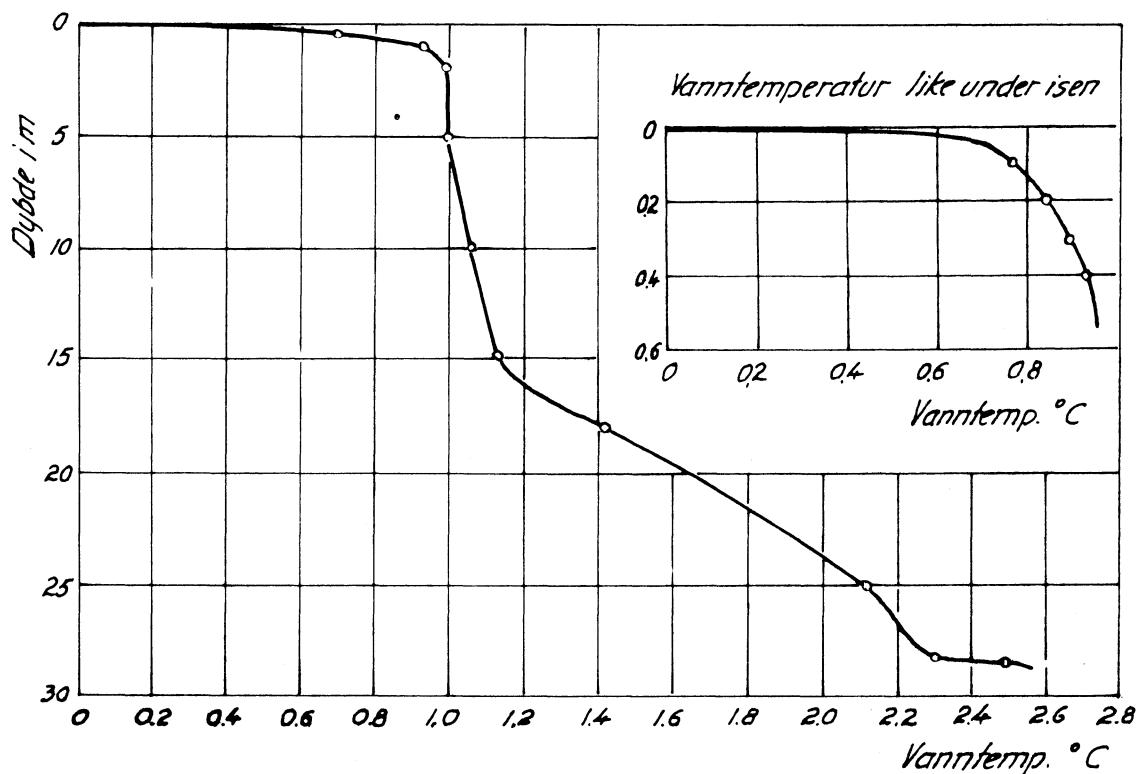
## TEMPERATURFORHOLDENE I NORÉFJORD, mars 1956



Depth chart. Ice cover. Water temperature conditions. Affected by the discharge (60 m<sup>3</sup>/sec) from the power plant Nore II.

Schéma bathymétrique. Couverture de glace. Températures de l'eau. Influence du débit de 60 m<sup>3</sup>/s restitué par le centrale Nore II.

## TEMPERATURSNITT I NORÉFJORD, mars 1956



Et annet meget interessant eksempel på gjennomströmning gir observasjoner fra Hjartsjö i Telemark.

Hjartsjö er bare ca. 2,6 km lang og 6-700 m bred på det bredeste. Den største målte dybde er 45 m og sjöens totale vannmenge er omrent 16 mill.  $\text{m}^3$ . Sjöen gjennomstrømmes fra Hjartsjö kraftstasjon. Det maksimale vannforbruk er på 24  $\text{m}^3/\text{s}$ . Driftsvannets temperatur holder om vinteren 2-3° C.

Undersökelsene viste at driftsvannet forholdsvis snart finner sin plass i sjöens dypere lag og strömmen gjennom den uten nevneverdig å forandre sitt varmeinnhold. Vannet er islagt hele vinteren.

Hvis innsjöen er grunn blir hastigheten merkbar i hele tverrsnittet og turbulensen blir dominerende for varmeoverföringen. Som eksempel kan Strandefjord i Hallingdal nevnes.

Sjöen er ca. 7 km lang og 3-400 m bred. Den er meget grunn (midlere dybde før reguleringen var bare 1 m). Ved en vassföring på 25-30  $\text{m}^3/\text{s}$  var den midlere strömhastighet på den översta delen ca. 0,25 m/s och på den nedersta delen ca. 0,15 m/s.

Vannet ved innløpet til fjorden hadde en forholdsvis hög temperatur på ca. 1,0° C, men ble avkjölt til ca. 0,03° C för det nådde utløpet. I avstanden 1,2,4 og 5 km fra det övre oset var vanntemperaturen under middelsterk kulde henholdsvis ca. 0,50, 0,25, 0,06 och 0,03° C. Beregningene viste att den midlere turbulent varmeledningskoeffisienten för den övre delen av sjöen var ca. 1200 gånger större enn den molekulära eller laminära varmeledningskoeffisienten. I strömfaret i den midtre delen av sjöen var koeffisienten ca. 700 gånger större.

