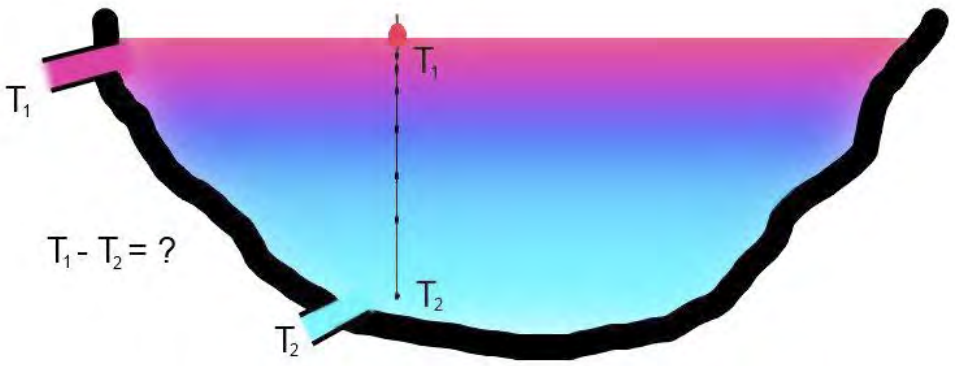
Vanntemperatur i kraftverksmagasiner

Hvilke temperaturforskjeller kan oppnås ved bruk av flere inntaksdyp?

Ånund Kvambekk, Norges vassdrags- og energidirektorat

7
2012

RAPPORT MILJØBASERT VANNFØRING



FoU-programmet Miljøbasert vannføring

Programmet Miljøbasert vannføring skal styrke det faglige grunnlaget for god forvaltning av regulerte vassdrag. Det skal bidra til at miljøhensyn blir ivaretatt på en balansert og åpen måte med spesiell fokus på fastsettelse av minstevannføring og andre avbøtende tiltak.

Miljøkunnskap er aktuelt i forbindelse med nye vassdragskonsesjoner, revisjon av vilkår i gamle konsesjoner, miljøtilsyn og oppfølging av vannressursloven og EUs vanndirektiv. Programmet finansieres av Olje- og energidepartementet, og er forankret i Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).

Programmets fase II har en tidsramme på fem år (2007-2011). Programmet er organisert med en styringsgruppe, bestående av representanter fra NVE, Direktoratet for naturforvaltning og energibransjen. Ressurspersoner fra nasjonale og regionale myndigheter bistår med fagkompetanse. Den daglige ledelsen av programmet er knyttet til Skred- og vassdragsavdelingen i NVE.

Vanntemperatur i kraftverkssmagasiner

Hvilke temperaturforskjeller kan oppnås ved bruk av flere inntaksdyp?

Norges vassdrags- og energidirektorat
2012

Rapport nr. 7 – 2012

Vanntemperatur i kraftverksmagasiner

Hvilke temperaturforskjeller kan oppnås ved bruk av flere inntaksdyp?

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfatter: Ånund Sigurd Kvambekk

Trykk: NVEs hustrykkeri
ISSN: 1502-234X
ISBN: 978-82-410-0805-4
Forsidefoto: Skisse av et tverrprofil gjennom et magasin med to inntak

Sammendrag: Vanntemperaturen er målt i flere dyp i 8 vann/magasiner, ett år pr. innsjø og i tre ulike høydeintervaller: 350–700 moh., 900–1000 moh. og 1200–1400 moh., som også kan beskrives som henholdsvis skog, lave fjellområder og høyfjell. Det er lagt vekt på å måle i vann uten dominerende gjennomstrømning slik at resultatene kan generaliseres. Ut ifra målte vanntemperaturer og værforholdene i måleperioden er det utarbeidet en tabell som viser hvilke temperaturforskjeller en kan få ved å bygge kraftverket med flere inntaksdyp. Tabellen viser hver kombinasjon av inntaksdyp delt inn i høyde over havet og værtype. Ved magasiner som ligger skjermet i skogen kan man i en varm og stille sommer få 10–15 grader varmere vann fra et overflateinntak enn et i 40 m dyp. I kalde og vindfulle somre i høyfjellsmagasiner kan tilsvarende forskjell bare være 2–3 grader. Om vinteren oppnås det bare en tidsmessig refordeling av vanntemperaturen.

Emneord: Vanntemperaturvertikaler, reguleringsmagasiner, inntaksdyp.

Norges vassdrags- og energidirektorat
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no

juli 2012

Innhold

Forord 5

Sammendrag 7

Innledning 9

1. Observasjoner 11

1.1 Målesteder 11

2. Resultat 13

2.1 Døgnmidler av observasjonene 13

2.2 Utløpstemperatur 17

2.3 Sommer 17

2.4 Vinter 23

3. Diskusjon 26

3.1 Vind, bølger, blanding av vannmassene 26

3.2 Lufttemperatur, energiutveksling med vannet 27

3.3 Vind og lufttemperatur de siste 10 år 27

3.4 Lufttemperatur i måleårene 28

3.5 Generalisering av målingene 29

4. Konklusjoner 31

5. Litteraturliste 32

Forord

Vanntemperaturen er svært viktig for livet i et vassdrag, både for artssammensetning og vekstforhold. I et naturlig vassdrag med innsjøer kommer elvevannet fra det øverste laget i innsjøene. Ved regulering tappes vannet fra langt dypere lag, der vanntemperaturen er helt forskjellig fra det øverste laget. Som regel bygges det bare ett inntak plassert under LRV (laveste regulerte vannstand), slik at inntaket kan brukes på alle magasinvannstander.

For å redusere påvirkningen på vanntemperaturen i elva nedstrøms kraftverksutløp kan en bygge flere inntak fordelt på ulike dyp i magasiner. Dette er imidlertid kostbart, og kostnadene må stå i forhold til nytten i form av reduserte negative virkninger på vanntemperaturen og de økologiske forhold. Dersom vannmassene i magasinet er gjennomblandet vil tapping fra ulike dyp ikke ha noen hensikt.

Det finnes svært få kontinuerlige temperaturserier fra vann i høyere strøk. Arbeidshypotesen har vært at mer vind med høyden gir mer gjennomblanding. På basis av de innhentede dataene gir prosjektet generelle anslag for vanntemperaturer i ulike dyp, i magasiner i ulike høyder over havet og med ulik vindeksponering. Dette gir et grunnlag for å anslå hvilke temperaturforbedringer en kan oppnå ved bruk av flere inntak i de ulike kategoriene av innsjøer.

Prosjektet har pågått fra høsten 2008 til våren 2012 og til sammen 8 innsjøer i tre ulike høydeintervaller er undersøkt, både regulerte og uregulerte innsjøer. Prosjektet er ledet av Ånund Sigurd Kvambekk ved Hydrologisk avdeling i NVE, med assistanse av Kjetil Melvold og Ragnar Ekker, også NVE.

Steinar Schanche
leder styringsgruppe

Anne Haugum
programleder

Sammendrag

Mange regulerte vassdrag har i dag betydelig lavere vanntemperatur om sommeren enn før reguleringen, som igjen medfører endringer i biologien, både i vekst og artsfordeling. Årsaken ligger i at vannet oftest tappes fra under LRV (laveste regulerte vannstand), i motsetning til overflateavløp i en normal innsjø. Om vinteren gir dette noen få grader varmere vann til vassdraget, med en lengre isfri strekning nedstrøms utløpet. Isdekket gir bedre skjul for ungfisken for predatorer, så lang isfri strekning i lakseelver er å anse som negativt.

Det har vist seg at man kan redusere disse temperaturforskjellene ved å tappe vannet nær overflaten i stedet for i dypet. Ett alternativ er derfor å bygge flere inntak, slik at man alltid tapper fra inntaket nærmest overflaten ettersom vannstanden endrer seg i magasinet. Bygging av flere inntak er fordyrende og må vurderes i forhold til forventet endring i vanntemperatur, isdekke og økologiske forhold.

I andre land finner man flere eksempler på bruk av flere inntaksdyp i kraftverk. Et søk på ”selective withdrawal water temperature” gir mange relevante treff, men rapportene viser enkeltprosjekter og har derfor begrenset overføringsverdi, såfremt man ikke finner et prosjekt med omtrent samme klima, gjennomstrømning, dybde og vindeksponering. I dette prosjektet har vi nettopp fokusert på overføringsverdi ved å observere magasiner i norsk klima med ulik vindeksponering og forsøkt å generalisere måleresultatene.

Det finnes få kontinuerlige målinger av vanntemperaturvertikaler i Norge (måling av vanntemperaturen i flere ulike dyp), og de fleste er gjort i lavlandet og/eller i magasiner med stor gjennomstrømning som vanskeliggjør generalisering. Dette prosjektet har derfor samlet inn temperaturdata fra tre høydeintervaller; 350–700 moh., 900–1000 moh. og 1200–1400 moh., som også kan beskrives som henholdsvis skog, lave fjellområder og høyfjell. Det er målt i 2-3 vann i én sesong i hvert høydeintervall, både i regulerte og uregulerte vann. Samtidig er vanntemperaturen i utløpselvene eller i tappevannet målt. Det er lagt vekt på å finne magasiner uten dominerende gjennomstrømning.

Differansen mellom vanntemperaturer i ulike dyp ble beregnet fra målingene. Det tilsvarer da temperaturforskjeller en vil få ved å bruke ulike inntaksdyp. Det vil alltid være noe innblanding av vann fra både over og under inntaksdypet, og måling av temperaturen ut av magasinene viser en tendens til at en spesielt drar med seg litt varmere vann enn forventet når inntaksdypet om sommeren er i eller like under termoklinen (=der temperaturen endres mest med dypet). Været de siste 10 årene ble analysert for å se om måleperioden avvek fra middelet i denne perioden. Vindhastigheten er spesielt viktig for blanding av vannmasser.

Fra de målte differansene mellom ulike dyp i innsjøene er observasjonene generalisert til værtypene ”Kaldt og mye vind”, ”Normal” og ”Varmt og mye vind”.

Det er laget en tabell som viser forventet temperaturforskjell mellom noen inntaks-dyp for hver værtype i hvert av de tre høydeintervallene. Tabellen er vist under og nærmere beskrevet i kapittel 3.5.

	350-700 moh (skog)			900-1000 moh (lavtliggende fjell)			1200-1400 moh (høyfjell)		
	Kaldt og mye vind	Normal	Varmt og lite vind	Kaldt og mye vind	Normal	Varmt og lite vind	Kaldt og mye vind	Normal	Varmt og lite vind
Overflate-10 m	1-2 °C juni-aug	4-6 °C juni-aug	5-9 °C juni-aug	0-1 °C aug	1-3 °C aug	2-6 °C juli-aug	0-1 °C aug	1-2 °C aug	2-5 °C juli-aug
Overflate-20 m	3-4 °C juni-aug	6-8 °C juni-aug	8-12 °C juni-aug	1-2 °C aug	3-5 °C aug	6-9 °C juli-aug	1-2 °C aug	2-4 °C aug	5-8 °C juli-aug
Overflate-40 m	6-8 °C juni-aug	8-10 °C juni-aug	11-15 °C juni-aug	2-3 °C juli-aug	6-8 °C juli-aug	8-11 °C juli-aug	2-3 °C juli-aug	4-6 °C juli-aug	7-10 °C juli-aug
5 m-20 m	3-4 °C juli-aug	5-7 °C juli-aug	7-11 °C juli-aug	1-2 °C juli-aug	5-6 °C juli-aug	6-8 °C juli-aug	1-2 °C juli-aug	2-4 °C juli-aug	4-6 °C juli-aug
5 m-40 m	6-8 °C juli-aug	7-9 °C juli-aug	9-11 °C juli-aug	1-3 °C juli-aug	5-7 °C juli-aug	6-9 °C juli-aug	1-3 °C juli-aug	3-5 °C juli-aug	4-7 °C juli-aug
10 m-20 m	1-3 °C aug	2-5 °C aug	2-4 °C aug	1-2 °C aug	2-5 °C aug	2-4 °C aug	1-2 °C aug	1-3 °C aug	2-4 °C aug
10 m-40 m	2-5 °C aug	3-8 °C aug	3-6 °C aug	1-3 °C aug	3-6 °C aug	2-5 °C aug	1-3 °C aug	3-5 °C aug	2-5 °C aug

Tabellen viser at temperaturforskjeller mellom uregulert og regulert utslipp kan reduseres betydelig ved bygging av flere inntak, helt opp mot 15 °C i noen sommer-situasjoner. Men tabellen viser også at beliggenhet er svært avgjørende. Kvalitativt kan vi si at lavtliggende magasiner vil gi de største temperaturforskjellene, og en vil få størst temperaturforskjell med overflateinntak i varme somre med liten vind. I andre ytterpunkt finner man et høytliggende magasin i en kald og vindfull sommer, hvor vannmassene er mer eller mindre gjennomblandet.

