

KORT OVERSIKT over ISPROBLEMER I VÅRE VASSDRAG.

I et land som Norge som strekker seg langt nordom polarsirkelen og som delvis består av utstrakte høyfjells-partier, har isproblemerkene kanskje større betydning enn i noe annet land. For det første skaper isen særlige vanskeligheter for vannutbygging og utnytting av kraftkilder, forårsaker skader ved regulerings- og utbyggingsarbeider, hindrer båttrafikk o.l. Videre forårsaker isen i våre vassdrag store ulemper for de hydrologiske observasjonene og medfører omstendelige og kostbare vintermålinger ute i distriktene, likesom kontorbehandlingen av det innsamlede observasjonsmaterialet blir besværliggjort i høy grad.

På den annen side er snø og is naturens midler til å beskytte jord og vannmasser mot sterk avkjøling om vinteren og isleggingen kan være av stor betydning og nytte for trafikk, tømmerlegging o.l. I det hele tatt er isen på mange steder til så stor nytte at det ville medføre direkte skader om den ble ødelagt. Undersøkelser av isforholdene i våre vassdrag er derfor en sak av så stor og omfattende samfunnsmessig betydning at de nå inngår som et fast ledd i undersøkelsene ved Hydrologisk avdeling.

I tidens løp er det ved avdelingen samlet inn en god del materiale f.eks. angående islegging og isløsning fra ca. 1200 vannmerker. Observasjonene danner materialet til statistisk behandling av vinterens varighet i forskjellige vassdrag. Videre er det ved ca. 784 avløpsmerker foretatt ca. 24300 vassføringsmålinger. Av disse er ca. 8600 foretatt om vinteren. Målingene danner verdifuldt materiale for bedømmelse av vannstandsvariasjoner om vinteren, isproduksjon, oppvatning og flere andre isspørsmål.

Systematiske og mer omfattende isundersøkelser ble satt igang i 1946. Undersøkelsene ble planlagt utvidet såvel i regulerte som i uregulerte vassdrag. For tiden har Hydrologisk avdeling i samarbeid med en del kraftverk og reguleringsforeninger i alt 132 faste målestasjoner.

De fysiske problemer ved isdannelse i elver er blitt nøye undersøkt av dr. Olaf Devik de siste 30 år.

Etter forslag fra generaldirektør Fr. Vogt ble det i 1950 konstituert et offentlig isutvalg som et rådgivende og koordinerende organ for alle isundersøkelser og som sørger for utdanning av personale. Arbeidsplan for systematiske isundersøkelser og metoder for bearbeidelse av materialet er utarbeidet i samråd med det nevnte isutvalg.

Følgende oversikt inneholder hovedsaklig et utdrag av det isundersøkelsesmaterialet som er samlet inn av avdelingen.

1. BETINGELSER for ISDANNELSE.

Islegging, særlig i våre elver, foregår ved et samspill mellom en rekke fysiske prosesser, som gjensidig virker på hverandre og derfor blir isproblemerne svært ulike på forskjellige steder og til forskjellige tider. I stille eller langsomtflytende vann er prosessen forholdsvis enkel, mens den i elver som renner i stryk eller i vann, hvor vind, bølger eller strømminger virker sterkt, vil bli mer eller mindre komplisert.

Dannelse av is foregår under følgende tre hovedbetingelser:

- a. Underkjøling av vannets ytterste hinne
- b. Eksistensen av faste krystallasjonskjerner
- c. Smeltevarmens overføring fra krystallasjonsfeltet.

For å få et sammenfattende bilde av den strukturelle eiendommelighet og fysiske beskaffenhet ved de forskjellige isarter, er det nødvendig å gi en kort beskrivelse av de nevnte betingelser for iskrystallasjon.

- a. U n d e r k j ø l i n g a v v a n n e t s y t t e r s t e h i n n e .

