

Dr. Olaf Devik.

Løpenr. 2

Om innflytelsen av Aursundreguleringen på Glommas isforhold
i Tynset-Alvdal.

Innhold.

1. Vassdragets fallforhold.
2. Vannføring og vannhastighet i regulerte vassdrag.
3. Varmetap og varmetilførsel i et vassdrag. Isproduksjon.
4. Betingelser for isdannelse. Forskjellige typer av islegging og isproduksjon. Isganger.
5. Islegging av sjøer.
6. Oppvatning.
7. Innflytelse av regulering på overvatning. Forholdene i Tynset-Alvdal.
8. Oversikt over isganger i Glomma (og Trysilelven) i 1923-45. Isgangene i Tolga.
9. Sarmålinger i Tynset-Alvdal 1954.

1. Vassdragets fallforhold.

Da isforholdene på et bestemt strøk av et vassdrag ikke bare er avhengig av fallforhold og tverrprofil på vedkommende strøk, men i høy grad også av forholdene i det nærmest ovenfor liggende strøk, skal jeg først kort gjennomgå Glommas fallforhold fra Aursunden til Tynset. Grunnlaget er Vassdragsvesenets lengdeprofil av Glomma, og rektangelkartene, hvor bredden av elveløpet er blitt utmålt.

Etter min avhandling^{x)} i Geofysiske Publikasjoner gjengis følgende tabell over noenlunde jevne partier hva fall og bredde angår:

x) Geofysiske publikasjoner Vol. IX, no. 1, Oslo 1931. (Undersøkelser over isdannelse i vassdrag).

Nr.	Avst. fra Aursunden i km	Lengde km	Bredde m	Fall m/km	
1	0 - 4,3	4,3	80	14,4	
2	4,3- 7,8	3,5	90	0,09	
3	7,8- 9,2	1,4	110	2,0	
4	9,2-19,2	10,0	104	0,02	
5	19,2-22	2,9	106	2,6	
6	22 -28	6,0	108	0,012	
7	28 -29	1,0	100	2,75	
8	29 -31	2,0	95	3,3	Røros E-verk 29 km
9	31 -35	4,0	98	1,66	
10	35 -39	4,0	105	0,19	
11	39 -42	3,0	113	1,89	
12	42 -54,5	12,5	72	6,5	Tolga bru 49,6 km
13	54,5-56	1,5	80	3,2	
14	56 -65	9,0	113	1,53	
15	65 -85,5	20,5	95	0,08	Tynset jbst. 73 km

Man ser at fallet er svært ujevnt fordelt. Like etter utløret av Aursunden passerer Glomma et fall på ca. 60 m over en strekning på 4,3 km (seksjon nr. 1), og så kommer avvekslende stille-strøk og små fall til det store fallstrøk i Tolga kommer (seksjon 12). Det etterfølges av mindre fall som går over i stille-strøket i Tynset (og Alvdal). I strykene i Tolga er det samlede fall ca. 110 m over en strekning på ca. 26 km. Det sterkeste fall er på seksjon 12.

Før denne siste fallstrekning begynner har vannet i Glomma passert ca. 40 km fra Aursunden, og som det vil fremgå av avsnitt 3 nedenfor, er avkjølingen i den egentlige vintertid så betydelig, at den overtemperatur som vannet fra Aursundens magasin måtte ha, vil være fjernet lenge før det når ned til fallstrekningen i Tolga. Varmeutviklingen i dette fall på 110 m som svarer til en temperaturøkning på 0,26°C vil imidlertid kunne få særlig betydning i perioder med lufttemperatur omkring eller over 0°C.

Et annet forhold er av større betydning for isproduksjonen på denne fallstrekning og for Glommas isforhold i Tynset og Alvdal, og det er størrelsen av de arealer hvor elven blir gående åpen og forårsaker en produksjon av sarr som føres videre nedover elven. Før jeg går nærmere inn på dette skal jeg imidlertid i de følgende avsnitt gjøre rede for enkelte ting som spiller en særlig stor rolle for isproduksjonen og isforholdene i et vassdrag, og behandler da først vannhastighetens betydning.

2. Vannføring og vannhastighet i regulerte vassdrag.

Vannhastigheten i en isfri elv avhenger av elvens fall, elvebunnens beskaffenhet (som betinger friksjonen), elvens bredde og middeldybde, og av vannføringen. Vassdragsvesenet foretar direkte målinger av vannhastigheten ved sine faste vannmerker, til kontroll ved vannføringskurvene, som gir sammenhengen mellom avlest vannstand og vannføring på vedkommende målested (ved isfri elv). Hvor man ikke har direkte målinger er man henvist til å bruke erfaringsformler, som f.eks. er behandlet i Deviks foran nevnte avhandling om isdannelse i vassdrag. Devik har også særskilt behandlet beregning av vannhastighet i isdekt elv eller i elv som er fylt av sarr, på grunnlag av observasjonsmateriale fra Gøta elv i Sverige.

Det kan være av interesse å nevne at ifølge Deviks tabeller for isfri elv vil vannhastighetens økning med økende vannføring i høy grad være avhengig av hvordan bredden forandres når vannføringen øker. I våre elver er det gjerne så at det veksler mellom trange partier med steile bredder, og bredere partier hvor elvebunden skrånner oppover fra det dypeste parti til begge sider. Hvis t.eks. elven har loddrette sider, så vil f.eks. en økning av vannføringen med 50% gi 20% økning av vannhastigheten. Men hvis bredden øker i samme forhold som vannføringen, vil vannhastigheten bli uforandret om vannføringen øker med 50%.

I en isfri elv møter vannet under sitt løp bare friksjon mot bunnen. Hvis elven islegges, blir det også friksjon mot istaket, og hvis samme vannføring skal føres frem, blir vannhastigheten mindre. Dette krever da et tverrsnittet blir større, d.v.s. under uforandret vannføring vil en elv islegges på høyere vannstand enn den som isfri elv har ved samme vannføring.

