

Om innflydelsen av Mandalselvens regulering på
isforholdene på strekningen Håverstad kraftstasjon
til Mandal.

1. Utdrag av det foreliggende materiale.

Det fremgår av VAE's oversikter av 22.2.1960 at reguleringene i vassdraget og utbyggingen av kraftstasjonene Skjerka og Håverstad har foregått trinnvis gjennom lengre tidsrom, med den sterkeste økning 1950-59.

År 1932 da Skjerka kraftstasjon kom i drift med 1 aggregat på 12600 HK, var de ovenfor liggende magasiner på 38 mill. m^3 .

I 1936 var magasinene økt til 143,8 mill. m^3 , installasjonen til 37000 HK, og i 1944 ble den ytterligere økt til 60800 HK.

I 1954 var magasinene kommet opp til 214,7 mill. m^3 , og installasjonen var 83800 HK, med et maksimalt vannforbruk på 26,6 m^3/sek .

Senere er det i 1959 kommet ett aggregat til, så installasjonen ble på 106800 HK, med et maksimalt forbruk på 33 m^3/sek . Magasinene er uforandret 214,7 mill. m^3 .

Håverstad kraftstasjon ble bygget ut i løpet av 1957 med to aggregater på tilsammen 68000 HK og et maksimalt forbruk på 60 m^3/sek . Ved regulering av Juvann og Örevann steg de disponible magasiner fra 214,7 mill. m^3 til 369,1 mill. m^3 .

Logna kraftstasjon som nytter magasinet i Juvatn (143 mill.m³) beregnes ferdig høsten 1961 med en installasjon på 24000 HK og maksimalt vannforbruk 17 m³/sek.

Både Skjerka og Logna kraftstasjoner har avløp til Örevatn, som er inntaksmagasin for Håverstad kraftstasjon.

I sin utredning av 31. mai 1960 har ingeniør Erik Ræstad beregnet de midlere naturlige avløp ved Örevassoset (avløp Håverstad) og de beregnede regulerte avløp, og for vintermånedene fåes følgende tall (m³/sek.):

	Nov.	Des.	Jan.	Febr.	Mars	April
Uregulert	63,0	34,2	23,3	18,4	18,8	47,5 m ³ /sek.
Regulert	65,0	55,0	52,0	51,0	50,0	52,0 "
Ökning	2,0	20,8	28,7	32,6	31,2	4,5 "

I de fire månedene fra 1.desember til 31.mars er ökningen i middelavløpet fra Örevatn meget betydelig, og störst i februar.

Når Håverstad kraftstasjon under døgnregulering kjører med full drift (60 m³/sek.) vil tilskuddet til den midlere uregulerte vassföring bli:

	Des.	Jan.	Febr.	Mars	
Ökning ved full drift		25,8	36,7	41,6	41,2 m ³ /sek.

Man ser herav at i februar vil tilskuddet under full drift være mer enn dobbelt så stort som det midlere uregulerte avløp.

Det tilskudd som magasintapping med døgnreguleringens variasjoner representerer ved avløp Håverstad, passerer så vassdraget videre nedover til Mandal. Den prosentvise andel av den samlede lokale vassföring vil da avta jo lenger ned i vassdraget man kommer, men den absolute størrelse av tilskuddet vil være uforandret.

Disse endringer, både i den midlere og den maksimale vassföring, betinger en vesentlig större vannhastighet på hele strekningen Håverstad - Mandal, med de konsekvenser dette får for isproduksjonen og isforholdene. Det vil bli dröftet i de fölgende avsnitt.

2. De klimatiske betingelser for isproduksjon i Mandalsvassdraget.

Iskontoret ved NVE's hydrologiske avdeling har utarbeidet en oversikt over avløps- og isforhold i Mandalsvassdraget (Oslo 1960). Denne oversikt som er lagt frem for skjönnsretten inneholder også en oversikt over temperatur-, nedbør - og snöforhold. De grafiske fremstillinger av de daglige vinterobservasjoner viser at det til enhver tid på vinteren kan opptre korte, men kraftige mildværsperioder med regn og snösmelting. Disse fører til økt vassföring i vassdraget og medfører visse forandringer i isforholdene.

Dette blir illustrert ved resultatene av spesielle undersøkelser som ble utført i vinterene 1955-56, 1956-57, 1957-58, 1958-59 og 1959-60. De omfatter:

Lufttemperatur

Nedbör

Snömengde

Vannstandsobservasjoner

Ismåling og isobservasjoner

Måling av vanntemperatur.

