

Strøm- og temperaturforhold i Evangervatnet under smoltutgangen 2018



Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI)

Laboratorium for ferskvannsekologi og innlandsfiske (LFI)

NORCE Miljø

Nygårdsgaten 112

5008 Bergen

ISSN nr: 2535-6623

LFI-rapport nr: 330

Tittel: Strøm- og temperaturforhold i Evangervatnet under smoltutgangen 2018

Dato: 16.05.2019

Forfattere: Trond Einar Isaksen, Bjørn T. Barlaup, Helge Avlesen, Helge Skoglund, Einar Bye-Ingebrigtsen, Knut W. Vollset

Bilder: Fotografier er tatt av forfatterne ved NORCE Miljø (LFI) hvis ikke det er nevnt annen fotograf under bildet.

Geografisk område: Norge

Finansiering: BKK Produksjon AS

Antall sider: 69

Emneord: Atlantisk villaks, hydrografi, Vossovassdraget, vanntransport, vannføring, modellering

Forslag til sitering: Isaksen, T.E., Barlaup, B.T., Avlesen, H., Skoglund, H., Bye-Ingebrigtsen, E., Vollset, K.W. 2019: Strøm- og temperaturforhold i Evangervatnet under smoltutgangen 2018. NORCE Norwegian Research Centre Miljø. LFI-rapport nr. 330. 69 s.

Forord

Våren 2018 utførte LFI ved NORCE Miljø (tidligere Uni Research Miljø) strømmålinger i østre del av Evangervatnet. Formålet var å undersøke hvilken grad driftsvannføringen fra Evanger kraftverk kunne påvirke strømmønsteret og temperatur i Evangervatnet i perioden med smoltvandring.

Undersøkelsene ble utført på oppdrag fra BKK Produksjon AS.

Feltarbeid og dataanalyser av strøm- og temperaturmålinger ble utført av Trond E. Isaksen, Einar Bye-Ingebrigtsen og Knut W. Vollset (NORCE Miljø). Helge Avlesen (NORCE Klima) var ansvarlig for eksperimentell modellering av strømforholdene.

Beskrivelse av smoltvandringen er utført av Bjørn Barlaup og Helge Skoglund fra (NORCE Miljø).

Bakgrunnsdata vedrørende Evangervatnet og Evanger kraftverk presentert i denne rapporten er basert på informasjon fra energiselskapet BKK og Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).

Vi takker alle for et godt samarbeid.

Bergen, februar 2019



NORCE Norwegian Research Centre

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Trond E. Isaksen".

Trond E. Isaksen

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Bjørn T. Barlaup".

Bjørn T. Barlaup

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Helge Skoglund".

Helge Skoglund

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Helge Avlesen".

Helge Avlesen

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Einar Bye-Ingebrigtsen".

Einar Bye-Ingebrigtsen

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Knut W. Vollset".

Knut W. Vollset

Innhold

Forord.....	3
Sammendrag	5
Innledning.....	7
1. Vossolaksen.....	8
1.1 Redningsaksjonen for Vossolaksen	8
1.2 Tidspunkt for smoltutvandringen basert på registrering i ulike typer smoltfeller.....	8
1.3 Resultatene fra studiene av smolt merket med akustiske sendere i 2015 og 2016	11
2. Evangervatnet	12
2.1 Vossovassdraget.....	12
2.2 Evanger kraftverk	15
2.3 Strøm- og temperaturmålinger	16
2.4 Strømdata – Beskrivelse av strømhastighet og vanntransport.....	21
2.5 Strømmodell.....	22
3. Resultater – Status 2018	26
3.1 Vannføring og vannstand	26
3.2 Temperaturforhold under smoltutgangen 2018.....	31
3.3 Strømhastigheter og –retninger.....	37
Strømforhold i øvre vannlag.....	38
Strømforhold i nedre vannlag (bunnmålinger)	45
Transektmålinger.....	48
Dannelse av virvel i bassenget til Evangervatnet, østre del	50
Oppsummering og konklusjon om temperatur- og strømmålingene	52
3.4 Modellering av strømforhold	53
Stasjon C2, overflatestrøm.....	57
Stasjon C4, overflatestrøm.....	58
Stasjon B2 (i sundet mellom Fadnes og Hernes), overflatestrøm.....	59
Oppsummering, diskusjon og mulig arbeid videre med modellen.	60
3.5 Smoltutvandringen fra Vosso	61
Generelle trekk ved smoltutgangen fra Vosso.....	61
Når vandrer smolten inn i Evangervatnet?	62
Registreringer av PIT merket smolt.....	63
Strømforhold i Evangervatnet under smoltvandringen 2018	65
Kunnskap om smoltvandring gjennom innsjøer fra andre studier.....	66
4. Status og videre arbeid.....	68
Referanser	69

Sammendrag

Vosso renner inn i østre del av Evangervatnet hvor det er et mindre basseng (ca. 1500 m langt, 500 m bredt, maks dyp ca. 35 m) etterfulgt av en terskel (ca. 15 m dyp) i sundet ved Fadnes. Vannføringen fra Vosso er den viktigste driveren for strømhastigheter og retninger med særlig stabil vanntransport i perioder med økende vannføring. En relativt komplisert bunntopografi gjør imidlertid at det dannes flere områder med bakevjer (virvler) i bassenget som når en større elv renner gjennom en stor kulp.

Innløpsvannet fra Vosso fører til at det naturlig oppstår en påfallende stor virvel i østre del av Evangervatnet dvs. før utløpet av kraftverket. Virvelen dreier i klokkeretning rundt det dypeste området av bassenget og setter opp en markert kompensasjonsstrøm som går langs søndre bredd tilbake mot innløpet fra Vosso. Denne virvelen var langt mindre markant i perioden etter 21. mai. Dette opphøret av virvelen resulterte i et markert skifte av dominerende strømrørninger i midtre del av bassenget med en mer ensrettet utgående strøm i perioden etter 21. mai sammenlignet med perioden før 21. mai. Årsaken til dette skifte i strømrørninger kan best forklares med økning i vanntemperaturen som resulterte i en overgang fra ikke-sjiktet til sjiktet vannsøyle idet varmere vann med lavere tetthet i større grad la seg over kaldere og tyngre vann i perioden etter 21. mai. Dette skiftet i hovedstrømrørningen i det øvre vannlaget medførte en mer direkte strømrørning gjennom bassenget og ut sundet mellom Fadnes og Hernes. I 2018 skjedde dette skifte i strømrørning den 21. mai, men det er uvisst om slike skifter har skjedd i tidligere år. Gjennomførte målinger er nødvendig for å fastslå om dette skiftet er et årlig, naturlig fenomen som kan forekomme i perioden til smoltutgangen eller om det var et unikt tilfelle for 2018.

Hvordan Evanger kraftverk påvirker vann og strømrørning i bassenget er avhengig av hvor mye vann som kjøres gjennom kraftverket i forhold til vannføringen fra Vosso. I måleperioden fra 19. april til 26. juni varierte driftsvannføringen (døgnmiddel) til kraftverket fra 0 til 35 m³/s (gjennomsnitt 18 m³/s) og vannføringen fra Vosso fra 47-478 m³/s (gjennomsnitt 172 m³/s). Driftsvannføringen fra kraftverket i forhold til vannføring fra Vosso varierte fra 0-73% (gjennomsnitt 15%).

Vannet fra kraftverket er kaldere enn vannet fra Vosso i hele perioden fra 21. april til 26. mai. Det kalde vannet fra kraftverket blandes med vannet fra Vosso og skaper ikke noen større temperaturgradient i bassenget. Størst innblanding av vann fra kraftverket er registrert i nordenden av sundet mellom Fadnes og Hernes med noe kaldere vann enn i sørlige deler av sundet og andre deler av bassenget. Temperaturforskjellen er kun 0,5 °C i perioden før 21. mai, men i slutten av måleperioden (26. juni) ble det registrert en temperatur forskjell på 2 °C i øvre vannlag. Kaldt vann fra kraftverket kan likevel være med til å bidra til temperatursjiktningen i perioden etter 21. mai og det ser også ut til at det kalde og tunge vannet fra kraftverket i større grad synker ned i mot bunn i dypområdet i bassenget. Temperaturen i bunnvann på ca. 30 meters dyp var i snitt 1,2 °C kaldere enn vannet fra Vosso i perioden etter 21. mai. Det var ingen forskjell i temperaturen i bunnvannet og i vannet fra Vosso i perioden før 21. mai (gjennomsnittstemperatur 4,3 °C). Temperaturen til vannet fra kraftverket hadde til sammenligning en gjennomsnittstemperatur på hhv. 1,1 °C og 4,4 °C i utløpsvannet i periodene før og etter 21. mai.

Vannstrømmen til vannet fra kraftverksavløpet følger i størst grad land med utgang i nordenden av sundet mellom Fadnes og Hernes. I perioder med høy vannføring fra kraftverket (≥ 23 m³/s) eller relativ høy vannføring i forhold til vannføringen i Vosso (>20%) blir strømbildet i sundet påvirket ved at strømmen i større grad får en sørlig eller sørøstlig kompensasjonsstrøm inn i den sørlige delen av sundet. Ved lavere vannføring fra kraftverket (<20 m³/s) er det nordvestlige strømrørninger ut av sundet som dominerer.

En forenklet numerisk strømningsmodell har blitt satt opp for den østre delen av Evangervatnet. Modellen gir statistisk godt samsvar med målingene for perioden etter 21. mai både for strømrørning og retninger. I perioden før 21. mai klarer modellen, slik den er satt opp nå, kun i korte glimt å gjenskape den karakteristiske virvelen over det dypeste området av østre del av vannet.

Det kan være grunn til å mistenke at årsaken er at randbetingelsen på utløpet av modellområdet ikke er riktig. Modellen bruker tidsavhengige avrenningsdata og temperaturer fra Vosso, Teigdalselva og kraftverket som inngangsverdier, så disse er det liten grunn å tvile på. Utløpet fra modellen er derimot mer usikkert. I modelleringen ble det antatt at vannet forsvinner vestover uten at den østre delen lar seg påvirke av vannmassen i den vestre del av vannet. Målingene viser derimot periodevis ustabil strømrørning over terskelen før 21. mai.

Hva betyr endringene i strøm og temperaturforhold som følge av Evanger kraftverk for utvandrende laksesmolt? Målingene fra 2018 viser at hovedeffekten av kraftverket er at det påvirker strømforholdene i sundet som smolten skal passere på vei ut av bassenget. Dette er mest tydelig ved relativ høy vannføring i kraftverket i forhold til vannføringen i Vosso. I slike perioder skaper den utgående vannstrømningen av vann fra kraftverket i den nordlige delen av sundet en innadgående kompensasjonsstrøm i søndre del av sundet. Kraftverket fører med andre ord til noe mer kompliserte strømforhold i deler av sundet når driftsvannføringen overstiger 23 m³/s (døgnmiddel), og spesielt når den relative utslippsmengden er mer enn 20 % av vannføringen til Vosso. I 2018 forekom perioder med relative utslipp på >20% i periodene 26.april – 4. mai og 8. -13. juni. Det skal også bemerkes at den registrerte tilbakestrømmen i søndre del av sundet kan være et resultat av at vestre del av Evangervatnet fylles opp etter en flomtopp fra Vosso og at dette vannet fører til en viss tilbakestrøm inn i østre del like etter flomtoppen. Et slikt scenario vil være et naturlig resultat av de topografisk forhold og flom, og vil også bidra til ustabile strømforhold i sundet. Dette er imidlertid vanskelig å teste med datasettet fra 2018, da perioder etter flomtopper ofte sammenfaller med topper i driftsvannføringen til kraftverket.