Hvis vannet fører sarr, blir det mindre lettflytende enn rent vann -- suppe flyter som bekjent langsommere enn vann -- og ved konstant vannføring vil vannhastigheten nedsettes. Om elven er åpen, vil vannstanden heves så lenge elven fører sarr (ved konstant vannføring) og hvis elven er islagt, vil noe av det sarrførende vann måtte finne veien over isdekket som overvann. Det er altså ikke nødvendig at det skjer en tilstopping av løpet under isdekket for at det skal komme overvann på isen, det kan også inntre hvis sarrproduksjonen i elven tiltar på grunn av strengere kulde. Det kan derfor være vanskelig å si, om det i et gitt tilfelle foreligger oppsamling av sarr under isen eller ikke, når det kommer overvann ved streng kulde.

Oppsamling av sarr under isen er en prosess som er helt lik avsetning av grus og sand på elvebunden - man kunne godt tale om en "nedøring" av sarr under isen på samme måte som man taler om en "oppøring" av sand på bunden. Det kan bli "sarrbanker" under isen, hvor vannhastigheten er nedsatt, og vannet kan føres fram gjennom strømførende løp som ligger annerledes enn i isfri elv. Dette er, som vi skal omtale senere, en av grunnene til at det kan bli råker på uvante steder, når sarrmøsser i større utstrekning er blitt avleiret under et isdekke.

En elvs transportevne for grus og sand er som bekjent desto større jo større vannhastigheten er, og det samme gjelder for pakkis og sarr. Erfaringen viser at det vanlige sarr som driver i overflaten av en åpen elv ved kulde er tilbøyelig til å dukke under en iskant hvis vannhastigheten er større enn ca. 0.8 m/sek. Denne grensehastighet har meget å si for oppbyggingen av et sammenhengende isdekke på en elvestrekning hvor fallet er betydelig.

3. Varmetap og varmetilførsel i et vassdrag. Isproduksjon.

Islegging av vassdrag og innsjøer om vinteren er resultatet av en sammensatt varmeutveksling mellom vann og luft hvor varmetapet fra overflaten skjer ved

1. varmestråling (usynlig) mot atmosfæren, skyene og verdensrommet.
2. Fordunsting.
3. Kontakten med den kaldere luft (konveksjon)

Varmestrålingen foregår uavletelig, og er sterkt avhengig av skydekket. Den er størst ved klart vær. Utstrålingen gir i klart vær et stort bidrag til varmetapet.

Varmetapet ved fordunsting er avhengig av vannets og luftens temperatur og av fuktigheten og vindhastigheten.

Varmetapet ved kontakt med luften er avhengig av vannets og luftens temperatur og av vindhastigheten.

Beregningen av varmetapene 1-3 kan skje på grunnlag av Deviks formler (jfr. Geofysiske Publikasjoner Vol. IX, Nr.1,1931), men vi skal her bare gjengi et par typiske tall som er hensiktsmessige for overslagsregninger over varmetap ved sterk og ved middels kulde. Ved sterk kulde (f.eks. lufttemperatur omkring $\div 20^{\circ}$, svak bris og klart vær) er varmetapet fra åpent nullgraders vann eller tynn is:

ca. 100 kilokalorier pr. sek. pr. dekar.
(dette svarer til 36 cal./cm^2 , time)

Ved middels kulde (f.eks. lufttemperatur omkring 7 & 8 kuldegrader, stille klart, eller ved samme temperatur, men overskyet og løber bris) er varmetapet fra åpent nullgraders vann eller fra tynn is

ca. 50 kilokalorier pr. sek. pr. dekar.
(dette svarer til 18 cal./cm^2 , time)

En varmemengde på 1 kilokalori er den varmemengde som 1 kg. vann avgir når det avkjøles 1 grad. For å fryse 1 kg. is kreves det 80 kilokalorier, og vi ser av tallene ovenfor at ved sterk kulde vil det kunne produseres $100:80=$ 1,25 kg. is pr. sek. pr. dekar. Dette er meget betydelige ismengder, således blir det for døgnet 125,000 kg. is pr. dekar, når vannet er åpent, holder null grader, eller når det bare er tynn is. Et stryk som går åpent er derfor en effektiv produsent av sarr, som delvis vil avleires på stedet, og delvis føres videre med strømmen til roligere strøk.

I stillestående eller langsomt flytende vann vil det snart bli dannet et sammenhengende isdekke hvorfra varmetapet til luften er praktisk talt det samme som fra vann så lenge isdekket er tynt. Men etterhvert som det vokser i tykkelse vil isens overflate bli kaldere og kaldere og varmetapet vil avta. Isdekket vokser derfor langsommere og langsommere jo tykkere det er blitt.

Aller sterkest til å nedsette varmetapet og dermed isveksten virker et snøfall. Blir snøen liggende som et dunteppe på isen, blir snøoverflaten fort omtrent like kald som luften over eller kaldere, og varmetapet nedsettes til en brøkdel eller forsvinner. I dette tilfelle kommer de forøskjellige slags varmetilførsler til å gjøre seg gjeldende og isen kan begynne å tøres på undersiden, særlig på partier hvor vannhastigheten er størst.

Den sterke innflytelsen av snøfall på varmetapet fra et isdekke gjør at det er nødvendig å ta hensyn til nedbøren like meget som til temperaturen når det gjelder å beregne tilnærmet varmetap og isproduksjon i et vassdrag. Det er mest hensiktsmessig å bruke ukesmidler, eller fem-døgns-midler (pentader) som Meteorologisk Institutt nå etter hvert offentliggjør for temperatur og nedbør.

Sett f.eks., at det under en innledende kuldeperiode legger seg et jevnt isdekke på ca. 10 cm, hvorpå det kommer et mildvær som stopper veksten og direkte tærer på isen. I dette tilfelle ville det være noenlunde brukbart å regne med middeltemperaturen i tidsrommet.

Men hvis det etter kuldeperioden kom et snøfall før mildværet satte inn, ville mildværets virkning bli sterkt redusert. Og ble snølaget gjennomtrukket av vann, ville det snart fryse når det igjen ble kaldt. I virkeligheten er det ofte slik, at den sterkeste isvekst får vi etter et mildvær, når snøblandet overvann fryser.

For en bedømmelse av isforholdene må en derfor stadig holde seg for øye vinterens forutgående historie både hva temperaturforhold og nedbørforhold angår. Og under dette må man også stadig huske på at den ismengde som etter hvert blir deponert i et vassdrag vil dempe innflytelsen av inntredende omslag til mildvær.

