

# Noe om vassdragsregulerings innvirkning på temperaturforholdene i vassdrag.

## I hvilken grad kan tekniske tiltak redusere uønskede effekter?

Av Frode S. Berge og Arve Thendrup.

Frode S. Berge er siv.ing. fra NTH, 1978 med hovedfag ved Institutt for vassbygging. Nå ved Vassdrags- og Havnelaboratoriet.

Arve Thendrup er siv.ing. fra NTH, 1971 med hovedfag ved Institutt for vassbygging. Han er leder for gruppen for utslipp til elver, sjøer og fjorder ved Vassdrags- og Havnelaboratoriet.

### INNLEDNING

I dag er kravet om en optimal utnyttelse av våre vannressurser blitt stadig sterkere. I forbindelse med vassdragsreguleringer har en gjennom pålegg som minstevannføring, bygging av terskler, bygging av fisketrapper o.s.v., prøvd å imøtekomme et slikt krav om helhetsløsninger.

I denne artikkelen vil vi beskrive et redskap som i en viss utstrekning kan imøtekomme et krav til vannkvalitet. Vi vil gi et eksempel på hvilke temperaturendringer en kan vente ved regulering i et vassdrag, og hvordan disse endringene kan minskes.

### SKISSERING AV PROBLEMET

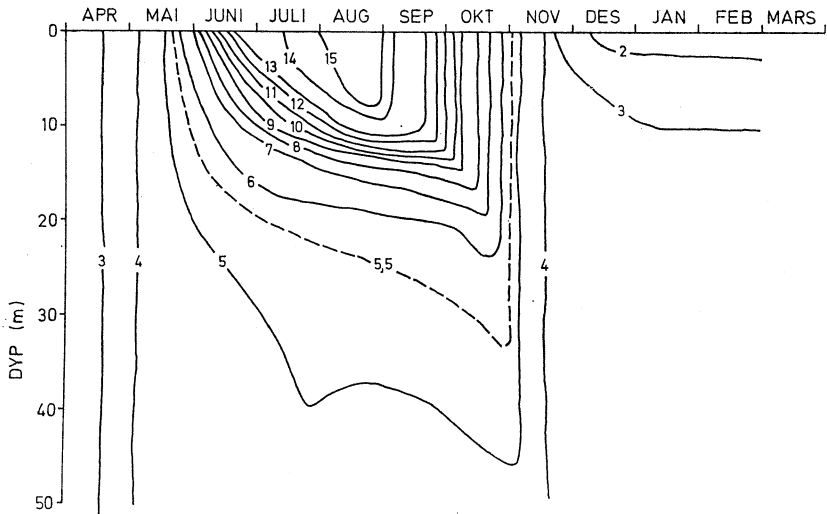
Dype innsjøer i Norge som ikke ligger for høyt over havet og ikke har for stor gjennomstrømming, har et temperaturforløp som ligner det vist i fig. 1. Vi har et overflatelag som varmes opp kraftig om sommeren og som avkjøles ned mot 0°C om vinteren. I dyplaget varierer tem-

peraturen langt mindre og pendler rundt 4°C, som er temperaturen da vannet har sin maksimale tetthet. Fordi naturlige elver renner inn i og ut av innsjøen nær overflaten, vil en mindre innsjø i mange tilfeller ikke forårsake store singulære endringer i vassdragets temperatur.

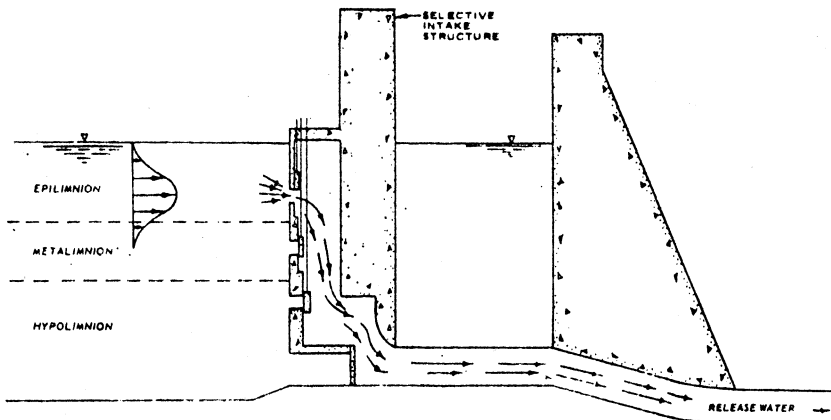
I kraftverksmagasiner ligger inntaket gjerne dypt under vannoverflaten i sommerhalvåret. Det medfører at det vannet som renner ut av innsjøen får en kraftig senkning av temperaturen om sommeren. Dersom inntaket ligger dypt under vannoverflaten også i vinterhalvåret, vil det medføre at det vannet som renner ut har en høyere temperatur enn i et naturlig vassdrag.