Om vinteren kan man ikke endre temperaturen så mye, men omfordele temperaturen slik at en får kaldt vann i starten av vinteren og varmere vann når man må gå til dypere inntak. I spesielle tilfeller med stor gjennomstrømning kan man derimot opprettholde temperaturforskjeller nesten gjennom hele vinteren. Dette er tilfelle i Altaelva hvor øvre inntak brukes aktivt helt fram til 1. april.

Det er viktig å presisere at disse observasjonene og vurderingene bare gjelder for magasiner med lite gjennomstrømning, typisk magasiner uten andre magasiner oppstrøms. Trange passasjer med grunne terskler vil skape blanding i magasinene og kan forandre temperaturforholdene nedstrøms terskelen betydelig. En må også huske at målingene er foretatt i Sør-Norge. Når man forflytter seg nordover, blir tregrensen lavere. Man må da forskyve høydeintervallene tilsvarende.

Byggekostnadene ved flere inntak må vurderes opp mot fordelene for de økologiske forholdene. En må også huske at det er noe vanskeligere å drifte et kraftverk der man skal veksle mellom inntak. En må vurdere når det er gunstig for de økologiske forhold å bytte inntak, og man må unngå at det går tørt slik at man får medtrekk av luft.

Innledning

Mange regulerte vassdrag har i dag betydelig lavere vanntemperatur om sommeren enn før reguleringen (Roen, 1988), som igjen medfører endringer for de biologiske forhold, både i vekst og artsfordeling (Saltveit, 2006). Årsaken ligger i at vannet oftest tappes fra under LRV (laveste regulerte vannstand), i motsetning til overflate-avløp i en normal innsjø. Om vinteren gir dette noen få grader varmere vann til vassdraget, med en lengre isfri strekning nedstrøms utløpet (Asvall, 2010). Isdekket gir bedre skjul for ungfisken for predatorer (Finstad et al., 2005), slik at lang isfri strekning i lakseelver er å anse som negativt.

Det har vist seg at man kan redusere disse temperaturforskjellene ved å tappe vannet nær overflaten i stedet for i dypet. Ett alternativ er derfor å bygge flere inntak slik at man alltid tapper fra inntaket nærmest overflaten ettersom vannstanden endrer seg i magasinet. Bygging av flere inntak er fordyrende og må vurderes i forhold til forventet endring i vanntemperatur, isdekke og biologi.

I Norge er svært få kraftverk bygget med flere inntaksdyp. I NVEs databaser er dessverre ikke inntaksdyp registrert, så det er vanskelig å innhente informasjon. Så vidt vi vet er det bare Alta kraftverk som bruker flere inntak operasjonelt. Drikke-vannsforsyningen bruker oftere flere inntak, da mest for å kunne velge best vann-kvalitet. I andre land finner man derimot flere eksempler på bruk i kraftverk. Et søk på ”selective withdrawal water temperature” gir mange relevante treff. Sommer-temperaturen i Green River (Utah, USA) steg for eksempel fra 6 til 12 grader når de erstattet det gamle dype inntaket i Flaming Gorge Dam med variable inntak som tappet nærmere overflaten:
(http://www.ecoangler.com/habitat/Green_River/water_temperature.html).

Litteraturen viser at det til dels er betydelige temperaturgevinster å hente, men rapportene viser enkeltprosjekter og har derfor begrenset overføringsverdi, såfremt man ikke finner et prosjekt med omtrent samme klima, gjennomstrømning, dybde og vindeksponering. I dette prosjektet har vi nettopp fokusert på overføringsverdi ved å observere magasiner i norsk klima med ulik vindeksponering og forsøkt å generalisere måleresultatene.

I skogsområdene må man forvente å finne tydelige sprangsjikt og dermed betydelige temperaturforskjeller mellom overflate og bunn i magasinet. Ved høyereliggende magasiner vil vinden bryte ned sprangsjiktet, blande vannmassene og redusere temperaturforskjellene. Ved helt gjennomblandete vannmasser vil vanntemperaturen bli den samme både ved tapping i overflaten og tapping fra bunnen, og investeringen i flere inntak vil være bortkastet.

Det finnes få kontinuerlige målinger av vanntemperaturvertikaler i Norge (måling av vanntemperaturen i flere ulike dyp). De fleste er gjort i lavlandet og/eller i magasiner med stor gjennomstrømning, noe som vanskeliggjør generalisering. Dette prosjektet har derfor samlet inn temperaturdata fra tre høydeintervaller;

350–700 moh., 900–1000 moh. og 1200–1400 moh., som også kan beskrives som henholdsvis skog, lave fjellområder og høyfjell. Det er målt på 2–3 vann i én sesong i hvert høydeintervall, både regulerte og uregulerte vann. For å unngå gjennomstrømningsproblemer er det valgt magasiner med lite gjennomstrømning i måleområdet. Resultatene er brutt ned til tidsserier gjennom året som viser forventede temperaturforskjeller mellom ulike inntaksdyp som funksjon av høyde over havet.

1. Observasjoner

1.1 Målesteder

Prosjektmidlene ble fordelt over tre målesesonger og ble brukt til å instrumentere to reguleringsmagasiner i hver sesong. I tillegg valgte vi de to første sesongene fra egenfinansiering å instrumentere ett tilsvarende uregulert vann, samt elvene/utslippene ut av vannene. Vi valgte vann ut fra disse kriteriene:

- Høyde over havet. Tre høydesoner: skog, lave fjellområder, høyfjell. Målte i en sone i hver av de tre målesesongene.
- I samme høydesone mått vi finne to nærliggende regulerte vann og ett uregulert vann som likner i dyp og størrelse.
- Adkomst med bil.
- Minst 40 m dypt.
- Dypet er kartlagt.

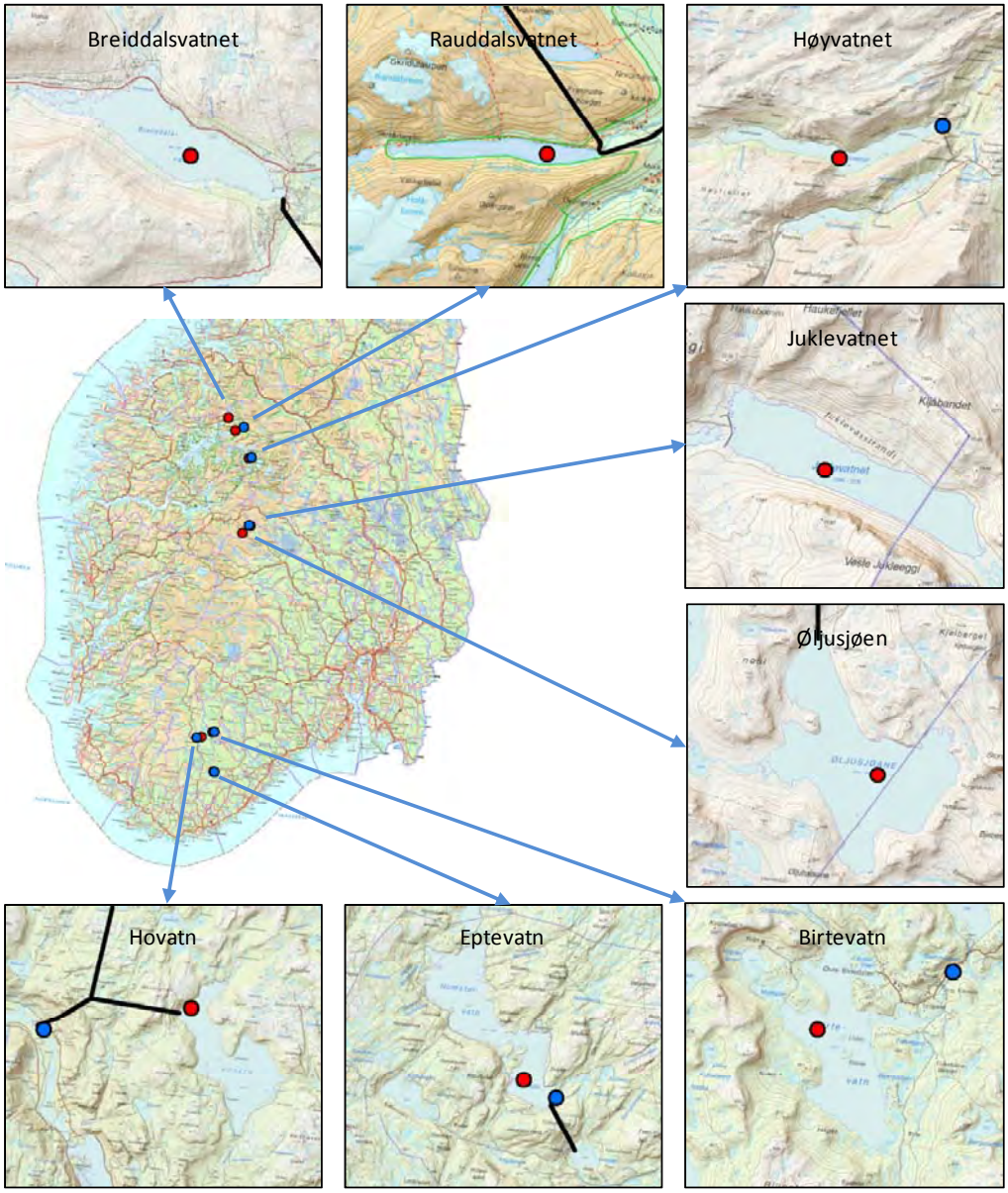
Det siste kriteriet viste seg umulig å oppfylle, da svært få vann er dybdekartlagt. Vi brukte derfor mye tid på å finne dypeste punkt på innsjøene ved hjelp av ekkolodd, og ett av vannene viste seg å være bare 30 m dypt. I siste målesesong fant vi heller ikke noe passende uregulert vann i nærheten av reguleringsmagasinene, så vi endte med målinger i 8 vann. Tabell 1.1 viser informasjon om vannene vi valgte, tabell 1.2 om loggerne i utløpet av vannene og figur 1.1 viser kartutsnitt med målestedene.

Tabell 1.1: Oversikt over stasjonene med vertikalmålinger. Stasjonsnummer, navn på vannet, høyde over havet, observasjonsperioden, om vannet er regulert eller ikke og største vellykkede observasjonsdyp.

Stnr	Vann	Høyde	Fra dato	Til dato	Regulert	Maks dyp
21.37.1	Hovatn	691 moh	08.10.2008	13.10.2009	Ja	30 m
20.10.2	Eptevatn	350 moh	09.10.2008	12.10.2009	Ja	26 m
19.56.1	Birtevatn	611 moh	10.10.2008	12.10.2009	Nei	40 m
2.835.2	Breiddalsvatnet	900 moh	15.10.2009	15.09.2010	Ja	38 m
2.836.3	Rauddalsvatnet	916 moh	15.10.2009	15.09.2010	Ja	40 m
2.1100.1	Høyvatnet	905 moh	14.10.2009	15.09.2010	Nei	40 m
73.107.1	Øljusjøen	1333 moh	07.10.2010	03.10.2011	Ja	50 m
73.106.1	Juklevatnet	1286 moh	07.10.2010	03.10.2011	Ja	40 m

Tabell 1.2: Oversikt over stasjonene i utløpet fra vannene. Stasjonsnummer, stasjonsnavn, observasjonsperioden og om elva er regulert eller ikke.

Stnr	Vann	Kommer fra	Fra dato	Til dato	Regulert
21.62.0	Hovatn kr.st.	Hovatn	09.10.2008	13.10.2008	Ja
20.47.0	Vindfetåna ndf. Eptevatn	Eptevatn	09.10.2008	12.10.2008	Ja
19.61.0	Tovslielva ndf. Birtevatn	Birtevatn	10.10.2008	12.10.2008	Nei
2.1050.0	Framrusti kr.st.	Rauddalsvatnet	15.10.2009	15.09.2010	Ja
2.1099.0	Høyvatnelvi ovf. Bøvre	Høyvatnet	14.10.2009	15.09.2010	Nei



Figur 1.1 Kartet viser observasjonsstedene. Rød ring markerer bøyer med målinger i flere dyp, mens blå ring markerer logger ved utløpet av kraftverket eller elvas utløp. Svarte tykke streker er kraftverkenes vannveier (tunneler).

