

## ISPROBLEMER I AURLANDSFJORD

En uttalelse om virkningen av Aurlandsutbyggingen  
utarbeidet av  
dr. Olaf Devik og Edvigs V. Kanavin

### Innhold:

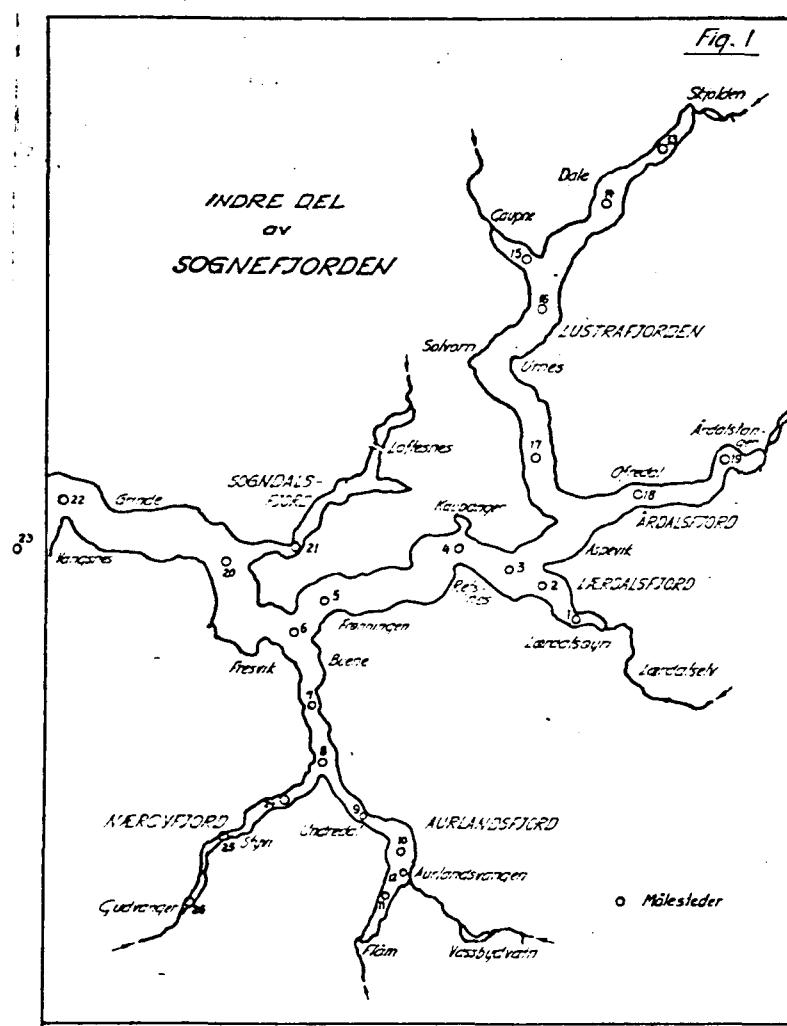
1. OBSERVASJONSMATERIALE
2. KORT ORIENTERING OM HYDROGRAFISKE FORHOLD I AURLANDSFJORDEN OG OPPSUMMERING AV ERFARINER
3. MULIGHETER FOR ØKET ISPRODUKSJON I FJORDEN ETTER AURLANDSUTBYGGINGEN
4. DISKUSJON OM HENSIKTSMESSIGE TILTAK FOR Å REDUSERE FAREN FOR ISHINDRINGER

### KONKLUSJON

Oslo, mai 1973

## 1. OBSERVASJONSMATERIALE

Høsten 1957 satte Iskontoret ved Hydrologisk avdeling NVE i samarbeid med Det Offentlige Isutvalg i gang en del hydrografiske undersøkelser i flere fjorder og sund. Hensikten med disse var i første rekke å belyse problemet vedrørende vassdragsreguleringers eventuelle innvirkning på isforholdene der. Slike undersøkelser også i hele den indre del av Sognefjorden ble satt i gang 1965. Målestedene er avmerket på kartskisse fig. 1.



I Vassdragsvesenets rapportserie: Rapport nr. 3/70 har statshydrolog Egil Skofteland behandlet forholdene i indre del av Sognefjorden.

