

Edvigs V. Kanavin  
Iskontoret  
NVE, Hydr. avdeling

En uttalelse om hvilken innflytelse den nåværende  
regulering av Hjertevatn og utbygging av Hjertevatn kraft-  
verk har medført for temperatur- og isforholdene på Sjurs-  
vatn, i Sørelva og på Forsavatn.

Utarbeidet etter anmodning av Sorenskriveren i Ofoten

Innhold:	Side
1. Problemstillingen og grunnlaget for uttalelsen	1
2. Generelt om temperturforhold og islegging i sjøer og elver	1
3. Kort orientering om isforholdene på Sjursvatn, Nervatn, Sørelva og Forsavatn under nåværende forhold	6
4. Mulige forandringer i temperatur- og isforholdene i vassdraget på grunn av reguleringen	9
5. Sammendrag og konklusjon	10

Oslo, okt. 1966.

## 1. Problemstillingen, og grunnlaget for uttalelsen.

Etter at Hjertevatn kraftstasjon ble tatt i bruk, kom det klager fra enkelte grunneiere ved vassdragets nedre del om at isforholdene og trafikkmulighetene på isen hadde blitt forandret. De mente at forandringen skyldtes øket vintervassføring i Sørelva.

Hensikten med denne uttalelsen er å gi skjønnet en orientering om hvilken innflytelse den nåværende regulering av Hjertevatn, og driften i Hjertevatn kraftstasjon, har å si for isforholdene nedover i vassdraget.

Iskontoret ved NVE's Hydrologiske avdeling utarbeidet i juli 1966 en særskilt oversikt over avløps- og isforholdene i Forsavassdraget, spesielt om forholdene på Sjursvatn, i Sørelva og på Forsavatn. Dette materialet følger vedlagt, og er brukt som grunnlag for å bedømme reguleringens innvirkning på isforholdene i vassdraget (trafikkmulighetene over vassdraget om vinteren). Videre har jeg benyttet observasjoner og målinger fra mine egne befaringer i vassdraget, samt de erfaringer som er høstet ved studiet av isforholdene i andre, både regulerte og uregulerte vassdrag i Nordland.

Som innledning tillater jeg meg å gi en generell orientering om islegging, utvikling av isdekket og trafikkmuligheter på isen (bygget på observasjonsmaterialet).

## 2. Generelt om temperaturforhold og islegging i sjøer og elver.

Isdannelse er et resultat av en sammensatt varmeutveksling mellom vann og luft. Avkjøling av vannmassene foregår hovedsakelig ved:

- a. v a r m e u t s t r å l i n g (usynlig langbølget stråling) fra vannets aller øverste lag mot atmosfæren
- b. f o r d a m p n i n g o g v a r m e u t v e k s l i n g m e d l u f t e n (konveksjon), avhengig av vannets og luftens temperatur, av luftens fuktighetsgrad, og av vinden.

Størrelsen av varmeprosessene kan beregnes f.eks. ved hjelp av dr. Olaf Deviks formler, (jfr. Geofysiske Publikasjoner Vol IX N<sup>o</sup> 1, Oslo 1931). Til orientering skal jeg bare nevne at) Utstrålingen gir i

klart vær et stort bidrag til varmetapet. Når isleggingen begynner ved middels kulde (f.eks. lufttemp. omkring  $-10^{\circ}\text{C}$  i stille, klart vær eller ved samme temperatur, men overskyet vær og laber bris), er varmetapet fra åpent nullgraders vann eller tynn is ca. 50 kilokalorier pr. dekar pr. sek. ( $18 - 20 \text{ cal/cm}^2, \text{ time}$ ). Dette varmetapet svarer til at det fryser ca. 5-6 cm is i det første døgnet.

Det er å bemerke at is først kan dannes når vannets overflate er blitt avkjølt til frysepunktet,  $0^{\circ}\text{C}$ . Isen trekker seg ikke over vannet som ensartet hinne, men den skyter ut fra punkter på kantene eller fra vannoverflaten som et nettverk.