Vanntemperaturmålingene ble utført med små loggere av typen Wemco Minilog med en nøyaktighet på 0.1 °C. En bøye ble forankret til bunnen med en 10 kg dregg, 2 m lang kraftig kjetting og et forlodd på ca. 5 kg, og deretter ankertau opp til bøyen. I bøyen hang et tynnere tau fritt hvor vi festet loggere i dypene 1, 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 20, 30, 40 og 50 m, dersom det var dypt nok. Når isen går om våren er det store krefter i spill hvis det blåser. Ankeret vil da vanligvis løsne og feste seg på nytt i en annen posisjon. Vi tar da en ”justeringstur” etter isløsningen for å flytte ankeret og bøyen tilbake på plass. Er bunnen grovsteinet risikerer man at ankeret kiler seg fast og tauet ryker. Da kan også loggerstrengen kile seg fast og ryke, og vi mister noen eller alle loggerne. Vi hadde slike tap på Øljusjøen.

2. Resultat

2.1 Døgnmidler av observasjonene

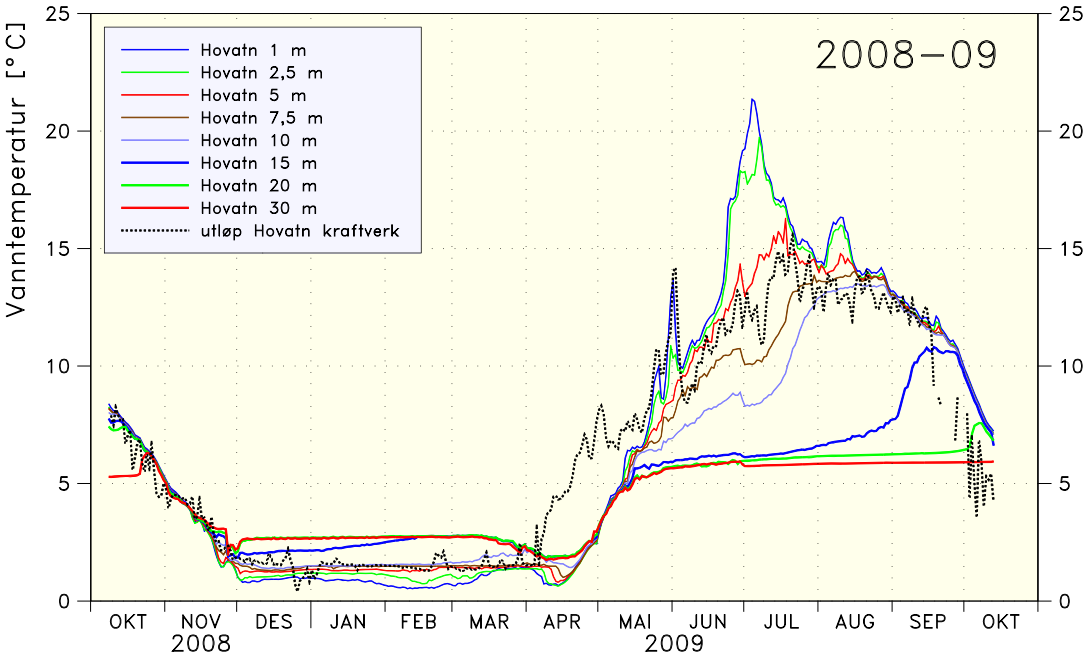


Fig. 2.1 Vanntemperaturer fra det regulerte Hovatn 691 moh. i perioden 8. oktober 2008 til 13. oktober 2009. Den nederste loggeren i 40 m dyp virket ikke. Sort striplet viser tapping fra ca. 12 m dyp i mai-juni, økende til 15 m i august.

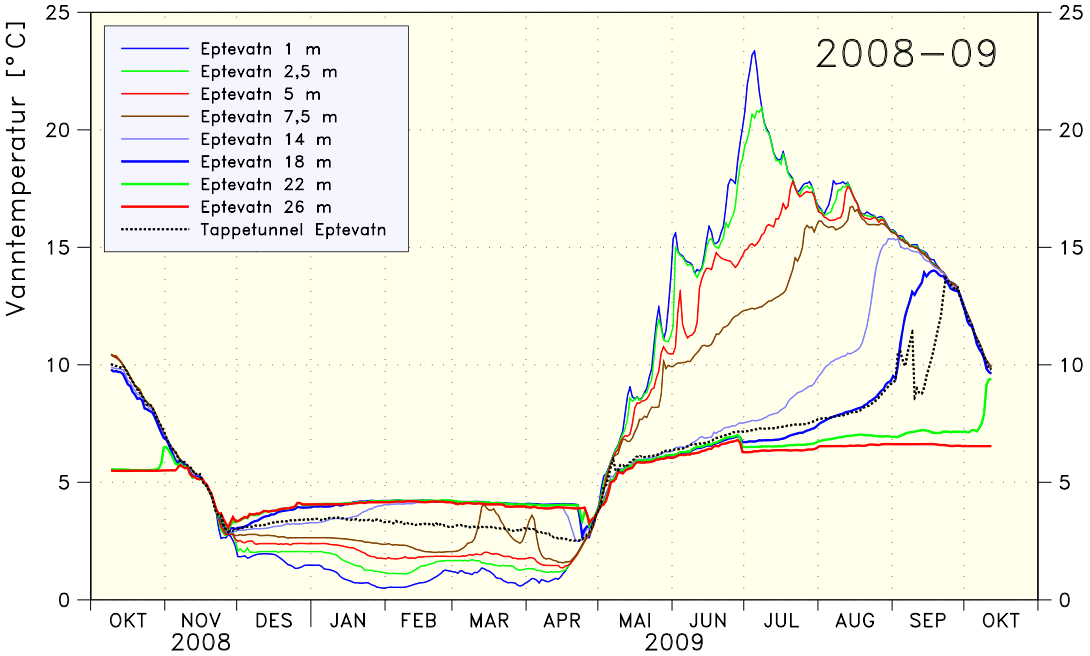


Fig. 2.2 Vanntemperaturer fra det regulerte Eptevatn 350 moh. i perioden 9. oktober 2008 til 12. oktober 2009. Loggeren i 10 m dyp virket ikke. Sort striplet linje viser tapping fra ca. 19 m dyp i mai-juni, økende til 22 m i august.

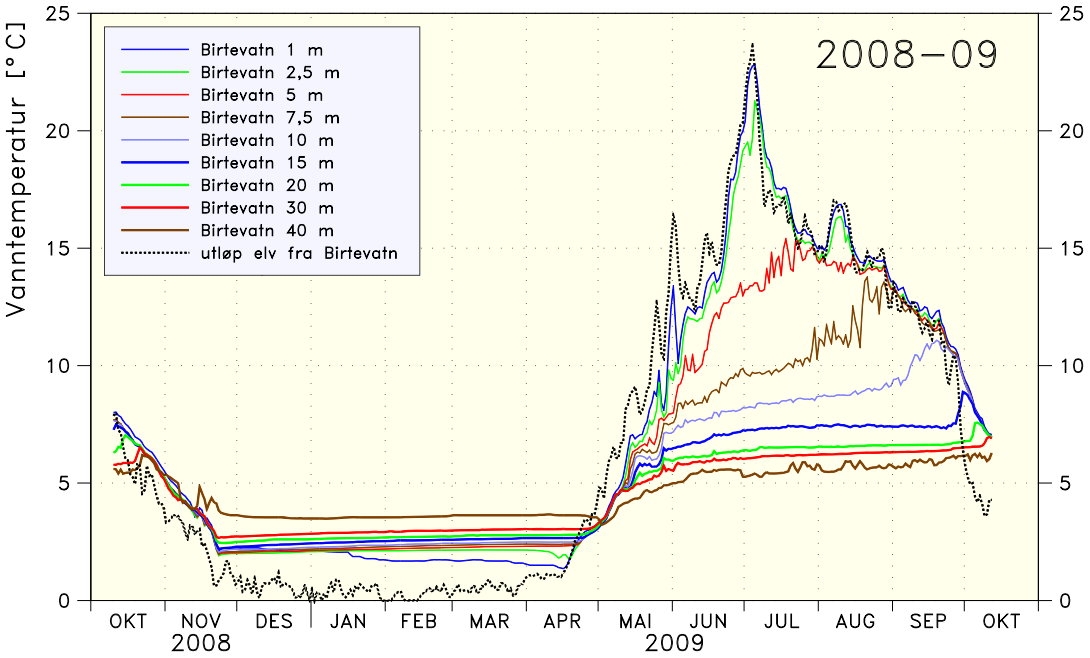


Fig. 2.3 Vanntemperaturer fra det uregulerte Birtevatn 611 moh. i perioden 10. oktober 2008 til 12. oktober 2009. Alle loggerne fungerte. Sort striplet linje viser vanntemperaturen i elva som renner ut av Birtevatn.

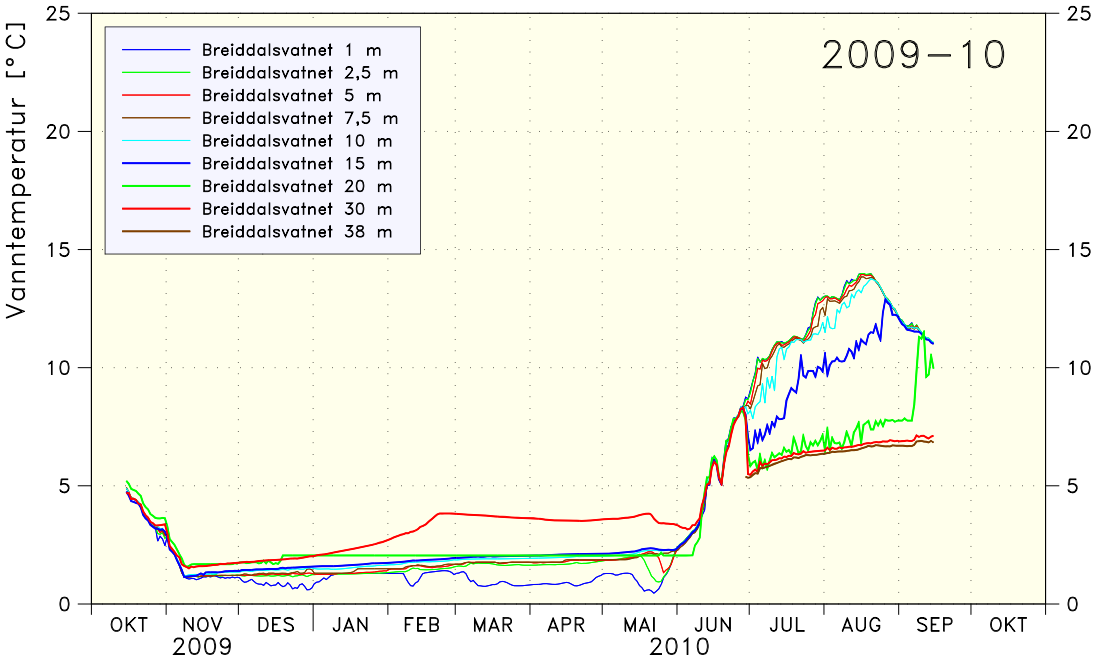


Fig. 2.4 Vanntemperaturer fra det regulerte Breiddalsvatnet 900 moh. i perioden 15. oktober 2009 til 15. september 2010. Den nederste loggeren i 38 m dyp forsvant i isløsningen våren 2010, og har derfor bare data fra 29. juni 2010.

