OM INNFLYTELSEN AV REGULERINGEN AV NEA-VASSDRAGET PÅ ISFORHOLDENE.

Redegjörelse for
Overtiltaksskjönn 28. sept. 1953.

Dr. Olaf Devik.

OM INNFLYTELSEN AV REGULERINGEN AV NEA-VASSDRAGET PÅ ISFORHOLDENE.

(Redegjørelse for Overtiltaksskjønn 28. sept. 1953)

1. Innledning.

I 1934 ble det etter forslag av Arbeidsdepartementet oppnevnt en 3-manns komite, hvor foruten undertegnede var med kanalbestyrer O. Aarsrud og avdelingsingeniør O.B. Solem, som skulle avgi betenkning om hvorhvidt Selbusjøens regulering antas å ha hatt innflytelse på isgangene i Nea. Komiteens betenkning som kom året etter, inneholder bl. a. en oversikt over alle tidligere isganger som det foreligger opplysninger om. Dette materiale gjelder uregulert vassdrag og er nyttig til sammenlikning med erfaringer fra tiden etter at regulering etter hvert ble satt i verk

I 1936 ble den samme komite anmodet om å uttale seg om innflytelsen av den påtenkte regulering av Sylsjøen og Essandsjøen. I mandatet var ikke Stuesjøens regulering tatt med, og det var videre forutsetningen at tilskuddet til minstevannføringen skulle bli tilsammen 23,7 m^3/sek fra de to sjøer. Som man vil se er det knapt halvparten av det tilskudd som Elektrisitetsverket nå regner med som representantivt for tilskuddet fra alle tre sjøer i tapningstiden. Det gir et noe annet beregningsgrunnlag enn det som forelå for 3-manns komiteen, og det forelå heller ikke dengang noe erfaringsmateriale fra vintertapning i Nea. Imidlertid bør det nevnes at avdelingsingeniør Solem understreket sarrproduksjonens betydning nedenfor Kistefoss, med øket risiko for kallflo-isganger, når regulering ble gjennomført.

2. VANNFØRING OG VANNHASTIGHET I DET REGULERTE VASSDRAG.

Et magasintilskudd på ca. 50 m^3/sek som man må regne med etter Elektrisitetsverkets uttalelser, betyr forholdsmessig sett mest i den øvre del av vassdraget, hvor vannføringen kan bli 8 - 10 ganger større enn uregulert vannføring i lavvannsperioden. Men også i den nedre del av vassdraget betyr det 5 - 6 ganger mer enn lavvannsføringen, og man kan forsåvidt si at i tappetiden vil Nea etter gjennomføringen av reguleringen på mange måter være blitt et nytt vassdrag, hva isproduksjonen angår.

Dette får ikke minst en stor innflytelse på vannhastigheten i elven, hvilket igjen fører med seg forandrede betingelser for isproduksjonen der hvor vannhastigheten forandres mest. Vannhastigheten i isfri elv avhenger av elvens fall, elvebunnens beskaffenhet (som betinger friksjonen), elvens bredde og middeldybde, og av vannføringen. Vassdragvesenet 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 doktoravhandling om isdannelse i vassdrag. Devik har også særskilt behandlet beregning av vannhastighet i isdekt elv eller i elv som er fyllt 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 øking 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 elvebunnen skråner oppover fra det dypeste parti til begge sider. Hvis t.eks. elven har loddrette sider, så vil f.eks. en 10 ganger så stor vannføring gi 2,7 ganger større vannhastighet. Men hvis bredden av elven forøkes til det dobbelte når vannføringen blir 10 ganger større, blir vannhastigheten bare 2,0 ganger større. (Og hvis bredden øker i samme forhold som vannføringen, vil vannhastigheten bli uforandret, selv om vannføringen øker).

Dette gjaldt isfri elv, hvor vannet under sitt løp bare møter friksjon mot bunnen. Hvis elven islegges, blir det også friksjon mot is-taket, og hvis samme vannføring skal føres fram, blir vannhastigheten mindre. Dette krever da at 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 ved økning av sarrproduksjonen i elven 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 elvebunnen--man kunne godt tale om en "nedrøring" av sarr under isen på samme måte som man taler om en "opprøring" av sand på bunnen, Dettkan 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 sarrmasser 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, jfr. nedenfor.