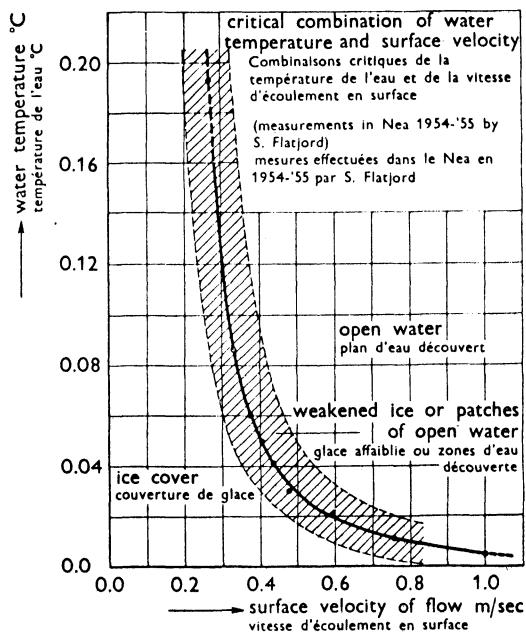
Generellt kan en si at när en grunn innsjö gjennomströmmes av varmare vann, foregår det en effektiv varmetransport fra det varmare vann till isdekket, slik at vannet avkjöles under passasjen og isdekket svekkes tilsvarende.

I en elv som går i stryk er gjennomblandingen så voldsom at vannet praktisk talt har samme temperatur over hele tverrsnittet. Den effektive varmeledningsevne av vannet blir då så stor att det bara kreves en meget liten temperaturforskjell mellom bunnen og overflaten for å holde elva åpen selv under sterkt kulde.

Avgjörende för isleggingen i en elv är vanntemperaturen och strömhastigheten. Isleggingen kan först finna sted när vannet är avkjölt till frysepunkten och när detta är uppnådd vil arten av isproduksjonen avhänger av vannhastigheten.

Undersökningar visar att strömmens evne till att täcka på isen eller till att hålla strömdrag öppet om vinteren, avhänger av vanntemperatur och strömmens hastighet, se fig. 2.

KRITISK VANNTEMPERATUR og STROMHASTIGHET  
for ISDANNELSE



Øker ström hastigheten p.g.a. en regulering til f.eks. 0,6 m/s, vil strömfaret holde seg åpent, selv om vannet bare har en temperatur på ca. 0,02°C. Ved enda større ström hastighet, f.eks. 1 m/s, eller mer, er den kritiske overtemperatur ikke mer enn noen tusendels grader.

En vintertapping som lokalt øker ström hastigheten over denne kritiske grense forårsaker at elva blir gående åpen hele vinteren igjennom og dette medfører da isproduksjon i form av sarr og bunnis så lenge kulden varer.

## 2 Undersøkelser i Storsjøen i Rendal.

Storsjøen er ca. 37 km lang og smal, men meget dyp. Største målte dybde er 309 m. Sjøen islegges meget sent, vanligvis i januar måned, men enkelte år holder den seg åpen hele vinteren.

Sommeren 1966 ble det satt i gang spesielle undersøkelser i forbindelse med den planlagte Glommas overföring gjennom Rendalen. For tiden foregår omfattende temperaturmålinger, undersøkelser av strömforhold og vannstandsvariasjoner og andre hydrologiske faktorer.

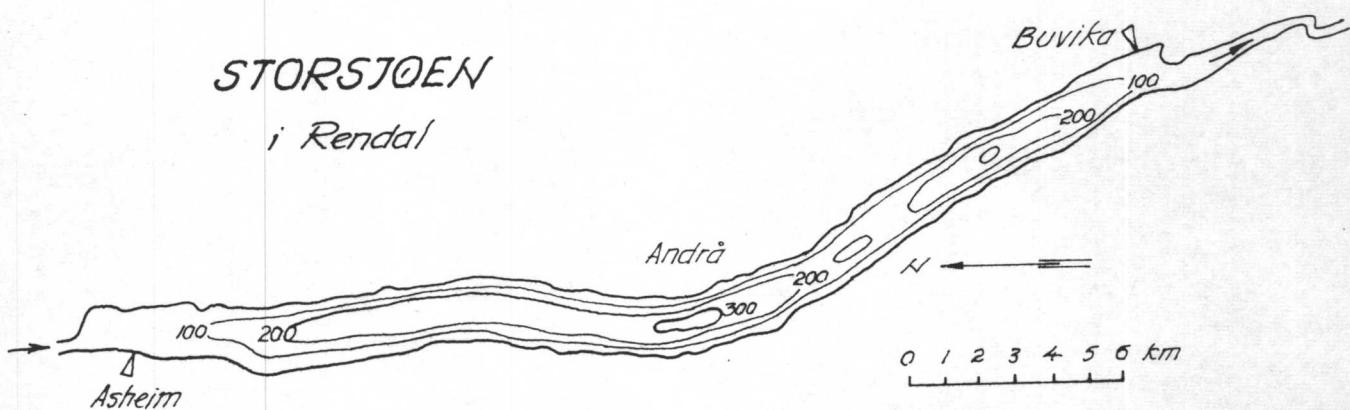
To spesiallimnografer mea med registrering av vannstand i målestokk 1:1, ble opprettet i norenden ved Åsheim og i sydenden ved Buvika. På fig. 3 er gitt eksempelvis karakteristiske registreringer av seiches.

Den 21/3 viser registreringen både en uninodal og en binodal seiche og fra 28/3 en uninodal seiche med enkelte binodale trekk. Seichens amplitude har øket fra under 1 cm den 27/3 til over 7 cm den 28/3 i løpet av 10 timer. Den 21/3 var amplitudene over 8 cm selv under 40 cm tykt isdekket.