I forbindelse med reguleringsplanene i Aurland har også Vassdrags- og Havnelaboratoriet foretatt undersøkelser i Aurlandsfjorden. I delrapport nr. 1, datert 17/10 1969 er det lagt frem resultater fra temperatur- og saltholdighetsmålinger foretatt i tidsrommet februar-juni 1969.

Videre er det innsamlet opplysninger om isvansker for rutebåtene på Aurlands- og Nærøyfjorden etter notater i journaler fra Fylkesbaatene i Sogn

og Fjordane i tidsrommet 1958-65.

I det følgende er gitt en oversikt over Oslo Lysverkers målinger og observasjoner i Aurlandsfjorden:

- a. Sjøtemperatur: Måling av sjøtemperatur ved brygga på Vangen blir tatt annenhver dag, i dybde på 0-1-3 og 5 m.

Det er tatt en rekke sjøtemperaturmålinger ute på fjorden ned til 100 m dyp.

- b. Saltgehalt: Måling av saltgehalt i sjøen ved brygga på Vangen blir målt annenhver dag, i dybde på 0-1-3 og 5 m. Det er tatt en rekke saltgehaltmålinger ute på fjorden ned til 100 m dyp.

- c. Vannstandsmålinger: Daglige vannstandsmålinger (Flo og Fjære) blir tatt ved brygga på Vangen. Det er notert sjøgang (bølgehøyde) og vindretning.

- d. Isobservasjoner: Det blir målt istykkelse. Det blir notert isdannelsen i fjorden, og inntegnet på kart hvordan issituasjonen utvikler seg i vinterhalvåret. Hvor og når fjorden ligger åpen for is. Når all ferdsel av småbåter blir stoppet på fjorden grunnet issituasjonen blir dette notert.

- e. Lufttemperatur: Det blir foretatt daglige lufttemperaturmålinger ved brygga på Vangen. (Oppsatt målehus med trepersiener).

- f. Lufttemperatur: Daglige lufttemperaturer blir avlest ved Tokvam, nedenfor Vassbygdvann.

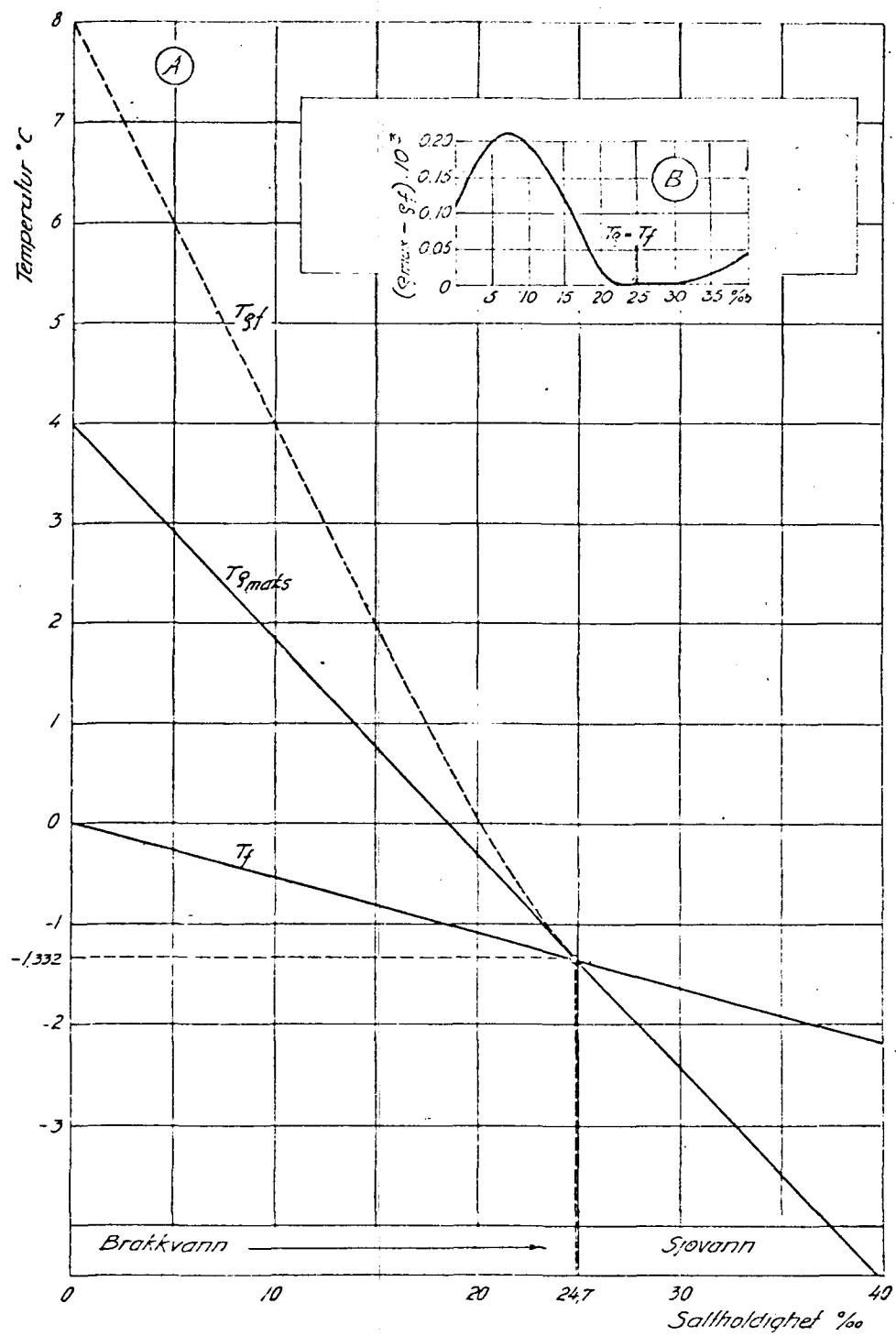
## 2. KORT ORIENTERING OM HYDROGRAFISKE FORHOLD I AURLANDSFJORDEN OG OPPSUMMERING AV ERFARINGER