Varmetilførsel til et vassdrag er:

1. Varmetilskudd fra et magasin hvor tapningsvannet har temperatur over null.
2. Innstråling fra sol og dagslys.
3. Varmetilførsel på grunn av at fallenergien (Vannkraften) omsettes i varme.
4. Varmeledning fra elvebunnens materiale, hvor varme fra sommertiden er opsamlet og avgis etter hvert utover vinteren.
5. Tilførsel av varmere grunnvann.

Ad pkt. 1, varmetilskudd fra magasin med temperatur over null.

Vi skal belyse dette ved et eksempel. Har vannet ved utløpet av magasinet en temperatur på 1°C , og er vannføringen $1 \text{ m}^3/\text{sek}$, må det fjernes 1000 kilokalorier pr. sek. for å avkjøle vannet til 0°C . Ved sterk kulde vil det da trenge en kjøleflate på $1000 : 100 = 10$ dekar åpent vann for å gi en slik avkjøling. Ved middels kulde ville det trenge 20 dekar.

For mange overslag er det mest hensiktsmessig å regne ut hvor stor åpen kjøleflate det vil trenge for å senke temperaturen av vannet $0,1^{\circ}$ ved forskjellige vannføringer, og ved middels, henholdsvis sterk kulde. Vi får da følgende enkle tabell:

For å senke temperaturen av strømmende, åpent vann en tiendedels grad, trenge en kjøleflate ved middels kulde

vannføring	$1 \text{ m}^3/\text{sek}$	2 dekar
"	10 "	20 "
"	25 "	50 "
"	50 "	100 "

ved sterk kulde:

vannføring	1 "	1 "
"	10 "	10 "
"	25 "	25 "
"	50 "	50 "

Ved kjøleflate menes her åpent vann av null grader, utsatt for det varmetap som svarer til middels, henholdsvis sterk kulde. Det kan godt omregnes til en sammensatt flate, som består av en isflate pluss en åpen vannflate, hvor varmetapet fra isflaten er en (kjent) brøkdel av varmetapet fra den åpne del av flaten. Dette må man også

gjøre ved en nøyere vurdering, men for en illustrerende oversikt er det nok å regne med en åpen kjøleflate, som gir enkle tall å regne med.

Ad. pkt. 2. Innstråling fra sol og dagslys.

Denne varmetilførsel er ennå av stor betydning sent på høsten eller tidlig på vinteren, men avtar raskt mot vintersolverv, og tiltar så igjen på ettervinteren. I midten av mars vil etter Deviks beregninger innstrålingen i gjennomsnitt for døgnet gjennom en isflate (Østerdalen) være steget til:

i klarvær ca. 30 kilokalorier pr. sek. pr. dekar.,
i overskyet vær ca. 8 " " " " "

Sammenlikner man disse tall med varmetapet ved middels, og ved streng kulde vil man se at innstrålingen vil bli mer og mer virksom på ettervinteren og dertil kommer den varmetilførsel som fåes når luftens temperatur går over null.

Sammenfattende kan man si, at når kulden setter inn i begynnelsen av vinteren i november - desember, vil varmetapet være dominerende og starte oppsamlingen av is i væsdraget, dels som bunnis og oppstuede sarr- og ismasser, dels som mer eller mindre jevnt isdekke. Og når vi er kommet til ettervinteren i mars-april vil etterhvert varmetilførselen bli dominerende.

Ad. pkt. 3. Varmetilførsel på grunn av fallenergien.

Denne varmeutvikling spiller bare en rolle der hvor elven går i stryk eller foss. Det skal et samlet fall på 427 m for å gi en varmeutvikling som ville ha hevet temperaturen av vannet 1 grad hvis ingen andre varmeprosesser fant sted. Vi får således at

et samlet fall på 10 m	svarer til en oppvarming på	0,02°
50 m		0,12°
100 m		0,24°
200 m		0,47°
400 m		0,94°

Den temperaturstigning som man på den måten finner for en gitt fallstrekning, kan man regne med på nøyaktig samme måte som med temperaturen av magasintilskudd, og finne den nødvendige kjøleflate (jfr. 1 ovenfor). Denne kjøleflaten må man da tenke seg fordelt over fallstrekningen, eller hvis dette skulle være utilstrekkelig, vil det kreves også noe nedenfor fallet.

Det bør føyes til som en alminnelig bemerkning at Deviks formler over varmetap fra overflaten av en elv gjelder for moderate vannhastigheter. Det er imidlertid sannsynlig at varmetapet er endel større i slike tilfelle hvor vannet går i stryk eller foss, så berøringen mellom vann og luft blir mer effektiv. På den annen side har stryk og fosser ofte steile dalsider på sidene, så strålingen mot atmosfæren blir innsnevret. De varmetap som formlene gir må derfor bare betraktes som tilnærmete.

Ad. pkt. 4. Varmeledning fra bunnen, tilførsel av varmere grunnvann.

Varmetilførselen fra bunnen er av helt underordnet betydning. Derimot kan enkelte steder tilførsel av relativt varmt grunnvann gjennom sand- og grusbanker svekke isen langs land og gi opphav til smale lændråker.

4. Betingelsene for isdannelse. Forskjellige typer av islegging og av isproduksjon. Isganger.

De fleste vil ha lagt merke til hvordan vannpytter trekkes over av is i stille kaldt vær. Isen trekker seg ikke over som en ensartet hinne, men den skyter ut fra punkter på kantene og fra punkter i overflaten som et nettverk dannet av isbjelker, nåler, stjerne- eller fjærformete figurer osv., og i mellomrommene vil vannet være åpent en tid før også de dekkes av is.

Jeg har hatt anledning til å måle temperaturen i den allerøverste overflatehinne i stillestående vann. Umiddelbart før de første isnåler begynner å krystallisere, og målte en underkjøling helt ned til $-1,4^{\circ}$.