Situasjoner med mer uryddige strømforhold i sundet på grunn av relativ høy driftsvannføring fra kraftverket utgjør ikke en fysisk-kjemisk barriere for den utvandrende smolten. Likevel kan en ikke utelukke at disse forholdene kan føre til forsinkelse i vandringen og dermed en økt predasjonsrisiko. Men sammenliknet med den store naturlige virvelen med tilhørende kompensasjonsstrøm som settes opp av Vosso før utløpet fra kraftverket synes situasjonen i sundet å være en mindre utfordring for utvandrende smolt. Utfra foreliggende målinger og modellarbeid basert på 2018-sesongen og kjent kunnskap om smoltvandring synes derfor ikke Evanger kraftverk å ha noen betydelig effekt på den totale smoltvandringen gjennom Evangervatnet som i hovedsak skjer i løpet av de fire ukene i mai når strømbildet i hovedsak er styrt av vannføringen fra Vosso. Den relative driftsvannføringen var gjennomsnittlig kun 8,5 % i mai 2018. Imidlertid vil bidraget fra kraftverket varierer mellom år og det er behov for noe oppfølgende målinger for å se på andre scenarier hvor vannføringen fra kraftverket generelt bidrar mer til den totale vannføringen. Modellen må valideres med sammenligninger av slike målinger for å vurdere hvilken grad simuleringen takler de ulike scenarioene og utløpsbetingelser.

Resultater med akustisk merket smolt utført av Inaq (i 2015 og 2016) viser at smolten har relativt høy dødelighet og forsinkes gjennom Vangsvatnet, Evangervatnet og Bolstadfjorden. Dette sammenfaller med resultater rapportert fra flere andre studier hvor en har fulgt smolt som vandrer gjennom innsjøer. Resultatene fra disse studiene viser at smoltens vandring gjennom innsjøer er spesielt utfordrende, og i samtlige undersøkelser er predasjon gitt som mest sannsynlige årsak til økt dødelighet. I disse studiene ble det undersøkt både regulerte og uregulerte innsjøer. I Vosso viser resultatene fra de ulike merkeforsøkene (akustikk og PIT) at alle delene av vassdraget dvs. Strandaelva, Vosso, og Bolstadelva bidrar til smoltutgangen. Forsøkene til Inaq i 2016 viste at for de beste gruppene med akustisk merket smolt satt ut i Strandaelva, Vosso og Bolstad overlevde hhv. 17%, 25% og 50 % vandringen til Stamnes. Smolten som vandrer fra Vosso kommer senere til sjøen sammenliknet med smolt som vandrer fra Bolstad (5-16 dager). Dette skyldes at smolten fra Vosso forsinkes ved at den må vandre gjennom Evangervatnet. I Evangervatnet må en, som i andre innsjøer, forvente at smolten blir noe forsinket og at det skjer et smolttap grunnet predasjon.

Samlet sett ble det ikke avdekket noen opplagte effekter av kraftverket som kan bidra til å forklare betydelig redusert vandringshastighet og eller høy dødelighet for smolt som svømmer gjennom Evangervatnet. Imidlertid foreligger det en rekke undersøkelser fra innsjøsystem som peker på at selve overgangen fra elvevandring til innsjøvandring kan føre til en betydelig forsinket vandring og økt dødelighet. Den store virvelen som dannes når Vosso renner inn i Evangervatnet er naturlig forekommende og kan gi smolten problemer nå den skal orientere seg. En liknende situasjon oppstår bl.a. når Bolstadelva renner inn i Bolstadfjorden hvor det dannes en virvel og stor bakevje. En må regne med at laksebestanden er tilpasset slike forhold som skaper komplekse strømmønstre.

Resultatene i denne rapporten er basert på strøm- og temperaturmålinger fra smoltutgangen i 2018. Temperaturer og vannføringer fra Vosso og kraftverket for denne perioden har blitt sammenliknet med samme periode for årene 2009 – 2017 for å vise årsvariasjoner. Noen flere år med supplerende målinger er nødvendig for å bestemme strømforholdene under andre scenarier med vannføring fra kraftverket og fra Vosso, og for å bekrefte stabiliteten av virveldannelsen som oppstår sentralt i østre del av Evangervatnet.

Innledning

Siden år 2000 har det pågått et omfattende arbeid for å reetablere Vossolaksen. Et av hovedmålene for prosjektet er å identifisere og om mulig redusere mulige trusler for laksen både i ferskvannsfasen og i fjordfasen. Perioden om våren når smolten vandrer ut fra ferskvann til sjø er en kritisk periode i laksens livssyklus. Det har derfor vært fokusert på tidspunktet for smoltutvandringen og effekter av menneskeskapt trusler for smolten som dårlig vannkvalitet grunnet sur nedbør og angrep fra lakselus.

Under smoltutgangen i 2015 og 2016 ble det gjort undersøkelser med laksesmolt merket med akustiske merker for å bestemme vandringstid og overlevelse for smolt som vandret ut fra Vossovassdraget (Haugen m.fl. 2016; 2017). Studiene viste at forsøkssmolten hadde høy dødelighet i innsjøene Vangsvatnet og Evangervatnet og på strekningen Straume-Stamnes, noe som trolig skyldtes at den blir spist av annen fisk i disse delene av vassdraget. Studiene i 2016 viste at vandringshastigheten til forsøkssmolten i Evangervatnet var spesielt lav, og det ble derfor stilt spørsmål om vandringshastigheten kunne være påvirket av avløpsvannet fra Evanger kraftverk.

I 2016 ble det gjennomført undersøkelser som viser at kraftverksutløpet har konsentrasjoner av gassovermetning som ikke er skadelig for utvandrende smolt (Stenberg, 2016, Pulg 2018), men det er også viktig å kartlegge om strøm- og temperaturforhold ved kraftverksutløpet kan påvirke smoltens vandring. All smolt produsert oppstrøms Evangervatnet må vandre forbi kraftverksutløpet og en eventuell negativ påvirkning kan derfor ha konsekvenser på bestandsnivå. Foreliggende rapport har hatt dette som utgangspunkt for undersøkelser av hvordan kraftverksutløpet påvirker strøm og temperaturforholdene under smoltutgangen.

1. Vossolaksen

1.1 Redningsaksjonen for Vossolaksen

Med grunnlag i årlige undersøkelser siden år 2000 med kartlegging av bestandsstatus, trusselfaktorer og tiltak for Vossolaksen, tok Fylkesmannen i Hordaland i 2010 initiativ til en redningsaksjon som har som målsettingen å gjenoppbygge og reetablere bestanden av Vossolaks i løpet av tiårsperioden 2010-2020. Prosjektet «Redningsaksjonen for Vossolaksen» er et bredt samarbeid mellom forskning, forvaltning, lokale interessenter og flere næringsaktører, spesielt fiskeoppdrettsnæringen gjennom Vossolaugget og kraftprodusenten BKK. Resultatene fra dette prosjektet peker på at det per 2018 fortsatt er flere aktive trusler i elver, vassdrag og fjord; fysiske inngrep/flomsikring/vassdragsregulering som fører til forringelse av gyte- og oppvekstareal, effekter av sur nedbør som fører til giftig aluminium, angrep fra lakselus på utvandrende smolt, og innkrysning av rømt oppdrettslaks i gytebestanden. Alle disse truslene kan helt eller delvis håndteres gjennom koordinerte tiltak, og flere av truslene er per i dag redusert som følge av iverksatte tiltak. Status for redningsaksjonen per januar 2018 er gitt i egen rapport fra prosjektet (se Barlaup, 2018).

1.2 Tidspunkt for smoltutvandringen basert på registrering i ulike typer smoltfeller

Smoltutvandringen hos laks skjer vanligvis i en konsentrert periode (ca. 3-6 uker) om våren. I tiden før utvandringen gjennomgår ungfisken en rekke morfologiske, fysiologiske og adferdsmessige forandringer som forbereder fisken på overgangen fra ferskvann til sjøvann. Denne endringen kalles smoltifisering og består blant annet i at fisken blir mer strømlinjeformet og sølvfarget. Den territorielle atferden opphører og smolten kan samle seg i små stimer før vandringen nedover i vassdraget tar til (McCormick et al. 1998). Tidspunktet for smoltutvandringen varierer mellom elver og styres av flere faktorer. Lysregimet og vanntemperaturen regnes som de viktigste faktorene som initierer smoltifiseringsprosessen, og som dermed avgjør tidspunktet for når smolten er klar til å vandre. Selve utvandringen blir ofte utløst av økende vannføring og vanntemperatur (McCormick et al. 1998; Urke et al., 2013). Disse mekanismene har over mange generasjoner blitt tilpasset forholdene i det enkelte vassdrag, slik at laksen vandrer ut når forholdene i sjøen er gunstige for overlevelse (Hansen & Jonsson, 1989). Trolig er temperaturen i sjøen en viktig faktor, og vanligvis vandrer smolten ut på et tidspunkt da sjøtemperaturen har nådd 8°C (Hvidsten et al. 1998). Tidsrommet om våren når smolten er fysiologisk klar for vandring samtidig som forholdene i sjøen er gunstige for overlevelse blir ofte kalt «smoltvinduet». I løpet av dette smoltvinduet bør smolten vandre ut siden en forsinket utvandring trolig vil føre til redusert overlevelse siden smolten da kommer ut i sjøen i en periode hvor predasjonstrykk og næringstilgang kan være ugunstige (McCormick et al. 1998).

I senere år er det gjort kunnskapsoppsummeringer hvor utvandringstidspunkt for laksesmolt er sammenstilt for en rekke norske vassdrag hvor det er benyttet ulike typer smoltfeller eller videoregistering (Ugedal m.fl., 2014; Karlsen et al., 2016). Resultatene fra disse undersøkelsene viser at smoltutvandringen i Sør-Norge finner sted fra siste halvdel av april til første halvdel av juni. Median tidspunkt for 50 % smoltutvandring i tidsseriene fra Sør-Norge er alle i løpet av mai selv om en finner betydelig variasjon mellom år og mellom elver.

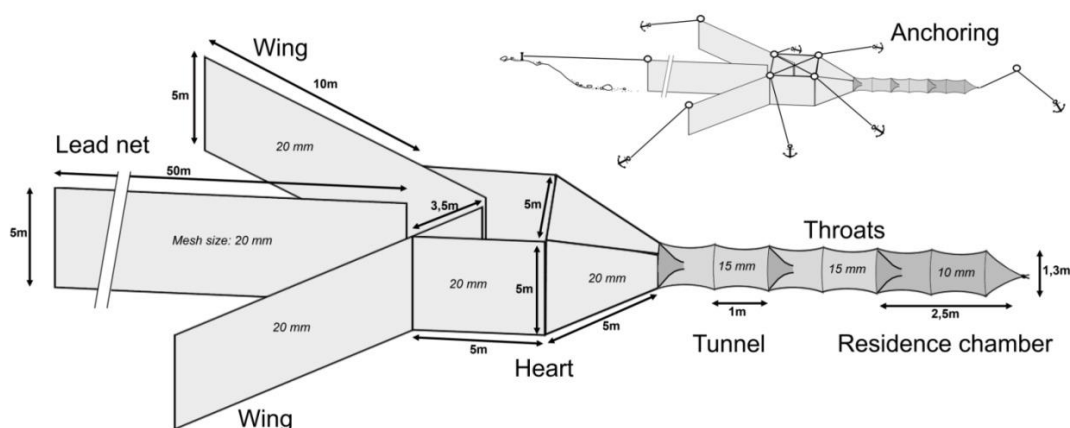
I Vossovassdraget er det gjort undersøkelser i perioden 2001-2018 for å beskrive når smolten vandrer ut. Smolten er blitt fanget inn ved hjelp av en smoltskruer (Volkhardt et al., 2007) driftet i Bolstadhølen og/eller smolttruser (Figur 1.1, Foto 2, Foto 3) plassert i Bolstadvfjorden ved Trollkona/Furnes ca 4 km ut i Bolstadvfjorden fra Bolstad. Redskapene har normalt vært satt ut i siste halvdel av april eller tidlig i mai, og blitt tatt inn i siste halvdel av juni.

I 2016 ble det gjennomført utvidede undersøkelser av smoltutvandringen. Det ble fanget inn smolt som ble merket med PIT-merker. PIT-merke er et 23 mm langt, sigarformet merke som legges inn i buken på smolten. Merket aktiveres og sender ut en unik elektronisk tallkode når det kommer i

nærheten av en PIT-antenne. Fire slike antenner ble hengt i tau fra brua på Bolstad (Foto 1) slik at utvandrende smolt som passerte rett under antennene ville bli registrert, dvs. deteksjonsavstanden for antenne var ca 0,5-1 m. Målet for disse undersøkelsene var å bestemme om og når smolt, merket og satt ut i de ulike delene av vassdraget ble registrert når de passerte under brua. Det ble merket både villsmolt og klekkerismolt. Smolt med PIT-merker er satt ut i både Vosso og Bolstad i årene 2016 til 2018.