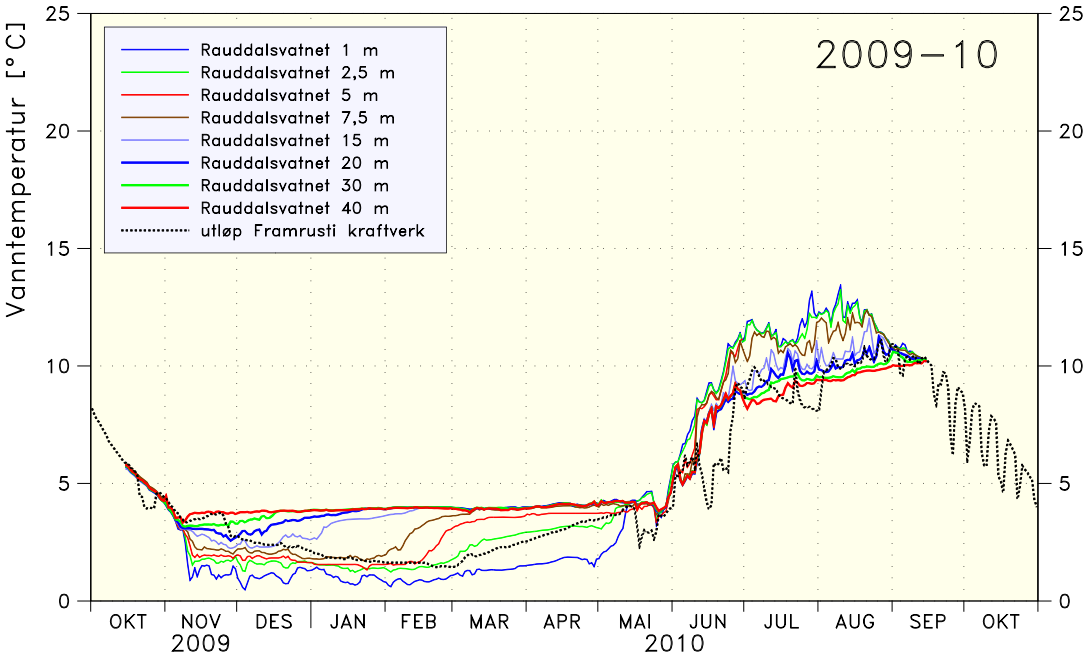


Fig. 2.5 Vanntemperaturer fra det regulerte Rauddalsvatnet 916 moh. i perioden 15. oktober 2009 til 15. september 2010. Loggeren i 10 m dyp virket ikke. Sort striplet linje viser tapping fra ca. 3 m dyp i mai, jevnt økende til 30 m i august. Merk at tapping fra Rauddalsvatnet er svært nær overføringen fra Breiddalsvatnet, som kan gi ekstra blanding.

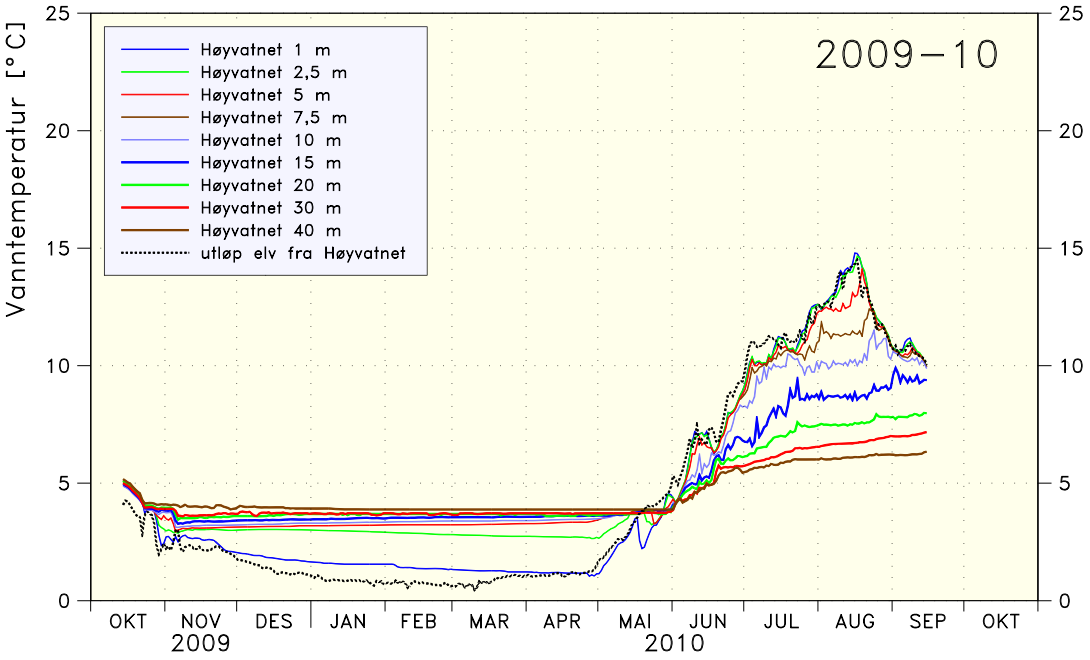


Fig. 2.6 Vanntemperaturer fra det uregulerte Høyvatnet 905 moh. i perioden 14. oktober 2009 til 15. september 2010. Loggeren i 7,5 m dyp virket ikke i første periode, men har data fra 29. juni 2010. Sort striplet linje viser vanntemperaturen i elva som renner ut av Høyvatnet.

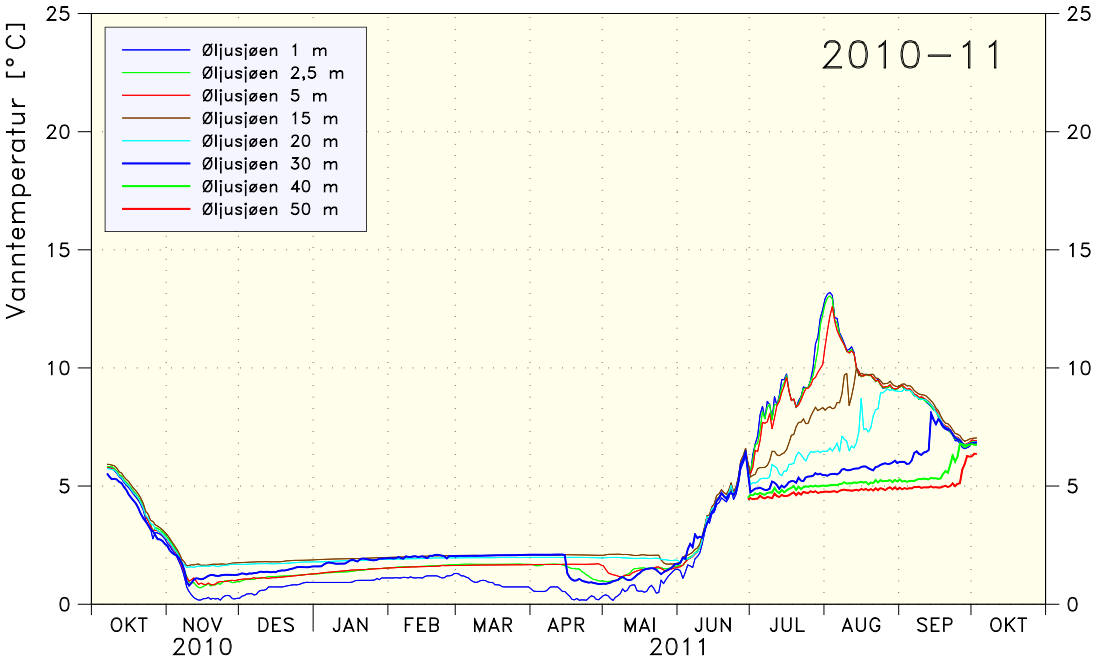


Fig. 2.7 Vanntemperaturer fra den regulerte Øljusjøen 1333 moh. i perioden 7. oktober 2010 til 3. oktober 2011. Det var opprinnelig to bøyer i Øljusjøen, men begge ble sterkt skadet i isløsningen. Restene ble lappet sammen til en bøye i juni 2011. Tapene ble ingen data i 7,5 og 10 m, mens det er kun data fra 30. juni 2011 i 40 og 50 m dyp.

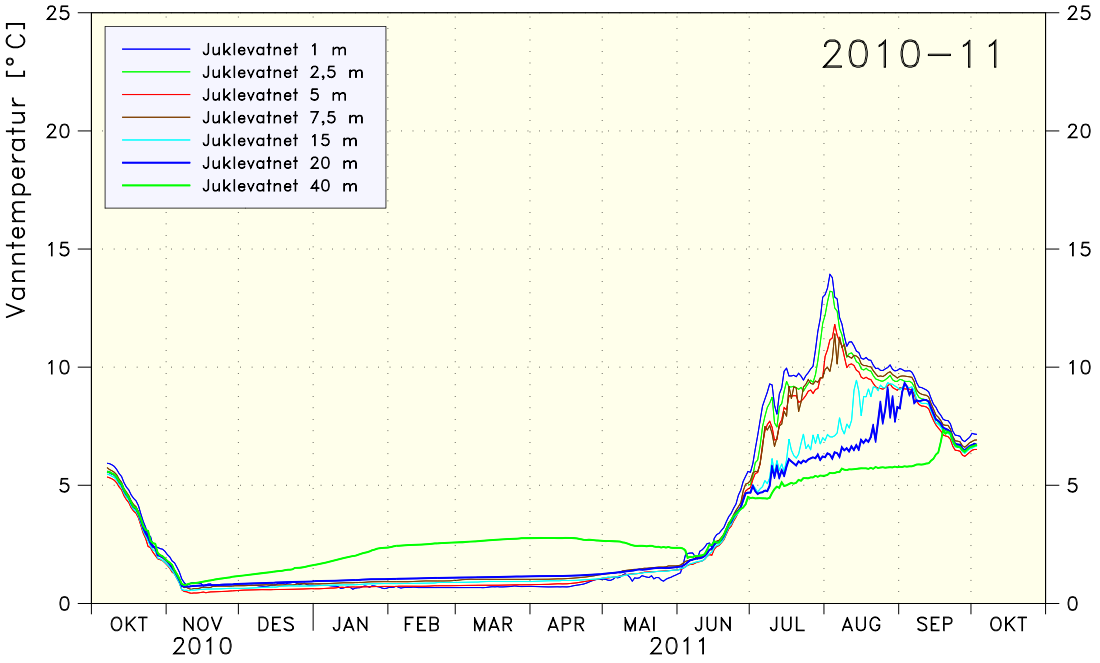


Fig. 2.8 Vanntemperaturer fra det regulerte Juklevatn 1286 moh. i perioden 7. oktober 2010 til 3. oktober 2011. Loggerne i 10 og 30 m dyp virket ikke.

Figurene 2.1 til 2.8 viser døgnmidler av de observerte vanntemperaturene i hver av innsjøene. Dybden er til enhver tid avstanden fra vannoverflaten. Det er ikke fjernet perioder der bøyen var drevet ut av posisjon eller de nederste loggerne lå på bunnen (viser da for stort dyp). I tillegg vises eventuelle vanntemperaturer målt i avløpet eller tappevannet (se kapittel 2.2) og en beskrivelse av variasjonen i tappedypet.

2.2 Utløpstemperatur

Ved to av de uregulerte vannene målte vi temperaturen i elva nedstrøms vannet (figur 2.3 og 2.6), og vi fikk bekreftet at vanntemperaturen ut av vannene er svært nær den vi måler i overflaten på innsjøen. Vannet trekkes altså fra overflaten. Det er viktig å være klar over at dette gjelder for innsjøer uten vesentlig gjennomstrømning av vann med avvikende temperatur. I Suldalsvatnet har man observert kaldere vann ut av innsjøen enn overflatetemperaturen skulle tilsi, noe som skyldes kaldt dykket vann fra Kvilldal kraftverk (Kvambekk, 2004).

I tre av magasinene ble det også målt vanntemperatur på vannet ut av kraftverkene eller i en tappetunnel. Alle inntakene var under LRV, men ettersom magasinene tappes ned om vinteren og fylles opp utover sommeren vil inntaksdypet variere. I figurteksten under figurene 2.1, 2.2 og 2.5 er inntaksdypet angitt. Utløpstemperaturen fra Rauddalsvatnet (Framrusti kraftverk) blir påvirket av at overføringen fra Breiddalsvatnet munner ut svært nær kraftverksinntaket. Fra de andre to tappetemperaturene (fig. 2.1 og 2.2) ser vi en tendens til at vanntemperaturen ut er litt høyere enn bare dypet skulle tilsi, noe som tyder på at det relativt sett dras mer vann med fra over inntaksdypet enn under. Vi har sett liknende høyere temperaturer i Follsjø i Trollheimen (Kvambekk, 2001), men der er det gjennomstrømning fra Gråsjø som kompliserer bildet. Særlig ser det ut til at driftsvannets temperatur blir høyere enn dypet skulle tilsi, dersom inntaksdypet ligger i eller like under termoklinen (=dypet der vanntemperaturen endres mest).

2.3 Sommer

I analysen konsentrerer vi oss først om sommeren, da magasinene som regel er nærmere HRV (høyeste regulerte vannstand) enn om vinteren. Dermed er det mindre sannsynlig at de nederste loggerne legger seg på bunnen. Vi fjernet da alle data i vinterhalvåret, her definert som tiden mellom vår- og høstsirkulasjon, dvs. tiden da det er 4 °C i hele vannsøylen. I tillegg måtte vi fjerne dataene fra vårsirkulasjonen til vår ”justeringstur” i slutten av juni for loggerne på Breiddalsvatnet og Øljusjøen. Ankeret slet seg i vårløsningen på disse, og dermed hang strengen svært skrått og målte i nesten samme dyp. Nye ankre ble montert, og målingene gikk fint gjennom sommeren.

