Edvigs V. Kanavin

GENERELT OM ENDRINGER I TEMPERATUR- OG ISFORHOLD I FORBINDELSE MED VASSDRAGSREGULERING

Noen resultater fra undersøkelser ved Iskontoret, NVE, Hydrologisk avdeling

Innhold — Side

INNLEDNING 1

A. OM TÅKE OG RIMPLAGER LANGS REGULERTE VASSDRAG 2

1. Forandringer i luftfuktighet i Fortundalen etter utbygging av Fortun kraftverk 5
2. Klimaforandringer i Suldal etter utbygging av Suldal-Røldalvassdraget 5
3. Undersøkelser av klimaforandringer i Rendalen etter Glomma-overføringen 6
4. Undersøkelser av tåke- og rimforekomster i Ottadalen 6
5. Klimatiske skader langs Grungevatn og Tveitvatn etter regulering av Tokke-Vinjevassdraget 8

B. PROBLEMER SOM KAN OPPSTÅ P. G. A. ENDRINGER I HYDROLOGISKE FORHOLD 8

1. Forholdene i magasiner og innsjøer med økt gjennomstrømning 8
2. Elvestrekninger med økt vassføring 11
3. Elvestrekninger med redusert vassføring 19

Oslo, sept. 1974

NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT
BIBLIOTEKET

INNLEDNING

Temperaturforholdene og isproduksjonen i et vassdrag er, på den ene side avhengig av rent klimatiske forhold, hovedsakelig av lufttemperatur, vindforhold, nedbør og andre meteorologiske faktorer, og på den annen side av rent hydrologiske forhold som vannstandsvariasjoner, vassføring, vassdragets topografi, dybdeforhold, elvas fallforhold o. a.

Værforhold og nedbør er avhengig av storstillte sirkulasjoner i atmosfæren. Disse kan ikke påvirkes merkbart av det forholdsvis begrensed inngrep i naturen som en vassdragsregulering vanligvis utgjør. Derimot kan lokalklimaet i umiddelbar nærhet av en innsjø eller en større elv bli påvirket i en begrenset utstrekning p. g. a. endret varmeutveksling mellom vann og luft. Ved de fleste reguleringer blir vannet samlet i magasiner om sommeren og tappet om vinteren. Øket vassføring med noe overtemperatur kan føre til at større elvepartier og delvis også deler av gjennomstrømte sjøer, som før reguleringen var årvisst islagt, etter reguleringen holder seg for det meste åpne hele vinteren igjennom. Fra de isfrie strekninger er det noe lettere tilgang på fuktighet og dette kan muligens enkelte steder føre til, øket tåke- og rimplager på bebyggelse, trær og dyrket mark i nærheten.

En regulering kan også medføre at vannet fra en elv blir helt eller delvis fjernet. Et slikt inngrep kan også påvirke dalklima i en viss grad.

Prosessene, som er grunnlaget for endringer av lokalklima, foregår i grenseflaten mellom luft og bakken og for å klarlegge disse, trengs det omfattende undersøkelser under forskjellige meteorologiske og hydrologiske forhold.

De største forandringene som en regulering medfører er på de hydrologiske forhold, hovedsakelig p. g. a. økt vintervassføring, men på enkelte strekninger eller vassdrag også p. g. a. en sterkt redusert vassføring.

For å vurdere ulemper og skader i forbindelse med vassdragsreguleringer er det viktig å samle data om forholdene før og etter reguleringen. Iskontoret ved Vassdragsvesentes Hydrologisk avd. foretar omfattende undersøkelser og kartlegging av is- og temperaturforhold for dette formålet.

I det følgende er det gitt noen eksempler på Iskontorets undersøkelser.

A. OM TÅKE- OG RIMPLAGER LANGS REGULERTE VASSDRAG

Vanndampen i luften er en meget viktig faktor. Den deltar aktivt i dalens varmehusholdning ved å oppta eller avgi varme, særlig ved fordampning og kondensasjon.

Tåke- og rimforekomster er hovedsakelig avhengig av fuktighetsforholdene i lufta. Fører en regulering til økt luftfuktighet, er sjansene for en økt forekomst av tåke og rim tilstede. På samme måte vil en minsket luftfuktig redusere faren for tåke- og rimforekomst.

Etter de prosesser som leder til vanndampens kondensasjon, kan tåke inndeles i følgende hovedtyper: Adveksjons- og strålingståke, blandingståke og fordampningståke.

Adveksjonståke dannes ved avkjøling av luftmasser. Forekommer oftest i vinterhalvåret når fuktig luft kommer i berøring med kaldere underlag. Derved skjer en overmetning som fører til kondensasjon. Slik tåke opptrer oftest ved svake vinddrag, men hvis det er for meget vind, blandes de nederste luftlag slik at tåken heves til lave tåkeskyer. Adveksjonståke dannes oftest ved værsituasjoner hvor høytrykk etterfølges av lavtrykk. Tåken er tettest over en fuktig dalbunn når underlaget danner et naturlig kuldemagasin.

Tåken kan oppnå ganske stor vertikal utstrekning og da forekommer det i tåkelaget opp- og nedgående strømninger.

Strålingståke dannes hvis fuktig luft i dalbunnen avkjøles p. g. a. stor utstråling. Gunstige betingelser for slik tåke er fuktig luft ved bakken, tørr luft i høyden, klar himmel og vindstille. Er det åpen elv i dalbunnen, skal det liten avkjøling til for at duggpunktet nåes og overmetningen kondenseres. Den vertikale utstrekning av slik tåke er vanligvis liten og selve tåken er lett (grunn), og den løses lett opp av vind og sol.

Blandingståke kan dannes ved blanding av to forskjellige luftmasser som er mettet eller meget nær mettet med vanndamp, men som har forskjellige temperaturer. Daler som får tilførsel av kald luft fra høyfjell, t. eks. gjennom en sidedal, får ofte slik tåke på det sted hvor sidedalen munner ut i hoveddalen.

Fordampningståke dannes under rolige værforhold når luftmassene nær en åpen vannflate har en temperatur som ligger betydelig lavere enn vanntemperaturen. Luften som kommer i berøring med vannflaten, blir noe oppvarmet og derved i stand til å ta opp mer vanndamp. Den varmere og vanndamp-

mettede luften stiger opp i kaldluften og blandes med denne. Ved blandingen kondenseres overskuddet av vanndamp og på den måten oppstår såkalt frostrøyk (det "ryker" fra vannet). Ved sterk kulde kan det dannes underkjølte vanndråper og iskrystaller i frostrøyken. Tåken er i alt vesentlig begrenset til områder nær den åpne vannflaten.

Oftest løses frostrøyken seg ganske raskt opp ved at de små dråpene fordamper igjen når de kommer opp i tørrere luft.

I spesielle situasjoner, f. eks. ved inversjon, dvs. når varmere og fuktigere luft ligger over kaldluft (bunninversjon i området), kan fordampningen fra vannflaten litt etter litt i hele inversjonslaget bli mettet og da kan tåke rekke opp til toppen av inversjonen, særlig hvis den er av begrenset tykkelse, f. eks. noen få 10-meter. Dette vil kunne skje hvis:

a. Luften er mye kaldere enn vannflaten, (minst -15 °C)
b. Inversjonen holder seg i lengere tid (flere dager)

Mektigheten av tåken under ellers like forhold avhenger av den åpne vannflaten og er sterkere over raskt strømmende vann enn over langsomflytende.

Hyppigheten av fordampningståke er etter observasjoner i Skjåk: ved -20 °C, ca. 25 % og ved -30 °C, ca. 40 %.

Til beregning av fordampning fra en åpen vannflate er det utviklet en rekke empiriske formler. Etter en formel benyttet for norske forhold er fordampningen i mm pr. døgn fra nullgraders vannflate og en relativ luftfuktighet på 75 % følgende:

Vindhastighet m/s / Lufttemp. °C	1	2	3	4	5
	Fordampning i mm/døgn				
0	0,5	0,9	1,3	1,6	1,9
- 5	1,0	1,7	2,4	3,0	3,9
-10	1,3	2,3	3,2	4,0	5,0
-15	1,5	2,8	3,9	4,9	6,0
-20	1,7	3,0	4,3	5,4	6,6
-25	1,8	3,2	4,4	5,6	6,9
-30	1,9	3,3	4,7	5,9	7,3

Eks.: Lufttemp. -20 °C Vanntemp. 0 °C. Vindhast. 2 m/s.
Fordampning 3,0 mm/døgn.

Erfaringer viser at fordampningen kan bli redusert i vesentlig grad hvis det på stille vannflater dannes issnerk.

Energien som kreves til fordampningen, ca. 60 cal/cm^2 pr. mm vann som fordamper, tas hovedsakelig fra vnnet som dermed avkjøles.

Hvis vanndamp forandres til rim, f. eks. på en 10 ganger så stor flate som elveflaten, vil det dannes rimavsetning som svarer til 0,3 mm vann pr. døgn. For å få et jevnt islag på f. eks. 1 cm, ville dette kreve ca. 1 mnd. med en gjennomsnitts døgntemperatur på -20 °C.