I en fjord er isdannelsen i høy grad avhengig av om det øverste vannlaget, hvor avkjølingen foregår, blir tyngre eller lettere når vannlagets temperatur avtar henimot frysepunktet. Fig. 2 illustrerer grunnprinsippene for isdannelse i saltvann.

Kurvene (A) viser at i sjøvann med saltholdighet større enn 24,7 ‰ vil det dannes en ustabil temperaturfordeling p. g. a. at ved denne eller høyere saltkonsentrasjoner er temperaturen for sjøvannets største tetthet lavere enn dets frysepunkt. Denne ustabile temperaturfordeling fører til en sirkulasjon i de øverste vannlagene - den såkalte vintersirkulasjon - ettersom

Fig. 2

# Grunnprinsippene for isdannelse i saltvann



- A - Temperaturen ved frysepunktet ( $T_f$ ) og temperaturen ved maksimal tetthet ( $T_{g\max}$ ) som funksjon av saltholdighet.
- B - Forskjell mellom maksimal spesifikk vekt ( $\rho_{\max}$ ) og spesifikk vekt ved frysepunktet ( $\rho_f$ ) som funksjon av saltholdigheten (Etter Defant).

avkjølingen skrider fram og fortsetter til hele sirkulasjonslaget har fått en temperatur meget nær frysepunktet. Tykkelsen på dette laget avhenger av saltholdigheten nedover i sjøen. Det avkjølte vann blir hindret fra å komme dypere ned. Under slike forhold kan temperaturen i overflaten bli temmelig lav fordi det vannlaget som må avgive all varme, ikke er særlig tykt. I fjordene på Vestlandet kan vintersirkulasjonen rekke ned til ca. 30 m dybde.

Avkjølingen av brakkvann (sjøvann med saltholdighet opptil 24,7 %) foregår i prinsippet på samme måte som for ferskvann. Temperaturen for maksimal tetthet vil bli nådd før temperaturen for frysepunktet.

Figuren B viser differansen mellom maksimal spesifikk vekt ( $\rho_{maks}$ ) og den spesifikke vekt ved frysepunktet ( $\rho_f$ ) som funksjon av saltholdighet. Denne vektforskjellen er størst ved 7 % og er da 0,21 g pr. kg.