Dataene ble så midlet til 10-døgnsmidler og interpolert til dypene 2.5 m, 5 m, 10 m, 20 m, 30 m, 40 m og 50 m. Vi fikk dermed komplette serier, selv om noen av loggerne i disse dypene hadde sviktet. Det ble aldri interpolert dypere enn den dypeste vellykkede målingen. Derfor er det ikke data i 40 m i Hovatnet, og det er bare Øljusjøen som hadde målinger i 50 m dyp.

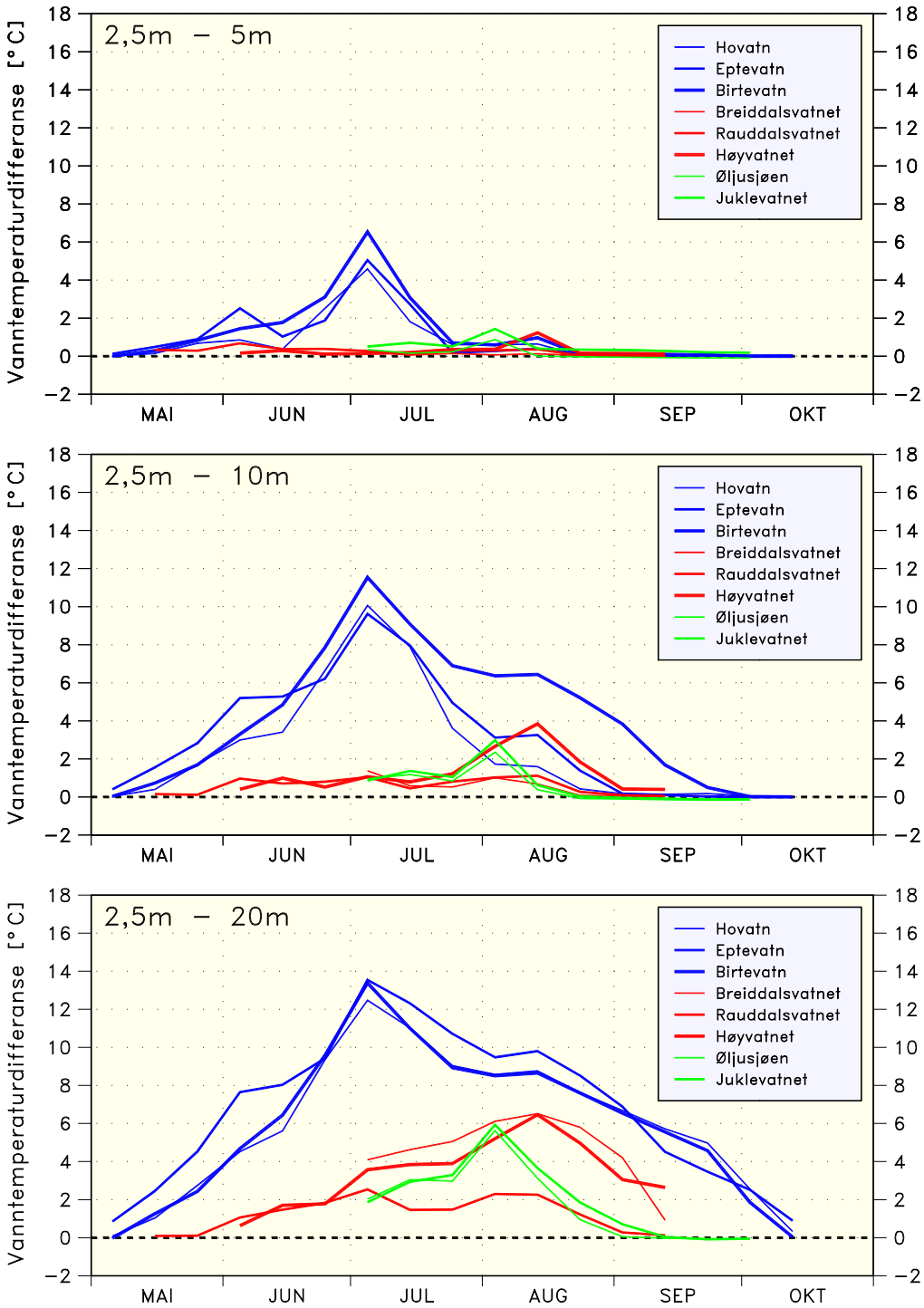


Fig. 2.9 Figuren viser hvor mye varmere vann hentet fra 2,5 m dyp er enn vann hentet fra henholdsvis 5, 10 og 20 m dyp. Dataene er 10-døgnsmidler.

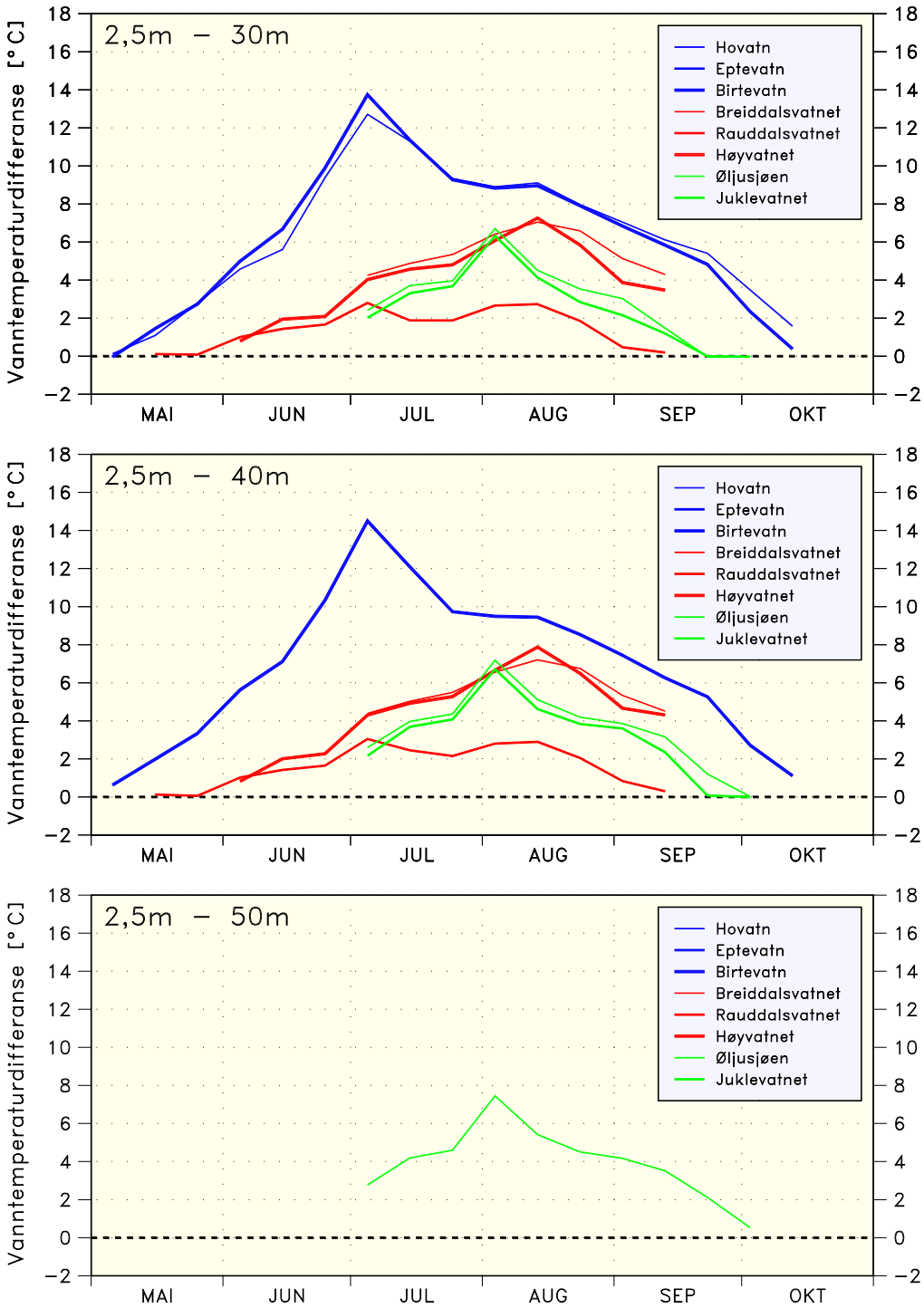


Fig. 2.10 Figuren viser hvor mye varmere vann hentet fra 2,5 m dyp er enn vann hentet fra henholdsvis 30, 40 og 50 m dyp. Dataene er 10-døgnsmidler.

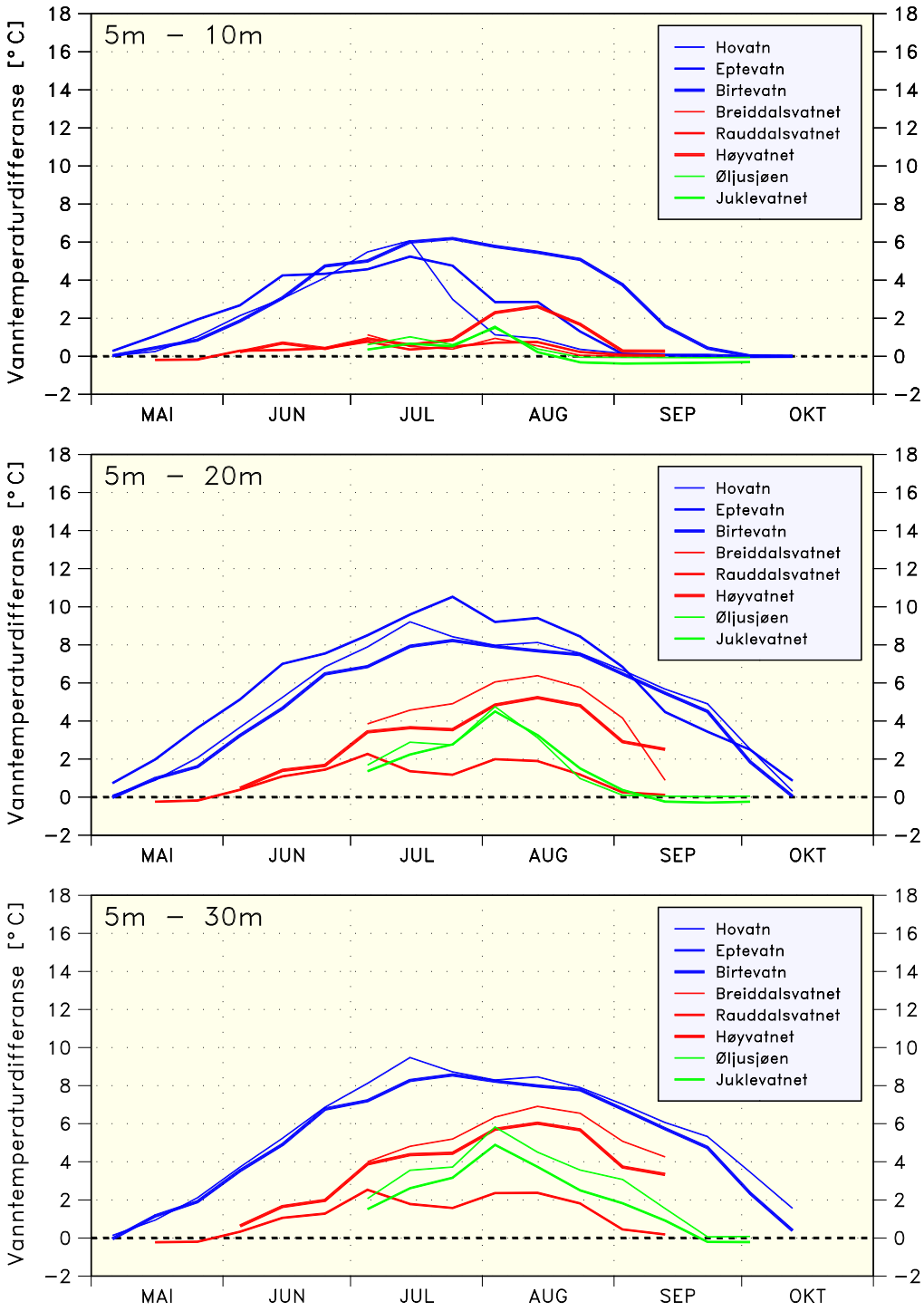


Fig. 2.11 Figuren viser hvor mye varmere vann hentet fra 5 m dyp er enn vann hentet fra henholdsvis 10, 20 og 30 m dyp. Dataene er 10-døgnsmidler.

