NVE

Hvordan is i vassdrag dannes

– og hvordan vassdragsreguleringer påvirker isen i norske vassdrag

Randi Pytte Asvall

20
2010

RAPPORT

Hvordan is i vassdrag dannes

– og hvordan vassdragsreguleringer påvirker isen i norske vassdrag

Norges vassdrags- og energidirektorat
2010

Rapport 20-2010

Hvordan is i vassdrag dannes – og hvordan vassdragsreguleringer påvirker isen i norske vassdrag

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfatter: Randi Pytte Asvall

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 170

ISSN: 1501-2832

ISBN: 978-82-410-0736-1

Grafikk og ombrekking: Rune Stubrud

Kart: Øyvind Bernhard Andersen

Foto: Alle foto av Randi Pytte Asvall, der ikke annet er nevnt

Emneord: isdannelse, isforhold, reguleringsvirkninger

Sammendrag:
Rapporten gir først et kort, historisk tilbakeblikk på hva slags rolle is i vassdrag har hatt i Norge. Så omtales de fysiske forholdene ved isdannelse og isløsning i elver og innsjøer. Senere beskriver rapporten hvordan kraftutbygging har påvirket isforholdene i norske vassdrag. Så tar rapporten for seg tiltak som kan gjøres for å redusere skadene isen kan gjøre når vassdragene reguleres.

Til slutt ser rapporten nærmere på hvordan kraftutbygging har påvirket isforholdene ved noen utvalgte vassdrag. Hensikten er å vise hvordan reguleringen har påvirket isdannelsen under ulike forutsetninger. De utvalgte vassdragene er derfor geografisk og klimatisk forskjellige – og reguleringene er gjort på forskjellige måter, og på ulike tidspunkter opp gjennom historien.

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

Desember 2010

Innhold

1 Innledning 6

2 Historisk tilbakeblikk 7

3 Fysiske forhold for vann og is 9

3.1 Tetthet og temperatur for vann og is 9

3.2 Årssirkulasjon i innsjøer 9

3.3 Varmeutveksling i elver om vinteren 10

3.4 Underkjøling, statisk og dynamisk isdannelse 12

3.5 Sammenhengen mellom vanntemperatur og strømhastighet 15

4 Is i uregulerte vassdrag 16

4.1 Is på innsjøer 16

4.2 Is på elver 22

5 Is i regulerte vassdrag 38

5.1 Isforhold på magasiner og innsjøer 39

5.2 Isforhold på elvestrekninger 42

5.3 Små kraftverk 43

5.4 Døgnregulering og effektkjøring 43

5.5 Uønsket stans av kraftverk vinterstid 43

5.6 Is i fjorder 44

5.7 Bruk av isen, kart over svekket is 47

6 Tiltak for å redusere problemer med is 49

6.1 Tiltak i vassdrag 49

6.2 Tiltak i fjorder 51

7 Erfaringer fra noen utbygde vassdrag 53

7.1 Glomma fra Aursunden til Elverum 54

7.2 Otta 61

7.3 Begna 64

7.4 Hallingdal 66

7.5 Surna 68

7.6 Orkla 70

7.7 Nea 72

7.8 Stjørdalselva 73

7.9 Namsen 75

7.10 Barduelva 77

7.11 Alta 80

8 Etterord 84

Litteratur 85

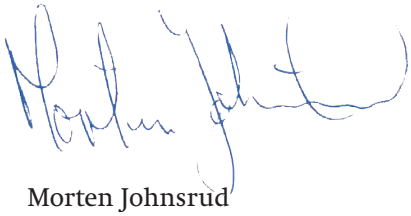
Forord

Norge er blant de landene i verden som produserer mest energi av vannkraft. Denne energien er en helt sentral bærebjelke for å dekke kraftbehovet i landet vårt. Norske vassdrag må reguleres for å få dette til. Dette kan skape problemer fordi det påvirker isen i vassdragene. Områder kan bli oversvømt. Kraftverkene kan få problemer med å produsere strøm. I aller verste fall kan store materielle verdier bli ødelagt.

En av oppgavene for norske energimyndigheter blir derfor å forsøke å gjøre disse problemene minst mulig. Da trengs det kunnskap. Det er det denne rapporten handler om.

Rapporten bygger på erfaringer fra de mange vannkraftprosjekter i Norge. Kunnskap fra undersøkelser over mange års studier av både uregulerte og regulerte vassdrag er tatt med. Den gjenspeiler et sammendrag av lang tids undersøkelser av is gjort av Hydrologisk avdeling i NVE. Rapporten gir oss en oversikt over den kunnskapen vi har om hvordan man skal forutsi hvordan reguleringer av vassdrag vil påvirke isforholdene i de samme vassdragene. Samtidig er også kunnskapen vi har om is – som er en viktig del av norsk natur – en nødvendig del av norsk hydrologi.

Oslo, november 2010



Morten Johnsrud
Avdelingsdirektør

1 Innledning

Det er mange ting som avgjør hvordan isen dannes og oppfører seg i et vassdrag. De viktigste er: vassdragets geografi, hvor det ligger i landet, og meteorologiske og klimatiske forhold.

Alt dette til sammen påvirker de hydrologiske forholdene i selve vassdraget. Det er dette som avgjør hvordan isen oppfører seg der. Om man gjør inngrep i vassdraget – slik en regulering er – vil også dette påvirke de hydrologiske forholdene – og dermed også ha betydning for isforholdene.

Det er ikke nytt at is i vassdrag skaper problemer for folk. Dette skjedde også før norske vassdrag ble brukt til kraftproduksjon. I mange deler av landet har folk opplevd oversvømmelser ved vassdrag. Årsakene har som oftest vært oppbygging av bunnisdammer, isganger eller at elvene har blitt tilstoppet på grunn av is. Slike fenomener har vært kjent for mange som bor langs elver og innsjøer i Norge.

Mange av disse problemene ble verre da vannkraftverkene ble bygget. De kunne oppstå i områder der man ikke hadde hatt slike problemer fra før.

Samtidig er det slik at isen og vannet i vassdragene påvirker hverandre gjensidig. Isforholdene legger også føringer for de hydrologiske forholdene. Vann bindes i is om vinteren. Isen påvirker vannstanden og strømningsmønsteret i elvene. Vannstanden øker uten at vannføringen gjør det. Vanntemperaturen endres, og påvirker biologiske forhold ved vassdraget. Fisken får endrede levevilkår. Elveleiet eroderes. Dette innebærer at også andre fagmiljøer enn hydrologien er avhengige av kunnskapen om is i vassdrag.

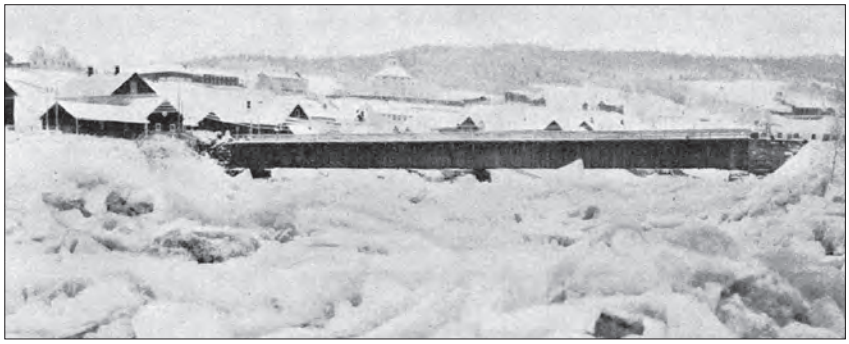
Det er et ønske å produsere vannkraft i Norge på en måte som er mest mulig skånsom for miljøet. For å kunne gjøre det, må man vite hvordan et inngrep i et vassdrag vil påvirke isforholdene. Denne rapporten forsøker å gi en oversikt over den kunnskapen vi har om dette i Norge så langt.

Utlegging av isbru i Begna 1957. Et passende isflak skjæres løs fra strandisen, svinges ut og trekkes over elva. Foto: Syver Roen

2 Historisk tilbakeblikk

Is i vassdrag har alltid vært et viktig element i norsk natur. Is på innsjøer og stilleflytende elver har til alle tider vært brukt som ferdselsvei, særlig der veier og bruer manglet. Mange steder var isen tidligere den viktigste, og ofte den eneste, veien om vinteren. Så snart isleggingen var i gang, og det var gode forhold for videre isdannelse, ble det lagt ut isbruer mange steder i landet vårt. Store isflak ble skåret løs fra strandisen og lagt tvers over elva. På denne måten ble isleggingen fremskyndet i tid – og vinterveien ble sikret.

Fronten av ispropp etter isgang i Trysil 11.01.1929. Foto: O.B.Solem



Ismasser ved Tolga 09.01.1929 etter isgang. Foto: O.B.Solem

Norske hydrologer har undersøkt isen her til lands i over 100 år – helt siden hydrologisk avdeling ble opprettet i 1895. Den gangen lå avdelingen under Kanalvæsenet, som var forgjengeren til NVE.

En viktig oppgave til Kanalvæsenet var å ta vare på mulighetene som norske vassdrag ga for isveier, båttrafikk og tømmerfløting. En annen var å beskytte folk og områder langs vassdragene mot oversvømmelser. De store, beryktede storflommene i Gudbrandsdalen og Østerdalen på 1700- og 1800-tallet gjorde at forbygningsarbeider fikk en sentral plass i Kanalvæsenet.

Isforholdene i norske vassdrag har vært av stor interesse lenge før Hydrologisk avdeling ble opprettet. Grunnen er alle de problemene uønsket is skaper, og ikke minst de problemene is som ikke blir dannet forårsaker – som for eksempel manglende is der folk ville lage isveier. All is, både i form av flytende ispartikler og fast is, hever vannstanden og påvirker forholdet mellom vannstand og vannføring. Isforholdene ved vannmerkene ble derfor også registrert, slik at man kunne ta hensyn til dette ved beregning av vannføringen. De første vannføringsmålinger under is ble antakelig utført allerede vinteren 1910-11.

Fagfolk erkjente tidlig at hydrologiske målinger var viktige for å forutsi hvordan flommene langs vassdragene kom til å bli. Etter hvert skjønte man også at våre vannfall kunne bli brukt som energikilder i langt større grad enn tidligere. En viktig forutsetning for dette var at hydrologiske undersøkelser ble gjort før man bygget vannkraftverk i vassdragene. Denne utbyggingen startet for alvor ved begynnelsen av 1900-tallet. Da ble det også bygget kraftverksmagasiner i vassdragene, slik at vannføringen – og dermed også kraftproduksjonen – kunne økes om vinteren. Dette påvirket også isforholdene, noe som ble nærmere undersøkt etter hvert.

Mange av de nye vannkraftverkene fikk problemer på grunn av isen. Dette fenomenet satte daværende leder ved Hydrologisk avdeling, Ingvar Kristensen, søkelyset på allerede i 1904. Da holdt han et bemerkelsesverdig foredrag om hvordan isen ble dannet i vassdrag. Han beskrev isdannelse i turbulent strøm, og spesielt hvordan bunnis ble dannet. På den tiden ble det hevdet at det var varmetap som følge av stråling fra bunnen som skapte bunnis. Dette var Kristensen

uenig i. Han mente derimot at dette skyldtes svevende iskrystaller som ble avsatt direkte på bunnen. Dette stemmer med den kunnskapen vi har i dag. Han omtalte også underkjøling og skilte mellom "kaldt" og "varmt" sarr – noe vi i dag beskriver som aktivt og passivt sarr. Han oppdaget at aktivt sarr – eller såkalt "kaldt" sarr – gjorde at kraftverksgrindene frøs igjen. De ble derfor ofte tatt vekk om vinteren i "kalde" elver.

Innsjøen Aursunden øverst i Glomma ble regulert i 1924 for å skaffe vann til kraftverkene som allerede var bygget lengre ned vassdraget. Dette var en av de første store reguleringene som ble gjort i Norge. Isganger i Glomma har vært kjent i uminnelige tider. Likevel mente mange den gangen at de store isgangene som gikk vintrene 1926-1927 og 1927-1928 kunne ha sammenheng med vintertappingen fra Aursunden.

I 1928 bestemte regjeringen at en kommisjon med fagfolk skulle undersøke hvorfor de store isgangene gikk i Glomma. En av dem de utnevnte var Olav Devik som den gangen underviste og forsket ved NTH i Trondheim. Devik har senere blitt beskrevet som Norges fremste ekspert på is i vassdrag. Han mente det var nødvendig å undersøke hvilke faktorer som har betydning for varmetap og isproduksjon i elver og innsjøer. Samtidig studerte han prosessene som påvirket avkjøling av vann og isdannelse i vassdrag.

Devik var nøye med å skille mellom innsjøer og elver med turbulent strøm. Særlig understrekte han betydningen av underkjøling i åpen elv i stryk ved dannelse av bunnis og bunnisdammer, noe som kan forårsake isganger. Devik fikk faglig støtte fra den latviske fysikeren W.J. Altberg, som hadde beskrevet dette fenomenet noen år tidligere. Resultatet av undersøkelsene til Olav Devik ble en doktoravhandling i 1931, som fikk stor anerkjennelse i fagmiljøet. Han har siden – sammen med W. J. Altberg – blitt regnet som en av pionerene i vassdragsfysikken.

På denne tiden var utbygging av vannkraftverk i Norge allerede i full gang. Politikerne hadde bestemt gjennom vassdragslovene at man skulle undersøke hvordan isforholdene ble påvirket av vassdragsreguleringene før kraftverkene ble bygget. Folk som ble skadelidende på grunn av reguleringen, skulle få erstatning. For å vurdere slike spørsmål, ble sakkyndige hentet inn – og det ble holdt såkalte vassdragsskjønn. Devik ble senere sakkyndig i de aller fleste slike vassdragsskjønn i årene som fulgte.

Devik arbeidet likevel tett med spørsmål som var knyttet til is i vassdrag, selv om han senere rykket opp i embetsverket til å bli ekspedisjonssjef i Kirke- og Undervisningsdepartementet fra 1938 til 1956. Han ble en sterk pådriver for å opprette et eget iskontor ved Hydrologisk avdeling.

Selv som pensjonist arbeidet han iherdig med spørsmål knyttet til is, og ble også da regnet for å være en av fagmiljøets ledende isfysikere.

En annen profilert ekspert på is i norske vassdrag var den latviske fysikeren Edvigs V. Kanavin. Han kom til Norge høsten 1949, og ble samme vinter leder for det nyopprettede iskontoret ved Hydrologisk avdeling. Kanavin hadde da arbeidet med isfysikk i over 20 år i hjemlandet, og hadde med seg kunnskap og erfaring fra en allsidig praksis i faget. Han startet en rekke grunnleggende undersøkelser av is i norske vassdrag. I etterkrigstiden skjøt norsk vannkraftutbygging fart. Arbeidet med å undersøke konsekvensene vannkraftutbygging hadde på isforholdene, ble større og større. Kanavin ledet også dette arbeidet.

De første reguleringene i norske vassdrag påvirket naturen lite. Grunnen var at vannkraftverkene som ble bygget hadde relativt små magasiner. Bare en del av vannet i vannrike perioder ble utnyttet.

Etter hvert ble det bygget større magasiner. Reguleringsgraden økte. På 50-og 60-tallet ble mer av vannet utnyttet. Hensikten var å produsere mer kraft om vinteren, da behovet for strøm var størst.

Konsekvensen ble redusert vintervannføring på lange strekninger i vassdraget, samtidig som det ble økt vannføring andre steder. Dette skapte betydelige problemer med is i vassdraget og dermed også driftsproblemer ved flere kraftstasjoner. Dette gjorde at utbyggere ble mer oppmerksomme på hva slags betydning det hadde å undersøke hvordan isproblemer kan oppstå når vassdrag reguleres.

I årene som fulgte, helt frem til utover i 1990-årene, ble de store vannkraftverkene i Norge bygget. Dette beskrives som "gullalderen" for norsk vannkraftutbygging. Det samme kan sies om undersøkelsene av isforholdene i vassdragene knyttet til kraftverksutbygging som ble gjort i disse årene.

Mer erfaring og kunnskap gjorde at problemer med isen ble unngått. Tiltak for å hindre dette ble gjort allerede da kraftverkene ble planlagt.

Nå er de store vannkraftutbyggingene nærmest stanset opp. De fleste kraftverkene som bygges nå er ganske små, ofte omtrent uten magasiner, og har dermed liten eller ingen mulighet til å regulere vannføringen.

3 Fysiske forhold for vann og is

3.1 Tetthet og temperatur for vann og is

Vann er det eneste stoffet på jorden som finnes både som væske, i fast form og i dampform. Rent vann har størst tetthet, 1000 kg/m³, ved én atmosfæres trykk og når temperaturen er litt under 4 °C. Tetthetsvariasjonene i vann er små, men likevel avgjørende for de termiske forholdene i både elver og innsjøer. Dersom en rolig vannflate på 4 °C avkjøles eller oppvarmes fra lufta vil det i begge tilfeller dannes et lag av lettere vann øverst i vannmassene, og det blir stabil sjiktning. Tettheten er den samme ved 0 °C og ca 8 °C. Frysepunktet for vann er 0 °C. Tettheten avtar til 918 kg/m³ og volumet øker ca 9 % ved frysing. Ved ytterligere avkjøling øker isens tetthet, og er 923 kg/m³ ved −30 °C. Figur 3.1 viser hvordan vannets tetthet varierer med temperaturen. Når isen fryser naturlig, kan luftbobler fryse inn i isen. Da reduseres tettheten noe, og isen får en hvitaktig farge. Tett, luftfri is er glassklar. Til praktisk bruk regnes isens tetthet vanligvis til 900 kg/m³. Is som flyter fritt i vann, vil derfor ha ca. 10 % av volumet over vannflaten mens 90 % av volumet vil være under vann. Dette er viktig for isens bæreevne.

3.2 Årssirkulasjon i innsjøer

Det foregår alltid varmeutveksling mellom overflaten i en innsjø og atmosfæren. Varmetransport i dypet skjer hovedsakelig ved mekanisk blanding, enten ved bølger eller ved vertikale strømmer på grunn av tetthetsforskjeller. Varmetransport ved ledning er svært langsom, noe som gjør at vanntemperaturforholdene i en islagt sjø forandrer seg lite gjennom vinteren. I tillegg tilføres og fraføres varmemengder ved tilløp og avløp. I uregulerte vassdrag er vanligvis tilsiget om vinteren forholdsvis lite, spesielt gjelder dette typiske innlandsvassdrag. Dette fører til at varmetransport som skjer ved gjennomstrømning om vinteren er moderat i de fleste uregulerte innsjøer.

Praktisk talt alle norske innsjøer karakteriseres som tempererte. Dette betyr at overflatetemperaturen er over 4 °C om sommeren og under 4 °C om vinteren. Fordi vannet er tyngst ved 4 °C, eller nærmere bestemt 3.96 °C, vil innsjøvannet være varmere i overflaten enn i dypet om sommeren. Om vinteren er det omvendt. Da er det kaldere i overflaten enn i dypet (fig. 3.2). Vindforholdene i den isfrie perioden er meget viktige for temperaturutviklingen. Temperaturforholdene i en innsjø varierer med beliggenhet,

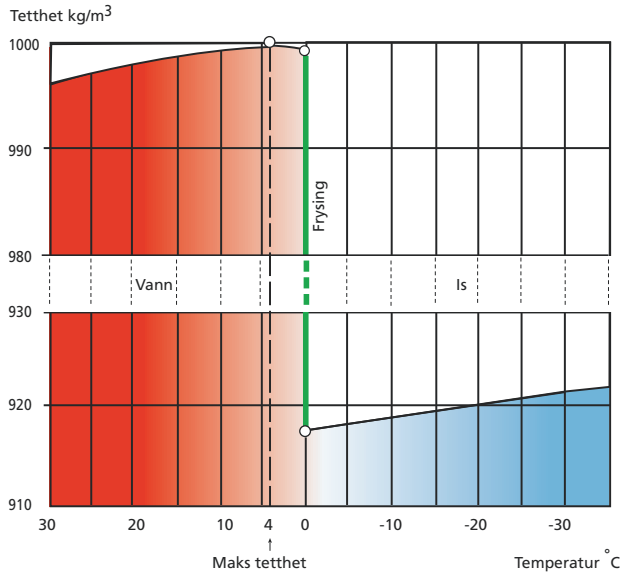


Fig 3.1. Tetthet av vann og is som funksjon av temperaturen.

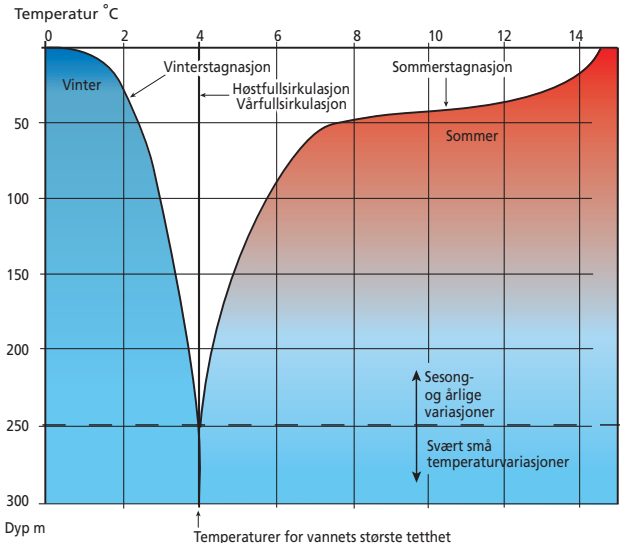


Fig 3.2. Temperaturforhold i dype tempererte sjøer sommer og vinter.

størrelse og dybdeforhold, i tillegg til hydrologiske og meteorologiske forhold på stedet. Det kan derfor være store variasjoner, både for forskjellige sjøer i samme område og fra år til år i samme sjø.

I løpet av sommeren varmes hele innsjøen opp til en temperatur høyere enn 4 °C. Temperaturen er høyest i overflaten og det blir stabil temperatursjiktning i vannet der det varmeste og letteste vannet ligger øverst. Dette kalles sommerstagnasjon, og det er termisk lagdeling. Utover høsten avkjøles overflatelaget. Det blir tyngre og tetthetsforskjeller utløser vertikale massebevegelser. Sammen med mekanisk blanding fra vind og bølger vil hele vannmassen etter hvert få en temperatur på 4°C. Dette kalles høstfullsirkulasjon. Jo dypere sjøen er, jo lenger tid vil dette ta under ellers like forhold. Ved ytterligere avkjøling blir overflatelaget igjen lettere enn vannet nedover i dypet. Temperaturendringene er et resultat av varmeutveksling med atmosfæren og omrøring i vannet på grunn av vind. Denne omrøringen rekker dypere jo mer det blåser. Det er igjen blitt stabil sjiktning, men nå med det kaldeste og letteste vannet øverst. Dette kalles vinterstagnasjon, og det er igjen blitt termisk lagdeling i vannet. Om vinteren er tetthetsforskjellene i vannet betydelig mindre enn om sommeren, og vinden bryter lettere ned lagdelingen i vannet.

Når overflaten avkjøles til litt under 0°C, dannes det is. Helt oppunder isen er vanntemperaturen 0°C. Vanligvis vil temperaturen i 10-15 meters dyp i større sjøer være mellom 1 og 2 °C ved islegging, alt etter hvor mye vind det har vært før isen har lagt seg. Temperaturen stiger svakt med dypet, og avkjølingen vil gå helt til bunns i de aller fleste innsjøer. Dermed vil temperaturen i bunnen normalt være mindre enn 4 °C.

I meget dype sjøer, dypere enn 200-300 meter, kan temperaturen på bunnen være nær 4 °C hele året. Dette kan også skje i små og grunne sjøer som ligger godt skjermet for vind. Disse kan fryse til på kort tid ved sterk kulde, mens vannmassene i dypere lag fortsatt har vannets største tetthet, altså 4° C. Grunne og store sjøer er gjerne sterkt utsatt for vind. Vinden blander vannmassene helt ned til bunnen. Vannmassene får da temperaturer på godt over 4 °C om sommeren og godt under 4 °C om vinteren.

I en dyp innsjø vil en i samme dyp som tilsvarer bunnen i en grunn innsjø ha kaldere vann om sommeren og varmere vann om vinteren. Dette skyldes innblanding av dypereliggende vann med temperatur nær 4°C i den dypere sjøen.

Et isdekke, spesielt dersom dette er snødekket, beskytter vannmassene mot videre avkjøling, og temperaturen i vannet synker bare svakt etter islegging. De meteorologiske forholdene før islegging har derfor avgjørende betydning for temperaturforholdene i innsjøen resten av vinteren. Stor gjennomstrømning vil imidlertid kunne endre dette (kap.5.1).

Så lenge innsjøen er islagt har vinden ingen virkning på vanntemperaturforholdene. Nedover i dypet skjer varmeutvekslingen som et resultat av varmeledning. Dette går svært langsomt, og er grunnen til at temperaturforholdene i en islagt sjø forandrer seg lite gjennom vinteren.

Om våren øker tilsiget. Vannstanden øker og det blir landråker. Dette påvirker strømforholdene og tærer på isen. Så snart det er blitt åpne områder vil vindomrøring igjen bidra til å øke varmeutvekslingen i sjøen. Isen smelter og vanntemperaturen vil igjen - som et mellomstadium - øke til 4 °C overalt i sjøen. Dette kalles vårfullsirkulasjon. Ved ytterligere oppvarming blir vannet igjen lettere, og varmeutvekslingen nedover i dypet foregår hovedsakelig ved vindomrøring. Da er temperaturen igjen høyest i overflaten. Ringen er sluttet, og en er tilbake til sommerstagnasjonen.

3.3 Varmeutveksling i elver om vinteren

Temperaturen i elver varierer over døgnet, over året, og med geografisk beliggenhet. Dette skyldes hovedsakelig tilsvarende variasjoner i meteorologiske forhold. Det foregår en kontinuerlig varmeutveksling mellom vannet i vassdraget og atmosfæren. På grunn av vannets store varmekapasitet varierer vanntemperaturen mye mindre enn lufttemperaturen. Dersom lufttemperaturen er den samme tilstrekkelig lenge, vil døgnmidlene av vanntemperatur og lufttemperatur nærme seg hverandre.

De viktigste prosessene i varmeutvekslingen er:

- Kort- og langbølget inn- og utstråling
- Fordunstning og konveksjon
- Omdanning av fallenergi til varme
- Varmeutveksling ved tilsig, avløp og nedbør
- Varmeutveksling med bunnen

Den største varmeutvekslingen skyldes kort- og langbølget stråling. Den kortbølgete strålingen er fra solen. Noe av denne strålingen reflekteres når den når vannoverflaten. Mengde reflektert stråling avhenger av overflatens refleksjonsevne. Fra vann reflekteres bare en liten del kortbølget stråling

og en større del av strålingen absorberes i vannet. Om vinteren er solhøyden lav og betydningen av den kortbølgete strålingen avtar, mest fordi energi pr. flateenhet avtar. Det reflekteres mer fra snø- og islagte flater enn fra åpent vann.

Vannoverflaten stråler ut langbølget energi (varmestråling), men mottar samtidig langbølget energi fra luft og skyer. I klarvær kommer lite av denne energien tilbake, og varmetapet blir et dominerende energiledd om natten og om vinteren.

Fallenergien i vannet omsettes til varme, og gir teoretisk 1 °C oppvarming pr 427 meter fall. Effekten av dette varmetilskuddet merkes best i en islagt elv der andre varmeprosesser er sterkt redusert. Falloppvarmingen kan føre til strømråker, og til smelting av sarr og bunnis (kap. 4.2.6).

Grunnvann kan bety mye for temperaturen i elva der grunnvannstilsiget er stort. Dette merkes som temperaturforskjeller på tvers av elva, spesielt når vannføringen er liten. Grunnvannet kan også gi høyere vanntemperatur om vinteren og lavere vanntemperatur om sommeren over hele elva. Om vinteren kan grunnvannet gjøre at det blir landråker i islagt elv. Elva kan også bli helt isfri i ekstreme grunnvannsvassdrag. Varmeutvekslingen mellom vannet og bunnen i de fleste norske elver og innsjøer er liten. I spesielt grunne sjøer og på grunne partier i elver kan imidlertid varmeutveksling med bunnen være av betydning.

I en middels stor norsk elv kan en, som en tommelregel, regne avkjølingen ved middels kulde, til å være av størrelsesorden 0.1°C/km. På grunne strykstrekninger vil avkjølingen stedvis kunne være betydelig større og det er store lokale variasjoner. Nedbør i fast form, sludd, snø og hagl, trekker store varmemengder fra vannet ved smelting, og virker derfor sterkt avkjølende.

Sky-dekke (1/10)	Vind-hast. (m/s)	Varmetap (W/m²) Lufttemperatur (°C)			
		0	-10	-20	-30
0	1	138	280	401	527
	5	146	389	598	782
5	1	79	222	343	468
	5	88	334	539	723
10	1	25	163	288	414
	5	33	276	485	669

Tabell 1. Beregnet varmetap fra åpen vannflate ved forskjellige værforhold (etter Devik).

Middels kulde (200 W/m²)		Sterk kulde (400 W/m²)	
Vannføring (m³/s)	Kjøleflate (1000 m²)	Vannføring (m³/s)	Kjøleflate (1000 m²)
1	20	1	10
10	200	10	100
25	500	25	250
50	1000	50	500

Tabell 2. Beregnet kjøleflate for å senke vanntemperaturen 1°C i turbulent strøm (etter Devik).

Varmeutvekslingen mellom atmosfæren og en vannmasse er proporsjonal med størrelsen av kontaktflaten mellom vann og luft, temperaturforskjellen mellom vann og luft og den tiden varmeutvekslingen foregår. Varmeutvekslingen øker med økende vind.

Varmetapet fra en åpen vannflate når lufttemperaturen er lav har svært mye å si for isproduksjonen i et vassdrag. Olaf Devik gjennomførte i sin tid teoretiske beregninger av dette. Ved å bruke både teoretiske og empiriske metoder fant han frem til verdier for varmetapet fra en åpen vannflate, beregnet for norske forhold ved forskjellige meteorologiske situasjoner. Disse brukes fortsatt ved praktiske vurderinger av isforhold. Noen av resultatene han fant er vist i tabell 1.

For overslagsformål kan et varmetap på 200 W/m² brukes som middelverdi for værforhold som kan karakteriseres som midlere kulde, og 400 W/m² for streng kulde.

For eksempel er det midlere kulde når det er klarvær, svak vind og ca −5 °C eller når det er halvskyet, stille og ca −10 °C. Det er streng

Den første isdannelsen på stille vann. Is vokser ut fra krystallisasjonskjerner som kommer i kontakt med underkjølt vann og danner et nettverk av isnåler. Ganske snart islegges hele området.

kulde når det er klarvær, stille og −20 °C, eller når det er overskyet, stille og −30 °C. Disse verdier kan være et praktisk hjelpemiddel dersom en ønsker å beregne f eks størrelsen av råker nedenfor utløp av kraftverk.

I elver med turbulent strøm har alt vannet tilnærmet samme temperatur, og eventuell tilført eller fraført varmemengde fordeles da på hele vannmassen. For å vurdere isforholdene i turbulent, strømmende vann er det av stor interesse å vite hvilken kjøleflate som under gitte forhold er nødvendig for å senke vanntemperaturen til frysepunktet. Beregnet kjøleflate for å senke vanntemperaturen 1 °C ved utvalgte vannføringer er vist i tabell 2.

Dette viser at det ved en vannføring på 25 m^3/s i middels kulde trengs en kjøleflate på 500.000 m^2 for å senke vanntemperaturen 1 °C. Dette vil f eks være 10 km i en 50 meter bred elv.

3.4 **Underkjøling, statisk og dynamisk isdannelse**

Det er stor forskjell på isleggingen i stille eller stilleflytende vann og isdannelse i turbulent strømmende vann. Prosessene betegnes som henholdsvis statisk og dynamisk isdannelse. For at vann skal fryse må vannoverflaten være noe underkjølt, altså ha en temperatur på under 0°C.

Varmetapet i kaldt vær fra en åpen vannflate fører til at vannets aller øverste lag underkjøles. Den underkjølte vannhinnen er meget tynn og temperaturen er vanskelig å måle med et vanlig termometer. Devik har angitt tykkelsen til å være rundt 0.01 mm. Den latviske fysikeren W. J. Altberg anses for å være den første som påviste underkjøling ved temperaturmålinger. Han målte underkjøling med et fintfølende kvikksølvtermometer, og fikk overbevisende målinger av underkjøling i elva Neva omkring 1916 - 17. Målinger han utførte i 1925 viste en underkjøling på vel − 0.2 °C.

Olaf Devik målte underkjøling i elva Festa i Opdal i april 1930. Dette var en del av doktoravhandlingen hans. Devik målte underkjølingen ved å måle varmestrålingen fra overflaten. Målingene gjorde han med et selvlaget instrument som besto av en følsom termosøyle og et galvanometer. Devik målte da en underkjøling på − 1.4 °C. Han observerte at veksten av iskrystaller begynte

Sarr i strømmende vann, det er moderat strøm og sarret flyter i overflaten.

da underkjølingen var størst, og fortsatte så lenge vannet var underkjølt (fig. 3.3). Veksten av en iskrystall og varmeovergangen mellom vann og is er skissert i fig. 3.4. Funnene hans ble bekreftet ytterligere da han også ved flere senere målinger påviste underkjøling mellom – 1 og – 1.4 °C.

Isdannelse kan først begynne når vannoverflaten er blitt noe underkjølt. Da må det være krystallisasjonskjerner tilgjengelig i vannet. Den første isen vokser ikke som en ensartet hinne, men skyter ut fra punkter i strandkanten eller fra krystallisasjonskjerner i den underkjølte vannoverflaten. Iskrystallene vokser raskest på utstående spisser og danner derfor først et nettverk av isnåler. Områdene mellom dette nettverket er fortsatt underkjølt og vil raskt islegges. Dette kalles kraving, og det dannes stålis. Dette er statisk isdannelse. Et snøfall gjør at isdannelsen på en underkjølt vannflate skjer raskere. I vann med svak strøm uten merkbar virveldannelse foregår isleggingen på samme måte. Den før-

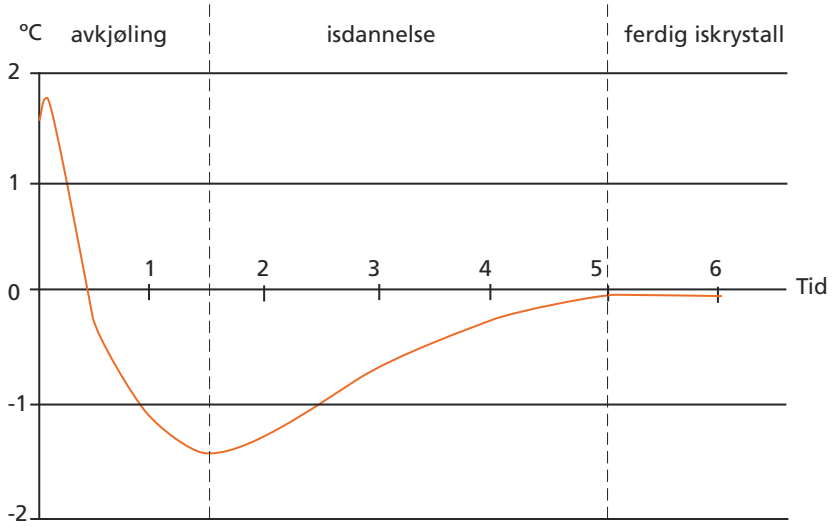


Fig 3.3 Temperaturutvikling ved dannelse av iskrystaller (etter Olaf Devik).

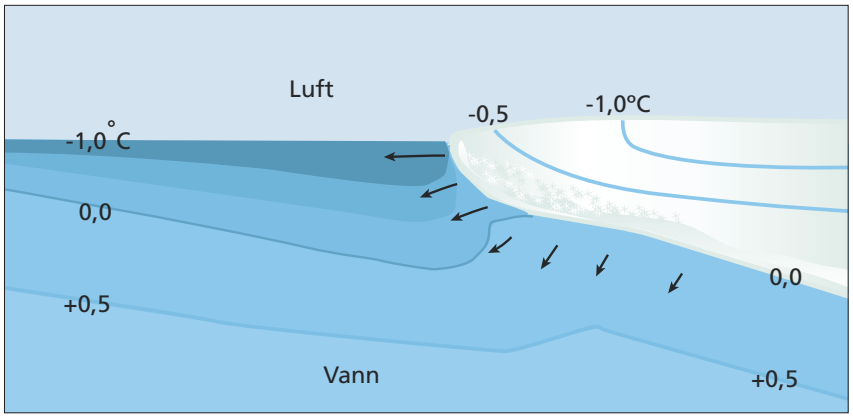
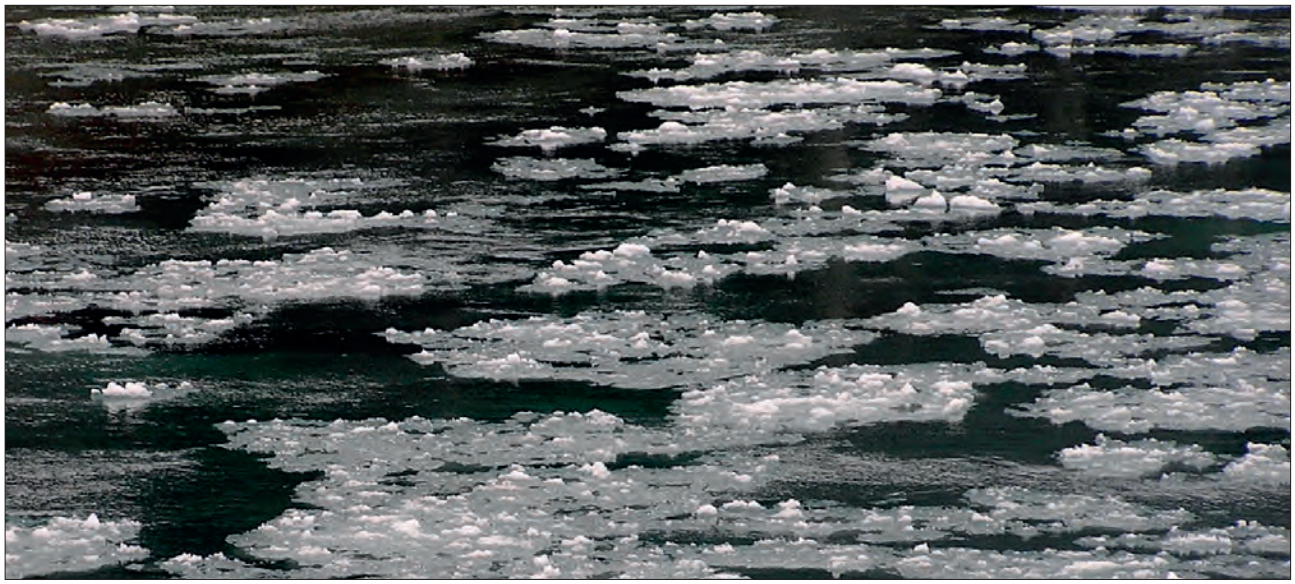


Fig 3.4 Vekst av iskrystall i underkjølt vann. Forholdene er forenklet og dimensjonene overdrevet (etter Olaf Devik).