Hvis t. eks. 1 graders ferskvann (t. eks. avløpsvannet fra en kraftstasjon om vinteren), blandes med 6 graders brakkvann av 5 % saltholdighet, dannes det en blanding med temperatur mellom 3 og 4 °C som har spesifikk vekt større enn blandingsvannene hver for seg. Selv om denne vektforskjellen kan synes meget liten, så er det den som kan skape konveksjon i vannlagene og til en viss grad forsinke isdannelsen.

Undersøkelsene viser at i første del av vinteren, i november-desember, er det i Aurlandsfjorden ofte et ca. 1-3 m tykt overflatelag med temperatur ca. 6 °C og saltholdighet 2-15 %. Dette øverste laget som er lettere enn det salttere vannet under blir raskt avkjølt p. g. a. stabiliteten i vannmassene.

Kommer det et snøfall, er risikoen for islegging meget stor. For det første vil snøsørpen dempe småbølger, og for det annet, og det er av størst betydning, vil vannflaten avkjøles vesentlig hurtigere. Hvis overflatelaget på forhånd er nær frysepunktet, vil snøsørpen fryse fortare enn et vannlag av samme tykkelse. Under slike forhold gjelder det hurtigst mulig å sette i gang en effektiv oppbryting av sørpelaget hvis en vil prøve å hindre islegging.

Selv om det ikke er et ferskvannslag av betydning på fjorden, så vil et større snøfall kunne skape snøsørpe i det tynne brakkvannslaget og dette kan lett fryse til et isdekket, spesielt i rolig, kaldt vær. Slikt har ofte hendt på indre del av Aurlands- og Nærøyfjorden.

Isen kan dannes både på selve overflaten og mange ganger også like under den. På en ganske stille dag fryser det gjerne såkalt skjellis på overflaten, men er det litt vind, kan det i kort tid dannes issørpe som hurtig danner et sammenhengende isdekket.

I brev av 25. nov. 1968 gir "Fylkesbaatane i Sogn og Fjordane" følgende opplysninger:

"Dersom det har vært store nedbørsmengder i form av regn som gir elvene stor vannføring, som igjen "fyller" fjordene med ferskvann i overflatesjiktet, og det så setter inn med kulde og vindstille, fryser fjordene hurtig til. I temperaturer fra 0° ned til 6-7 kuldegrader og med vindstille legger isen seg hurtig.

Hvis temperaturen blir svært lav, mellom -15 til -20 °C, vil det som regel være sterk sno, hvilket førårsaker at isen ikke legger seg så lett. Vi sitter igjen med det inntrykk at det i de siste 4-5 vintrene ikke har vært så meget islegging at det har vært til noen hindring for skipsfarten på Sognefjorden med bifjorder. Det har i denne perioden også vært vinter uten islegging å snakke om.

Vi tillater oss å opplyse at da kulda satte inn for vel 14 dager siden, la isen seg hurtig. I indre Sogn var Årdals-, Aurlands- og Nærøyfjorden islagt. I Aurlandsfjorden var isen oppgitt å være mere enn 6" tykk!"

Av tilsendte kopi av ca. 150 journalblader kan en trekke ut følgende om isforholdene i Aurlands- og Nærøyfjorden.

Antall dager pr. år det med sikkerhet kan sies at det har vært is i fjordene:

#### Aurlandsfjorden

Vinteren 1957/58 (etter 1/1-58)	3 dager
" 58/59	7 "
" 59/60	0 "
" 60/61	0 "
" 61/62	36 "
" 62/63	2 "
" 63/64	12 "
" 64/65	59 "
" 65/66 (inntil 1/1-66)	14 "
<b>Sum for 8 hele vintre</b>	<b>133 dager</b>
<b>Middel</b>	<b>ca. 17 dager</b>

#### Nærøyfjorden

Vinteren 1957/58 (etter 1/1-58)	28 dager
" 58/59	5 "
" 59/60	6 "
" 60/61	32 "
" 61/62	43 "
" 62/63	1 "
" 63/64	4 "
" 64/65	20 "
" 65/66 (inntil 1/1-66)	36 "
<b>Sum for 8 hele vintre</b>	<b>175 dager</b>
<b>Middel</b>	<b>ca. 22 dager</b>

Tidspunktet for islegging har variert meget. Vintrene 1962-63 og særlig vinteren 1965-66 var det is allerede i november måned både i Aurlands- og Nærøyfjorden.