### TEKNISKE TILTAK

I USA har en søkt å etterkomme krav til temperaturen nedstrøms kraftverk ved arrangementer som vist i fig. 2. Prinsippet kan kalles selektiv uttapping av vann. Det er mulig å ta ut vann fra et begrenset vertikalt nivå når vannmassene over



Figur 1. Registrering av temperatur i Jonsvannet 1960/61. Det vises et såkalt isoplett-diagram for temperatur, der isolinjer for temperatur er tegnet inn i et koordinasjonssystem med tid og dybde langs aksene. Temperaturen er angitt i °C. (Etter Holtan, 1961).



Figur 2. Eksempel fra USA på utforming av et system for selektiv uttapping av vann (Keeley et al. 1978). Den konstruktive utformingen vil bli en annen for norske forhold.

inntaket vil motsette seg transport ned til inntaket på grunn av oppdriftskrefter. Tilsvarende vil transport av tyngre vann under inntaket mot dette hindres.

## GRANAUTBYGGINGEN

VHL har foretatt en innledende vurdering av endrede elvetemperaturer i Orkla som følge av bygging av Grana kraftverk. En har avgrenset analyseperioden dels av beregningsmessige grunner og dels av at perioden er ansett som den mest interessante av Direktoratet for Vilt og Ferskvannsfisk.

Det temperaturforløpet som er vist i fig. 1, gjelder for en innsjø på lavlandet i Trøndelag. Innsjøer og magasiner som ligger i fjellområder vil ha en mindre markert temperatursjiktning. Dette skyldes vesentlig at lufttemperaturen avtar med økende høyde over havet samt at vannoverflaten ofte er mer eksponert for vind. Derfor vil magasiner på fjellet ikke få samme drastiske virkninger på vanntemperaturen som et tilsvarende magasin i lavlandet.

De største endringer i vanntemperaturen fra magasinet må forventes når magasinet er stort i forhold til gjennomstrømningen. I et forholdsvis lite magasin kan strømningsgenert turbulens bidra til å redusere tetthetsgradientene. Samtidig vil det kalde vannet nær kraftverksinntaket etter hvert bli skiftet ut med varmere overflatevann (for en sommersituasjon).

I et vassdrag blir vannets potensielle energi etterhvert omdannet til varme. Dette utgjør omlag  $0.24^{\circ}\text{C}$  pr. 100 m fallhøyde. Det meste av denne energien går tapt for varmeproduksjon i vassdraget når fallet utnyttes til kraftproduksjon.

Når vannet forflytter seg nedover i et vassdrag vil klimaet over vannoverflaten stadig endres. Normalt blir det varmere jo lenger ned i vassdraget vi kommer. Vannet blir av den grunn som regel også varmere lenger ned i vassdraget. Denne varmen tilføres vannmassene gjennom vannoverflatens kontakt med atmosfæren. Dersom vannet føres i tunnel over lengre strekninger vil vi her miste en varmemengde som normalt er større enn fallenergien.

Nå vil som regel ikke alt det vannet vi finner i et vassdrag nedstrøms et kraftverk være utsatt for de temperaturavvik som er beskrevet over. Det vannet vi finner igjen i vassdraget kan bestå av disse deler:

1. Vann fra kraftverket som kommer fra magasinet
2. Vann fra kraftverket som kommer fra bekkinntak
3. Overløpsvann fra magasinet
4. Vann som ikke inngår i denne reguleringen.

Den vanntemperaturen vi kan registrere nedstrøms kraftverket er følgelig også avhengig av hvor stor del av vannet som kommer fra magasinet gjennom kraftverket.

Det avvik fra det normale for vannets temperatur vi vil få nedstrøms et kraftverk vil gradvis avta ved den varmeutvekslingen som foregår mellom vannet og atmosfæren. (Vannmassene må ha vært i kontakt med atmosfæren i et døgn eller mer før denne virkningen kan bli betydelig.)