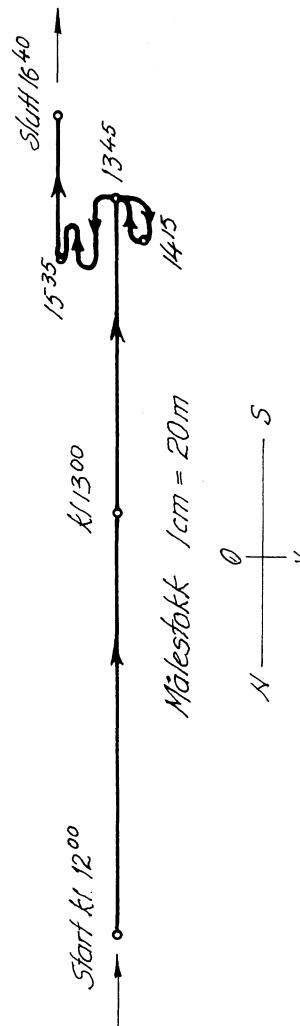
Vi har prøvd å komme noe nærmere inn på lösning av problemene omkring seiches opprinnelse, men hittil har vi ingen brukbare resultater.

Et eksempel av ström hastighetsmålinger i Storsjøen er vist på fig. 4.

Hensikten med disse undersökelsene er å prøve å få bedre kjennskap til termiske og dynamiske forhold i dype innsjøer.



# Strømhashtighetsmålinger i Storsjøen i Rena ørf. Burua, 26/5 1967

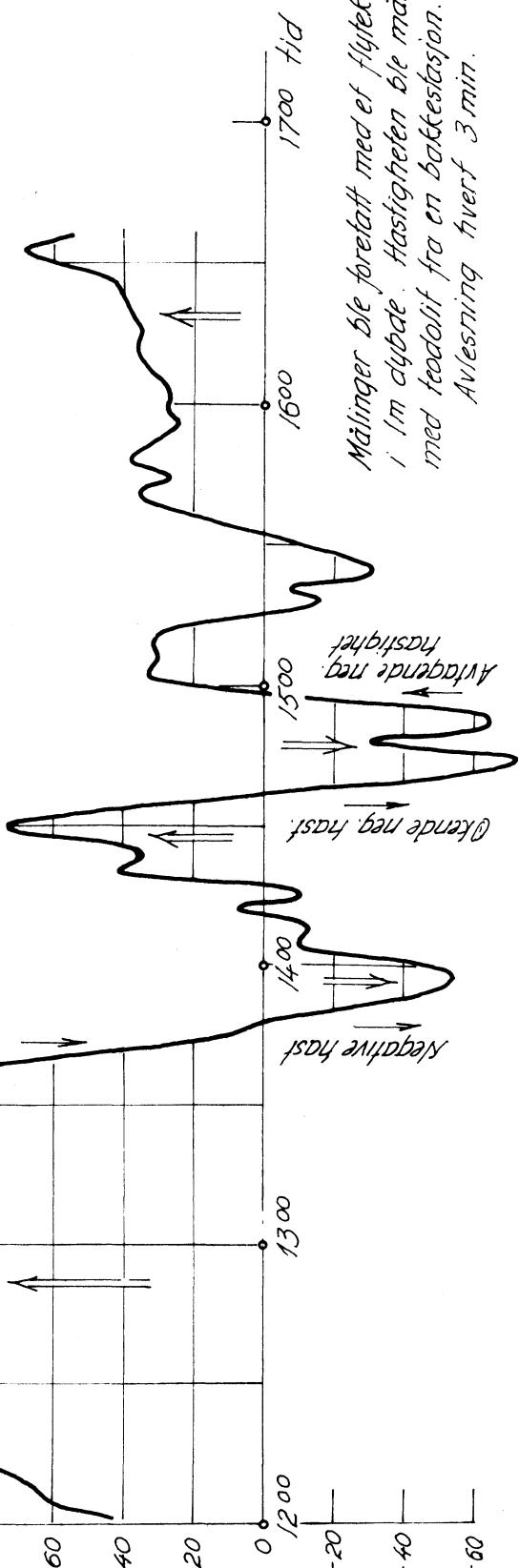
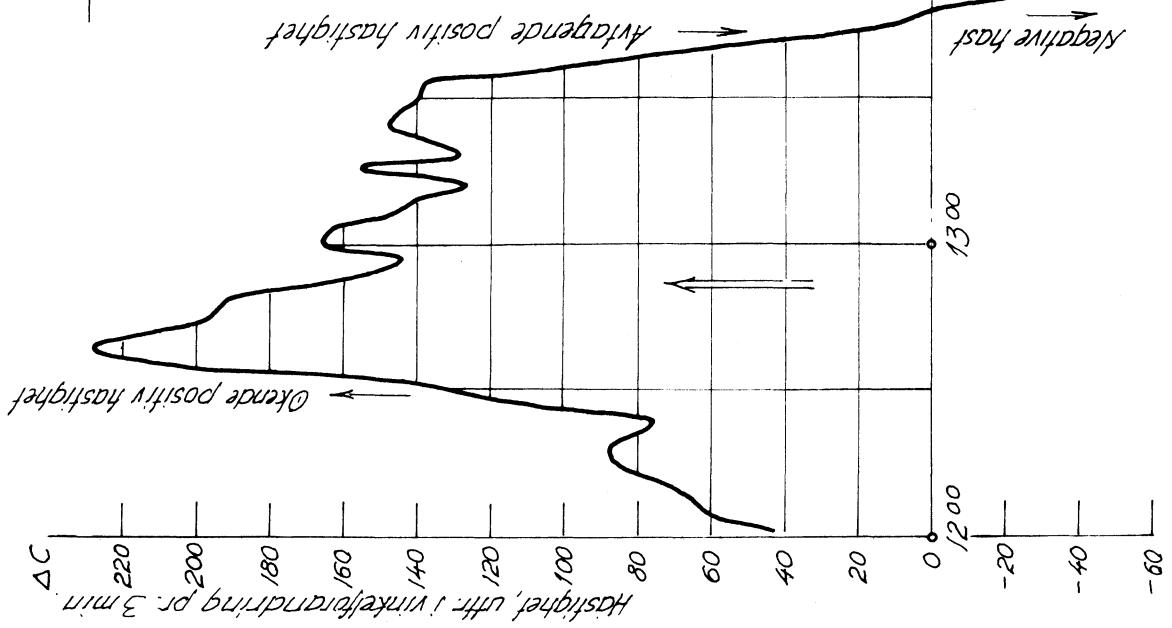