Erfaringer viser at rimlaget fra frostrøyk ikke kan oppnå stor mektighet, fordi tåkedråpene er små og dannelsen skjer vesentlig i stille vær. Observasjoner har vist at det bare er en forholdsvis smal sone nær det åpne elveparti som påvirkes.

Når vannflaten er vesentlig varmere enn luften over, vil vannet også avgi energi til luften i form av følbar varme. Dette fører til en direkte oppvarming av luften over en åpen elv. Ved dannelsen av frostrøyk frigis kondensasjonsvarme som også varmer omgivelsen.

Tørr luft kan oppvarmes og avkjøles mye lettere enn vanndamp. Dette er grunnen til at de daglige variasjoner i temperaturen er mindre når det er fuktig enn når det er tørt. Dette spiller en vesentlig rolle for nattefrost.

Erfaringer viser at det kan komme en rekke ytterligere komplikasjoner til i naturen som spiller vesentlig rolle ved kondensasjon av vanndamp.

Eksempelvis fordi damptrykket er lavere over is enn over vann, blir kondensasjonen særlig livlig, hvis det dannes iskrystaller i luften under prosessen. Det kan da inntreffe betydelige overmetninger i luften uten at det skjer snøfall. På den annen side, kan kondensasjonen på visse partikler (t. eks. saltpartikler, støv, røyk o. a.) begynne selv med fuktighetsgrad på bare omkring 80 %. Omkring saltkjerner t. eks. kan det dannes ganske store vanndråper. Når det er metning i forhold til rent vann, er det allerede en overmetning i forhold til salt. Dette er noe sjøfolk har lagt merke til og vegvesenet bruker et kalsiumsalt for å suge fuktighet av luften til demping av støv på grusveger.

Kondensasjonen på bakken motvirker i noen grad tåkedannelse fordi luftens fuktighet i de nederste luftlag avtar. Ved soloppgang varmes bakken opp hurtigere enn luften, fuktigheten tiltat ved fordampning av dugg og rim og dette sammen med blanding av de nederste luftlag kan føre til morgentåke.

Vanndamp er lettere enn tørr luft (forholdstall, ca. 0,62 ved 0 °C). Dampen fordeler seg hurtig og går fra det varmeste mot det kaldeste sted.

I de siste 10 år har Iskontoret foretatt omfattende undersøkelser av tåke- og rimplager i 20 forskjellige vassdrag spredt over hele landet. I det følgende er gitt noen resultater av disse undersøkelser.

1. Forandringer i luftfuktighet i Fortundalen etter utbygging av Fortun kraftverk.

Fortundalen er en avstengt dal, og det er sjelden vind av betydning der. Både før og etter reguleringen av vassdraget har det vært observert tåke i dalen.

Luftens relative fuktighet ble undersøkt både i perioden 1950-60 før reguleringen, og i perioden 1960-70 etter reguleringen. Målingene ble foretatt ved Luster Sanatorium (ikke påvirket av reguleringen) og Fortun met. st., like ndf. avløpet fra Fortun kraftstasjon. Resultatene er vist i følgende tabell.

LUFTENS RELATIVE FUKTIGHET

	Nov.				Des.				Jan.				Febr.			
	7	13	19	M	7	13	19	M	7	13	19	M	7	13	19	M
FORTUN																
(1) 1950-60	88,8	85,8	87,5	87,5	89,5	87,6	88,7	88,2	88,7	87,0	87,6	88,1	88,0	87,1	87,9	88,3
(2) 1960-70	91,1	87,3	89,6	89,7	88,7	88,7	89,3	89,2	91,0	88,1	90,5	90,5	89,0	84,9	85,7	86,8
(2)-(1) F_f	2,3	1,5	2,1	2,2	-0,2	1,1	0,6	1,0	2,7	1,1	2,9	2,4	1,0	-2,2	-2,2	-1,5
LUSTER																
(1) 1950-60	79,0	78,2	78,2	78,4	78,0	78,8	78,1	78,7	77,1	77,1	76,2	76,7	73,6	72,0	71,4	72,2
(2) 1960-70	77,0	75,8	76,0	76,4	77,4	76,8	77,6	77,8	78,2	76,6	76,7	76,9	76,4	73,3	74,0	74,3
(2)-(1) L_f	-2,0	-2,4	-2,2	-2,0	-1,6	-2,0	-0,5	-1,5	0,1	-0,5	0,5	0,2	2,8	1,3	2,6	2,1
$F_f - L_f$	4,3	3,9	4,3	4,2	1,4	3,1	1,0	2,5	2,6	2,6	2,4	2,2	0,8	3,0	2,2	1,4

En ser av tabellen at den relative fuktighet ved Luster met. st. hadde sunket fra perioden 1950-60 til perioden 1960-70 i november og desember, mens den hadde øket noe i januar og februar. Ved Fortun met. st. hadde den økt i alle måneder, men mest i januar og februar. Dette skyldes reguleringen. Det ble resit erstatningskrav for dette men noen skader ble ikke påvist.

2. Klimaforandringer i Suldal etter utbygging av Suldal-Røldalvassdraget

Iskontoret hadde opprettet en spesiell meteorologisk stasjon i Suldal for dette formålet. Undersøkelsene ga følgende resultater:

Suldal har alltid vært utsatt for tåke om høsten før elva frøs til, og luftens fuktighet har ofte vært høy i dalen, særlig i inversjons-situasjoner. Reguleringen hadde medført litt høyere luftfuktighet fordi tilgangen av vanndamp fra elva hadde øket. Frostrøyk over og like ved de åpne elvepartier forekom bare i meget kalde dager og med betydelig variasjoner fra år til år og

ikke flere enn 10 dager selv i de kaldeste vintrene.

Rimnedslag på marka og på trær og hus like ved elva hadde øket noe etter reguleringen. Nedslaget besto hovedsakelig av lett rim, såkalt tåkerim.

Reguleringen hadde ingen påvirkning på smeltings- og gjenfrysingsprosesser eller isdannelser på bakken ved lufttemperatur omkring 0 °C. Årsaken til de iakttatte og påståtte isbrannskader på dyrket slåttemark og beite måtte søkes i de alminnelige vær- og snøforholdene i dalen og ikke påvirket av reguleringen.

Vassdragsskjønnet tilkjente ingen erstatning for klimaendringer.

3. Undersøkelser av klimaforandringer i Rendalen etter Glomma-overføringen

Meteorologisk Institutt i samarbeid med Norges Landbruksvitenskapelig forskning satte i midten av 1960-årene i gang omfattende undersøkelser i Rendalen: 2 klimastasjoner, 7 linkestasjoner, 5 rimfroststasjoner, 5 tåkefotograferingsstasjoner og 1 fordampningsstasjon. I prosjektet inngår også plantesosiologiske undersøkelser, temperatur- og isundersøkelser i vassdraget m. m.

Innsamlet data er enda ikke ferdig bearbeidet, men allerede på nåværende tidspunkt kan det sies at tåkeforekomster langs med vassdraget fra utløpet av kraftstasjonene til Lomnessjøen har vært minimale etter at overføringen tok til. Det må imidlertid undrestrekes at de to siste vintrene har vært svært milde.

Ved Storsjøen virker det som om tåkeforekomsten har avtatt etter overføringen.

4. Undersøkelser av tåke- og rimforekomst i Ottadalen

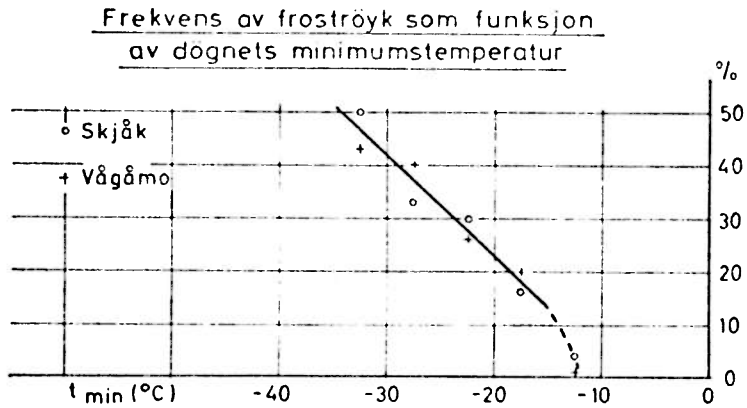
Fra 1966 er det satt i gang registrering av tåkeforekomster i Ottadalen ved 10 målestasjoner. Det blir foretatt regelmessig fotografering av forskjellige tåkearter om vinteren samt registrering av luftens temperatur og luftfuktighet.

På side 7 er gitt en oversikt over antall dager observert frostrøyk over de åpne partier av vassdraget på 5 stasjoner i tidsrommet 1965-72.

Vinter	Antall dager med frostrøyk				
	Skamsar	Tessand	Vågåmo	Lalm	Sjoa
1965-66	18	-	8	-	-
1966-67	7	0	11	-	-
1967-68	7	0	8	-	-
1968-69	16	6	21	-	-
1969-70	15	0	11	-	-
1970-71	7	12	11	14	14
1971-72	21	34	35	12	20

For perioden 1965-1972 ble det i middel observert 13 dager i året med frostrøyk fra Skamsar og 15 dager i året med frostrøyk over Vågåmo, mens det ved Tessand for perioden 1966-1972 i middel bare ble registrert 7 dager med frostrøyk i året.