Fnokking av sarr til større sarrflak.

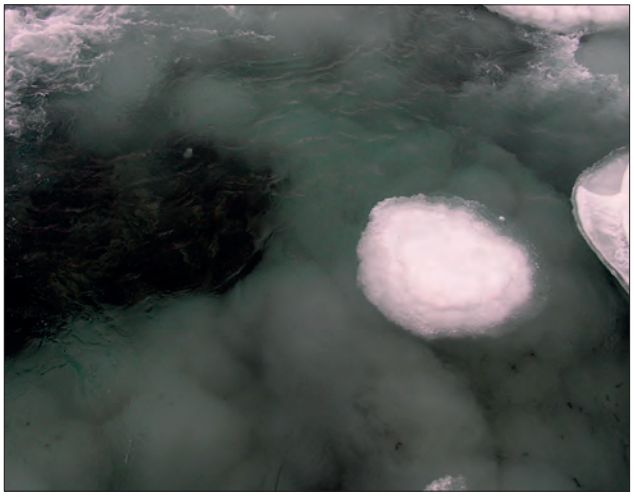
ste isen dannes langs strendene og på rolige områder som er lite påvirket av vind.

Så snart det er dannet et sammenhengende isdekke, vil isen ha en temperatur på 0 °C på undersiden. Da er enhver underkjøling av vannet under isen utelukket. Når isens overflate avkjøles til under 0 °C fjernes varme fra grenseflaten mellom vann og is. Vannet fryser på undersiden av isen og istykkelsen øker.

I strømmende vann er det tilnærmet fullstendig blanding av vannmassene. Dette er typisk for lange strekninger i de fleste norske elver. Ved vedvarende kulde vil da hele vannmassen etter hvert avkjøles til meget nær 0 °C. Ved ytterligere varmetap fra vannet vil et meget tynt overflatelag underkjøles. Disse underkjølte vannhinnene vil bevege seg i vannet med virvlingen. Når underkjølt vann kommer i kontakt med flytende eller frittsvevende krystallisasjonskjerner dannes det iskrystaller, sarr, som enten flyter i overflaten eller virvles ned i dypere lag ved sterkere strøm. Underkjølte vannmolekyler og underkjølt sarr kan nå helt ned til bunnen og danne bunnis. Dannelse av sarr og bunnis kalles kjøving, og er dynamisk isdannelse. Ved sterk produksjon kan sarret dekke store deler av overflaten. Sarret fnokkes sammen til større flak, og kan samles opp på mer roligflytende områder. Ved langvarig kulde kan bunnisen vokse til et tykt lag over hele elvebunnen.

Sarr og bunnis, som ofte kalles undervannsis, skiller seg sterkt ut fra krystallinsk stålis. Undervannsisen er kornet og svampaktig. Den er helt gjennomtrukket av vann og virker som et meget fint filter.

Fargen på bunnis sett gjennom vannet varierer med lysforholdene og er grønlig eller grålig. Underkjølt sarr betegnes som aktivt sarr, og kleber meget lett til is, elvebunnen og andre gjenstander i vannet. Når sarret mister underkjølingen, kalles det



Bunnis dannes når underkjølt sarr og vann kommer i kontakt med bunnen. Den vokser raskest på utstående spisser hvor vannhastigheten er stor og får en uregelmessig overflate, eldre bunnis har en moseliknende avrundet overflate (til høyre).

Bunnisen, som er grønn på bildet, kan i kaldt vær med stor sarrproduksjon dekke store områder i løpet av kort tid.

passivt sarr. Det vil da ikke lenger fryse fast til noe og vil ikke lenger kunne danne bunnis. Det vil da føres videre med strømmen eller akkumuleres oppunder isen på rolige partier i elva. Uten tilgang på underkjølt vann eller sarr vil bunnisen etter hvert løsne fra bunnen og flyte opp.

Ved sterk vind og kulde kan sarr også dannes i åpent vann på innsjøer og i magasiner. Det kan da bli en overflatestrøm der det øvre laget blir omrørt og avkjølt, og overflaten underkjøles. Det dannes sarr som kan feste seg på faste konstruksjoner, som inntaksrister og luker ved kraftverk.

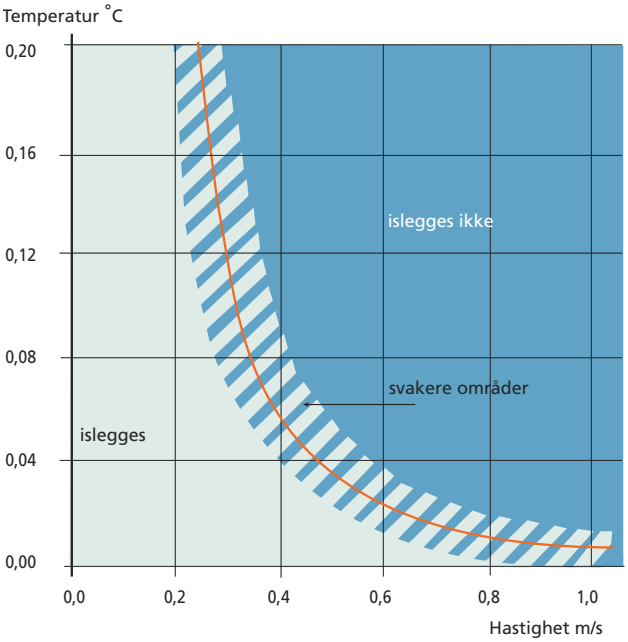


Fig 3.5 Vanntemperatur og vannhastighet i råker. Når kombinasjon av vannhastighet og vanntemperatur ligger i området til venstre for kurven vil det dannes overflateis, i området over og til høyre blir det ikke is. (Etter målinger i Nea)

3.5 **Sammenhengen mellom vanntemperatur og strømhastighet i råker**

En elvs evne til å tære på isen eller holde en råk åpen avhenger hovedsakelig av vannets temperatur og hastighet. Hvis vanntemperaturen er for høy, eller strømhastigheten er for stor, kan det ikke bli is.

Ved vannhastigheter opp til ca 0.4 m/s vil flytende aktivt sarr feste seg på langsgående iskanter, og ved hastigheter opp mot 0.6 m/s vil sarret stanse mot tverrgående isfronter og bygge isdekket oppover elva. Ved sterkere strøm vil sarr og drivende is dykke under isfronten.

Ved en strømhastighet på omkring 0.6 m/s vil råker holde seg åpne i sterk kulde selv om vannet i råka bare har en temperatur på et par hundredels grader. Denne temperaturen får vannet ved å passere et fall på ca 8 m. Ved større strømhastigheter, som f.eks ved 1.0 m/s, er denne kritiske temperaturen på bare noen tusendels grader. Sammenhengen mellom vannhastighet, vanntemperatur og isdannelse er vist i fig 3.5. Målingene er tatt 5-15 cm fra iskanten. For å få gode målinger av dette må isforholdene ovenfor råka være stabilisert. Videre må værforholdene være stabile. Særlig solstråling vil forstyrre slike temperaturmålinger.

En vannføring som lokalt øker strømhastigheten over denne kritiske grensen kan føre til at elva blir gående åpen hele vinteren. Denne grensehastigheten, 0.6 - 0.8 m/s, er viktig for oppbygging av et sammehengende isdekke. Disse hastighetene betegnes som kritiske hastigheter for islegging.

4 Is i uregulerte vassdrag

Tidspunktet for isdannelse i elver og innsjøer varierer med meteorologiske faktorer. Disse faktorene er først og fremst lufttemperatur, skydekke, vind og nedbør. For innsjøer er dybdeforholdene også viktige for når isen dannes. For elver gjelder dette både dybde- og fallforhold. Alle disse faktorene er også med på å avgjøre tidspunktet for isløsningen og når vassdraget blir isfritt. Da er imidlertid dybdeforholdene i innsjøene mindre viktige faktorer enn når isen dannes.

Normalt begynner isleggingen på mindre elver omtrent samtidig med isleggingen på grunne sjøer i det samme området. Det tar ofte lenger tid før større elver blir islagt. Store og dype innsjøer islegges enda senere. Dette betyr at det kan være store forskjeller mellom når innsjøer og elver i det samme området islegges. Generelt kommer isløsningen noe tidligere i elvene enn på innsjøene.

Vanligvis er det is i alle vassdrag i Norge, bortsett fra en randsone langs sør- og vestlandet. Enkelte strekninger i vassdragene kan likevel ha lite eller ingen is. Lengden på issesongen varierer med høyden over havet, avstanden fra kysten, fra nord til sør, og fra år til år. Samtidig varierer isforholdene med variabiliteten i været.

I kontinentale strøk med stabile værforhold er det stabile isforhold når isen først har lagt seg, mens det i mer maritime strøk med skiftende værforhold kan være både store og hyppige variasjoner i isforholdene gjennom vinteren. Elva vil alltid gå åpen et stykke nedenfor de fleste innsjøer. Hvor langt elva går åpen avhenger av lokale forhold. Nedenfor store innsjøer er den isfrie strekningen lengre enn nedenfor små innsjøer. Den isfrie strekningen blir kortere utover vinteren.

4.1 Is på innsjøer

Etter høstfullsirkulasjonen, når vanntemperaturen er 4 °C i alle dyp, vil det letteste og kaldeste vannet ligge øverst. Den videre avkjølingen skjer ved varmetap fra overflaten, og det vil være avkjøling nedover i vannmassen, hovedsakelig på grunn av mekanisk blanding på grunn av vind og bølger. Avkjøling som skjer ved ledning i vannmassene går veldig sakte. Når temperaturen i overflaten har nådd 0 °C, og vannet har blitt noe underkjølt, kan isleggingen begynne. Dette vil inntreffe på forskjellige tidspunkter ulike steder i innsjøen, avhengig av dybde, strømforhold og vindeksposisjon (fig. 4.1).

Grunne innsjøer avkjøles fortere og islegges tidligere enn dype innsjøer. Isleggingen starter alltid på grunne, lune viker. Det vil alltid være krystallisasjonskjerner tilstede i vannet, og ved under-

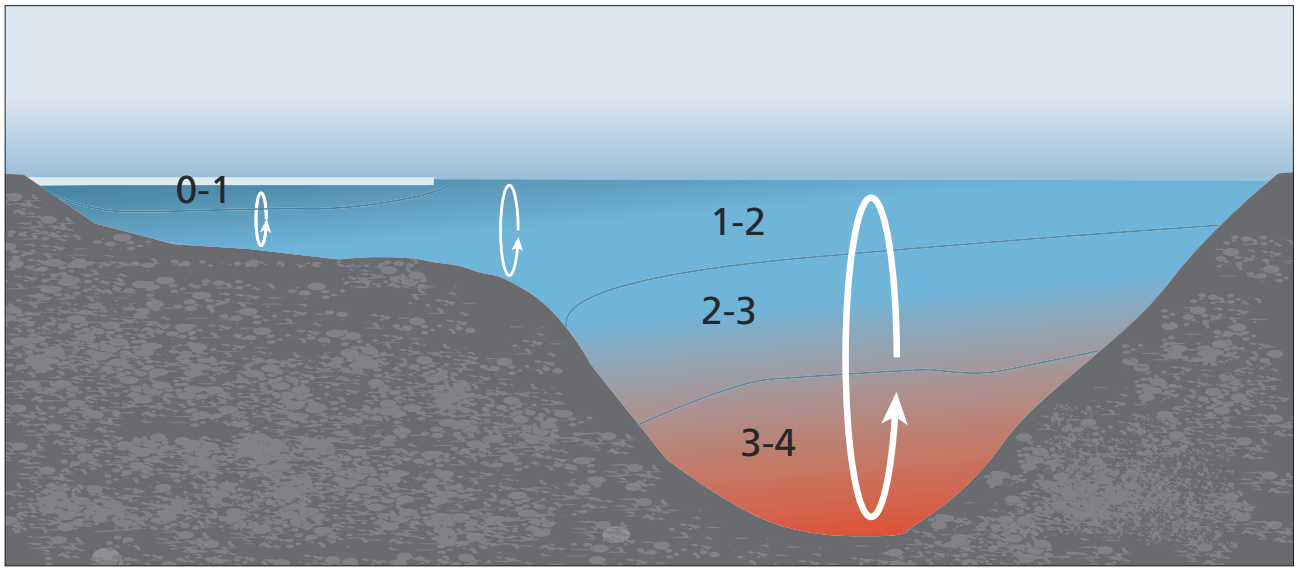


Fig 4.1 Sirkulasjon i innsjøer under islegging. Grunne områder islegges først. På dypere områder må større vannmasser avkjøles og det tar lenger tid før isleggingen kan begynne. Sterk vind vil utjevne forskjellene.

Islegging i flere etapper på en stille sjø. Det sentrale, dypeste området er ennå ikke islagt, nærmere land er et område med blank snøfri stålis, og langs land er det eldre snødekt is.

kjøling av overflaten dannes stålis (som allerede er omtalt i kapittel 3.4). Ren stålis er glassklar. I stille, kaldt vær kan store områder, iblant hele overflaten, islegges i løpet av en natt. Isen kan bli gangbar i løpet av noen døgn. På dypere områder, særlig de som er utsatt for vind, kan det stå igjen isfrie områder, der isleggingen tar lenger tid. Dette kalles vindbrønner.

Om det fortsatt skal bli stabil isvekst avhenger av om det blåser opp eller fortsetter å være stille vær. Selv om en stor del av innsjøen blir islagt i første omgang, vil ofte bølger, forårsaket av vind, bryte opp isen omkring gjenstående åpne områder og føre varmere vann fra dypere lag opp mot overflaten. Dette vil tære både på den oppbrukne isen og på isens randsone. Her må isleggingen starte på nytt når værforholdene igjen blir gunstige for isdannelse. Dermed blir isleggingen forsinket.

"Vindbrønn", et isfritt område, ofte på det dypeste partiet. Til høyre: "Vindbrønn"-området etter islegging og snøfall. Etter snøfall på tynn is trykkes isen ned og og vann trekker opp i snøen – og som derfor får et grålig skjær.

I stille, kaldt vær vil en innsjø kunne islegges tidlig. Vannmassene i sjøen vil da ha forholdsvis høy temperatur ganske nær opp mot isen, ofte 2-3 °C. I små, grunne innsjøer godt skjermet for vind kan disse vannmassene ha en temperatur på opp mot 4 °C.

Under vekslende værforhold med mye vind, som er mer vanlig, vil sjøen bli avkjølt ned til større dyp, og isleggingen begynner senere. I store sjøer vil vanntemperaturen i dypet oftest være i området 1-3 °C, varierende fra sted til sted og fra år til år. I store, meget dype sjøer - altså sjøer som er minst 200-300 meter dype - kan vanntemperaturen være 4 °C i dypet om vinteren, fordi avkjølingen ikke når helt til bunns. Slike innsjøer blir sjelden helt islagt.

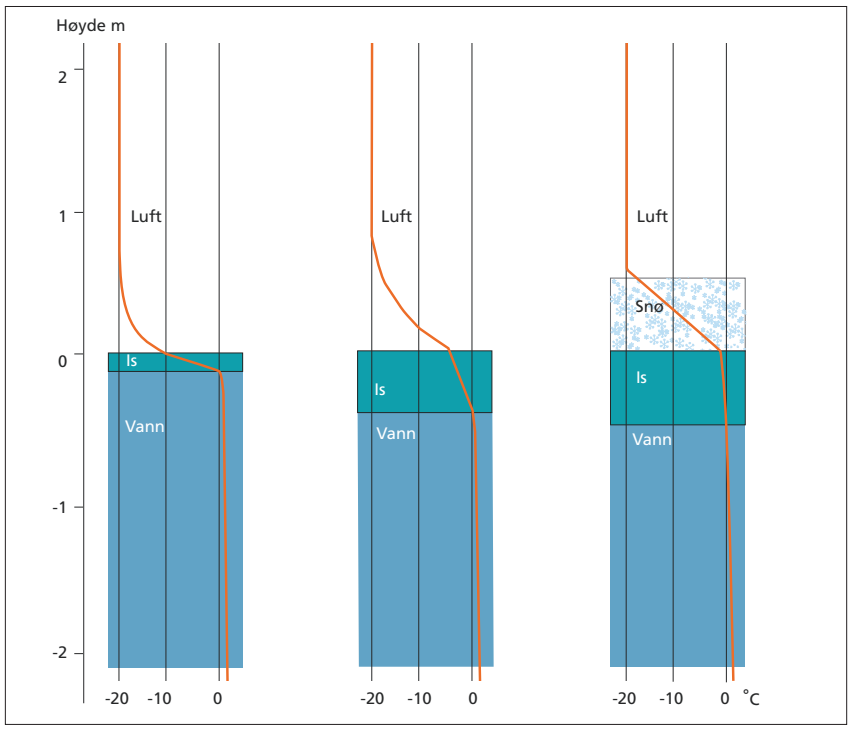


Fig 4.2 Temperaturfordeling i luft, snø, is, og vann ved forskjellige is- og snøforhold. Bratt temperaturkurve i isen indikerer små temperaturforskjeller i isen og derved mindre varmetap fra vannet, som gir langsommere isvekst.

Isen vil ha en temperatur på 0 °C på undersiden. Isens overflate mot luften blir avkjølt til under 0 °C i kuldeperioder. Det vil være et varmetap fra vannet gjennom isen slik at stålisen vokser på undersiden. Jo tykkere isen blir, jo større isolerende evne har den. Varmetapet gjennom isen avtar med økende istykkelse. Isen vokser fortere når den er tynn enn når den er tykk. Derfor blir forskjellene mellom tykk og tynn is – på den samme innsjøen og mellom ulike innsjøer – mindre utover vinteren. Forutsetningene for dette er at isleggingen får foregå uforstyrret, og at værforholdene er de samme.

Beregninger viser at et snøfritt isdekke på 5 cm vil vokse ca 2 cm i døgnet ved −10 °C, men bare omtrent halvparten så mye hvis isen allerede er 30 cm tykk.

Snø på isen gjør at den vokser saktere. Den kan også praktisk talt stoppe isveksten, selv ved sterk kulde (fig. 4.2). Spesielt tørr snø er en meget god varmeisolator.

Siden is er lettere enn vann vil ubelastet is flyte på vannet. Høydeforskjellen mellom isoverflaten og vannoverflaten kalles ishøyde. Tetthetsforskjeller i isdekket på grunn av forskjellig temperatur fører til spenninger som gjør at det blir sprekker i isen. Faller det snø som veier mer enn isens bæreevne – mer enn 9 % av isdekkets vekt – vil vann trenge opp gjennom sprekker og legge seg oppå isen – og flyte innover isen fra åpne områder. Det blir overvann. Kapillærvirkning i snøen gjør at vannet trekker høyere opp i snølaget enn vannoverflatens nivå. Dette øker belastningen på isen og trykker den ytterligere ned, slik at enda mer vann kommer opp.

I kuldeperioder vil den vasstrukne snøen fryse ovenfra og blir til sørpeis. Dette vil skje raskere jo mindre snø som ligger over sørpelaget og isolerer. Sørpeisen inneholder mer luft enn stålisen og er hvit av farge. Hvis det blir kaldt etter at dette har skjedd, fryser sørpelaget helt sammen med underliggende is – om kulden varer lenge nok.

Store snøfall som gir stor belastning på isen øker utbredelsen og mengden av overvann og sørpe. Det vil alltid være et bunnlag av stålis, og over det vil det svært ofte være sørpeis. Over sørpeisen igjen kan det være flere atskilte islag med vann eller issørpe imellom dem. Dette skjer særlig ved vekslende værforhold (fig. 4.3).

Sørpeisen er hvit, i motsetning til stålisen, som fremstår som helt sort. Det skyldes at stålisen er helt klar og ikke inneholder luftbobler som kan reflektere lyset. Her er ca 5 cm sørpeis fastfrosset til stålisen.

Som en tommelfingerregel regnes styrken av 2 cm sørpeis som like stor som 1 cm stålis. Dette vil imidlertid variere med luftinnholdet i sørpeisen.

Det er det tykkeste islaget som avgjør bæreevnen. Dette er vanligvis stålis, eventuelt med et påfrosset lag av sørpeis. Hvis mange tynnere islag ligger over et annet, tykkere lag med is, vil isen tåle like mye belastning som det tykkeste islaget gjør. Hvis man belaster isen mer enn det de tynneste lagene tåler, vil disse briste. Da vil ferdsel og transport over isen bli vanskelig, ubehagelig og i praksis ofte umulig, selv om isen er "sikker".

I stabilt kalde områder, som i fjellet, kan isen være uten gjennomgående sprekker. Isoverflaten kan være tørr selv om det ligger så mye snø på den at det skulle vært overvann. Når man borer hull i isen på slike steder kan det stå en liten fontene opp gjennom hullet, og det vil i hvert fall bli overvann lokalt.

I os og sund vil vannhastigheten oftest være stor nok til at det blir en merkbar omrøring av vannlagene, og varmere vann fra dypere lag vil trenge opp mot overflaten. Dette forårsaker åpne partier og områder med tynnere is. Denne effekten er sterkere jo større gjennomstrømningen i innsjøen er, og jo grunnere sundet er (fig. 4.4). Temperaturen på vannet som renner ut av en innsjø om vinteren – utløpsvannet – vil være noe over 0 °C. Grunnen er at utløpsvannet er en blanding av vann fra de øvre lag i sjøen.

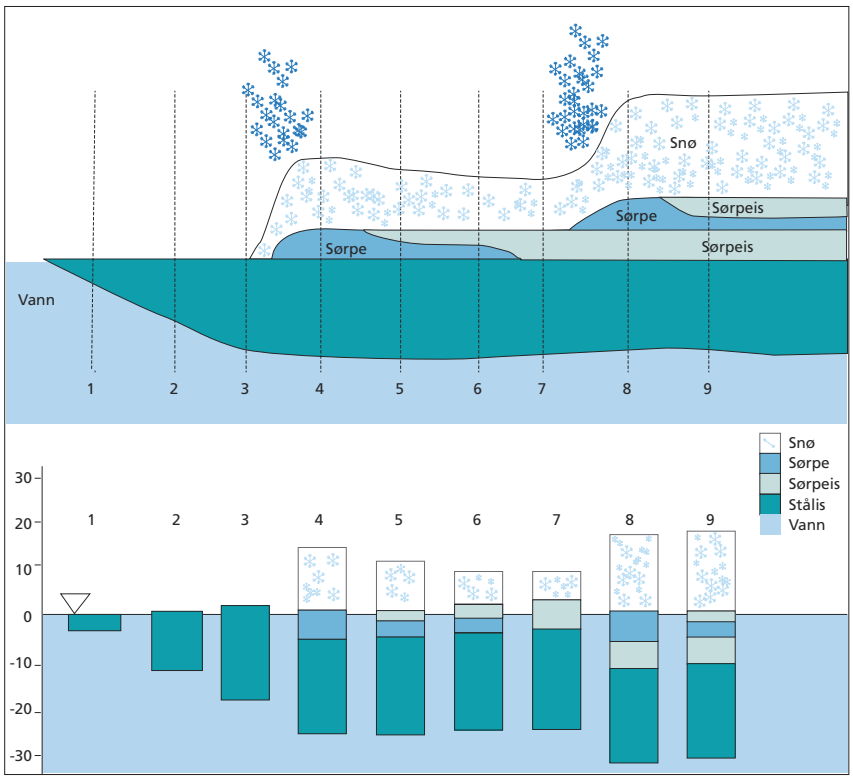


Fig 4.3 Utviklingen av isdekket på en innsjø ved kulde og to snøfall. Snøfri is vokser raskt i kulde, den er uten belastning og flyter (1-3). Snø trykker isen ned vann trekker opp gjennom sprekker i isen og gir overvann og sørpe (4). Ved ny kulde begynner sørpelaget å fryse til sørpeis (5-6), som etter hvert fryser sammen med stålisen (7). Dette gjentar seg ved fortsatt vekslende vær utover vinteren (8-9).

Vannet som renner inn i innsjøen – innløpsvannet – vil være nær 0 °C dersom avstanden til den neste innsjøen oppstrøms er tilstrekkelig til å sikre nedkjøling til 0 °C. Utløpsvannet er altså normalt noe varmere enn innløpsvannet om vinteren.

Isforholdene ved elveosene avgjøres av dybden og strømningsforholdene der, i tillegg til tilgang på og mulighet for blanding med varmere vann fra dypere lag i innsjøen.

Isen svekkes når vannføringen øker. Dermed vokser også elveosene. Omrøringen er vanligvis størst ved innløpet, slik at innløpsoset er stort og utløpsoset er mindre. På steder hvor det er en brå overgang til dypt vann og tilgang på

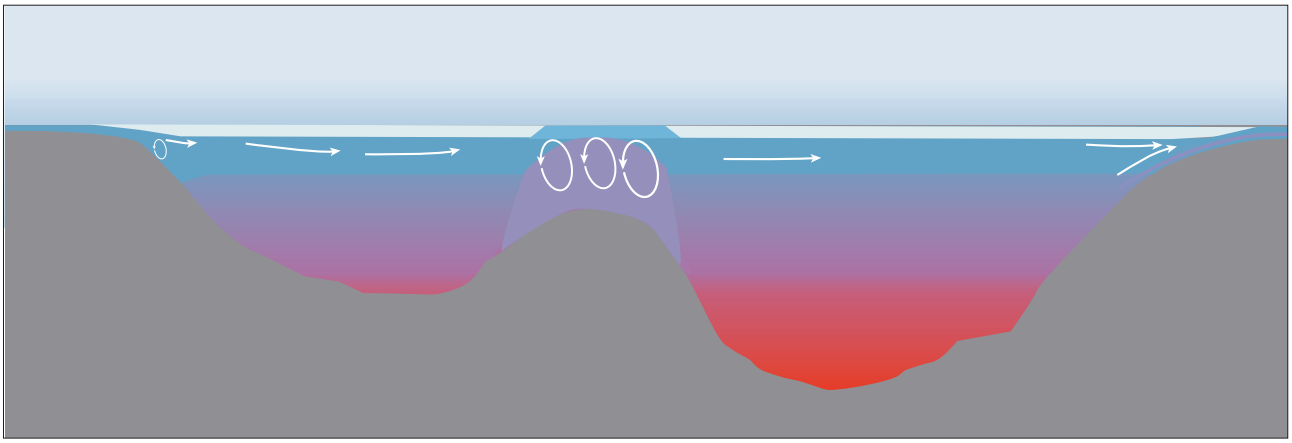


Fig 4.4 Større strømhastighet i os og sund gir svekket is og råker.

Isløsning på innsjøer. Øverst er det fortsatt vinterforhold og smeltingen har ikke begynt, på bildet i midten er smeltingen av snøen godt i gang og det har blitt vanndammer på isen, og nederst er snøen borte og isen i rask oppløsning, først langs land.

varmere bunnvann i blandingsprosessen, svekkes isen mer. Ved innløpsosen er det oftere et større område med uforutsigbare og varierende isforhold enn ved utløpsosen.

Utover våren, når det blir mer sol og innstrålingen gjør seg mer gjeldende, vil først snøen, og så isen, smelte. Isen påvirkes imidlertid svært lite før det meste av snøen er borte. Snøen smelter i terrenget rundt vannet og tilsiget øker. Alle os og råker vokser raskt i størrelse. Vannstanden øker og isen blir etter hvert landløs, ofte mens isen fortsatt er farbar. Isen kan sprekke opp, gjerne etter gamle gjenfrosne sprekker. Vinden får tak i de åpne områdene og fører varmere dypvann opp mot overflaten slik at råkene vokser ytterligere. Særlig store sjøer er utsatt for oppsprekking. Først når snøen på isen har smeltet, starter nedbrytingen av isen ovenfra.

Noe av strålingen trenger ned i isen og det oppstår vertikale søyler av is med dårlig binding, såkalt nålis. Isens bæreevne reduseres dramatisk, og selv 20-30 cm tykk is kan være farlig å gå på. Når nålstrukturen er gjennomgående fylles hulrommene med vann, isen forandrer farge fra hvit mot grå, og kan smelte meget raskt.

Som regel løsner isen fra land før den mister bæreevnen. Det er derfor ofte vanskelig for folk å komme ut på denne isen når den er utrygg. Dette fenomenet er dermed også med på å redusere faren for ulykker.

Farlige situasjoner kan derimot oppstå i år med lite snø. Da vil isen få nålstruktur og miste bæreevnen, før den blir landløs.

Lengden på issesongen og isforholdene lokalt vil variere mye fra sted til sted, og fra år til år. Dette avhenger av værforholdene den enkelte vinter, og de fysiske og hydrologiske forholdene i innsjøen.

Under isløsningen, når vannstanden stiger, kan isen sprekke opp – særlig på store sjøer.

Det kan være runde hull i et vanligvis ganske tykt isdekke. Dette kalles åthull eller oshull. Rundt disse hullene er det rask endring fra god is til tynn eller ingen is. Hullene er vanligvis ganske små, med diameter i størrelsesorden 20 – 50 cm, men det er også observert hull med diameter mellom 1 og 2 m. Det er flere årsaker til slike hull.

Etter store snøfall tvinges innsjøvann gjennom sprekker og hull i isen til overflaten. Er isen forholdsvis sprekkfri kan mye transport skje gjennom få sprekker, og vannstrømmen kan smelte et relativt stort hull. Tilsvarende kan overvann fra overflaten etter mildvær trenge ned gjennom sprekker og smelte hull.

Hull kan også dannes fra isoverflaten ved at det er en liten fordypning hvor smeltevann samles. Årsaken til fordypningen kan være uregelmessigheter i isen eller små smeltegroper som er oppstått på grunn av urenheter i isoverflaten. Det blir vanndammer på isen på grunn av økt absorbsjon av innstrålingen. Etter hvert som fordypninger i isen vokser, vil smeltevannsfurer utvikles inn mot fordypningene, og det kan bli hull i isen, også kalt dreneringshull.

Åthull kan også dannes ved at metangass fra biologisk materiale på bunnen stiger oppover. Dette vil gjøre at varmere dypvann strømmer opp mot isen og tærer på islaget nedenifra. Slike åthull dannes som oftest på relativt grunt vann.

Det har også vært observert utbrudd av vann og is fra isoverflaten i innsjøer. Dette forklares ved at det har dannet seg luftlommer under isen mens isen var tynn. På disse stedene vil ikke isen vokse, og når lufttrykket blir tilstrekkelig stort kan isen briste, og isbiter og vann står opp av isen som en geysir.

Hull som er borret av mennesker, for eksempel pilkehull for fiskere, kan vokse til å bli større og farligere hull, særlig om våren.

Begynnende isdannelse i en roligflytende elv. De skjermede områdene på begge sider er så vidt islagt, mens det er flytende sarr der strømmen er større og elva fortsatt er åpen. Skillet mellom åpen og islagt elv sees ved at skogen speiler seg i åpent vann.

4.2 **Is på elver**

4.2.1 Islegging

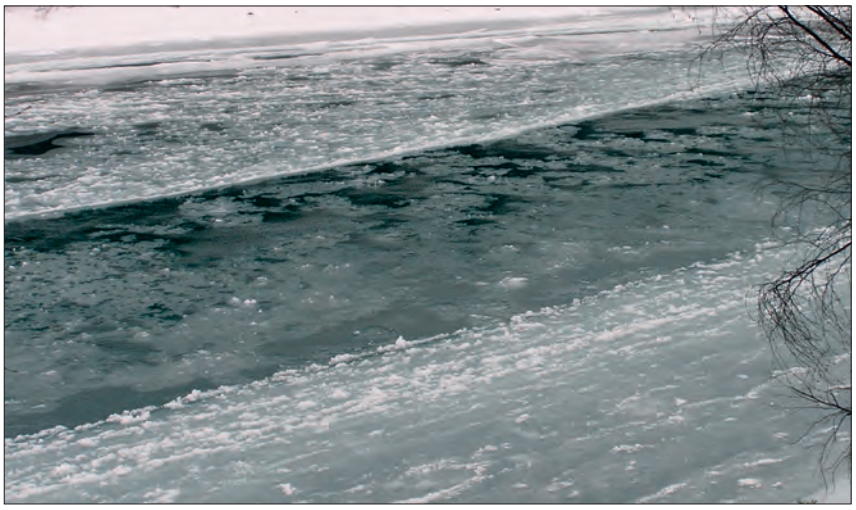
Isdannelse på elver er avhengig av vannhastigheten og de fysiske karakterene til elveleiet. Elvene islegges først der fallet er lite og elveleiet er bredt. Istykkelsen og isforholdene varierer både på tvers og på langs av elva.

På dype og stilleflytende strekninger med svakt fall vil det være tilnærmet laminær strøm og svak temperatursjiktning i vannet i begynnelsen av vinteren. Her blir det statisk isdannelse på liknende måte som på innsjøer. Isleggingen begynner med at det dannes strandis der vannhastigheten er liten. Dette skjer i bukter, viker, bakevjer og andre rolige partier. Isen vil vokse ut fra strendene. Etter hvert kan hele elva islegges, eller det kan bli råker noen steder i elva hele vinteren.

I elver hvor det er mer strøm i vannet vil det dannes sarr hvis det er kaldt nok. Denne sarren flyter med strømmen og fnokkes sammen til større og mindre sarrflak.

Når vannhastigheten er mindre enn ca 0.4 m/s vil sarr flyte i overflaten og kunne feste seg på langs-

Sarrdannelse ved noe større vannhastighet. Isen vokser utover ved at sarr fryser fast i iskanten.



Fnokking av sarr og påfrysing langs iskanten. Det er stor sarrproduksjon og rask gjenfrysing av elva.

Sarret stanser her mot iskanten og råka fryser til oppover elva mot fotografen.

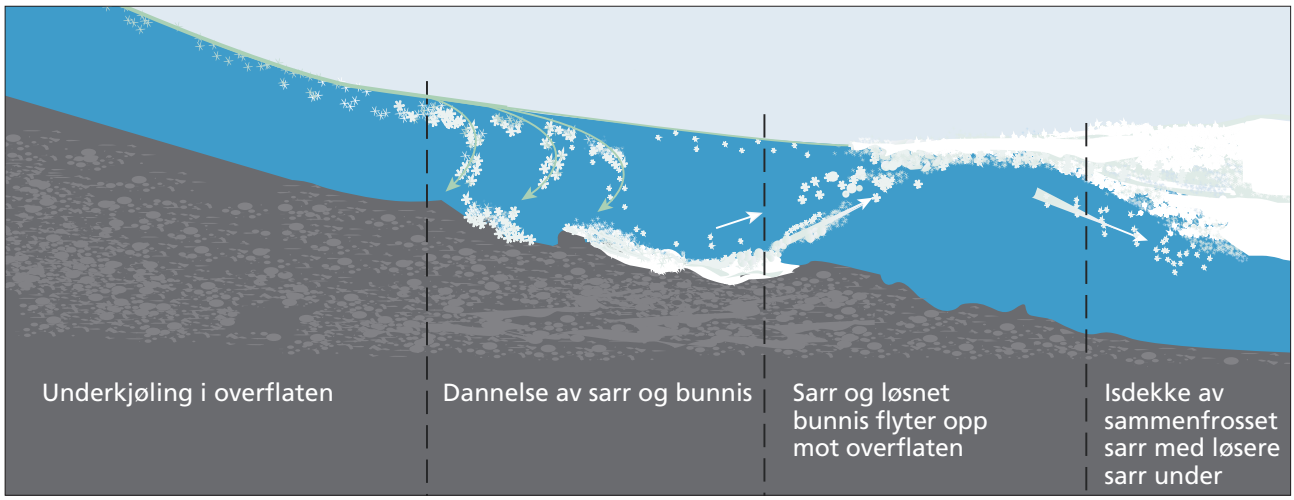
gående iskanter, og isdekket vil vokse utover mot midten av elva. De åpne områdene blir mindre og sarrproduksjonen i elva avtar. I områdene som islegges sist, vil isen være tynnest og svakest. Derfor går isen også først opp her.

Ved vannhastigheter opp til ca. 0.6 m/s vil sarret fortsatt stort sett flyte i overflaten, men vil stanse mot nedenforliggende isfronter på tvers av strømretningen, slik at isdekket vokser oppover elva, motstrøms.

Hvis vannhastigheten er mer enn ca. 0.6 m/s vil sarret ikke lenger bare flyte i overflaten, men det vil blandes sammen med vannmassene i hele elvas tverrsnitt. Da er hastigheten over den kritiske grensen for islegging. Noe av sarret fester seg som bunnis når det treffer bunnen i strykpartiene, spesielt på grunne partier eller tverrgående rygger. Underkjølt vann vil også virvle ned til bunnen og krystalliseres som bunnis. Figur 4.5 viser skjematisk isdannelse i en sarrførende elv.

Generelt er det slik at noe sarr vil

Elva er demmet opp av en bunnisdam, og et magasin med lavere vannhastighet er etablert ovenfor dammen.