Når åpent vann er i bevegelse og røres om, som i en strømmende elv vil overflaten bli underkjølt, men underkjølingen bli meget mindre fordi overflate- laget ikke får ligge i ro, men føres ned og blandes med vannlagene under. Til gjengjeld kan hele elvens vannmasse bli underkjølt, og det er ikke særlig vanskelig å påvise med et tilstrekkelig fint termometer at elvevannet kan underkjøles flere hundredels grader tvers igjennom. (Før man setter termometeret ned i vannet må det være varmet opp litt over null, for at det ikke skal legge seg en iskappe over termometerkulen når den stikkes ned i vannet.)

I virkeligheten innledes alltid frysning av åpent vann med at vannet blir litt underkjølt, og grunnen er at vekst av iskrystaller krever som utgangspunkt enten en fri kjerne av fast stoff eller det faste stoff i strandens eller bunnens materiale.

På stille-partier av elver hvor vannet strømmer langsomt, vil det således forut for dannelsen av det første isdekke gå en viss underkjøling av det allerøverste vannlag som grenser mot luften. Men der hvor et sammenhengende isdekke har dannet seg, vil isen på undersiden ha en temperatur på 0° hvor den grenser mot vannet, og enhver underkjøling av vannet under isen er deretter utelukket. Derimot blir isens overflate mot luften avkjølt under null, og varmetapet gjennom isen fører til at vann fryser på undersiden av isen, som vokser jevnt i tykkelse.

Islegging av denne typen med et jevnt eller noenlunde jevnt isdekke er regelen når vannhastigheten er liten, opp til noen desimeter pr. sek., hvilket svarer til et fall som er under 0,5 a 1 m/km.

(Islegging av sjøer skal bli kort omtalt i avsnitt 5.)

Anderledes blir det i en elv hvor vannet strømmer så raskt at vannlagene blandes effektivt med det (litt) underkjølte overflatelag når det av strømvirvlene føres nedover. Her vil det være muligheter for at isvekst kan foregå ikke bare i overflaten, men starte

fra fritt svevende faste kjerner i vannet eller fra bunn eller strandkenter. Det er i virvlende og åpent vann at det blir betingelse for dannelselse av drivende sarr og bunnis, og dermed for den sammensatte isleggingsprosess som er så karakteristisk for isleggingsperioden i de fleste av våre vassdrag.

Man kan som en vanlig regel si. at produksjonen av sarr og bunnis i åpne elvepartier vil bli overveiende ved vannhastigheter over en halv meter pr. sekund, hvilket svarer til et fallet overstiger 0,5 a 1 m/km.

På slike strøk, med fall opptil 2-4 m/km skjer isleggingen ved sammenpakning, dannelsen av isdemninger (isdammer) osv., slik som det er vel kjent i våre vassdrag. Jfr. målingene som er gjengitt i Isgangskommisjonens beretning av 1931; meddelelser fra Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen, V. 3., Oppvatningen i Stor-Elvdal og Os, med oppmåling av elveprofiler med islag og sarr, og måling av vannhastighet i strømførende partier.

På slike strøk må man regne med at det er en viss grensehastighet for sarr som flyter i overflaten, slik at hvis hastigheten er større vil det vanskelig dannes sammenhengende islag over elven, hvis man ikke hjelper til ved f. eks. å legge ut i elven lenser, eller busker m.v. for å bygge en isbro som kan fange opp de drivende sarr og ismasser. Ellers vil det drivende sarr skure langs iskanten på sidene og kunne føres inn under en allerede dannet iskant på nedenfor liggende strøk, hvor elvens fall er mindre. Som tidligere nevnt kan man sette denne grensehastighet til omkring 0,8 m/sek.

Man kan vanligvis regne med at på strekninger med fall 1,5 - 4 m/km vil det oftest gå åpent strømfar i stryket. På strekninger med fall 0,5 - 2 m/km hvor is-dekket er mer eller mindre sammenpakket, vil elva vanligvis skjære opp en åpen råk ut på vinteren når solstrålingen etter hvert gjør seg mer gjeldende.

I en uregulert elv hvor fallet er såpass stort at elven islegges under sammenpakning, dannelsen av isdammer, oversvømmelse av strandiser og påfølgende frysning

osv., vil som regel vannet etter en tid "skjære seg ned" og følge et strømfar, som i flatemål representerer den kjøleflate som er nødvendig for å oppveie varmeutviklingen på grunn av fallet. Dannelsen av isdammer i begynnelsen av isleggingen ga en "avtrapning" av vassdraget, som førte til en stabilisering av varmeutvekslingen mellom luft og vann. Naturen har således anvist en vei som det undertiden kan lønne seg å følge, hvis forholdene tillater det.

En slik utvikling vil i et uregulert vassdrag bli lettet ved det forhold at den naturlige vannføring avtar utover vinteren fordi tilsiget fra nedslagsdistriktet avtar inntil snesmeltingen begynner og øker tilsiget.

Avleiringen av is på en strekning hvor elven går i stryk kan foregå i forskjellig tempo på ulike fallstrekninger, under ellers like meteorologiske forhold. Er fallet så stort at elven nærmest går i småfusser blir virvlingen intens, og underkjølt vann fra overflaten føres raskt også mot bunnen på sin runddans, så dannelsen av sarr og bunnis, med oppbygging av isdammer foregår i et raskt tempo. Dette ser man i øynefallende i bratte tverrelver når kulden setter inn og elveleiet fylles til flommålet av isdammer, kjøivis og pakkis.

(Pollfoss i Otta og Harpefoss i Lågen viser karakteristiske eksempler på slik isavleiring, hvor elveleiet blir fylt under en intens isproduksjon av bunnis, sarr, isdammer og pakkis, delvis også overbygget av iskapper som dannes av vannsprøyten.)

Vannet finner da vei etterhvert i smalere løp hvor varmeutviklingen i fallet kan gjøre seg gjeldende så vannløpene "skjærer seg ned" og den fri overflate som er utsatt for avkjøling mot luften blir redusert.