Jeg vil under det kommende rettsmöte 9.10.1961 gi en kort oversikt over disse undersøkelser som gir et godt bilde av de variasjoner som isforholdene var preget av i de siste fem vintre. Det har også interesse å sammenholde erfaringene fra temperaturmålingene i Ytre Örevatn med liknende erfaringer i andre vassdrag, således som det er gjort i et tillegg i samme utredning.

4. Kritiske ström hastigheter og temperaturforhold i et vassdrag.

Varmeutvikling i fall og stryk.

Når vannet på en elvestrekning er blitt avkjølet til null grader begynner isdannelsen som drivende iskristaller, sarr, der hvor elven går med hvirvling. På en slik strekning vil en vannhastighet som er større enn ca 0,6 m/sek. være kritisk for isleggingen. Ved mindre hastigheter vil det drivende sarr bli stanset mot iskanten på et allerede islagt område, og isdekket vil derfra vokse oppover elven. Men hvis vannhastigheten blir ca 0,6 m/sek. eller større, t.eks. ved at vassföringen øker, vil sarr og isklumper dukke under iskanten og føres videre under isen til et område hvor hastigheten er mindre, så sarret lagrer seg under istaket. Slike avleiringer vil innsnevre tverrsnittet og kan også forskyve hovedstrømmen i elven (jfr. ismålinger i Logna, s.53 i NVE's oversikt).

Undersøkelser utført i norske vassdrag viser at en elvs evne til å tære på isen eller til å holde en råk åpen avhenger hovedsakelig av vannets hastighet og temperatur, som følgende tabell viser:

Ström hastighet	Kritisk vanntemperatur
0,2-0,3 m/sek.	ca 0,20 °C
ca 0,4	" 0,06
" 0,6	" 0,02
over 0,8	" 0,01

Hvis f.eks. ström hastigheten øker p.g.a. en regulering til 0,4 m/sek. vil det bli råker som holder seg åpne selv om vannet bare har en temperatur på ca 0,06°C. Og hvis hastigheten blir 0,6 m/sek. vil ca 0,02°C være nok til å skaffe råker.

Det kan synes å være svært lave kritiske overtemperaturer, men det er nettopp den slags temperaturer som ellevannet kan få når det passerer et stryk. En elv som passerer et fall på f.eks. 8,5 m vil utvikle en varmemengde som svarer til at vannets temperatur ville stige $8,5/427$ grad eller $0,02^{\circ}$ (hvis det ikke var noe varmetap).

Når en elv som går i stryk er blitt islagt ved kjøving vil nettopp denne varmeutviklinga forårsake mange varige åpne råker så fremt vassföringen holdes oppe av en regulering.

Under naturlige forhold vil den uregulerte vassföringa avta når kulden kommer, isleggingen stabiliserer seg etter hvert og de områder hvor kritiske vanntemperaturer opptrer, blir mindre og mindre, inntil det blir en likevekt mellom de små råker og den reduserte varmeutvikling i strykene.

Hvis værforholdene forandres, f.eks. ved mildvær, vil vannet som passerer en strykstrekning kunne ha en god del av sin overtemperatur i behold når det kommer til en strekning med mindre fall og sammenhengende isdekke, og der kan det da bli tæring i strömfaret. Det er et forhold en ofte vil iaktta, særlig i regulerte elver.

Ut på vinteren, i slutten av februar og mars i Sør-Norge, vil innstrålingen fra sol og himmel gi en økende varmetilförsel til snö- og isoverflaten på et vassdrag, og noe av denne stråling vil også gå gjennom isen og gi ellevannet litt overtemperatur. Men det skal som vi så, ikke stor forhøyelsen til før vannströmmen tærer på isdekket og utvider råkene, så fremt vannhastigheten er betydelig.

En økning av vannhastigheten p.g.a. en regulering vil således bevirke at isdekket i en elv tærer tidligere på vinteren enn før.

4. Vanntemperaturen ved utløpet av Håverstad kraftstasjon.

I NVE's oversikt s.43 og s.55 er gjengitt vintermålinger i et snitt av Ytre Örevatn (rett ut for Öyulvstad), for vintrene 1955-56 og 1956-57. Begge vintrene viser en sterk virkning av gjennomströmningen av kaldere vann, særlig er det tilfellet i den siste. I disse vintrene gikk avløpet fra Örevatn i det gamle elveløp, og vanntemperaturen har her vært lav, antakelig $0,01^{\circ}$ a $0,02^{\circ}\text{C}$ i januar - mars.