Foto 1. Bildet viser den flytende PIT-antennen som henger fra brua på Bolstad hvor den registrerer utvandrende laksesmolt som passerer i overflatelaget under antennen. Tverrsnittet av antennen utgjør ca. 10-15 % av elvetversnittet, avhengig av vannføring. Nede til venstre i bilde ser en smoltskruen som daglig vinsjes inn til bredden for å registrere smolt i fangstkammeret. I likhet med smoltskruen og smoltrusene får den flytende antennen redusert deteksjonseffektivitet ved høy vannføring både fordi smolten da fordeles på et større vannvolum og fordi fellen utsettes for drivved m.m. som kan skade antennen.



Figur 1.1. Smoltruse benyttet for innfangning av smolt i Bolstadfjorden i perioden 2002-2018. For en nærmere beskrivelse se Barlaup et al. 2013.

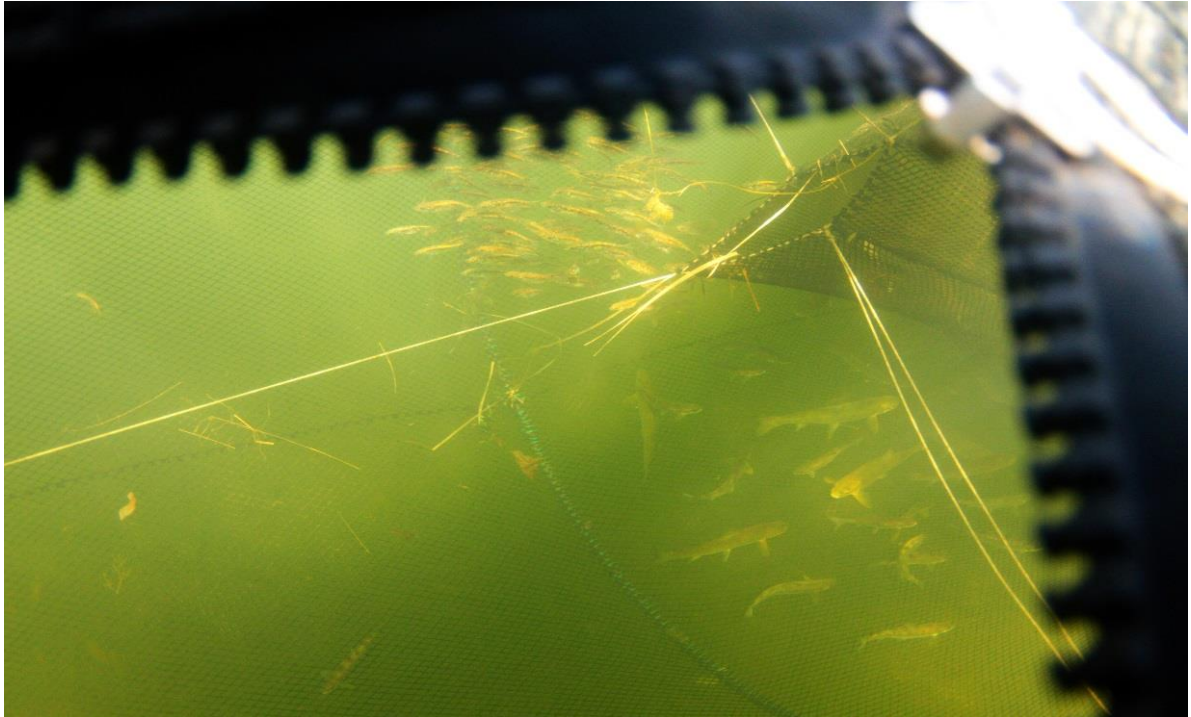
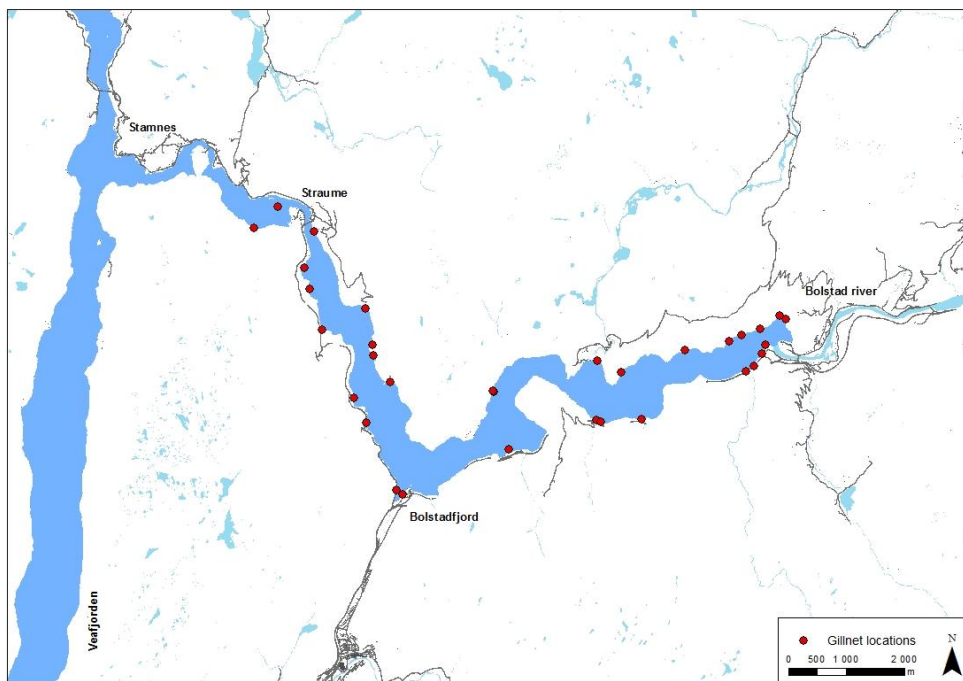


Foto 2. Bilde tatt gjennom åpning av fangstrommet i smoltrusa. I fangstrommet sees laks- og sjøauresmolt og en stim med stingsild.



Foto 3. Smoltskruen i drift i Bolstadhølen. Smolten fanges inn i trommelen i front og holdes i et oppbevaringskammer synlig på bakre del av flåten.

I Vosso og de fleste andre vassdrag fanger smoltfellene bare en liten del av den totale mengden smolt som vandrer ut. Smoltfellenes fangsteffektivitet vil ofte være avhengig av vannføringen slik at fangstene ikke nødvendigvis gjenspeiler forløpet på smoltutgangen. Dette gjelder særlig i perioder med stor vannføring da rekved og annet som kommer drivende med flomvannet reduserer effektiviteten til fellene i tillegg til at elvetversnittet som dekkes av fellene blir redusert. Til tross for disse feilkildene og begrensningene er det likevel rimelig å anta at fellefangstene gjenspeiler hovedmønsteret for når smoltutgangen finner sted. Resultatene fra fellefangstene i Vosso sammenfaller både med hva en kan forvente utfra rapportert tidspunkt for smoltutgang fra andre elver i Sør-Norge (Ugedal m.fl., 2014) og med lokalkunnskap om tidspunktet for smoltutgangen. I tillegg er det i Vosso også gjort registrering av smolt i garnfiske og ved dykkerobservasjoner som tyder på at smoltutvandringen begynner i siste halvdel av april og at hovedutvandringen skjer i mai. For eksempel ble det i et omfattende garnfiske med 40 garnnetter i Bolstadfjorden den 24-26 april 2012 ikke tatt laksesmolt mens det ved nær tilsvarende innsats (38 garnnetter) noen uker senere, den 29-31 mai, ble tatt 39 laksesmolt (Vollset m.fl., 2014; Figur 1.2).



Figur 1.2. Kart over Bolstadfjorden som viser garnstasjonene ved fiske i forbindelse med smoltutgangen i 2012. Hentet fra Vollset m.fl., 2014.

1.3 Resultatene fra studiene av smolt merket med akustiske sendere i 2015 og 2016

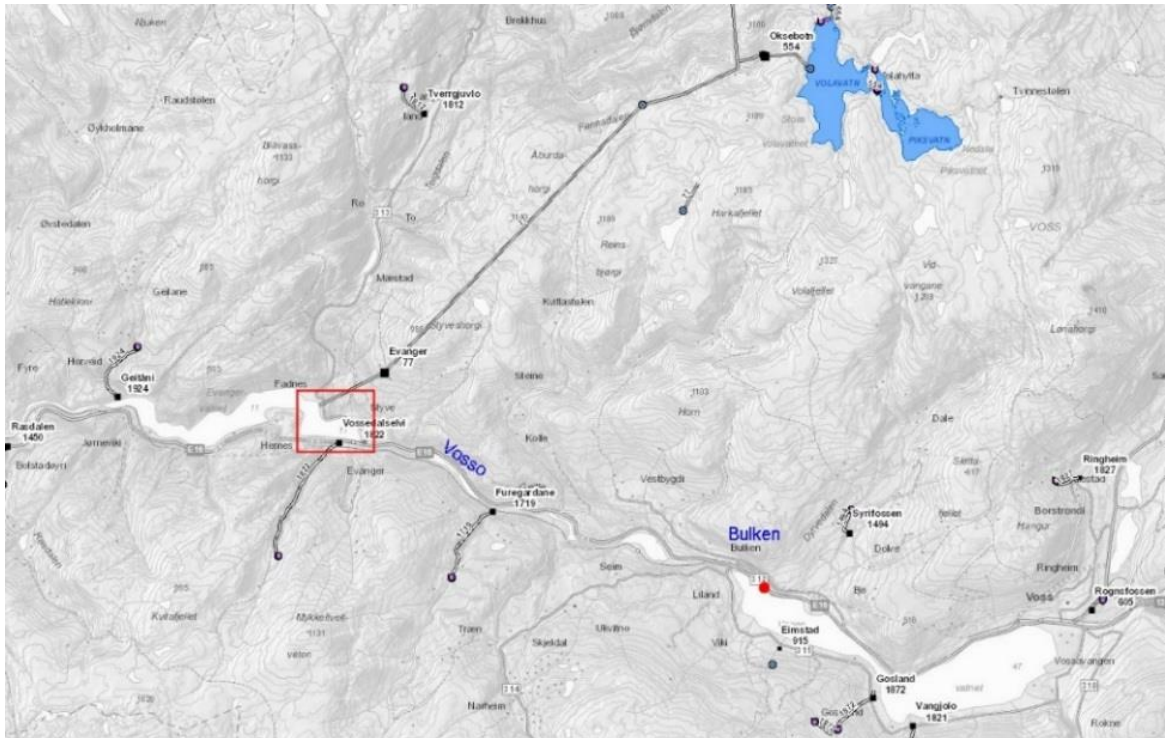
I 2015 viste undersøkelser at smolt merket med akustisk merke hadde høy dødelighet på vandring gjennom Evangervatnet. I tillegg hadde den en uventet lang oppholdstid i innsjøen og særlig på strekningen fra innosen til kraftverksutløpet (Haugen m.fl. 2016). Dette førte til antagelser om at gassovermetning fra utløpet av Evanger kraftverk kunne være årsaken til den observerte dødeligheten. Dette ble deretter avkreftet på grunnlag av etterfølgende fysiologiske og histologiske undersøkelser av smolt satt i bur utenfor kraftverket, og av smolt samlet inn under utvandring gjennom innsjøen (Stenberg, 2016). Ingen av disse smoltene viste symptomer på gassovermetning. Dette sammenfaller også med resultatene fra flerårig logging av gassovermetningsnivå som viser at kraftverksutløpet ikke forårsaker gassovermetning som forventes å være skadelig for utvandrende smolt i Evangervatnet (Pulg m.fl. 2018).