Det største antall ishindringer er notert i desember. Vinteren 1961-62 er det notert sterke og langvarige ishindringer fra slutten av februar til ut i mars, og vinteren 1964-65 fra slutten av januar til midten av mars.

Vintrene 1959-60, 1960-61, 1962-63 var det lite eller ingen ishindring for rutebåtene.

Isens utbredelse har også variert, men i de aller fleste tilfeller har isfronten ligget litt innenfor Vangen i Aurlandsfjorden og ved Bakke i indre Nærøyfjorden.

Observasjonene viser at under ellers like meteorologiske forhold forekommer isdannelse i fjorden i større omfang og mere hyppig i nedbørrike enn i nedbørfattige vintre.

All påvirkning som skaper omrøring i fjordens øvre vannlag minsker risikoen for islegging. Wind og strøm har stor betydning. På steder hvor fralandsvind driver overflatevannet ut av fjorden, strømmer det til erstatning forholdsvis varmt bunnvann opp til overflaten og hindrer derved isdannelse.

Erfaringer viser at også vindens retning har avgjørende betydning for isleggingen på Aurlandsfjord. Svak vestlig og nordlig vind fremmer isleggingen, mens kald østlig vind minsker isdannelse. I Nærøyfjord derimot har østlig vind en motsatt virkning på isforholdene, den fører ofte til økt isdannelse.

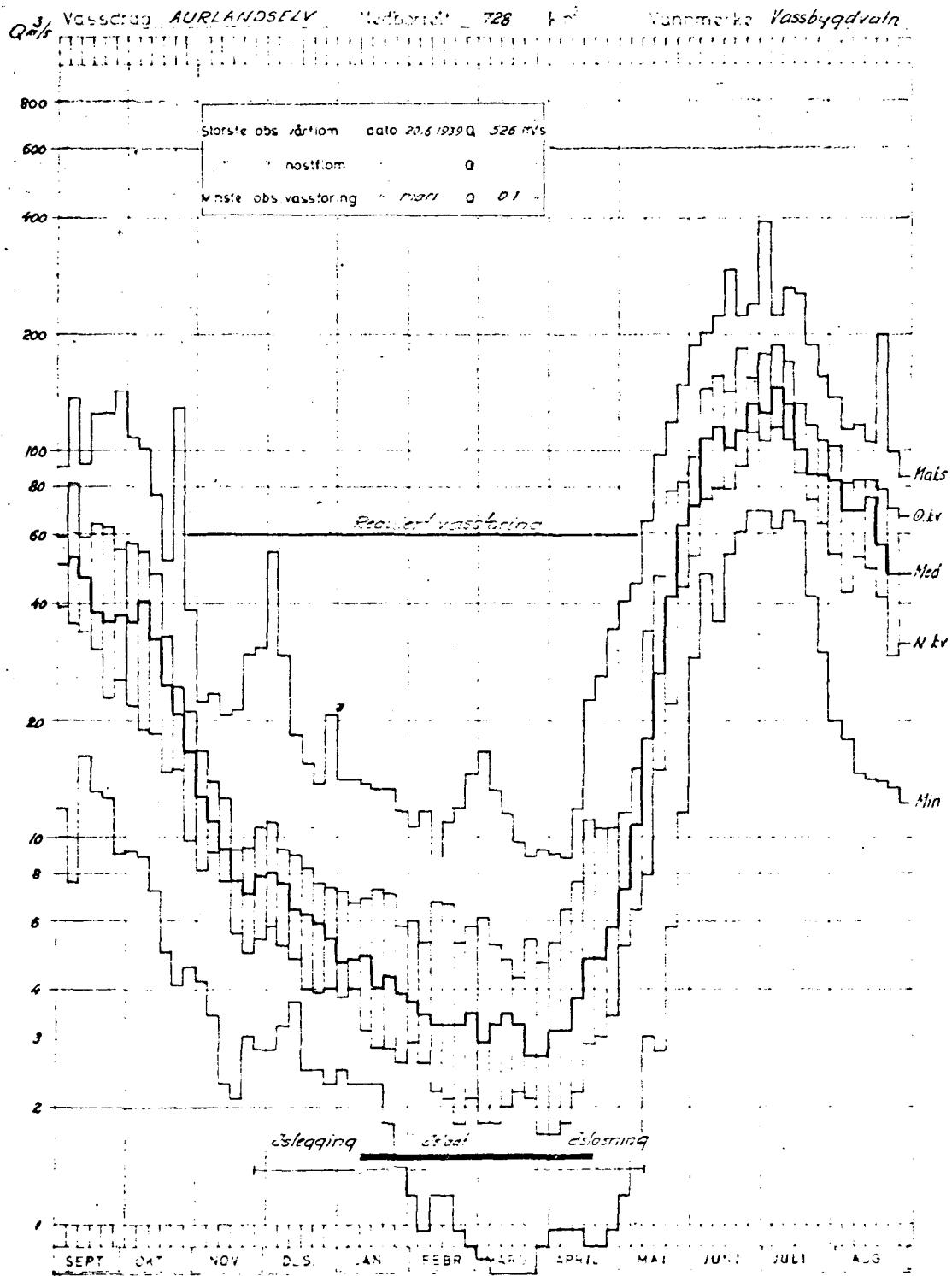
Det er å bemerke at tidevannsstrømmene er mest virksomme i trange og grunne sund, mens de ellers synes å spille en forholdsvis underordnet rolle i forhold til vindstrømmene.