Når Logna kraftstasjon kommer i drift (1961) vil avløpet fra denne ha en betydelig overtemperatur svarende til inntaksdybden i Longvatnet (vannet beholder sin temperatur når det passerer tunnelen). Tidligere har Longa antakelig hatt en vanntemperatur meget nær null grader ved innløpet til Örevatn.

Det foreligger opplysninger i NVE's oversikt s.42 og s.50 om vanntemperaturen i avløpet fra Skjerka kraftstasjon. I januar - mars 1956 var vanntemperaturen mellom $1,0^{\circ}\text{C}$ og $0,6^{\circ}\text{C}$, og i januar - mars 1957 var den mellom $0,1^{\circ}\text{C}$ og $0,4^{\circ}\text{C}$.

Etter 1957 tappes Örevatn gjennom tunnel til Håverstad kraftstasjon og elven fra Örevatn til utløp Håverstad er törrlagt. Vanntemperaturen i avløpet fra Håverstad bestemmes da av vanntemperaturen i tunnelinntaket i Örevatn. Fra hösten 1961 kommer Longa kraftstasjon i drift, og da kan man anta at vannet som tappes fra Örevatn til Håverstad kraftstasjon vil ha noe høyere vanntemperatur enn i vintrene 1957-61.

Jeg antar at når Örevatn er blitt islagt om vinteren, vil vanntemperaturen i avløpet fra Håverstad kraftstasjon til å begynne med ha en temperatur omkring $0,8^{\circ}\text{C}$, og så avta til omkring $0,5^{\circ}\text{C}$ i begynnelsen av mars, hvorpå vanntemperaturen begynner å stige på grunn av innstrålingen. En overtemperatur på omkring $0,8^{\circ}\text{C}$ a $0,5^{\circ}\text{C}$ vil få en innflydelse på isforholdene som vil bli diskutert i neste avsnitt.

5. Isforholdene på strekningen Håverstad - Mannflå.

Under en befaring jeg foretok 29. februar og 1. mars 1960 fra Mandal til Håverstad fikk jeg opplysninger av lokalkjente folk, særlig ved et møte med tillitsmennene for grunneierne, og overrettssakfører Bryge ga meg opplysninger på forhånd om hvor isveger var av særlig betydning. Det var den alminnelige oppfatning at etter hvert som vassdraget ble regulert og utbygget, hadde isforholdene forverret seg slik at det nå bare var ved lengre sterk kulde at enkelte av de gamle isveier kunne brukes. Og dessuten var det variasjoner i vannstanden og hyppig overvann som skapte vansker for trafikken der hvor isen ellers kanskje var brukbar.

Jeg skal først drøfte strekningen Håverstad-Mannflå. På de øverste 6 km fra Håverstad til Kollungtveitfossen er det bare et fall på ca 5 m hvor mesteparten er i Skraslefoss, mens elven ellers bukter seg i bredt og rolig løp, hvor isen før reguleringen har vært mye brukt for kjøring av ved og tömmer. På denne strekningen kommer vannets overtemperatur i avløpet fra Håverstad til å gjøre seg så mye gjeldende at strömløpet vil gå åpent eller ha usikker is også på de rolige partier, alt etter værforholdene. Og hertil kommer så virkningen av døgnregulering ved Håverstad, med vannstandsforandringer, sprekker og overvann der hvor isen er sammenhengende. Alt i alt må for fremtiden isveiene avskrives på denne strekningen.

Fra Kollungtveitfossen (174 m o.h.) til foten av Tungefoss (140 m o.h.) er det ca 4 km med et bredt og rolig parti på vel en kilometers lengde ved Smedsland og et kortere rolig parti ovenfor Tungefoss.

Strykene og fossene kommer til å gå åpne både i mildere og i kaldere perioder. Under strenge kuldeperioder vil vannet bli avkjølt til null i disse åpne partiene og det vil da bli produksjon av sarr som føres videre nedover til stillepartiene, hvor ansamlingen kan bli årsak til overvann. Ved omslag til mildvær vil overtemperaturen få tilskudd i strykene og da blir det tæring av isdekket i strömfaret på de rolige partiene. Og så har vi også her innflydelsen av døgnreguleringen på vannstand, isforhold og overvann. Heller ikke på denne strekning vil man i fremtiden kunne regne med brukbare isveier.