Oppfølgende undersøkelser med bruk av akustisk merket smolt ble gjennomført av Haugen m.fl. i 2016 og inkluderte Vangsvatnet i tillegg til Evangervatnet (Haugen m.fl. 2017). Høy dødelighet og lang oppholdstid ble registrert i begge innsjøene. Overlevelsen for merket smolt ned til sjøvannsområdene utenfor Stamnes var for den beste merkegruppen hhv. ca 17 % for smolt satt oppstrøms Vangsvatnet, 25 % for smolt satt i Vosso oppstrøms Evangervatnet og 50 % for smolt satt i Bolstadelva. Dette regnes som minimumstall da effekten av håndtering og merking må forvente å påvirke overlevelsen heller negativt enn positivt. Likevel viser resultatene at vandring gjennom innsjøene er en utfordring som forsinker den merkede smolten og som fører til økt dødelighet. Liknende resultat er også rapportert fra andre laksevassdrag hvor smolten må vandre gjennom innsjøer (Kennedy et al. 2018; McLennan et al. 2018). Basert på resultatene fra merkeforsøkene i Vosso konkluderer Haugen m.fl. (2017) at Vossosmolten er utsatt for høy predasjon i Vangsvatnet, Evangervatnet og på strekningen Straume-Stamnes. Det ble videre påpekt at predasjonen i Evangervatnet kan være spesielt høy på grunn av mulig forsinkning i utvandringa grunnet endret vannkvalitet, temperatur og strømforhold ved kraftverket (Haugen m.fl. 2017). En begrensning med dette studiet er imidlertid at en ikke kan registrere direkte hvorvidt merkesignalet kommer fra levende smolt, fra død smolt eller fra smolt som ligger i magen på en predator f.eks. en sjøaure. Dette resulterer i usikkerhet om hvorvidt de observerte registreringene faktisk representerer reelle vandringsmønstre hos vandrende smolt, når dødelighet inntreffer, samt hva som er årsaken til dødelighet.

2. Evangervatnet

2.1 Vossovassdraget

Bakgrunnsdata vedrørende Evangervatnet og Vossovassdraget presentert i denne rapporten er basert på informasjon fra energiselskapet BKK og Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). Evangervatnet er en del av Vossovassdraget som er det største vassdraget på Vestlandet. Strømforhold og vanntransport gjennom Evangervatnet blir bestemt av vannføring og temperaturer i Vosso. Variasjoner i vannføring og vanntemperaturer varierer med årstider og fra år til år, avhengig av nedbørsmengdene i nedslagsfeltet for Vossovassdraget. Siden 1969 har det vært vannkraftproduksjon med utløpspunkt i østre del av Evangervatnet (Figur 2.1, 2.2). For å undersøke om driftsvannføringen til kraftverket har målbar effekt på strømforhold og vanntransporten gjennom østre del av Evangervatnet i perioden for smoltutvandring, ble det gjennomført strøm- og temperaturmålinger i perioden 19. april – 26. juni 2018. Innsamling av data inkluderer driftsvannføring og naturlig tilsig til Evangervatnet for smoltutvandringsperioden april – juni tilbake til 2009 for å sammenligne årsvariasjoner og forhold mellom driftsvannføringen til kraftverket og vannføring fra Vosso. En viktig målsetning var også å utvikle en hydrodynamisk modell som kan simulere effekten vannføring fra Vosso og varierende vannføring fra kraftverket har på strøm- og temperaturforholdene i Evangervatnet.



Figur 2. 1. Østre del av Evangervatnet markert med rød ramme. Innløp Vosso og utløp fra Evanger kraftverk. Aktiv målestasjon for vannføring og vannstand ved Bulken (nr.62.5.0) markert med rødt punkt (Kilde: NVE Atlas).

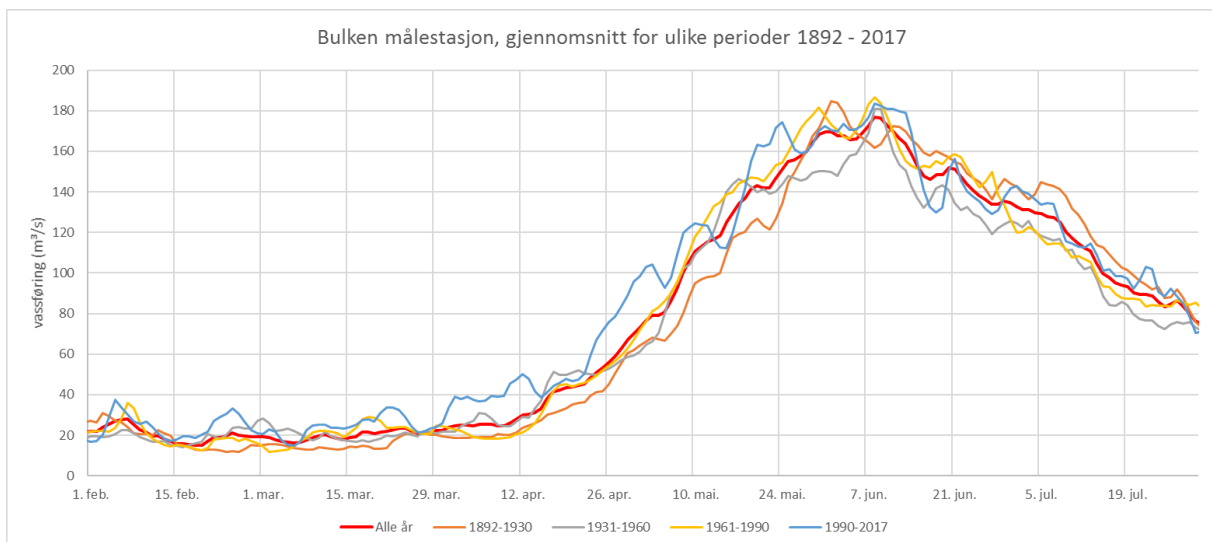


Figur 2. 2. Evangervatnet, østre del. Modellområdet for strøm- og temperatur målinger i perioden 19. april til 26. juni 2018 (Kilde: NVE Atlas).

Tilsiget til Evangervatnet fra Vosso varierer gjennom året og forskjellene fra år til år kan være store. Lange tidsserier med målinger av vannføring tilbake til 1892 viser at det har vært en endring i tidspunkt for vårfloppen i Vossovassdraget. Historiske data fra Bulken målestasjon (stasjonsnr. 62.5.0) viser at vårfloppen kommer ca 14 dager tidligere i perioden 1990-2017 sammenlignet med perioder før 1990 (Figur 2.3). Bulken målestasjon er ikke påvirket av vannkraftproduksjonen, og denne endringen skyldes sannsynligvis økning i temperatur og nedbør (se klimastatistikk for Vestlandet; yr.no).

Datagrunnlag for vannføring og vannstand i Vossovassdraget er samlet av BKK fra aktuelle dataserier registrert på målestasjoner i vassdraget. Vannføring i Vosso ved innløpet i Evangervatnet er beregnet med utgangspunkt i måledata fra Bulken (målestasjon 62.5.0, Figur 2.1). Vannføring i Vosso ved innløpet i Evangervatnet er beregnet der: *Vosso ved innløp Evangervatnet = Vannføring Bulken x 1.1039*, der 1.1039 er forholdstallet mellom størrelse i nedbørsfelt ved Bulken og nedbørsfelt ved Vosso sitt innløp i Evangervatnet (Kirkhorn 2018). For perioden 2009-2018 ble det også samlet data fra driftsvannføringen til Evanger kraftverk. I denne perioden foreligger data med tidsopløsning på 1 time for alle dataserier som er vurdert. Forholdet mellom vannføring og driftsvannføring beskriver Evanger kraftverk sin andel av tilsig til østre del av Evangervatnet. Data for vannføring i Vosso ved innløpet i Evangervatnet og driftsvannføring fra Evanger kraftverk for denne perioden i årene 2009 – 2018 er beskrevet i resultatdelen.

Strøm- og temperaturforhold i østre del av Evangervatnet påvirkes av vannføringen i Vosso, men det er uvisst i hvilken grad driftsvannføring fra kraftverket kan påvirke disse forholdene. Strøm- og temperaturmålinger ble gjennomført i perioden med smoltutvandring, i perioden april - juni 2018.

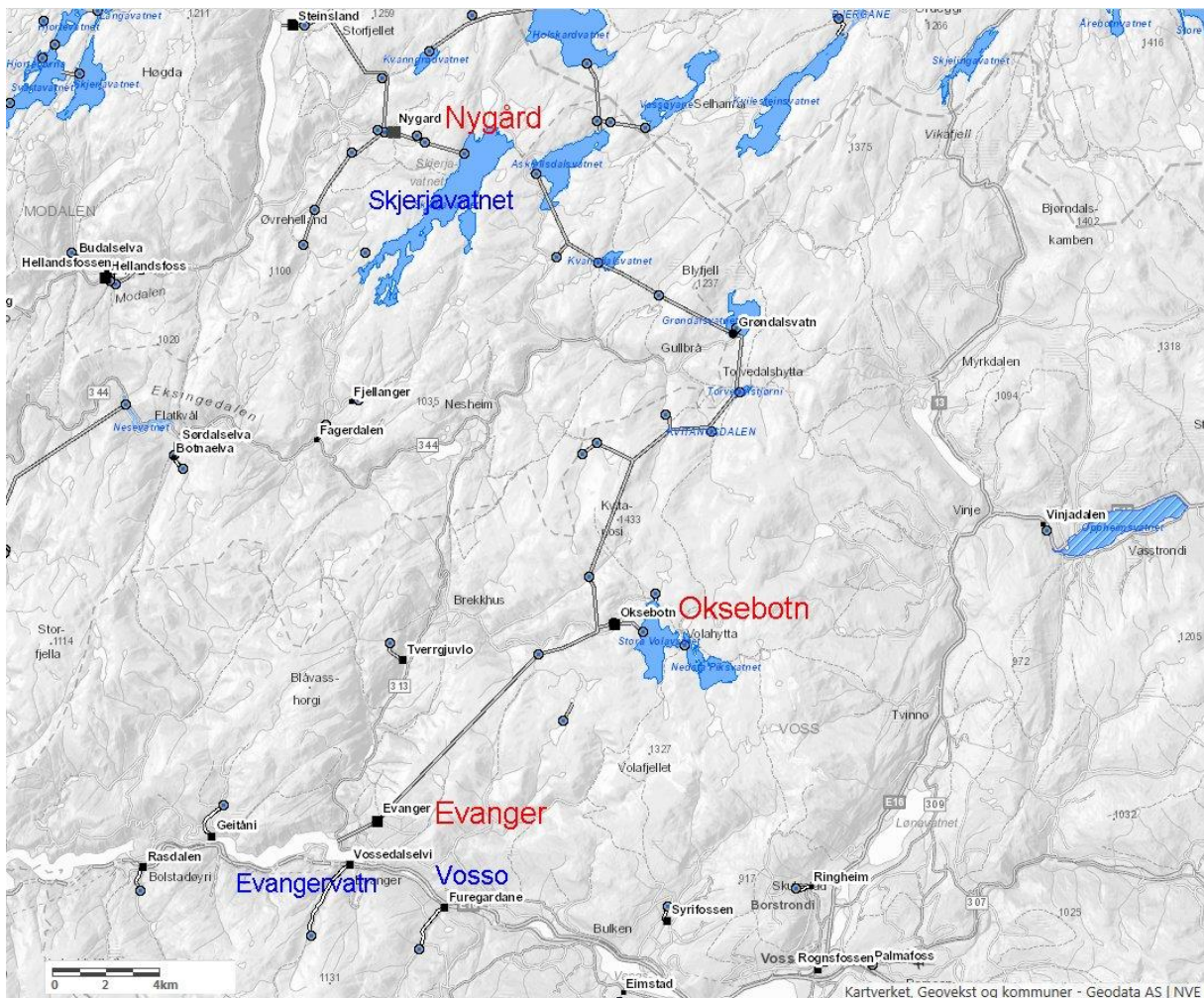


Figur 2. 3. Vannføring ved Bulken målestasjon (stasjonsnr. 62.5.0). Langtidsmålinger med gjennomsnittlig vannføring for 30-årsperioder for tidsrommet 1892-2017 (NVE data, bearbeidet av BKK).