For stasjonene Skamsar i Skjåk og Vågåmo er hyppigheten beregnet, her som antall dager med frostrøyk i forhold til totalt antall dager, for intervall av lufttemperatur på 5° (se følgende figur). Her er døgnets minimumstemperatur benyttet som referanse.



Frekvens av frostrøyk i Skjåk, fotografert fra Skamsar, og Vågåmo som funksjon av døgnets minimumstemperatur, beregnet i temperaturintervaller på 5°.

På begge steder registreres lufttemperaturen kontinuerlig i de områder hvor det eventuelt dannes frostrøyk, og resultatene herfra er benyttet ved beregning av frostrøykfrekvensen. For begge stasjoner er beregningen gjort på grunnlag av 7 års observasjoner (ca. 350 dager med minimumstemperatur lavere en -15 °C). Som det fremgår av figuren er det god overensstemmelse mellom resultatene fra de to stasjonene.

Utbredelsen og intensiteten av frostrøyk varierer mye både med tid og sted. I de fleste tilfeller er imidlertid frostrøykforekomstene meget begrenset både i utbredelse og intensitet. Den mektigste utbredelsen av frostrøyk finner en på Vågåmo, fra Vågåvatnets utløpsos og ca. 2 km nedover.

5. Klimatiske skader langs Grungevatn og Tveitvatn etter regulering av Tokke-Vinjevassdraget

Grunneiere med eiendommer langs Grunge- og Tveitevatn har meldt følgende:

> "Det viser seg at reguleringen her har medført en betydelig klimaforverring. Isen på Grunge- og Tveitvatn blir t. eks. liggende to-tre uker lenger enn før reguleringen, noe som har til følge en tilsvarende forsinkelse av de virksomheter der tidligere kunne drives uhindret".

For å kartlegge dette ble det i begynnelsen av 1970 årene satt igang spesielle undersøkelser. Resultatene av disse er enda ikke kjent.

B. PROBLEMER SOM KAN OPPSTÅ P. G. A. ENDRINGER I HYDROLOGISKE FORHOLD

Islegging i et vassdrag er et resultat av en sammensatt varmeutveksling mellom vann og luft. Is kan ikke dannes før vanntemperaturen er sunket til 0 °C, eller egentlig ikke før vannet er blitt litt underkjølt.

1. Forholdene i magasiner og innsjøer med økt gjennomstrømning

På magasiner uten vesentlig gjennomstrømning, vil forholdene i isleggingstiden ikke være vesentlig forskjellige fra sammenliknbare uregulerte sjøer. Når isen har lagt seg på hele magasinet, vil temperaturfordelingen i vannet holde seg praktisk talt uforandret hele vinteren igjennom. Av dette går det fram at den magasinerte varme i sjøen er størst etter en hurtig islegging i stille og kaldt vær, mens den blir vesentlig mindre hvis isleggingen har foregått under vekslende værforhold med mye vind.

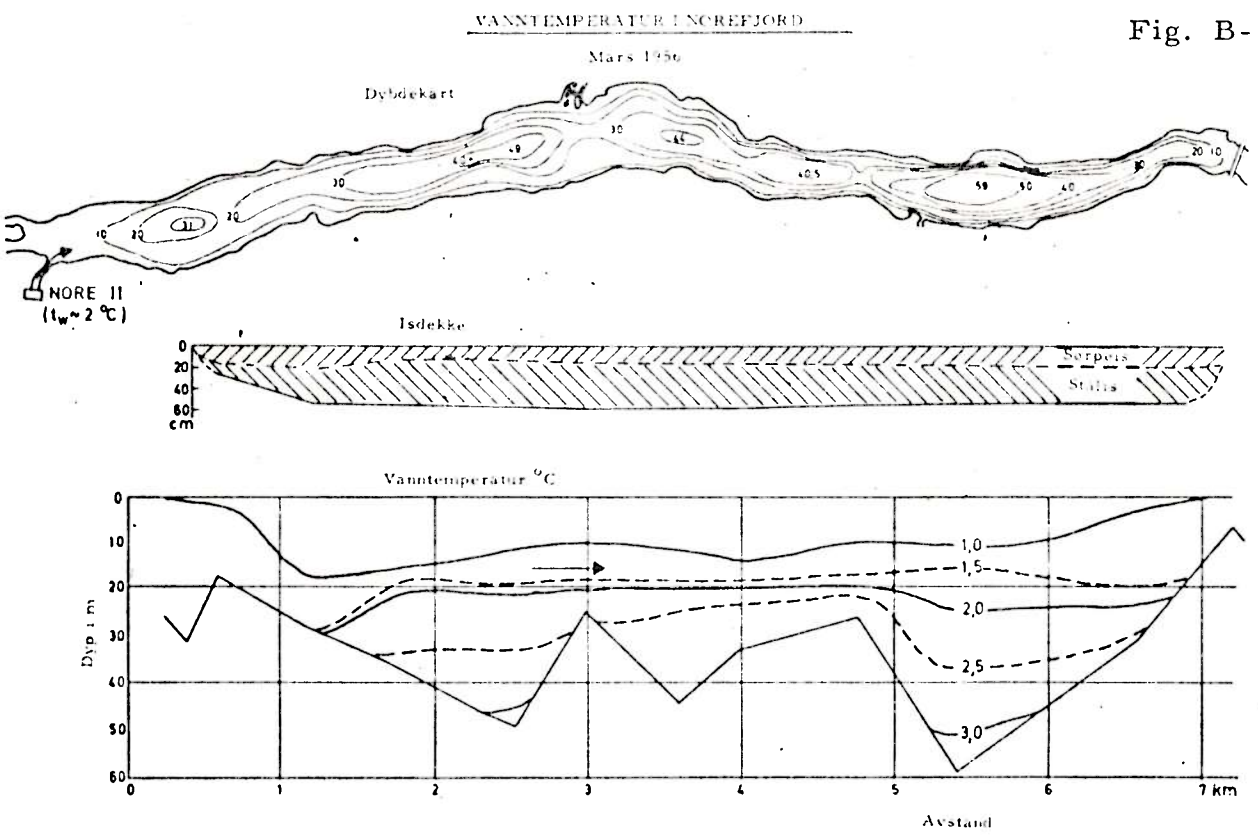
De største forandringene i isforholdene vil vanligvis skyldes nedtappingen av magasinene. Sprekkdannelse langs strandkanter, oppvatninger, dannelse av svakere isområder o. a.

Isforholdene på gjennomstrømte sjøer og magasiner er spesielt avhengig av tilløpsvannets mengde og temperatur sett i forhold til vanntemperatur og dybdeforhold i sjøen.

Vannmassene er stadig i bevegelse, selv om dette ikke alltid er så lett å iaktta direkte slik som bevegelsen i luftmassene i atmosfæren er. I den siste tid har Iskontoret lagt stor vekt på å klarlegge hva som skjer i en gjennomstrømt innsjø.

De fleste sjøer har både tilløp og avløp. Erfaringer viser at det gjennomstrømmende vann finner sin plass der det hører hjemme etter sin temperatur og tetthet, og beveger seg som et mer eller mindre avgrenset strømdrag videre nedover, se eksempel fra Norefjord fig. B-1[1].

Fig. B-1[1]