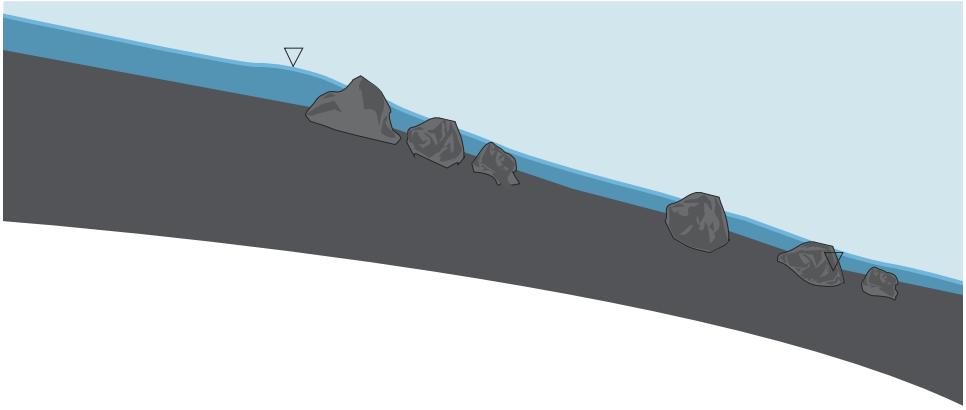
Over: Bunnisdammen har hevet vannstanden og vann renner inn over strandisen.

Til høyre: En rekke bunnisdammer har her gitt elva en trappeliknende profil.

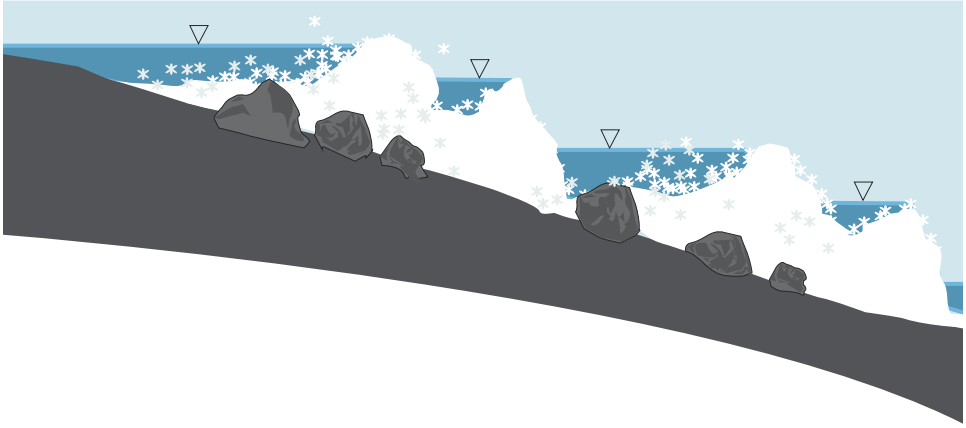
passere hele strykpartiet. Nedenfor strykpartiet vil det normalt være en tverrgående isfront der fallet avtar. Sarret vil enten stanse mot denne isfronten, eller - hvis vannhastigheten er stor nok – følge med vannstrømmen under isfronten og akkumuleres under isen på roligere partier i elva. Sarret kan senere fryse til is. Denne sarrisen kan bli flere meter tykk. Ved ekstra stor sarrproduksjon kan hele elveleiet tettes, og det blir oversvømmelser. Da presses også vannet opp gjennom sprekker i isen og fryser til slik at isen vokser på oversiden.

Bunnis kan bygge opp isøyer og isdammer slik at de stenger hele elveleiet. Bunnisdammer vokser så lenge de tilføres underkjølt vann og sarr. Vannstanden heves, slik at kantisen oversvømmes og vokser også på oversiden. Bunnisdammer kan vokse og demme opp vannet ovenfor inntil vannhastigheten i bassengene er tilstrekkelig redusert til at et isdekke kan dannes. Under isleggingen kan det også være isganger og lokale forflytninger av ismassene (kap. 4.2.4).

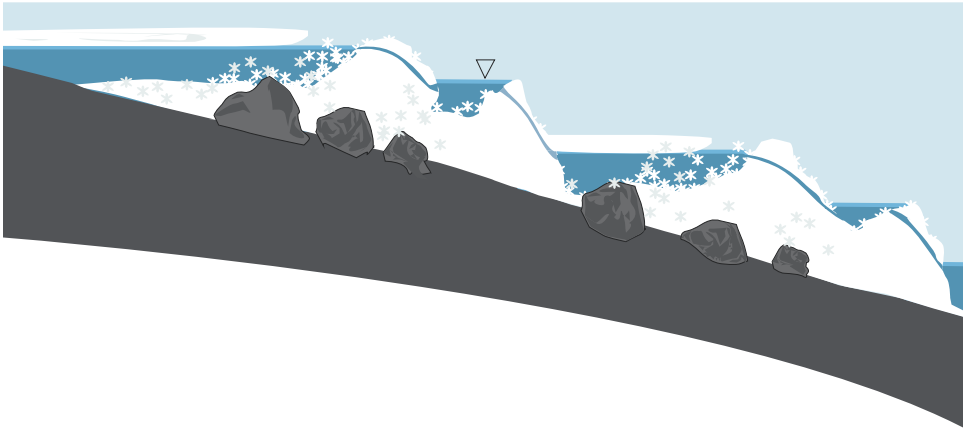
Ofte bygges flere bunnisdammer opp etter hverandre – med mer eller mindre regelmessige avstander – og deler strykpartiene opp i trappeliknende avsatser. Fallet samles på kortere strekninger. Vannhastigheten i de mellomliggende partier blir mindre, og gjør at disse områdene kan islegges. Når et isdekke er etablert opphører underkjølingen av vannet og derved dannelsen av sarr og bunnis.



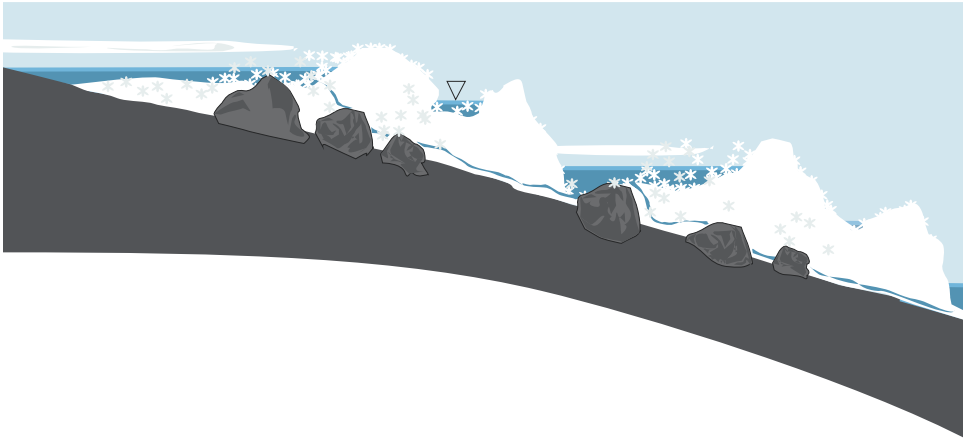
1 Isfri elv



2 Bunnisdammer demmer opp elva i bassenger med rolig vann



3 Bassengene islegges, avkjølingen reduseres og elva skjærer seg gjennom isdammene i et smalt løp



4 Vannet renner langs bunnen og isforholdene er stabilisert. Isdekket på bassengene blir delvis hengende i luften da det er fastfrosset i land og støtter seg mot steiner i elva.

Fig 4.6 viser skjematisk oppbygging av isdammer og avtrapping i en stri elv.

4.2.2 Stabilisering av isforholdene

Når det meste av strykpartiet er islagt reduseres avkjølingen. Avkjølingen reduseres ytterligere dersom det kommer isolerende snø oppå isdekket. Falloppvarmingen kan da være tilstrekkelig til at vannet smelter seg gjennom isdammene i en smal passasje. Elven vil "skjære seg ned", og får et dypere og smalere løp enn før, synlig eller skjult under ismassene (fig. 4.6). Magasinet bak bunnisdammene tappes ut, vannstanden synker, og isen kan bli hengende i luften. Det er ikke uvanlig at isdekket over strømdraget i slike tilfeller brekker ned slik at elva åpner seg her. Når det er likevekt mellom avkjøling fra råker og falloppvarming er isforholdene stabilisert. Bunnisen løsner og flyter opp etter hvert som elva islegges. Hvis utviklingen får foregå uforstyrret vil vannet samle seg i et hovedløp. Ved fortsatt stabilt vintervær skjer det små forandringer resten av vinteren.

Isdekket på elver er mer sammensatt enn på innsjøer. Grunnen er blant annet at vann fra råker trenger oftere inn i isdekket. Elveisen kan bestå av lag med sammenfrosset sarr, og bunnlaget av stålis kan mangle. Etter sammenskyvninger av ismasser og isganger består isen av et konglomerat av oppbrutt is, frosset sammen av sarr og vann. Når vannstanden øker på grunn av tilsigsøkning eller isoppstuving oversvømmes isen. Da kan overvannet fryse til blank is.

Elv i stryk under islegging og før stabilisering.

Samme elv etter stabilisering. Bunnisen løsner.

Stabilisert elv der vannet renner langt under isdekket godt beskyttet mot videre avkjøling. Her er det likevekt mellom avkjøling i noen få råker og falloppvarmingen.

Isøyer og sarrbanker i elva har presset strømmen inn mot elvekanten og forårsaket utgraving og trefall.

4.2.3 Sarr under isen

Så lenge varmetapet fra åpent vann er tilstrekkelig stort til at vannoverflaten er underkjølt, vil det produseres sarr. Som tidligere omtalt vil en del av sarret fryse til langs kanten av overflateisen slik at isdekket vokser, og noe av sarret kan fryse til som bunnis.

Ved vannhastigheter over ca. 0.6 m/s trekkes det meste av sarret med inn under iskanten, og underkjølingen opphører etter hvert.

Sarret samles i banker oppunder isen og på steder der vannhastigheten er mindre. Kulper i elver med moderat eller lite fall kan i løpet av vinteren fylles helt med sarr, noen ganger så mye at isoverflaten buler opp.

Sarret kan først akkumuleres lokalt og etter hvert føres lengre nedover elva av strømmen. Avhengig av de lokale forholdene og vannføringen vil sarrbankene omleires i løpet av vinteren. Når varmetapet blir mindre, særlig på senvinteren, vil falloppvarmingen smelte noe av sarret. Sarr under isen gjør at vannstanden blir høyere. Dette kalles isoppstuving.

Når sarrproduksjonen er stor vil sarrmengdene under isen øke. Det effektive tverrsnittet for vanntransport reduseres ved at det lagrede sarret hindrer gjennomstrømningen (fig. 4.7). Dette fører ofte til endringer i strømningsmønsteret og strømhastigheten, som gjør at det blir erosjon i elveleiet.

Mange steder fører dette til overvatning og isdannelse på store områder utenfor elveleiet. Flate områder der det er liten høydeforskjell mellom elva og landet omkring er mest utsatt for dette.

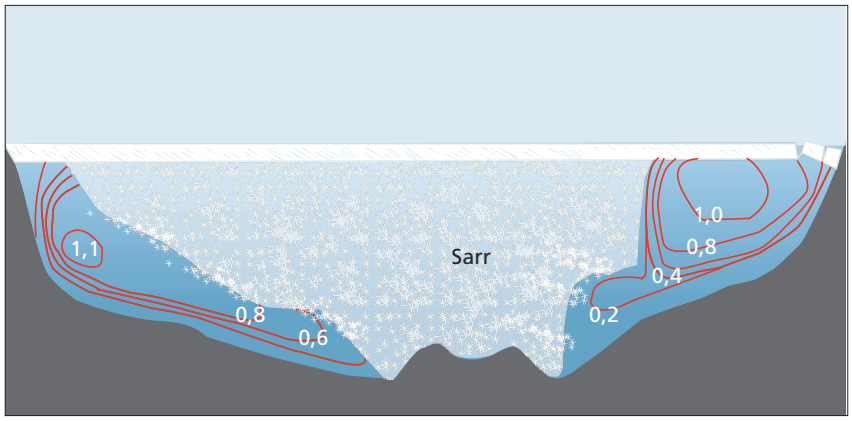


Fig 4.7 Strømforholdene under is der store sarrmengder er akkumulert. Elveleiet er helt fylt av sarr i midten og strømmen er konsentrert på begge sider, og kan føre til erosjon i elvemelen.

Nedre del av en ispropp i Glomma etter vinterisgang i Atna. Vann går under proppen og har laget en råk i det urørte isdekket. Bildet er tatt nedover elva.

Is som ble presset opp på land da isgangen gikk. Disse ismassene, som rev buskene overende, er dekket av nysnø.

Ispropp etter vinterisgang i Dagali.

Ismasser etter isgangen ligger igjen langs land, og gjenfrysing av bunnis har begynt i den åpne elva.

Oversvømmet område dekket med is etter isgang i januar i Verdalselva. Elveløpet går bak trærne i bakre del av bildet, og er knapt synlig på bildet. Det meste av isen på bildet ligger utenfor elveløpet.

4.2.4 Vinterisganger

I mange vassdrag er det vanlig at det er noe bevegelse og sammenskyninger av isen under isleggingen. Dette er en del av selve isleggingsprosessen, og regnes ikke for å være en isgang. Det går isgang først når elveisen plutselig løsner og beveger seg nedover elva i forholdsvis god fart. Vi skiller mellom vinterisganger og vårisganger (vårisganger er beskrevet grundigere i kapittel 4.2.8). Hvis isforholdene i elva ikke stabiliseres – og bunnisdammer løsner – vil dette ofte starte en vinterisgang. Det kan være tilstrekkelig at været skyer over, slik at utstrålingen avtar og varmetapet reduseres.

En bunnisdam kan være festet til steiner i elva og er bygget opp av løst materiale. Den er ofte bare akkurat sterk nok til å motstå trykket fra vannet ovenfor, og er sårbar for endringer i de hydrologiske forhold i elva.

Blir det større vannføring i elva, eller litt høyere lufttemperatur, kan en bunnisdam lett bryte sammen. Da løsner isen fra steinene den er forankret i, eller så løftes steinene opp sammen med isen. Det magasinerte vannet ovenfor dammen tappes plutselig ut, og vannføringen nedenfor øker. Denne økningen fører vanligvis til at den neste bunnisdammen også ryker. Det oppstår en kjedereaksjon videre nedover elva. Vannet har utløst en vinterisgang. Isen brytes opp nedover elva, og ismassene fortsetter nedover inntil motstanden blir stor nok til at isen stopper opp. Dette kan for eksempel være en skarp sving i elva, grunne partier, innsnevringer av elveprofilet, eller ved at fallet avtar.

Da vil is- og vannmassene presse på ovenfra og isen skyves sammen til ispropper. Noe vann kan passere under ismassene, men det samles også opp vann ovenfor isproppen. Vanntrykket kan føre til at ismassene beveger seg videre nedover, eller vannet kan finne nye veier utenom elveleiet. Dette fører til oversvømmelser og grunnvannstanden blir høyere.

Ispropp fra isgang i Inna. Isgangen ble utløst av stor nedbør og økt vannføring ved mildvær i januar.

Dette kan igjen føre til at vann trenger inn i hus langs vassdraget, særlig kjellere, og forårsake skader. Langs elva der isgangen går vil ismasser presses opp på strendene og ligge igjen når vannstanden synker. Ismassene kan også forårsake direkte fysiske skader på omgivelsene, som bebyggelse, veier, bruer, skog og dyrka mark.

De "ekte" vinterisgangene som løsner uten at det er varmegrader i luften kalles lokalt "kaldflo" eller "skvalp". Kaldfloisganger kan utløses ved høyst forskjellige vannføringer. De fleste isgangene, også om vinteren, utløses av at tilsiget øker raskt. Områder der vinterværet skifter raskt mellom mildvær og kulde er særlig utsatt for slike isganger. Dette er den mest vanlige typen isgang i mange vassdrag på Vestlandet, i Trøndelag og i Nordland.

Elver er mest utsatt for vinterisganger i isleggingstiden. På en elvestrekning som er renset for is etter en isgang, må isleggingsprosessen begynne helt på nytt. I noen tilfeller kan elva bli gående åpen hele vinteren, selv ved sterk kulde. Særlig i elver hvor det går vinterisganger gjentatte ganger kan det bli opphopning av ismasser i elva fra de ulike isgangene.

Dette kan føre til enda mer oversvømmelser og erosjon langs elvebredden. Ofte er det største problemet ved en vinterisgang at lange elvestrekninger blir helt isfrie, slik at isproduksjonen ved neste kuldeperiode blir meget stor. Det er ikke uvanlig at nydannet aktivt sarr som flyter nedover med strømmen tetter til ismassene fra den foregående isgangen. Dette fører til betydelig større oppstuving og oversvømmelser. Blir ismassene liggende til vårflommen kommer, vil de gjøre faren for oversvømmelse langs vassdraget større.

4.2.5 Isoppstuving og isreduksjon

Vannstanden i en elv om vinteren vil ofte variere mye, selv om vintertilsiget synker svakt og varierer svært lite. Isdannelse og islegging gjør at vannstanden i elva blir høyere, delvis fordi det er flytende sarr i vannet, men mest fordi bunnis, overflateis og akkumulert sarr kan innsnevre selve elveløpet. Videre kan vannstanden i elva stige på grunn av oppstuving fra ispropper nedenfor, eller synke fordi vann demmes opp bak ispropper lenger opp i elva.

Slike variasjoner i vannføringen er gjerne kortvarige. Forskjellen mellom vannstanden i en elv med og uten is – med den samme vannføringen – kalles isoppstuving. Isoppstuvingen avhenger blant annet av lokale forhold i elveleiet, og varierer derfor langs elva. Noen steder kan isoppstuvingen være flere meter. Sammenhengen mellom vannstand og vannføring om sommeren kan ikke brukes om vinteren. Det er vanskelig, noen ganger umulig, å avgjøre om vintertilsiget øker eller minker uten å måle vannføringen direkte.

Smelting av sarr reduserer vannstanden uten at vannføringen minker. Vannføringen kan derfor også øke uten at vannstanden øker.

Det kreves betydelig erfaring og lokalkunnskap for å kunne finne

Isbremmen på brukaret viser vannstanden da isen lå høyere, som har vært et resultat av isoppstuving.

Elv i stryk under islegging. Is i elva fører til isoppstuving, og gjør at vannstanden øker.

Isbremmen langs elvekanten viser isoppstuvet vannstand ved islegging. Etter stabilisering av isforholdene er isoppstuvingen redusert, vannstanden har sunket og kantisen brukket ned.

Ved islegging var vannstanden betydelig hevet på grunn av sarr i elva nedstrøms. Senere har drivende sarr tettet elveløpet under isen også her.

den faktiske vintervannføringen i en elv gjennom vinteren – altså å utføre en isreduksjon. Kunnskap om isforholdene gjennom vinteren, helst observasjoner, direkte målinger av vintervannføringen, data fra ikke-isoppstuvede målestasjoner i nærheten, og meteorologiske forhold er nødvendig.

Kvaliteten på beregningene av isreduksjonen har blitt bedre. Før måtte man hente inn og behandle data fra elvene manuelt. Nå har digitale data gjort det mulig å bruke et langt større grunnlagsmateriale enn tidligere. I tillegg har nye, hydrologiske tilsigsmodeller flere steder gitt tilfredstillende resultater når man skal beregne isreduksjonen.

Isreduserte data er avgjørende for å kunne gjøre hydrologiske beregninger, særlig ved flomvarsling og ved drift av kraftverk. Da kan det være svært viktig å kjenne både den faktiske vintervannføringen og å kunne tidfeste den første stigningen i tilsiget om våren. Det er viktig å finne egnede målesteder som er lite eller ikke isoppstuvet. Med data fra en isoppstuvet målestasjon vil man først kunne beregne riktig vannføring i ettertid. Automatisk registrerte sanntidsverdier alene har begrenset verdi når det er is i elva.

4.2.6 Råker på roligflytende elv

Dersom varmetapet fra isen blir mindre, ved at det kommer mer snø som isolerer eller at kulden avtar, vil isen tæres og det kan åpnes råker i strømdragene - strømråker - uten at vannføringen øker. Dette vil oftest være der hvor råkene har holdt seg lengst åpne under isleggingen, og hvor isen allerede er tynnest. Varmemengden fra falloppvarming og vannets bevegelse vil tære på isen nedenfra inntil det igjen blir likevekt mellom varmetapet fra isens overside og

Strømråk som styres av bunnforholdene i elva.

Strømråk.

Her er det landråker på begge sidene av elva.

Svellis fyller først elveløpet og kan deretter bre seg langt utenfor elveløpet ved langvarig frost.

varmetilførselen til isens underside. Dette er årsaken til at råker kan åpnes, ikke bare ved mildvær, men også i sterk kulde og i forbindelse med snøfall som isolerer og reduserer avkjølingen. Dette er en av faktorene som gjør at isforholdene på elver er langt mindre forutsigbare enn på innsjøer.

Ved konsentrerte tilsig av grunnvann vil det være svekket is og grunnvannsråker langs elvekanten. Er grunnvannstilsiget spesielt stort og overflatetilsiget lite, kan bekker gå åpne hele vinteren.

4.2.7 Svellis

Ved lite tilsig i sterk kulde, spesielt i perioder uten eller med lite snø, vil det lille overflatetilsiget raskt fryse. Vannet siger frem i lav hastighet på underlaget og fryser til hard, glatt is. Dette kalles kjøving og slik is kalles svellis. Om isdannelsen fortsetter, kan det bli svært store ismengder.

Hele elveleier kan fylles med svellis, og svellisdannelsen kan fortsette også utenom elveleiet, iblant både mot bebyggelse og på veier. Mindre elver og bekker er mest utsatt for å fylles med svellis eller være kilde for svellisdannelse. Sig av grunnvann som presses til overflaten vil også over tid kunne gi store svellisformasjoner. Ved en rask vårløsning kan svellis forårsake oversvømmelser, hovedsakelig fordi elveløpet er ”opptatt”, og vannet må ta nye veier.

Svellisen har her nesten tettet elva oppunder brua. Foto: Anders Bjordal, NVE

4.2.8 Isløsning og vårisgang

Det er større eller mindre råker i strykpartiene på de fleste elver det meste av vinteren. De roligere partiene er for det meste islagt, men det kan også være strømråker og grunnvannsråker i elvene. Om våren, når avkjølingen minker og innstrålingen øker, vil alle råker vokse. På elver vil isen tæres både ovenfra og nedenfra. Vannet vil ikke lenger bli underkjølt, men snarere få noe overtemperatur, spesielt i solskinn på dagtid. Økende vannføring gir turbulens. Økt varmeutveksling mellom vann og is tærer på isen nedenfra.

Særlig i strykpartiene vil isen kunne brekke opp og enkelte isflak vil flyte med strømmen, uten at dette kan karakteriseres som en isgang. Ved langvarig, kjølig og ofte grått vær kan isen gradvis svekkes og nærmest smuldre opp på stedet. Dette er termisk isløsning, og er den mest vanlige formen for isløsning de fleste steder.

Isløsningen kan bli mer dynamisk. Ved rask økning i vannføringen kan store ismengder løsne på kort tid og bevege seg nedover vassdraget. Det er dette som er en isgang. En isgang som skjer som en del av isløsningen betegnes som en vårisgang. Det vil ikke bli noen ny isdannelse i elva etter en vårisgang, som kan skje etter en vinterisgang.

Vårisgangen kan også komme i flere omganger, særlig i store vassdrag, i noen vassdrag nesten hvert år. Enkelte år går det vårisgang i langt flere vassdrag - og på flere steder - enn det som er vanlig. Det er heller ikke uvanlig at det på noen strekninger går vårisgang mens isløsningen på andre strekninger i samme vassdrag er termisk. Det er en glidende overgang mellom disse tilstandene – altså termisk og dynamisk isløsning.

Isløsningen begynner i strykene.

Isen brytes opp, enkelte isflak løsner og driver med strømmen og flyter inn på isen når vannstanden stiger.

Særlig på steder med moderat eller lite fall kan små og store isflak løsne og flyte sakte nedover elva.

For at det skal gå vårisgang i en elv må det være tilstrekkelig med vann og is i vassdraget. Snøsmeltingen og tilsigsøkningen må ha kommet godt i gang.

Sannsynligheten for isgang øker når vannføringen øker raskt. Hvis isen er tykk, kreves det større vannmengder for å få isen til å flyte nedover elva. Store isganger utløses ofte på grunn av en kombinasjon av stor snøsmelting og regn – altså relativt høy lufttemperatur og rask vannføringsøkning.

Viktige faktorer for utløsing av vårisgang:

- Hvor raskt vannstanden øker
- Været før og under tilsigsøkning
- Vannstand ved islegging
- Istykkelse
- Isens egenskaper (grad av lagdeling)

Isen løsner først i strykene i vassdraget ved en isgang. Ismassene rives med strømmen og beveger seg nedover elva. Så skyves de sammen og danner ispropper ved innsnevringer i elveleiet, elvesvinger eller grunner – altså steder der motstanden mot videre bevegelse blir for stor. For at isen skal flyte videre, må også vannstanden være stor nok til at ikke isflakene strander i elveleiet.

Ismassene som løsner kan innsnevre elveleiet og i større eller mindre grad tette elva. Bak isproppene blir det oversvømmelser. Vannet finner ofte nye veier på land ved siden av elveløpet. Ismasser flyter inn i de oversvømte områdene. Vannet og isen kan true bebyggelse, dyrka mark, skog, veier og bruer. Det kan gå flere isganger flere steder i en elv samtidig.

Hvis vannføringen fortsatt øker, kan store ismasser også i de rolige partiene i elva løsne og bevege seg nedover. Isen brekker opp, først i store, og så i mindre flak, og kan gi næring til nye isganger i stryk som allerede er åpnet av tidligere isganger. Ismassene kan skape nye ispropper, eller stoppe mot is som ligger igjen etter tidligere isganger.

I og nedenfor stryk vil det ofte være sammenskjøvne ismasser.

Når isen smelter på stedet er isløsningen termisk.

Når vannstanden i elva synker etter en isgang, vil det bli liggende igjen strandet is, stein, trær og annet isen har dratt med seg. Isproppene i elva vil løses opp når vannpresset blir for stort. Is vil igjen flyte nedover, og det kan dannes nye ispropper ved neste hindring lenger ned i elva.

Skadene som skjer på grunn av oversvømmelser etter en isgang, er ofte større enn skadene som selve ismassene forårsaker. Men disse ismassene vil fortsatt kunne forårsake betydelige skader der de stanser langs vassdraget. Mange steder skjer det nesten hvert år at veier langs slike vassdrag må stenges. Også bruer, hus og hytter kan være utsatt.

Slike problemer kan være mindre etter vårisganger enn etter vinterisganger. Grunnen er at det etter vårisganger ikke lenger er isproduksjon i det åpne elveleiet og at isen der ofte er svekket. Likevel er vannføringen ofte stigende ved en vårisgang, og dette kan øke oversvømmelsene. Samtidig gjør økende vannføring at isen forflyttes raskere nedover, og at den etter hvert flyttes ut av vassdraget.

De største vårisgangene skjer i Finnmark. Tana, Neiden og Reppardfjordelv er blant de særlig utsatte elvene her. De har alle store nedslagsfelt i et lite høydeintervall. Derfor stiger vannføringen her meget raskt.

En svært kjent isgang i norske vassdrag er isgangen i Tana. Ved det trange strykpartiet Storfossen i den nedre delen av elva, presses ismassene gjennom det trange elveleiet her hvert år. Når det er store isganger pakker ismassene seg til fem til ti meters tykkelse ved de største isgangene. Det er et spektakulært skue, og folk reiser lange veier for å se, og kan vente lenge, iblant flere døgn, for å se på isgangen de vet kommer. Det er imidlertid vanskelig å forutsi når isgangen kommer, og mange har nok forlatt stedet uten å se noen isgang.

Isløsningen i Tana er likevel langt mer enn bare isgangen som går gjennom Storfossen. Tana er over 500 kilometer lang, og har lange rolige strekninger avbrutt av en lang rekke strykpartier. I flere av strykene kan det være råker hele vinteren. Her går det ofte mindre vinterisganger under isleggingen. Likevel blir isen farbar langs Tanaelva de fleste steder. På de rolige partiene er det normalt med et tykt, jevnt isdekke.

Tidlig på våren åpnes råker i strykene. Dette skjer vanligvis lenge før selve isløsningen i Tanaelva starter. De aller første isgangene går gjerne i de øvre sideelvene til Tana, Karasjohka og Iesjohka. Når vårflommen kommer, og vannstanden har steget tilstrekkelig, vil store ismasser på de lange flate partiene i elva brekke opp i store flak, og flyte sakte nedover.

Ismassene vil bevege seg nedover elva. De vil danne ispropper underveis, ofte med store oppdem-

De fleste år vil det være råker øverst i Storfossen i Tana hele vinteren. Det samme vil gjelde i de andre større strykene i elva.

Fra utpå vinteren kan en vanligvis se hvor hovedstrømmen i Tana tar veien under isen på det flate området nedenfor Storfossen. Dette varierer fra år til år, og ofte også i løpet av smeltesesongen. Dette er avhengig av hvordan sarr og is lagres under isen før og under isgangen.

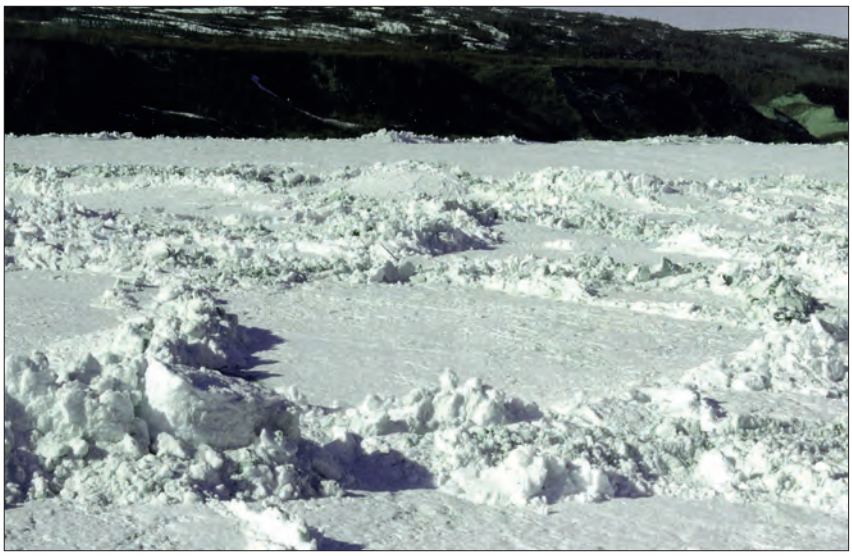
Ismasser etter isgang i Storfossen. Isgangen har gått på høyere vannstand og skjøvet is opp langs land, vannstanden har så sunket etter at flombølgen i isgangen har passert. Isen langs land ligger tørt, og is og vann renner i et løp midt i elva. Det er et skarpt skille mellom is i bevegelse og is som ligger stille.

ninger. De største flommene i Karasjok har vært forårsaket av isganger. Ismengdene og værforholdene under isløsningen avgjør hvordan ismassene vil passere Storfossen. Ved store isganger kan isen i Storfossen brytes av de første ismassene som kommer nedover elva. Disse ismassene beveger seg meget raskt og stanser mot det faste isdekket nedenfor fossen. Hele strykpartiet kan pakkes med is. Isdekket på det flatere partiet nedenfor fossen trykkes sammen av de enorme kreftene. Her skapes det store isrygger flere kilometer nedover elva.

Gradvis lager is og vann råker i isdekket nedenfor Storfossen. Når trykket fra ismassene nedenfor Storfosssen minker, vil isproppen ovenfor bevege seg sakte nedover. Når trykket fra ismassene nedenfor igjen øker, vil isproppen ovenfor stanse. Det hele gjentar seg til all isen har passert Storfossen.

Isen i Tana løsner vanligvis forskjellige steder på ulike tidspunkter. Isgangen gjennom Storfossen skjer dermed i flere omganger. Ismasser ovenfra flyter nedover og gir næring til nye isganger gjennom Storfossen. Mye av isen som går gjennom Storfossen dykker under isdekket nedenfor og fortsetter under isen langt nedover elva. På sin ferd under isen males den opp, og flyter opp i råker nedstrøms med en sarrlignende konsistens. Også nedenfor Storfossen kan det bli sammenskjøvne ismasser og ispropper. Dette øker faren for oversvømmelser flere steder langs elva.

Store isganger som kan forårsake skader langs vassdraget er heller ikke ukjent lenger sør i landet. Her går isgangene imidlertid ofte tidligere på året, særlig i forbindelse med vinterflommer, og blir mer å regne som vinterisganger (kap. 4.2.4). Også i resten av



Isen nedenfor Storfossen skyves sammen i rygger ved den første isgangen på grunn av trykket fra vann og ismasser når isgangen går.

Oppsprukket is på roligflytende elv, klar til å gi næring til nye isganger gjennom Storfossen. Isen er sprukket etter å ha gått i isganger lenger opp i elva.

Nye ismasser ovenfra fyller opp den midlertidige råka i Storfossen.

landet, unntatt i kystnære strøk på Sørlandet, kan det gå vårisganger. Det er langt sjeldnere med store isganger i disse områdene.

I områder med kalde vintre og liten vintervannføring kan det dannes tykke isdekker i elver ved lav vannstand. Vannføringen er likevel ikke større enn at vannet vil kunne strømme under isen hele vinteren. Ved rask vårløsning og vannføringsøkning, særlig i fjellområder med små høydeforskjeller i nedslagsfeltet, vil vannføringen kunne øke meget raskt og det meste av vannet vil da i første del av vårløsningen renne oppå isen i slike elver.

På de øvre roligflytende deler av Tana begynner isløsningen ofte termisk, med oppløsning av isdekket og vannstandshevning slik at isen blir landløs. Isen her kan iblant smelte på stedet, men kan også brytes opp mens den ennå er kraftig, og gi næring til nye isganger nedover elva.

Isproppen ligger her inn over veien.

Oppsprukket is fra isgangen dekker den flate elva videre nedover så langt øyet rekker, og isen beveger seg sakte nedover. Råkene vokser og minker avhengig av tilgang på is og lokale strømforhold.

Ved rask økning i vannføringen i vårløsningen kan vannet renne oppå elveisen. Dette skjer særlig i områder med strenge vintre og lite vinteravløp, høyfjellsfelt med store areal i et lite høydeintervall. Vannet vil etter hvert smelte seg ned gjennom det opprinnelige isdekket.

5 Is i regulerte vassdrag

Vassdragsregulering endrer de hydrologiske forholdene i vassdraget. Dette påvirker isforholdene. Vannføring og vanntemperatur har sentral betydning for hvordan isforholdene i et vassdrag er. Men vassdragsregulering og kraftutbygging kan endre disse faktorene dramatisk.

Ovenfor en kraftstasjon i et vassdrag – der vannet ledes vekk og føres inn i en tunnel – vil vintervannføringen minke. Nedenfor kraftstasjonen vil vintervannføringen øke. Her ledes vannet tilbake til vassdraget.

Vanntemperaturen til driftsvannet fra en kraftstasjon vil ofte være høyere om vinteren enn vannet var på stedet før kraftstasjonen ble bygget. De største endringene i vanntemperaturforholdene skyldes:

- Vannet tappes fra dypet i magasinene
- Vannet renner i tunnel uten varmeutveksling med omgivelsene

Faktorene ovenfor, sammen med endringer i vannføringen, gjør at isforholdene blir annerledes. Økt vintervannføring gjør at vannhastigheten blir større. Dette gjør det vanskeligere å danne et stabilt isdekke i vassdraget, og forsinker isleggingen. Det er vanligvis en fordel at et vassdrag islegges raskest mulig når vinteren først kommer. Et stabilt isdekke hindrer dannelse av sarr og bunnis, og de ulempene dette fører med seg.

Disse faktorene avgjør hvor mye isforholdene i vassdraget forandrer seg ved en utbygging:

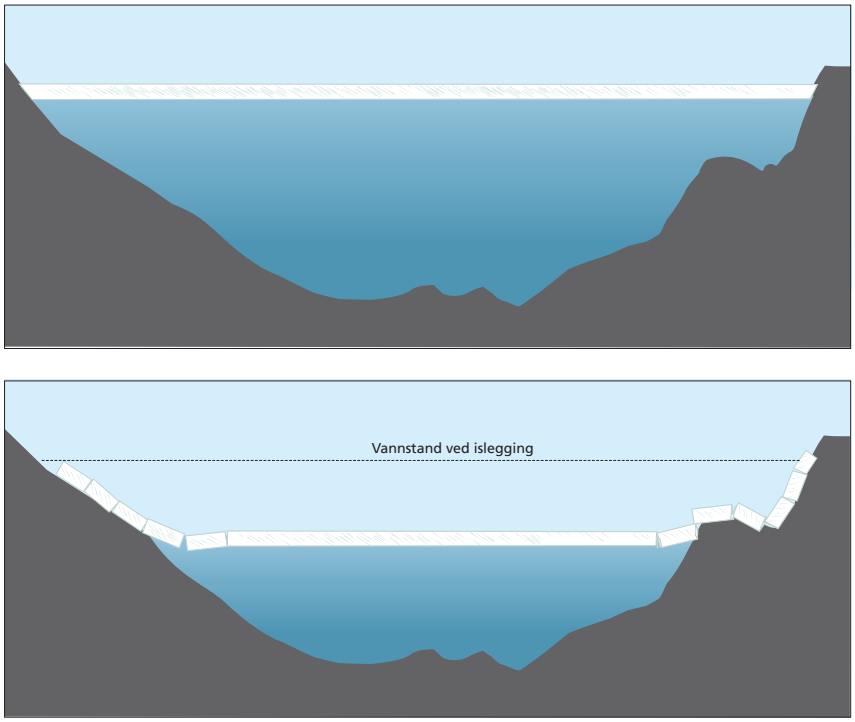


Fig 5.1 Oppsprekking av isen ved nedtapping av magasiner. På bratte og ujevne strender hindres ferdselen når magasinet tappes ned.

- Utforming av utbyggingen
- Manøvrering av reguleringsmagasiner og kraftstasjoner
- Meteorologiske forhold
- Fysisk-geografiske forhold i vassdraget.