2.2 Evanger kraftverk

Utbyggingen av Evanger kraftverk startet på slutten av 1960- tallet og ble satt i drift i gjennom tre byggetrinn i løpet av perioden 1969–1977 (et aggregat i 1969, et i 1973 og det siste i 1977). Oksebotn kraftverk ble satt i drift i 1988. Oksebotn kraftverk har avløp inn på tunnelen til Evanger kraftverk.. I 2005 ble Nygård Pumpekraftverk satt i drift og vann fra Skjerjevatnet ble fra 2005 overført til Modalsvassdraget, og har resultert i redusert bidrag til Evangervatnet. Kraftverk, magasin og vannveier er vist i figur 2.4.

Evanger kraftverk har i dag en maksimal driftsvannføring på 54 m³/s. I snitt over året er driftsvannføringen ca. 22 m³/s. I perioder med lavt naturlig tilsig fra Vosso, vil vannføring fra kraftverket kunne bidra med en høy andel av tilsiget til Evangervatnet. Slike perioder er typisk for kalde perioder senvinters etter lange perioder med lite nedbør, driftsvannføringen er da fra reguleringsmagasinene, og har høyere temperatur enn vann fra Vosso. Driftsvannføringen til kraftverket om våren blir derimot i stor grad styrt av snøsmelting. Magasinene er vanligvis nedtappet ved starten av snøsmeltingen. I perioder med stor snøsmelting kjører kraftverket på smeltevann fra bekkeinntakene, og temperaturen i vannet fra kraftverket har i denne perioden oftest lavere temperatur enn vannet i Vosso. I perioden med snøsmelting går også vannføringen med til å fylle opp magasinene.

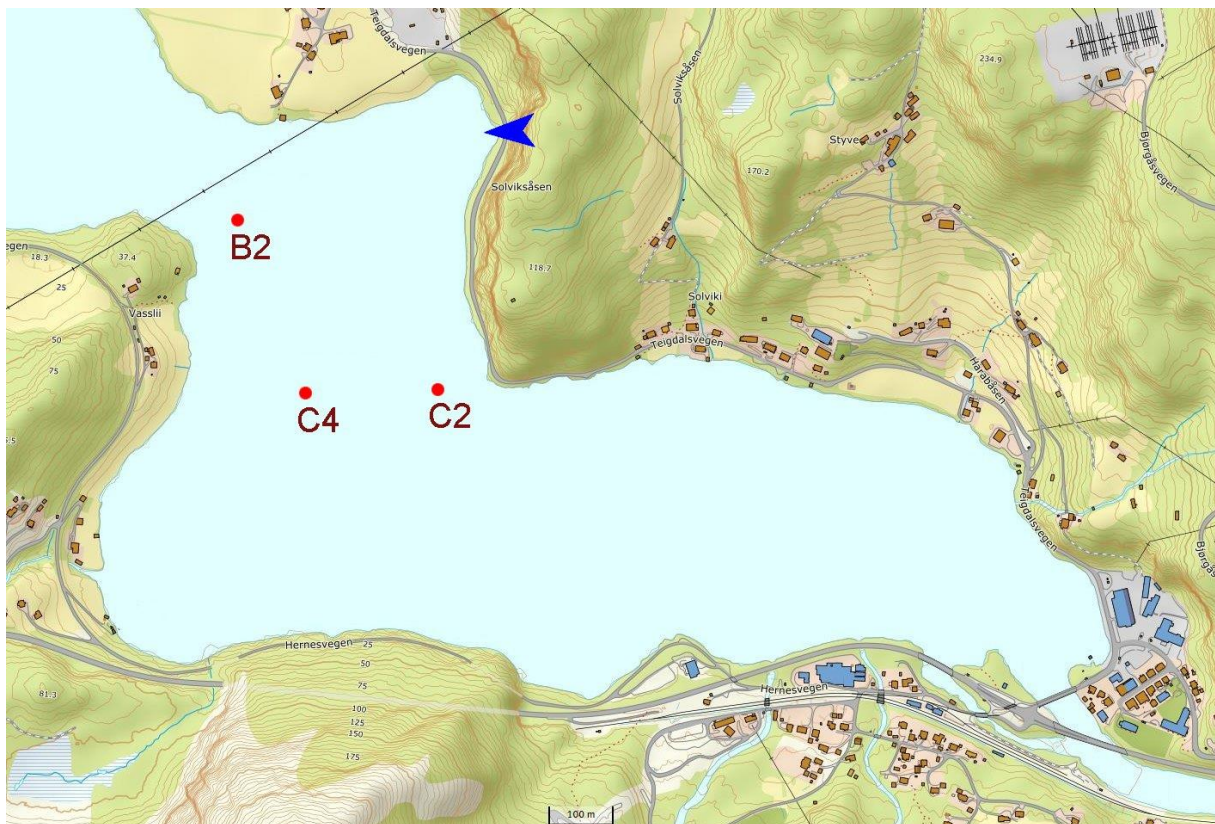


Figur 2. 4. Utbygd vannkraft forbundet med Vossovassdraget. Vannveier med inntakspunkter (runde punkter) fra ulike reguleringsmagasinene (blå vann) til kraftproduksjon. Kilde: NVE Atlas; kartverket

2.3 Strøm- og temperaturmålinger

Strømmålinger ble gjennomført med bruk av akustiske dopplerinstrumenter. Det ble benyttet en punktmåler av typen AquaDopp Current Meter 2 MHz (Nortek AS) og tre profilmålere av typen AquaDopp Current Profiler 400kHz (Nortek AS). Alle instrumentene lagrer strømhastighet, strømrretning, temperatur, trykk, dato og klokkeslett kontinuerlig. Programvaren Surge (Nortek, v.1.14.01), SeaReport (Nortek, v.1.1.1) og SD6000 (Morten Hammersland Programvare, v.4.6.3.49) brukes til bearbeiding og kvalitetsjekking av dataene. Instrumentene ble kontrollert og programmert med bruk av programvaren AquaPro (Nortek, v.1.36.06) og Aquadopp (Nortek, v1.40.14). Ingen funksjonsfeil ble registrert.

Profilmålere (Acoustic Doppler Current Profiler; ADCP) ble brukt på tre utvalgte stasjoner (Figur 2.5), basert på erfaringer fra et pilotprosjekt som ble gjennomført i 2016. Disse stasjonene representerer områder i Evangervatnet med størst variasjoner i strømsstyrke og -retninger under varierende vannføring fra Vosso og driftsvannføring fra kraftverket. Profilmålerne ble plassert på bunn med måleretning oppover i vannsøylen. Instrumentene registrerer vannbevegelser (hastighet og retning) med høy presisjon i hver meter gjennom hele vannsøylen med en rekkevidde fra ca. 2 meter over bunn til 1-3 meter under overflaten. Instrumentene var programmert for å logge data i 60s hvert 15 min. Gjeldende måleperiode (loggperiode) var fra 19.04.2018 kl. 07:00 til 26.06.2018 kl. 09:00 (Tabell 2.1). Profilmålerne ble plassert på bunn i stålrammer forankret til dregger og blåser (Figur 2.6). Trykkforandringer registrert med disse instrumentene gjennom måleperioden ble også brukt til å beskrive endringer i vannstanden.



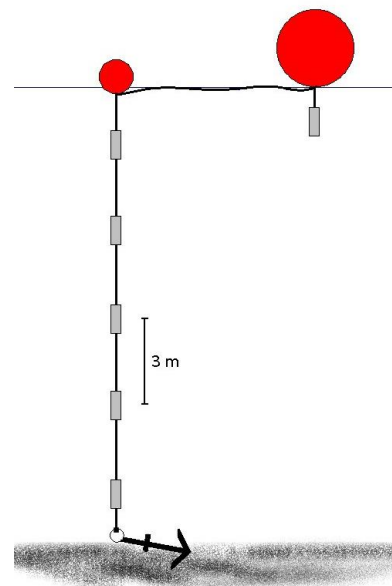
Figur 2.5 Evangervatnet. Målestasjoner med ADCP og temperaturloggere. Blå pil markerer utslippspunkt til Evanger kraftverk.



Figur 2. 6 ADCP (akustisk profilerende dopplerinstrument, Nortek) montert i bunnramme. Instrumentet var innstilt til å måle strømretninger og –hastigheter for hver meter oppover i vannsøylen.

Strømmålerne måler kun temperatur på instrumentdyb (bunnmålinger). Det ble derfor satt opp tre rigger med temperaturloggere (Minilog) som ble plassert ut på samme stasjoner som ADCP-ene (st. B2, C2 og C4) for å samle data fra hele vannsøylen på de gjeldende stasjonene. Temperaturloggerne samlet data hvert 15. minutt på ulike dyp fra 1 meter over bunn og hver tredje meter oppover i vannsøylen og den siste like under overflaten (Figur 2.7). Riggene ble satt ut i Evangervatnet med gjeldende målinger fra 25. april kl. 11:45 til 26. juni kl. 09:00.

Det ble også satt ut temperaturloggere i Vosso ved utløpet i Evangervatnet og inne i avløpstunnelen til kraftverket som registrerte temperaturer fra 24. april kl.11:45 til 22. juni kl. 08:15.



Figur 2. 7 Rigg med temperaturloggere

Tabell 2. 1 Stasjonsopplysninger for strømmålinger med bruk av profilmåler av typen ADCP modell AquaDopp Current Profiler 400kHz (Nortek AS)

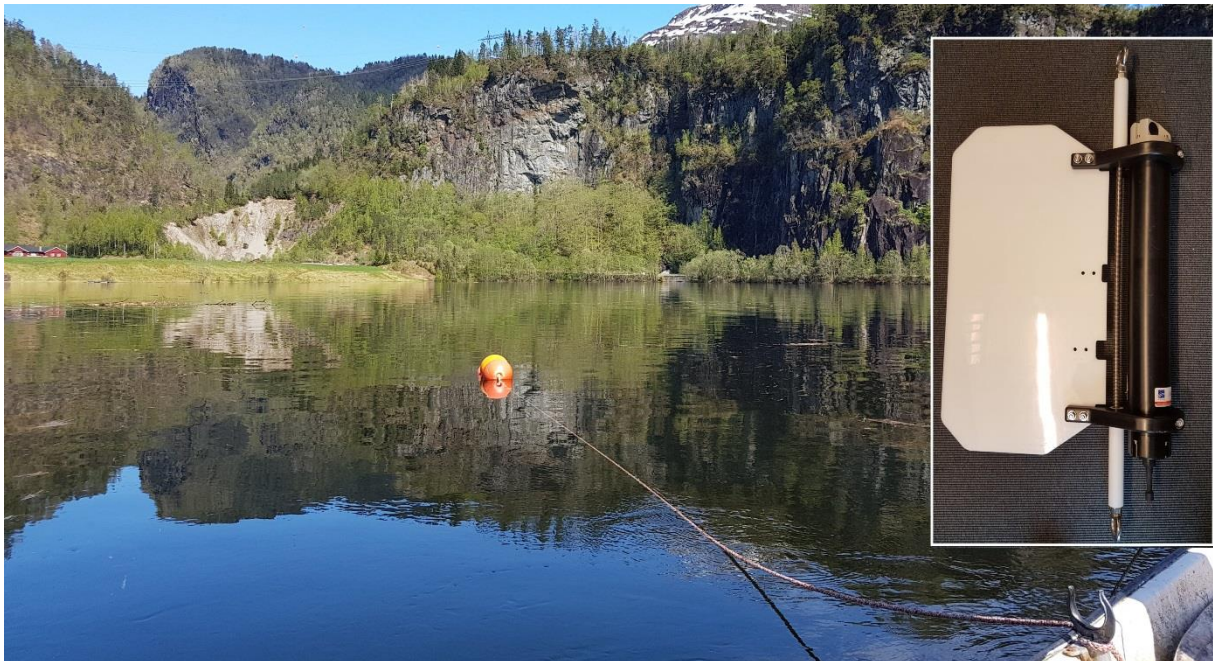
STASJON B2			
Koordinater målested, N:	60° 39.141	Koordinater målested, Ø:	006° 05.278
Bunndyp (m):	15,8 (15,0-17,3); gjennomsnittdyp (min-maks)		
Instrumentdyp (m):	Samme som bunndyp	Måleretning:	Opp
Måleperiode start:	19.04.18 (kl.07:00)	Måleperiode slutt:	26.06.18 (kl. 09:00)
Måledyp (m):	2-14 m	Måler nr. (instrument ID)	SAM-02 (AQD9552)
		Antall målinger (per meter måledyp)	6537/6537
		Rådata (filnavn)	SAM-0201.prf
STASJON C2			
Koordinater målested, N:	60° 39.024	Koordinater målested, Ø:	006° 05.666
Bunndyp (m):	30,8 (30,0-32,3); gjennomsnittdyp (min-maks)		
Instrumentdyp (m):	Samme som bunndyp	Måleretning:	Opp
Måleperiode start:	19.04.18 (kl.07:00)	Måleperiode slutt:	26.06.18 (kl. 09:00)
Måledyp (m):	3-28	Måler nr. (instrument ID)	SAM-03 (AQD11173)
		Antall målinger (per meter måledyp)	6464/6537*
		Rådata (filnavn)	SAM-0301.prf
STASJON C4			
Koordinater målested, N:	60° 39.024	Koordinater målested, Ø:	006° 05.462
Bunndyp (m):	28,3 (27,5-29,7); gjennomsnittdyp (min-maks)		
Instrumentdyp (m):	Samme som bunndyp	Måleretning:	Opp
Måleperiode start:	19.04.18 (kl.07:00)	Måleperiode slutt:	26.06.18 (kl. 09:00)
Måledyp (m):	3-26	Måler nr. (instrument ID)	SAM-04 (AQD11184)
		Antall målinger (per meter måledyp)	6537/6537
		Rådata (filnavn)	SAM-0401.prf