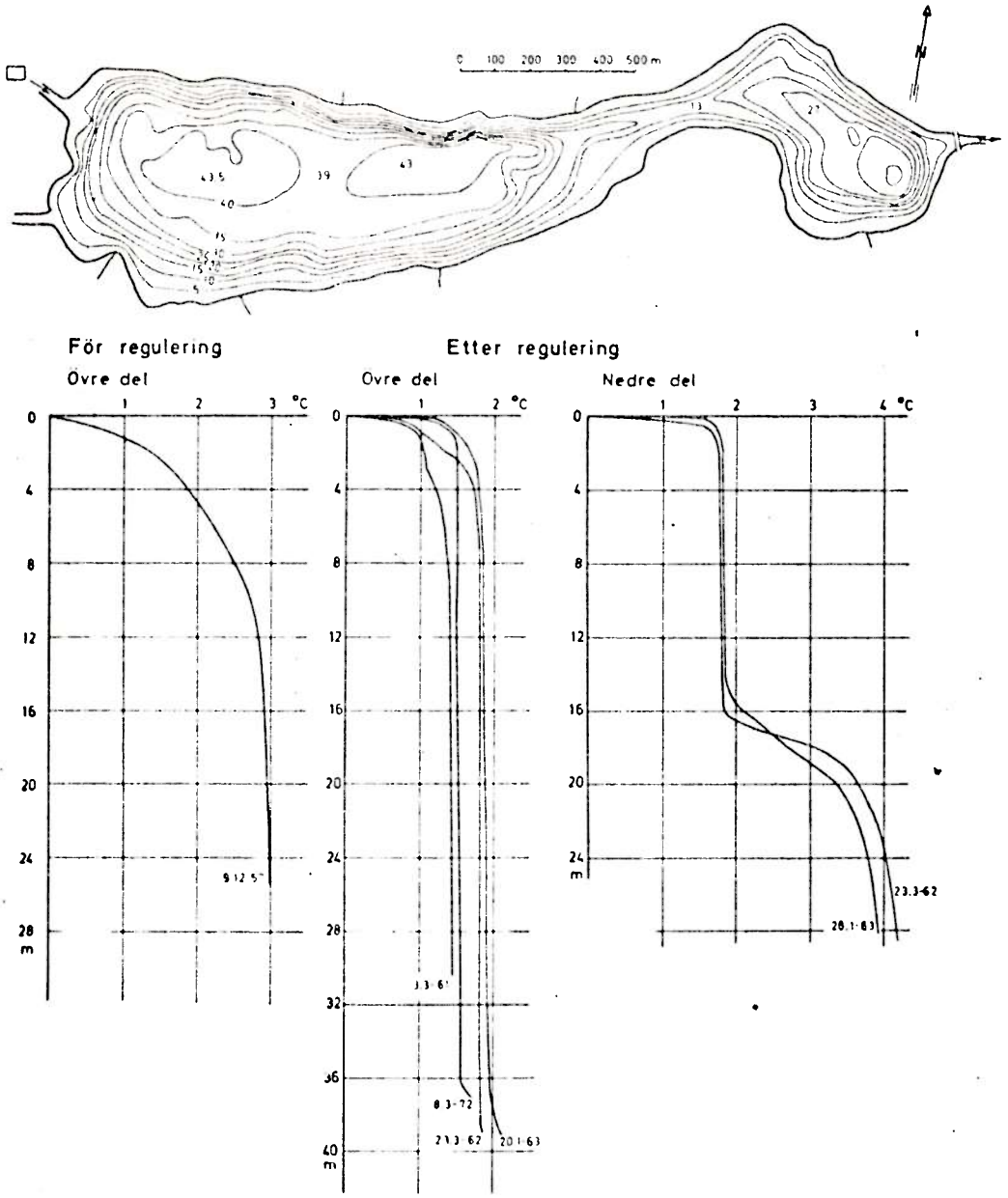


Figuren viser dybdekart over Norefjord, istykkelsen og lagdelingen i vannet når driftsvann med temperatur omkring 2 °C strømmer gjennom Norefjord.

Konklusjon av dette er at i dype sjøer med jevne bunnforhold kan det føres gjennom store vannmasser med forholdsvis høy temperatur (men lavere enn 4 °C) uten at isforholdene blir vesentlig påvirket. Temperaturen på vannet som strømmer inn og ut av sjøen, er omtrent den samme se fig. B-1[2]: Vanntemperaturer i Hjartsjø om vinteren.

På de partiene av sjøen hvor tverrsnittet er vesentlig innsnevret vil en merkbar omrøring av vannlagene under isen finne sted, noe som bringer varme opp til overflaten og kan redusere isveksten eller tine allerede dannet is. Innløpsoset, med sterk hvirvelbevegelse, er alltid åpen. I utløpet renner vannet mer strømlinjeformet og derfor er råken der mindre.

VANNTEMPERATURER I HJARTSJÖ Fig. B-1[2]



Øverst vises dybdekart over Hjartsjø og nederst resultatene av temperaturmålinger utført før og etter Hjartsjø ble regulert.

Når grunne sjøer gjennomstrømmes av vann med overtemperatur, foregår det en effektiv varmetransport fra det varmere vann til isdekket, slik at vannet avkjøles under passasjen og isdekket svekkes tilsvarende. Da er turbulensen dominerende for varmeoverføringen. Den turbulente varmeledningskoeffisienten er flere tusen ganger større enn den molekylære eller laminære varmeledningskoeffisient.

Når sjøer gjennomstrømmes av vann med temperatur nær 0 °C, kan det bli

tidligere islegging og mektigere isdekke enn før reguleringen. Undersøkelser viser at det da kan bli et forholdsvis tykt lag avkjølt vann i overflaten som framskynner isleggingen. Eksempel på dette er forholdene i Lomnessjøen og Storsjøen i Rendal etter Glomma-overføringen.

2. Elvestrekninger med økt vassføring

Det samme som er sagt om sjøer, gjelder også for utvidete partier av en elv, der det t. eks. er dypere kulper. I disse vil vannet stort sett bli liggende i ro, se temperaturforhold i Bromma, Hallingdalselv, fig. B-2[1].

Hvor langt ned i vannet turbulensen vil merkes, avhenger av bunntopografien og av bunntopografien og av vannhastigheten. Undersøkelser i Bromma viser at hvis hastigheten øker omtrent til ca. 0,05 m/s, vil vannet bli blandet opp.

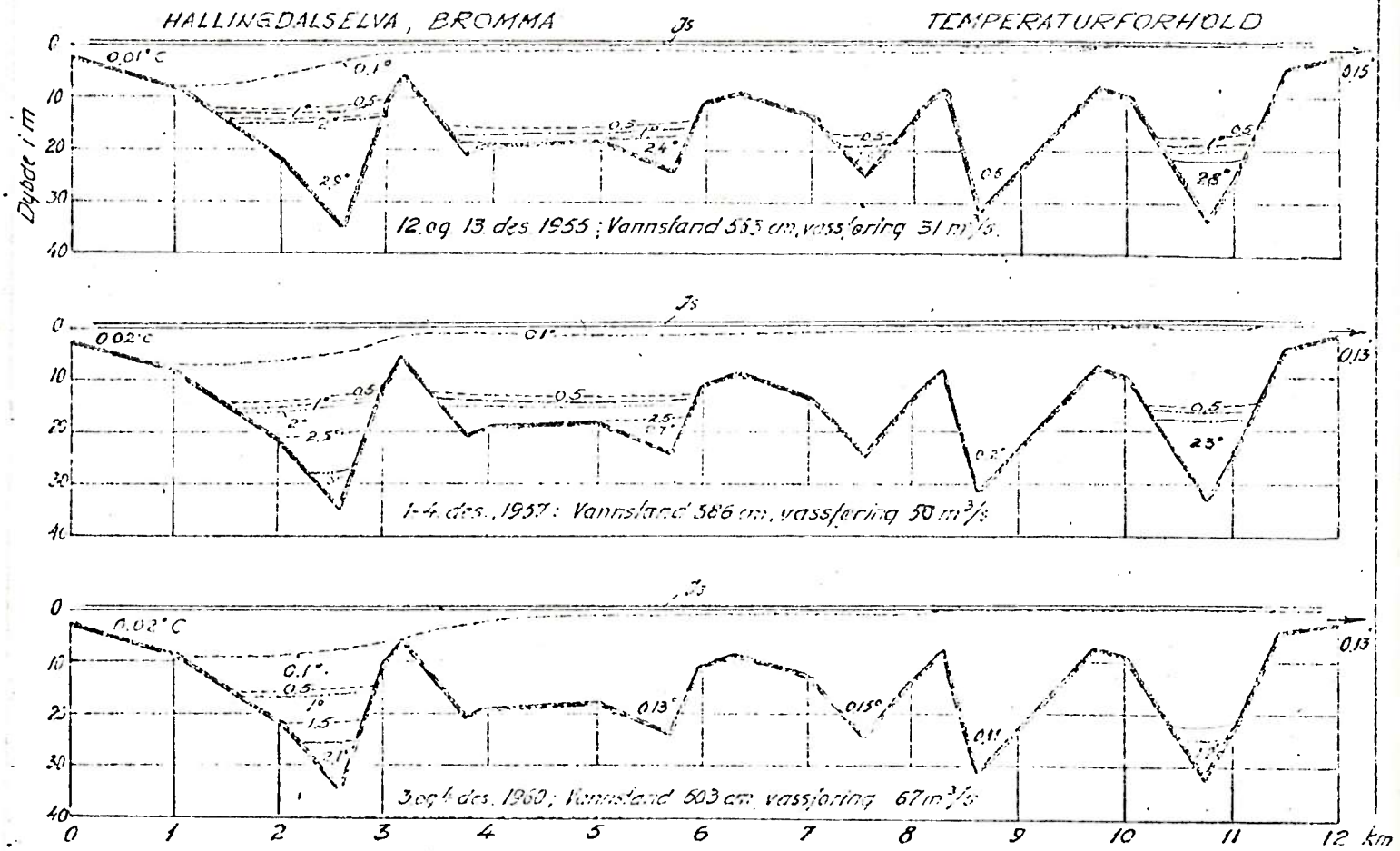
Vassdragene våre består av sjøer, rolige elvepartier og stryk. Om vinteren virker som regel dype sjøer og dype elvepartier som varmemagasiner, mens grunne sjøer og store åpne elvepartier gir en effektiv avkjøling av vannmassene. Varierende dybdeforhold med følgende varierende strømforhold skaper vanskelige problemer å løse for en som vil bedømme en regulerings innvirkning på isforholdene.

I en elv som renner i stryk, er blandingen så effektiv at vannet praktisk talt har samme temperatur i hele tverrsnitt. Den effektive varmeledningsevne av vannet er da så stor at det bare kreves en meget liten temperaturforskjell mellom overflaten og bunnen for å vedlikeholde en varmestrøm oppover, når luften er kaldere enn vannet.