Reguleringshøyden i magasinene, driftsvannføringen gjennom kraftstasjonene, og manøvreringen av kraftstasjonen vil i stor grad påvirke isforholdene i vassdraget. Isproblemer kan gjøre det nødvendig å stanse eller redusere kraftproduksjonen.

Hvordan utbyggingen av et vannkraftverk vil påvirke isforholdene i et vassdrag blir vurdert allerede på planleggingsstadiet. Hensikten er å finne løsninger slik at man unngår isproblemer. I konsesjonsbehandlingen og i utformingen av manøvreringsreglementet til kraftstasjonen avveies hensynet til kraftstasjonen opp mot hvordan dette vil påvirke naturmiljøet. Endringer i isforholdene er en del av dette bildet, som igjen påvirker biologiske forhold, særlig fisk.

Noen steder vil en regulering også kunne redusere isproblemer i vassdraget. Det gjelder særlig elvestrekninger der stor vintervannføring er et problem, og denne reduseres ved en regulering. Magasinering av vann kan forsinke og redusere vårflommen og forutsetningene for vårisgang.

5.1 **Isforhold på magasiner og innsjøer**

5.1.1 Varierende vannstand, tunnelinnløp og -utløp

I en større vannkraftutbygging vil det være overføringsmagasiner, gjennomstrømningsmagasiner, og inntaksmagasiner. Magasinene er som regel oppdemte, naturlige innsjøer, men kan også være kunstige sjøer oppdemt i elveleier. Her er isen stedvis dårligere enn på uregulerte vann. Reguleringshøyden på magasiner i Norge varierer fra under en meter til over 100 meter.

I magasinene kontrolleres store tilløp og utløp av tekniske installasjoner, som er overføringer til og fra andre magasiner, og innløp og utløp av kraftstasjoner. Det vil imidlertid fortsatt være naturlige tilløp fra uregulerte elver og bekker, men vintertilsiget herfra er vanligvis lite. De fleste naturlige utløpene vil være stengt, bortsett fra innretninger for slipping av pålagt minstevannføring. Vannstand, vanntemperatur, strømnings- og isforhold i magasinene påvirkes av hvordan systemet manøvreres.

I et regulert vassdrag vil et magasin etter en oppdemning islegges noe senere enn det den uregulerte innsjøen gjorde. Reguleringshøyden og de nye dybdeforholdene avgjør hvor stor denne forsinkelsen blir. Ved store oppdemninger kan disse forsinkelsene bli store. Når magasinet først er islagt, vil utviklingen av isdekket bli lite påvirket av reguleringen gjennom vinteren.

Etter hvert som magasinet tappes ned blir isen delvis liggende på land (fig. 5.1). Det vil lett bli sprekker i isen langs land, særlig der terrenget er bratt eller ujevnt.

Landråk og oppsprukket is som følge av nedtappet magasin. Isen er fortsatt trygg utpå.

Oppsprukket is langs land og ved grunner etter tapping av magasinet.

Oppsprukket is i bratt skråning etter stor senking av vannstanden.
Særlig i bratte skråninger vil isen rive med seg løsmasser og vegetasjon.

I sprekkene kan det bli snøbruer. På grunn av oppsprekkingen blir det lettere overvann langs land enn før. Hvis vannstanden øker i magasinet i den islagte perioden blir isen lett landløs. Da kan landråkene fryse til med tynn is, de blir ofte dekket av snø – og derfor farlige å passere. Adkomsten til isen kan bli vanskeligere, men vanligvis vil det være mulig å finne slake og jevne områder der isen påvirkes mindre av reguleringen.

Korttidsregulering og effektkjøring, som fører til skiftende hevinger og senkinger av vannstanden i magasinet, forverrer isforholdene. Isen blir landløs og strandsonen kan bli umulig å ferdes over hele vinteren, ikke bare når det er isløsning – slik det er på uregulerte vann.

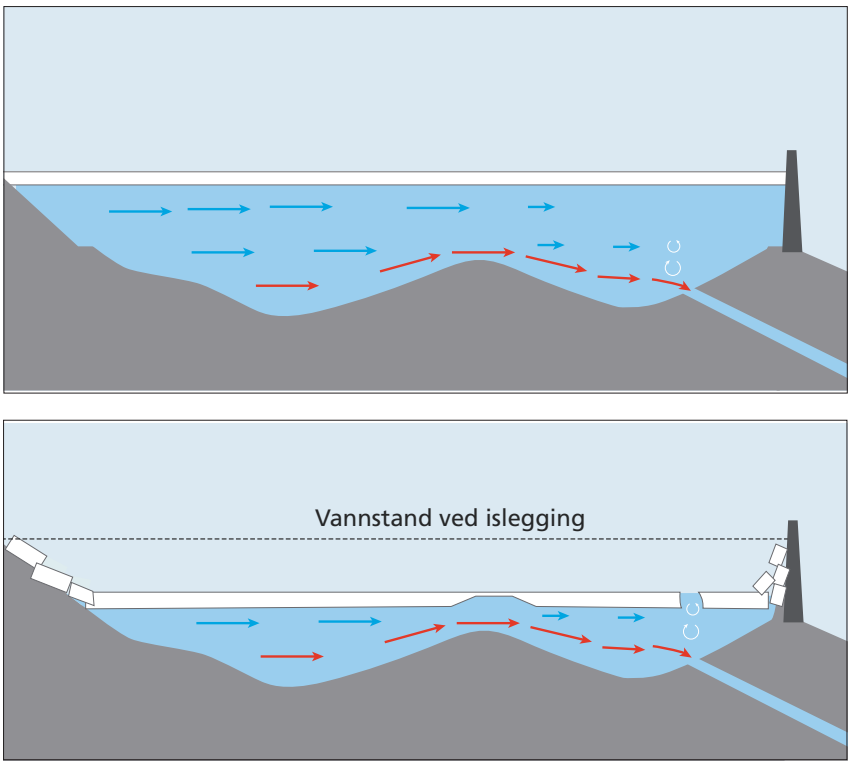


Fig 5.2 Svekket is og råker i sund og over dypvannsuttak ved nedtapping av magasiner.

I magasiner øker vanntemperaturen med dybden om vinteren. Dette skjer i hovedsak på samme måte som i uregulerte innsjøer. Det kan imidlertid oppstå lokale temperaturvariasjoner ved nye tunellinnløp og –utløp.

Generelt vil vanntemperaturen være nær 0 °C oppunder isen, og øke til noe mellom 1 og 3 °C i dypet. Dette varierer fra sted til sted og fra år til år, men det er normalt små variasjoner i løpet av den samme vinteren på det samme stedet.

Vannmassene blandes når de passerer trange sund hvor vannhastigheten øker – på samme måte som i uregulerte innsjøer. Varmere dypvann virvles opp mot overflaten og tærer på isen. Effekten av dette er imidlertid mye større i regulerte vann på grunn av større gjennomstrømning og større vannhastighet. Når magasinet tappes ned vil det skape strømmer som svekker isen på nye steder. Da kan det oppstå andre og større strømråker enn det det har vært i magasinet tidligere, særlig utover vinteren. Etter hvert som vannstanden synker, kommer flere sund og grunne partier frem i magasinet (fig. 5.2).

Det vil alltid være tunneler ut av magasinet under laveste regulerte vannstand (LRV) for at hele magasinet skal kunne utnyttes. Ekstra inntak i høyere nivå kan forekomme av hensyn til driften eller virkninger på miljøet. Tunneler inn i magasinet, og kraftverksutløp, vil oftest ligge nær høyeste regulerte vannstand (HRV).

Utløpsvannet fra tunneler og kraftstasjoner vil ha den samme temperaturen som vannet har ved de respektive inntakene i magasinene. Vanntemperaturen øker med økende dyp på inntakene, og vil kunne avta noe etter hvert som magasinene tappes ned utover vinteren. Dette avhenger av temperaturforholdene i magasinet. Fra bekkeinntak er vanntemperaturen nær 0 °C størstedelen av vinteren.

Ved inntak til og utløp av tunneler og kraftstasjoner vil isen svekkes, og her blir det vanligvis isfrie områder store deler av vinteren. Størrelsen på disse osene avhenger av vannføringen, dypet for utløp og inntak, de lokale dybdeforholdene og værforholdene. Det er viktig å være klar over at slike utløp og inntak kan ligge hvor som helst i magasinet, og sjelden ved naturlige elveos. Iblant kan inntak og utløp ligge på større dyp, et stykke fra strandkanten. Dette vil føre til strømmer i vannmassene som kan virvle varmere vann fra dypere lag opp til overflaten, slik at det varme vannet tærer på isen. Det blir da råker i god avstand fra land, hvor man vanligvis regner isen for å være trygg (fig. 5.2).

Slike steder kan det være råker hele vinteren. Det kan også dannes råker når vannstanden synker. De vil vokse etter hvert. Størrelsen på råkene vil variere med vannføringen.

Isforholdene på gjennomstrømte magasiner og innsjøer er avhengig av mengde og temperatur på

det gjennomstrømmende vannet, og temperatur- og dybdeforholdene i selve sjøen.

Dersom tilsiget oppstrøms den gjennomstrømte innsjøen overføres til et annet vassdrag, eller at tilsiget ledes utenom innsjøen, kan gjennomstrømningen reduseres. I de fleste tilfeller vil imidlertid gjennomstrømningen øke ved en regulering.

Ved økt gjennomstrømning om vinteren kan det gjennomstrømmende vannet ha en temperatur mellom 0 °C og 2 – 3 °C. I denne sammenhengen beskrives vannet som "kaldt" når temperaturen er mellom 0 °C og 0.2 °C, og som "varmt" når temperaturen er over 0.2°C.

5.1.2 Økt gjennomstrømning av "kaldt" vann

Hvis det er dypt i innløpsområdet vil det dannes en isfri blandesone i og utenfor innløpsosen. Dette skjer selv om det innstrømmende vannet har en temperatur nær 0 °C. Grunnen til dette er at varmere vann fra dypere lag i sjøen blandes med innløpsvannet. Er innløpsosen grunn, og mer som en utvidet forlengelse av elveløpet, er det ikke noe tilgjengelig varmt vann å røre opp. Da dannes det et kaldt lag med vann i overflaten, som flyter sakte utover innsjøen – og området islegges.

Både i dype og grunne sjøer vil det kalde laget øke i tykkelse, jo lenger ut fra innløpet dette laget er og jo lenger ut på vinteren en er kommet. Et kaldt overflatelag av moderat tykkelse kan i stille, kaldt vær føre til noe tidligere islegging enn før, men det skal lite vind til før et slikt lag blandes med underliggende, varmere vann. Blir det kalde laget tilstrekkelig tykt blir det mer stabilt. Da kan det gjøre at isleggingen skjer noe tidligere, også ved urolig vær. Vanligvis gjør disse forholdene at isen legges noen dager tidligere enn hvis ikke man hadde regulert vassdraget, og i ekstreme tilfeller kan forskjellen være på en til to uker.

Selve isløsningen påvirkes vanligvis lite av økt gjennomstrømning av "kaldt" vann.

5.1.3 Økt gjennomstrømning av "varmt" vann

Det blir økt gjennomstrømning av "varmt" vann når vannet tappes fra et magasin på stort dyp, og overføres gjennom tunneler og kraftstasjoner til et annet magasin eller innsjø.

Når reguleringsvannet kommer ut i innsjøen, oppstår det en bremse- og omrøringssone som er isfri. Dypere og grunnere innsjøer påvirkes vesentlig forskjellig av slikt "varmt" reguleringsvann.

I dype innsjøer overføres bevegelsen i innløpsvannet til et større vannvolum og vannhastigheten blir mindre. Vannet strømmer gjennom resten av innsjøen, som et mer eller mindre avgrenset strømdrag, med lav hastighet og ganske jevn temperatur, under et ganske tynt og kaldt overflatesjikt som praktisk talt ligger i ro oppunder isen.

Under gjennomstrømningslaget øker temperaturen gradvis med dypet. I dype innsjøer med jevne bunnforhold kan derfor store vannmasser med forholdsvis høy temperatur strømme gjennom sjøen uten å påvirke isforholdene i særlig grad. Undersøkelser viser at dette skjer i flere norske innsjøer, blant annet i Norefjord (fig. 5.3).

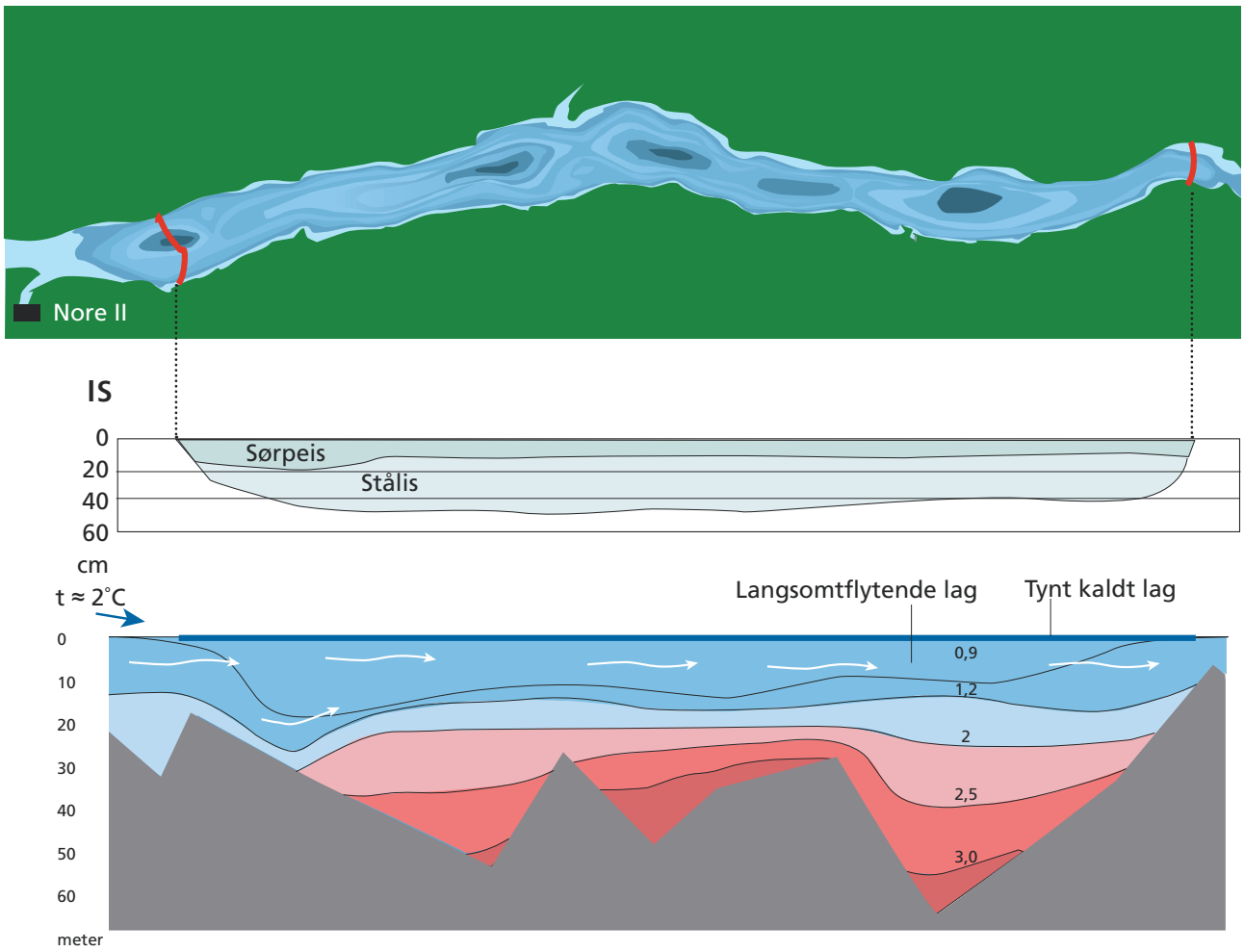
Tykkelsen av et slikt tilnærmet isotermt gjennomstrømningslag avhenger av mengden og temperaturen på innløpsvannet. Det gjennomstrømmende vannet vil beholde sin temperatur, etter innblandingen i innløpsområdet, nesten uforandret til utløpet av sjøen, uten å tære merkbart på isen.

I trange sund og grunne partier i innsjøen presses det "varmere" vannet opp mot overflaten, fordi strømhastigheten øker. Det "varme" vannet har mer å si for hvordan isdekket blir – den økte gjennomstrømningen kan hindre isdannelse helt. Ved en innløpsos er det ofte mer turbulens enn ved en utløpsos. Derfor blir isforholdene gjerne mer påvirket av det "varme" vannet ved innløpsosen enn ved utløpsosen. Likevel kan det isfrie området ved utløpsoset også øke, dersom innsjøen gjennomstrømmes av betydelige mengder vann med en temperatur på 1-3 °C.

I grunne og middels dype sjøer med stor gjennomstrømning av "varmt" vann vil store deler av vannet skiftes ut i løpet av vinteren - i motsetning til i dypere sjøer. Her blir det da tilnærmet samme temperatur i hele vannmassen uten et markert kaldere, øvre lag. Gjennomstrømning av "varmt" vann vil i slike sjøer påvirke isforholdene kraftig. Dette vil forsinke isleggingen og kan hindre isdannelse helt på hele eller deler av sjøen.

5.1.4 Redusert gjennomstrømning

Redusert gjennomstrømning i en innsjø skyldes fraføring av naturlig tilsig. De resterende tilsig vil normalt være kalde, det vil si nær 0 °C. Da vil sjøen kunne islegges tidligere og det blir mer stabile isforhold, og ofte tykkere is. Hvis det var stor gjennomstrømning og ustabile isforhold i en innsjø før den ble regulert, vil det være lett å se endringer etter reguleringen, hvis vannføringen har blitt redusert vesentlig – i form av mer stabil is og en lenger issesong. Hvis



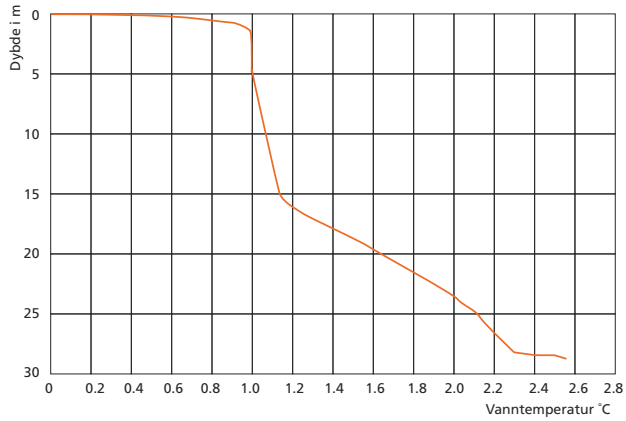


Fig 5.3 Temperaturforhold ved økt gjennomstrømning av "varmt" vann i Norefjord. Dybdeforhold, istykkelse og temperaturforhold ved gjennomstrømning av 60 m³/s vann med temperatur 2 °C. Det "varme" driftsvannet blandes med kaldere innsjøvann ved innløpet, og strømmer sakte gjennom sjøen (markert med mellomblått) under et tynt lag av kaldere vann (markert med mørk blått).

Til venstre vises temperatursnitt i Norefjord, mars 1956

vannføringen bare blir redusert noe, blir det vanskeligere å dokumentere slike forskjeller.

5.2 Isforhold på elvestrekninger

5.2.1 Redusert vintervannføring

På elvestrekninger der en regulering gjør at det blir mindre vintervannføring vil vannhastigheten avta. Reduksjon i både vannføring og vannhastighet vil gjøre at vannet avkjøles raskere. Isen dannes tidligere og raskere på elva. Hurtig islegging betyr vanligvis at det blir mindre isproduksjon i elva, og dermed blir det færre problemer med is og isskader.

I strykpartier, hvor elveleiet er bredt og grunt, kan en betydelig reduksjon i vannføringen føre til bunnfrysing. Dette kan gjøre at det dannes svellis, som skaper problemer (kap 4.2.7).

Hvis vannføringen i en elv reduseres, vil grunnvannet gjøre seg mer gjeldende i vassdraget. Det kan føre til flere og større råker langs land. Hvis tilsiget av grunnvannet er stort, kan elva gå åpen lange strekninger hvis vannføringen reduseres nok, siden grunnvannet kan ha en temperatur på 2-3 °C om vinteren.

Problemer og skader på grunn av redusert vannføring er vanligvis ganske beskjedne. Noen ganger vil mindre vannføring tvert imot gjøre isforholdene bedre.

5.2.2 Økt vintervannføring

Vintervannføringen i en elv kan økes ved:

- Tapping fra magasin til elv
- Utløp fra kraftstasjon i elv

Ved slik tapping vil vannet ved utslippsstedet ofte ha en temperatur på over 0 °C, som betyr at elva vil være isfri et stykke nedover fra utslippsstedet. Hvor langt elva er isfri avhenger av vanntemperaturen, vannføringen, de lokale forholdene i elva og ikke minst værforholdene. De isfrie områdene kan være på steder som hadde gode isforhold uten isproblemer før elva ble regulert.

Nedenfor utløp fra kraftstasjoner øker vintervannføringen. Den vil være større enn det den var da elva ikke var regulert, så lenge kraftstasjonen er i drift. Når driftsvannet går i tunnel, vil vanntemperaturen være tilnærmet den samme ved utløpet som ved inntaket, fordi vannet ikke får den avkjølingen det ellers ville ha fått ved å gå i åpent elveleie.

Temperaturen på tappevannet fra et magasin avhenger både av tappedybde og hvor sterkt vannet i magasinet er avkjølt. Generelt er det varmest vann ved dype inntak i magasiner som er lite utsatt for vind. Om vinteren vil temperaturen være høyest i begynnelsen av tappeperioden og avta etter hvert som magasinet tappes ned, og inntaket kommer nærmere vannoverflaten. På grunn av ulike meteorologiske forhold fra år til år vil temperaturforholdene i magasinet variere. Dermed vil temperaturen i tappevannet også bli forskjellig selv om tappedybden er uendret. Vindforholdene før islegging er som tidligere nevnt avgjørende for temperaturen i magasinet, og dermed også for driftsvannets temperatur.

Nedenfor utløpet av kraftstasjoner eller overføringstunneler der vannet har en temperatur som er høyere enn 0 °C, må vannet avkjøles før det kan dannes is i elva. Når vannet er avkjølt til frysepunktet vil elvas fall og vannføring, altså vannhastigheten, bestemme om det blir statisk eller dynamisk isdannelse.

Økt vannføring fører til økt vannhastighet og større mulighet for dynamisk isdannelse som sarr og bunnis. Dette gjør at det tar lenger tid før det blir et stabilt isdekke på elva, hvis det blir det. Dette kan føre til økt isproduksjon og dermed også skader og isproblemer langs vassdraget. Slik har det vært ved flere vassdragsutbygginger. Tilleggsutbygginger som har vært gjort senere har endret isforholdene mange steder slik at disse isproblemene nå i stor grad er borte.

Økt vintervannføring og mer åpen elv gir høyere luftfuktighet. Det øker muligheten for at frostrøyk dannes. Ved en rekke kraftutbygginger har problemer med frostrøyk fått stor oppmerksomhet.

5.3 Små kraftverk

De minste kraftverkene har meget små reguleringsmuligheter. Ofte er det bare et mindre inntaksmagasin som er demmet opp i elva. Herfra ledes vannet i tunnel, eller ofte rør, til kraftstasjonen lenger ned. Det kan oppstå isproblemer ved inntaket dersom det er sarr i elva ovenfor. Hvordan inntaket utformes og plasseres i elva bør derfor vurderes nøye. På elvestrekningen som bygges ut vil vannføringen reduseres like mye som slukeevnen til kraftstasjonen. Ved små kraftverk kan elvene bli tørre hvis ikke kraftverkene blir pålagt en minstevannsføring. Da vil elveleiet være utsatt for svellisdannelse, som kan skape problemer.

5.4 Døgnregulering og effektkjøring

De aller fleste kraftverk ønsker å kunne variere driftsvannføringen fritt. Kraftproduksjonen ved kraftverkene varierer over tid, også om vinteren. Variasjoner i produksjonen gir variasjoner i driftsvannføringen. Variasjoner i driftsvannføringen vil kunne være uheldig når elva er islagt, eller hvis den er under islegging. Det kan føre til isproblemer – ofte store – problemer som er særlig kritiske i sterk kulde. Varierende driftsvannføring kan da forårsake isgang og økt sarrproduksjon, som kan tette til vassdraget nedenfor, som igjen kan forårsake skader.

Isproblemer som kan følge i kjølvannet av varierende driftsvannføring avhenger først og fremst av lokale forhold og været. Erfaring og gode kunnskaper om det aktuelle vassdraget, i tillegg til værutviklingen, er en forutsetning for å kunne vurdere konsekvenser av døgn- og ukeregulering.

Dersom kraftverket har utløp i et magasin eller i en innsjø vil døgn- og ukeregulering generelt svekke isen på magasinet, særlig hvis vannstandsendringene er større enn 0.5 - 1 meter. Det blir overvann, særlig langs land, og isen kan bli landløs. Isen kan i lange perioder bli ufarbar over store områder.

5.5 Uønsket stans av kraftverk vinterstid

Plutselig stans i et kraftverk kan oppstå ved at vanninntaket tilstoppes av is. En stans kan også skyldes tekniske problemer ved

kraftverket. Begge delene skaper isproblemer.

Åpent vann foran et inntak til en kraftstasjon kan føre til at inntaksristene blir utsatt for ising. Da kan vanntilførselen til kraftstasjonen hindres eller stoppe helt. Ved sterk kulde og vind vil det øvre vannlaget på inntaksmagasinet kunne omrøres og avkjøles til meget nær frysepunktet. Overflaten underkjøles og det dannes sarr i det vindopprørte laget på tilsvarende måte som i en elv med turbulent strøm (fig. 5.4).

Rister og luker som står delvis over eller nær vannoverflaten vil da være særlig utsatt for ising. Dette skyldes at det vindopprørte vannet og aktivt sarr føres med strømmen ned langs damsiden, mot inntakene, og avsettes som bunnis. Risten kan da tettes helt igjen med is på svært kort tid, slik at stasjonen stopper.

Særlig små inntaksbasseng kan fylles opp med sarr eller oppbrutt overflateis, slik at vannstrømmen til kraftstasjonen reduseres eller stopper helt opp.

En stans som skjer plutselig ved et kraftverk om vinteren kan skape store problemer. Dersom det ikke er ledig plass til vannet i inntaksmagasinet, eller ikke er omløpsanordninger for vannet, vil en slik stans føre til overløp ved kraftverket. Det blir rask økning i vannføringen i elva mellom inntaket og utløpet av kraftstasjonen. I elva nedenfor utløpet av kraftstasjonen vil vannføringen i en periode minke, og så øke igjen når vannet som slippes forbi kommer frem til utløpet av kraftstasjonen. Dette kan gi alvorlige isproblemer, først og fremst i form av isgang.

En mulighet for å unngå overløp ved driftsstans er å redusere vanntilførselen til inntaksmagasinet.

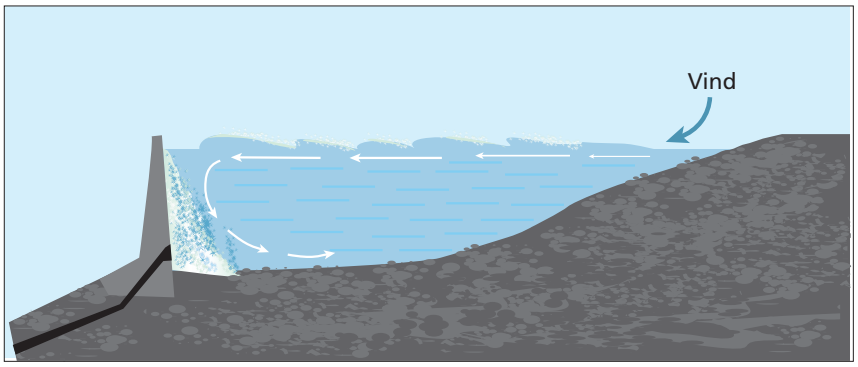


Fig 5.4 Aktivt sarr dannet på magasin kan tette kraftverksinntak.

Hvis det er langt fra inntaksmagasinet til nærmeste sted hvor man kan regulere vannføringen, kan det ta lang tid før en reduksjon av vanntilførselen til inntaksmagasinet påvirker vannføringen. En slik reduksjon kan også føre til problemer andre steder i elva, og kan av den grunn noen ganger ikke være ønskelig å gjennomføre. Ofte er det eneste alternativet i slike situasjoner å la vannet renne over inntaksdammen, inn i det gamle elveleiet – over kortere eller lenger tid.

I det gamle elveleiet er vintervannføringen vanligvis betydelig redusert. Det kan likevel ha vært isdannelse her på grunn av lokaltilsig, og ikke minst ha samlet seg mye snø. Ved rask økning i vannføringen er det stor fare for at det utløses isgang i vassdraget nedenfor kraftverket. Dette skjedde i elva Orkla i 2007 og i 2009. Hvis det er mulig å gradvis redusere vannføringen ned i vassdraget ved slike situasjoner, kan skader reduseres – og kanskje unngås.

Ved en stans ved kraftstasjonen vil vannstanden i elva nedenfor reduseres plutselig. Hvis elva er dekket av is, vil den synke ned og stedvis bli liggende tørt. Når stasjonen starter opp driften igjen, vil vannføringen øke på nytt. Da vil isen skyves sammen og det kan dannes ispropper. Vann som ikke går under isen lenger, kan føre til overvatning. For å unngå slike situasjoner er det viktig at oppkjøringen etter en stans gjøres gradvis, slik at man unngår at vannet gjør mer skade enn nødvendig.

Hvilke valg man tar for å unngå problemer når et kraftverk stanser, avhenger av flere faktorer. Konsekvensene må vurderes samlet. Slike situasjoner er ofte svært ulike, og har ulike forutsetninger. Kunnskap om isforholdene og værforholdene er sentrale når slike vurderinger skal tas.

5.6 **Is i fjorder**

Vassdragsreguleringer fører til økt vintervannføring. Det påvirker isforholdene i fjordene. Generelt vil det kunne bli mer is på fjorden enn før når det tilføres ferskvann fra regulerte vassdrag. Slik is er vanligvis uønsket, først og fremst fordi det hindrer båttrafikken.

Undersøkelser rundt dette har også vært svært viktige når en kraftutbygging skal planlegges. De har ofte vært utført samtidig med isundersøkelsene i selve vassdraget.

For å forstå isdannelse i fjorder, er det viktig å merke seg noen fysiske kjennetegn ved ferskvann, brakkvann og saltvann.

Isdannelse i saltvann skjer på en annen måte enn isdannelse i ferskvann. Sjøvann inneholder salter og er derfor tyngre enn ferskvann. Sjøvannets tetthet avhenger både av vannets tempera-

tur og saltholdighet, men saltholdigheten betyr mest for tettheten. Ved samme temperatur øker tettheten med stigende saltholdighet. Frysepunktet synker med økende saltholdighet.

Vi skiller mellom ferskvann og sjøvann. Sjøvannet deles videre inn i brakkvann og saltvann. Ferskvann er vann helt uten saltinnhold. Sjøvann med saltholdighet lavere enn 24, 7 ‰ kalles brakkvann, og sjøvann med høyere saltholdighet enn dette kalles saltvann.

For brakkvann og ferskvann er frysepunktet lavere enn temperaturen ved maksimal tetthet. Brakkvann, som er homogent med hensyn til saltholdighet, vil derfor i prinsippet oppføre seg på samme måte som ferskvann ved avkjøling og islegging. Når temperaturen for høyeste tetthet er nådd, vil hele brakkvannslaget ha denne temperaturen. Deretter vil det bli en avkjøling av overflatevannet inntil frysepunktet nås. Fortsetter avkjølingen uten vesentlig omrøring i overflaten vil isdannelsen begynne. Brakkvann må imidlertid avkjøles mer enn ferskvann før isdannelse kan finne sted fordi frysepunktet er lavere. Brakkvann med saltholdighet på 10 ‰ har frysepunkt på ca − 0.5 °C. Saltvann blir stadig tyngre ved avkjøling, og når ikke sin maksimale tetthet før hele vannmassen er avkjølt til frysepunktet for den aktuelle saltholdigheten.

Hele vannmassen vil ikke ha samme saltholdighet i naturen. Tetthetssjiktningen, som er avgjørende for vertikalsirkulasjonen, er avhengig både av vannets saltholdighet og vannets temperatur. I fjorder vil ofte tilførsel av ferskvann fra elver danne et relativt tynt og ferskere overflatelag, særlig i stille vær. Vertikalsirkulasjonen kan derfor begrenses til et tynnere overflatelag, og isdannelsen kan da begynne meget raskt.

Den innerste delen av fjorden er nettopp blitt islagt etter en kald natt. Lenger ut i sundet, hvor det er sterkere strøm, blandes saltere og varmere vann med det kalde overflatevannet. Derfor fryser ikke det området til. På bildet ser vi råk etter en båt som har kjørt ut fjorden. Foto: Jørund Asvall

Ytre mekanisk påvirkning i form av vind og bølger, eller andre forhold som kan føre til strømmer i vannmassen, kan ødelegge den ellers normale tetthetsjiktningen og bidra til at sirkulasjonen trenger dypere i vannmassen. På den annen side kan stille, kaldt vær med nedbør føre til at det dannes et tynt, ferskt og lett overflatelag som raskt avkjøles til frysepunktet. Hvis nedbøren faller som snø, forsterkes avkjølingen da det trengs varme til å smelte snøen.

Overflatelaget avkjøles, og dersom temperaturen er nær frysepunktet fra før kan is dannes meget raskt. Det viser seg stadig at forholdene i det helt øvre laget med vann kan være avgjørende for utviklingen av isforholdene.

Normalt vil ferskvann komme inn i fjordene ved tilsig fra landområdene rundt fjorden, konsentrert i større og mindre elver. Ved utløpet i fjorden kan dette vannet ha forholdsvis stor hastighet, men bevegelsen vil etter hvert overføres til et større vannvolum og hastigheten reduseres. I hvilken grad ferskvannet blandes med det saltere fjordvanne avhenger av vannhastigheten, ytre mekaniske påvirkninger som vind, strøm og tidevann, samt stabiliteten i grensesjiktet mellom det innstrømmende vannet og fjordvannet.

Etter hvert som hastigheten av elvevannet avtar vil turbulensen i grensesjiktet avta, og spesielt i stille vær kan det utvikles et stabilt, forholdsvis ferskt brakkvannslag på overflaten av fjorden. Tykkelsen og utbredelsen av dette laget

Her viser veiskilt retningen ned til isveien ved Polmak. Isveien brøytes bred, og brøytekantene er også brede og lave. Hensikten er å fordele belastningen på isen slik at det ikke blir overvann. Bildene viser spor etter snøskutere og hundespann, som også har glede av elveisen.

vil være avhengig av mengden med ferskvann som tilføres fjorden, og dybdeforholdene i selve fjorden.

Under normale, uregulerte forhold vil ferskvannstilførselen til en fjord være størst om våren og høsten. Ved bretilsig vil den også være ganske stor om sommeren. I disse tidsperiodene er det vanlig med et relativt tykt overflatelag av ferskvann.

De fleste steder vil ferskvannstilførselen være meget liten om vinteren, og overflatelaget i fjorden er da langt saltere. Ved en vassdragsregulering endres ferskvannstilførselen til fjorden, og ofte utslippstedene i fjorden. Andre faktorer, som meteorologiske forhold og tidevann, som også påvirker isdannelsen i fjorden, påvirkes ikke av vassdragsreguleringen.

Når ferskvannstilførselen i fjorden øker om vinteren, vil dette vanligvis gjøre forholdene bedre for isdannelse et eller annet sted i fjorden. I fjorder med uregulert tilsig ser det ut til å være hyppigere islegging ved moderat kulde, enn ved sterk kulde. Dette skyldes at ferskvannstilførselen vanligvis er meget liten under sterk kulde. Like viktig er det at det da også ofte er fralandsvind. Et tynt, ferskt overflatelag vil lett blåse ut fjorden, varmere og saltere dypvann kommer opp, samtidig som omrøringen øker. Når det er et stabilt ferskvannslag i fjorden hele vinteren, vil isdannelsen øke i sterk

kulde. Stabiliteten av det brakke overflatelaget er av stor betydning for hvor tykk isen skal bli.

Ved utløpet fra kraftverket vil det alltid bli et åpent område. Det er fordi driftsvannet har en temperatur over frysepunktet og fordi den konsentrerte vannføringen fører til turbulens med innblanding av saltere vann. I en tidligere islagt fjord kan det derfor ved regulering bli isfritt på steder som tidligere var islagt, mens tidligere isfrie områder kan islegges.

Is i en fjord vil kunne hindre vanlig båtferdsel. Is vil også kunne skade brygger og andre installasjoner langs strendene. Andre steder har folk brukt isen på fjorden til å drive isfiske og transport. Som oftest er det likevel et ønske om at en fjord som skal forbli isfri etter en regulering.

Isen kan også brukes som anleggsplass; for eksempel til byggearbeid. Dette bildet viser hvordan man kan bruke isen for å legge ut stein på bunnen akkurat slik man ønsker det, her for å rehabilitere elva. Når isen smelter, vil disse steinene falle på plass. Foto: Sverre Øksenberg, Øksenberg Bioconsult

5.7 **Bruk av isen, kart over svekket is**

Hvordan folk har brukt isen langs norske vassdrag har endret seg mye over tid. Tidligere var isen en viktig ferdselsåre om vinteren. For mange var den den eneste. Det var isveier både på tvers og langs elver og innsjøer – og også på fjordis ut mot åpen sjø. Før var det ikke uvanlig å legge ut isbroer ved viktige krysningspunkt slik at isen frøs raskere til på disse stedene. Hvis vannstanden varierte og gjorde isen utrygg, ble isen forsterket på ulike måter. Man brukte for eksempel lemmer eller kvister, fylte på mer is og sprøytet på vann i kuldeperioder. Dette gjorde også at isleggingen gikk raskere oppover elva, med de fordelene dette innebar.

Isveiene ble merket av lokalkjente folk som kjente isforholdene godt. Enkelte steder var det offentlige isveier i regi av Vegvesenet. Noen få av disse er fortsatt i bruk, blant annet i Tana og Målselv. Her settes det opp skilt så snart isveien er godkjent, og den stenges når den ikke er trygg nok lenger. Når veien stenges eller åpnes, annonseres dette i lokalsendingene til NRK eller i lokalavisene.