### 3. MULIGHETENE FOR ØKET ISPRODUKSJON I FJORDEN ETTER AURLANDS-UTBYGGINGEN

Mens Aurlandsvassdraget ennå var uregulert var vanligvis vassføringen i Aurlandselva ved månedsskiftet november/desember på ca.  $8 \text{ m}^3/\text{s}$  og sank utover vinteren til  $3 \text{ m}^3/\text{s}$ , som fig. 3 viser. Vassføringen varierte selvagt en god del, slik at enkelte vintre kunne ha månedsmidler på ca. det halve av de ovenfor nevnte, mens den i regnfulle vintre kunne nå opp i omkring  $15 \text{ m}^3/\text{s}$  som månedsmiddel midtvinters.

## OVERSIKT over AVLÖP under pentademidler 1940-60

Fig. 3



Av vanntilførselen til indre Aurlandsfjord vinterstid bidrar reguleringen med ca. 3/4 i vannrike perioder og i vannfattige vintrer kan reguleringsvannet være 30 ganger større enn resten.

Vannforbruket ved kraftstasjonen Aurland I om vinteren er oppgitt å bli ca. 40-60 m<sup>3</sup>/s. Vanntilførselen i fjorden vil derved i vintermånedene (nov. - mars) bli opptil

$$60 \cdot 86400 = 5,2 \text{ mill. m}^3 \text{ pr. døgn.}$$

Denne vannmengden vil gi et vannlag på 1 m tykkelse på en 5,2 km<sup>2</sup> flate pr. døgn, dvs. at i løpet av en uke kan hele indre del av Aurlandsfjorden (til Beiteien), og en god del av Nærøyfjordens areal være dekket med et ferskvannslag på 1 m.

Størsteparten av Aurlandsfjorden er åpen og dyp og er derfor lite berørt av tidevannsstrømmer. Det er hovedsakelig vind som kan blande vannlagene. Stabiliteten i vannlagene vil naturligvis øke med tilgangen av ferskvann og derved også isleggingsfarene. Mest utsatt er innerste del av fjorden i retning Flå og i området ved Undredalen.

Varmetapet ved middels kulde (frisk bris fra nord eller øst og ca. -5 °C, eller svak vind og ca. -10 °C) er omrent 50 kcal/daa pr. sek. Dette kan avkjøle et vannlag på ca. 4,3 m tykkelse 1 °C, eller et vannlag av 1 m tykkelse 4,3 °C, eller produsere et isdekke på ca. 5 cm tykkelse i løpet av 1 døgn.