Når isen fryser avgir den endel varme, frysevarme. Denne må ledes bort, og en slik varmeledning kan bare foregå i retning fra varmere til kaldere omgivelser. Da varmen skal ledes bort fra en iskrystall med  $0^{\circ}\text{C}$ , må det derfor i nærheten av iskrystallen være områder med temperatur litt under  $0^{\circ}\text{C}$ , dvs. frysing av åpent vann foregår ved at vannoverflaten blir litt underkjølt.

Så snart et sammenhengende isdekke har dannet seg, vil isen på overflaten mot luften bli avkjølt betydelig under  $0^{\circ}\text{C}$ . Varmetapet gjennom isen fjerner varme fra vannet under og isen vil vokse i tykkelse. Varmetapet avtar med økende istykkelse, slik at isveksten foregår langsommere jo tykkere isen er.

I følgende tabell er vist det beregnede antall timer etter dr. Deviks formler som medgår til dannelsen av et isdekke av en viss tykkelse (forutsatt 85 % relativ fuktighet i luften):

Vekst av snøfritt snødekk.

Skydekke N (0-10)	Vind $\text{m}^3/\text{s}$	Lufttemp. $^{\circ}\text{C}$	Istykkelsen i cm		
			2,5	10	20
0	0	0	17	80	190
		-10	10	47	112
		-20	7	35	61
	5	0	17	95	260
		-10	6	35	96
		-20	4	23	62
10	0	0	120	570	1350
		-10	21	96	230
		-20	12	55	130
	5	0	102	580	1630
		-10	9	49	136
		-20	5	29	78

For større istykkelser nærmer  $t_{is}$  seg til luftens temperatur  $t_1$  og en kan for tilnærmet beregning av isveksten bruke følgende uttrykk:

$$E_{maks} = \rho \sqrt{\Sigma(-t_1)} \text{ cm}$$

Her betegner  $\Sigma(-t_1)$  sum av "frostmengden" (summen av luftens daglige middeltemp.). Faktoren  $\rho$  må bestemmes eksperimentelt for hvert sted. Den varierer en del fra vinter til vinter og er især avhengig av snømengden. Likevel gir formelen et brukbar holdepunkt for et overslag over isveksten.

Som regel avbrytes denne isveksten vi her har skildret, ved et snøfall. Et tørt snølag er en meget god varmeisolator. Det kan redusere isveksten til en brøkdel av hva den var før snøen kom og praktisk talt stoppe isveksten, selv om det er streng kulde.

Det bør her føyes til noen ord om snøbelastning. Som vi vet vil et isdekke, eller en isblokk som flyter på vann, ha en bæreevne som svarer til den delen av isen som er over vannflaten d.v.s. til ca. 9 % av islaget. Faller det snø som veier mer enn 9 % av isdekket, vil isen bli trykket ned under vannets nivå og vann vil trenge inn i snøen fra alle sprekker og mulige hull i isen. Dette ser en hvis en hugger hull i isen og vannet strømmer opp. Isen står da under overtrykk.

Når vann brer seg ut i den nedre delen av et snølag vil vannet suges opp i snøen. Dette betyr en ekstra belastning svarende til et vannlag av tilsvarende høyde. Dette kommer i tillegg til den istykkelsen som trenges for å bære den del av snøen som er tørr.

Vanligvis er det bare nær åpne partier (elve-os) eller nær sprekker i isen at vanntilførselen er såpas at oppsugingen av vann gjør seg gjeldende med full virkning. På slike partier er snøen vasstrukket helt opp og kan fryse sammen. På de partier hvor snøen ikke er gjennomtrukket av vann, men har et tørt snølag øverst, blir isveksten sterkt forsinket. Det kan fryse et isskikt nede i snøen, men det vil vokse meget langsomt.

Hvis en vil bedømme veksten og utviklingen av et isdekke, er det helt nødvendig å kjenne snødybden til enhver tid. Kommer det mye snø tidlig på vinteren og snøen blir liggende, fører dette vanligvis til dårlig is hele vinteren, uanhengig av andre faktorer. Ofte trækkes snøen ned der hvor en vil ha isveg, så snølaget blir helt gjennomtrukket av vann. Da fryser det hele sammen og en kan på kort tid få en brukbar isveg.

Grunne innsjøer avkjøles fort og islegges tidlig. Det vil avhenge av vindforholdene før isleggingen hvordan vanntemperaturen blir i vannlagene når isen har lagt seg, og det vil deretter avhenge av tilførsel av tilsig hvordan lagenes temperaturforhold forandrer seg i vinterens løp.