I fossestrykene i Tolga fra Erlifoss og nedover har man denne prosess som den regulære form for isavleiring. Men jo mer vann elven fører desto lenger tid tar prosessen før en tilnærmet stabilisering inntreffer. Med stor

vannføring vil den før nevnte grensehastighet bli overskredet over større arealer enn ved liten vannføring, hvilket fører til at det på disse åpne partier blir en fortsatt produksjon av sarr som ikke avleires på stedet men føres videre med elven til nedenfor liggende partier med mindre vannhastighet, hvor sarret kan avsette seg. Man må m.a.o. regne med, at på en utpreget fallstrekning av denne type vil det når vannføringen er stor, foregå en isavleiring i raskt tempo i selve strykenes elveleie, men samtidig blir visse elvepartier gående åpne og fortsetter å produsere sarr som ikke avleires på stedet men føres videre nedover. Denne sarrproduksjon vil så variere med de værforandringer som etter hvert kommer, og få betydning for isforholdene på de nedenfor liggende strøk.

På strekninger hvor fallet er vesentlig mindre, men likevel stort nok til at det er en omrøring av vannet, vil isproduksjonen foregå i et langsommere tempo. Her er i alminnelighet dybden større enn i sterkere stryk, dannelsen av bunnis går langsommere og det blir langt mellom isdammene. Mange partier av Glomma har denne karakter. Også på slike partier vil en større vannføring føre til at grensehastigheten blir overskredet over større partier enn før, så de kan bli gående åpne også etter at en varig tilstand for isproduksjonen er inntrådt.

Disse ulikheter som er betinget av forskjellige fallforhold antar jeg bevirker at isproduksjonen på forskjellige strøk kan foregå til en viss grad i utakt, selv under samme værforhold, og jeg tenker meg at dette er en av grunnene til at isganger i forskjellige deler av Glomma meget sjelden foregår samtidig, som vi skal se i avsnitt 8.

Isganger representerer et avbrudd i den isleggingsprosess som jeg har behandlet i det foregående. De blir som regel utløst ved en forandring av varmetvekslingen, somme tider under sterk kulde, når temperaturen stiger en del, eller det skyer over. Da kan det i enkelte vassdrag inntre en kallfloisgang som går som

en flombølge nedover vassdraget. Eller det kan bli helt omslag til mildvær, og endelig kan det komme regn - da kan det bli en flom-isingang, som gir flombølgen. I slike tilfeller må isleggingsprosessen ta til på nytt igjen på det strøk som er blitt rensket for is.

I vassdrag hvor isganger forekommer er det særlig gjentatte isganger som kan føre til oppsamling av store ismasser med påfølgende skader.

Når en elv blir regulert, og vannføringen økes sterkt om vinteren, kan forholdene bli meget forandret. Forandringene vil avhenge av elvens fallforhold, og av bredden på elven, som bestemmer kjøleflaten. Som eksempel kan nevnes Vinstra, som før Bygdinreguleringen gikk med isganger hver vinter. Den har et trangt elveleie med stort fall fra Olstappen til Lågen, svarende til en oppvarming på omtrent 1° . Etter reguleringen av Bygdin er denne varmeutvikling tilstrekkelig til å holde elveløpet praktisk talt isfritt hele vinteren, unntatt i streng kulde, hvor det blir en del kjøving i Vinstras nedre løp. Noen betingelser for isganger fins ikke lenger.

De fleste norske isgangstrøk har imidlertid bredere elveløp enn Vinstra, og mindre fall, slik at oppvarmingen i strykene ikke blir så stor i forhold til avkjølingsflaten. Man må derfor studere en elvestreknings topografi og isleggingstype før man kan uttale noe om hvorvidt en sterk økning av vannføringen vil øke eller minske risikoen for isganger på vedkommende strøk.

Når det gjelder fallstrekingen i Tolga, viser erfaringene, jfr. avsnitt 8, at isganghyppigheten er størst i begynnelsen av vinteren, , altså før økningen av vannføringen kan gjøre seg gjeldende. Men den endrede sarr- og isproduksjon som økningen bevirker når den kommer, får likevel innflytelse på isforholdene nedenfor og da betyr gjenliggende isavleiringer etter tidligere isganger at ulempene forsterkes.

For Vinstra medførte reguleringen en viss økning av det sarrproduserende areal på det nærmeste parti av Lågen, fordi temperaturen av vannet fra Vinstra kan variere adskillig med værforholdene. Undersøkelsene fra de siste vintrene før Vinstra kraftanlegg ble tatt i

bruk viser at det til sine tider ble ført betydelige mengder sarr inn under isen lenger nedover hvor vannhastigheten er tilstrekkelig. Det er foretatt oppmåling av tverrprofiler som viser sarrmengdenes fordeling, og dannelsen av strømløp for den største vanntransport.

Disse forandringer av det strømførende løp kan føre til at det tøres smale råker på uventede steder. Hvis hastigheten på vannet blir så stor som ca. 1 m/sek., vil selv en overtemperatur på bare $0,04^{\circ}$ (etter mine iakttagelser vinteren 1952-53 i Lågen) tære på isen. Derimot vil en hastighet på noen få desimeter pr. sek. ikke gi merkbar tæring av isen selv om vanntemperaturen er omkring $0,1^{\circ}$.

Den slags dannelse av spredte råker forekommer altså på de strøk hvor sarrmasser oppsamles under isdekket.

De tall som er nevnt ovenfor om sammenheng mellom fall og isleggingsforhold er nevnt som orienterende holdepunkter, og er bare å betrakte som tilnærmete oppgaver. Således kan "grensehastigheten" variere ganske betydelig alt etter størrelsen av de iskrystaller, krystallklumper eller isstykker som føres med strømmen, og likeså etter graden av underkjølingen av vannet i overflaten. Ved sterk underkjøling vil sarr og isstykker ha lettere for å fryse fast til en hindring som f.eks. en allerede dannet iskant, slik at isdekket kan bygges opp ved oppsamling og sammenpakning, oppover elven.

Ellers bør man også huske på hva det er sagt foran, at islegging nødvendigvis må foregå på høyere nivå enn vannstanden ved isfri elv og samme vannføring. Dette gjelder både for langsomt flytende vann og for strekninger med kjøving, og det gjelder for såvel uregulert som for regulert vassdrag. Men forholdet blir vanligvis ikke så sterkt påaktet i et uregulert vassdrag fordi vannføringen her normalt vil avta når kulden setter inn og islegging begynner, så de vannstandsforandringer som skyldes selve isleggingsprosessen ikke kommer klart fram.