Observasjonene viser at avkjølingen av vannmassene foregår utelukkende ved varmetap fra vannets overflate. Når vann begynner å fryse, er det alltid litt underkjølt i det ytre laget, d.v.s. det er temperaturfall fra grenseflaten is/vann for å lede bort smeltevannet. En slik underkjøling i naturen er som regel bare noen få hundredels grader og vil i alminnelighet ikke kunne påvises med et vanlig termometer,

fordi de underkjølte vannpartier har hinnestruktur. På steder, hvor elva går i stryk, blir vannet sterkt omrørt, og derfor kan hele vannmassen bli underkjølt - hvilket kan konstateres med et nøyaktig termometer.

b. E k s i s t e n s e n a v f a s t e k r y s t a l l i s a - s j o n s k j e r n e r .

Undersøkelsene viser at når det ikke er noen krystallisasjonskjerner for hånden, vil vann lett og ganske sterkt la seg underkjøle uten å la seg krystallisere til is. Herigjennom blir da betydelige kildemengder bundet. Men denne underkjølte tilstand er bare stabil til vannet kommer i berøring med en krystallisasjonsstimulans. Som stimulans for isdannelse virker f.eks. snøflokker, d.v.s. snøfall framkaller livlig isdannelse. Sand og støvpartikler eller luftblærer som alltid finnes i vann, virker som utgangspunkt for den videre utvikling av iskrystallisasjon. Observasjonene viser at jo mer sedimentførende elven er, desto sterkere er isproduksjonen.

c. S m e l t e v a r m e n s o v e r f ø r i n g f r a k r y s t a l l i s a s j o n s f e l t e t .

På stille eller langsomtflytende vann vil varmeoverføringen fra krystallisasjonsfeltet delvis foregå gjennom isen til den kalde luften og delvis til den underkjølte, åpne vannoverflate. Men på steder, der elva går i stryk, blir vannet sterkt omrørt. Under ulike forhold kan transporten og blandingen av det underkjølte vannskiktet og bortføringen av krystallisasjonsvarmen være forskjellig og ganske komplisert. Det dannes da forskjellige særegne isarter med helt andre fysikalske og mekaniske egenskaper enn ved isdannelsen i stille eller langsomtflytende vann.

2. ISDANNELSE I STILLE VANN OG ELVER.

Som kjent vil blandingen av vannmassene i et vatn foregå langsomt, når hele massen først er avkjølt til $+4^{\circ}\text{C}$. Deretter vil det sterkeste avkjølte overflatelag på kort tid kunne danne et isdekke. Under gunstige forhold kan en direkte se hvordan isdekket skyter seg fram, idet det underkjølte overflatelag krystalliseres (se fig. 1). Prosessen betegnes k r a v i n g og det dannes kravis eller såkalt stålis. Stålisen er som regel klar, gjennom-siktig og glassaktig. Når nydannet stålis brytter i stykker, høres en typisk singlende lyd.

I en elv som renner i stryk vil isleggingen foregå helt annerledes. Når hele vannmassen, som hvirvles nedover strykene er kjølt ned til 0°C , vil det ved frost dannes **u n d e r v a n n s i s** (flytende iskrystaller "sarr" eller bunnis). Prosessen betegnes **k j ø v i n g**. Målingene viser at en strømhastighet over ca. 0,5 m/sek. er sterk nok til å framkalle dannelse av undervannsis så lenge elven går åpen.

Selvfølgelig, noen skap grense mellom disse to isleggingstyper kan en dog ikke trekke.

For å få et begrep om hvor stor isproduksjonen pr. åpen flateenhet kan være, er det interessant å gi et par typiske tall på grunnlag av dr. Olaf Deviks formel (jfr. Geografiske Publikasjoner Vol. IX, Nr. 1, 1931).

Eksempelvis ved middels kulde (lufttemperatur ca. 8°C stille, klart eller med samme temperatur, men overskyet og laber bris) er varmetapet fra åpent nullgraders vann eller fra tynn is ca. 18 cal/cm² pr. time eller ca. 50 kilokalorier pr. sek. pr. dekar. Ved sterk kulde (f.eks. lufttemperatur ca. -20°C , svak bris og klart vær) er varmetapet dobbelt så stort. For å fryse 1 kg is kreves det 80 kalorier, og en kan se av tallene at ved sterk kulde vil det kunne produseres $100:80 = 1.25$ kg. is pr. sek. pr. dekar. Dette er en meget betydelig ismengde, således på en åpen elvestrekning på f.eks. 1 km lengde og 50 m bredde vil det produseres ca. 5000 tonn bunnis og sarr pr. døgn.