Naturfrosset is ble også brukt til kjøling, særlig for oppbevaring og transport av mat før moderne kjølemetoder var tilgjengelige. Isen ble hentet inn om vinteren og oppbevart i isolerte ishus til langt utover sommeren.

Det viste seg tidlig at vassdragsregulering førte til dårligere is-

Naturfrosset is kan også brukes til å lage møbler og utsmykning i ishoteller. Isen er tatt opp i blokker fra et stille vann hvor det er klar og luftfri stålis. Blokkene ligger her opp ned med den klare stålisen opp.

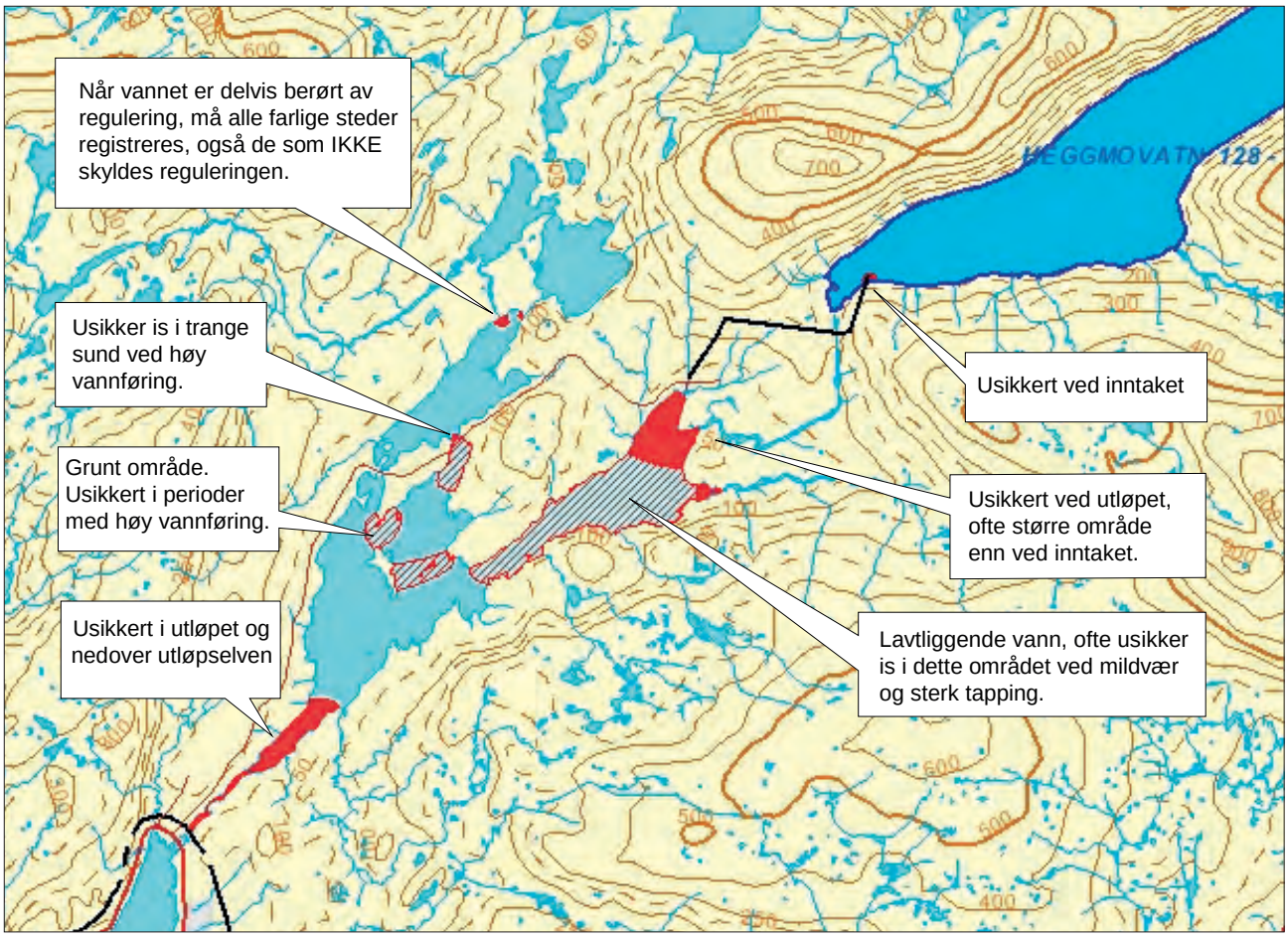


Fig 5.5 Kartene over svekket is og ismeldingene gir sammen løpende generell informasjon gjennom vinteren om isforholdene på regulerte og uregulerte innsjøer. De røde områdene viser hvor isen er svekket ved full regulering og normale vinterforhold. De stiplede områdene viser områder hvor isen ofte er svekket.

forhold mange steder. Mange isveier ble utrygge og ubrukelige, noe som påvirket hverdagen i stor grad til de som ble berørt. Derfor var spørsmål rundt dette sentralt i de mange vassdragsskjønnene som ble holdt rundt omkring i landet. Mange utbyggere har vært pålagt å bygge både veier og bruer som erstatning for tapte isveier.

I veiløse områder brukes isen fortsatt til ferdsel og transport. Isen brukes også ved anleggsarbeid i og langs vassdrag. Is brukes også for å fremme turisme, spesielt nordpå. Kunstnere bruker naturfrosset is for å lage figurer, inventar og utsmykning til ishotell og vinterparker. Den mest omfattende bruken av is i dag er likevel ferdsel i forbindelse med fritidsaktiviteter.

Utbyggere pålegges å informere om hvor isen er svekket på grunn av inngrep, og i mange tilfeller også å merke områdene. For å gjøre denne informasjonen lettere tilgjengelig, lager NVE sammen med utbyggere og lokalkjente en landsomfattende kartoversikt over dette, som viser områder på innsjøer og magasiner som er svekket av vassdragsregulering (fig. 5.5). Like fullt må fortsatt utbyggere informere om slike konsekvenser lokalt. Kartoversikten til NVE ligger på denne nettadressen: www.nve.no/svekketis

I kartene angis det hvor reguleringene har ført til økning i vannføringen i elver, uten å spesifisere hvor eller i hvilken grad dette kan påvirke isforholdene. Grunnen er at isforholdene på elver er meget uforutsigbare, og kan variere raskt med endringer i værforhold og vannføring. Likevel er det fortsatt slik at økt vintervannføring alltid vil redusere muligheten og sikkerheten for ferdsel på elveisen.

NVE gir også en statusrapport om hvordan isforholdene er på innsjøer, både regulerte og uregulerte, ulike steder rundt omkring i landet. Disse ismeldingene til NVE sier ikke noe om i hvor stor grad man bruke isen på innsjøene til motorisert ferdsel. Da må det alltid utføres lokale målinger og vurderinger av isforholdene.

Ismeldingene til NVE ligger på denne nettadressen: www.nve.no/ismelding

6 Tiltak for å redusere isproblemer

6.1 Tiltak i vassdrag

Isproblemer oppstår i både regulerte og uregulerte vassdrag. I noen vassdrag er det sjelden isproblemer, andre steder er det problemer enkelte år, og noen steder er det problemer nesten hver eneste vinter.

Noen vassdrag og landsdeler er mer utsatt for slike problemer enn andre. Dette kommer først og fremst an på vintervannføringen og værforholdene. Mange forbinder regulering av vassdrag med økte isproblemer, men reguleringer kan også i noen tilfeller redusere problemer med is.

De fleste isproblemer har sammenheng med stor, og ofte varierende, vintervannføring. Disse problemene kjennetegnes ved:

- Åpent vann med sarrproduksjon
- Stigende vannstand med overvatning og oversvømmelse på mer stilleflytende strekninger. Dette skyldes opphopning av sarr og dannelse av bunnisdammer.
- Vanskeligheter med stabilisering av isforholdene på strykstrekninger. Det går vinterisganger og stabiliseringsprosessen må begynne på nytt, ofte flere ganger.
- Isganger.
- Svellis som fyller elva

I uregulerte vassdrag er det lite en kan gjøre med vintervannføringen. I regulerte vassdrag vil problemene kunne reduseres eller løses ved å redusere vannføringen når isen dannes i vassdraget på forvinteren. Når isproblemer er i ferd med å oppstå, vil en redusert og jevn vannføring kunne virke forebyggende mot problemer. I slike situasjoner bør det derfor heller ikke være døgn- eller ukereguleringer.

Dette er tiltak som kan gjøres for å forebygge – eller redusere – problemer med is:

- Fremskynde isleggingen
- Gjøre tilpasninger i elveløpet, ved opprenskning, lage forbygninger og terskler
- Løse opp ispropper og sammenskjøvne ismasser
- Tilpasse bruken av arealer som er utsatt for isproblemer

Den mest ideelle måten å unngå isproblemer på er få mest mulig av de sarrproduserende elvestrekningene islagt fortest mulig. Dette kan gjøres ved å redusere vannføringen i elva, noe som forutsetter at man har muligheter til å regulere den. Man kan også bruke lenser. Hvis man gjør det, må ikke vannhastigheten være større enn at flytende sarr stanser mot lensa, slik at den kan danne en kunstig isfront. Sarret vil da fryse sammen og isdekket vil bygges opp bakover. Etter hvert som større deler av elva islegges, minker sarrproduksjonen. Det vil gjøre at omfanget av isoppstuving og oversvømmelser blir mindre.

Samtidig blir de åpne områdene i elva mindre og produksjonen av frostrøyk reduseres. Lensenes utforming og størrelse må tilpasses de lokale forholdene i elva. I Norge brukes lenser nå først og fremst for beskytte inntak og andre konstruksjoner mot isskader. De brukes mindre nå enn tidligere til å redusere isproblemer i selve vassdraget.

Man kan også lage fysiske tilpasninger i elveløpet. En måte å gjøre dette på er å bygge terskler og buner. Buner er terskelliknende konstruksjoner i elveleiet, fra land og skrått ut i elva. Når disse brukes, dannes strandisen raskere. Bunene gjør også at vannmassene tvinges mot midten av elva, og strømmen av vann blir mer konsentrert. Dette hindrer opphopning av is. Eventuelle ismasser som flyter nedover, fortsetter til mindre utsatte områder.

I tillegg kan man bygge beskyttelse langs elva på land. Slike forbygninger vil bidra til å beskytte områdene bak mot oversvømmelser og isskader. Dette er ofte likevel ikke nok til å unngå avløpsvansker med is helt. Forbygningene lages derfor ofte samtidig som man gjør selve elveleiet trangere og dypere.

Når en isgang først har startet, er det lite en kan gjøre for å hindre ismassene i å stoppe opp og danne ispropper. I mange tilfeller vil vannet selv grave seg gjennom ismassene og lage en passasje her. Lokale oversvømmelser vil da gå tilbake. Det er likevel alltid en fare for at disse ismassene vil bevege seg videre nedover elva og true nye områder, særlig hvis vannføringen øker.

Hvis dette skjer i områder der faren for skader er liten, og hvor det er lite sannsynlig at vannstanden vil øke umiddelbart, anbefaler

Oppløsning av ispropp ved bruk av gravemaskin.

man vanligvis å avvente situasjonen og se om naturen ordner opp på egen hånd.

Noen ganger vil det likevel være ønskelig å fjerne isproppen fysisk – og dermed den faren som den representerer. Det må åpnes en passasje for vannet og eventuell ny is som måtte komme ovenfra.

Isproppen kan se ut som hardpakket is. Det er imidlertid isflak av forskjellig tykkelse og størrelse som er stuet sammen. De fleste steder er det vann under isproppen.

Hvis det går an å komme til isproppen med maskiner, anbefales det å forsøke å grave en åpning i isproppen. Dette arbeidet må begynne i den nedre enden av ismassene. Det bør være åpent vann nedstrøms slik at løsnede ismasser kan flyte nedover. I den senere tiden har mange brukt rivningskule som alternativ eller som tillegg til å bruke gravemaskin.

Ismasser som løsner vil kunne føre til nye problemer lenger ned i elva. Slike konsekvenser må derfor vurderes når man gjør dette. Gravearbeidet må som oftest utføres fra land. Noen ganger sprenger man de sammenskjøvne ismassene for å løsne dem opp. Dette gjøres med meget vekslende hell. Sprengning anbefales generelt ikke brukt på flytende ismasser.

En måte å unngå vinterisganger på er å forsøke å fjerne bunnisdammene i elva. Da kan man sprenge disse dammene. Ofte vil det være nødvendig med gjentatte skytinger, og utviklingen av isforholdene må overvåkes gjennom resten av vinteren. Dette er ikke noen ideell metode for å unngå vinterisganger. Vanligvis frarådes all sprengning av is.

Oppløsning av ispropp ved bruk av rivningskule og kran.

Svellis dekker hele elva. Grøfter er gravd i isen for å samle overflatevannet, slik at avkjølingen av vannet reduseres og derved isdannelsen. Her er grøfta blitt islagt, og avkjølingen redusert så mye at falloppvarmingen smelter vannet ytterligere ned grøfta.

Man kan også svekke isen i elva på langs slik at det lages en råk. Dette kan gjøre at isløsningen skjer raskere. Det vil også redusere faren for ispropper. Dette kan gjøres ved å strø isen over djupålen. Dette krever at man bruker riktig type og riktig mengde med strømateriale, og at det er lite eller helst ikke noe snøfall etter strøingen. Dette kan være vanskelig å forutsi.

En annen måte å redusere konsekvensene av isproblemer på, er å sørge for at det ikke er utsatt bebyggelse i de områdene der det kan bli oversvømmelser og hvor isen kan havne på land. Dette kan gjøres ved å gjøre god arealplanlegging før man bygger der.

Et effektivt tiltak for å redusere svellis (kap. 4.2.8) er å grave grøfter i den. Åpen vannoverflate og avkjøling av vannet reduseres, og vannet vil etter hvert selv smelte et løp videre ned i isen i det opprinnelige elveleiet. Det er viktig å gjøre tiltak før ismassene har blitt for store, og derved stoppe veksten av svellis før det oppstår skader.

For nærmere beskrivelse av tiltak i vassdrag henvises til Vassdragshåndboka.

6.2 **Tiltak i fjorder**

Det er to måter å redusere uønsket is på fjorder ved et regulert vassdrag på. Enten kan man fjerne isen, eller hindre at den legger seg. Dette kan gjøres på følgende måter:

- Isbryting
- Bobleanlegg
- Dypvannsutslipp

Isbryting var det første tiltaket som ble tatt i bruk for å redusere ulempene med is i tidligere isfrie fjorder. De mest brukte rutene på fjorden ble holdt åpne, men det var fortsatt ishindringer utenom hovedledene. Man forsøke også å unngå at kaier og andre installasjoner ved strandkanten ble skadet av isen. Noen steder ble utbyggere pålagt å drive med isbryting av vassdragsskjønnet.

Grunnen til at det blir isdannelse i fjorden er at vannet er ferskere og brakkere enn det det ellers ville ha vært uten reguleringsvann. Bobleanlegg og dypvannsutslipp gjør at vannet i overflaten blir varmere og saltere. Det hindrer isdannelse.

Bobleanlegg og dypvannsutslipp hindrer islegging i større områder enn det som er praktisk mulig for en isbryter å bryte opp. Et eksempel på et bobleanlegg som har fungert godt er anlegget som ble bygget i Rana i 1960-årene. Da man planla kraftverket der, var mange bekymret for at isforholdene i fjorden skulle bli dårligere. Industrien i lokalsamfunnet var avhengig av sjøtransport. "Ranisen", isen på Ranafjorden, var beryktet for å skape store isproblemer.

For å unngå at kraftutbyggingen skulle gjøre disse problemene verre, bestemte man å bygge et bobleanlegg der. Hensikten var å blande ferskvann inn i sjøvannet, slik at det ble et 15 m tykt homogent lag med vann over hele fjorden med en saltholdighet på godt over 25 ‰. Dette laget skulle holde fjorden isfri. Undersøkelser ble satt i gang. På dette tidspunktet kjente man ikke til andre bobleanlegg av denne typen, og anlegget i Rana ble sett på som et pilotprosjekt.

Det har fungert tilfredstillende helt

Bobleanlegg hindrer isdannelse ved at det kalde og ferskere overflatevannet blandes med varmere og saltere dypvann. Foto: Statkraft Energi, Glomfjord

siden det ble tatt i bruk i 1966. Fjorden holdes isfri når anlegget er i drift. Et tilsvarende anlegg ble bygget i Holandsfjorden i 2002. Også dette har virket tilfredsstillende.

Ved dypvannsutslipp slippes det ferske driftsvannet ut på dypt vann. Driftsvannet er lettere enn fjordvannet. Det blander seg med fjordvannet fordi det har stor hastighet ved utslippsstedet, og fordi utslippskonstruksjonen er bygget slik at det skal blande seg lett med fjordvannet. For å hindre islegging i overflaten, må dette vannet bli tilstrekkelig salt.

Det finnes flere dypvannsutslipp fra kraftverk i landet. Det største er ved Jostedalen kraftverk, som har utløp i Gaupnefjorden i Sognefjorden.

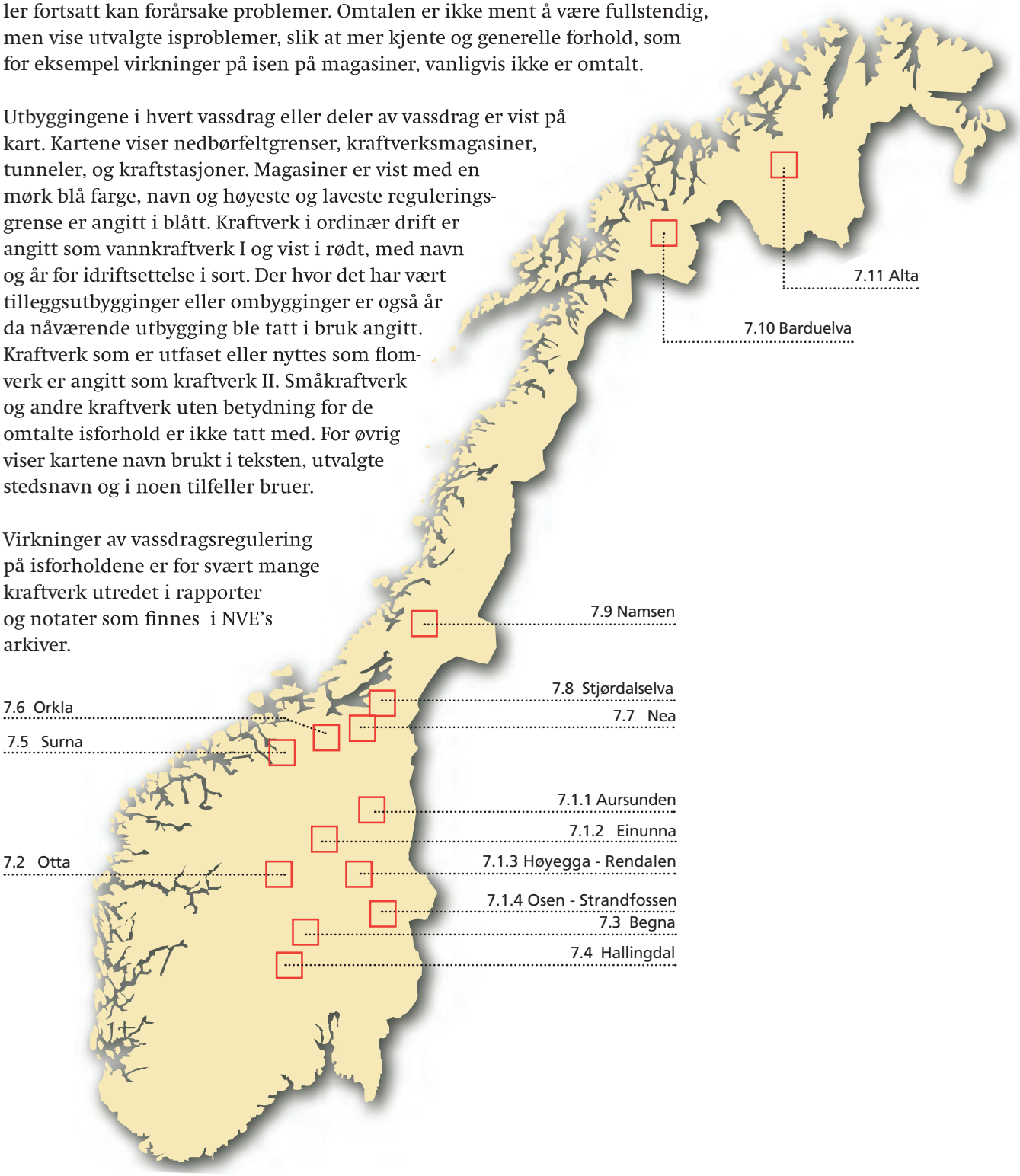
Buner, her langs høyre bredd, bidrar til å bedre isforholdene. Foto: Halvard Strand

7 Erfaringer fra noen utbygde vassdrag

Dette kapitlet inneholder korte oversikter over virkninger av utbygging på isforholdene i utvalgte vassdrag, eller deler av vassdrag, hvor utbygging har gitt eller fortsatt kan forårsake problemer. Omtalen er ikke ment å være fullstendig, men vise utvalgte isproblemer, slik at mer kjente og generelle forhold, som for eksempel virkninger på isen på magasiner, vanligvis ikke er omtalt.

Utbyggingene i hvert vassdrag eller deler av vassdrag er vist på kart. Kartene viser nedbørfeltgrenser, kraftverksmagasiner, tunneler, og kraftstasjoner. Magasiner er vist med en mørk blå farge, navn og høyeste og laveste reguleringsgrense er angitt i blått. Kraftverk i ordinær drift er angitt som vannkraftverk I og vist i rødt, med navn og år for idriftsettelse i sort. Der hvor det har vært tilleggsutbygginger eller ombygginger er også år da nåværende utbygging ble tatt i bruk angitt. Kraftverk som er utfaset eller nyttes som flomverk er angitt som kraftverk II. Småkraftverk og andre kraftverk uten betydning for de omtalte isforhold er ikke tatt med. For øvrig viser kartene navn brukt i teksten, utvalgte stedsnavn og i noen tilfeller bruer.

Virkninger av vassdragsregulering på isforholdene er for svært mange kraftverk utredet i rapporter og notater som finnes i NVE's arkiver.

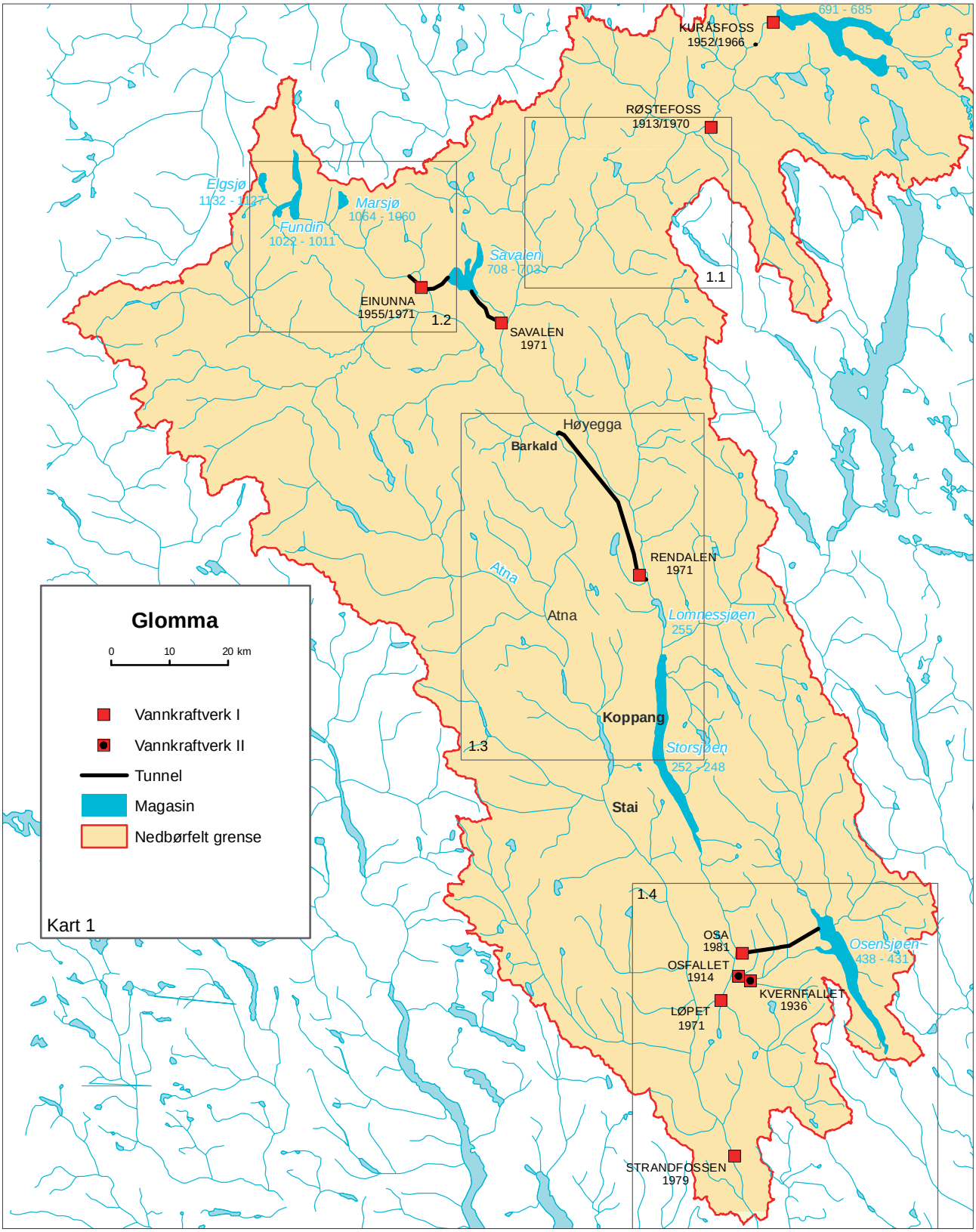


7.1 **Glomma fra Aursunden til Elverum**

I Glomma ovenfor Elverum er virkninger av vassdragsregulering og kraftutbygging på isforholdene omtalt separat for følgende inngrep:

- Reguleringen av Aursunden
- Fundinreguleringen med Einunna og Savalen kraftverker
- Overføringen av Glomma fra Høyegga dam til Rendalen kraftverk
- Reguleringen av Osensjøen med Osa, Løpet og Strandfossen kraftverk

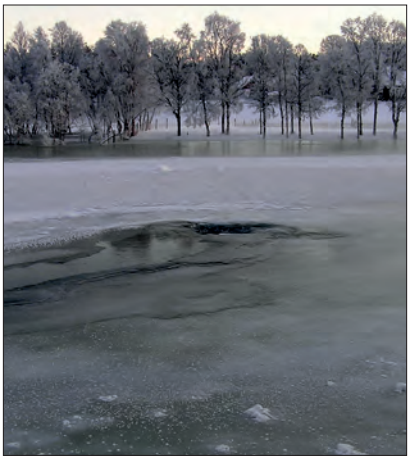
Oversiktskart er vist på kart 1, og delområdene på kart 1.1-1.4.



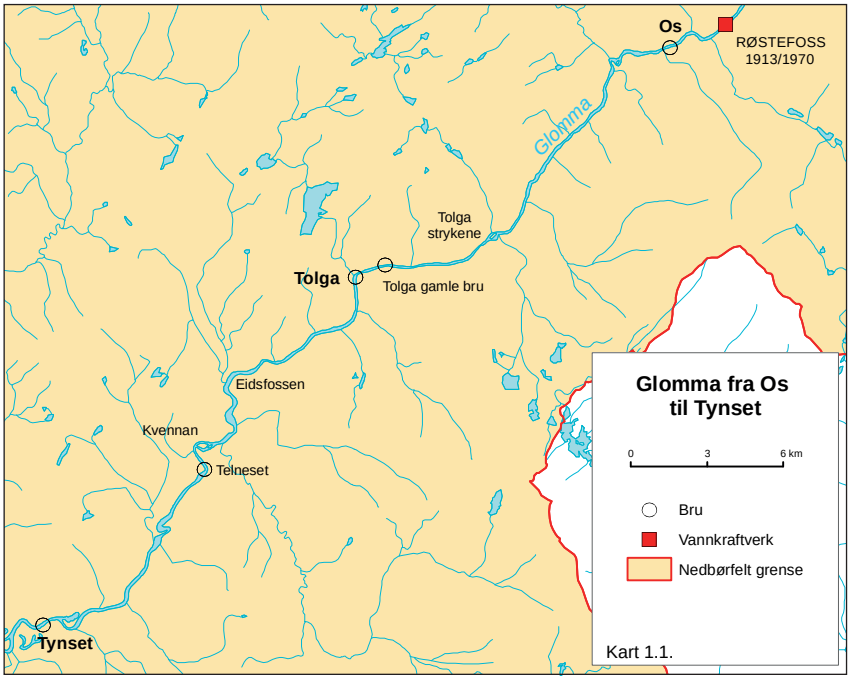
7.1.1 Reguleringen i Aursunden

Reguleringen av Aursunden ble tatt i bruk i 1924. Vintervannføringen økte i hele vassdraget nedstrøms, og dette førte til umiddelbare endringer på isforholdene. Vinterveiene på isen ble langt mer ustabile enn før, og særlig vintrene 1926-27 og 1927-28 var det mange store vinterisganger i Glomma. Forholdene var da så ille, at det i 1929 ble oppnevnt en sakkyndig kommisjon (Isgangskommisjonen), under det daværende Arbeidsdepartementet, som skulle utrede om dette hadde sammenheng med regulerigen av Aursunden. Isgangskommisjonen innhentet opplysninger fra de skadelidte distrikter. Her kom det frem at det før reguleringen årvisst hadde gått vinterisganger i sideelvene, særlig i Atna. Isgangene kunne gå videre nedover i Glomma, men uten å forårsake særlige skader. Det er noe forskjellige utsagn om hvor hyppige og omfattende vinterisganger i selve Glomma var før reguleringen. Det var imidlertid enighet om at vårisganger var vanlig, og at det i enkelte år hadde gått meget store vårisganger med store skader.

De første vintrene etter regulering ble det tappet 18-20 m^3/s fra Aursunden om vinteren. Det er 2-3 ganger så mye som den naturlige vintervannføringen. Dette førte til ustabile isforhold, med store og hyppige vinterisganger, særlig i Barkald- og Tolga-strykene. Det ble stor isoppstuving med overising og oversvømmelser, vann i kjellere, og skader på dyrket mark, særlig i Osområdet, ved Telneset og på Koppangssøyene (kart 1, 1.1 og 1.3).



Overvatning ved Os som følge av isoppstuving.



Kart 1.1.

I regi av kommisjonen ble det utført detaljerte analyser av alle vinterisganger etter reguleringen både i Glomma og andre nærliggende vassdrag, hvor det også hadde vært flere isganger og større isproblemer enn normalt disse vintrene. Videre vurderte kommisjonen problemer knyttet til isoppstuving og overising på Koppangsøyene og i Osområdet.

Selv om ikke isgangskommisjonen hadde et entydig svar på årsaksforholdet ble det tatt utgangspunkt i at reguleringen var en medvirkende årsak til problemene. Et nytt og temmelig restriktivt tappereglement ble vedtatt i 1931. Etter dette skulle det tappes uregulert tilsig, men ikke over 8 m^3/s, inntil isforholdene på de mest utsatte strekningene var stabilisert.

Deretter skulle tappingen økes gradvis i trinn på 1 m^3/s pr døgn. Dette bedret forholdene betydelig, men det var fremdeles problemer med vann i kjellere og skader på dyrket mark nesten hver vinter. I 1953 ble det likevel gitt tillatelse til midlertidig å tappe inntil 10 m^3/s i isleggingsperioden.

Disse begrensningene på tappingen førte til at det enkelte år var vanskelig å utnytte alt magasinvannet i Aursunden. Det ble i 1971, etter overføringen til Rendalen (kap. 7.1.3), som reduserte vintervannføringen nedover til Rena, gitt tillatelse til prøvetapping med 20 m^3/s under isleggingen. Det viste seg snart at overvatningen i Os økte som følge av den økte tappingen. Isproduksjonen i Tolgastrykene økte også, og det ble nesten årvisse skader ved Os og Telneset. Vintervannføringen måtte derfor reduseres igjen.

I 1997 ble gjeldende manøvreringsreglement fastsatt. Der er vannføringen begrenset til 13 m^3/s inntil isforholdene er stabilisert. Økningen opp til maksimal vintertapping som er 35 m^3/s skal ikke være raskere enn 0.5 - 1.0 m^3/s pr døgn.

Vintertappingen blir nå først satt i gang etter at isforholdene er stabilisert i Tolgastrykene. Isleggingsperioden varer vanligvis fra midten av november til årsskiftet. Det har likevel enkelte år vært isproblemer, som overvatning i Os-området og isgang i Tolgastrykene, og da må vannføringen reduseres. Isganger som utløses i Tolgastrykene kan passere Eidsfossen og først stanse opp i elvesvingen ved Kvennan. De siste isgangene som har ført til skader ved Kvennan var i 1988 og 1997.

Det er viktig å unngå for tidlig økning i vannføringen, da dette lett kan føre til isgang. Samtidig er det viktig å komme i gang med tappingen slik at magasinet blir utnyttet best mulig. Ved isgang må isleggingsprosessen begynne på nytt. Ny oppkjøring kan først starte etter at isforholdene igjen vurderes som stabile. Det er altså flere motstridende forhold som må vurderes sammen. Det kreves god lokalkunnskap om isforholdene under isleggingen, og erfaring i å vurdere isen i forhold til værutviklingen og virkninger av endringer i vannføringen, for å ta beslutninger om økning i vintertappingen.

Isforholdene ved Tolga før og etter stabilisering. Før stabilisering viser grønnskjæret i vannet at det er mye bunnis. Elva er oppstuvet og vann renner inn over isdekket. Etter stabilisering er bunnisen borte, elva ser svart ut og isdekket er tørt. Foto: Vidar Moholt

Opp gjennom årene har det flere ganger vært tenkt på utbygging av Tolgafallene, ikke minst på grunn av isproblemene her. Opplandskraft har nå konkrete planer for utbygging av ca 15 km elv i Tolgafallene. På strekningen som eventuelt utbygges må en regne med at pålagt vintervannføring blir så liten at det ikke lenger vil bli isganger her. Forholdene med overvatning ved Os vil imidlertid ikke påvirkes, og det må kunne forventes langt mindre isoppstuving ved Telneset.

Ispropp ved Kvennan etter isgang. Foto: Jon Arne Eie, GLB

Oversvømmelsen ved husene ved Kvennan camping, isproppen i bakgrunnen.

7.1.2 Fundin-reguleringen, Einunna og Savalen kraftverker

Gamle Einunna kraftverk hadde inntak i Markbulidammen og utløp i Einunna mot Folldal. Elgsjø og Marsjø var regulert og ble vintertappet. Kraftverket ble tatt i bruk i 1955. Det var da ingen isproblemer som følge av utbyggingen.

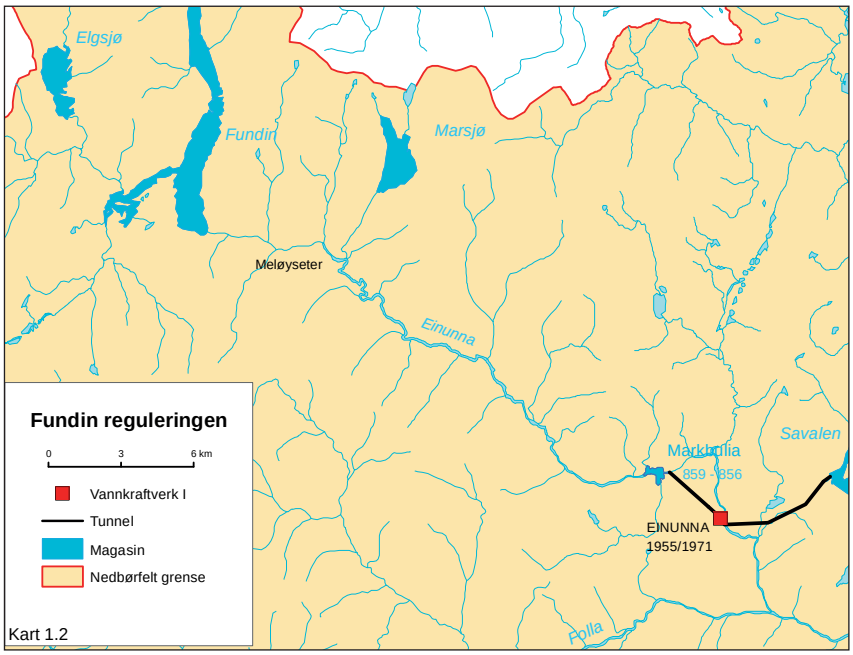
Nåværende utbygging ble tatt i bruk i 1971 og har hovedmagasin i Fundin, som er et kunstig magasin, oppdemt i det naturlige elveløpet til Einunna. Elgsjø tappes i det naturlige elveløpet til Fundin, og Marsjø tappes i det naturlige elveløpet til samløpet med Einunna nedenfor Meløyseter. Utløpet fra Einunna kraftverk ble i 1971 overført til Savalen for å utnyttes i fallet videre til Glomma i Savalen kraftverk, som også ble tatt i bruk i 1971 (kart 1 og 1.2).