Kjørforholdene: skyet, svak S vind; kl 1345 regn  
og vinden økte til 1 m/s

Fra 26/5 kl. 1200 til 27/5 kl 10:30 hadde flytekortet gått ca 1300 m  
også sn. hastighet 1,6 cm/s  
Mats måtte hastighet den 26/5 fra kl 12:20 - 13:00 var 5,6 cm/s

Vassføring ved utløpet av sjøen:

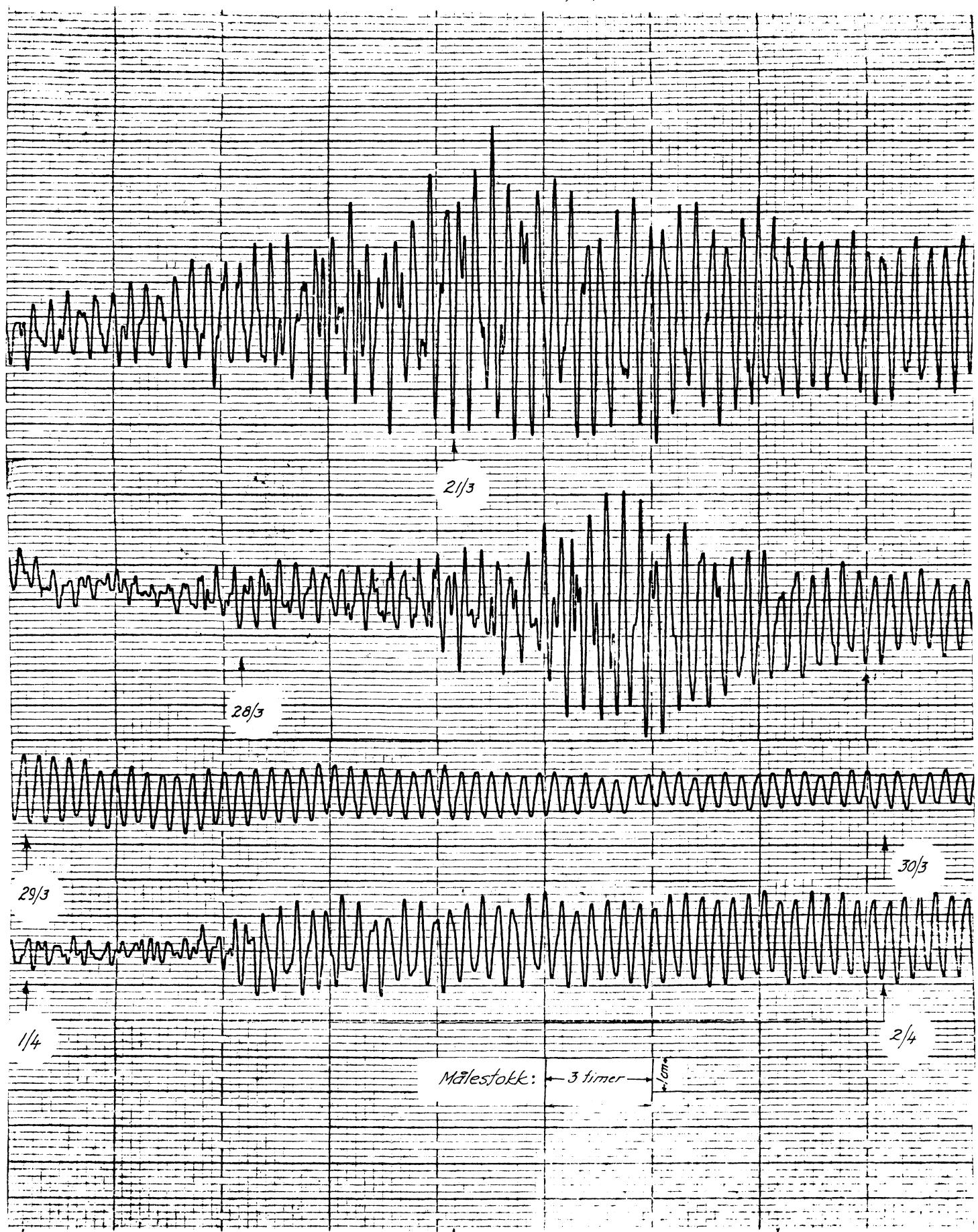
26/5 kl. 8 : 334 m<sup>3</sup>/s  
27/5 kl. 8 : 379 m<sup>3</sup>/s



Målinger ble foretatt med et flytekort  
i 1 m dybde. Hastigheten ble målt  
med teodolit fra en bakkestasjon.  
Avlesning hvert 3 min.