Det vil herav forstås at jo lenger en viss strekning av elven kan gå åpen under ellers like meteorologiske forhold, jo større blir den totale mengde undervannsis som produseres, når vannet er avkjølt til 0°C . Så snart en elvestrekning blir isdekket, vil sarr- og bunnisproduksjonen på denne strekning opphøre, og videre vil isproduksjonen nå bestå i at isdekket kan tilta i tykkelse. Denne isproduksjonen er langt mindre enn den en under samme værforhold får i åpen elv p.g.a. isens og snøens isolerende virkning.

Liksom alt annet som flyter i større mengder i en elv, har også sarr en tendens til å sette seg fast i større eller mindre klumper. Dette går så meget lettere, da iskrystallene stadig under den fortsatte isdannelse blir kittet sammen. Følgen er at det i elveløpet blir dannet de velkjente *i s d a m m e r*. Ved kjøving blir en fallstrekning i en elv oppdelt i trappetrinn og avsnittene konsentrert i en rekke småfall med bunnisdammer (se fig. 2). Ved fortsatt kulde islegges de oppdømte magasiner raskt ved kraving. Det er naturens egen måte å regulere isleggingen på.

3. ISVANSKER ved KRAFTSTASJONER og REGULERINGSANLEGG.

Vanligvis forekommer tre følgende former for isulemper:

- a. Forstyrrelse av avløpet ved sterk isdannelse, bunnisdammer eller tetting av drivisansamlinger og snøfonner i elveløpet.
- b. Isbelegg på varegrinder, luker og inntakskanaler.
- c. Drivisansamlingen foran varegrinder og tilstopping av inntaket.

a. Forstyrrelse av avløpet forekommer særlig i isleggingstiden, da isproduksjonen er sterkest. Det viser seg at en kraftig isproduksjon av sarr og bunnis forandrer strømløpet; flytter hovedstrømmen ofte langs stranden i et annet djupfar eller tetter det helt.

Som regel er slike forstyrrelser av avløpet kortvarige. Ved et tilstrekkelig stort inntaksmagasin forårsaker disse ikke nevneverdige ulemper. I det tilfelle hvor inntaksmagasinet er lite, kan det bli delvis eller full driftsstans, som f.eks. ved den nye Bardufoss kraftstasjon forrige vinter.

I kampen mot slike isansamlinger i elveløpet brukes som vanlig i Norge, sprengstoff. Dette er forbundet med store omkostninger og ikke alltid virkningsfullt. I Kanada har det vært brukt termit i stedet for dynamitt. Termit (aluminiumspulver blandet med jernoksyd) i forbindelse med vann og is eksploderer og utvikler meget høy temperatur. Erfaring viser at den beste framgangsmåte er bruken av kunstige isoppsamlingsanordninger (isbruer, lenser, enkle og relativt lave "atholdsdammer") på passende steder. Disse vil påskynde isleggingen betydelig og gi en gunstigere fordeling av ismassene i elveleiet. Dette fører til at de termiske forhold i elven hurtig stabiliseres, og en likevekt i isforholdene kommer istand.

b. Isbelegg på varegrinder, avløpsluker, inntakskanaler o.s.v. forekommer kort før isleggingen på magasinet. Det er hovedsakelig kald vind som forårsaker slike ulemper. Underkjølt overflatevann drives mot anlegget, hvor det dannes bunns. Slike tilfeller er observert ved kraftanleggene Arendals Fossekompani, Nidelv kraftstasjoner, Trondheim, og ved flere avløpsluker fra reguleringsmagasiner i høyfjellet.

For å motvirke slike isbelegg kan nevnes:

1. Riktig projekteerte inntak: Et stort, dypt basseng ovenfor og stort tverrsnitt foran varegrindene, slik at strømhastigheten mellom riststavene blir jevn og sjelden overstiger 0,4 m/sek.
2. Helt overbygget, oppvarmet inntak, men ved større anlegg blir jo dette svært kostbart.
3. Spesialbygget varegrind med størst mulig avstand mellom spilene som bør være laget av passende materiale og med strømlinjeformet tverrsnitt. Erfaringer viser at forskjellige spesialmalinger på riststavene og lukene også har betydning. Det framgår at kantsjuk-voks-malinger er de beste, mens derimot malinger som inneholder metalloksyder på det bestemteste frarådes. Det kan bemerkes at f.eks. det engelske firmaet Bitulac LTD, Newcastle on Tyne, har eksperimentert seg fram til en slik grosthindrende maling.