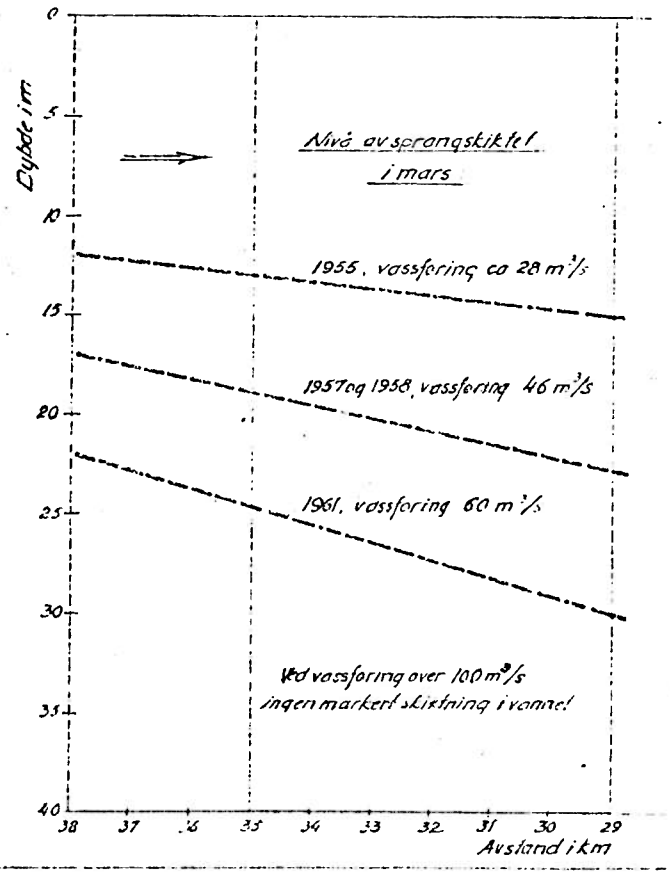
En elvs evne til å tære på isen eller til å holde strømdraget åpent, avhenger hovedsakelig av vannets hastighet og temperatur, som følgende fig. B-2[2] viser.

Selv om måleresultatene viser nokså for spredning, særlig under forskjellige værforhold, kan en tydelig se at for at en elv skal islegges må vannhastigheten være under en viss grense. Hvis t. eks. strømhastigheten øker p. g. a. en regulering til 0,6 m/s, vil strømdraget holde seg åpent selv om vannet har en temperatur på bare ca. 0,02 °C. Såpass overtemperatur vil vannet få ved å passere et fall på ca. 8 m. Ved enda større strømhastighet, t. eks. 1 m/s, er den kritiske overtemperatur ikke mer enn noen tusendels grader. En vintertapping som lokalt øker strømhastigheten over denne kritiske grense, vil forårsake at elva blir gående åpen og føre til stor isproduksjon i form av sarr- og bunnis så lenge kulden varer.

Fig. B-2'



TEMPERATURSKIKTNING i BROMMA avhengig av gjennomstrømningens intensitet



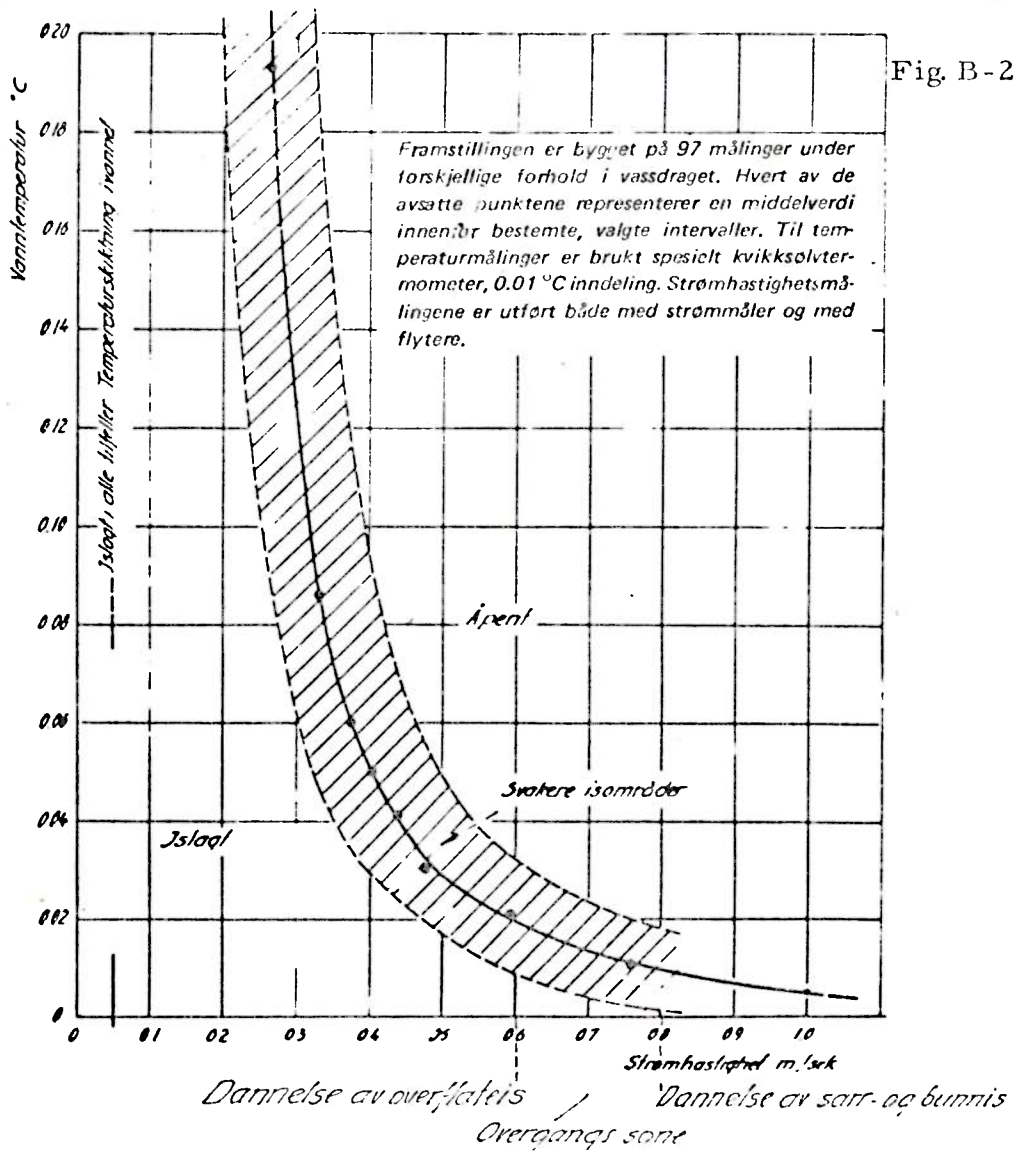


Fig. B-2[2]

Generelt kan en si at isleggingen i en elv er avhengig av værforholdene, vannets temperatur og av elveleiets topografi. Isdannelse kan først finne sted når vannet er avkjølt til frysepunktet, og når dette er oppnådd, vil arten av isproduksjon avhenge av vannhastigheten og elveleiets beskaffenhet. Grensehastigheten 0,6-1,0 m/s har meget å si for utviklingen av et sammenhengende isdekke.

For å vurdere isforholdene i en elv, er det av interesse å vite hvor stor kjøleflate som under gitte meteorologiske og hydrologiske forhold er nødvendig for å senke vanntemperaturen til frysepunktet. Dette kan tilnærmet beregnes etter ligningen:

$$F \cdot S_k = 1000\ Q \cdot t$$

Her er kjøleflaten F uttrykt i daa, varmetapet S_k i kcal/daa. s, vassføringen

Q i m^3/s og vanntemperaturen t i ^oC.

Ved en kombinasjon av teoretiske og empiriske metoder har dr. Devik funnet frem til verdier for norske forhold ved forskjellige meteorologiske situasjoner. I følgende tabell fig. B-2[3] er oppgitt samlet varmetap S_k i kcal/daa. s fra en nullgraders vannflate.

Fig. B-2[3]. Samlet varmetap S_k i kcal/daa. s fra en nullgraders vannflate, etter Deviks formler.

Skydekke (0-10)	Vindhastighet m/s	Lufttemperatur ^oC 0	-5	-10	-15	-20	-30
Klart (0)	1	33	50	67	90	96	126
	5	35	62	93	117	143	187
Delvis skyet (5)	1	19	31	53	76	82	112
	5	21	49	80	104	129	173
Overskyet (10)	1	6	27	39	60	69	99
	5	8	35	66	90	116	160

Merknad: Atmosfæren antas mettet av vanndamp over is ved luftens temperatur.

Som man ser av tabellen, kan en for praktiske formål regne med at ved middels kulde er varmetapet fra åpen nullgraders vannflate ca. 50 kcal/daa, sek, og ved sterk kulde er vametapet ca. 100 kcal/daa, sek.

Vi betrakter en elvestrekning på L m og midlere bredde B m som et gjennomstrømningskalorimeter. Hvert sekund kommer det inn Q m^3 vann med temperatur t ^oC, og det renner ut med temperaturen $t^o - \Delta t^oC$. Nettotapet $Q(t - \Delta t)$ svarer da stort sett til den varmemengde den eksponerte vannflate F=L.B avgir til atmosfæren.