Målestokk	Tegn.	Erstatn. for:
Trac.		H
Kfr.		
		Erst. av:

VANNSTANDSREGISTRERINGER i STORSJØEN, RENDAL  
ved Buvika i mars og april, 1967



Målestokk: 3 timer

1 cm

3 Overgang fra stabile til ustabile likevektsforhold for vannlagene under et isdekket vassföring.

En øket gjennomströmning vil skape forandringer i stabiliteten slik at de opprinnelige vannlagene etter hvert blir skiftet ut, først de øvre og senere også de dypere. Jo større gjennomströmningen er desto raskere vil utskiftningen gå. Temperaturforskjellene vil reduseres eller forsvinne og lagdelingen blir ustabil.

Det er å bemerke at jordrotasjonens avhøyende kraft søker å føre strømmen mot høyre bredd.

Våre undersøkelser i de senere år har ført til at en må legge større vekt på den langsomme hvirvling som har vesentlig betydning i vannlaget hvor det er labil likevekt, så svevende vannmasser i langsom bevegelse kan transportere varme fra dypere skikt opp til isdekket, uten at denne transporten krever nevneverdig mekanisk energi. En nærmere analyse av slik fenomen er nylig blitt utført i Bandak. Her var ström hastigheten bare 1 a 2 cm/s, men allikevel foregikk det merkbare temperaturforandringer i 30 m dyp i løpet, og målinger viste tydelig at hovedstrømmen påvirket en vannlag på 15-20 m og mest på høyre side av vassdraget. Undersøkelsene, se fig. 5 og 5<sup>a</sup>, viste at ved grenseflatene av en slik ström skapes det hvirvler av forskjellig størrelse, avhengig av sjøens topografi, det kan være den faste kunn eller grenseskillet mellom to vannlag eller to eller flere hvirvellegemer. Kunne en fotografere slike hvirvler og kjøre filmen i rask hastighet ville man nok finne en slående likhet med hvirvingen i en dyp, langsom flytende elv.

Ujevn topografi kan helt eller delvis bryte ned stabiliteten av vannlagene. Dette fører til at isdekket blir tæret fra undersiden ved at varmere vann sendes opp av langsomme hvirvler.

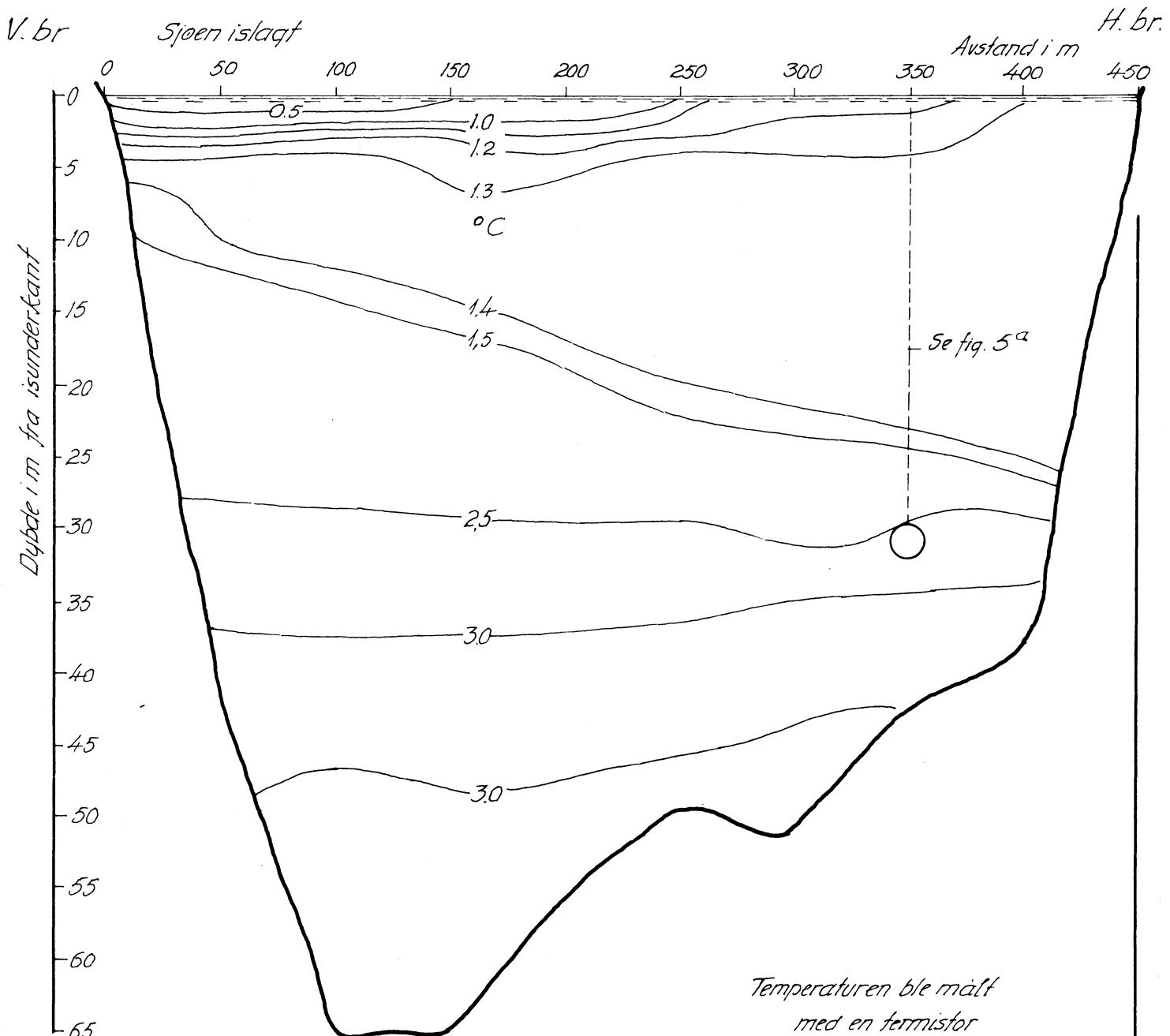
Ut på ettermiddagen spiller solstrålingen som trenger gjennom islaget en merkbar rolle til å skaffe langsom hvirvling i det labile vannlag under isen som tross sin ubetydelige hastighet kan forskyve betydelige vannmasser og dermed også merkbare varmemengder.