Etter en tids eksperimentering i Russland er en kommet fram til en mer universal framgangsmåte, nemlig å bruke polymere kisel-organiske forbindelser i flytende-eller gassform. På denne måten kan en få et fast vannavstøtende skikt på anlegget, som ikke er utsatt for isbelegg.

c. Drivisansamlinger foran varegrinder og tilstopping av inntaket forekommer særlig første del av vinteren før isforholdene stabiliserer seg. Slike ulemper skjer særlig ved kraftstasjoner som har korte og grunne inntaksmagasiner, som f.eks. Fiskumfoss kraftverk i Namsen.

Omfattende, kvantitative ismengdeundersøkelser ble foretatt siste vinter i øvre del av Glomma og nedre del av Nea på henholdsvis 50 og 25 km lange strekninger. Den samlede ismengde i Glomma på den nevnte strekning etter målinger 13-15/12 1954 antas å være 1.65 mill.m³ d.v.s. ca. 33000 m³/pr. km. Etter målinger 15+18/2 1955 var det ca. 2.85 mill.m³ eller ca. 57000 m³ pr. km, d.v.s. en øking av 58%. Det ble konstatert 2 sarransamlinger under isdekket.

I Nea var den samlede ismengde etter målinger i februar 1955 ca. 3.16 mill.m³ eller ca. 126400 m³ pr. km, d.v.s. mer en det dobbelte av ismengden i Glomma på samme tid. Mesteparten av denne var sarr og bunnis.

En isleggingsprosessen under oppbygginger av isdammer kan avbrytes ved et plutselig dambrudd p.g.a. forandringer i værforhold, varmeutviklinger eller av annen grunn. I slike tilfelle inntrer en isgang (kallflo- eller flomisgang) som går som en flombølge nedover vassdraget. Dette medfører forekomst av store drivisansamlinger mot hindringer. Ovenfor blir strømfaret åpent og igjen utsatt for stor isproduksjon.

Av muligheter, hvormed ulemper kan bekjempes i dette tilfelle, kan igjen nevnes bruken av kunstige issperringer i stille elvepartier ovenfor. ++)

4. UTVIKLING AV FAST ISDEKKE.

Utvikling av fast isdekke og den fortsatte tilvekst i tykkelse er ikke bare avhengig av de ytre meteorologiske betingelser, men også av hydrologiske forhold, isdannelsens forløp og den produserte isens fysiske egenskaper.

I stillestående eller langsomtflytende vann, hvor vannmassene er tilstrekkelig avkjølt og islegging foregår hurtig, pleier isen å bli meget tett, hard og seig. Det er mulig å gå over vatn på slik natt gammel is. Foregår islegging tidlig, mens vannmassene ennå ikke er tilstrekkelig avkjølt, eller strekker isdannelsen seg over et lengere tidsrum p.g.a. mildvær eller vind, Nærmere over undervannsisproblemer og kunstige issperringer i elveløp se Teknisk Ukeblad Nr. 44 og 45, Oslo 1951.

Blir isen løsere og mindre seig:

Når det sammenhengende isdekket først er dannet, tilsvarende den videre økning i istykkelse på undersiden den avgitte varmestrøm.

For beregning av istilvekst under naturlige forhold, er oppstilt flere empiriske formler, som tar hensyn til værforholdene (lufttemperatur, skydekke, vind m.v.). Dessverre er det vanskelig å utnytte disse formler i praksis, da våre observasjoner er for lite omfattende. Det iantreffer dog sjelden at isdannelsen får foregå uforstyrret. Ved snøfall og tøvær dannes lett snøblandet vann (sørpe) på isen. Tilfrysingen av sørpen går siden relativt fort på grunn av at det er så lite varme som trenger å bortføres. Jo større snøinnblanding, jo forttere går det. Slik sørpe i s inneholder mye luft og har av den grunn mindre varmeledningsevne enn den nydannede stålisen. Den fortsatte stålisdannelsen foregår derfor langsommere. Den eneste praktiske mulighet for å bestemme snøens innvirkning på istilveksten er å holde en bestemt flate av isen snøfri hele vinteren igjennom. Sammenlignende målinger foretas da i feltet og i naturlige forhold i nærheten.