G j e n n o m s t r ø m n i n g e n av en innsjø kan karakteriseres som en langsom bevegelse av vannmasser i et stort strømførende tverrsnitt avhengig av bunnens topografi. Jordrotasjon har også innflytelse på slik strøm. Dessuten er det å merke at p.g.a. tregheten vil vannstrømmen alltid være sterkest i yttersvingen der hvor en langstrakt sjø har en sving. Mellom svingene er strømmen sterkest på skrå over sjøen.

I e n d y p innsjø vil gjennomstrømningen finne sin plass der hvor den naturlig hører hjemme, etter vannets temperatur og tetthet. Den beveger seg deretter som et mer eller mindre avgrenset strømdrag videre nedover. Dette er grunnen til at i sjøer med stort og jevnt dyp kan vannmassene med forholdsvis høy temperatur (f.eks. opptil 3 °C) flyte lange strekninger uten å tære noe vesentlig på isen. Det er bare i de partiene av sjøen hvor tverrsnittet er vesentlig innsnevret f.eks. i utløpsoset og innløpsoset at en merkbar omrøring av vannlagene finner sted og bringer varme opp som reduserer isveksten eller tiner allerede dannet is.

I e n g r u n n sjø med betydelig gjennomstrømning blir det merkbar hastighet også for det vannlag som grenser mot isen. Da foregår det en effektiv varmetransport fra det varmere vann til isdekket, slik at vannet avkjøles under passasjen og isdekket svekkes tilsvarende. Hvor langt utover i sjøen slik innvirkning vil merkes avhenger av bunn-topografien og av strømhastigheten.

Det samme gjelder for u t v i d e t e p a r t i e r av en elv, når det her f.eks. er dypere kulper. I disse vil vannet stort sett bli liggende i ro. På grensen mellom det gjennomstrømte laget og det som ligger i ro dannes et karakteristisk sprangskikt.

I e n e l v s o m g å r i s t r y k er gjennomblandingen så voldsom at vannet praktisk talt har samme temperatur over alt. Den effektive varmeledningsevne av vannet er da så enorm at det bare krever en meget liten temperaturforskjell mellom overflaten og bunnen for å vedlikeholde en varmestrøm oppover, når luften er kaldere enn vannet.

Isdannelse begynner like etter at vannet er blitt underkjølt i overflaten. En slik underkjøling (under naturlige forhold) er som regel bare noen få hundredels grader. Den underkjølte vannfilmen vil da bevege seg gjennom vannet og underveis finne krystallasjonsbasis på svevende sandpartikler eller allerede dannede iskrystaller, og forvandles til flytende sarr. Det underkjølte vannet kan smyge seg ned helt til bunnen og starte dannelsen av bunnis. Dannelsen av sarr og bunnis kalles kjøving.

Våre vassdrag er sammensatt av større eller mindre sjøer, rolige elvepartier og strykpartier. De forskjellige dybdeforhold og strømforhold skaper mange problemer for en som vil bedømme f.eks. en regulerings innvirkning på isforholdene. Erfaringer viser at en elvs evne til å tære på isen eller til å holde en råk åpen hovedsakelig avhenger av vannets hastighet og temperatur som følgende tabell viser:

Strømhastighet m/s	Kritiske vanntemp. °C
0,2 - 0,3	Ca. 0,20
ca. 0,4	0,06
" 0,6	0,02
over 0,8	0,01

Hvis f.eks. strømhastigheten øker p.g.a. en regulering til 0,6 m/s, vil elva holde seg åpen selv om vannet bare har en temperatur på ca. 0,02 °C. Såpass overtemperatur vil vannet få ved å passere et fall på ca. 8 m. Ved enda større strømhastighet, f.eks. 1 m/s, er den kritiske overtemperatur ikke mer en noen tusendels grad. En vintertapping som lokalt øker strømhastigheten over denne kritiske grense vil forårsake at elva blir gående åpen og vil medføre øket produksjon av sarr og bunnis så lenge kulden varer. Det kan da forekomme store avvikelser fra det normalforløpet av istilveksten som er omtalt ovenfor.