Den neste strykstrekning, fra Tungefoss (140 m o.h.) til foten av Laksekjerfoss (79 m o.h.) har et fall på 69 m over en distanse på 8 km, og det er et så betydelig fall at elven vil gå med åpen ström-råk på hele strekningen. I kuldeperioder vil det her måtte bli en betydelig sarrproduksjon, hvor sarret føres videre nedover til stillere og islagte strök.

Den fölgende elvestrekning forbi Bjelland kirke til Skjeggestad (70 m o.h.) er overveiende smal og har et fall på ca 9 m over ca 2,5 km. Det gir så stor vannhastighet at det blir åpne råker og at sarr vil føres videre i kuldeperioder.

Men for hele fallstrekningen fra Kollungtveitfoss til Skjeggestad gjelder det at mildvær vil gi varmetilskudd i alle de åpne stryk-partier, i tillegg til oppvarmingen på grunn av fallet ($0,24^{\circ}\text{C}$). Det vil tære på isbeholdningen på selve strekningen og gi mere åpent vann der, men likevel vil vannet som går videre til Trygsland, Hesså og Mannflå ha en viss overtemperatur i behold så lenge mildværet varer.

Strekningen Trygsland-Mannflå har et fall på ca 1 m over 4,5 km. På mesteparten av strekningen er elven smal så vannhastigheten er betydelig. På enkelte noe bredere partier, som f.eks. ved Trygsland,

var det før i tiden isveier, men nå blir elva islagt tvers over bare ved streng kulde, opplyses det. Etter mitt skjønn vil denne strekningen for fremtiden måtte avskrives isveiene.

Men det er også en side av isproduksjonen i kuldeperioder som er av betydning, og det er muligheten for avleiring av sarr som er ført inn under isen. Slike områder kan etter kart og lengdeprofil ventes f.eks. i utvidelsene ved Trygsland, Hesså og Mannflå, men det vil avhenge av dybdeforholdene om det også forholder seg så.

Isforholdene på Mannflåvatn er blitt gjensatt for spesielle undersökkelser som er omtalt i NVE's oversikt. Det temperatursnitt som er gjengitt på s. 64 etter målinger 29.1.1958 viser at vannet under isen er blitt skiftet ut med kaldere vann, i hvert fall til 9 m dyp, på grunn av gjennomströmningen. I 1 m dyp var vanntemperaturen $0,1^{\circ}\text{C}$ og i 9 m dyp $0,25^{\circ}\text{C}$. Dette viser at vannet som elven førte inn i Mannflåvatn har hatt temperatur nær 0°C .

VAE's dybdeprofiler (kart 12512) viser at det dypeste parti, mellom Neset og Regevig, går ned til 27 m. I sundet utenfor Haukenes ligger dypålen mellom 7 m og 18 m dybde. Man må regne med at de øvre vannlag, ned til minst 10 m dyp, vil bli skiftet ut ved gjennomströmningen og holde en temperatur omkring $0,1^{\circ}$ a $0,2^{\circ}\text{C}$ i de kaldeste vintermånedene. Det betyr imidlertid at likevekten er labil i disse vannlagene, og når solstrålingen begynner å øke sterkt i mars vil noe av strålingen gå gjennom isen og gi varme til vannlagene, så strömninger kommer i gang. Det fører varme opp mot isen og der kan det bli lokal tøring. Skal man underlike betingelser kunne regne med å ha en sikker isvei, må veibanan forsterkes (pakking og/eller brøyting av snø, sprøyting av vann på isveien under kulde), og istykkelsen må kontrolleres hyppig på tilstrekkelig mange punkter.

Men for isen på Mannflåvann vil det være døgnreguleringen og andre variasjoner i kraftforbruket som vil forårsake en særlig ulykke på grunn av de vannstandsvariasjoner som den vil medføre, i tillegg til de mere langsomme variasjoner som skyldes veksleende værforhold i det uregulerte nedslagsfelt. Som eksempel vises til VAE's hefte med vannstandsobservasjoner i tida 1/12-58 til 31/1-60.

I NVE's oversikt er det på kurvebladene s.62,71 og 78 gjev gitt ismålingene på Mannflåvatn for vintrene 1957-58, 1958-59 og 1959-60. Innflytelsen av snöfall er meget tydelig, likeså forekomsten av vannlag i snöen i januar eller februar. Hvis isveier over Mannflåvatn skal holdes brukbare vil det være nødvendig med tilsyn og forsterkning av veibanen som omtalt ovenfor.