3. Varmetap og varmetilførsel i et vassdrag. Isproduksjon.

Islegging av vassdrag og innsjøer om vinteren er resultat 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 uavlatelig, 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 -20°, svak bris og klart vær) er varmetapet fra åpent nullgraders vann eller tynn is,

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

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

ca. 50 kilokalorier pr. sek. pr. dekar.
(dette svarer til S - 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 etter hvert 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 forskjellige slags varmetilførsler til å gjøre seg gjeldende og isen kan begynne å tæres 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. For mitt vedkommende finner jeg derfor ikke å kunne bruke middelverdier over lengere tidsrom, f. eks. månedsmiddel av temperatur, ved slike overslag. Meget mer veiledende er ukesmidler, eller femdøgns-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 oppsamlet 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 m^3/sek, må det fjernes 1000 kilokalorier pr. sek. for å avkjøle vannet til 0°C. Ved sterk kulde vil det da trenges en kjøleflate på 1000 : 100 - 10 dekar åpent vann for å gi en slik avkjøling. Ved middels kulde ville det trenges 20 dekar.

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

For å senke temperaturen av strømmende, åpent vann en tiendels grad trenges en kjøleflate

ved middels kulde:

vannføring	1	m^3/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. 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 vassdraget, dels som bunnis og oppstuete sarr- og ismasser, dels som mer eller mindre jevnt isdekke. Og når vi er kommet til ettervinteren i mars-april vil etter hvert varmetilførselen bli dominerende.

AD. 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		0,12°
	100		0,24°
	200		0,47°
	400		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 tilfeller 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.

Som en kontroll vil jeg nevne, at Tya etter målinger 5.12.1952 ble avkjølet 1,2° på strekningen Stuesjøen-Kløfta, (17,2 km). Fallet er 230 m, hvilket ville svare til en oppvarming på 0,54°. I alt svarer dette til at avkjølingen har vært i alt 1,74°. Gjennomsnittlig vil det si 0,1° pr. km på en dag da lufttemperaturen var mellom 5 og 2 kuldegrader om formiddagen. Det er mindre enn "middels" kulde. Erfaringen fra mange andre elver er, at når elven har moderat fall vil middels kulde gi en avkjøling som er omtrent 0,1° pr. km. Målingene fra Tya bekrefter da at for elvestrekninger med mange stryk gir Deviks formler noe for lave verdier for varmetapet fra åpen elv.

AD. 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 landråker.

4. SAMMENHENG MELLOM FALLET I ET VASSDRAG OG FORSKJELLIGE TYPER AV ISLEGGING.

Av særlig interesse for oss er isproduksjon i en elv hvor vannet røres effektivt om ved virvling. Varmetapet fra en elv som er åpen skjer bare fra den ytterste hinne av overflaten som blir underkjølt. Er virvlingen rask nok, vil dette underkjølte vann bli ført ned og det vil så kunne krystallisere is på faste partikler og gjenstander som er i vannstrømmen, eller på bunnen. Man kan som en vanlig regel si at vannhastigheter over en halv meter pr. sekund vil begunstige dannelsen av sarr så lenge elven går åpen.

Elvestrekninger med fall som er under 0,5 a 1 m/km pleier å islegge seg med jevnt isdekke tidlig på vinteren.

På strekninger med større fall, opptil 1,5 a 2 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 elvprofiler med islag og sarr, og måling av vannhastighet i strømførende partier.

På slike strøk må man regne med at det er en viss grensehastighet, 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 det på strekninger med fall 1,5 - 4 m/km vil det ofte gå åpent strømfar i stryket. På strekninger med fall 0,5 - 2 m/km hvor isdekket er mer eller mindre sammenpakket, vil elva vanligvis skjære opp en åpen råk ut på vinteren når solstrålingen gjør seg mer gjeldende etter hvert.

I en uregulert elv hvor fallet er såpass stort at elven islegges under sammenpakning, dannelsen av isdammer, oversvømmelse av standiser 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 prosess kan under oppbyggingen av isdammene bli avbrutt ved en forandring av varmeutvekslingen, somme tider under sterk kulde, når temperaturen stiger en del, eller det skyer over da kan det inntre en kallflo-isgang som går som en flombølge nedover vassdraget. Eller det kan bli helt omslag til mildvær, og

endelig kan det dessuten komme regn -- da kan det bli en flom-isgang, som gir flombølgen. I slike tilfeller må isleggings-prosessen ta til på nytt igjen på det strøk som er blitt rensket for is.

Det er 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 meget av elvens fallforhold, og av bredden på elven, som bestemmer kjøleflaten, Som eksempel kan nevnes Vinstra, som før Bygdinreguleringen gikk med isganger hver vinter. Det er stort fall fra Olstappen til Lågen, svarende til en oppvarming på omtrent 1^{o}, og 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 kjøiving i Vinstras nedre løp. Noen betingelser for isganger fins ikke lenger.