Sarransamlinger som finner sted under isen i vinterens løp er ofte årsak til utgraving av elvemæl, oppvatninger, råkdannelser og andre ulemper for vintertrafikken på isen.

3. Kort orientering om isforholdene på Sjursvatn, Nervatn, Sørrelva og Forsavatn under nåværende forhold.

Temperaturen i avløpsvannet fra Hjertevatn kraftstasjon varierer ganske meget fra vinter til vinter, og ligger mellom 1,2 og 3,9 °C. Denne temperaturen er hovedsakelig avhengig av vind- og værforholdene på forvinteren før isleggingen på Hjertevatn finner sted.

I Sjursvatn blandes avløpsvannet fra kraftstasjonen med det sterkt avkjølte vannet fra Melkedalen. Det oppstår en liten råk foren kraftstasjonen, ellers islegges sjøen hver vinter.

I følgende tabell er gitt en oversikt over målte vann-temperatur °C ved dammen ved utløpet av Sjursvatn i vintermånedene november-april.

	Avløps- vannets temp. °C	Nov.	Des.	Jan.	Febr.	Mars	April
1959-60	2,82-3,5	-	-	-	1,57	1,75-1,90	1,65-1,95
1960-61	2,10-3,9	2,65	-	1,70	0,45-1,80	0,85-1,08	1,20-2,60
1961-62	1,26-3,3		-	0,65-0,85	0,62-0,71	0,75-0,85	0,90-1,12
1962-63	1,45-2,7		-	0,8 -1,03	0,70-0,88	0,62-0,95	0,54-1,15

Av tabellen en kan se at ved utløpet av Sjursvatn har vann-temperaturen sunket betydelig. Laveste temperaturer er målt midtvinters, januar-mars.

De foretatte ismålinger viser at sjøen under vinterens løp får et isdekke som er sammensatt av forskjellige islag, som dels består av stålis og dels av sørpeis av forskjellige kvalitet. En nærmere analyse av målingene viser at snølag som gjennomtrekkes av vann gir sørpeis, og at istilveksten foregår meget raskt når det etter et mildværsperiode kommer sterk kulde. Målingene viser klart at nedbørforholdene virker sterkt inn på utviklingen av isdekket.

Under befaring den 15. mars ble is- og temperaturforholdene på Sjursvatnet nærmere undersøkt.

Sjursvatnet var helt islagt og det var bare råk foran kraftstasjonen og i utløpsoset. Avløpsvannets temperatur målt i kanal ved kraftstasjon var  $1,85^{\circ}\text{C}$ , vassføring ca.  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Temperaturen ved utløpet av Sjursvatn var  $1,44^{\circ}\text{C}$  og vassføring ca.  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Temperaturundersøkelser i området mellom Eneshaugen og Karlbruksås viste at avløpsvannet holder omtrent samme temperatur som det vannet i sjøen som ligger 1-5 m under overflaten. Isen var av meget god kvalitet. Det ble målt 60-70 cm stålis og 25-30 cm snø på isen.

Elvestrekningen mellom Sjursvatn og Nervatn gikk åpen og Nervatn var bare delvis islagt. Vannet er grunt og gir en meget effektiv avkjøling av vannmasser i kuldeperioder. Ved Hansens bru var vanntemperatur  $0,14^{\circ}\text{C}$  og ca. 1 km lengere nedover var vannmassene avkjølt til  $0^{\circ}\text{C}$ . Elva gikk for det meste åpen, men iskantene var ca. 0,5 m høye. Det var spor etter gamle bunnisdammer og sarransamlinger.

Observasjoner ved Melkedal vannmerke viser at isleggingen i tidsrommet 1957-66 foregikk ca 1 uke senere, og isløsningen ca 3 uker tidligere enn før reguleringen.

Det foreligger vassføringsmålinger i Sørelva ved Melkedal Vm. Disse er analysert med henblikk på å finne an sammenheng mellom vassføring, elvas tverrsnitt og strømhastighet i et bestemt måleprofil. Målingene viser at vannhastighet er tilnærmet proporsjonal med kvadratrotten av vassføringen. Mellom Nervatn og Hansens bru har Sørelva forholdsvis stort fall. Med en vassføring over  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  overstiger strømhastigheten flere steder den kritiske hastigheten for islegging.