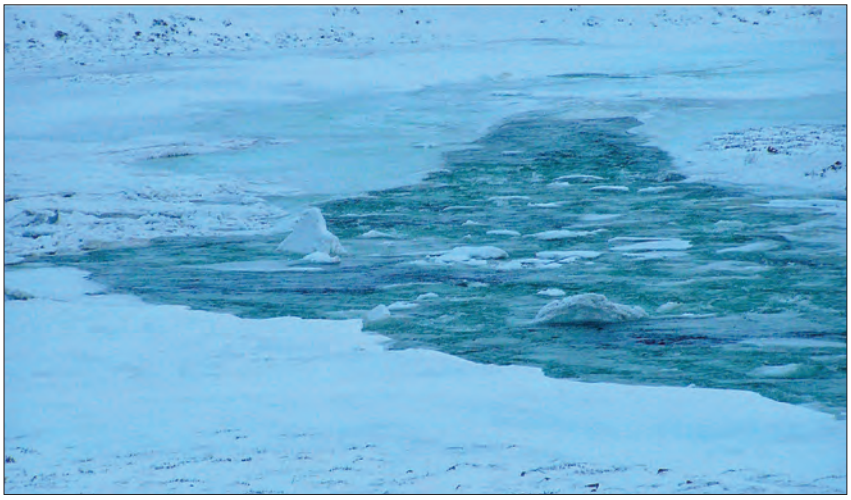
Tappevannet fra Fundin går i det naturlige elveleiet forbi Meløyseter til Markbulidammen. På de første 6 km fra Fundin er fallet stort, men fra Meløyseter blir fallet svært lite, bortsett fra enkelte korte, markerte stryk.

Vintertappingen fra Fundin starter som regel i midten av november og varer til slutten av april, med den høyeste tappingen på 7-8 m^3/s i januar og februar.

Før utbygging ble virkningen av den økte vintervannføringen undersøkt. Det ble da vurdert slik at overtemperaturen i tappevannet fra Fundin ville være stor nok til at elva ville gå åpen ned til setra, og at det ville bli minimal isproduksjon ovenfor setra. Elva er stilleflytende nedenfor setra, og her ville det tidlig dannes et fast isdekke. Slik var også situasjonen i noen år. Senere, første gang i 1977, har isforholdene ført til oversvømmelser med skader på dyrka mark og store vannskader på husene enkelte år. Det viste seg altså å bli langt større sarrproduksjon i elva nedover mot Meløyseter enn forventet.

Elveleiet ligger i åpent fjellterreng. I snødrev blåser det lett store mengder snø ut i elva og snøen bidrar til at vannet avkjøles. Dette var det neppe tatt tilstrekkelig





Nedre del av sarrproduserende elvestrekning.

hensyn til ved utredningene. Isproduksjonen blir ekstra stor når snøen bare delvis smelter og blir til snø og issørpe. Denne snø- og issørpa sammen med stadig nydannet sarr blir ført nedover til seterområdet der fallet er lite, og presset inn under det faste isdekket og lagret i elveleiet. Vannstanden øker da meget raskt og mye, og dette har ført til store oversvømmelser.

I 1979 ble det bygget en voll mellom elva og setra for å sikre Meløyseter mot oversvømmelser. Dette bedret forholdene, men i 1987, da det var flere kraftige uvær, gikk vannet over flomverket og forårsaket igjen omfattende skader på hus og dyrka mark. Et nytt seterhus ble satt opp på flomsikker grunn til erstatning for et av de gamle. Det ble også satt opp en målestasjon for registrering av vannstand og meteorologiske parametre, med direkte varsling til kraftverksplersonalet når vannstanden nærmer seg kritisk nivå. I slike situasjoner blir nå vannføringen fra Fundin redusert. Med fjernoverføring og rask justering av vannføringen i utsatte perioder kan isoppstuvingen begrenses, og oversvømmelser har etter dette vært unngått.

Det er nå søkt om utvidelse av Markbulidammen. Med større magasinkapasitet vil tappingen fra Fundin kunne tilpasses isforholdene på en bedre måte enn nå, uten at det går ut over driften i Einunna kraftverk.

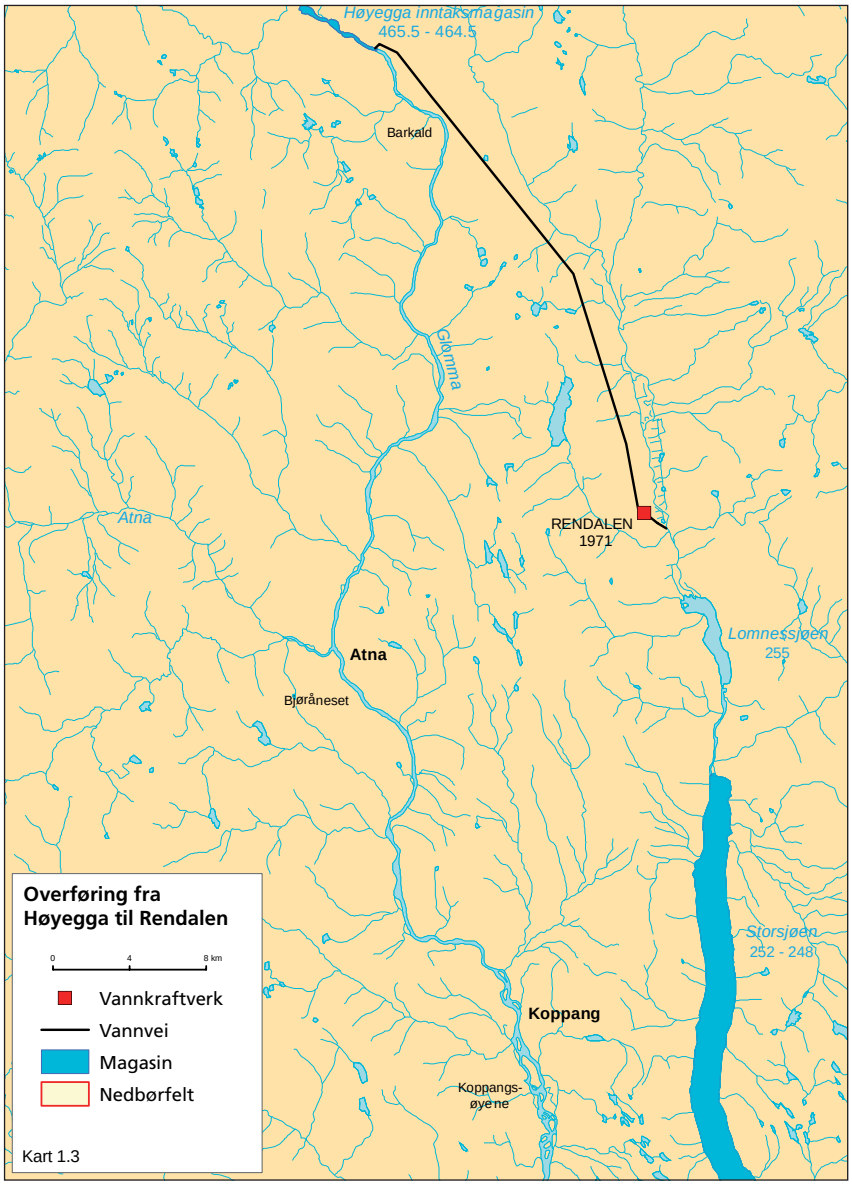
Savalen kraftverk (kart 1) har inntak i Savalen og utløp i Glomma. Driftsvannet har overtemperatur og forårsaker råk i Glomma nedover mot Alvdal. I kaldt vær kan det være betydelig frostrøykdannelse over råka, og frostrøyken kan sige inn over riksveien.

7.1.3 Glommaoverføringen fra Høyegga til Rendalen

Rendalen kraftverk, med overføring fra Høyegga dam, ble satt i drift i 1971, og det meste av vintervannet i Glomma ble da overført til Rendalen (kart 1.3). Med vintertapping fra Aursunden var det betydelig økt vintervannføring i hele Glomma før overføringen til Rendalen. Dette førte til isproblemer mange steder, særlig var isganger i Barkaldstrykene og isoppstuving med oversvømmelser på Koppangsøyene svært plagsomt.

Det kan overføres 55 m^3/s til Rendalen gjennom kraftverket. Fra Høyegga dam ble det konsesjonsbestemt en minstevannføring i Glomma nedenfor dammen på 10 m^3/s. Problemene i forbindelse med isgangene i Barkaldstrykene og oversvømmelsene på Koppangsøyene ble da borte. Vårisganger kan imidlertid fortsatt forekomme nedenfor Høyegga, særlig hvis det blir nødvendig med forbislipping over Høyegga før isen nedenfor Høyegga har gått i oppløsning. Dette var situasjonen i 1989, da det gikk en kraftig isgang som forårsaket ganske store skader, særlig i området rundt Atna og ved Bjøråneset.

Atna elv, som er uregulert, er relativt utsatt både for vinterisganger og vårisganger. Etter overføringen til Rendalen er vannføringen i



Glomma redusert så mye at ismassene fra Atna ofte stopper ved Atnaosen, og danner en iskork som blir liggende gjennom vinteren. Dette kan skape problemer under isløsningen, både i forhold til vann fra Atna og fra Glomma.

Vanntemperaturen i Glomma ved Høyegga er ganske nær 0 °C, og vanntemperaturen ved utløpet av Rendalen kraftverk tilnærmet den samme. Gjennomstrømningen i Lomnessjøen kan derfor øke med 55 m^3/s kaldt vann i tillegg til naturlig vannføring på 2-3 m^3/s. Det har derfor blitt betydelig økt gjennomstrømning av "kaldt" vann, og det utvikles et tykt kaldt, overflatelag som er motstandsdyktig mot vind, i Lomnessjøen. Dette gjør at Lomnessjøen islegges tidligere og får et mektigere isdekke enn før. Et tidligere åpent parti i nærheten av innløpsosen blir nå islagt størstedelen av vinteren.

Det oppstod store skader på kraftverket i Rendalen i januar 1996. Dette gjorde at overføringen til Rendalen måtte reduseres, og etter noen døgn helt stenges. Det var omløpsturbin i kraftstasjonen, men da denne hadde begrensninger for langvarig bruk, måtte hele vannføringen fra Glomma ovenfor Høyegga etter få dager gå forbi Høyegga dam og videre i Glomma. Med erfaringene fra vårisgangen 1989 var en meget bekymret for mulige virkninger av overløp på Høyeggadammen, og forholdene ble nøye overvåket.

Vinteren 1995-96 var svært kald og tørr, og det var uvanlig tykk is med lite rom under nedenfor Høyegga. Allerede ved den første økningen i vannføring på bare 4 m^3/s gikk det meste av vannet oppå isen, og det ble dokumentert kjøving forbi Atna. Tilsiget til Høyegga ble redusert ved at tappingen fra magasinene i vassdraget ovenfor ble halvert, men forbitappingen ved Høyegga ble likevel fordoblet da omløpsturbinen etter noen dager måtte stanses. I første omgang var en bekymret for om overløpet ved Høyegga ville utløse isgang. Ved gradvis økning av vannføringen ble det ingen isgang, men kjøvingen økte på og istykkelsen vokste dramatisk som følge av økt vanntilførsel. I midten av mars var istykkelsen omtrent fordoblet forbi Atna på grunn av kjøving av overløpsvannet. I tillegg var det dannet betydelige ismengder på elveisen på grunn av kjøving ved utløpet av de fleste sidebekkene. Dette skyldtes uvanlig kaldt vær og lite snø.

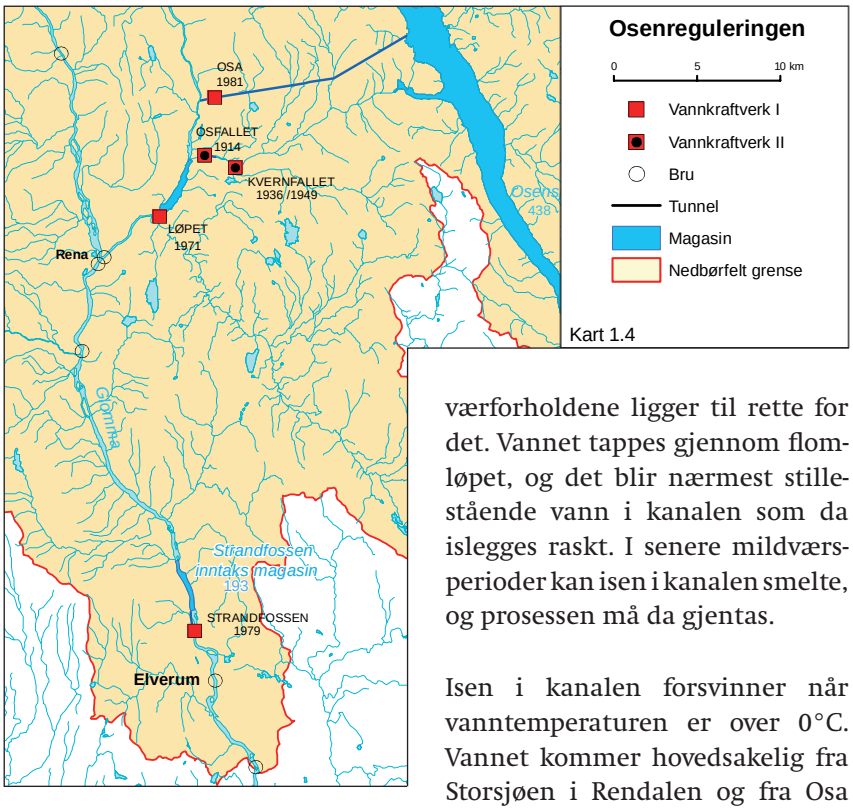
Øverst vises isforholdene i Glomma nedenfor Høyegga dam i normalsituasjonen, bildene nedenfor viser isforholdene ved forbislipping av vann

Skadene på kraftstasjonen var stor. En fryktet at den ville være ute av drift til etter vårløsningen. En tidlig vårløsning med raskt økende og stor vannføring ville da kunne føre til kraftig vårisgang nedenfor Høyegga, særlig på grunn av de store ismengdene i vassdraget.

Til alt hell ble skaden reparert i tide. Rendalen kraftverk kom i drift igjen 20. mars. Det ble også en kald vår uten overløp på Høyegga dam, med sakte tining av ismassene, som da smeltet uten at det ble skader av noen art.

7.1.4 Reguleringen av Osensjøen og Strandfossen kraftverk

Osa kraftverk utnytter fallet fra Osensjøen til Rena elv. Det har en slukeevne på 52 m^3/s. De eldre kraftverkene, Osfallet og Kvernfallet, utnytter nå restvannføringen i Søre Osa elv og har ingen innvirkning på isforholdene i vassdraget (kart 1.4).



Kart 1.4

Strandfossen kraftverk, satt i drift i 1979, er et elvekraftverk, og utnytter et langstrakt fall i Glomma 6 km nord for Elverum. Kraftstasjonen har en 2 km lang inntakskanal på vestsiden av dammen. Glomma er mer eller mindre åpen hele vinteren fra utløpet av Løpet kraftverk i Rena nedover mot inntaksmagasinet til Strandfossen, dog i noe forskjellig lengde avhengig av værforholdene. Det kan enkelte år være sammenskjøvne ismasser og mindre ispropper i elva nederst mot Strandfossenmagasinet, som for det meste er islagt.

I kuldeperioder kan det være stor sarrproduksjon der Glomma er åpen. Allerede første vinteren kraftstasjonen var i drift var det store isproblemer. Kanalen isla seg ikke, og ble pakket med sarr som la seg på grindene og tettet tilløpet slik at kraftstasjonen måtte stanses. Problemet var at vannhastigheten i kanalen var for stor til at den kunne islegges. Dammen ble derfor til vinterbruk påbygd klaffeluker som hever vannstanden 75 cm. Dette har redusert vannhastigheten i kanalen. Selv om isforholdene har blitt bedre har kraftverket fortsatt problemer med sarr i inntakskanalen, med ising og tetting av inntaket. Sarret kan komme med elva ovenfra, men produseres også i inntakskanalen når denne ikke er islagt.

For å få en rask islegging i kanalen blir kraftverket stoppet når værforholdene ligger til rette for det. Vannet tappes gjennom flomløpet, og det blir nærmest stillestående vann i kanalen som da islegges raskt. I senere mildværsperioder kan isen i kanalen smelte, og prosessen må da gjentas.

Isen i kanalen forsvinner når vanntemperaturen er over 0°C. Vannet kommer hovedsakelig fra Storsjøen i Rendalen og fra Osa kraftverk, som begge har vanntemperatur i området 1-3 °C, og varmest er vannet fra Osa kraftverk. Ved uheldige kombinasjoner av vannføringer, vanntemperaturer og værforhold vil driftsvannet fra Osa, som er varmest, kunne være avgjørende for om isen på kanalen i Strandfossen går opp, med påfølgende fare for stans i Strandfossen i neste kuldeperiode. I slike situasjoner kan en begrense problemene ved Strandfossen ved å ta hensyn til driften begge steder. Løpet kraftverk har ingen innvirkning på disse forholdene.

Sett oppover fra inntaket til Strandfossen kraftverk. Isen har gått opp i inntakskanalen, i påfølgende kulde ble kanalen fylt av sarr som tettet inntaket. Kraftstasjonen måtte da stoppes.

7.2 **Otta**

I Otta er det isproblemer både i Øvre Otta, særlig ved Marlo, og i Nedre Otta, særlig ved Otta tettsted. Problemene skyldes økt vintervannføring fra magasiner øverst i vassdraget. Reguleringen i Breidalsvatn og Raudalsvatn ble tatt i bruk i 1948. Senere er magasinene i Aursjøen og Tesse etablert (kart 2).

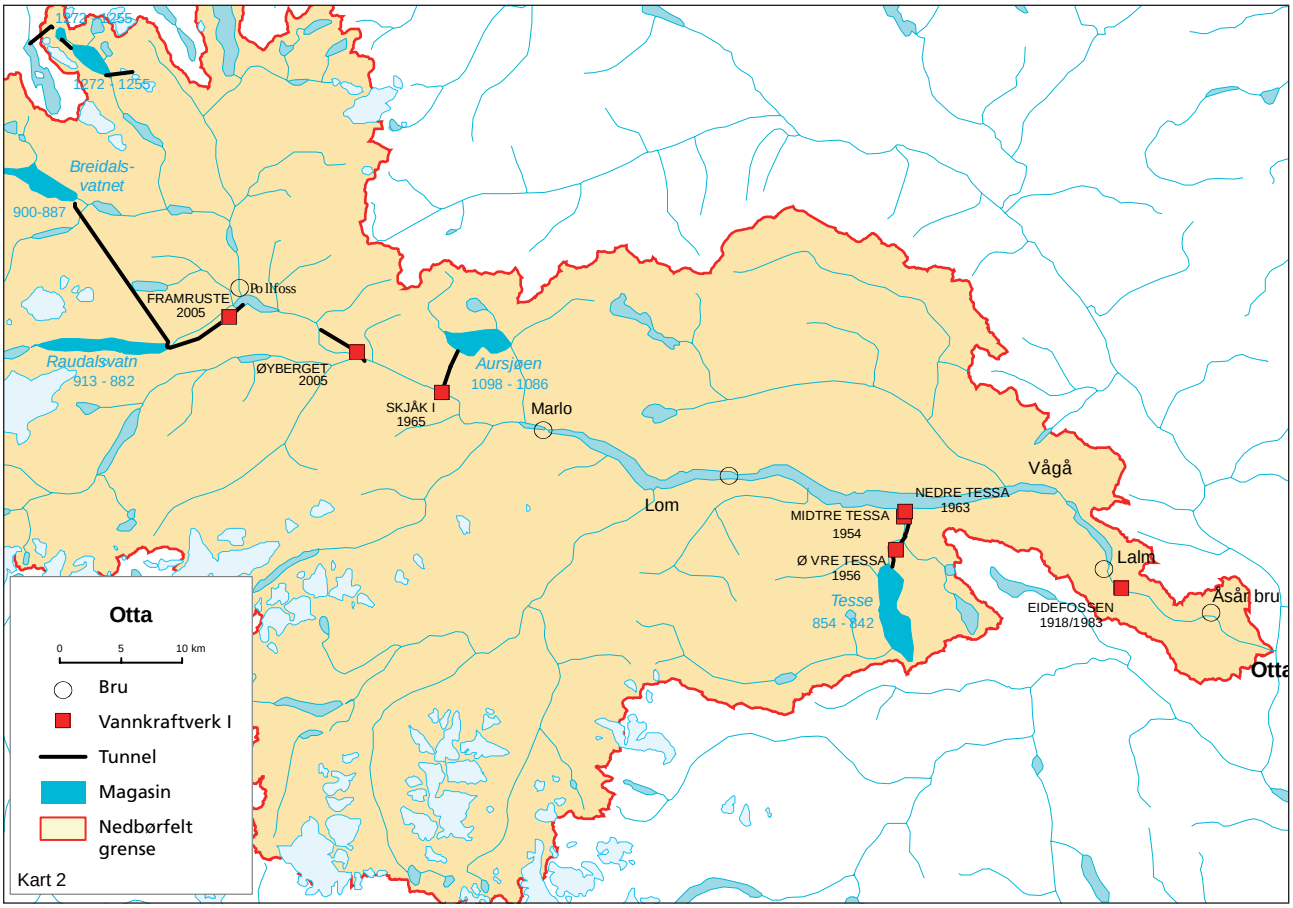
Før regulering var det stort sett stabile isforhold i vassdraget. Den økende vintervannføringen har ført til endringer i isforholdene. Det ble svekket is på de mindre innsjøene, og isveiene både på elva og innsjøene ble mindre brukbare. På strykpartiene ble det økt sarrpoduksjon med tidvis stor isoppstuving med oversvømmelser, og mere isganger enn før regulering.

7.2.1 Øvre Otta

Breidalsvatn ble i 2008 overført til Raudalsvatn. Før denne overføringen gikk tappevannet fra Breidalsvatn i Øvre Otta elv. Dette førte til at elva stort sett gikk åpen forbi Pollfoss, og det var sjelden brukbar is på noen av de små innsjøene i elva ned til Pollfoss. Før regulering var det her gode og stabile isforhold. Nå, etter overføringen av Breidalsvatn til Raudalsvatn, er vintervannføringen blitt noe lavere enn uregulert ovenfor Pollvatn, og det er igjen blitt gode stabile isforhold i Øvre Otta på denne strekningen.

Etter oppstart av Framruste kraftverk i 2005 er isforholdene, som allerede ble svekket ved de første reguleringene, ytterligere svekket fra utløpet av Framruste kraftverk til inntaket til Øyberget kraftverk. Dette skyldes høyere vanntemperatur enn tidligere som følge av tunnelloverføringen til Raudalsvatn og videre til Framruste kraftverk. Vanntemperaturen er fortsatt noe over frysepunktet ved utløpet av Øyberget kraftverk, men synker raskt videre nedover elva når det er stor avkjøling. Dette gir i kuldeperioder fortsatt meget stor sarrproduksjon, og elva blir sjelden helt islagt før henimot Marlo bru. Driftsvannet fra Skjåk kraftverk har noe overtemperatur, men vannføringen er liten i forhold til i hovedelva, slik at dette har liten betydning for isforholdene.

Fra Marlo bru og nedover mot innløpet til Ottavatn minker fallet, det blir grunt og løpet deles opp av flere øyer. Området har derfor, helt fra de første reguleringene ble satt i verk, vært utsatt for overvatning og isdannelse ved at innløpet til Ottavatn innsnevres av sarr. Store sarrmengder produseres i strykstrekningene ovenfor Marlo og hoper seg opp når fallet minker. Dyrka mark og tekniske installasjoner er utsatt, og har tidvis blitt oversvømt. Nedenfor Marlo bru er det gravd ut en dypål og det er også er bygd en flomvoll.



Dette har bidratt til å redusere skadeomfanget. I enkelte år er det fortsatt betydelig oppstuving i området. Det kan se ut som grunnforholdene har endret seg igjen, og at kanalen er mindre effektiv enn den har vært.

Øyberget kraftverk har ikke endret forholdene ved Marlo merkbart. Forholdene må fortsatt overvåkes lokalt, og det er nødvendig å redusere vannføringen i kritiske perioder.

7.2.2 Nedre Otta

I Nedre Otta er Eidefossen utbygd i Eidefossen kraftverk. Det første kraftverket ble satt i drift i 1918 og hadde en slukeevne på 12 m^3/s. I 1983 ble dette erstattet med et nytt kraftverk med større inntaksdam og slukeevne på 95 m^3/s, som er langt over den vintervannføringen elva tåler i forhold til isforholdene. Inntaksdammen ble i 2004 hevet ytterligere 3 m.

Reguleringen i Øvre Otta- og Tessevassdraget har ført til betydelig økt vintervannføring i Nedre Otta. Vintervannføringen kan nå være opp mot 50 m^3/s mens den uregulert var 5-10 m^3/s. Isforholdene blir sjelden ordentlig stabile, elva går mye åpen, og det er isdammer under oppbygging i kuldeperioder.

Det går derfor ganske ofte vinterisganger på denne strekningen, de fleste utløses nedenfor Eidefoss. Enkelte ganger kan ismassene stanse opp i gjelet nedenfor Åsårbrua, men vil vanligvis først stanse i området ved Otta sentrum. Dette har ført til store oppstuvinger og oversvømmelser, og høy vannstand i elva og i grunnvannet, slik at kjellere har blitt oversvømmet. Iblant har også selve ismassene vært truende eller ført til skader på lavtliggende hus og hytter. Bruene har ikke blitt skadet av isgangene.

Meget stor sarrproduksjon i Øvre Otta ovenfor Marlo.

Oversvømmet og nediset pumpehus ovenfor Marlo. Ispropp i elva i bakgrunnen

Vollen på høyre side nedenfor Marlo er ikke oversvømmet.

Det er bygd flomvoller og fjernet masser forbi Otta sentrum og i samløpet med Lågen for å bedre forholdene. Dette synes å ha virket gunstig. Også på strekningen fra samløpet mellom Otta og Lågen og forbi Kringen har det iblant vært store oppstuvinger på grunn av mye sarr under isen. Her har også forholdene blitt utbedret, bl a i forbindelse med anlegging av gang- og sykkelvei. En kloakkledning som opprinnelig lå noe grunt og krysset elva ved Kringen, ble flyttet. Forholdene blir fortsatt nøye overvåket. Vannstanden registreres kontinuerlig for å kunne vurdere behovet for reduksjon av vannføringen i kritiske situasjoner så tidlig som mulig.

Det kan være mange slike bunnisdammer på rekke og rad i Otta. Brister en isdam kan det utløses isgang.

Når en isgang først har gått kan skadene reduseres ved å redusere vannføringen. En reduksjon fra Tesse, som gir relativt rask effekt, vurderes nøye når det har gått isgang. Ytterligere reduksjon må gjøres ved å begrense tappingen fra magasinene i øvre del av vassdraget, som tar flere døgn før det har virkning ved Otta. Det er derfor særs viktig å være oppdatert på isforhold og værprognoser, og være forberedt på å kunne vurdere tilpasning av vannføringen i forkant når det er fare for kritiske situasjoner.

Løsnet bunnis i Nedre Otta.

Mellom Lalm og Eidefossmagasinet dannes det også bunnisdammer, om ikke så ofte som nedenfor Eidefoss. Når disse brister føres store vannmasser plutselig inn i inntaksmagasinet og over dammen. Flombølgen herfra kan utløse isgang i Nedre Otta. Hevingen av Eidefossdammen i 2004 har bedret forholdene noe.

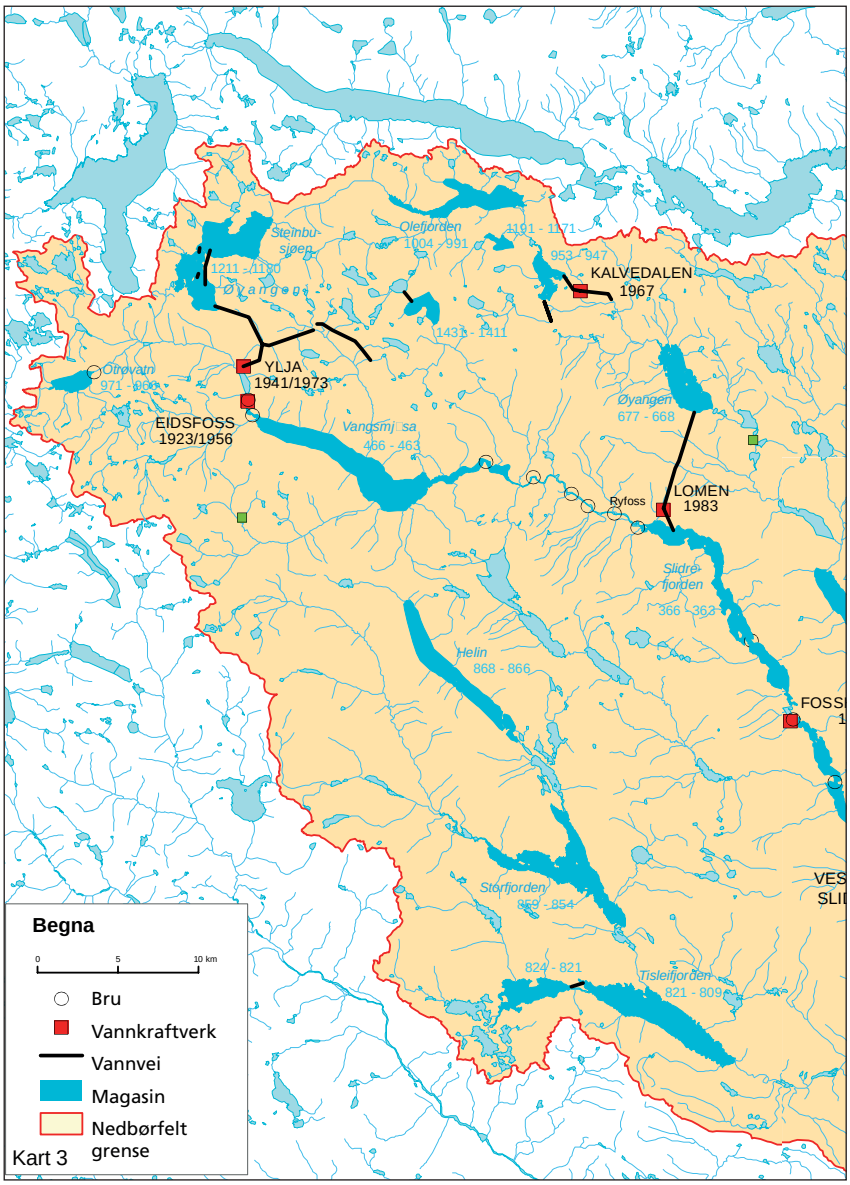
Ytterligere utbygging av Nedre Otta har opp gjennom årene vært vurdert ved flere anledninger, og en videre utbygging i nedre Otta er igjen under planlegging. Det vil kunne redusere isproblemene i Ottaområdet.

Ispropp ved Otta sentrum

7.3 **Begna**

De aller første kraftverk i Begna ble bygd tidlig på 1900-tallet, og gamle allerede eksisterende reguleringer ble utnyttet. Fra 1950-årene ble nye reguleringer etablert og nye kraftstasjoner satt i drift (kart 3). Kraftutbyggingen i de øvre delene i vassdraget, både i Østre og Vestre Slidre, førte til økt vintervannføring nedover hele dalen. Her var det skiftevis roligere elvepartier, stryk og fossepartier med forskjellige fallforhold. Det ble mange steder større isproduksjon med oppbygging av bunnisdammer og vanskeligere forhold for stabilisering av isforholdene. Det ble mer kjøving og isoppstuving, med oversvømmelser i lavtliggende områder og hyppigere isganger enn tidligere. På de mer stilleflytende strekningene ble isen mange steder svekket slik at isveiene har blitt mindre stabile eller ubrukelige.

For å hindre eller i hvert fall redusere disse isproblemene ble det i mange år utført systematisk sprengning av bunnisdammer på de mest utsatte strykstrekningene, blant annet flere steder i Begna nedenfor Bagn, i Tisleia, ved Ryfoss i Vestre Slidre og i Østre Slidre ovenfor Fagernes.



Under: Råk dannet av dykket utløp fra Lomen kraftstasjon. Dersom kraftverket står kan råka fryse til med tynn is på kort tid, og være svært farlig.

Sprengning av bunnisdammer kan avverge større isganger, men krever systematisk overvåking og som regel gjentatt sprengning flere ganger i løpet av vinteren. Sprengning av isdammer krever lang erfaring og gode lokalkunnskaper om virkningene på isforholdene. Sprengningen kan ha negative virkninger på fisk, fiskehabitat og andre biologiske forhold. Generelt frarådes sprengning i dag.

Overføringen fra Øyangen til Lomen reduserte vintervannføringen i Østre Slidre betydelig, og det har etter overføringen ikke vært isproblemer her.

Av tekniske årsaker ble utløpet av Lomen kraftverk, som ble satt i drift i 1983, dykket. Man håpet at det dykkete utløpet kunne utformes slik at råkdannelse ut for kraftverksutløpet, som var uønsket, kunne unngås. Slik gikk det ikke, og hver vinter dannes ei råk ut for utløpet et stykke fra land. Råka holdes inngjerdet så lenge isen forøvrig er gangbar.

I Begna nedenfor Bagn bygges det opp bunnisdammer og isøyer som fører til isoppstuving og overvatning av lavtliggende områder. Foto: Ola Rustebakke

7.4 **Hallingdal**

I 1øpet av 1950-årene ble de store sjøene øverst i Hol og Hemsedal regulert til kraftverksmagasiner for henholdsvis Hol og Hemsil kraftverker. Dette førte til at vintervannføringen økte i hele Hallingdal. Da Ustevassdraget helt øverst i dalen ble utbygd i 1960-årene økte vintervannføringen ytterligere (kart 4).

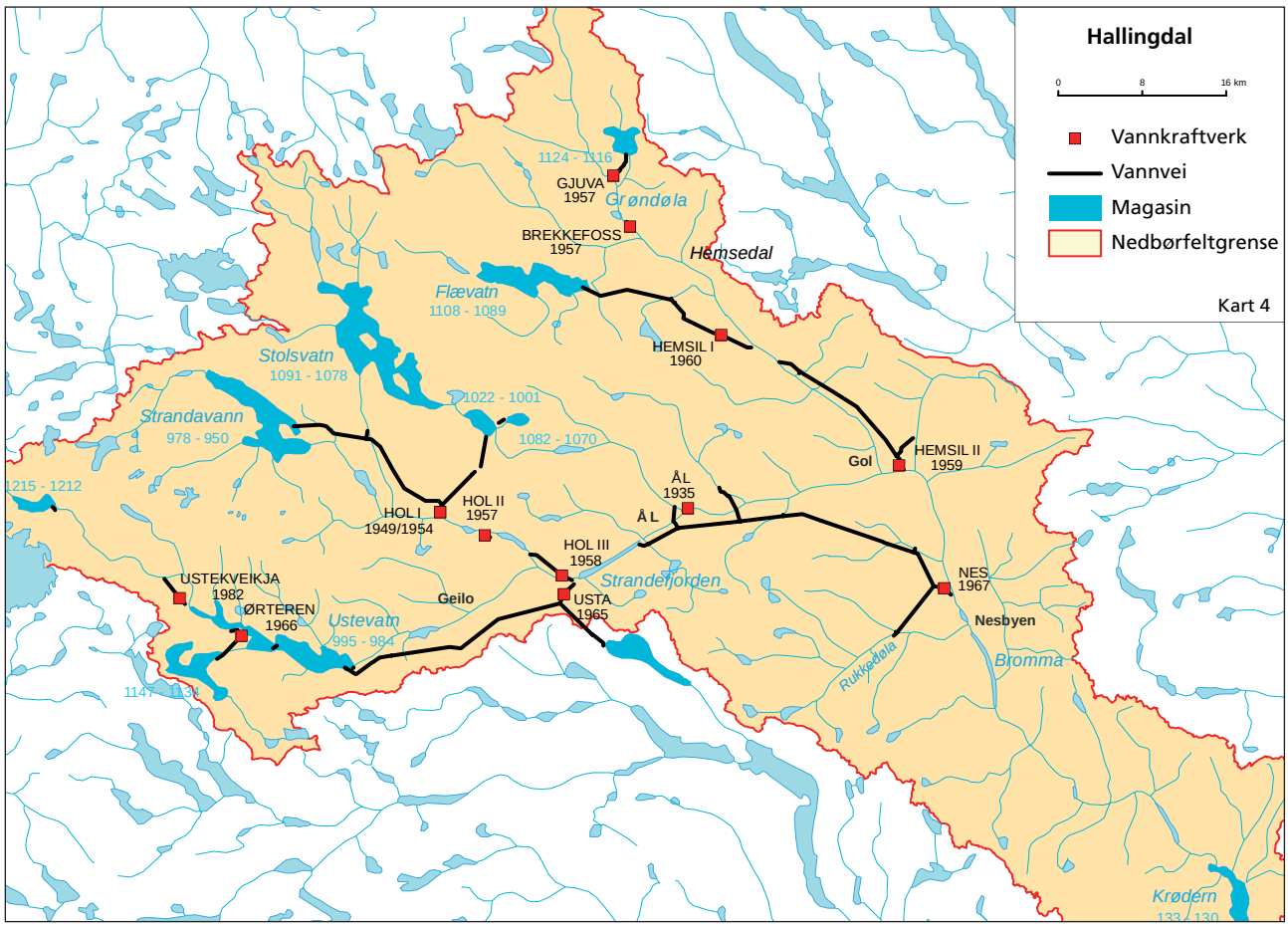
Både Hol og Usta kraftverker har utløp i den grunne Strandefjorden, som før utbygging hadde årviss sikker is. Utbyggingen medførte stor gjennomstrømning av varmt driftsvann, og særlig etter at Usta kraftverk ble satt i drift (1965) ble isen betydelig svekket. Isen på Strandefjorden har siden bare sjelden vært farbar.

Videre nedover i dalen er det skiftevis roligere partier, stryk og fossepartier med noe forskjellig fallforhold. I strykpartiene ble det, som i Begna, økt isproduksjon med oppbygging av bunnisdammer og vanskeligere forhold for stabilisering av isforholdene. Dette førte til isoppstuving, oversvømmelser av jorder, og hyppigere vinterisganger enn tidligere. Særlig var strekningen fra Gol til Nesbyen utsatt. For å hindre eller i hvert fall å redusere skader og ulemper ble det på samme måte som i Begna, både i Hallingdal og Hemsedal, i mange år foretatt regelmessig sprengning av bunnisdammer.