Under forutsetning av at varmetstrømmen er kjent og konstant innenfor et tidsrom og at det er en fullstendig blanding av elvevannet på strekningen L, kan avkjølingen uttrykkes slik:

$$-\Delta t \cdot Q = S_k \cdot L \cdot B \text{ og } \underline{-\Delta t = S_k \cdot LB/Q}$$

Merknad: Proporsjonalitetsfaktoren er for enkelhets skyld tatt med i S_k.

Det går fram av det ovenforstående uttrykk at på strekninger med samme lengde og samme varmeutveksling vil avkjølingen bare være avhengig av forholdet B/Q.

Avkjølingen av vannet og derved isproduksjonen er proporsjonal med bredden av elva og omvendt proporsjonal med vassføringen.

Det er å bemerke at på visse strekninger i våre elver kan også grunnvannstilførselen og oppvarmingen som skyldes fallenergien ha en viss betydning. Dette må alltid undersøkes spesielt.

Det er alltid en viss sammenheng mellom vassføring, tverrsnitt og strømhastighet i åpen elv. Iskontorets undersøkelser viser at midlere strømhastighet er tilnærmet proporsjonal med kvadratroten av vassføringen, nemlig:

$$V_m = k \cdot \sqrt{Q}$$

Koeffisienten k er avhengig av fallforhold og av elvebunnens beskaffenhet.

Framstilles for forskjellige vannstander H elvas tverrsnitt F som funksjon av vassføringen Q med skala for $\sqrt[n_1]{F}$ langs den ene og $\sqrt[n_2]{Q}$ langs den andre aksen, fåes en rett linje. Som regel kan en få brukbare resultater ved å sette $n_1 = 2$ og $n_2 = 3$, slik at

$$\sqrt{F} = a\sqrt[3]{Q} + b.$$

På fig. B-2[4] er dette vist i en grafisk framstilling. Et slik sammenheng gir et viktig grunnlag for vurdering av hydrologiske forhold før og etter en regulering.

Isleggingen foregår alltid på et høyere vannstandsnivå enn nivået ville ha vært i isfri elv ved samme vassføring. Dette gjelder alle elvestrekninger uansett fallforhold. Forskjellen mellom vannstanden i islagt elv og vannstanden ved samme vassføring i isfri elv kalles isoppstuving.

For avløpsberegninger om vinteren må en søke å få vannstanden redusert til "isfritt nivå" ved hjelp av spesielle isreduksjoner.

Når en elv blir regulert og vintervassføringen øker, kan isforholdene bli meget forandret. Forandringene vil i høy grad avhenge av elvas fallforhold og bredden som bestemmer avkjølingsflaten. Varmeavgivelsen øker proporsjonalt med overflatearealet. På et bredt og grunnt elveparti vil en ved økt vassføring få stor økning av avkjølingsflaten. Med smalt og dypt tverrprofil vil elvas overflate derimot endres lite ved økt vassføring og varmeovergangen blir forholdsvis mindre. Isproduksjonen kan sogar bli nedsatt hvis falloppvarmingen er stor.

Generelt kan en si at under uregulerte forhold vil vassføringen som regel avta hurtig utover vinteren og derved vedres betingelsene for islegging.

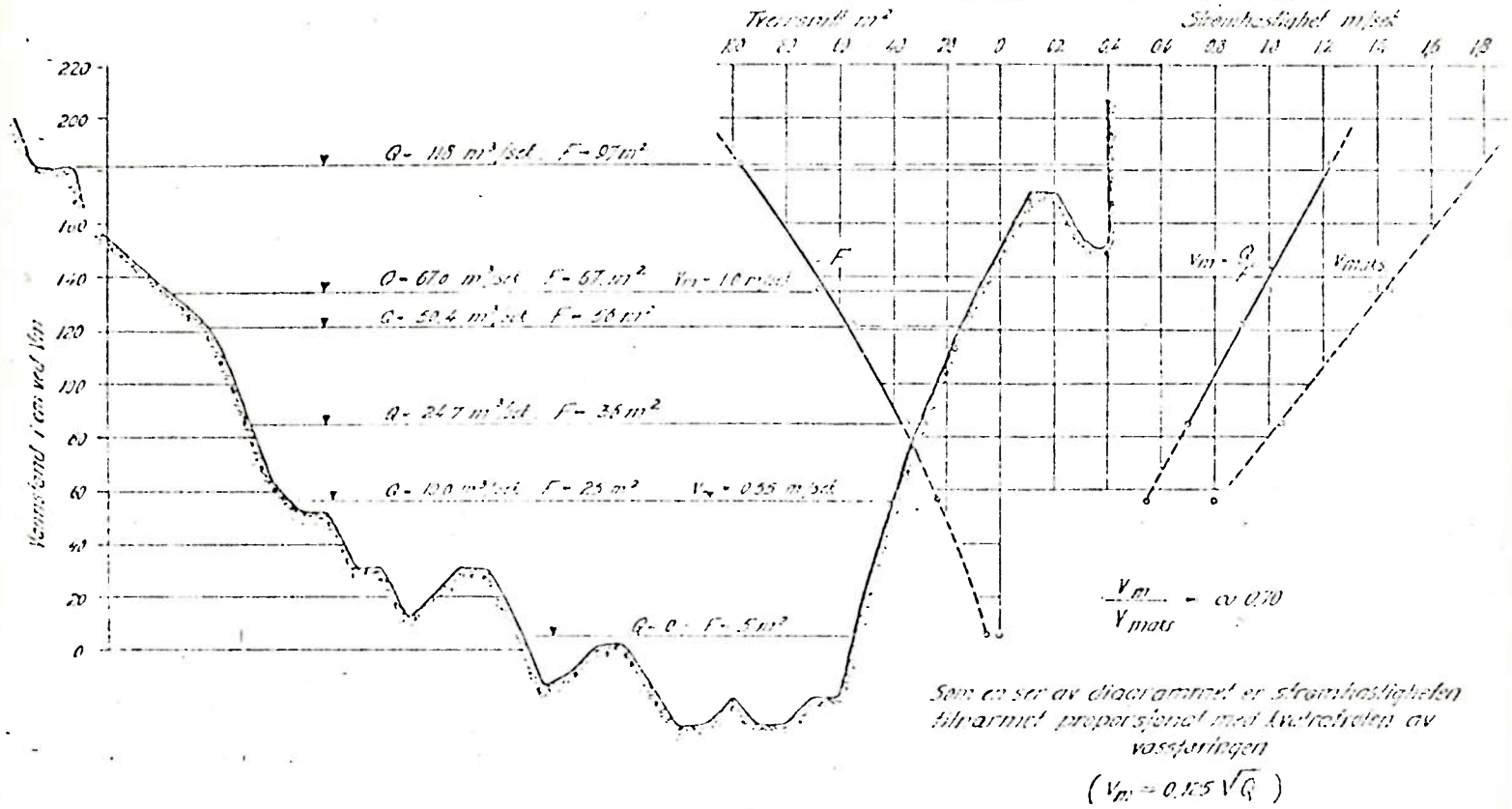
En regulering vil øke vintervassføringen og derved strømhastigheten. Den naturlige opptrapping vil delvis forsvinne noe som fører til større gjennomførende sarrdrift og senere islegging. En sterk regulering kan jamvel føre til at elva blir gående åpen hele vinteren igjennom.

Fig. B-24

NVE diag. 040

BARDUELV ved SETERMOEN

Sammenheng mellom
VASSFØRING, TVERRSNITT og STRØMHASTIGHET
etter målinger i ishfri elv ca 100 m nedf. Vm