På det nederste parti av Sørelva (på strekningen mellom Harald Olsens gård og Venes - Ragnar Jakobsens gård) hadde det vært brukbar is for trafikken siste vinter. Her har elva lite fall og elveleiet er betydelig utvidet.

De foretatte observasjoner viser at på denne strekningen har isforholdene vært varierende fra vinter til vinter avhengig av værforholdene.

Nedenfor gis en nærmere oversikt over isforholdene de siste vintrene.

Vinteren 1959-60: I desember og januar var vassføringen relativt liten. Isen la seg i midten av januar. I første halvdel av februar kom en mildværsperiode og isen gikk delvis opp. I siste halvdel av måneden var det usedvanlig kaldt og i første halvdel av mars var det god is over hele vassdraget. Istykkelse ble målt 60 cm. Siste halvdel av mars var mild med en god del regn og isen gikk opp helt til Venes.

Vinteren 1960-61: Hele forvinteren var kaldt og januar måned ble det målt istykkelse i elva 40 cm. Fra midten av februar var det mildvær med regn som medførte en stor avsmelting i vassdraget og isen ble tåret opp.

Vinteren 1961-62: I november og desember var det vekslende værforhold og mye regn. Isen la seg i slutten av desember, men isforholdene var ikke gode. Det ble målt flere islag med vann i mellom. I siste halvdel av januar frøs islagene sammen og isforholdene var bedre. I slutten av januar ble det målt 17-35 cm stålis og 17-29 cm sørpeis øverst. I februar og mars var isforholdene gode. Total istykkelse var 56-65 cm. I midten av april kom vann på isen, antakelig p.g.a. sarransamlinger under isen. Det ble observert råker i isen som tyder på at det har forekommet avløpsforstyrrelser. Den 25. april var elva åpen helt til Venes.

Vinteren 1962-63: I desember og januar var det svært ustabile værforhold og det kom flere tildels store vinterflommer. I slutten av januar gikk elva åpen forbi Olsen gård, og lengere nedover mot Forsavatn var det meget dårlig is. I februar måned var det forholdsvis stabilt vintervær og i midten av måneden ble det målt 27-31 cm stålis og 16-23 cm sørpeis øverst. I slutten av måneden ble det observert vann på isen, særlig ved Olsen gård, antakelig p.g.a. sarransamlinger under isen. I mars måned var isforholdene meget gode. I begynnelsen av april var elva åpen et stykke forbi Olsen gård og i midten av måneden nedover til Forsavatn.

Vinteren 1963-64: Det var en kraftig mildværsperiode fra ca. 20. desember til ut i januar. Elva ble islagt til normal tid, men under regnværet i januar brøt isen i elva løs. Fra midten av februar ble elva igjen islagt, og det var forholdsvis god trafikksikker is i mars og i første halvdel av april.

Vinteren 1964-65: November og desember hadde vekslende værforhold. I januar hadde mer stabilt vintervær, men istykkelsen var relativt liten i elva og isens kvalitet var mindre god. Således ble det ved Sørrelv gård den 25. febr. målt 18 cm stålis og 16 cm sørpeis ovenfor. I mars måned ble det målt bare sørpeis. I begynnelsen av april var elva åpen.

Observasjonene vises at det forekommer store vekslinger både av temperatur og nedbør og disse har stor innvirkning på isforholdene og brukbarheten av is for trafikken.

F o r s a v a t n er en forholdsvis stor og dyp innsjø, men ligger nær kysten og utsatt for sterk vind. Vannmassene blir derfor omrørt i flere meters dybde. Observasjoner viser at isleggings- og isløsnings-tidene neppe er blitt vesentlig endret etter at reguleringen begynte. På grunn av hyppig værromslag er isdekket sammensatt av vekslende islag og av forskjellige kvalitet.

Under befaring den 25. mars ble det foretatt is- og temperatur-målinger. I et snitt mellom Slåttli og Forsa ble det målt følgende temperaturer: 1 m dybde 0,09°C, i 5 m dybde 1,12°C, i 10 m dybde 2,43°C og i 20 m dybde 3,25°C. Det ble målt 35 cm stålis dekket med ca. 25 cm snø på isen. Isforholdene hadde vært meget gode og det foregikk vedtransport med lastebiler fra Sørenlva til Riksveien på isen.