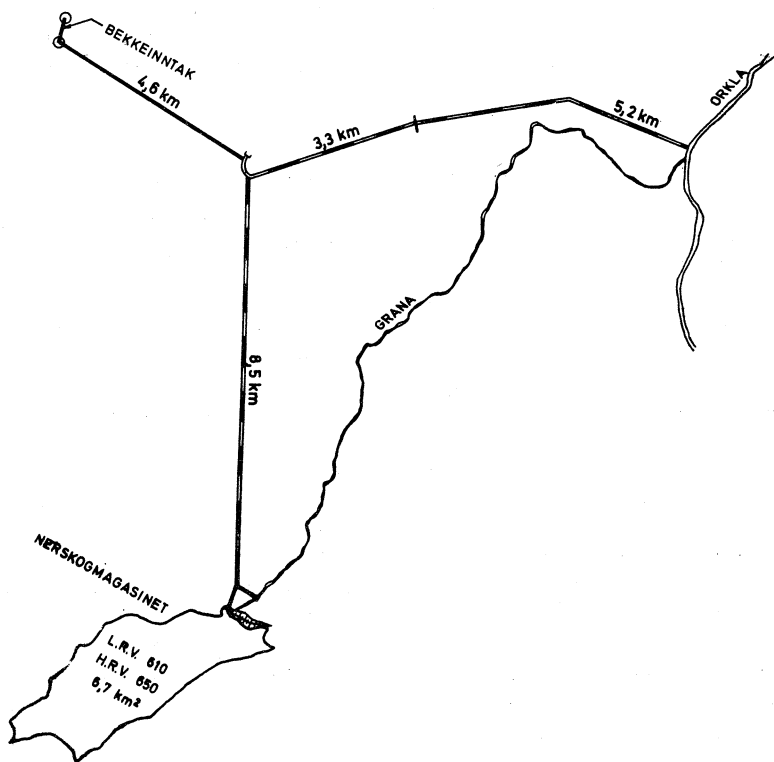
Avviket fra den normale temperatur vil også avta ved at vassdraget tilføres nye

og upåvirkede vannmengder nedstrøms kraftverket.

Det vil ha kommet fram av det overstående at den temperatur vi vil få et sted i et vassdrag etter en regulering er avhengig av mange forhold. Det forhold vi vil se nærmere på her er effekten av å legge et alternativt inntak for kraftverket nær vannoverflaten. Det virker rimelig å tro at tilsvarende effekter kan oppnås om mest mulig vann føres inn på kraftverket direkte gjennom bekkeinntak.

Størrelsen av det regulerede felt i forhold til det uregulerte spiller også en stor rolle.

I vurderingen er det benyttet en numerisk modell der temperaturen i det framtidige magasinet er forsøkt beregnet. Disse beregningen er basert på antagelser. Før verifisering ved feltmålinger bør en derfor være oppmerksom på at enkelte resultater er beheftet med betydelig usikkerhet.



Figur 3. Vassdrags- og overføringstunneller knyttet til Grana kraftverk.

I hovedsak vil vanntemperaturen i Orkla i analyseperioden bli kaldere etter kraftutbyggingen i Grana. Vi har hatt som hovedoppgave å vurdere hvor mye en kan redusere denne temperatursenkningen med ved å bygge et inntak til kraftverket nær overflaten i Nerskogmagasinet (Granasjøen). Dette sett i forhold til et tradisjonelt bunninntak. En slik vurdering belyser hva en teknisk løsning kan gi som gevinst når allerede utbygging er bestemt. Det har i denne omgang ligget utenfor oppdragets ramme å ta hensyn til temperaturendringene p.g.a. de to større magasinene øverst i Orkla-vassdraget, Falingnsjø og Innerdalsvatn.

## BEREGNINGSGRESULTATER

Vi vil i det følgende punktvis trekke fram de viktigste konklusjoner vi har kommet fram til.

1. For et middelår (1961) vil temperaturen i Orkla senkes med omlag  $1^{\circ}\text{C}$  eller mer i 50% av sommeren som følge av Granautbyggingen når det forutsettes at uttaket er i bunnen av magasinet. Bare i 10% av tiden vil temperaturereduksjonen være større enn  $2^{\circ}\text{C}$ . Denne temperatursenkningen vil reduseres ved at inntaket legges til overflaten. Reduksjonen vil variere fra tilnærmet null tidlig på sommeren og seint på høsten til  $0,7^{\circ}\text{C}$  i varme perioder på sommeren. I 50% av tiden vil reduksjonen være mindre enn  $0,4^{\circ}\text{C}$ .
2. For et relativt varmt år (1965) vil temperaturen i Orkla senkes med omlag  $1^{\circ}\text{C}$  eller mer i 50% av sommeren som følge av Granautbyggingen når det forutsettes at uttaket er i bunnen av magasinet. I 10% av tiden vil tem-

peraturen reduseres med mer enn  $3,5^{\circ}\text{C}$ . Reduksjonen i temperatursenkningen ved å legge inntaket til nær overflaten vil maksimalt være  $1,4^{\circ}\text{C}$  og 50% av tiden vil reduksjonen være mindre enn  $0,6^{\circ}\text{C}$ .