*Strømmåleren var ute av posisjon i perioden 10. mai (kl.08:02) til 11. mai (kl.02:02) pga tilt. Dette kan best forklares med at drivgods (trestammer eller annet) har hengt seg opp i overflatebøyen med feste til instrumentet. Perioden sammenfaller med den høyeste vannføringen fra Vosso. Det ble ikke samlet brukbare data i denne perioden fra dette ene instrumentet (n=73 av totalt 6537 målinger forkastet).

Det ble gjennomført supplerende målinger av overflatestrømmen (1-2 meters dyp) med bruk av punktmåler (Acoustic Doppler Current Meter; ADCM) på utvalgte stasjoner i Evangervatnet. Disse stasjonene ble plassert i transekter i ulike deler av Evangervatnet for å få en bedre oppløsning på strømdata og vannbevegelsene over et større område. Valg av stasjoner er basert på preliminære undersøkelser gjennomført i 2016.

Punktmåleren var innstilt til å logge data hvert 5 sekund og data ble samlet over en periode på 12-15 minutter på hver stasjon (200-300 registreringer av data per stasjon per måling). Innsamlingen av data i transektene ble gjennomført med bruk av båt forankret i posisjonen til målestasjonen (Tabell 2.2). Instrumentet hang i lodd under trålkuler festet til tau utfra forankret båt (Figur 2.8).

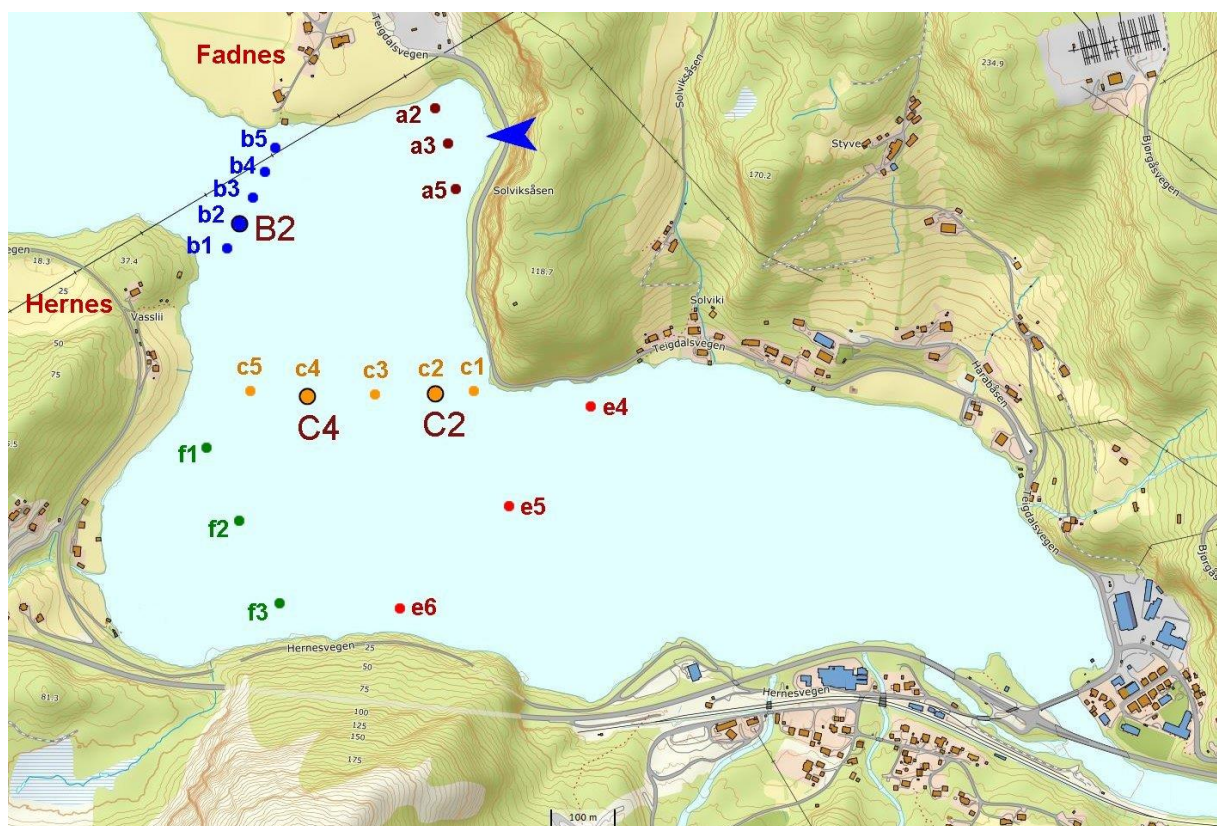
Det ble i tillegg utført profilmålinger av temperatur på alle transektstasjonene med bruk av CTD/STD sonde (SD208, SAIV AS). Data ble brukt til å sammenligne temperaturer i vannsøylen fra ulike deler av Evangervatnet under varierende forhold mht. til vannføring i Vosso og driftsvannføring fra kraftverket. Transektmålingene ble gjennomført 25. april, 11. mai, 1. juni (delvis) og 26. juni. Stasjoner brukt i transektmålingene er vist i Figur 2.9.



Figur 2. 8 Overflatestrøm. Transektmålinger med bruk av ADCM (akustisk doppler-punktmåler, Nortek). Bildet er fra stasjon b1 11. mai 2018.

Tabell 2. 2 Overflatestrøm. Transektmålinger med ADCM (akustisk doppler punktmåler; Nortek). Posisjon til stasjonene gitt med koordinater (WGS84). Målingene ble gjennomført 25.april, 11. mai, 16. mai, 1. juni (kun a- og e-transekter) og 26. juni 2018. Gjennomsnittlig registrert bunndyp og antall målinger (data) for hele perioden er gitt.

Stasjoner	Koordinater N	Koordinater Ø	Bunndyp (snitt)	Måledyp	N målinger (snitt)
a2	60 39.255	006 05.593	7,5	1-2 m	273
a3	60 39.234	006 05.639	11	1-2 m	275
a5	60 39.188	006 05.651	11	1-2 m	249
b1	60 39.132	006 05.273	11	1-2 m	289
b2	60 39.150	006 05.285	16	1-2 m	281
b3	60 39.166	006 05.294	17	1-2 m	277
b4	60 39.187	006 05.296	16	1-2 m	254
b5	60 39.199	006 05.311	14	1-2 m	261
c1	60 39.033	006 05.730	21	1-2 m	253
c2	60 39.021	006 05.656	30	1-2 m	251
c3	60 39.027	006 05.579	30	1-2 m	276
c4	60 39.012	006 05.450	28	1-2 m	257
c5	60 39.024	006 05.360	24	1-2 m	248
e4	60 39.036	006 05.926	20	1-2 m	290
e5	60 38.954	006 05.770	27	1-2 m	226
e6	60 38.859	006 05.645	31	1-2 m	235
f1	60 38.975	006 05.262	23	1-2 m	269
f2	60 38.939	006 05.317	28	1-2 m	266
f3	60 38.902	006 05.373	29	1-2 m	257



Figur 2.9 Transektmålinger. Transekter i Evangervatnet med stasjonsplassering (a, b, c, e, f) for punktmålinger av overflatestrøm og temperaturprofiler. Blå pil markerer utslippspunkt til Evanger kraftverk. Transektstasjonene b2, c2 og c4 har henholdsvis samme posisjon som ADCP-stasjonene B2, C2 og C4.

2.4 Strømdata – Beskrivelse av strømhastighet og vanntransport

Strømstyrke for måleperioden er presentert som gjennomsnittlig hastighet (cm/s) med standardavvik. Stabiliteten til strømhastigheten i måleperioden (spredning i datasettet) beskrives med bruk av standardavvik ($= x^y$, for x =varians og $y=0,5$). Strømhastigheter vil i de aller fleste tilfeller være gjennomsnittlig strømhastighet \pm standardavviket i gjennom hele måleperioden, kun med unntak av enkelte registreringer av maksimal (maks) og minimal (min) strøm.

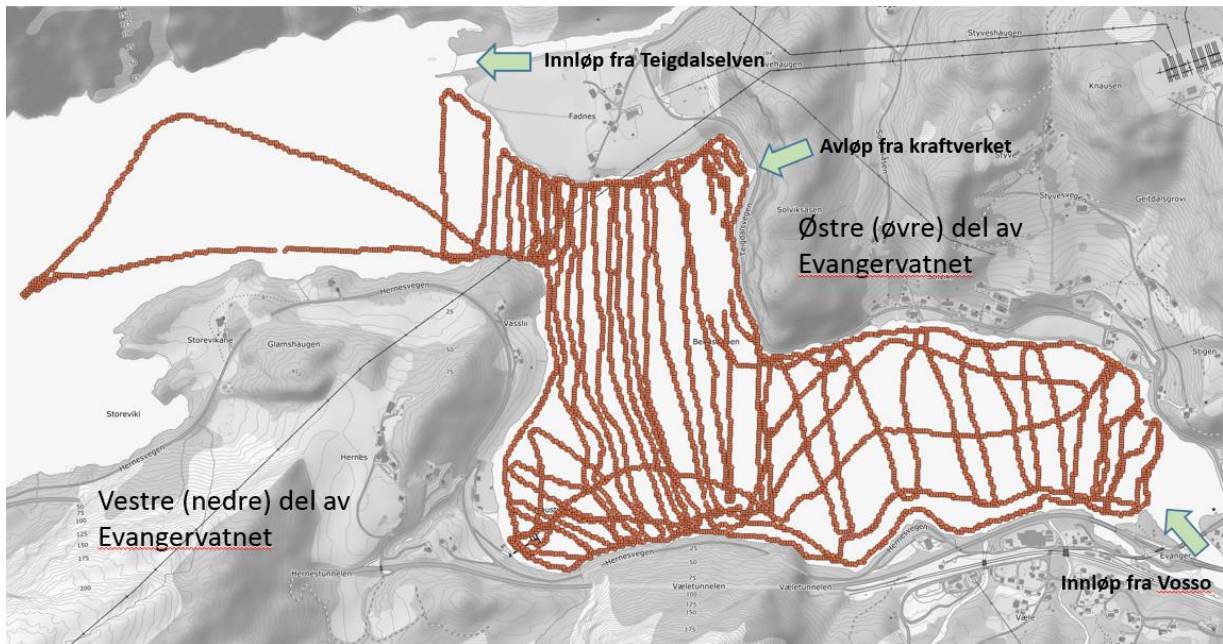
Maksimal (maks) og minimal (min) strøm er hhv. høyeste og laveste registrerte hastighet. Signifikant maks-strøm og min-strøm er definert som gjennomsnittet av 1/3 av de høyest eller lavest målte hastighetene. Strømretninger blir oppgitt i grader (0° - 360° , for nord = 0° og 360°) og er nødvendig informasjon i beskrivelse av vanntransporten omkring målepunktet. Effektiv vanntransport og vannutskifting er bestemt av både strømretning og strømhastighet. Vanntransport (relativ vannfluks) omkring målepunktet kan illustreres i sektordiagram som viser hvilken retning vanntransporten er størst. Vanntransport blir beregnet som mengde vann som passerer et vindu på 1 m^2 per tidsenhet ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$) for hver 15° sektor (retning) på et gitt måledyp.