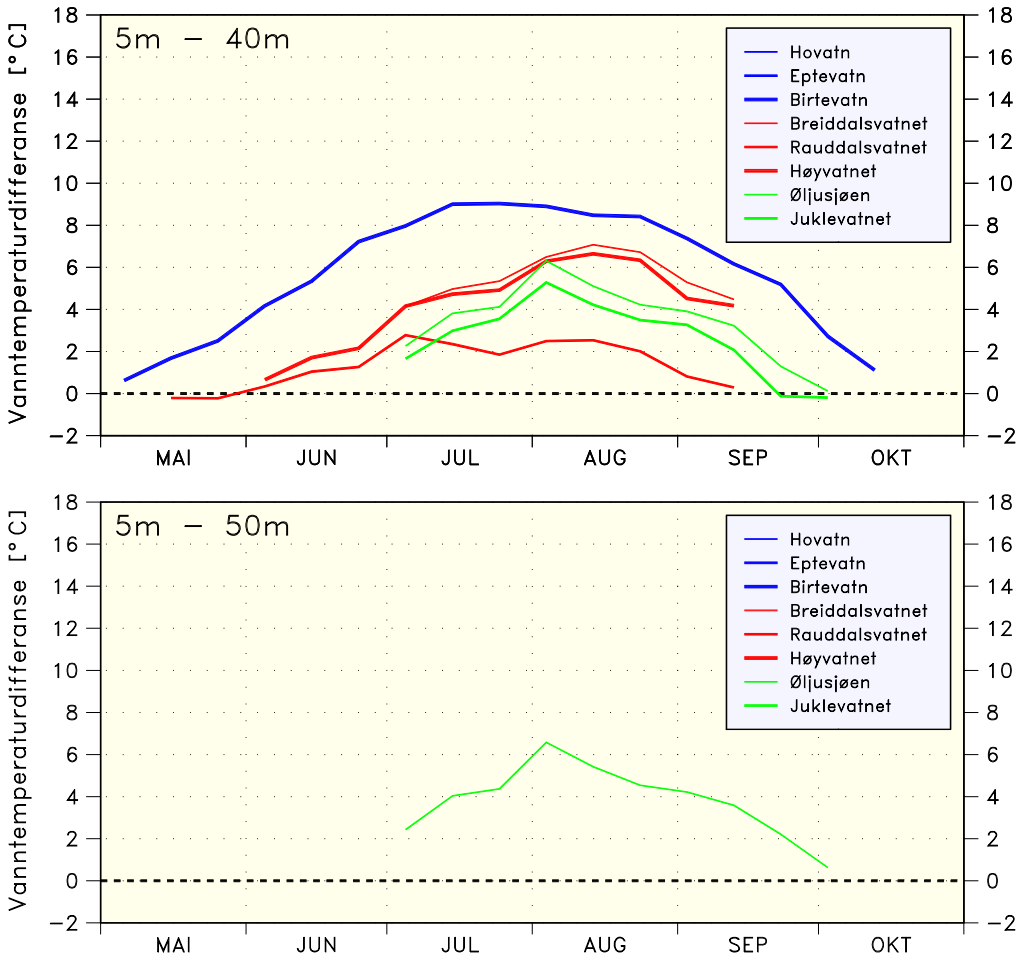


Fig. 2.12 Figuren viser hvor mye varmere vann hentet fra 5 m dyp er enn vann hentet fra henholdsvis 40 og 50 m dyp. Dataene er 10-døgnsmidler.

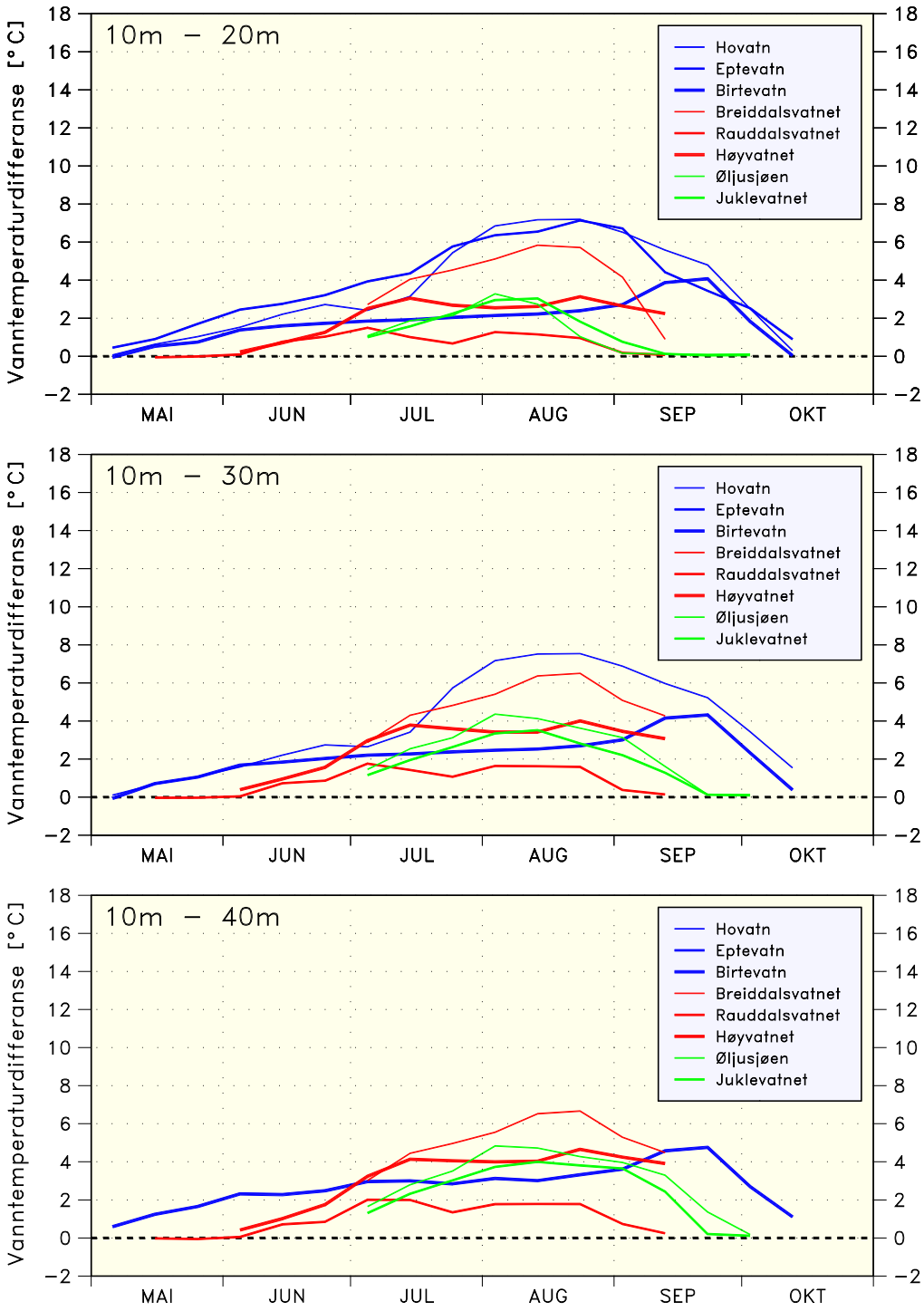


Fig. 2.13 Figuren viser hvor mye varmere vann hentet fra 10 m dyp er enn vann hentet fra henholdsvis 20, 30 og 40 m dyp. Dataene er 10-døgnsmidler.

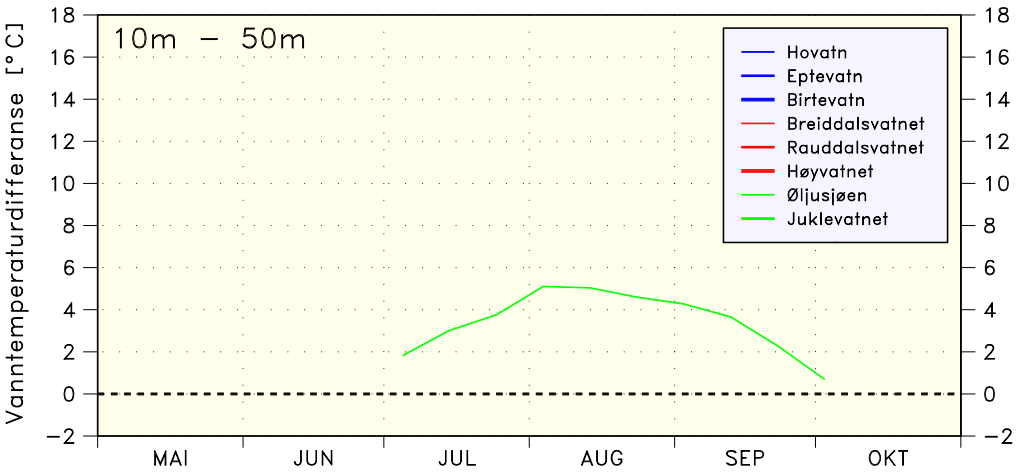


Fig. 2.14 Figuren viser hvor mye varmere vann hentet fra 10 m dyp er enn vann hentet fra 50 m dyp. Dataene er 10-døgnsmidler.

Fra disse interpolerte 10-døgnsmidlene ble det beregnet temperaturdifferanser mellom ulike dyp. Figurene 2.9 til 2.14 viser temperaturdifferansene der de ”øvre” inntakene er henholdsvis 2.5 m, 5 m og 10 m. Stasjonene er gruppert etter høyden, slik at blå streker er for 350–700 moh., røde streker er for 900–1000 moh. og grønne streker er for 1200–1400 moh. En ser tydelig at temperaturdifferansen mellom de ulike inntaksdypene avtar med høyden opp til rundt 900 moh. Differansen er liten dersom magasinet ligger høyere enn 900 moh.

Dersom inntaket ligger under 20 m dyp, kunne en i måleåret 2009 tappet 10–14 grader varmere vann ved et inntak nær overflaten på magasiner i skogsområdene (350–700 moh.), med størst forskjell i juni/juli (figur 2.9 nederst). I fjellområdene blåser det mer, og det tar lenger tid å opparbeide et varmere overflatelag. I måleårene 2010 og 2011 kunne vi bare få 2–6 grader varmere vann der, og forskjellen var størst på sensommeren.

Selv hvis konstruksjonen gir deg valg mellom 10 og 20 meters inntaksdyp, viser målingene at en kan få temperaturforskjeller i størrelsesorden 2–7 grader, mest i lavtliggende magasiner (figur 2.13 øverst). I disse dypene var temperaturforskjellen størst på sensommeren, også i lavtliggende magasiner.

De reelle temperaturforskjellene er som nevnt trolig litt mindre på grunn av medtrekking av varmere vann fra lag over inntaket, og en må ta hensyn til at dette bare er en enkelt målesesong. Skiftende værforhold spiller en viktig rolle.

2.4 Vinter

Om høsten avkjøles vannmassene til 4 °C gjennom hele vannmassen (høstsirkulasjon). Når overflatelaget blir kaldere enn 4 °C blir det liggende i ro, da det er lettere enn det underliggende vannet. Det er derfor tilstrekkelig å avkjøle et tynt overflatelag til frysepunktet for å kunne få islegging. Men når det blåser, blandes vannmassene slik at nedkjølingen må starte på nytt. Isen legger seg når det er stille i et par dager, og overflatelaget er nedkjølt til frysepunktet. På godt skjermete vann,

typiske skogsvann, er det ofte vindstille perioder. Isen legger seg da tidlig etter at overflaten er avkjølt til frysepunktet, og det er derfor ofte bare et tynt lag som er nedkjølt under 4 °C. På store og vindeksponerte vann vil derimot vannet oftest være nedkjølt et par grader i flere titalls meters dyp før islegging.

På store vann vil det derfor være stor variasjon fra år til år på isleggingstidspunktet, dels fordi nedkjølingen varierer med lufttemperaturen det året, og dels fordi det er svært variabelt hvor lenge man må vente på en tilstrekkelig vindstille periode etter at avkjølingen er fullført.

Når isen har lagt seg, endrer vanntemperaturen seg lite før våren i uregulerte vann med liten gjennomstrømning. I regulerte vann vil vann trekkes ut fra inntaksdypet og forandre temperaturprofilet.