3. Temperaturavviket vi vil få i Orkla ved Granas utløp vil være omlag halvert ved Orkanger om vi bare tar hensyn til varmeutvekslingen med atmosfæren. I tillegg kommer den utjevning av temperaturavvik som skyldes lokal tilvenning i Orkla.
4. Størrelsen av temperaturendringene i Orkla er et resultat av temperaturene på vannmassene som inngår og forholdet mellom vannmengdene til de respektive vannmasser. Det er viktig å være klar over dette. Figur 4 belyser forholdene for en midlere tilstand i et relativt varmt år (1965). Resultatene bygger på simulerte data for vannføringene en vil ha når hele Orklavassdraget er utbygget.

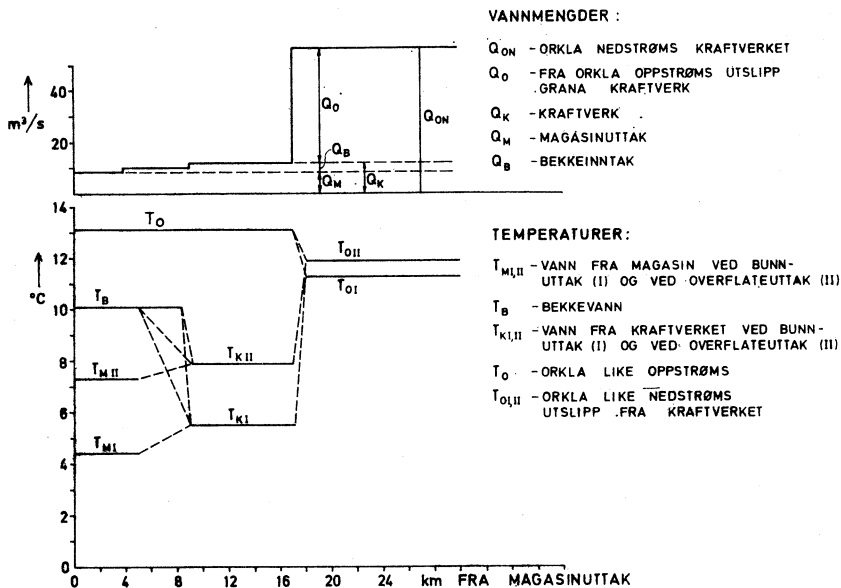
## SLUTTKOMMENTARER

Av figur 4 framgår det at temperaturendringen i Orkla p.g.a. Granautbyggingen blir sterkt dempet p.g.a. at vannmengden fra reguleringsmagasinet ( $Q_M$ ) utgjør en mindre del av vannet nedstrøms kraftverksutslippet ( $Q_{ON}$ ). Dette indikerer at en til en viss grad kan ta hensyn til temperaturendringene ved en endret kjøring av kraftverkene.

I et tenkt tilfelle uten fortynningsmuligheter av vannet fra reguleringsmagasinet, d.v.s. i et tilfelle hvor hele vannføringen ovenfor kraftverksutslippet hadde kommet fra et magasin, ville temperaturendringene blitt betydelig større. I en slik situasjon ville ikke temperaturendrin-

ger rundt  $8^{\circ}\text{C}$  ( $(T_O - T_{M1})$  i figur 4) være urealistiske. Gevinsten ved selektiv uttapping fra reguleringsmagasinet ville

da ha blitt betydelig større enn det som er tilfelle i eksemplet Grana-utbyggingens innvirkning i Orkla.



Figur 4. Et eksempel (midlere situasjon i 1965) på de ulike vannmassenes betydning for temperaturendringene i Orkla som følge av Grana kraftverk.

## REFERANSER

- Berge, F. S., Thendrup, A., «Temperaturendringer i Orkla som følge av kraftutbyggingen.» En teoretisk betraktning av temperaturendringer i Orkla som følge av Grana kraftverk. VHL, Trondheim, 1979.
- Keeley, J. W., Mabloch, J. L., Barco, J. W., Gunnison, D., Westhoff, J. D.: «Reservoirs and Waterways». Technical report E-78-1. Environmental Laboratory. U.S. Army Engineer aterways Laboratory Experiment Station, 1978.
- Holtan, H.: «Selbusjøen og Jonsvannet. En limnologisk undersøkelse». NIVA, Oslo 1961.