Forholdet mellom strømretning og strømhastighet blir også beskrevet med bruk av progressiv vektoranalyse. Progressiv vektor illustrerer hvordan en tenkt partikkel vil drive med strømmen over tid. En slik «partikkel» vil kunne drive i ulike retninger gjennom måleperioden avhengig av stabiliteten til strømretningen. Neumann-parameter (verdi mellom 0 og 1) er brukt som mål for stabilitet til strømretningen. Neumann-parameter er forholdet mellom avstanden i rett linje fra partikkelens posisjon ved start og slutt og den faktiske vandringsruten til partikkelen. Høy Neumann-parameter vil indikere en klar hovedstrømretning, mens tilsvarende lav verdi indikerer strømforhold med hyppige skift i strømretninger. En høy verdi på for eksempel 0,7 vil si at strømmen var ensrettet (stabil) i 70% av måleperioden. Rest-strøm (cm/s) beskriver den effektive strømhastigheten, beregnet som partikkelens vandringsavstand i rett linje fra startpunktet (posisjon til strømmåleren) til endepunktet dividert med tiden partikkelen brukte.

Batymetri

En av målsetningene med kartlegging av strøm- og temperaturforhold var å utvikle en strømmodell som beskriver vannbevegelser i Evangervatnet under ulike forhold med tanke på vannføring og drift ved Evanger kraftverk. Til dette formålet var det behov en for en batymetrisk (bunntopografisk) beskrivelse av dybdeforholdene i Evangervatnet.

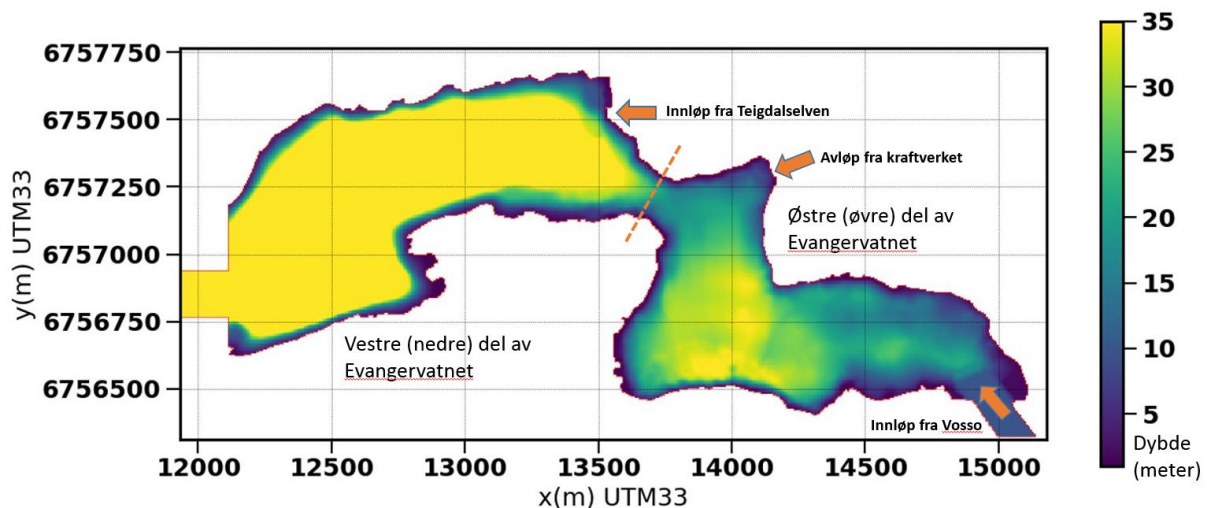
Batymetrien til Evangervatnet ble kartlagt med bruk av Olex (v. 7.32) sammenkoblet med GPS og ekkolodd. Alt utstyret ble rigget i småbåt (14 fot) med påhengsmotor. Transekter med 10-30 meters avstand ble kjørt opp for østre del av Evangervatnet 1. juni 2018 (Figur 2.10).



Figur 2. 10. Batymetri. Bruk av Olex for bunnkartlegging av Evangervatnet. Spor i kart viser oppkjørt område for innsamling av dybde data i Evangervatnet (Bakgrunnskart: N50, Kartverket; kartlag med spor, QGIS).

2.5 Strømmodell

Evangervatnet er et langsmalt vann på litt over 6 km lengde og typisk 3-500 meter bredde. Midtveis har det et maksimalt dyp på ca 120 meter, mens det fra utløpet av Teigdalselven og østover mot Vosso på det meste er ca 40 meter dypt og gradvis avtakende (Figur 2.11). Hovedtilførselen av vann kommer fra elven Vosso, mens utløpet er via Bolstadelven.



Figur 2. 11 Bunnmodell for bruk i strømningsberegning, interpolert fra målinger gjort i dette prosjektet. Stiplet linje markerer sundet mellom Fadnes og Hernes som skiller østre del av Evangervatnet fra den vestre, nedre del. Pilene viser plassering av elveinnløp og avløp fra Evanger kraftverk. Dybdeforhold vist med fargekoder (gul for 35 m eller dypere).

Det er i tillegg en relativt stor innfluks fra Evanger kraftverk og Teigdalselva. Det er også en rekke mindre bekker med utløp i vannet. Vannet er på alle sider ganske godt skjermet fra sterk vind av topografi, og om vinteren kan store deler av vannet være islagt. På grunn av den relativt store gjennomstrømningen av vann i den østre delen av Evangervatnet i vårmeltingen burde det derfor ligge godt til rette for å etablere en forenklet strømningsmodell som kan gi utfyllende innsikt i strømforhold og temperaturrendringer i vannet, siden de dominerende randbetingelsene i modellen vil være godt kjente over tid.

Modellen som er satt opp og brukt i denne rapporten er Bergen Ocean Model (Berntsen 2004), en havmodell utviklet ved Matematisk Institutt ved Universitetet i Bergen, Uni Research (nå NORCE) Bergen, og Havforskningsinstituttet. Modellen løser de tidsavhengige Reynolds midlede Navier Stokes likningene, med Boussinesq approksimasjonen, i tre dimensjoner i et vertikalt terrengfølgende koordinatsystem;

$$\begin{aligned}\frac{\partial U}{\partial t} + \vec{U} \cdot \frac{\partial U}{\partial x} - fV &= -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial U}{\partial z} \right) + F_x, \\ \frac{\partial V}{\partial t} + \vec{U} \cdot \frac{\partial V}{\partial y} + fU &= -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial V}{\partial z} \right) + F_y, \\ \frac{\partial W}{\partial t} + \vec{U} \cdot \frac{\partial W}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial z} - \frac{\rho g}{\rho_0} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial W}{\partial z} \right) + F_z,\end{aligned}$$

Hvor U, V, W er hastighetskomponentene i x, y og z retning i kartesisk koordinatsystem, P er trykk, t er tid, K er diffusjon/viskositet, F er flukser, f er coriolisaksellerasjon. Kontinuitetslikningen er

$$\nabla \cdot \vec{U} = 0,$$

og transportlikning for T , dvs en likning for konservering av energi kan uttrykkes som

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + U \frac{\partial \phi}{\partial x} + V \frac{\partial \phi}{\partial y} + W \frac{\partial \phi}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) + F_\phi$$

Diffusive flukser er gitt som

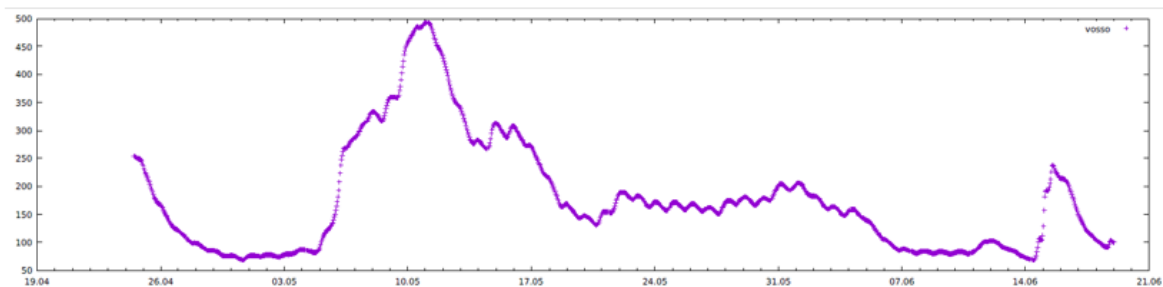
$$F_{x,y,z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(A_M \frac{\partial(U, V, W)}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_M \frac{\partial(U, V, W)}{\partial y} \right)$$

Hvor A er diffusjonskoeffesienten. De horisontale viskositeter beregnes vha Smagorinsky metoden, med en Smagorinskykoeffesient på 0.1. De vertikale viskositetene beregnes via Mellor Yamadas 2.5 nivå turbulensskjema, som er en to-liknings turbulensmodell hvor effekten av oppdrift på grunn av tetthetsforskjeller er inkludert.

Modellen sin bunn har blitt interpolert fra dybdemålingene gjort i dette prosjektet (batymetri; se Figur 2.10). Avstanden mellom gitterpunktene i rutenettet har blitt valgt til 5m, noe som gjør det mulig å matematisk representere fenomen som f.eks. virvler med en størrelse på 50m. Avstanden mellom gitterpunktene har svært stor betydning for hvor lange tidsperioder man kan simulere. Med den

regnekraften som var tilgjengelige sommeren 2018 for modellering, kunne ulike scenarioer av en lengde på ca 1 uke beregnes. Innløpet til Vosso har i modellen blitt utvidet for å redusere hastigheten på elvevannet. Siden dette er en havmodell har den begrensninger i forhold til å representere overflatebølger når vannhastigheten går over ca. 2 m/s. For å omgå disse begrensningene ble Vosso sitt elveløp kunstig noe utvidet og fordypet slik at maksimalhastigheten gikk ned til verdier modellen taklet. Det maksimale dypet i modellområdet er en annen parameter som er viktig for total regnetid. Det kan antas at forholdene i dypet i den vestre delen av vannet ikke er viktige for forholdene i østre del, følgelig ble dypet i den vestre (nedre) delen av Evangervatnet redusert til 60 meter i områdene som manglet målinger for. Utløpet er også forenklet for å bedre stabiliteten til modellen. Utløpsbetingelsen er en såkalt Neumann betingelse, hvor gradienten (dvs endringen) normalt på randsonen er satt til 0 for alle modellvariable unntatt vannstand, som settes direkte til 0. Vannstanden østover i vannet vil på denne måten endres automatisk i takt med endringene i elveflukser og temperatur. Siden hydrografien i den vestre delen av Evangervatnet var ukjent (ingen målinger gjennomført) ble vannet ledet ut av modellen uten å påvirke den østlige delen. Dette kan være et punkt som bør forbedres i eventuelle videre anvendelser. Vannstanden i Evangervatnet er også vist å være direkte avhengig av innstrømsvolumet fra elvene. Denne effekten ble ikke inkludert direkte, men det har blitt gjennomført enkelte testkjøringer med modellen med alternativ bunn som er 2 meter dypere over alt uten at det kunne påvises vesentlig forskjell i strømmønstre.

Modellen er satt opp med forenklete drivkrefter for å studere effekten av elvetemperatur og elvefluks på sirkulasjon og temperaturforhold i vannet over en relativt kort tidsperiode. Det ble fokusert på perioden med smeltingen om våren når smolten vandrer ut mot havet. Det er da typisk så stor vannføring i Vosso at alt vann i den østre del av Evangervatnet potensielt vil kunne skiftes ut i løpet av få dager. Figur 2.12 viser vannføringen i Vosso for våren 2018.