#### 4. Mulige forandringer i temperatur- og isforholdene i vassdraget på grunn av reguleringen.

Etter analyse av observasjonsmaterialet og ved støtte i erfaringer fra endel vassdragsreguleringer er det grunn til å anta at såvel islegging som isløsning på Sjursvatn har ikke forandret seg etter at Hjertevatn kraftverk ble tatt i bruk. Isveksten og utviklingen av isdekket på største delen av vannet har også hatt stort sett de samme betingelser som tidligere, med unntak av et lite område ved utløpet av kraftstasjonen.

Steder der reguleringen av Hjertevatn har forårsaket forandringer i isforholdene er vesentlig deler av vassdraget nedenfor Sjursvatn, særlig på Lillevatn (Nervatn) og nedover Sørenlva, omtrent til Olsens gård. Isdannelse kan først finne sted når vannet er avkjølt til null grader, og når det er oppnådd, vil arten av isproduksjonen avhenge av vannhastigheten. På den stille flytende strekningen mellom Sjursvatn og brua ved Heggelund, har vannet en overtemperatur. På de dypeste partier av Nervatn kan isen legges i sterkere kuldeperioder. I mildværet vil det gjennomstrømmende vann tære på isdekket og strømdraget går for det meste åpent. Både vanntemperatur og strømhastighet har øket p.g.a. reguleringer, og trafikkmuligheter på isen tversover er vanskeliggjort. Lengere nedover i Sørenlva, omtrent til Olsens gård, overstiger strømhastigheten den kritiske hastighet for isleggingen. Her dannes det under kuldeperioder sarr og bunnis i større grad enn tidligere. Størsteparten av sarret og drivisen

føres videre nedover og avleires der hvor strømhastigheten er mindre f.eks. i området ved Olsens gård. Sarransamlinger under isen forårsaker råkdannelse, oppvatninger og andre hindringer for vintertrafikken. Selvfølgelig har dette elvepartiet også før reguleringen vært utsatt for vekslende isforhold under varierende værforhold, men trafikkhindringene har antakelig øket de siste vintrene, særlig når kraftverket foretar døgn- eller ukereguleringer.

Som observasjonene viser er isforholdene på det nederste partiet av Sørenlva noe bedre enn ved Olsens gård, men også her er antakelig trafikkmuligheter på isen noe mindre enn de tidligere har vært.

Selve Forsavatn er meget lite påvirket av gjennomstrømningen. Her er isforholdene avhengig av værforholdene, særlig av snøforholdene. Jeg kan ikke finne tegn til at trafikkmulighetene her er noe endret etter at Hjertevatn kraftverk ble tatt i bruk.

I den aller øverste delen av Forsavatn, på et relativt lite område ut for Sørenlvas innløp, er det mulig at isens brukbarhet er av noe mindre varighet.

## 5. Sammenheng og konklusjon.

Vassdraget ligger nær kysten og er utsatt for hyppige og under tiden store værforandringer. Fra vinter til vinter forekommer det store vekslinger både av temperatur og nedbør. Da disse har stor innvirkning på isforholdene i vassdraget forekommer det store vekslinger i brukbarheten av isen, slik som de detaljerte målinger fra de siste 7 vintrene viser. Nåværende regulering er meget liten og den kan bare i en viss grad på enkelte steder forsterke de naturlige prosesser.

En må regne med at etter at Hjertevatn kraftverk ble tatt i bruk har avløpsvannet fra Sjursvatn hatt litt høyere temperatur enn før, og p.g.a. øket strømhastighet har vannet fått større evne til å tære på isen på Nervatn og i Sørenlva. Videre det er mulig at isproduksjon på de åpne partiene i Sørenlva har øket i kuldeperioder, og at større sarransamlinger under isen i området ved Olsens gård har funnet sted. Disse har medført mer hindrer for vintertrafikken enn tidligere. Lengere nedover i vassdraget avtar isskadene og i Forsavatn er de neppe merkbare.

Det er å bemerke at en videre regulering av vassdraget kan medføre større forandringer i isforholdene i Sørenlva og også i den aller øverste del av Forsavatn.