Men temperaturen av vannet fra Vinstra kan variere adskillig med værforholdene, og dette påvirker isforholdene på strøket nedenfor, hvor det blir adskillig med åpne partier hvor fallet er såpass at det blir virvling. Det blir således sarrproduserende åpne partier, og dertil kommer Harpefoss. Undersøkelsene fra de siste vintrene viser at det til sine tider er blitt 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 tæres smale råker på uventede steder. Hvis hastigheten på vannet blir så stor som ca. 1 m/sek, vil selv en overtemperatur på bare $0{,}04^{o}$ (etter mine iakttakelser siste vinter 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 $0{,}1^{o}$.

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 "grense-hastigheten" 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 vannstand enn ved isfri elv og samme vannføring. Dette gjelder både for langsomt flytende vann og for strekninger med kjøiving, 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 vann-standsforandringer som skyldes selve isleggingsprosessen ikke kommer klart fram.

5. FALLFORHOLD OG ISPRODUKSJON I NEA-VASSDRAGET.

I. Den øverste fallstrekning i Nea (se Vassdragsvesenets lengde-profil) har et fall på 120 m, som svarer til en temperaturstigning på $0{,}28^{\circ}$. Betrakter vi eksempelvis en vannføring på 10 m^3/sek, trenges det ved middels kulde en kjøleflate på 0,28 x 20 dekar - 56 dekar for å oppveie varmeutviklingen i fallet. Hertil kommer den kjøleflate som trenges for å fjerne overtemperaturen fra magasinet, sone $0{,}5^{\circ}$ a 1°. I det samme eksempel ville det si 130 a 260 dekar.

Tilsammen ville det bli henholdsvis 186 og 316 dekar. Da elven på denne fallstrekning neppe har større flate enn ca. 200 dekar, vil det si, at man må regne med at denne fallstrekningen etter reguleringen vil gå åpen, og at det vil bli usikre forhold enda noen km nedenfor Nedal. Mellom Nedal og Esnas utløp er elven ifølge Fjellangers kart av 1947 ca. 70 m bred, og elvens lengde er ca. 7,4 km, med et fall på 0,54 m/km, altså gunstig for islegging. Jeg antar at de siste tre-fire km av denne strekning vil få brukbare isforhold også etter reguleringen, stort sett.

Essandsjøen er meget grunn i den søndre del, og vanntemperaturen viser seg å ligge noen få tiendedels grader over null under tappingen.

Elvestrekningen fra sjøen til sammenløpet med Nea er ca. 9 km lang, bredden er i middel 50 m, og fallet er 1,66 m/km, altså et fall som er mindre gunstig for islegging enn på stillelven i Nea før sammenløpet.Man må derfor regne med at det vil være åpne strømfar på lengere strekninger, men på den annen side vil vannet allerede langt ovenfor sammenløpet med Nea ha blitt avkjølt til null grader, praktisk talt.

For strekningen mellom sammenløpet Nea/Esna og toppen av Vessingfoss, en strekning på ca, 10 km, er bredden ca. 80 m og fallet 1,1 m/km. Etter mitt skjønn kan man også etter reguleringen vente brukbare isforhold på denne strekning, stort sett.

Det er vesentlig i en henseende at man for de her nevnte strekninger kan vente en forværrelse, nemlig m.h.t. leilighetsvis oppvatning, særlig ved inntredende mildvær eller tyngre snøfall.

Fra toppen av Vessingstrykene er det ca. 3 km med et fall på 45 m, d.v.s. 15 m/km, med sterkest fall i selve Vessingfossen. Varmeutviklingen i fallet svarer til $0,1^{o}$ og vil ved middels kulde og f. eks. 30 m^3/sek kreve en kjøleflate på 60 dekar, hvilket kunne skaffes ved at elven gikk åpen i 20 meters bredde, over 3 km's lengde.

Selv om at en tar hensyn til at avkjølingen i stryk sannsynligvis er noe større enn Deviks formler angir, vil det likevel fremgå av dette regnestykke at fallstrekningen vil gå åpen i betydelig bredde etter reguleringen. Under kuldeprioder vil det avleires en del kjøivis, mest på sidene, men i mildere perioder vil strykene mer eller mindre renske seg. Det er liknende innflytelse som den Bygdinreguleringen har hatt på isforholdene i Vinstra -- isdannelsen er redusert. Under tidligere uregulerte forhold må man anta at det i vinterens tidligste periode, mens også vannføringen var betydelig har vært mye kjøiving på denne fallstrekningen, som ga et betydelig depot av is i strykene. Når vannføringen avtok til minstevannføring ville isproduksjonen gå sterkt ned. Isdepotet på fallstrekningen ville imidlertid kunne løsne under et mildvær med regn, som ga flom i elven og førte isdepotet til nedenfor liggende strøk.