5. Islegging av sjøer.

Grunne sjøer blir tidlig på vinteren avkjølt i hele sin vannmasse og islegges lett.

Dypere sjøer har et stort vannvolum som skal avkjøles og det tar tid. Først må hele vannmassen være avkjølet til 4°C , og så skal de øverste vannlag avkjøles videre mens de dypeste blir i ro med en temperatur 4°C (ved denne temperatur er vannet tyngst). Men jo mer blåsende været er, desto dypere virker omrøringen av vannlagene, og desto lenger tid tar det før overflate-laget blir avkjølt til null grader, så det begynner å dannes is. Tidspunktet for islegging av dypere sjøer avhenger derfor ikke bare av lufttemperaturen, men i høy grad av vindforholdene. Hvis vinteren begynner med en rolig kuldeperiode, vil en dyp sjø kunne islegges forholdsvis tidlig og ha et forholdsvis varmt vannmagasin. Men begynner vinteren med en blåsende kuldeperiode kan det bli sen islegging med kaldere vann i vannmagasiner.

Temperaturforholdene i vannet i en dypere sjø som er islagt vil derfor avhenge av værforholdene før sjøen blir islagt. Dette får da også innflytelse på tappingsvannets temperatur, som kan variere adskillig i de forskjellige vintre.

Selve isveksten vil siden avhenge av de varmeprosesser som er behandlet i det foregående.

I de egentlige vintermånedene vil det være varmetapene som er de langt overveiende, og i dypere sjøer med betydelig tverrsnittsflate vil isveksten bli meget lite påvirket av om sjøen får tilførsel fra regulerte sjøer eller selv blir tappet i vintertiden. Det er bare i de partier av sjøen hvor tverrsnittet blir innnevret at en merkbar omrøring av vannlagene under isen finner sted og bringer varme opp som reduserer isveksten eller tiner allerede dannet is. Dette gjelder først og fremst for innløps- og utløpsos, og ellers for de smale og grunne partier av sjøen. I sjøer med stor regulerings høyde kan strømningsforholdene på enkelte steder bli vesentlig forandret etter som sjøen nedtappes, så at visse partier som har sikker is ved høy vannstand blir usikre ved lav vannstand.

Et forhold som her spiller en rolle på ettervinteren er solstrålingen (jfr. foran) som trenger gjennom isdekket og varmer opp vannlagene, så det blir mindre stabilitet slik at meget små bevegelser kan føre varmere vann opp til isflaten og tære på den. Dette vil gjøre seg mest gjeldende på de smale og grunne partier i sjøen.

Ellers må man også være oppmerksom på den store rolle som snøfall spiller for isveksten, dels fordi snøen isolerer så godt mot varmetan, og dels fordi snøbelastningen kan føre til at vann trenger opp på isen. Det som blir nærmere omtalt i avsnitt 6 om oppvatning i elver på grunn av snøbelastning gjelder også for sjøer.

6. Oppvatning.

Under selve isleggingsprosessen i begynnelsen av vinteren er oversvømmelse av strandiser og allerede islagte elvepartier en regulær prosess som bl.a. henger sammen med den økte friksjon, som er blitt diskutert i ~~forrige~~ avsnitt 2. Liknende forhold kan lokalt også inntreffe senere på vinteren etter lengere mildværsperioder, når partier med forholdsvis stort fall er blitt åpne og isleggingen her så å si må begynne på nytt når kulden atter kommer.

De strøk av elven hvor isen legger seg jevnt har størst praktisk betydning og her er det følgende forandringer som har betydning for eventuell oppvatning.

1. Jevn økning av vannføringen. Dette kan komme ved øket tilskudd fra magasinene, leilighetsvis også ved øket tilsig på grunn av mildvær og regn. På brede partier av elven hvor vannet flyter langsomt vil isdekket flyte på vannet, og en heving av vannstanden vil føre til at isen sprekker langs land, hvor det da kan bli overvann. Vanligvis vil det hurtig fryse til igjen.

2. Lokalt varierende vannføring. De variasjoner som forekommer lokalt uavhengig av endringer i tanning fra magasinene kan dels skyldes forandringer i det naturlige tilsig i nedslagsdistriktet for elven ovenfor det sted vi betrakter, og dels forandringer i

vannføringen som skyldes forendringer i isforholdene. Ved værforendringer, både ved omslag til sterk kulde og ved omslag til mildvær vil produksjonen av sarr eller løsing av sarr gi opphav til lokale innsnevninger av vannløpet under isen, og vannet må på slike steder finne vei over isen.

Alle åpne elvepartier med stryk vil kunne forårsake slik oppvatning på nedenfor liggende islagte strekninger. Da vannføringen etter et tappingen begynner om vinteren vil ligge betydelig høyere enn den uregulerte vannføring (jfr. kurvematerialet som er lagt fram) vil det bli større sarrproduserende åpne partier enn før, og oppvatning som skyldes den her nevnte lokalt varierende vannføring blir derfor økt ved reguleringen, --- grovt regnet skulle man anta omtrent i samme forhold som tilskuddene i den daglige vannføring.

Det må imidlertid betones at det er de meteorologiske forholdsveksling som først og fremst er årsak til de lokalt opptredende innsnevninger av vannløpet.

3. Snøbelastning. Et isdekke som flyter på vann har en bæreevne som svarer til 9% av den is som er under vann. Faller det snø som veier mer enn 9% av isdekket, vil isen trykkes ned under vannets nivå og vann vil trenge inn i snøen fra alle sprekker og råker i isen. Dette går langsomt og oftest vil man finne, hvis man hugger hull på isen at vannet strømmer opp, d. v. s. det står under overtrykk. Når vannbrer seg ut i den nedre delen av et snølag, vil enda en ting til gjøre seg gjeldende: vannet suges opp i snøen som olje i en veke, og stiger ca. 4-5 cm over vannstanden. Dette betyr en ekstra belastning svarende til et vannlag av tilsvarende høyde, og for å bære det trenges en istykkelse som er 9 ganger større, d. v. s. 40-50 cm, som kommer i tillegg til den istykkelse som trenges for å bære den del av snøen som er tørr.