Ved byggingen av Nes kraftverk ble store deler av vintervannføringen i øvre Hallingdal fraført den mest isproduserende strekningen. Fra Gol er det fortsatt økt vintervannføring fra kraftverkene i Hemsedal. Det forekommer fortsatt isganger i strykpartiet ned mot utløpet av Nes kraftverk, uten at disse har ført til vesentlige skader.

Bromma er et 10 km langt innsjøliknende parti av elva 5 km nedenfor Nesbyen med 30-40 m dype kulper adskilt av terskler på 5-10 m dyp. Innløpstemperaturen om vinteren er nær 0 °C, og det varmere bunnvannet virvles opp og tærer på isen. Allerede etter de første reguleringene i vassdraget var det råker i sundene og områder med dårlig is. Driftsvannføringen ved Nes kraftverk er nå ca 100 m^3/s, det kjøres døgnregulering og vannet har noe overtemperatur. Dette har medført at elva fra Nesbyen til Bromma i hovedsak er åpen, bare med noe strandis, og Bromma blir bare delvis islagt de fleste vintre. I særlig kalde vintre kan imidlertid Bromma bli helt islagt, slik som i 2009-2010.

Døgnreguleringen i Nes kraftverk utjevnes i Bromma og vanntemperaturen er nær 0 °C ved utløpet av Bromma. Videre nedover elva bygges det i kaldt vær opp bunnis-



dammer og isøyer i strykene som kan føre til stor isoppstuving og stedvis økt vannhastighet. Dette kan føre til oversvømmelser og erosjon langs elva. For å redusere slike skader har det blitt foretatt sprengning av bunnisøyer og bunnisdammer, og det er bygd en rekke forbygninger. Det foretas fortsatt sprengning av bunnisdammer, men en søker nå også her, som i Begna, i størst mulig grad å unngå dette. Forholdene overvåkes jevnlig.

Overføringen av Rukkedøla til Nes kraftverk reduserte vintervannføringen nedenfor overføringen betydelig. I enkelte år fører dette til betydelig svellisdannelse, spesielt på den flatere strekningen gjennom bebyggelsen rett før samløpet med hovedelva.

Den økte gjennomstrømningen i Krøderen førte til forholdsvis store råker, både i innløpsoset og i Nore- og Skinnesund, for øvrig var isen ikke merkbart påvirket. En senere oppdemming av Krøderen førte til at isforholdene ble noe bedre på de mest utsatte stedene.

Åpen elv etter isgang i strykene ovenfor utløpet av Nes kraftverk.

Ispropp ved Nesbyen etter isgang i strykene ovenfor utløpet av Nes kraftverk.

Svellis i Rukkedøla på grunn av redusert vannføring etter overføring til Nes kraftverk

7.5 **Surna**

Trollheim kraftverk har utløp ved Røv i Surna 20 km fra utløpet i Surnadalsfjorden, og utnytter fallet fra magasinet i Follsjøen. I tillegg utnytter Gråsjø kraftverk fallet mellom Gråsjø og Follsjø (kart 5).

Før regulering var Surna islagt hver vinter. Kvaliteten av isen og dens brukbarhet for trafikk varierte fra år til år avhengig av temperatur og nedbør. En eller flere isganger hver vinter, utløst av vinterflommer, var helt vanlig. Grunneiere har opplyst at isen var brukbar for transport en kortere eller lengre periode hver vinter.

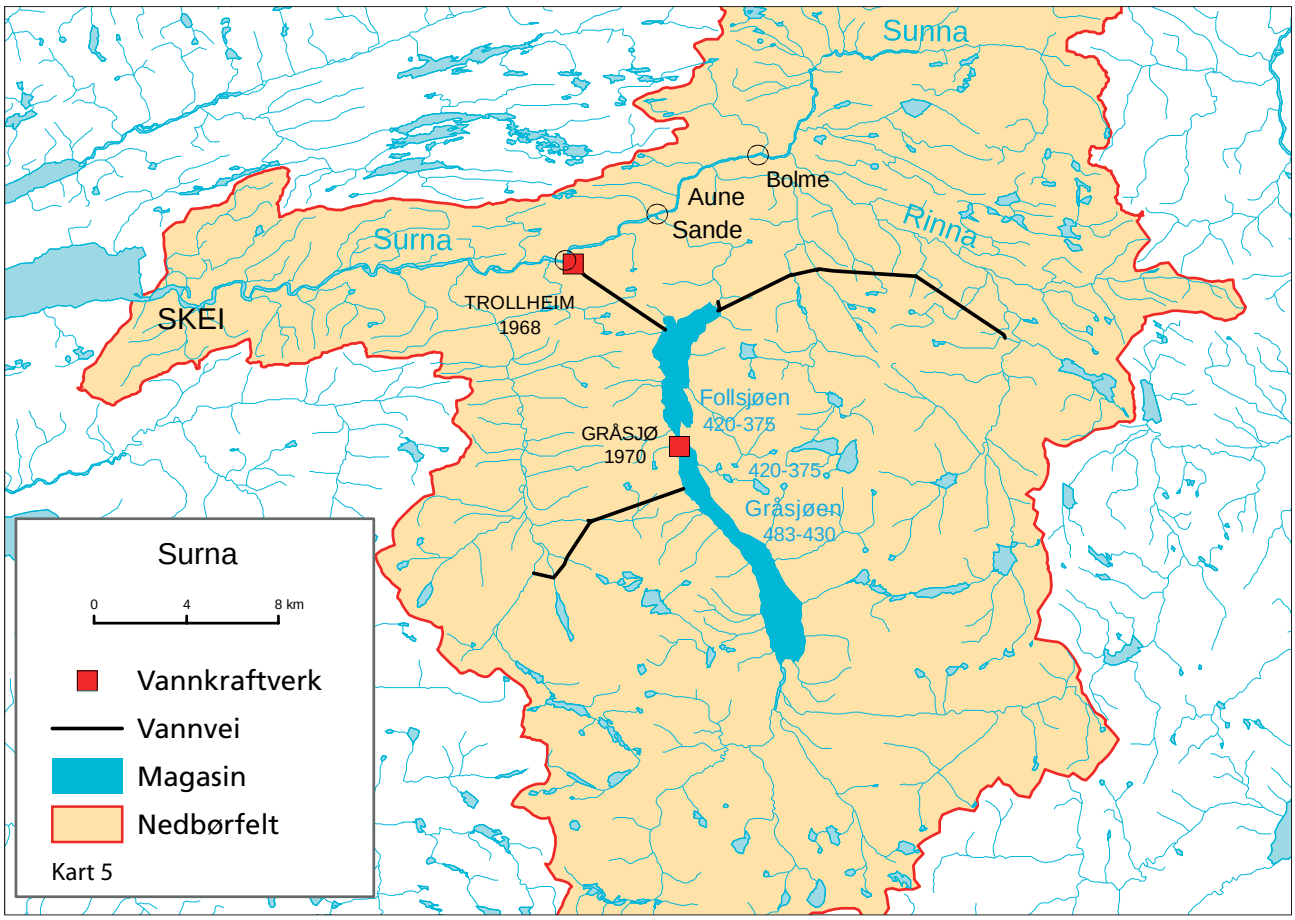
I Surna er nå store deler av tilsiget overført til Trollheim kraftverk. Inntaket til kraftstasjonen er tilstrekkelig dypt til at driftsvannets temperatur er høy nok til at vannet i elva ikke når frysepunktet på de 20 km fra utløpet av kraftstasjonen til utløpet av Surna i fjorden. Elva nedenfor kraftstasjonen går nesten uten unntak åpen hele vinteren. Bare ved stans i stasjonen kan det bli noe isdannelse i elva nedenfor kraftverksutløpet. Dette har ikke medført problemer. Ovenfor utløpet av kraftstasjonen blir elva islagt, og isganger om vinteren er nesten årvisst. De utløses som før utbygging ved mildvær og vinterflommer, som er årvisst i denne del av landet.

Isgangene kan starte i begge elvegreinene ovenfor Bolme, Sunna og Rinna. De kraftigste kommer fra Sunna og starter i sideelvene Lommunda og Tiåa langt opp i dalen. Ismassene har noen ganger stanset opp ved Bolme bru som har vært truet. Bebygd område ovenfor brua har vært oversvømmet. Andre ganger har isgangene gått videre nedover, enten etter et opphold ved Bolme bru eller direkte, og ført til skader og oversvømmelser av dyrka mark,

Isgang som er utløst i Sunna har passert Bolme bru i Surna. Ismasser ligger igjen både ovenfor og nedenfor brua. Brua ble ikke skadet - denne gangen.
Foto: Joar Skauge, NVE

Ispropp i Surna etter isgang. Ismassene ligger langt utenfor elveløpet og oppryddingen er i gang. Rester av oversvømmelsen sees rundt husene og på jordene i bakgrunnen.

Veien har vært oversvømmet



bebygde områder og veier. Enkelte ganger har det vært nødvendig å evakuere folk og dyr. Problemene og skadene har vært særlig store i området rundt Sande. Isgangene har gått helt ned mot utløpet av Trollheim kraftverk og lagt igjen store ispropper i elveleiet.

Utløsningen og hyppigheten av isgangene har ingen sammenheng med reguleringen. Det har imidlertid blitt vurdert at elveleiet, som følge av utbyggingen, spesielt som følge av redusert sommervannføring med opphopning av sedimenter og påfølgende gjengroing, er endret slik at forløpet av isgangene kan ha blitt påvirket til det verre. Mange år med kraftige isganger og store skader har medført at det har blitt gjort tiltak i elva for å hindre eller redusere skadeomfanget ved fremtidige isganger. På den mest utsatte strekningen, fra utløpet av Folla i Surna og ned mot utløpet av kraftverket, er elveleiet rensket opp, og djupålen fordypet for å gi bedre avløp for is og vann. I tillegg er det bygd flomvoller for å hindre vann i å strømme inn over bebygd område og dyrka mark. Dette arbeidet ble ferdig i 2005.

Ismasser har fulgt med oversvømmelsen innover mot bebyggelsen. Bjørkestammene er skadet av isen.

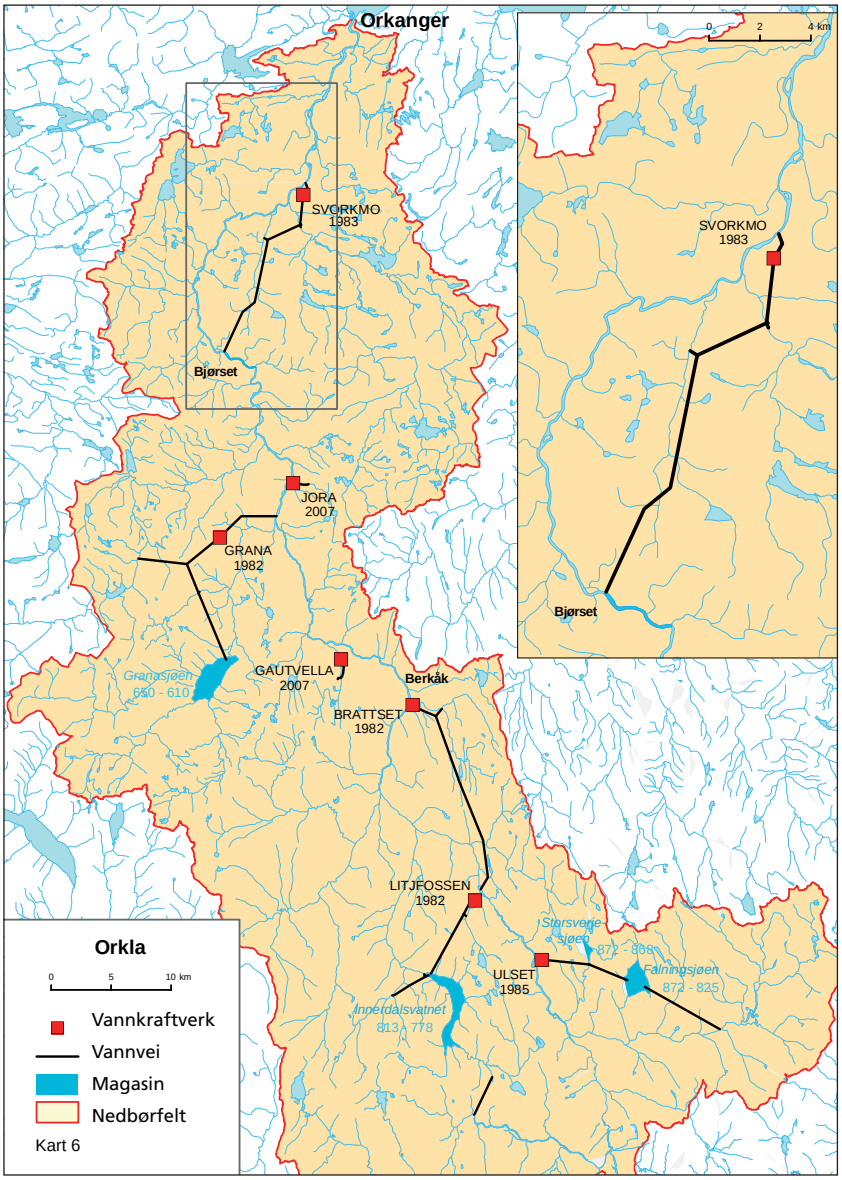
Etter dette har det ikke vært vesentlige skader som følge av isgang på strekningen som omfattes av tiltaket. Det har imidlertid vært betydelige skader på området ovenfor, særlig ved Aune. Liknende tiltak som ved Sande er i mindre omfang utført ved Aune og i Rindal ved samløpet mellom Rinna og Sunna. Tiltakene innebærer at vannføringen samles for å redusere isproduksjonen, og at det bygges flomverk for å hindre oversvømmelser. Det er pågang fra flere grunneiere i området om tilsvarende tiltak.

7.6 **Orkla**

De store kraftverkene i Orkla ble satt i drift i perioden 1982-1985 (kart 6). Reguleringen førte til ganske store endringer i isforholdene i vassdraget. Før utbygging var vannføringen liten om vinteren og større om sommeren, og jevnt økende nedover vassdraget. Etter utbygging går vannet nå skiftevis i tunnel og i elveleiet slik at vannføringen skifter tilsvarende, fra liten der elva går i tunnel, til stor fra utløpet av et kraftverk til inntaket til det neste. Det øverste kraftverket er Ulset, og driftsvannet går i elva til inntakstunnelen til Bratset kraftstasjon hvor også driftsvannet fra Litjfossen kraftstasjon tas inn. Fra utløpet av Bratset til inntaket til Svorkmo ved Bjørset går driftsvannet i det naturlige elveleiet, og vannføringen øker plutselig ved utløpet av Grana kraftverk når dette er i drift. I hovedelva Orkla er det fra Bratset til fjorden pålagt en vintervannføring på 10 m^3/s i det naturlige elveleiet, bortsett fra strekningen mellom Bjørset og utløpet av Svorkmo der kravet er 4 m^3/s.

Før regulering var vanntemperaturen i elva om vinteren ganske nær 0 °C i hele vassdraget. Etter regulering er vanntemperaturen om vinteren noe høyere, mellom 0.5 og 2 °C, ved utløpet av kraftverkene, og så gradvis synkende nedover elva mot neste kraftverksutløp.

Før utbygging var elva stort sett islagt hele vinteren. Etter en isleggingsperiode med varierende og til dels ustabile isforhold, spesielt på strekninger med sterkt fall, stabiliserte isforholdene seg ganske fort. Det var deretter bare små råker i strykene. Ved innslag av langvarig eller sterkt mildvær gikk det ofte isganger, og særlig var strekningen mellom Bjørset og Svorkmo utsatt. Stabiliteten i isforholdene økte oppover dalen avhengig av hvor langt mildværet slo inn.



Reguleringen har medført økt vintervannføring og økt vanntemperatur, og dette gjør at elva går åpen flere km nedenfor utløpene fra kraftverkene. Etter regulering har isforholdene blitt mindre stabile på de strekningene der vintervannføringen har økt. Overtemperaturen på driftsvannet reduseres raskt i kuldeperioder, og isproduksjonen begynner. I mildværsperioder avkjøles vannet mindre og fører til at etablerte isdammer ryker og utløser isganger. På denne måten kan det veksle mellom helt åpen og helt eller delvis islagt elv store deler av vinteren. Dette fører til stor isproduksjon i form av sarr og bunnis, som igjen kan føre til innsnevring av elveleiet, betydelig økt isoppstuving, og høyere vannstand både i elva og grunnen.

På de strekninger som har fått redusert vintervannføring stabiliseres isforholdene raskere enn før regulering.

Store isganger er sjeldne ovenfor Bjørset, men det kan løsne is i elveleiet som gir sammenskyvning av ismasser, iblant isganger av varierende størrelse og stedvis åpen elv. Ved kulde produseres sarr på ikke islagte strekninger. Disse is- og sarrmengdene flyter nedover og akkumuleres i inntaksmagasinet ved Bjørset. Dette magasinet er ganske lite, og har meget begrenset magasineringskapasitet. Is kan

Ispropp i Orkla etter isgang forårsaket av overløp ved Bjørset.
Foto: Grethe Holm Midttømme

på kort tid mer eller mindre tette vanntilgangen til kraftverket, som da må stoppes. Ved fullt magasin, som er det vanlige, må noe vann gå over dammen selv om det umiddelbart settes i gang tiltak for å fjerne isen og åpne inntaket. Dette kan føre til isgang som kan danne en snø- og ispropp et eller annet sted i det naturlige elveleiet nedenfor Bjørset. Når så denne is- og snødammen ryker kan det gi en flombølge videre nedover.

Slike utilsiktede stans kan være alvorlige, og forårsake store isproblemer og skader dersom det ikke finnes omløpsmuligheter i kraftstasjonen eller lagringsplass for vannet (kap. 5.5). I slike tilfeller må mulige virkninger på isforholdene, og mulige tiltak, vurderes løpende. Det kan da bli nødvendig å stanse eller redusere vanntilførselen fra magasiner lenger opp i vassdraget. I Orkla vil det ta noe tid før dette kan få virkning på grunn av avstanden til magasinene. Vinteren 2007 måtte Svorkmo stoppe plutselig på grunn av havari på ledningsnettet ut fra stasjonen. Driftsvannet måtte ledes over dammen og videre i det is- og snøfylte elveleiet. Dette utløste en kraftig isgang. Til alt hell stanset ismassene uten å gjøre skade hverken da eller senere på vinteren. Feilen ble rettet i løpet av 3 timer og stasjonen umiddelbart satt i drift igjen.

Isgang i Orkla etter overløp ved Bjørset dam (bildet er tatt ca 12 km nedenfor dammen).
Foto: Morten Skoglund

Noen ganger er vann sluppet over Bjørsetdammen uten at Svorkmo kraftstasjon er stoppet. Dette skjedde sist i januar 2010. Slike overløp må en regne med kan få konsekvenser for isforholdene og utløse isgang i det gamle elveleiet mellom Bjørset og Svorkmo. De direkte skadene ved disse isgangene har så vidt en kjenner til vært moderate. En større fare er usikkerheten om hva som skjer dersom vannføringen om våren øker så tidlig at det blir stor vannføring på denne strekningen mens isproppen fortsatt ligger intakt.

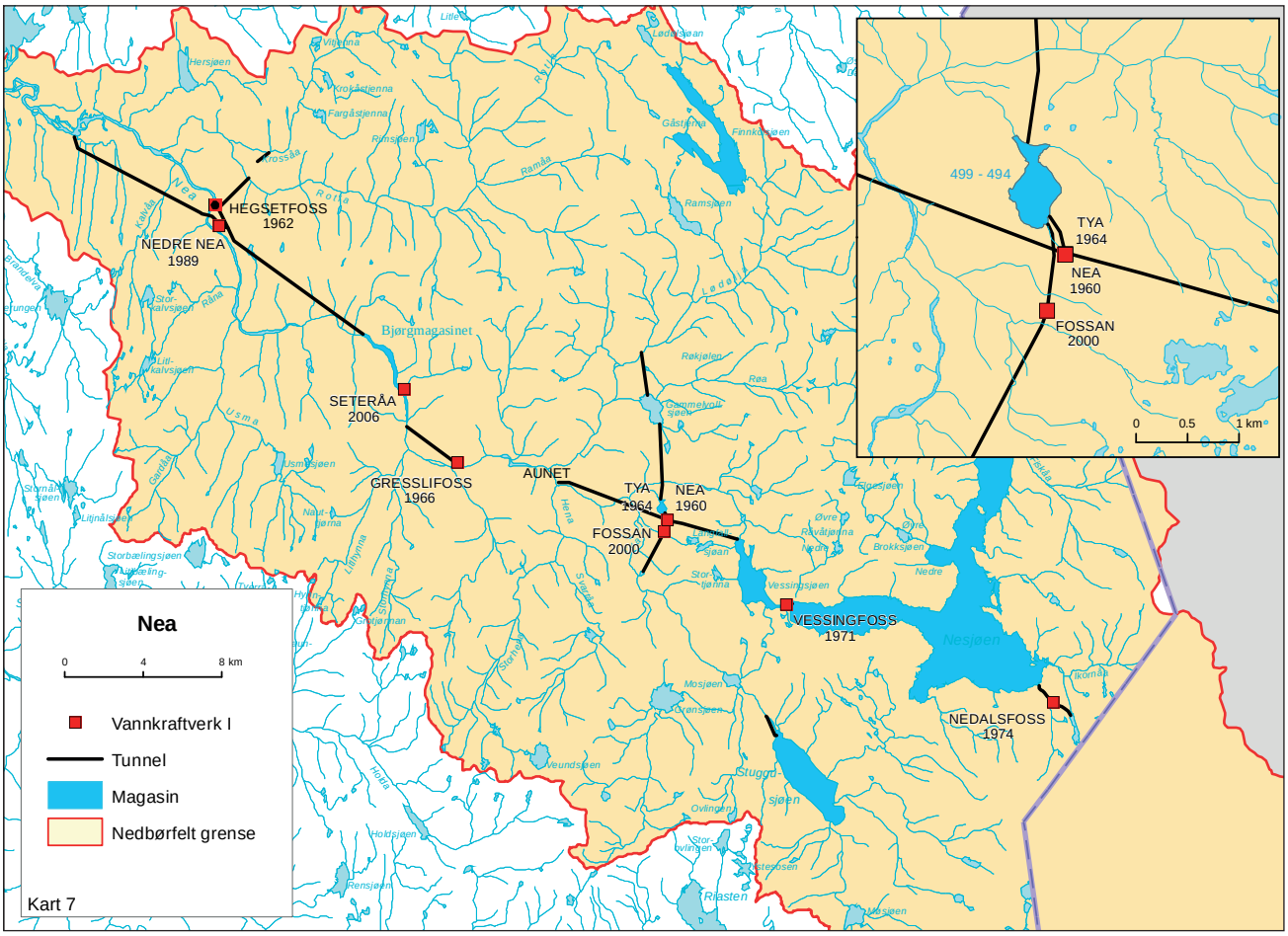
7.7 **Nea**

I perioden 1940-1951 ble fjellsjøene i Tydal øverst i Neavassdraget regulert for å tjene som magasin for kraftverkene i Nidelva nedenfor Selbusjøen (kart 7). Økningen i vintervannføringen førte til store isproblemer og skader i og langs Nea helt ned til Selbusjøen.

Det første kraftverket som ble bygget i Nea var Nea kraftverk, som ble satt i drift i 1960 og utnyttet fallet fra Vessingsjøen til Aunet. Herfra og ned til Selbusjøen gikk alt vannet fortsatt i sitt naturlige leie. Fra utløpet ved Aunet til Gresslifoss gikk elva stort sett åpen på grunn av overtemperatur på driftsvannet. Videre nedover var det intens sarrproduksjon i kuldeperiodene. Fallet videre er stedvis forholdsvis stort. Dette sammen med økt vintervannføring førte til sterk økning i isprodukjsonen, med oppbygging av isdammer og isganger som førte store mengder is og vann inn over dyrka mark, vann i mange kjellere, og sperring av riksveien. Frykten for at isganger kunne true selve bebyggelsen var enkelte steder berettiget. Dette førte til at det i slutten av 50-årene ble besluttet å bygge Hegsetfoss og Gresslifoss kraftverker. Da disse kraftverkene ble satt i drift, henholdsvis i 1962 og 1966, ble det meste av vintervannet tatt bort fra de mest isproduserende områdene, og etter dette ble det praktisk talt slutt på isproblemene.

Ispropp etter Isgang i Nea mars 1953. Isen stoppet mot en annen ispropp 1 km lenger ned. Huset lå i bakkeskråningen opp fra elva og var 2-3 m høyt.
Foto: Ola L. Rolseth

Det var fortsatt tidvis problemer videre nedover mot Selbusjøen. Dersom Hegsetfoss kraftverk måtte stoppe og vannet slippes over dam, var det fortsatt fare for isganger og oversvømmelser i det tilnærmet tørre elveleiet mellom inntaket i Bjørgamagasinet og utløpet av Hegsetfoss kraftverk. For å bøte på dette ble det bestemt å bygge en omløpstunnel. Den ble ikke bygget, men i stedet ble Nedre Nea kraftstasjon bygget og satt i drift i 1989. Nedre Nea kraftstasjon har utløp ca 10 km ovenfor utløpet i Selbusjøen, og de resterende isproblemer på strekningen opp mot utløpet av Hegsetfoss ble derfor også tatt hånd om.



7.8 **Stjørdalselva**

Allerede på begynnelsen av 1900-tallet ble fallene fra Fjergen til Nustadfoss utbygd i 4 elvekraftverk med magasin i Fjergen, Skurdalssjøen og Hallsjøen. Demningen i Fjergen, det største magasinet, ble ferdig i 1917. Det nederste kraftverket, Nustadfoss, hadde en maksimal driftsvannføring på 17 m³/s. Funna kraftverk har utløp i Stjørdalselva 2 km nedenfor Nustadfoss, det har magasin i Funnsjøen og ble satt i drift i 1937 (kart 8).

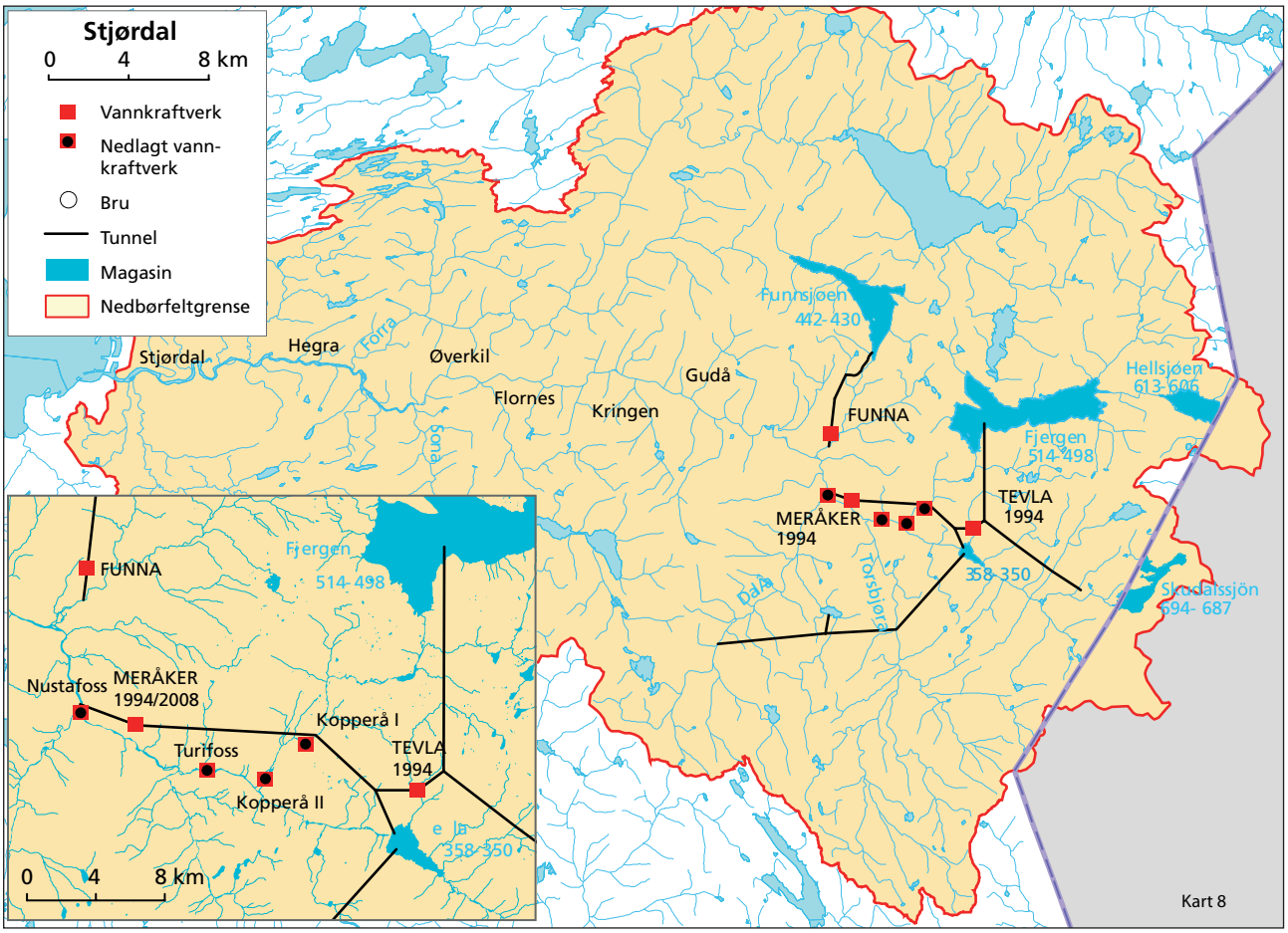
Vannkraftressursene med utvidete magasiner utnyttes nå i Meråker kraftverk og Tevla kraftverk som er et pumpekraftverk. Magasinet i Fjergen er utvidet med ny dam, og Tevlamagasinet er etablert. I tillegg er Dalåa og Torsbjørka overført til Tevla. De nye kraftverkene ble satt i drift i 1994 og erstatter de gamle elvekraftverkene. Meråker kraftstasjon har utløp på samme sted som Nustadfoss kraftverk hadde, og har maksimal driftsvannføring på 36 m³/s. Ved en modernisering av Funna kraftstasjonen i 2008 ble slukeevnen her økt fra 3.4 til 7 m³/s Den nye utbyggingen i vassdraget har påvirket isforholdene i Stjørdalselva ytterligere, både som følge av større vintervann-føring og høyere vanntemperatur på driftsvannet om vinteren.

Det ble først gitt tillatelse til en vintervannføring på 30 m³/s nedenfor samløp med Funna. Senere ble det søkt om å øke vintervannføringen til 40 m³/s. Etter en prøveperiode ble det gitt konsesjon til en vintervannføring på 40 m³/s nedenfor samløpet med Funna forutsatt at isforholdene ble vurdert.

Fra utløpet av kraftstasjonen ved Meråker er det 5-6 km med roligflytende elv til Gudå, og så et strykparti til Kringen. Videre nedover til utløpet i fjorden er det relativt langsomflytende elv med enkelte mindre strykpartier inn i mellom.

I Trøndelag kan været om vinteren variere mye på kort tid. Både i regulerte og uregulerte vassdrag kan det gå isganger når som helst i løpet av vinteren. Nesten uten unntak utløses isgangene av kraftig økende vannføring i forbindelse med mildvær, snøsmelting og oftest stor nedbør. Omslag til kaldere vær etter isgangen fører til ny isdannelse på de åpne strekningene, og prosessen kan gjenta seg. Ved vedvarende kulde kan isproppene tettes ytterligere av sarr, og en eventuell vårisgang kan bli stor og vil kunne føre til omfattende skader.

En har lite opplysninger om isforholdene før 1900 da elva var uregulert. Elva var imidlertid kjørbar de fleste vintre, men med enkelte råker. En regner med at også strykstrekningen fra Gudå og nedover



da ble årvisst islagt, men at det iblant kunne gå isganger. Den økte vintervannføringen den første reguleringen (1917) førte med seg må ha vanskeliggjort isleggingen på denne strykstrekningen, med økt bunnisdannelse, mer ustabile isforhold og oftere isganger, under ellers like værforhold. Vanntemperaturen om vinteren var ganske nær 0 °C.

I gode isvintre ble det fortsatt kjørbar is på store deler av elva og lite råker nedenfor Sona, men det var alltid enkelte råker oppover mot Flora. Etter hvert som veier og bruer ble utbygd ble imidlertid behovet for isveier redusert. I strykene ble det produsert mer sarr i kuldeperioder, med dynamisk isdannelse og oppbygging av isdammer. Det meste av strykstrekningen ble islagt i gode isvintre, mens isleggingen i dårligere isvintre kunne bli betydelig forsinket med råker på lange strekninger.

Som nevnt er vinterværet skiftende og området utsatt for isganger, og de aller fleste isganger skyldes mildvær og økt vannføring. Bare et fåtall kaldfloisganger er rapportert.

Isgangene løsnet forskjellige steder i strykpartiet nedenfor Gudå, og dannet ispropper på de flatere og til dels grunnere områdene nedenfor. Særlig var området ved Flornes utsatt for store oversvømmelser. Også i de uregulerte sideelvene, spesielt Forra og Sona, gikk det relativt ofte isganger. Ismassene kunne flyte helt ut i hovedelva og dannet ispropper som førte til oversvømmelser både i hovedelva og sideelva. Isen forflyttet seg gradvis nedover mot fjorden, noen ganger ganske raskt. Andre ganger kunne isen bli liggende i dagevis, gjerne i elvesvinger og på grunnere partier. Dette førte til oversvømmelser og transport av store ismasser inn over åker og skog, stengte veier, og erosjon. Skiftende og til dels store grusuttak har over tid endret dybdeforholdene, og påvirket hvordan isen kunne bevege seg nedover elva.

Oppstuving i Stjørdalselva som følge av ispropp i Forra.

Ispropp i Forra, som er uregulert. Isproppen når helt ut i samløpet med Stjørdalselva.

Vintervannføringen ble ytterligere økt ved idriftsettelsen av Meråker kraftverk. Nye tunneloverføringer ble etablert og magasinet i Fjergen utvidet. Reguleringshøyden ble økt og inntaket lagt på større dyp. Det har om vinteren blitt høyere temperatur på driftsvannet, som nå kan være opp mot 2 °C i enkelte vintre. Vanntemperaturen er ganske stabil gjennom vinteren, men kan variere ganske mye fra år til år. Dette skyldes forskjellige værforhold under isleggingen av magasinet. Bruk av Tevla som pumpe har også betydning.

Den høyere vanntemperaturen gjør at det har blitt langt mindre isproduksjon i strykene fra Gudå og nedover, som går åpne det meste av vinteren, bortsett fra noe strandis. Det er også generelt senere islegging og mindre is videre nedover elva. Sideelvene nedenfor Funna er ikke påvirket av reguleringen, og her er forutsetningene for isganger uendret. Her har det da også vært isganger de fleste vintre. Isgangene her kan tette løpet i sideelvene og føre til lokale oversvømmelser. Ismasser kan gå ut i hovedelva, men løser seg lettere opp enn før fordi det nå er mer vann og tynnere is på Stjørdalselva.

I nedre del av elva, særlig nedenfor Forra, har det tidvis vært noe sammenskyvning av ismasser, men nå i langt mindre omfang enn før utbyggingen av Meråker kraftstasjon. Ved store vårflommer kan ismasser flyte med flomvannet langt inn over land, uten at dette har medført skader en er kjent med.

7.9 **Namsen**

Også i Namsen (kart 9) er vinterværet skiftende med raske endringer fra kulde til mildvær, værforhold som gir ustabile isforhold og kan utløse store isganger. Store isganger med oversvømmelser, og i blant flom- og isskader, er vel kjent i vassdraget fra før regulering, både i hovedelva og i en rekke sideelver.

Tappingen fra Tunnsjøen begynte i 1946 og fra Namsvatn i 1953. Nedre Fiskumfoss kraftstasjon, som fortsatt er den nederste kraftstasjonen i vassdraget ble satt i drift i 1946.