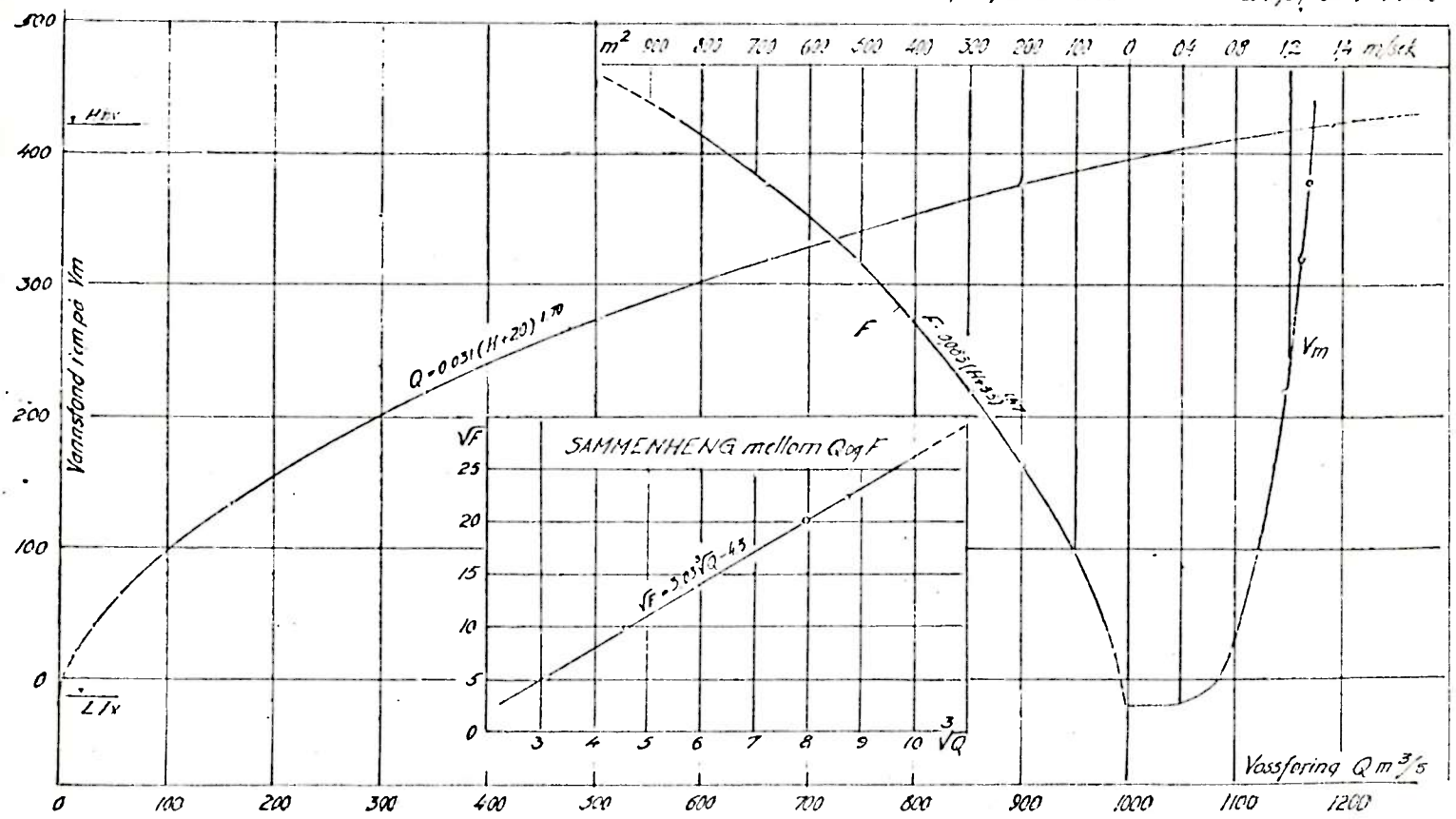


Som ca sett av diagrammet er strømhastigheten tilnærmet proporsjonal med kvadratroten av vassføringen

$(V_m = 0.105\sqrt{Q})$

MÅLSELV ved MALANGSFOSS Vm

VASSFØRINGSKURVE
med eksempel på utvidelse av denne ved hjelp av F-kurve



Et varmetap på t. eks. 80 kcal/daa, s svarer til at det produseres 1 kg is pr. daa pr. s sålenge elva går åpen, dvs. 86400 kg is pr. daa pr. døgn, altså en mget stor ismengde.

Erfaringer fra Namsen, Nea, Begna, Hallingdalselva og andre regulerte vassdrag viser at en økt vassføring kan produsere store ismengder som avleires i elveleiet. Disse kan forårsake oppvatninger, utgravning av elvebreddene og ofte isganger av skadevirkende omfang.

Eksempler på akkumulerte ismengder i Nea ved Selbu, se fig. B-2[5].

I strie elver starter isproduksjonen med sarr- og bunnisdannelse, såkalte kjøving. Elveleiet fylles etter hvert med avleirede og sammenpakkede ismasser inntil en stabilisering med en vannstand nær flomvannstand.

Fig. B-2[6] viser en skjematisk framstilling av isforholdene i Glomma ved Tolga etter reguleringen av Aursunden.

Observasjonene viser at vinterens første store isproduksjon i det vesentlige er betinget av meteorologiske forhold og bare i mindre grad av vassføringens størrelse. Tapping fra magasiner som øker vintervassføringen vil imidlertid føre til en senere stabilisering av isforholdene nedenfor og derfor totalt til en både større og mer langvarig isproduksjon.

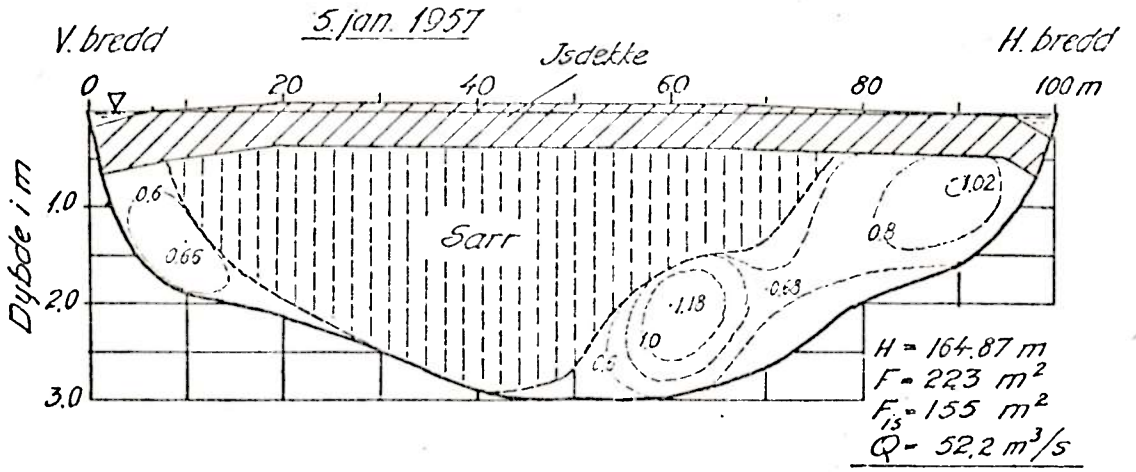
Etter at isforholdene har stabilisert seg, vil vannstanden synke inntil isoppstuvingen nærmer seg en nær konstant verdi. En forsiktig øking i tappingen på dette tidspunkt, vil føre til bare en mindre forandring i oppstuvingen.

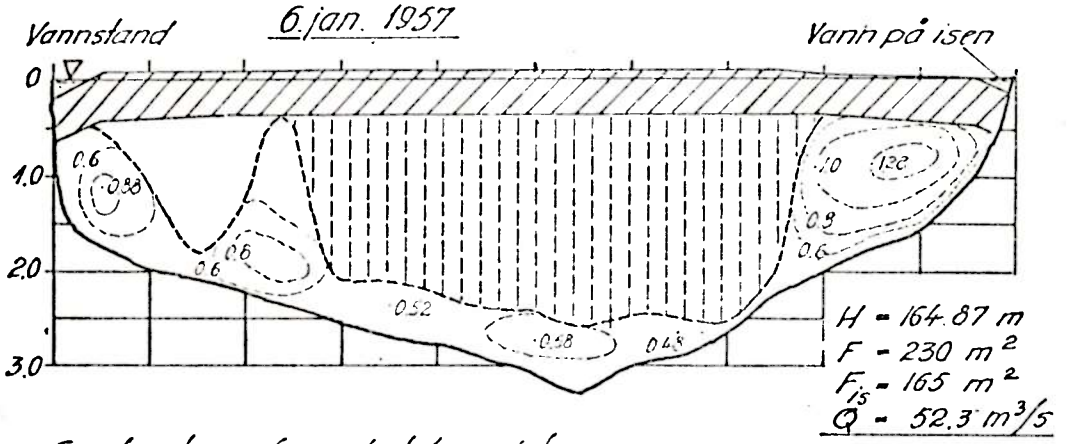
Isdammer er bygget opp av løst materiale (sarr- og bunnis) og er ofte dårlig festet til underlaget. Inntrer noen forandringer, t. eks. øket vassføring eller bare væromslag, ken en slik isdam briste eller løsne. Det oppmagasinerte vann får da avløp, bryter ned de nedenforliggende isdammer, og starter en isbølge. En isbølge som kommer i gang på denne måten, i en kuldeperiode og med stor isproduksjon, kalles for vinterisgang (kaldflo) i motsetning til vårisgang, som står i forbindelse med regn og snøsmelting.

Etter isgangen ligger elva åpen igjen, og det samme spillet kan gjenta seg. I ugunstige tilfeller kan da en stri elv bli gående åpen hele vinteren, til tross for sterk kulde. Stor isproduksjon er da uunngåelig.

Erfaringer viser at en hurtig øking av vintertappingen fra magasiner, eller variasjoner i belastninger fra en kraftstasjon, kan være årsak til kaldflo.

IS- OG STRØMHASTIGHETSMÅLINGER I NEA VED SELBU.





Sarrbankene forandret hovedstrømmen under isen i løpet av kort tid.