Det er å bemerke at også den økende solstråling på senvinteren varmer opp vannet i de nærmeste vannlag og reduserer stabiliteten av vannlagene. De vel kjente "åthull" skyldes at det er ensartet vanntemperatur og litt over 0°C i lagene under isen. I uregulerte innsjøer opptrer de særlig ut på ettermiddagen. På regulerte vassdrag kan de opptre til hvilken som helst tid på vinteren fordi vannlagene hurtig blir utskiftet når gjennomströmningen har øket.

Fig. 5

## TEMPERATURSNITT ; BANDAK ved HAMMERODDEN

målt 11. febr. 1966



Målestokk	Tegn.	Erstatn. for:
Trac.		H
Kfr.		
		Erst. av:

HVRVLING ; GRENSESKIKKET mellom TO VANNLAG i BANDAK ved HAMMERODDEN  
etter målinger 13. febr. 1966

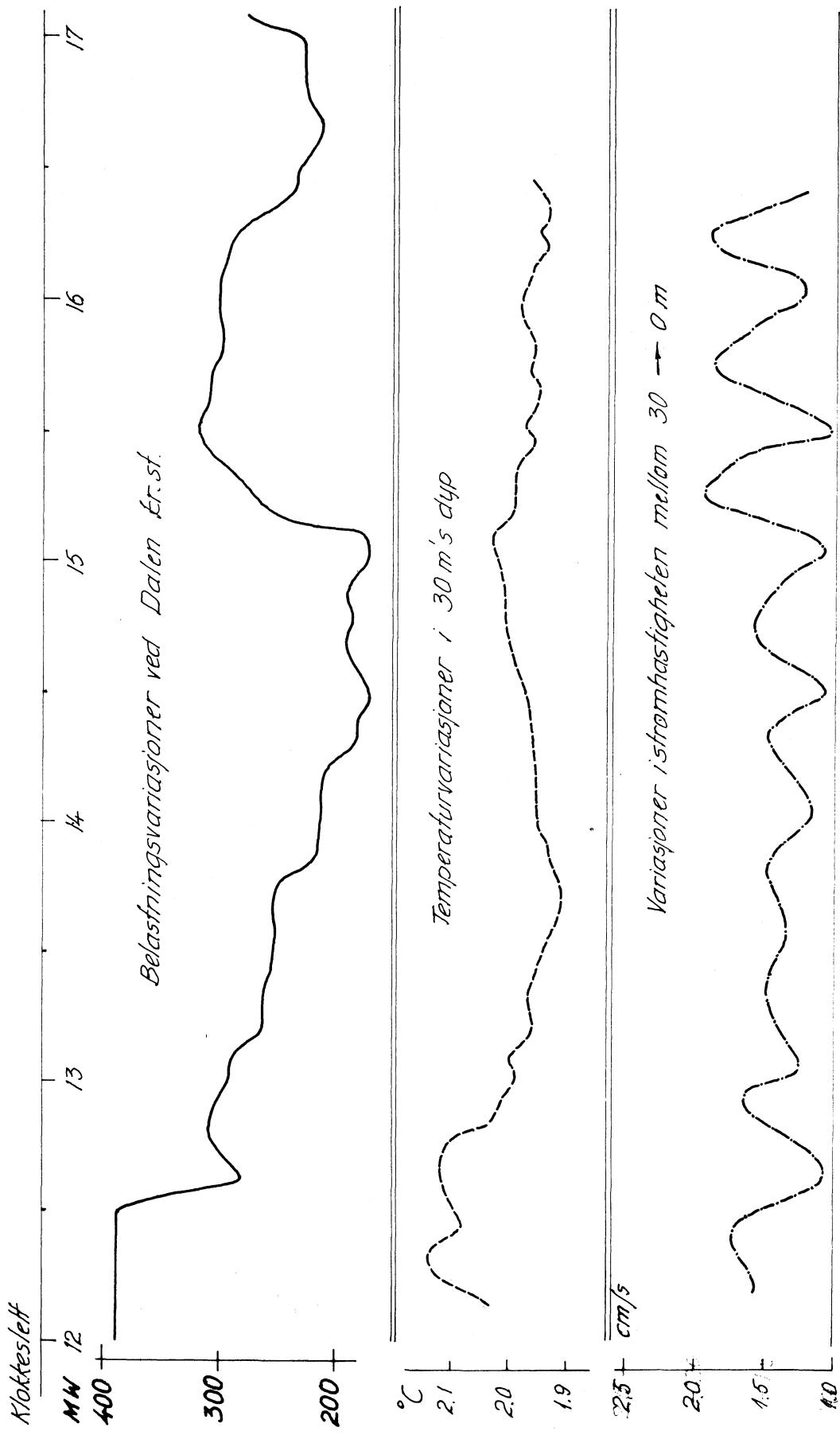


Fig. 5a

10

Målestokk	Tegn.	Erstatn. for:
Trac.		
Kfr.		<b>H</b>
		Erst. av:

#### 4 Reguleringens innvirkning på gjennomströmningen.

Øket og varierende vintertapping kan forsterke slike strömhvirvler og medvirke til dannelsen av svakere isområder og råker.