Denne risiko er forminsket på denne fallstrekning etter reguleringen.

Etter Vessingstrykene kommer det en ca. 3 km lang strekning med bare 2 m fall, d.v.s. 0,67 m/km. Her er det betingelser for islegging, men mildværsperioder vil medføre usikkerhet, særlig i den øvre del av strekningen.

Deretter kommer den store fallstrekningen som går til og med Kistefoss, over en strekning på 13 km, med et samlet fall på 353 m, hvilket svarer til en temperaturøkning på $0{,}83^{\circ}$. Det gjennomsnittlige fall blir 25 m/km. Tya kommer inn med sitt tilskudd ca. 4 km ovenfor Kistefoss.

For å danne oss et bilde av forholdene kan vi tenke oss samme vannføring t. eks. 40 m^3/sek over hele strekningen (13 km). Ved middels, resp. sterk kulde skulle da etter Deviks formler trenges en kjøleflate på 664.resp. 332 dekar for å oppheve den nevnte temperaturøkning på $0{,}83^{\circ}$. Den tilsvarende åpne bredde ville bli 50 resp. 25 m. På samme måte som ovenfor kan man da slutte følgende om isforholdene før og etter reguleringen. Før reguleringen har det særlig på forvinteren antakelig blitt mye kjøiving på fallstrekningen og et betydelig isdepot blitt liggende vesentlig på begge sider av strømfaret når dette har skåret seg ned. Etter reguleringen må fallstrekningen regne å gå åpen for det meste og det blir lite is deponert på kantene av strykene. Under mildvær må en vente at vannet forlater Kistefoss med adskillig overtemperatur men ellers er det å vente at vannet har en temperatur nær null grader. Dette er forhold som får betydning for den kritiske strekning nedenfor Kistefoss. Men som for den øverste fallstrekningen omkring Vessingfoss gjelder det også her, at m.h.t. deponerte ismasser vil forholdene være blitt forbedret etter reguleringen slik at en eventuell flom som skyldes mildvær eller regn heretter ikke vil kunne føre med seg noen betydelige mengder av deponerte ismasser til de nedenfor Kistefoss liggende strøk.

Det kan bemerkes at jeg her har regnet med at Tya ikke fører vann av overtemperatur ved sammenløpet med Nea i vintertiden. Det ser man ved å gjennomføre en liknende beregning som for Nea: På den 17 km lange strekningen fra Stuesjøen er det et fall på 230 m, som svarer til en temperaturøkning på $0{,}54^{\circ}$. Ved et eksempelvis 10 m^3/sek tapningsvann fra Stuesjøen, med avløpstemperatur t. eks. 1°, skal i alt en overtemperatur på $1{,}54^{\circ}$ fjernes i Tya. Ved middels resp. sterk kulde trenges det da en kjøleflate på 308 resp. 154 dekar. Hvis den var jevnt fordelt over hele strekningen

ville den, beregnet som åpen bredde, bli gjennomsnittlig 18 m resp. 9 m bred. Da fallet i virkeligheten er ujevnt fordelt, og elvens bredde med regulert vannføring er større enn 18 m, vil elven bli delvis isdekket, og vanligvis kan en regne med at vanntemperaturen i Tya like før sammenløpet med Nea vil være meget nær null grader eller ubetydelig over (sml. målingene fra vinteren 1952-53).

Deretter kommer den mest kritiske fallstrekning, mellom Kistefoss og Moslet bro. Det øverste parti på ca. 19 km lengde har et fall på 85 m (d.v.s. 4,5 m/km), hvilket svarer til en temperaturøkning på $0{,}2^{o}$. Ved en vannføring på t. eks. 50 m^3/sek vil det ved middels, resp. strengkulde trenges en kjøleflate på 200 dekar, resp. 100 dekar. Det skulle hvis vi regner at varmetapet bare foregår i den åpne stripen, svare til en åpen stripe på ca. 10, resp. 5 m bredde. Varmeregnskapet stiller seg altså for så vidt gunstig når vannet som kommer fra Kistefoss ikke har noen merkbar overtemperatur. Det samme gjelder for resten av strekningen hvor fallet er noe mindre.