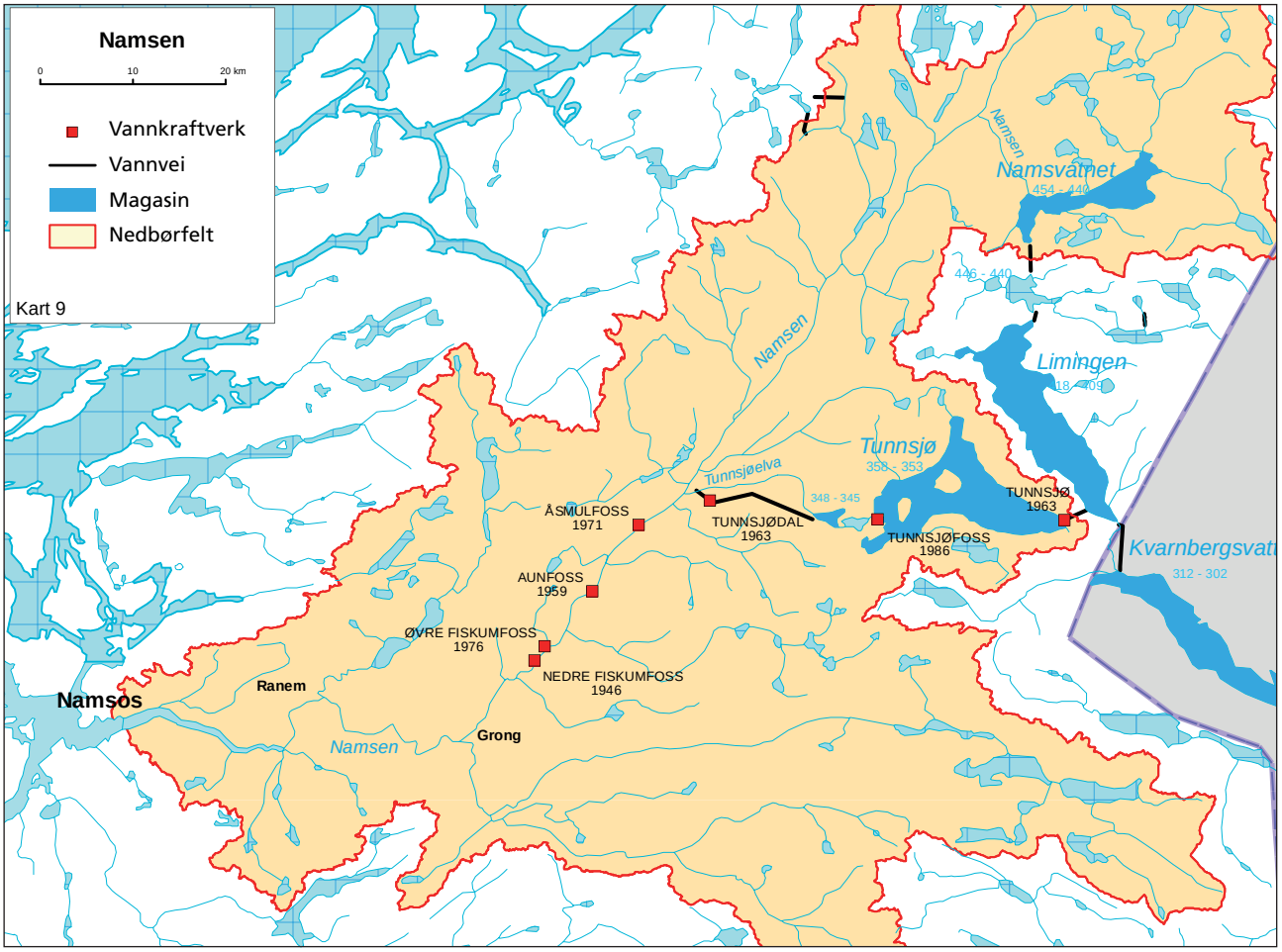
Magasintappingen har påvirket vintervannføringen på følgende måte:

- 1946-1953: Tapping bare fra Tunnsjøen med økt vintervannføring i Tunnsjøelva og Namsen nedenfor samløp med Tunnsjøelva
- 1953-1959: I tillegg tapping fra Namsvatn i naturlig elveleie, og økt vintervannføring i Namsen helt til utløpet i fjorden.
- Fra 1959: Namsvatn overført til Limingen, og all tapping fra Namsvatnet gikk via Limingen og Tunnsjøen. Vannføringen redusert i Namsen ovenfor samløp med Tunnsjøelva og økt i Tunnsjøelva
- Fra 1963: Tunnsjødal kraftstasjon ble satt i drift, og bare restvannføring gikk i Tunnsjøelva

Som følge av de klimatiske forholdene i området har det alltid vært betydelige isproblemer i vassdraget, og isproblemene har økt som følge av økt vintervannføring. I tillegg har det vært betydelige problemer på grunn av ising på varegrindene ved inntaket til Nedre Fiskumfoss kraftverk, som var det første kraftverket som ble bygget. Inntaksmagasinet ble, selv om det er ganske stort, hver vinter fylt med sarr produsert i den mye åpne elva oppstrøms. Den første tiden etter at Namsvatn ble regulert og magasinvannet tappet ut i det naturlige elveleiet, var det store isproblemer i hele vassdraget.

Aunfoss kraftstasjon ble satt i gang sommeren 1959. Inntaksdammen fjernet risikoen for isgang på det området som ble oppdemmet, og hindret at ismasser kunne passere videre nedover. Etter overføringen av Namsvatn til Tunnsjø via Limingen, også i 1959, har vannføringen vært mindre enn naturlig i Øvre Namsen ovenfor samløpet med Tunnsjøelva. Isforholdene ble da noe mer stabile enn før reguleringen. Det kan imidlertid fortsatt være store isproblemer her.

Etter bygging, først av Tunnsjødal, og senere Åsmulfoss og Øvre Fiskumfoss kraftverker er isforholdene på denne strekningen



Ismasser etter isgang i Namsen. Vann og is flyter langt utenfor elveleiet og er i ferd med å true bebyggelse og veier. Elvekanten ligger ved trærne til venstre i bakre del av bildet.

Etter isgang rett nord for Grong. Elva er dyp og smal og har vært pent islagt før isgangen. Ismasser fra isgangen ligger igjen på den intakte isen langs land.

endret. Det er nå sjeldenere isproblemer her.

Nedenfor Nedre Fiskumfoss kraftverk har vintervannføringen også økt, og det kan fortsatt være store isproblemer. I forbindelse med isganger forårsaket av mildvær og regn kan det bli store oversvømmelser. Den økte vintervannføringen forsinker isleggingen og fører til store ismengder i elva.

Ved isgang beveger ismassene seg stykkevis nedover og danner ispropper, lokalt kalt isstamn, og forårsaker store oppdemminger. Vannstanden kan heves betydelig slik at store ismengder flyter langt inn over land og legger igjen is langt utenfor elveleiet. Iblant blir også veier oversvømmet og må stenges i perioder. Ved flere større isganger har det vært foretatt analyser for å utrede om og i hvilken grad skadene ved isgangen har hatt sammenheng med reguleringen. Årsakene er som alltid svært sammensatt. Meget vekslende værforhold, med stor nedbør og stor vannføringsøkning, er fortsatt det som utløser de fleste isgangene i Namsen. Den økte vintervannføringen bidrar imidlertid til at oversvømmelsene kan bli større.

7.10 **Barduelva**

På grunnlag av gamle opplysninger (1907-1950) har Kanavin vurdert isforholdene i vassdraget. Det var sammenskyvninger av ismasser mellom Altevatn og Innsetvatn i isleggingstiden. Elva var den gang alltid åpen i strykene ned mot Straumsmo. På den rolige strekningen videre mot Fosshaug var det vanligvis islagt ca 1.12, og ved årsskiftet helt ned til Bardufossen. Det var den gang relativt mye trafikk på isen, både på tvers og stedvis også på langs. Det var isløsning i april - mai, enkelte år med vårisgang. I nedre del av Barduelva var det også ofte vinterisganger før Bardufossen ble utbygd.

Første byggetrinn av Bardufoss kraftstasjon ble tatt i bruk i 1953. Kraftstasjonen hadde inntak i Bardufossmagasinet som er oppdemt i det gamle elveleiet. Den første regulering av Altevann var da tatt i bruk. I Bardufossmagasinet var det variasjoner i vannstanden som reflekterte driften ved kraftstasjonen. Døgn- og ukeregulering svekket isforholdene på magasinet, og reduserte trafikkmulighetene vesentlig (kart 10).

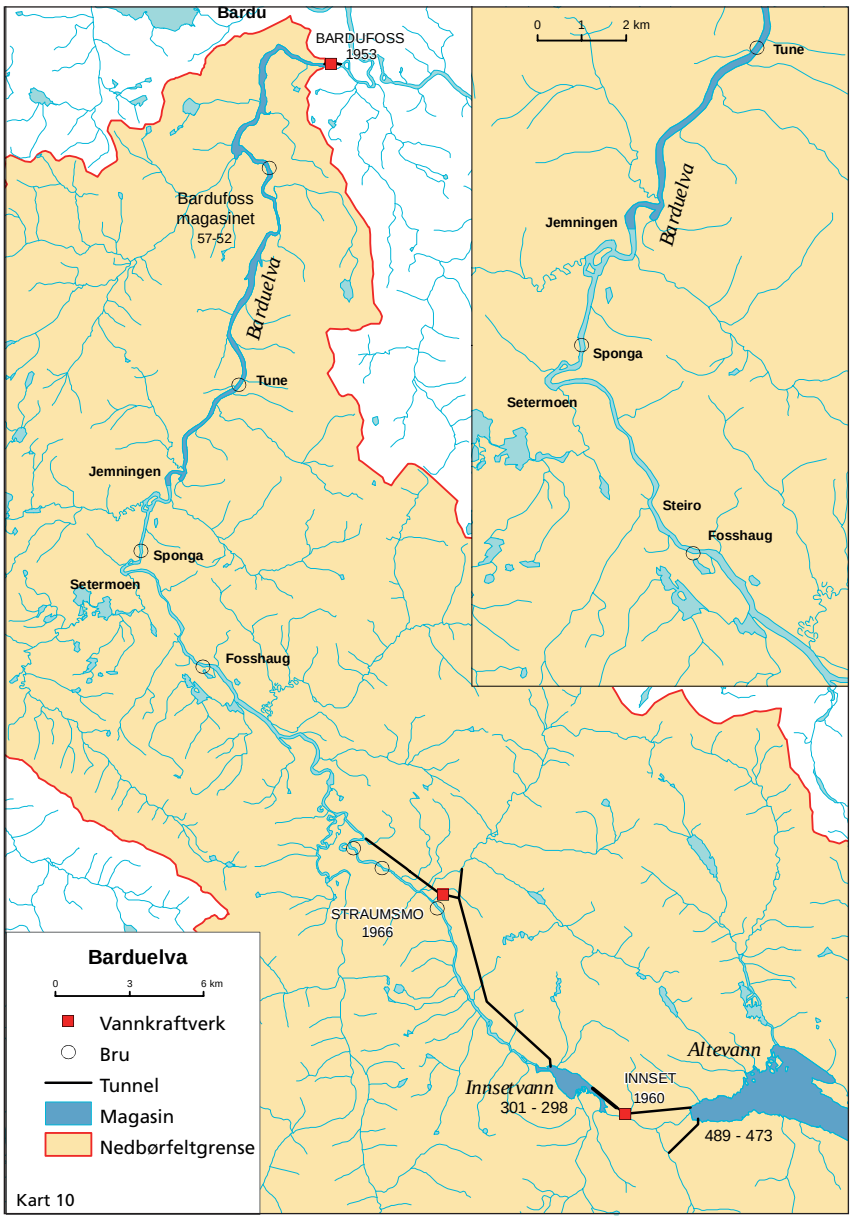
Vintertappingen fra Altevann til Bardufossmagasinet førte til store isganger, særlig på strykstrekningene. I 1959 ble Straumsmo bru tatt av en kraftig isgang, "som var større enn noen i dalen hadde sett tidligere", ble det sagt. Årsaken ble, nok med rette, tillagt vintertappingen fra Altevann. Også i strykpartiene nedenfor Fosshaug startet på denne tiden isganger som kunne gå helt ned mot Sponga bru.

Etter at Innset og Straumsmo kraftverk ble satt i drift, henholdsvis 1960 og 1966, var elva tilnærmet tørr om vinteren fra Altevann og ned til utløpet av Straumsmo. Det ble derfor ikke lenger isganger her. Magasinet i Altevann økte betydelig da den nye Altevannsdammen ble tatt i bruk i 1960, og vintervannføringen økte vesentlig nedenfor utløpet av Straumsmo kraftverk.

Ved inntaket til Straumsmo kraftverk i Innsetvann er det nesten alltid råk. Det varierer hvor stor råka er og hvor stor del av Innsetvann som ikke er islagt. Ved åpent vann, sterk kulde og vind underkjøles den urolige vannoverflaten, og det dannes sarr som i en elv. Inntaket er da utsatt for tilstopping av sarr, særlig når vinden blåser mot inntaket, som er fremherskende vindretning i kaldt vær.

Fra utløpet av Straumsmo til Fosshaug er elva stilleflytende. Driftsvannet har stort sett en vanntemperatur på 0.5 °C eller høyere om vinteren, og elva går åpen et stykke nedover. I kuldeperioder synker vanntemperaturen til frysepunktet, overflaten underkjøles, og det blir isdannelse. Hvor langt elva går åpen avhenger av driftsvannføringen, driftsvannets temperatur, og værforholdene. Mye åpen elv, og derved stor sarrproduksjon i kuldeperioder, kan gi store isproblemer videre nedover i vassdraget.

I strykpartiet nedenfor Fosshaug er det oppbygging av bunnisdammer og gjentatte vinterisganger under isleggingen utover høsten, og store ismasser akkumuleres



Kart 10

Sarr dannes i overflaten på Innsetvatn i sterk vind. Sarret kan ved ekstreme værforhold tette inntaket til Straumsmo kraftstasjon, som må stenges når dette skjer.

ned mot Setermoen. Elva stabiliseres vanligvis uten at det blir store problemer, og det er årvisst med relativt store sammenskjøvne ismasser langs breddene ned mot Setermoen. Buner, terskelliknende konstruksjoner fra land og skrått ut i elva, ble bygd i 1997. De har vist seg å fremskynde strandisdannelsen og konsentrere vannstrømmen og flytte djupålen fra høyre side til midten av elva, som synes å ha gunstig virkning på isforholdene.

Det er ganske vanlig med råk nedover mot Sponga bru. Videre, mot og på Bardufossmagasinet, er det oftest islagt. Ved varierende vannstand blir isen på Bardufossmagsinet svekket, og oppsprukket langs land.

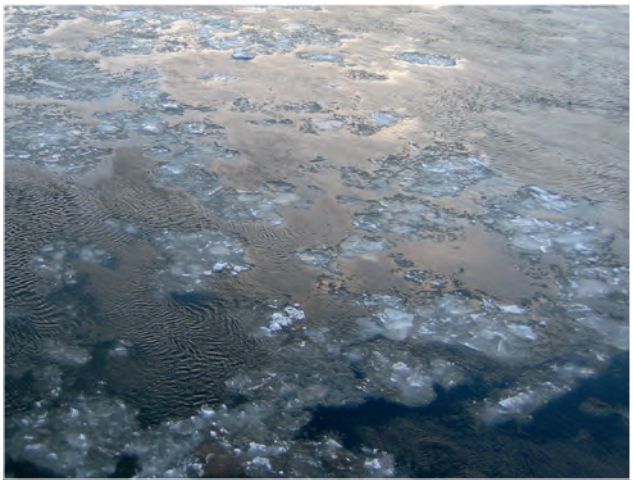
Nedenfor Fosshaug bru, og særlig i området ved Steiro, har det i enkelte år på meget kort tid bygd seg opp usedvanlig store bunnisdammer. Dette har ført til oversvømmelse av kommunale veier og vann inn over dyrka mark langs elva. Ved Fosshaug bru har vannstanden steget mer enn 2 m og ved Steiro har bunnisdammene vært mer enn 4 m høye. Også rett nedenfor Fosshaug bru har det vært høye bunnisdammer enkelte år. Plutselige sammenbrudd av slike dammer er meget truende for forholdene videre nedover.

Sarret som fester seg mot skråttliggende iskant reflekterer variasjoner i vannføring og sarrtilgang. Her fra Spånga bru.

Oppbyggingen av bunnisdammer skyldes stor tilgang på underkjølt sarr ovenfra. Ovenfor Fosshaug er elva ofte islagt, men iblant også åpen. Dette har sammenheng med værforholdene og driften av Straumsmo. Stor driftsvannføring og variasjoner i vannføringen, som ved døgnregulering, gir mye åpen elv og er ugunstig for isforholdene. Så snart det er mistanke om at en større bunnisdam er under oppbygging, eller kan bryte sammen, bør en derfor vurdere å redusere vannføringen. Dette blir

Uvanlig stor isdam nedenfor Fosshaug ved Steiro, januar 1998. Foto: Jens Dahlen

I isleggingstiden går det stadig mindre isganger i strykene nedenfor Fosshaug bru inntil isforholdene stabiliseres. Ismassene akkumuleres der fallet avtar. Bildet viser stabilisert elv.



Stor sarrproduksjon ved Fosshaug bru. Foto: Jens Dahlen

også gjort. Til alt hell har disse store bunnisdammene gradvis åpnet seg og sluppet det oppdemte vannet forbi uten å forårsake vesentlig skader.

Det andre problemområdet i dalen er i overgangen mellom elva og Bardufossmagasinet. Iblant blir det svært høy vannstand med overvatning og overising på jorder på de flatere partiene her. Området omkring Jemningen har vært særlig utsatt. Dette skyldes sarr som kommer ovenfra og strømmer under det etablerte isdekket. I det aktuelle området er det meget grunt og ustabile masser i elvebunnen. En må regne med at det også kan ha vært oppgrunning av området over tid. Målinger har vist at store sarrmengder er akkumulert under isen på lange strekninger helt ned mot Tune. Her er det innsnevring som nok reduserer videre sarrtransport. Disse forholdene fører til isoppstuving ved at det effektive tverrsnittet for transport av vann ovenfra er for lite. Stabil og høyest mulig vannstand i magasinet er gunstig for å kunne minske problemene, men ikke tilstrekkelig til å hindre dem. Ved normal drift ved Bardufoss kraftstasjon holdes da også vannstanden i magasinet stabil og høyest mulig.

Generelt er størrelse og variasjoner i vannføringen fra Straumsmo kraftverk viktig for isforholdene i dalen. Særlig ved kritiske værforhold, som gir grunnlag for stor sarrproduksjon, er det viktig å ta hensyn til dette ved manøvreringen av Straumsmo kraftstasjon dersom isproblemer skal reduseres eller unngås.

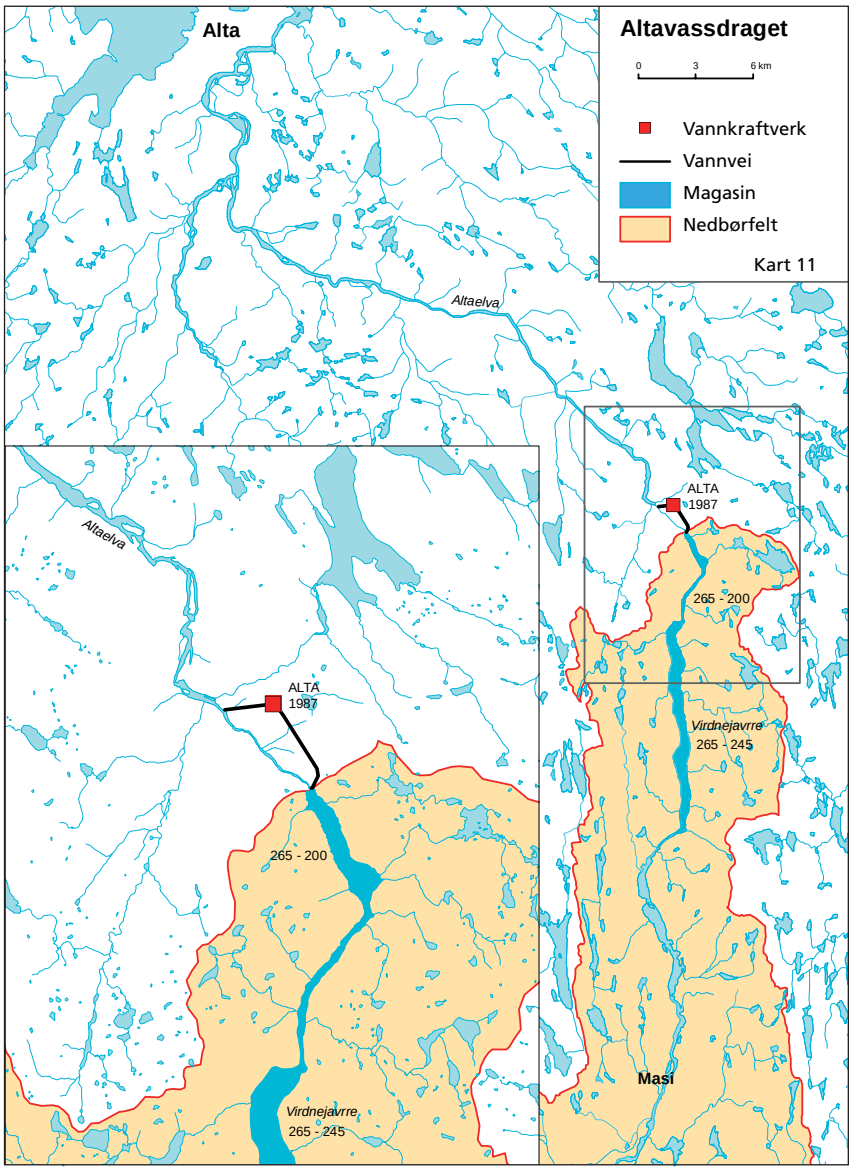
7.11 **Alta**

I forbindelse med planlegging av regulering og kraftutbygging har det helt siden 1960-årene i varierende omfang blitt utført observasjoner av vanntemperatur- og isforhold i Altavassdraget. Alta er blant de beste lakseelvene i landet, og uheldige virkninger både for laksen og på isforholdene ved en eventuell utbygging var fryktet. Både vinter- og vårisganger med påfølgende oversvømmelser og skader var mye omtalt. Isen ble den gang i stor grad nyttet som ferdselsvei.

Etter en lang og kontroversiell planleggings- og besutningsprosess ble Alta kraftverk satt i drift i 1987 (kart 11). Magasinet er delt i en øvre del, hovedmagasinet, og en nedre del, delmagasinet, av den naturlige terskelen i den tidligere innsjøen Virdnejavvre. HRV er 265 moh og LRV er 245 moh i hovedmagasinet og 200 moh i delmagasinet

Kraftverket utnytter fallet nedenfor magasinet og har utløp i Altaelva 80 moh 45 km fra utløpet i fjorden. Utløpet ligger øverst på den lakseførende strekningen. Det er utført omfattende undersøkelser av vanntemperatur- og isforhold som grunnlag for vurderinger av mulige virkninger av en regulering, både for isforholdene og forholdene for laksen. Det var knyttet stor usikkerhet til konsekvensene av økt vintervannføring på den lange strekningen fra utløpet av kraftverket til fjorden.

Resultatene ble i stor grad tatt hensyn til i fastsettelsen av manøvreringsreglementet, som ble midlertidig og fastsatt for 5 år. Det ble oppnevnt et manøvreringsråd bestående av en representant fra henholdsvis ALI (Alta Laksefiskeri Interessentskap), Fylkesmannen i Finmark (fisksakkyndig) og NVE (issakkyndig), som skulle bistå regulanten i spørsmål innen de respektive fagområdene.



For i størst mulig grad å unngå isproblemer ble det satt strenge krav til vintertappingen av magasinet. Utover høsten skulle driftsvannføringen følge tilsiget. Driftsvannføringen om vinteren skulle ikke overskride 30 m^3/s, som tilsvarer median uregulert vinter vannføring i begynnelsen av vinteren, og så holdes jevn eller jevnt synkende utover vinteren avhengig av vintertilsiget. Vannføringen skulle ikke underskride 18 m^3/s, og heller ikke økes i vintertiden. I forkant av vårløsningen kunne imidlertid vannføringen gradvis økes for å utnytte et eventuelt restmagasin, med krav til manøvreringen både av hensyn til isforholdene og laksen. Det var særlig viktig å unngå reduksjon i vannføringen da dette kunne føre til stranding av fisk.

Som forutsagt ble elva etter utbyggingen tilnærmet isfri de første 5 km nedenfor utløpet. Videre nedover ble isleggingen forsinket på grunn av økt vannføring og noe høyere vanntemperatur enn før, særlig i øvre del av elva. Enkelte vintre var det råker hele eller det meste av vinteren på steder som tidligere kunne påregnes å bli islagt. Tilsvarende ble isløsningen noe fremskyndet på grunn av høyere vannføring utover våren ved utnyttelse av restmagasinet, uten at dette førte til isproblemer.

Det ble også utført omfattende fiskeundersøkelser, og på grunn

av usikkerhet omkring mulige virkninger på laksen ble det midlertidige reglementet forlenget. Da det ble dokumentert en reduksjon i laksebestanden i øvre del av elva, ble dette satt i sammenheng med den åpne elva og noe høyere vanntemperatur etter regulering, særlig på de øvre 5 km nedenfor utløpet av kraftstasjonen. En søkte da etter tiltak for å kunne bedre dette, altså redusere vanntemperaturen om vinteren og øke isdekningen.

For i noen grad å kunne påvirke temperaturen på driftsvannet var det bygget et øvre inntak til kraftstasjonen, da med tanke på å kunne kompensere noe for den forventede lavere sommertemperaturen på elvevannet. Dette var ikke systematisk benyttet, men en så nå muligheten for å nytte det øvre inntaket for å få kaldere driftsvann om vinteren, og derved kanskje mulighet for større isdekning. Nedre inntak ligger 183 moh og øvre inntak 255 moh.

Vinteren 2000-01 ble det innledet forsøk som viste at dette kunne ha en viss virkning. Vanntemperaturen ble noen ti-dels grader lavere ved bruk av øvre inntak, og da vannføringen ved den nye driftsstrategien også ble noe lavere, var dette tilstrekkelig til at det ved lufttemperaturer under -10 °C ble markert større isdekning på den aktuelle strekningen. Andre forhold som måtte undersøkes var:

- Fare for luftinnblanding i driftsvannet ved inntaket i Virdnejavvre

- Utnyttelse av gjenstående magasin etter omlegging til nedre inntak, det vil si virkning av økende vannføring på islagt elv uten at dette førte til isproblemer, spesielt isgang

Disse forhold ble nærmere undersøkt og en ny driftstrategi med bruk av øvre inntak er tatt i bruk.

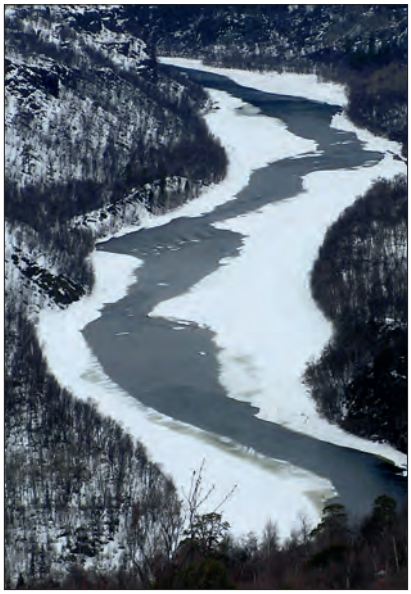
Bildene viser elva fra ca 2 km til ca 5 km nedenfor utløpet av kraftstasjonen, før utbygging (øverst), ved bruk av nedre inntak (i midten), og ved bruk av øvre inntak (nederst). Før utbygging var elva pent islagt med enkelte små strømråker. Med bruk av nedre inntak ble elva her nærmest isfri, bare med litt strandis. Med bruk av øvre inntak ble elva noe mere islagt, særlig ble strandisbeltet større.

Bildet viser elva nedover med Savcovannet i det fjerne. Elva er her mange år ganske godt islagt ved bruk av øvre inntak. Isen går opp kort tid etter at det byttes til nedre inntak.

Her brukes øvre inntak fra desember til april og magasinet tappes da fra 265 til 260 moh, som utgjør ca 25 % av det totale magasinet. Driftsvannføringen om vinteren blir vesentlig mindre enn ved det opprinnelige driftsmønsteret. Kaldt tilsigsvann og kaldt vann fra de øvre lag i magasinet strømmer mot det øvre inntaket. Driftsvannets temperatur ved bruk av øvre inntak har vært 0.2-0.4 °C, varierende fra år til år, men ganske stabilt den enkelte vinter. Dette har gitt både lavere temperatur og noe større isdekning ned mot Savcovannet enn det opprinnelige manøvreringsmønsteret. Videre nedover elva har også isforholdene blitt mindre påvirket.

Ca 1.april legges det om til nedre inntak for å utnytte resten av magasinet. Da øker brått driftsvannets temperatur som følge av at varmere vann i de dypere deler av delmagasinet tappes ut, og eventuell is på elva ned til Savcovannet går i løpet av noen dager. Temperaturøkningen er 1-2 °C i et par dager, og deretter synker temperaturen igjen til noen tidels grader.

For å få utnyttet mest mulig av magasinet må driftsvannføringen økes utover våren. Utfordringen er å gjøre dette uten å forårsake isgang. Dette har vist seg å være mulig ved å fremskynde isløsningen ved en kontrollert økning i vannføringen. Etter 10-15 dager åpnes en strømråk, først i øvre del av elva, og så etter hvert videre nedover. Værforholdene har stor betydning for hvor fort dette går. Etter at denne vannføringsøkningen har begynt, er det av hensyn til laksen sterke begrensninger på reduksjoner i vannføringen. Det kreves kontinuerlig overvåking av tilsigsforholdene videre fremover for å kunne husholde resten av magasinet best mulig. Forbedring av grunnlaget for å finne isreduserte tilsig ville være til stor nytte.



Elva åpner seg pent i strømdraget ved gradvis økning av driftsvannføringen, her ca 2 uker etter skifte av inntak.

Isløsningen begynner i strykene.

I strykpartiene, som her, kan det være enkelte sammenskyvninger av is under isløsningen.

Dette nye manøvreringsreglementet er nå vel gjennomprøvet og synes å ivareta alle interesser bedre enn det opprinnelige. Isforholdene i hele elva blir om vinteren mindre påvirket ved dette nye kjøremønsteret enn det opprinnelige. Isløsningen settes i gang ved overgang til nedre inntak, som er fastsatt til ca 1.april i det nå gjeldende manøvreringsreglementet. Hvor mye isløsningen fremskyndes avhenger av når vårløsningen og den naturlige vannføringsøkningen kommer. Faren for skadevoldende vårisgang er svært liten, og mindre enn før regulering. Dette skyldes at det nå allerede før den naturlig isløsning er råk i strømdraget som følge av den fremskyndete isløsningen, og vannføringsøkningen under isløsningen kan i stor grad kontrolleres.

Reglement i henhold til disse retningslinjene ble permanent 5.02.2010.

Isen ligger lengst på de stilleflytende områdene.

Termisk isløsning på de rolige partiene.

8 Etterord

De fleste store vannkraftutbygginger i Norge er nå stoppet opp. Likevel har fortsatt vannkraft en sentral plass i norsk kraftproduksjon. Det er opp til politikerne å avgjøre hvor mye vannkraft som skal bygges ut i fremtida. For å kunne ta den vurderingen vil de uansett være avhengig av å vite hvordan slike utbygginger påvirker isforholdene og miljøet i vassdragene.

Samtidig går vassdragskonsesjonene for en rekke kraftverk snart ut. Da må kraftverkene vurderes på nytt, i en tid hvor det eksisterer et annet syn på miljø og natur enn da disse ble bygget.

Derfor vil kunnskap om is i vassdrag være viktig – også i fremtida.

Litteratur

Altberg, W. J. 1936: Twenty years of work in the domain of underwater ice formation (1915-1935). International Union of Geodesy and Geophysics, International Association of Scientific Hydrology, Bulletin no 23, p. 373-407.

Asvall, R. P. 1977: Vanntemperatur og isforhold i våre vassdrag. Generelt om virkningen av vassdragsreguleringer i berørte vassdrag og tilstøtende fjorder. Rapport nr 4-77, Hydrologisk avdeling, NVE

Asvall, R. P. 1986: Ice jams in regulated rivers in Norway, experiences and predictions. In: Cold Regions Hydrology Symposium, American water resources association, Alaska 1986. (NVE Meddelelse nr 56 fra Hydrologisk avdeling 1986)

Asvall, R. P. 1990: Influence on ice conditions of variations in winter discharge from power plants. In: 10th IAHR International Synposium on Ice, Espoo, Finland, Aug 20-23, 1990.

Asvall, R. P. 1994: River ice investigations in Norwegian water courses - a review. In: 12th IAHR International Symposium on ice, Trondheim, Norway Aug. 23-26, 1994.

Asvall, R. P. 1997: Extreme frazil and bottom ice formation causing ice problems in a regulated river. In: 9th CRIPE-Workshop on river ice, Frederictown, NB,Canada.

Asvall, R. P. 1998: Frazil formation causing flooding. In: 14th IAHR International Symposium on ice, Potsdam, NY, USA, July 27-31,1998.

Asvall, R. P. 2002: Water temperatures and ice conditions downstream the Alta hydropower reservoir with different intake levels. In: 16th IAHR Symposium on Ice, Dunedin, New Zealand, Dec. 2002

Asvall, R. P. 2007: Selective withdrawal to reduce regulation effects on ice cover downstream outlet of the Alta power plant. In: CRIPE-Workshop on river ice, Quebec, Canada, 2007.

Asvall, R. P. 2008: Interactions between ice conditions and hydro power regulations over 100 years. The Norwegian case. In: 19th IAHR International Symposium on ice, Vancouver, Canada, July 6-11, 2008.

Asvall, R. P. & Kvambekk Å. S. 2006: Ice cover in a changing climate: In: 18th IAHR International Symposium on ice, St.Petersburg, Russia, 2006.

Asvall, R. P. & Roen, S. 1974: Experiences showing how increased winter flow through inland lakes influences ice conditions. Hydrological Sciences XIX, 1 3/1974, (NVE Meddelelse nr 25 fra Hydrologisk avdeling 1974)

Devik, O. 1931: Thermische und dynamische Bedingungen der Eisbildung in Wasserläufen. Geofysiske Publikasjoner, IX. NO.1. Utgitt av det norske videnskaps-akademi i Oslo

Devik, O. 1931: Isdannelsen i vore vassdrag. Kosmos band 9, 1931.
Devik, O. 1932: Islegging av sjøer og elver. Naturen 1932.

Devik, O. 1942: Supercooling and ice formation in open waters. Geofysiske Publikasjoner, Vol XIII. No 8. . Utgitt av det norske videnskaps-akademi i Oslo

Devik, O. 1944: Ice formation in Lakes and Rivers. Geographical Journal, Vol CIII No 5, May 1944.

Devik, O. 1949: Freezing water and supercooling. Anchor Ice and Frazil Ice. Journal of Glaciology, Volume I, Number 6, pp. 307-309

Devik, O. 1964: Present experience on ice problems connected with the utilization of water power in Norway. Journal I.A.H.R vol 2, no 1. (NVE Meddelelse nr 12 fra Hydrologisk avdeling 1964).

Devik, O. og Kanavin, E. V. 1963: Oversikt over isproblemer i norske vassdrag. NVE Oslo 1963.

Flatjord, S. 1964: Utvikling av isdekket på norske vassdrag, samt litt om råkdannelse. Norsk Geografisk Tidsskrift Bd. XIX. 1963-1964 h. 34. (NVE Meddelelse nr 7 fra Hydrologisk avdeling)

Kanavin, E V. 1951: Undervannsisproblemer i vassdragene og kunstig issperring i elveløp. Foredrag i N.I.F. Oslo avd. vannkraftingeniørenes gruppe 22.februar 1951. Teknisk Ukeblad, No 44-45, 1951.

Kristensen, I. 1904: Isdannelsen i vore vassdrag. Foredrag på 3die norske landsmøde for teknik, Trondheim.

Kvambekk, Å.S.: Water temperatures in the Alta hydropower reservoir with different intake levels. In: 16th IAHR International Symposium on ice, Dunedin, New Zealand, Dec. 2002.

NVE 1929: Vinterisganger i Østerdalen. Meddelelse fra Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen, V. 2.

NVE 1931: Opvatningen i Storelvdal og Os. Meddelelse fra Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen, V. 3.

Roen, S. 1976: Vassdragsreguleringer og endrede isforhold. Naturen nr 5/6 1976.

Norges landbruksvitenskapelige forskningsråd, 1988: Konsekvenser av vassdragsutbygging. Seminar på Bårdshaug herregård 22.-23. mars 1988.

Vassdragshåndboka, revidert utgave, NVE 2010. Red. T. Fergus, K. A. Hoseth, E. Sæterbø. Tapir forlag, Trondheim.

For nærmere beskrivelse av forholdene i omtalte og andre vassdrag henvises til oppdragsrapporter fra Hydrologiske avdeling. Disse finnes i NVE`s bibliotek.

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Utgitt i Rapportserien i 2010

Nr. 1 Tor Arnt Johnsen (red.): Kvartalsrapport for kraftmarkedet. 4. kvartal 2009

Nr. 2 Håvard Hamnaberg (red.): Tilgangen til fornybar energi i Norge - et innspill til Klimakur 2020 (30 s.)

Nr. 3 Håvard Hamnaberg (red.): Klimagassutslipp fra fjernvarme: Tiltak og virkemidler -et innspill til Klimakur 2020 (30 s.)

Nr. 4 Karen Byskov Lindberg (red.): Tiltak og virkemidler for redusert utslipp av klimagasser fra norske bygninger -et innspill til Klimakur 2020 (120 s.)

Nr. 5 Svein Olav Arnesen, Jan Henning L`Abée-Lund, Anne Rogstad (red.): Årsrapport for tilsyn 2009 (30 s.)

Nr. 6 Roger Steen, Håvard Hamnaberg, Arne Hamarsland,Svein Olav Arnesen, Cartsten Stig Jensen, Ingvild Vaggen Malvik, Kjell Molkersrød, Jan Sørensen (red.): Klimautfordringer i kraftsektoren frem mot 2100. Sammendragsrapport (13 s.)

Nr. 7 Thomas Skaugen (red.) Norges hydrologiske stasjonsnett –analyse og strategi (56 s.)

Nr. 8 Anders Aarøe Mømb, Helena Nynäs, Tharan Fergus: Kulturminner i vassdrag. Flom- og erosjonssikring, kanaler og miljøtiltak (96 s.)

Nr. 9 Jørn Opdahl, Hervé Colleuille: Landsomfattende mark- og grunnvannsnett. Drift og formidling 2009 (39 s.)

Nr. 10 Tor Arnt Johnsen (red.): Kvartalsrapport for kraftmarkedet. 1. kvartal 2010

Nr. 11 Anne Haugum (red.): Årsrapport for utførte sikrings- og miljøtiltak i 2009 (45 s.)

Nr. 12 Grethe H Midttømme (red.): Analyse av dambruddsbølger

Nr. 13 Hege Sveaas Fadum (red.) Avbrotsstatistikk 2009 (110 s.)

Nr. 14 Tor Arnt Johnsen (red.): Kvartalsrapport for kraftmarkedet. 2. kvartal 2010 (71 s.)

Nr. 15 Arne Hamarsland (red.): Klimatilpasning innen NVEs ansvarsområder – Strategi 2010 - 2014 (68 s.)

Nr. 16 Tor Arnt Johnsen (red.): Kvartalsrapport for kraftmarkedet 3. kvartal 2010

Nr. 17 Sissel Riibe, Henning Weyergang-Nielsen: Kraftoverføringens kulturminner (382 s.)

Nr. 18 Kristin Skei: Erosjonssikringstiltak i Gaula. Kartlegging av tilstand og reparasjonsbehov (283 s.)

Nr. 19 Arne Hamarsland (red.): Klimatilpasning innan ansvarsområda til NVE (66 s.)

Nr. 20 Randi Pytte Asvall: Hvordan is i vassdrag dannes – og hvordan vassdragsreguleringer påvirker isen i norske vassdrag (86 s.)

Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen,
0301 Oslo

Telefon: 22 95 95 95
Internett: www.nve.no