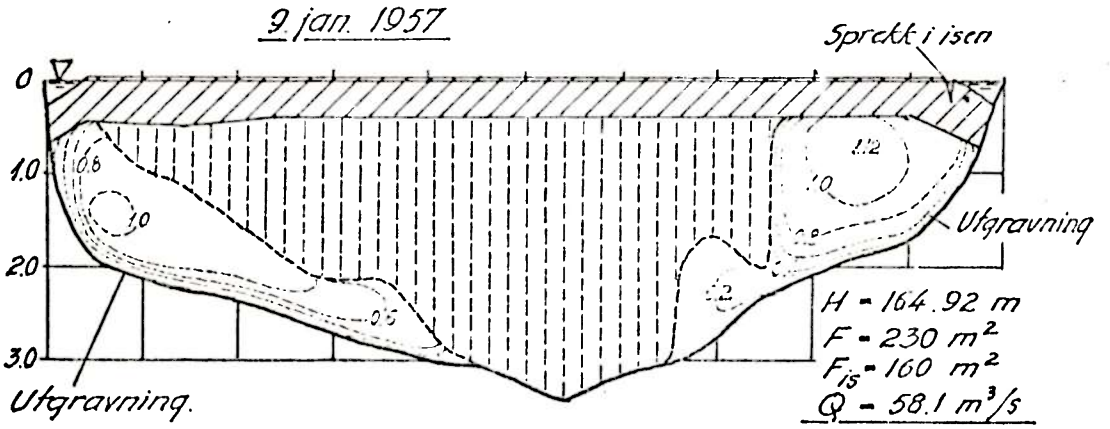
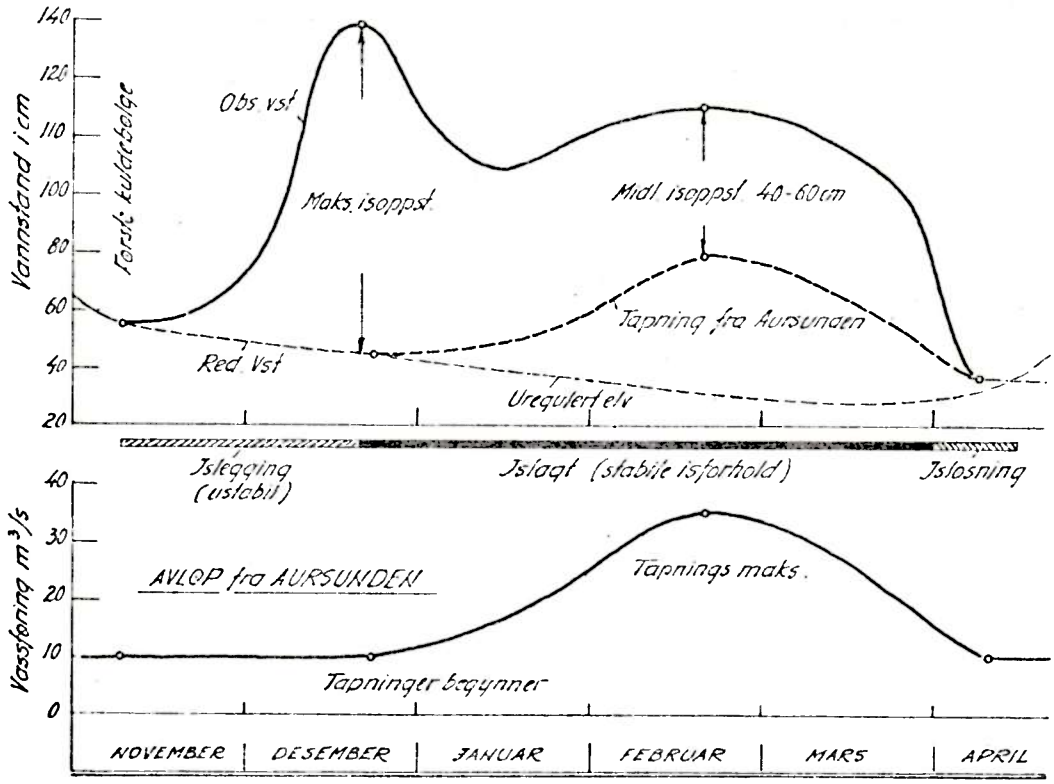


Fig. B-26

SKJEMATISK FRAMSTILLING AV ISFORHOLDENE I GLOMMA VED TOLGA
etter observasjoner ved Erli bru og Hommelvoll vannmerker i tidsrommet 1936–68.



Merknad: Isgangene i Tolgastrykene starter vanligvis nedenfor de ovenfornevte vannmerker og isforholdene i forbindelse med isganger kommer derfor ikke til uttrykk i denne skjematiske framstillingen. Det kan nevnes at f.eks. der isganger stopper kan isoppstuingen komme opp i det flerdobbelte av det ovenfornevnte middelverdi.

3. Elvestrekninger med redusert vassføring

En reduksjon av vassføringen i en elv fører vanligvis til tidligere islegging enn før, fordi det er en mindre vannmengde som skal avkjøles og fører også til at vannhastigheten blir redusert. Den totale isproduksjonen i løpet av vinteren vil derfor bli mindre og stabilisering av isforholdene vil foregå raskere.

Dersom elveleiet er slik at vannet renner bare som et tynt skikt over elvebunnen, kan det forekomme bunnfrysing i større grad enn før. Dannelse av svellis (stevling) fra grunnvann og bekker kan skaffe enkelte problemer: nedising av lavtliggende områder, forstyrrelser av vannforsyning og andre ulemper, særlig i snøfattige vintre.

Andre inngrep som kan føre til økt kjøving og svellisdannelse, er opprensking eller utvidelse av elvebunnen, utslipp av kjølevann fra industri o. a.

Som eksempler av slike ulemper kan nevnes: Stevling i Rukkedøla ved Nesbyen de to første vintrene etter utbyggingen av Nes kraftverk og i Sevilla gjennom Sevildalen, etter utbygging av Sevilla kraftverk p. g. a. redusert vassføring. Isvansker i Hitterelva ved Røros etter opprensking og utvidelse av elveløpet. Isproblemer i Hemsila ved Hemsedal, og i en bekk ved Vågåmo forårsaket ved utslipp av kjølevann fra meieri.

Som tiltak for å redusere avkjølingen i en elv og dermed minske isproduksjonen, kan en innsnevring av det vassførende løp på de kritiske elvestrekninger anbefales. En reduksjon av bredden til t. eks. det halve, vil da også redusere isproduksjonen til ca. det halve ved samme meteorologiske forhold og vassføring. Dette kan foretas på flere måter.

Består bunnen av et forholdsvis tykt dekklag av grovt materiale, kan noe av steinene legges opp som sidevoller og således innsnevre det vassførende løp. Slik innsnevring er foretatt i Festa ved utløpet av Gjevilvatn med godt resultat.

Det må nevnes at dekklaget må aldri fjernes helt fra noe sted i elveleiet da dette kan føre til erosjon av det finere materialet under. En graving i elveløpet er derfor risikabelt.

Framskynning av isleggingen ved bygging av lave grunndammer (terskler) kan også anbefales. Vannet demmes da opp på passende steder og beskyttes derved mot bunnfrysing.

Dammene kan være av ulik konstruksjon, fra rene betongdammer til enkle stein- eller grusrygger. Hvilken type som bør velges, avhenger av forholdene, t. eks. av tilgangen på byggmateriale og hensikten med dammen.

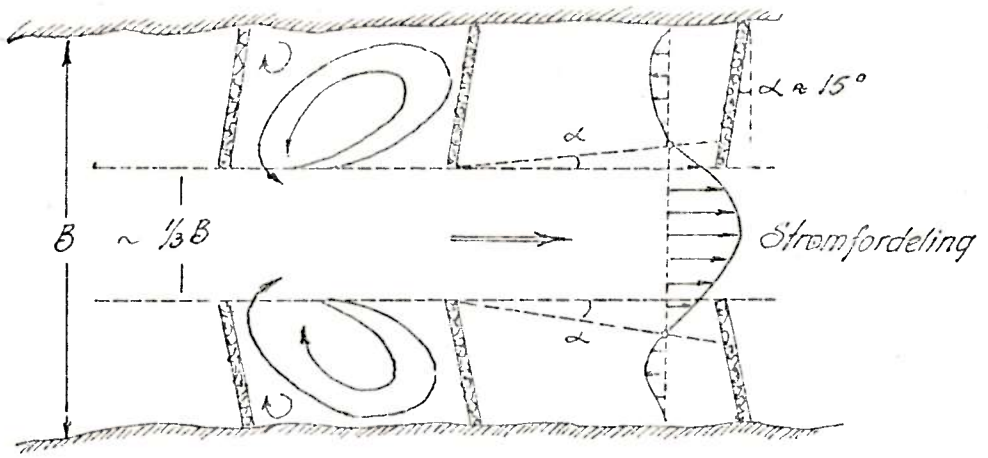
Hvis elveløpet varierer mellom vide, slake områder, naturlige innsnevringer og mindre stryk, er bruk av grunndammer passende. I en elv med stort fall vil virkningen være begrenset til bare en meget kort strekning ovenfor.

Ofte vil en hensiktsmessig kombinasjon av ovennevnte tiltak være fordelaktig.

På elvestrekninger med isganger er det viktig å få stabilisert isforholdene hurtigst mulig. Etter nærmere studium av vinterforholdene i Pasvikelva og en rekke elver på Østlandet, kan følgende tiltak nevnes:

Bygging av en rekke issperrer av steingjerder, krakker, ferdigstøpte betongblokker eller annet materiale som vist på prinsippskissen fig. B-3[1].

Fig. B-3'



Mer om dette se NVE, Hydr. avd. rapport nr. 3/69. Isproblemer i Pasvikelv ved Hestefoss vintrene 1966-67 til 1968-69.