Døgnregulering i en større innsjø kan bare gi et par vannstandsvariasjoner, og dette vil ikke spille noen rolle for isforholdene. Derimot kan døgnregulerin som nevnt gi varierende gjennomströmning i de strömförande tverrsnitt, og dette kan påvirke isen.

Ukesregulering kan derimot komme inn med sin virkning både med vannstandsvariasjoner og strömforhold. Den lokale virkning avhenger i hög grad av sjöens dybde, bunnens topografi og andre faktorer som kan tvinge en langsom vannström til å forandre retning og derved sette i gang hvirvling. Denne process får störst betydning på ettervinteren när solstrålningen ökar raskt och sätter i gång tining ovenfra särskilt på steder där det står en vannpytt, eller ligger noe rask så strålningen får större makt. De vanliga "åthull" kan öppnas tidigare enn för när isyttkelsen är blitt mindre och täringen nedanför är större.

En undersökelse av "åthull" ble företatt på Kvitescidvatn och Flåvatn i Telemark i slutten av mars 1967. Vannene var islagt och isens tykkelse var ca. 30 cm stålis och ca. 10 cm sörpeis överst. Fotos fra et slik åthull er vist på fig. 6.

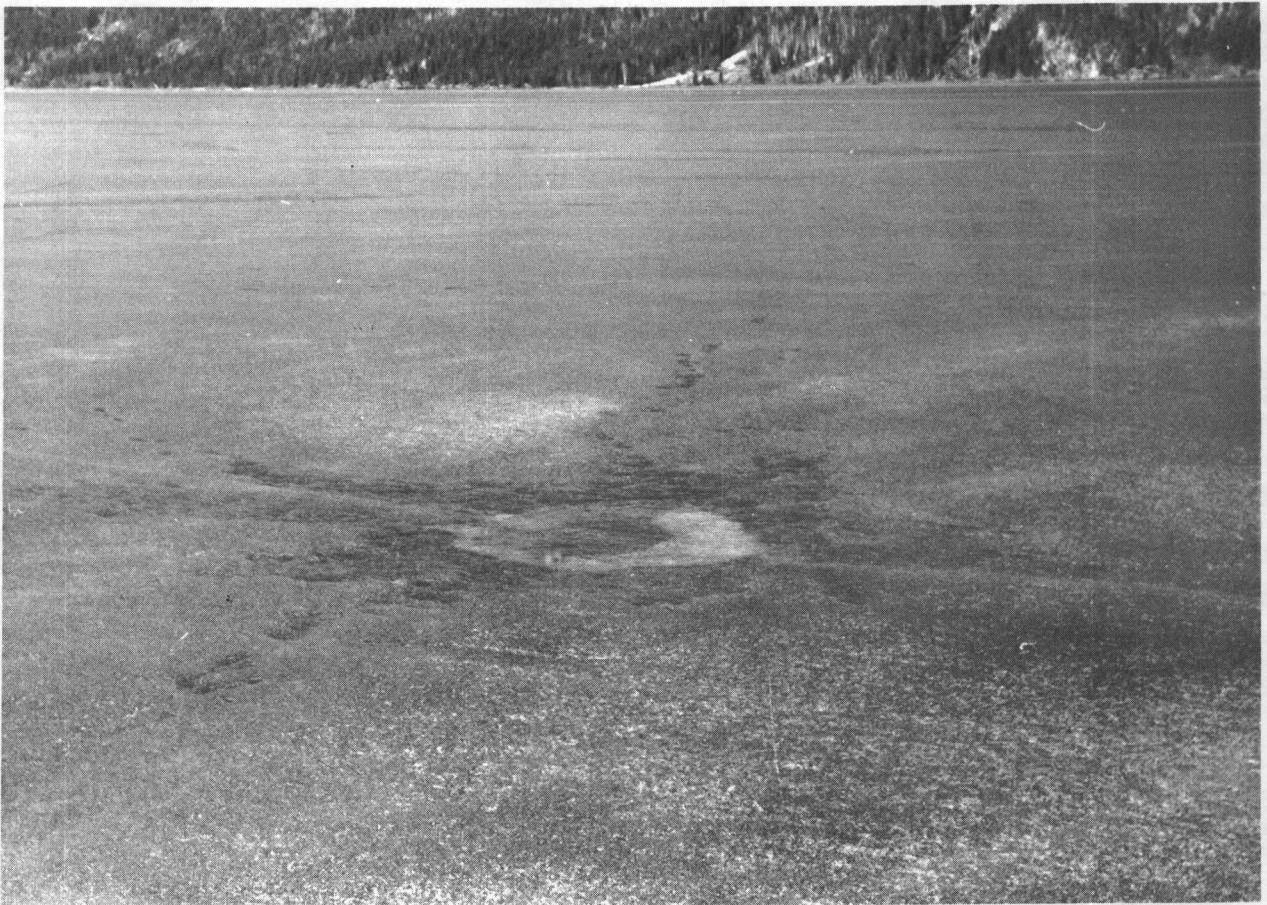
Flere av disse ble undersökt och samtidig ble vannstandsvariasjoner ved hullene målt.