I målingene våre ser man flere av disse fenomenene:

- Figur 2.3 og 2.6 fra de uregulerte vannene Birtevatn og Høyvatnet har mye flatere temperaturkurver enn magasinene, et tegn på liten endring i vann-temperaturen.
- Figur 2.7 og 2.8 fra de høytliggende og vindutsatte magasinene Øljusjøen og Juklevatn har mye lavere temperaturer i 10–30 m dyp enn de mindre vind-utsatte vannene/magasinene.
- Figur 2.6 viser at det forholdsvis høytliggende Høyvatnet (905 moh.) må ha hatt en vindstille periode kort tid etter nedkjølingen av overflatelaget til frysepunktet. Allerede på 5 m dyp er temperaturen svært nær 4 °C. Trolig vil det være vesentlig kaldere i et annet år.

Ved tapping fra under LRV gjennom vinteren vil driftsvannets temperatur normalt synke, særlig mot slutten av tappesesongen. Dette skyldes at en tapper ut det varme vannet i tappedypet, og ettersom vannstanden reduseres synker det overliggende vannet ned for å erstatte dette. På slutten tapper man fra vann som lå nær overflaten ved islegging, og som derfor er kaldere. Vintervannets temperatur vil avhenge av hvor raskt isen la seg. La den seg kort tid etter høstsirkulasjonen, vil vannet være varmere enn om man måtte vente lenge på en vindstille periode.

Dersom vi har flere inntak og tapper vann nærmere overflaten, vil vi forbruke det kalde overflatelaget. Når det er brukt opp, vil man tappe vann som lå dypere ved islegging og temperaturen vil stige. Man får dermed en motsatt temperaturutvikling enn om man tappet fra under LRV.

Fordi isen ligger som et lokk og så godt som stopper temperaturendringer i vann-massene, oppnår vi altså bare en refordeling av tappevannet gjennom sesongen. En kan holde vannet kaldt tidlig på vinteren, men etter hvert må man bytte til dypere inntak og dermed varmere vann.

Hvis magasinet derimot har relativt stort tilsig av kaldt vann, kan man, ved å kjøre på tilsiget, holde vannstanden konstant og tappe kaldt vann i store deler av vinteren fra et

”overflateinntak”. Dette praktiseres i Altaelva i dag (Kvambekk, 2002 og Asvall, 2005). For å utnytte magasinet må man på slutten av sesongen øke tappingen og bytte til et dypere inntak. Da stiger vanntemperaturen vesentlig en periode.

Det er viktig å være klar over at Altautbyggingen er ”uvanlig” ved at det er et lite/ mellomstort magasinvolum i forhold til tilsiget. Dermed kan det opprettholdes lave temperaturer hele vinteren. En finner oftest store magasiner øverst i et utbygd vassdrag, med relativt sett lite tilsig om vinteren. En vil derfor relativt raskt bruke opp det kalde overflatelaget ved overflatetapping. I tillegg er det i Altaelva en terskel ved utløpet av den opprinnelige innsjøen Virdnejavre som blander vannmassene en god del før det tas inn i inntakene.

Ved enda mindre magasiner, som i de fleste småkraftverk, vil vannmassene blandes i inntaksmagasinet, og temperaturforskjellene ved ulike inntaksdyp blir svært små. Der bruker man primært dykket inntak for å unngå isproblemer ved inntaket, men temperaturen er oftest bare tideler over frysepunktet også i dypet.

3. Diskusjon

Målingene er foretatt i tre forskjellige høydeintervaller, men i tre ulike år og kun én sesong for hvert vann. Vind og lufttemperatur er viktige faktorer som bestemmer vanntemperaturen i de ulike dypene. Når vi skal generalisere disse observasjonene til andre år, må vi derfor ta disse faktorene med i vurderingen:

- De reelle temperaturforskjellene er ofte litt mindre på grunn av medtrekking av varmere vann fra lag over inntaket. Dette gjelder spesielt når inntaket er i nedre del av termoklinen.
- Hvor mye vind var det i observasjonssommeren i forhold til normalen?
- Hvor mye varierer vinden fra år til år?
- Var lufttemperaturen normal?
- Hvor mye varierer lufttemperaturen fra år til år?

3.1 Vind, bølger, blanding av vannmassene

Når vind blåser over en vannflate, avgir den energi og det dannes bølger. Bølgene skaper vertikale bevegelser og blander vannmassene. Om våren og sommeren fraktes varme nedover i vannmassene, slik at temperturen i overflaten synker og temperaturen i dypere vannlag stiger. Om høsten og vinteren før islegging er det omvendt. Temperaturendringen avtar med dypet.

Med økende vind blir det større bølger og dermed kraftigere og dypere omrøring. Det kan vises at energien som overføres til vannet er proporsjonal med tredje potens av vindhastigheten:

En mengde luft med masse m i bevegelse med farten v har kinetisk energi E gitt som:

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

Volumet V av luften som passerer et areal A i tiden t er gitt som:

$$V = Avt$$

Massen av denne luften kan da uttrykkes ved hjelp av luftens tetthet ρ som:

$$m = \rho V = \rho Avt$$

Effekten P som denne luften kan gi fra seg er energi pr. sekund:

$$P = E/t = \frac{1}{2}\rho Av^3$$

Selv om bare deler av energien blir avgitt til vannet ved at det dannes bølger og vannmassene blandes, så er det rimelig å si at omrøringen av vannmassene er proporsjonal med vindhastigheten opphøyd i tredje potens. Når vi dobler vind-

hastigheten, så åttedobles omrøringen. Kraftige vindhendelser er derfor viktig for at omrøringen skal nå dypt og bidrar til å redusere de vertikale temperaturforskjellene i vannet.

3.2 Lufttemperatur, energiutveksling med vannet

Lufttemperaturen virker som en grense som overflatevannet prøver å nærme seg. Er temperaturen forskjellig vil både følbar varme og til dels luftinnblanding når det blåser, prøve å utviske forskjellene. I fjellet er det kaldere enn i lavlandet om sommeren, og dermed blir overflatelaget kaldere. I dype innsjøer vil bunnvannet holde nær samme temperatur både i fjellet og i lavlandet, slik at dette også er en vesentlig årsak til at temperaturforskjellene mellom ulike inntaksdyp er minst i fjellområdene.

3.3 Vind og lufttemperatur de siste 10 år

Fra met.no sine stasjoner har vi ut plukket klimastasjoner som måler vind og temperatur. Det var ingen stasjoner i området som dekket det laveste høydeintervallet. Vi valgte ut fem stasjoner som representerte de ulike høydeintervallene ut fra styrken på middelvinden (tabell 3.1).

Tabell 3.1 Meteorologiske stasjoner som ble valgt til å representere høydeintervallene. ”Vind” er middelvind av tredje potens av vindhastigheten midlet over månedene juli og august i perioden 2002 til 2011, der vindhastigheten er gitt i m/s.

Høydeintervall	Stasjonsnavn	Høyde	Vind
350-700 moh	Dagali lufthavn	798 moh	21
	Hovden-Lundane	841 moh	21
900-1000 moh	Møsstrand	977 moh	69
1200-1400 moh	Midtlæger	1079 moh	118
	Finsevatn	1210 moh	129

Tredjepotens av vindhastigheten (”vindeffekten”) og døgnmidler av lufttemperaturen ble midlet i månedene juli–august i perioden 2002–2011. Tabell 3.2 viser i hvert høydeintervall ”vindeffekten” som prosent av middelverdien i perioden og luft-temperaturen som avvik fra middelverdien i grader Celsius. Verdiene i måleperiodene er markert med fet skrift og mørkere bakgrunn.

Tabell 3.2 I hvert høydeintervall for hvert år vises "vindeffekten" (tredje potens av vind-hastigheten) som prosent av middelet for perioden 2002-2011 og lufttemperaturen som avvik fra middelverdien [°C]. Målesesongene for hvert høydeintervall er markert med fet skrift og mørkere bakgrunn.

	350-700 moh		900-1000 moh		1200-1400 moh	
År	**Vind [%]**	**Lufttemp [°C]**	**Vind [%]**	**Lufttemp [°C]**	**Vind [%]**	**Lufttemp [°C]**
2002	105	1,1	73	1,4	103	1,7
2003	140	1,0	131	0,7	106	0,6
2004	125	-0,9	62	-0,8	117	-0,7
2005	161	-0,1	120	-0,2	125	-0,9
2006	73	1,6	51	1,8	57	1,7
2007	119	-1,0	201	-1,3	134	-1,8
2008	49	-0,2	75	-0,1	75	-1,3
2009	**74**	**-0,2**	119	-0,6	102	-0,1
2010	118	-0,2	**107**	**-0,4**	92	0,4
2011	46	-0,2	62	-0,5	**88**	**0,5**

Vi ser at lufttemperaturen i måleperiodene ligger innenfor en halv grad og dermed ikke er vesentlig for resultatene. Målingene fra 2009 i 350–700 moh. intervallet er derimot foretatt i en periode der vindeffekten er rundt regnet 25 % lavere enn gjennomsnittet. Det betyr mindre blanding og større temperaturforskjeller fra topp til bunn i innsjøen. Brukes målingene direkte, overvurderes temperaturforskjellene.
I intervallet 900–1000 moh. foretatt i 2010 er vinden svært nær middelet, mens den er 12 % mindre enn middelet i 2011 for høydeintervallet 1200–1400 moh. Begge disse avvikene er innenfor det akseptable.

Lufttemperaturene midlet over juli og august varierer innenfor ± 2 °C. Det er ingen entydig sammenheng mellom vindstyrke og temperaturavvik. En vil derfor kunne finne alle kombinasjoner av kaldt og vindfullt, mildt og vindfullt, kaldt med rolige vindforhold og mildt med rolige vindforhold.

3.4 Lufttemperatur i måleårene

Figur 3.1 viser 10-døgnsmidler av lufttemperaturen i måleårene 2009–2011. Dataene er hentet fra nivået som samsvarer mest med målehøyden. Sommeren 2009 skilte seg markert ut i overgangen juni til juli, da et høytrykk ga lite vind i minst 10 dager og rundt 4 grader høyere lufttemperaturer enn resten av sommeren. Selv om sommeren under ett ga nær normale temperaturer, så skilte denne perioden seg ut ved at overflatetemperaturen steg til uvanlige høyder. På grunn av lite vind forble varmen i de øverste vannlagene til høytrykket hadde passert (se figur 2.3). Vi målte i det laveste høydeintervallet denne sommeren og ser denne temperaturtoppen tydelig i dataene som viser temperaturforskjeller mellom overflateinntak og dypere inntak (figur 2.9). Toppen er altså ikke uttrykk for en normal situasjon, men heller en ekstrem situasjon.

Vi har også en liten temperaturtopp i månedsskiftet juli/august i 2011.

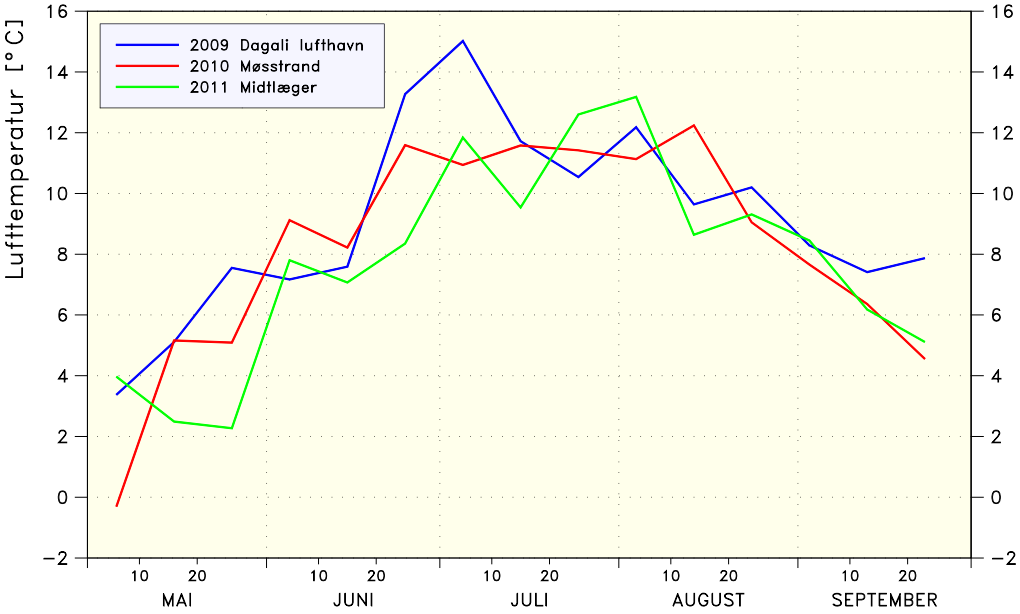


Fig. 3.1 10-døgnsmidler av lufttemperaturen i måleårene 2009–2011 i høyder nær våre målehøyder i de respektive år.