For isleggingen i indre del av Aurlandsfjorden ser det generelt ut til å være en regel at den først tar til etter at det har falt nedbør, helst snø, med nordlig vind. Ingen av de isleggingene de senere vintre vi hadde anledning til å studere, synes således å ha kommet i stand p. g. a. stor ferskvannstilførsel fra vassdraget alene. Men det synes klart at de store ferskvannsmengder som til sine tider befant seg i fjordområdet både fremskyndte og ga gode vekst- og eksistensbetingelser for den islegging som virkelig fant sted.

Det er vanskelig å konstatere at det har vært noen sammenheng mellom tidevannsforskjell og tidspunktet for islegging.

#### 4. DISKUSJON OM HENSIKTSMESSIGE TILTAK FOR Å REDUSERE FAREN FOR ISHINDRINGER

Vassdrags- og Havnelaboratoriet har utarbeidet et prosjekt om tvungen blanding av ferskvann med saltvann i utløpet av Aurlandselva ved hjelp av et trykkluftsanlegg (se delrapport 2, Trondheim november 1970).

Etter den siste reguleringsplan er det forutsatt å utnytte fallet også mellom

Vassbygdvatn og Aurlandsfjorden. Dette medfører at en tvungen blanding av ferskvann med saltvann ved hjelp av et trykkluftanlegg ikke vil bli aktuelt.

En annen løsning, nemlig blanding av avløpsvannet fra den prosjekterte Vangen kraftstasjon med saltvannet i fjorden ved såkalte strålediffusjon (se Vassdrags- og Havnelaboratoriets delrapport 3, april 1971) kan komme på tale. Utløpet må da dykkes noe under havflaten, og dette vil medføre et viss energitap sammenliknet med et fritt utløp.

Det hittil mest brukte tiltak for å hindre isdannelsel i en fjordarm er isbryting med en passende båt.

Som nevnt er sjansene for isdannelsel i en fjord størst når et snøfall kommer på et overflatelag av ferskvann. En omrøring i overflatelaget med oppbryting av det første døgns isdekket er den mest effektive motforholdsregel. Til dette trenges ikke store isbrytere, men hensiktsmessig byggede små fartøyer som kan settes inn med en gang islegging begynner. Erfaringer fra Ranafjord, Holmsundfjorden og Malangen bekrefter dette.

Det bør nevnes at om en velger å stasjonere en isbryter i fjorden, må denne være disponibel fra før alvorlige isvansker oppstår, og til eventuell opprensning av gammel is er utført. All isbryting bør skje i samarbeid med strøm og vind, dvs. at den bør finne sted når strøm eller vind, eventuelt begge deler, driver den oppbrudte isen ut fjorden til åpent farvann. Når strøm og vind ikke er fordelaktig, kan isbrytingen innskrenkes til bare å holde åpen råk for eventuell båttrafikk.

Slik som is- og værforholdene varierer fra vinter til vinter, vil den nødvendige driftstid for en isbryter i Aurlandsfjord variere meget. En midlere driftstid kan antas skjønnsmessig til ca. 200 driftstimer.

## KONKLUSJON

Innholdet i det forannevnte kan kort sammenfattes i følgende 3 punkter:

1. Uten ekstra tiltak vil den økte tilførsel av ferskvann om vinteren som Aurlands-utbyggingen fører til, skape forverrede isforhold i indre del av Aurlandsfjorden.
2. En blanding av ferskvannet med saltvannet i fjorden ved hjelp av stråle-diffusjon (se tidligere nevnte Delrapport 3 fra Vassdrags- og Havnelaboratoriet) vil etter vår mening være like effektiv som det tidligere

anbefalte bobleanlegget (se Delrapport 2).

3. I tillegg til tiltaket nevnt under pkt. 2, finner vi det påkrevet at det etableres en effektiv isbrytertjeneste. Dette er spesielt nødvendig for å kunne opprettholde daglig båtforbindelse med Undredal og andre steder langs fjorden.

Oslo, 29. mai 1973

*Olaf Devik*

Olaf Devik

*Edvigs V. Kanavin*

Edvigs V. Kanavin