Undersökelsene viste att et "åthull" dannes från isens överfläche. Stavelsen "å" är möjligen den samma som i uttrycket: "å kaste å" som betyder att kasta aska, svart jord eller likn. på snöen och isen om våren för att framskynda smeltingen.

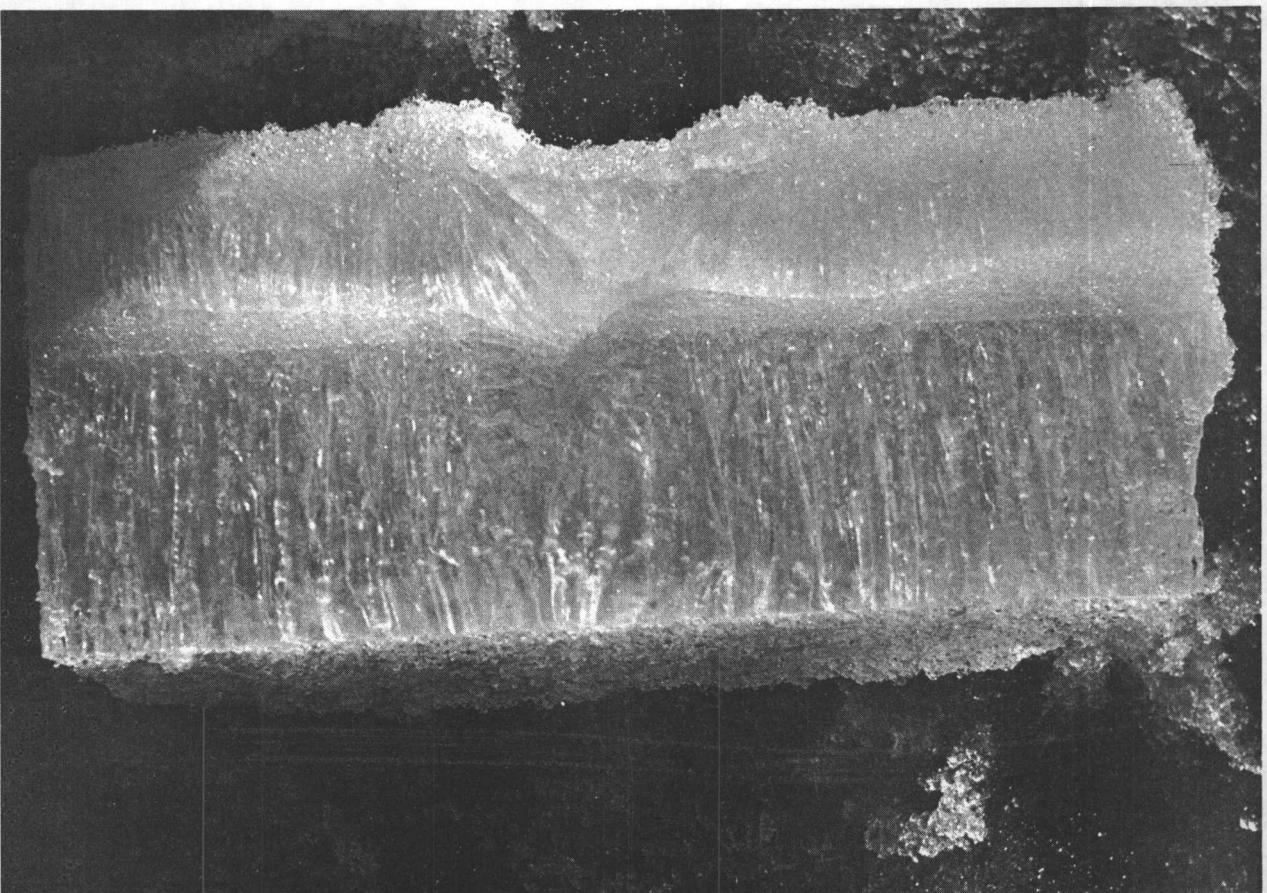
Det kan vara löv, liten kvist eller noe forurensning som har varit orsak till att det danner en liten fordypning med smeltevatten. På sådana mörkare områden gör solstrålningen seg gällande och det utvecklas karakteristiska fordypningar: runt hullet i mitten och smeltingsfuror i alla riktningar och av forskjellige storlekar som fotos visar.

Nedanför fig. 6 är vist snitt gjennom en sådant "åthull". Vi fant mörka gjenstander i isen och spor av isens avsmelting tvers igjennom.

FLÄVATN, 31. mars 1967



Et „åf-hull“ i isen. Hullet s diameter ca 20 cm med opp til 2 m lange smeltingsfurir  
Istykkelse 30 cm



Issnitt gjennom hullet