Vanligvis er det bare nær åpne partier eller nær sprekker i isen at vanntilførselen er såpass at oppsugingen av vann gjør seg gjeldende med full virkning. På slike partier ser man da også at snøen gjerne er gjennomtrukket helt opp. I så fall er det gode betingelser for at det fryser raskt ovenfra og nedover.

Men på de partier hvor snøen ikke er gjennomtrenget av vann, men har et tørt snølag øverst, blir isdannelsen sterkt forsinket. Det kan fryse et isskikt nede i snøen, men det vil vokse meget langsomt.

Som bekjent er det en ofte brukt forholdsregel at man trækker ned snøen så den blir helt gjennomtrenget av vann, hvis man vil ha dannet en brukbar isvei over snødekket is. Man ville også kunne oppnå det samme ved å øse eller sprøyte vann på snøen i tilstrekkelige mengder til å fukte den helt igjennom. Forholdsregler av denne art er mange steder brukt i norske vassdrag, og de er tatt i bruk i betydelig utstrekning, ved regulerte vassdrag i Sverige for å minske ulempene.

7. Innflytelsen av regulering på overvatning. Forholdene i Tynset-Alvdal.

Av praktisk interesse er særlig overvann på strøk hvor det foregår ferdsel eller legges tømmer for fløtningen, d.v.s. på stille-partier eller strøk med moderat fall. De egentlige stryk kommer ikke i betraktning, uten for så vidt som isproduksjonen her kan innvirke på isforholdene på nedenfor liggende strøk med moderat fall, slik som vi har omtalt i avsnitt 4 foran.

Av det som er omtalt i det foregående avsnitt vil det fremgå at vekslinger i temperatur og nedbør i hvert fall kan gi opphav til overvann så vel i uregulert som i regulert vassdrag. Det er videre innlysende at jo mindre vann elven fører, desto mindre blir omfanget av en eventuell overvatning som meteorologiske vekslinger forårsaker. Men kan også regne med at brå og relativt store økninger i vannføringen gir stor risiko for overvatning selv om de meteorologiske forhold er stabile, mens økningen pågår.

Men sammenhengen er ikke så enkel at en økning av vannføringen, ut over vannføringen for uregulert elv på vedkommende tidspunkt, gir en ubetinget risiko for overvatning som er øket i samme forhold som vannføringen. Som et illustrerende eksempel kan her - etter Vassdragsvesenets rapporter - nevnes forholdene i nov.-des. 1942 da det var både overvatning og isgang som

voldte skader på en rekke bruk i strøket omkring Telneset, mens vannføringen var mindre enn den uregulerte.

Så lenge tilskuddet fra Aursunden er forholdsvis lite i forhold til den uregulerte vannføring er det, som undersøkelsene av Isgangskommisjonen har vist for Storelvdalens vedkommende, vanskelig å påvise noen sammenheng mellom vannføringens størrelse og den observerte oppvatning. I sin beretning "Oppvatningen i Stor-Elvdal og Os" uttaler Kommisjonen s. 49:

"Av redegjørelsen i avsnitt 6b fremgår at man ikke på grunnlag av de siste 7 års iakttakelser kan få frem noen sammenheng mellom vannføringens størrelse og høyden av oppvatningen på strekningen Stai-Sundfloen."

Men Kommisjonen peker videre på den store betydning som isforholdene på strekningen ovenfor Sundfloen må få, når vannhastigheten øker på grunn av økning i vannføringen, så isleggingen forsinkes (hvilket igjen fører med seg en forlenget periode med sarrproduksjon).

Anderledes er derimot forholdet når tilskuddet fra Aursunden blir like stort eller større enn den naturlige uregulerte vannføring på den elvestrekningen vi betrakter. Isgangskommisjonen uttalte som sin mening at i Os skyldtes overvatning og overisning reguleringen. Etter den tid foreligger det et større materiale med rapporter fra Vassdragsvesenets befaringer, lagt fram for retten. Dette materiale viser at for Tynset-Alvdal har det vært vekslende isforhold langs Glomma, også før man i vedkommende vinter begynte å øke vannføringen fra Aursunden. Erfaringene fra de siste vintre tyder også på at en langsom økning av tapningen fra Aursunden til den maksimale synes å være holdig for isforholdene. Dette er også hva man på forhånd skulle anta, likesom man rent generelt kan vente, at hvis vannføringen økes til det dobbelte eller det flerdobbelte av den naturlige, så vil på strøk av denne type risikoen for inntredende overvatning og omfanget av en eventuell overvatning bli sterkt forøket.

Men sannsynligheten for inntredende overvatning er dessuten avhengig, ikke bare av den aktuelle vær-

-situasjon, men også av vinterens forhistorie, slik som den er "arklvert" i isdekkets tykkelse og art, og i snølagets dybde.

Så lenge meteorologene ikke kan gi langtidsvarsler for vinterens vær og nedbør vil det derfor etter mitt skjønn heller ikke være mulig å forutsi isforhold, oppvatning og isganger bare med kjennskap til den økte vannføring som reguleringen medfører. Derimot kan man etter mitt skjønn si, at hvis det på en slik strekning har inntruffet vanskelige isforhold med overvatning osv. på en tid da tapping pågikk med betydelig tilskudd, så er det sannsynlig at ulempenes omfang med rimelig grunn kan tilskrives reguleringen.

Som det før er sagt er det for Glomma i Tynset-Alvdal av særlig betydning hvordan isforholdene på fallstrekningen i Tolga har vært, for på denne strekning vil en økning av vannføringen medføre en økning av de sarrproduserende åpne arealer. Det er særlig på denne indirekte måte at vannføringens økning får innflytelse på isforholdene i Tynset-Alvdal.

8. Oversikt over isganger i Glomma (og Trysil elven) i årene 1923-45.
Isgangene i Tolga.

Tappingen av Aursunden begynte vinteren 1923-24. Inntil det nye tappingsreglement ble satt i verk vinteren 1931-32 hadde det vært de nedenfor noterte vinterisganger i Glomma. I tabellen er det også tatt med isganger i Trysil-elven. Oppgavene er tatt ut av rapporter fra Vassdragsvesenet.