Eksempelvis er måleresultatene av slike undersøkelser vist på fig. 3 og 4.

På elvestrekninger samles som regel først mer eller mindre store drivismasser, og et sammenhengende isdekke dannes etter at drivismassene er stanset.

Drivisdekket har som regel ujevn tykkelse. Dette skyldes at under islegging blir avløpsforholdene også forandret: Friksjonen mot drivisdekket øker betydelig og strømhastigheten avtar, d.v.s. under uforandret vassføring vil en elv islegges på høyere vannstand enn hva en isfri elv har ved samme vassføring.

På islagte steder blir vannet ikke mer utsatt for direkte påvirkning av den kalde luft, og snart opphører isproduksjonen. Men varmetilførselen fra bunnen, ved lysstråling og på grunn av fallet, kan gi vannet en liten temperaturøkning og dermed en økt tærende evne. Følgen blir at etter en tidsforløp "skjærer elvevannet seg ned i drivismassen" og finner veg under isen. Det blir dannet et tomrom eller en langstrakt råk, som i flatemål representerer den kjøleflate, som er nødvendig for å oppveie varmeutviklingen.

5. TRAFIKKMULIGHETER på ISEN.

Det foregår stor trafikk på islagte vann rundt i landet. Tungtrafikken med stadige på- og avlastninger utsetter isen for mye større påkjenning enn en tidligere regnet med, og år om annet inntraffer ulykker, som skyldes at isen ikke holder.

Det er mange forskjellige faktorer som har betydning for bedømmelse av isens bæreevne, f.eks. temperatur, isens kvalitet, vannstandsvariasjoner, belastningens art o.a. Dette gjør det klart at det ikke er mulig entydig å fastsette isens bæreevne på samme måte som ved vanlige bygningsmaterialer (betong, tre o.l.). Tungtransport over is vil derfor alltid være forbundet med et visst risikomoment, da en hverken matematisk eller empirisk kan finne fram til et fast beregningsgrunnlag, som er gyldig i alle tilfelle.

Noen direkte undersøkelser av trafikksikker is er ennå ikke foretatt, men de vanlige observasjonssteder er ofte søkt henlagt til trafikerte isveger for at en med tiden kan få et materiale til bedømmelse av sikkerheten.

Erfaringen viser at følgende tykkelser av ren stål is er nødvendig ved trafikering av forskjellig slags:

For skiløpere.....	min.	3 cm	midl.	6 cm
" gående.....	"	4 "	"	8 "
" kjørende med hest.....	"	8 "	"	15 "
" lett beltebil (weasel).....	"	12 "	"	20 "
" lastebil eller traktor.....	"	25 "	"	30 "

Tallene søker selvfølgelig bare å gi et begrep om størrelsesordenene. Av hensyn til initfalspenninger og sprekker som alltid forekommer i isen, og de mange uberegnelige elementer, som spiller inn for isen bæreevne, bør en regne med mye større sikkerhet også i ellers ideelle tilfeller. Faste isveger bør forsterkes så godt som værforholdene tillater det. Det er meget viktig at snøen blir feid bort fra vintervegen så snart som mulig. Videre lønner det seg å sprøyte vann på en bred stripe på isen, så vannet fryser ovenfra og forsterker isvegen. Til dette formål har flere svenske firmaer konstruert en kombinert isbor og pumpe hvorved vann kan sprøytes opp på isen under passende forhold.

AVSLUTNING.

Isforholdene er betinget av mangfoldige klimatologiske, morfologiske og hydrologiske faktorer. D.v.s. at vassdragets karakter er så avgjørende for isforholdene, at det som karakteriserer et vassdrag ikke alltid er tilfelle i et annet. Derfor, for å kunne diskutere et isproblem, må en ha gode, homogene, mangeårige observasjoner, særlig for å bestemme reguleringens innvirkning på isforholdene i et vassdrag.

Edvigs V. Kanavin

Januar 1956.