3.5 Generalisering av målingene

Målingene viste i 2009 at dersom inntaket ligger under 20 m dyp, kunne en tappe 10–14 grader varmere vann ved et inntak nær overflaten på magasiner i skogsområdene (350-700 moh.), med størst forskjell i juni/juli. I fjellområdene i 2010 og 2011 kunne vi bare tappe 2–6 grader varmere vann, og forskjellen var størst på sensommeren.

Selv når det øverste inntaket ble lagt dypere, for eksempel i henholdsvis 10 m og 20 m dyp, kunne en få temperaturforskjeller i størrelsen 2–7 grader, mest i lavtliggende magasiner.

I vårt forsøk på generalisering av resultatene til andre år, har vi brukt gjennomsnittet i 10-års perioden fra 2002 til 2011 som ”normal”. Fra de målte dataene og klimadataene har vi foretatt en ekspertvurdering og satt den sammen til en tabell som kan brukes som en veileder når man skal vurdere om det skal bygges flere inntak (tabell 3.3). Tabellen viser forventede temperaturforskjeller mellom ulike inntaksdyp i sommersituasjonen og antyder når de største temperaturforskjellene vil inntreffe.

Tabell 3.3 Forventede temperaturforskjeller mellom ulike inntaksdyp i sommersituasjonen i de tre høydeintervallene. Det er skilt på tre værtyper. Bakgrunnsfargen skiller temperaturforskjellene mellom inntakene i tre intervaller [°C]:

lys rød = mindre enn 5 °C
mellomrød = 5 til 10 °C
mørk rød = 10 °C eller mer

Eksempel: Fjerde rad og femte kolonne viser temperaturforskjeller i en normal sommer mellom inntak i 5 m dyp og 20 m dyp, på et magasin som ligger i høydeintervallet 900–1000 moh. Vi ser at det forventes mellom 5 og 6 grader varmere vann gjennom det øverste inntaket, og at høyeste temperaturforskjell forventes i overgangen juli/august.

	350-700 moh (skog)			900-1000 moh (lavtliggende fjell)			1200-1400 moh (høyfjell)		
	Kaldt og mye vind	Normal	Varmt og lite vind	Kaldt og mye vind	Normal	Varmt og lite vind	Kaldt og mye vind	Normal	Varmt og lite vind
Overflate-10 m	1-2 °C juni-aug	4-6 °C juni-aug	5-9 °C juni-aug	0-1 °C aug	1-3 °C aug	2-6 °C juli-aug	0-1 °C aug	1-2 °C aug	2-5 °C juli-aug
Overflate-20 m	3-4 °C juni-aug	6-8 °C juni-aug	8-12 °C juni-aug	1-2 °C aug	3-5 °C aug	6-9 °C juli-aug	1-2 °C aug	2-4 °C aug	5-8 °C juli-aug
Overflate-40 m	6-8 °C juni-aug	8-10 °C juni-aug	11-15 °C juni-aug	2-3 °C juli-aug	6-8 °C juli-aug	8-11 °C juli-aug	2-3 °C juli-aug	4-6 °C juli-aug	7-10 °C juli-aug
5 m-20 m	3-4 °C juli-aug	5-7 °C juli-aug	7-11 °C juli-aug	1-2 °C juli-aug	5-6 °C juli-aug	6-8 °C juli-aug	1-2 °C juli-aug	2-4 °C juli-aug	4-6 °C juli-aug
5 m-40 m	6-8 °C juli-aug	7-9 °C juli-aug	9-11 °C juli-aug	1-3 °C juli-aug	5-7 °C juli-aug	6-9 °C juli-aug	1-3 °C juli-aug	3-5 °C juli-aug	4-7 °C juli-aug
10 m-20 m	1-3 °C aug	2-5 °C aug	2-4 °C aug	1-2 °C aug	2-5 °C aug	2-4 °C aug	1-2 °C aug	1-3 °C aug	2-4 °C aug
10 m-40 m	2-5 °C aug	3-8 °C aug	3-6 °C aug	1-3 °C aug	3-6 °C aug	2-5 °C aug	1-3 °C aug	3-5 °C aug	2-5 °C aug

NVE foretar vanntemperaturmålinger i 70 innsjøer to ganger i året. Den ene målingen er i august, nær temperaturmaksimum. Det er altså ikke kontinuerlige målinger, men når man sammenlikner temperaturene fra år til år får man et godt inntrykk av variabiliteten. Erfaringer fra disse målingene er et viktig bidrag i ekspertvurderingen som er foretatt.

Vanligvis blir temperaturforskjellene mellom inntakene størst i varmt og stille vær, men når vi sammenlikner 10 m inntaksdyp med dypere inntak, vil det på skjermete vann være større forskjell i år med litt mer vind. Dette skyldes at varmen ikke når ned til 10 m dyp på skjermete vann i år med rolige vindforhold, og da blir det også små temperaturforskjeller fra 10 m dyp og nedover.

Fra kun én årsserie i hvert høydeintervall er det så godt som umulig å finne usikkerheten i tabellen. Verdiene må anses som veiledende. I tillegg til usikkerhet rundt variasjon fra år til år, vil en betydelig del av usikkerheten være knyttet til hvor mye vann fra andre nivåer som vil dras med av inntakene. Vannmengden som dras ned fra nivåer over og under inntaksdypet avtar som regel raskt med vertikalavstanden fra inntaksnivået, men både inntakets utforming og mengden vann som tappes vil påvirke dette. Dersom vi har undervurdert meddragningen, kan temperaturforskjellene vist i tabellen være opptil 50 % for høye. Dersom vi har overvurdert meddragningen, kan de oppgitte temperaturforskjellene være noe for lave, men neppe mer enn anslagsvis 20 % for lave.

4. Konklusjoner

Tabell 3.3 viser at temperaturforskjeller mellom uregulert og regulert utslipp kan reduseres betydelig ved bygging av flere inntak, helt opp mot 15 °C i noen sommer-situasjoner. Men tabellen viser også at beliggenhet er svært avgjørende. Kvalitativt kan vi si at lavtliggende magasiner vil gi de største temperaturforskjellene, og en vil få størst temperaturforskjell med overflateinntak i varme somre med liten vind. I andre ytterpunkt finner man et høytliggende magasin i en kald og vindfull sommer, der vannmassene er mer eller mindre gjennomblandet. Tabellen prøver å kvantifisere dette.

Om vinteren kan man ikke endre temperaturen så mye, men omfordele temperaturen slik at en får kaldt vann i starten av vinteren og varmere vann når man må gå til dypere inntak. Dette er det motsatte av temperaturutviklingen fra ”varmt” til ”kaldt” driftsvann i et vanlig magasin med tapping under LRV. Ved stor gjennomstrømning kan man kjøre med høyt inntak og driftsvannføring lik tilsiget. Dersom det gjennom-strømmende vannet er kaldt, kan man oppnå driftstemperaturer nær frysepunktet og minimere en eventuell isfri elvestrekning nedstrøms utløpet.

Det er viktig å presisere at disse observasjonene og vurderingene bare gjelder for magasiner med lite gjennomstrømning, typisk magasiner uten andre magasiner oppstrøms. Trange passasjer med grunne terskler vil skape blanding i magasinene og kan forandre temperaturforholdene nedstrøms terskelen betydelig. En må også huske at målingene er foretatt i Sør-Norge. Når man forflytter seg nordover blir tregrensen lavere. Man må da forskyve høydeintervallene tilsvarende.

Byggekostnadene ved flere inntak må vurderes i forhold til fordelene for de økolog-iske forhold. En må også huske at det er noe vanskeligere å drifte et kraftverk der man skal veksle mellom inntak. En må vurdere når det er gunstig for de økologiske forhold å bytte inntak, og man må unngå at det går tørt slik at man får medtrekk av luft.

5. Litteraturliste

Asvall R.P., 2005: Altautbyggingen. Virkninger på isforholdene ved bruk av øvre inntak om vinteren (2001-2004). Foreløpige resultater. Oppdragsrapport B 4-2005, NVE.

Asvall R.P., 2010: Hvordan is i vassdrag dannes – og hvordan vassdragsreguleringer påvirker isen i norske vassdrag. NVE Rapport 20-2010.

Finstad A.G., Forseth T., Næsje T.F. & Ugedal O., 2005: Effekter av isdekke på vinteroverlevelse til lakseunger i Altaelva. NINA Rapport 57, 23 s.

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

Kvambekk Å.S., 2004: Vanntemperaturer i Suldalslågen. Simulering av uregulert tilstand i 1931-2002 og ulike skisseforslag til nytt vannføringsregime. Suldalslågen – Statkraft, 2004. Miljørapport nr. 31.

Roen S., 1988: Konsekvenser av vassdragsreguleringer i elver og innsjøer. Seminar på Bårdshaug herregård. Norges Landbrukshøgskole, s. 5-30.

Saltveit S.J. (red.), 2006: Økologiske forhold i vassdrag – konsekvenser av vannføringsendringer. En sammenstilling av dagens kunnskap. Norges vassdrags- og energidirektorat 2006, ISBN: 82-410-0603-9.

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

Utgitt i rapportserien Miljøbasert vannføring, fase II

Nr. 1-09 Evaluering av ordningen med prøvereglement. Brian Glover, John Brittain, Svein Jakob Saltveit (49 s.)

Nr. 2-09 Pilotstudie tilsigsstyrt minstevassføring. Knut Alfredsen, Tommi Linnansaari, Atle Harby, Ola Ugedal (41 s.)

Nr. 3-09 Miljøvirkninger av vannkraft - forslag til undersøkelsesmetodikk. Lars Størset (51 s.)

Nr. 4-09 Hvor viktig er vatn og vassføring for friluftsliv? Brukerstudier om aktiviteter, opplevelser, holdninger, kraftutbygging og konsesjonsvilkår. Odd Inge Vistad, Joar Vittersø, Oddgeir Andersen, Hogne Øian, Tore Bjerke (84 s.)

Nr. 5-09 Modeller for simulering av miljøkonsekvenser av vannkraft. Atle Harby (red.) (51 s.)

Nr. 1-10 Ål og konsekvenser av vannkraftutbygging - en kunnskapsoppsummering. Eva B. Thorstad (red.) (135 s.)

Nr. 2-10 Etterundersøkelser ved små kraftverk. Sumvirkninger på landskap. Botaniske verdier og småkraft, Bunndyr og småkraft, Konsesjonsfrie mikro- og minikraftverk. Gunn E. Frilund (red.) (113 s.)

Nr. 3-10 Temperaturforhold i elver og innsjøer. Tiltak for regulering av temperatur. Simuleringsmodeller. Kjetil Vaskinn (89 s.)

Nr. 1-11 Vassdrag, vannføring og landskap. Trond Simensen, Priska Helene Hiller, Kjetil Vaskinn (55 s.)

Nr. 2-11 Blodsugende knott og vassdragsreguleringer: Kan masseforekomst predikeres? Åge Brabrand, Trond Bremnes, Henning Pavels (34 s.)

Nr. 3-11 Fossekall og småkraftverk: Bjørn Walseng, Kurt Jerstad (35 s.)

Nr. 1-12 Miljøkonsekvenser av raske vannstandsendringer. Atle Harby, Jim Bogen (82 s.)

Nr. 2-12 Kriterier for bruk av omløpsventil i små kraftverk. Lars Størset (red.) (57 s.)

Nr. 3-12 Er det mulig å bli kvitt krypsivproblemene på Sørlandet? Torbjørn Danielsen, Edgar Vegge, Per Øyvind Grimsby (33 s.)

Nr. 4-12 Suksesjoner i et terskelbasseng. Langtidstrender i utvikling av bunndyrsamfunn. Arne Fjellheim, Godtfred A. Halvorsen (37 s.)

Nr. 5-12 Konsekvenser og avbøtende tiltak for ørret i forbindelse med utbygging av små kraftverk. Svein Jakob Saltveit, Ragnhild Wendelbo (40 s.)

Nr. 6-12 Evaluering av celleterskler som avbøtende tiltak. Jo Vegar Arnekleiv (red.) (74 s.)

Nr. 7-12 Vanntemperatur i kraftverksmagasiner, Ånund Kvambekk, Norges vassdrags- og energidirektorat (31 s.)

Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no