6. Isforholdene på strekningen Mannflåvatn-Kjølemo Vn.-Mandal.

Den overtemperatur som vannet vil ha i utløpet av Mannflåvatn vil gjøre seg gjeldende nedover mot Klevelandsfossen, som i kuldeperioder blir sarrproduserende og vil sende sarr nedover til stillere partier. Under min befaring 29.2.1960 noterte jeg gjenstående ca 2,5 m høye iskanter med sarmasser under, ca 1 km nedenfor den nye bru i Öyslebö. Det viser at sarrtransport hadde foregått dit fra ovenfor liggende stryk, antakelig særlig fra Klevelandsfossen, i mindre grad fra strykene i Glemestraumsfossen og Öyslebøfossen. Under min befaring noterte jeg mye åpne råker, også på strekninger med moderat fall.

Det neste strykparti, med Gjørdefoss og Eidstöfoss, vil gå åpent, være sarrproduserende i kuldeperioder og gi overtemperatur i mildvær, med de følger for isforholdene på det etterfølgende strök

som jeg før har beskrevet. Under den før nevnte befaring så jeg enkelte höye iskanter, bl.a. ca 2 m höye på et sted nær Stoveland.

De fremlagte vannstandsmålinger ved Kjölemo Vm. og israpportene i NVE's oversikt viser store svingninger. Det må antas at det fremtidig ikke kan påregnes brukbare isforhold på strekningen Mannflåvatn - Kjölemo Vm., selv om det på enkelte steder under sterk kulde kan bli trafikksikker is en kort tid.

På strekningen Kjölemo Vm.- Mandal passerer elva først strykkene i Åsböfoss. De gikk åpne med drivende sarr under min befaring 29.2. 1960, men nedenfor var det få råker å se og de brede og rolige partier var islagt omtrent fra Ytre Möll og Langeland, og videre nedover. På dette siste strøk vil vannstandsvariasjonene være redusert, men vannhastigheten vil være øket betydelig. Der hvor man har bruk for et stabilt isdekke må man være forberedt på å påskynde isleggingen ved lenser og siden forsterke isen (sammenpakning av snølag, brøyting, sprøyting m.v.).

7. Konklusjon.

På grunnlag av det foreliggende materiale av iakttagelser, målinger og erfaringer, samt en gjennomgåelse av fallforhold, vannhastighet og vanntemperatur på de forskjellige elvestrekningene, har jeg diskutert isforholdene etter at reguleringen er fullført og de tre kraftstasjonene Skjerka, Håverstad og Longa er helt utbygget. Resultatet er:

1. De klimatiske forhold i vassdraget skaffer ofte sterkt vekslende betingelser for islegging, både i det enkelte år og fra år til annet.

2. Vintervassföringen i vassdraget får ved reguleringen en så stor økning at vannhastigheten passerer kritiske grenser for islegging eller sarrproduksjon over de lange fallstrekningene som vassdraget har.

Dette får også virkninger på nedenfor liggende strök med roligere elveløp.

3. Den overtemperatur vannet vil ha ved avløp Håverstad kraftstasjon og ved utløpet av Mannflåvatn vil også ha virkning et godt stykke nedover elven.

4. Vannstandsforholdene i vassdraget vil avhenge av belastningen på kraftstasjonene, som kan ha både lengre perioder og raske svingninger under døgnregulering. Dette har stor innflytelse på isforholdene, særlig bevirker det vanskeligheter med overvann på islagte vann og loner.

5. Den samlede virkning av de klimatiske forhold og av reguleringen med kraftutbyggingen antar jeg vil være:

A. Man kan ikke i vanlige vintrer regne med stabil og brukbar istrafikk på elvestrekningen mellom Håverstad kraftstasjon og litt forbi Åsböfoss.

B. På Mannflåvatn vil vannstandsforandringer og overvann skaffe særlige vanskeligheter, og på ettermiddagen kan solstrålingen og gjennomströmningen gjøre isen lokalt usikker. Skal isveier holdes brukbare vil det være nødvendig med tilsyn og forsterkning av veibanan samt hyppig kontroll av istykkelsen på tilstrekkelig mange punkter.

C. På den siste del nærmest Mandal vil vannstandsvariasjonene være redusert, men vannhastigheten vil være økt betydelig. Der hvor man har bruk for et stabilt isdekk må man være forberedt på å påskynde isleggingen ved lenser og siden forsterke isen (jfr. ovenfor).

Oslo, 4. oktober 1961.

Olaf Devik