Imidlertid kommer her på strøket Kistefoss - Moslet bro virkningen av den før omtalte grensehastighet inn. Ved de betydelige vannføringer det blir tale om etter reguleringen vil vannhastigheten på et strøk med fall ca. 4,5 m/km overstige 1 m/sek og isleggingen blir vanskeliggjort som jeg før har gjort rede for. Dette vil si, at det blir mer åpent vann enn det som trenges for å avkjøle vannet til null grader, og en produksjon av drivende sarr og produksjon av bunnis vil finne sted. Det drivende sarr finner vei til nedenfor liggende strøk, som erfaringen fra de siste vintre viser.

Også før reguleringen var dette kritiske strøk et utpreget sarr- og bunnisproduserende strøk, vesentlig i den første del av vinteren, på den måten som jeg før har skildret det. Det var leilighetsvis kallflo-isganger som startet på dette strøk, eller flomisganger som kunne renske strøket, slik at isproduksjonen igjen startet.

Den vesentlige forskjell som er inntrådt etter reguleringen er etter mitt skjønn, at risikoen for isganger av begge typer er øket, fordi de sarrproduserende arealer er blitt større på grunn av vannhastighetens økning.

Det som betinger en isgang av noen mektighet er dels de aktuelle temperatur- og nedbørsforhold, men ikke mindre forhistorien for

isproduksjonen i vassdraget, som igjen henger sammen med vannhastigheter og vannføringer. Som jeg før har pekt på er det nødvendig å betrakte variasjonene over så korte tidsrom som f. eks. en uke, eller 5-dags midler, for å få et tilstrekkelig virkelighetstro bilde av betingelsene for isproduksjon og eventuelle isganger. Men det er meget vanskelig ut fra grafiske kurver for temperatur og nedbør gjennom en vinter å forutsi chansene for isganger, hvis man ikke på forhånd får noen opplysninger om isganger vedkommende vinter. Det er så mange uberegnelige elementer som spiller inn for isgangenes vedkommende, at en skjønnsmessig progmose alltid vil bli usikker. Reguleringen vil etter mitt skjønn øke antallet av uregelmessig forekommende isganger, men det foreliggende erfaringsmateriale er ennå så lite, at jeg ikke finner å kunne slutte at man må regne med årvisse isganger av skadegjørende karakter.

For strekningen nedenfor Moslet bro er fallet ca. 9 m på de 4 km nedenfor til Kulset bro, altså 2,25 m/km. Her skjer isleggingen i adskillig grad ved sammenpakning, og erfaringen fra de siste vintre viser at det føres ned fra de sarrproduserende strøk betydelige mengder sarr som avleires under isen, med avtagende mengde etter hvert nedover mot Kulset bro. Den største ulempe m.h.t. ferdsel på dette strøk er dels overvann, mest langs land, og i noen utstrekning dannelsen av råker der hvor understrømmen er sterk, således som jeg før har omtalt, når sarr avleires under is og enkelte steder flytter strømfaret. Ellers er på dette strøk i og for seg betingelsene tilstede for et bærekraftig isdekke, og det kan stilles det spørsmål om man ved hjelpeforanstaltninger kan redusere ulempene ved overvann og lokale råker.

6. MULIGE FORHOLDSREGLER FOR Å MINSKE ULEMPER VED ISFORHOLDENE.

Den kritiske strekning mellom Kistefossen og Moslet bro vil først opphøre å være kritisk når fallet er blitt utbygd. En forbedring m.h.t. sarrproduksjon kunne man oppnå, hvis man kunne bygge dammer i vassdraget, som kunne bremse av isganger som kom lenger oppe fra, og som også kunne oppsamle drivende sarr. Ingeniør Kanavins har fremsatt et slikt forslag for en enkelt dam.

Som jeg nevnte i mitt foredrag for retten, antar jeg at det ville være nyttig å søke å vinne noen erfaring med å legge ut en del lenser på det kritiske strøk for å begunstige dannelsen av isdekke tvers over elven.

Når det gjelder ismassene i delta-strøket, antydet jeg at det ville være nyttig å prøve å forsterke isveier ved å fjerne snøen og/eller sprøyte vann på en bred stripe så vannet frøs ovenfra og forsterket isen. Ved land kunne det bli tale om å legge enkle brobaner for å passere overvann langs land. I svenske vassdrag er den slags arbeider meget brukt i de senere år for å opprett-holde trafikk over isen i vassdrag med døgnregulering.

Trondheim/Oslo, 3. september 1953.

Olaf Devik.