I	II	III	IV	V
Vinteren	Tapping	Vinterisganger på	Vinterisganger	Vinterisganger
	begynt	det kritiske strøk	i Tolga	i Trysilelven
		ovenfor Koppang		
1923-24	29.12.	o	o	o
1924-25	15.11.	o	o	o
1925-26	15.11.	o	1 19.des. (og en mindre i juledagene)	o
1926-27	Slutten av mars	3, 2.des., 11.des. og 23.des.	o	o
1927-28	Begynne- lse nov.	3, 15.nov., 25-26. nov. og 11.des.	o	o
1928-29	2.nov.	o	3, 14.-15.des., 2, 16.des. 8.jan.	6. jan. og 19. jan.
1929-30	10.nov.	2, 24.des., 8.jan.	o	o
1930-31	ca. 10. nov.	o	o	o
(Nytt regl.)				
1931-32	2.jan.	o	o	2, 24.des. 4.jan.
1932-33	13. des.	o	o	o
1933-34	21.des.	2, 22.nov. 5.des.	1, 5.des.	2, 20.des. 3. jan.
1934-35	18.jan.	1, 26.nov.	o	1, 11.jan.
1935-36	30.des.	o	1, 14.des.	o
1936-37	28.des.	o	3, 10.des. 1. jan. 5.jan.	o
1937-38	10.des.	o	3, 24.des. 25. des. 28.des.	o
1938-39	10.jan.	1, 20.des.	o	o
1939-40	14.des.	1, 23. nov.	o	o
1940-41	15.des.	o	o	o
1941-42	30.des.	1, 17. nov.	o	o
1942-43	15.jan.	1, 10.des.	2, 25.nov. 13.jan.	o
1943-44	4. jan.	o	o	o
1944-45	4. jan.	1, 29.nov.	o	2, 14.jan. 29-30.jan.
1945-46	28.des.	o	1, nov.des.	o

Tabellen viser at isganger opptrer meget uregelmessig i Glomma og Frysilelven.

For Glommas vedkommende vil man se, at i de 8 vintrene tapningen ble utført etter det gamle reglement, var det

5	vintre uten vinterisganger på strøket Barkald-Sundfloen
3	" med " " " " " "
2	" med " i Tolga.

I de neste 15 vintrene hvor tapningen ble utført etter det nye reglement var det

8	vintre uten vinterisganger på strøket Barkald-Sundfloen
7	" med " " " " "
6	" med " i Tolga.

Tabellen viser et viktig forhold, nemlig at det ikke er noen samsvarighet mellom vinterisganger på strekningen Barkald-Sundfloen og i Tolga, enda begge strekningene er i samme elven og i samme dalføre. Det er ett eneste eksempel i de ovenfor behandlede 23 vintrene, hvor det har vært vinterisgang samtidig på de to strekningene, nemlig 5. des. 1933. Og det er i det hele bare to vintre hvor det har opptrådt vinterisganger på begge strekninger i samme vinter, nemlig 1933-34 og 1942-43.

Det har vært 8 vintre med vinterisganger på den nedre strekning, men ikke i Tolga, og omvendt 6 andre vintre hvor det var isganger i Tolga, men ikke på den nedre strekning. I bildet høres også med at det var 7 vintre uten noen isganger i Glomma i det hele tatt.

Hvis vannføringen i Glomma var avgjørende for hyppigheten av isgangene, måtte det være en påviselig samsvarighet mellom isgangene på de to strekningene, for vannføringskurvene følges jo stort sett ad, og det gjelder også for de meteorologiske forhold. Men noen samsvarighet er som ovenfor påvist ikke til stede. Jeg har i avsnitt 4 antydnet den forklaring, at isleggingsprosessene på de to strekninger (som har forskjellige fallforhold) forløper i ulikt tempo.

I tabellen er også notert når tapningen fra Aursunden begynte hvert år. Fra 1931-32, da nytt reglement begynte, vil man se, at den først opptredende isgang med bare en unntakelse (24. des. 1937 i Tolga) har kommet før den egentlige tapning fra Aursunden begynte, altså ved uregulert (eller meget nær uregulert) vannføring i Glomma.

For Trysilelvens vedkommende vil en se av tabellen, at i de 23 vintrene var det 4 vinterisganger i Trysil, og i 3 av disse opptrådte det også vinterisganger i Glomma, men ikke i de samme dagene. Alle de noterte isgangene opptrådte på den samme strekning, nemlig fra oppunder Engeras utløp i Trysilelva og nedover forbi Jordet mot Eltosvold.

Såvel materialet fra Glomma som fra Trysilelva viser at hvis det først opptrer en vinterisgang, så kommer det i mange tilfelle 2-3 isganger på rad. Isdannelsen må starte på nytt, når en isgang har rensket elven.

Sett i forhold til de meteorologiske forhold og til forandringer i vannføringen gjelder for isganger meget av det som er sagt i foregående avsnitt om overvotning. Den mest kritiske tid faller i begynnelsen av vinteren, og da er det av betydning å holde omtrent naturlig vannføring.

For fallstrekningen i Tolga (jfr. også avsnitt 4), hvor den regulerte vannføring ut på vinteren kan være det flerdobbelte av den naturlige, kan man etter mitt skjønn si at hvis det på denne strekning har gått isganger på en tid da tapping pågikk med betydelig tilskudd, så er det rimelig grunn til å anta at ulempenes ekstraordinære omfang kan tilskrives reguleringen.

9. Sarrmålinger i Tynset-Alvdal 1954.

Etter min anmodning har Vassdragsveneset foretatt målinger av istykkelse og sarrmengde under isen for en rekke profiler i Glomma, fra Nesset til Auma. Målingene viser at det i vinterens løp var blitt samlet betydelige sarrmengder i den øvre del av elven, adskillig mindre ved Tynset, og intet sarr ovenfor Auma. Dette sarr skriver seg fra de sarrproducerende åpne arealer på fallstrekningen i Tolga og bekrefter den oppfatning at isforholdene der er avgjørende for mange av de vansker som man har på strekningen nedenfor. Ellers er å bemerke, at det rimeligvis var mer sarr her i vinter enn det vanligvis er i de fleste andre vintre, fordi det gikk flere isganger som rensket fallstrekningen for is.

Oslo, 23./30. august 1954.

Olaf Devik.