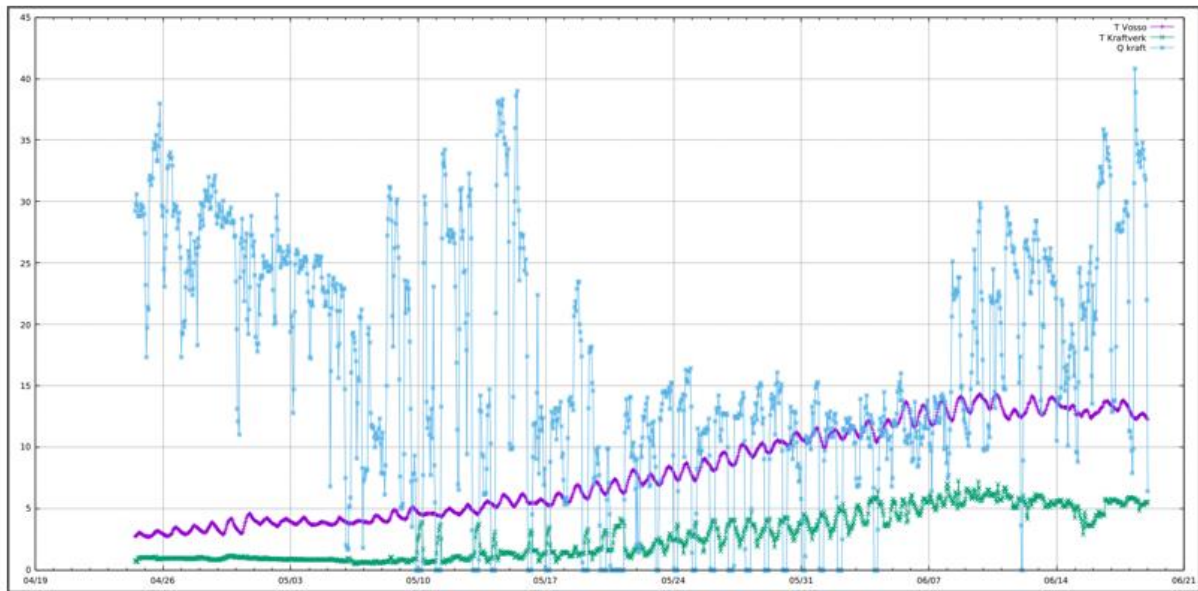


Figur 2. 12 Vannføring i Vosso for 2018.

Overflatearealet til den indre delen av vannet er ca. 800 000 m², som gir et volum på grovt regnet 20 000 000 m³. Med en vannføring på 200 m³/s vil man fylle dette volumet på ca 28 timer, og det antas derfor at elvenes volumfluks og temperatur alene bør være totalt styrende parametre for både temperatur og strømforhold i vannet over kortere perioder. Vannføringen i Vosso vil under smeltingen fra april til juni typisk ligge mellom 50 og 200 m³/s, med korte flomtopper opp mot 500 m³/s. Vi har derfor sett bort fra atmosfærens innvirkning på vanntemperaturen i Evangervannet, både i form av oppvarming og vinddriv. Vi har også sett bort fra effekten av mindre bekker inn i området. Modellen ble kjørt for relativt korte tidsperioder, opp mot en ukes varighet, med realistiske verdier for temperatur og volumfluks fra elvene Vosso og Teigdalselven, samt driftsvannføringen fra Evanger kraftverk, som endres hver time (Figur 2.12 og 2.13).

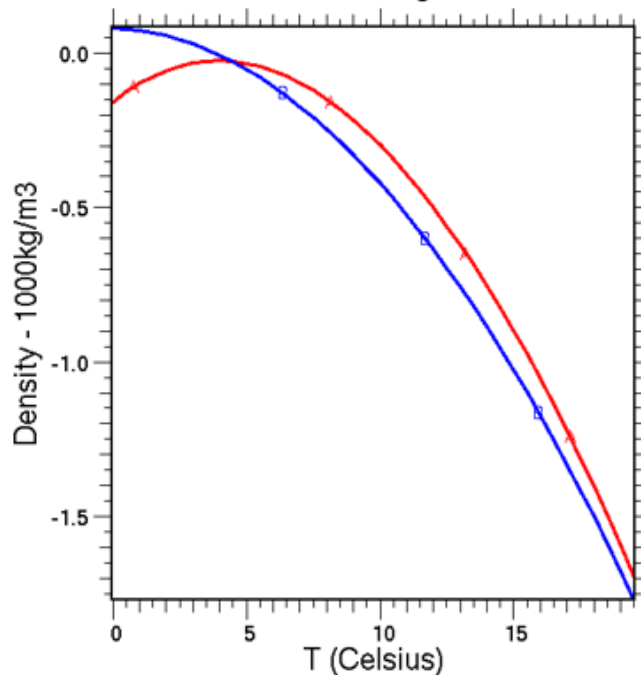
I Evangervatnet er det grunn til å tro at temperaturforholdene kan variere raskt på grunn av de store svingningene man kan ha både i vannføring og temperatur på tilsiget. I tillegg kan man i varme perioder

om våren oppleve at solen varmer opp overflatevannet lengst vest, mens det tilføres økte mengder kaldt smeltevann lengst øst. Vannets tetthet avhenger av temperatur og temperaturen vil derfor være viktig å modellere riktig for å få god nøyaktighet i strømningsretninger og hastigheter. Figur 2.14 viser modellens tilstandsligning for ferskvann, dvs vannets tetthet som funksjon av temperatur. Maksimal tetthet ble observert ved ca 4 °C. Vann med nær 0 °C vil dermed være lettere enn vann ved 4 °C, mens det samtidig vil være tyngre enn vann med mer enn ca 8 °C. Vi observerer videre at temperaturen til vannet fra Vosso og kraftverket passerer 4 °C på ulikt tidspunkt. I begynnelsen av perioden vil derfor vannet fra kraftverket være lettere enn vannet fra Vosso.



Figur 2. 13 Evanger kraftverk og Vosso. Blå kurve viser vannføring fra kraftverket, fiolett kurve er temperaturen i Vosso, grønn kurve viser temperaturen ved utløpet til kraftverket.

Freshwater, PSU=0., blue=Wang EOS, red=Unesco EOS



Figur 2. 12 To modeller for vann sin tetthet som funksjon av temperatur. Vi har brukt modellen med rød kurve (Unesco formuleringen)

3. Resultater – Status 2018

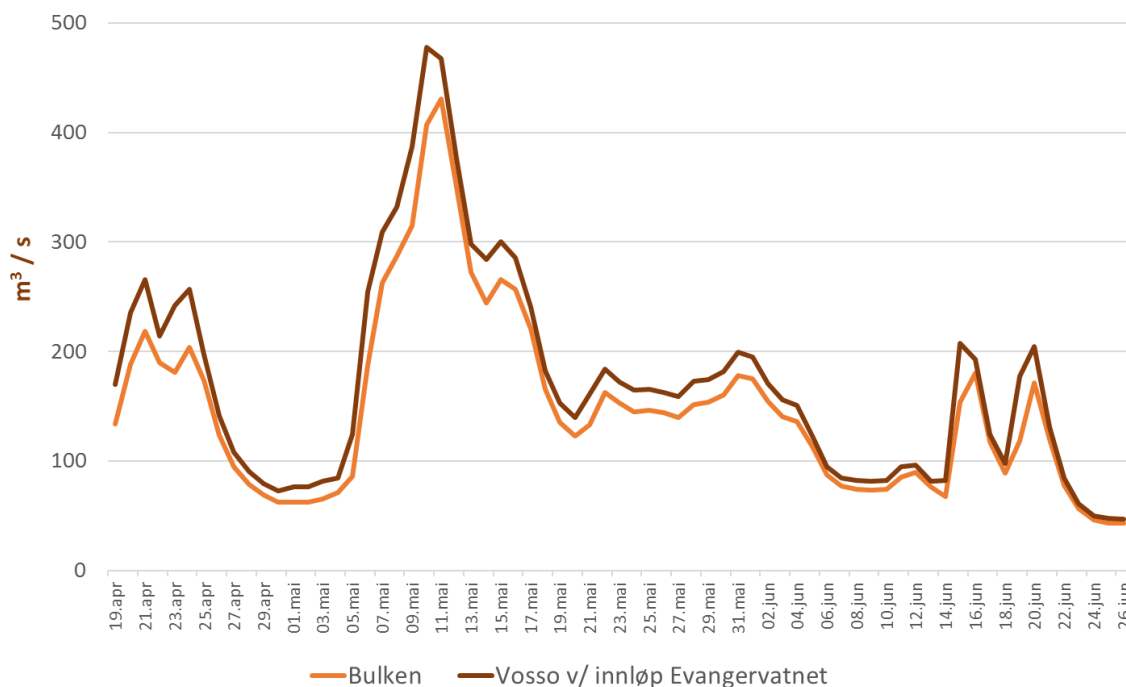
3.1 Vannføring og vannstand

Evangervatnet

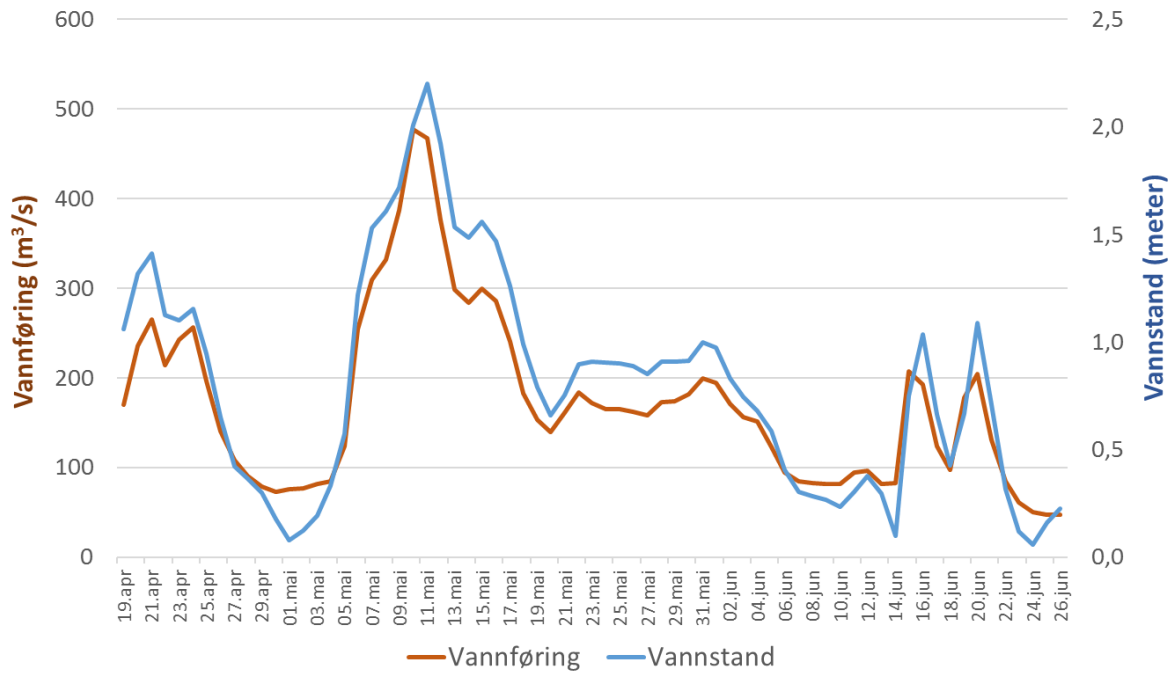
Resultatene fra strøm- og temperaturmålinger påvirkes av tilsiget til Evangervatnet gjennom måleperioden fra 19. april til 26. juni. I denne rapporten blir tilsiget til Evangervatnet kvantifisert med bruk av estimert vannføring fra Vosso ved innløp til Evangervatnet. Estimeringen er basert på målinger ved Bulken (NVE: 65.5.0) og tilsiget til Vosso før det når innløpet til Evangervatnet. Forskjellen i vannføring målt ved Bulken og den estimerte vannføringen i Vosso ved innløpet til Evangervatnet er vist i Figur 3.1. Dette samlede tilsiget til Evangervatnet samsvarer med registrerte endringer i vannstanden utført i perioden 19. april til 26. juni 2018 (Figur 3.2; Kendall's $\tau = 0,89$, $p < 0,001$).

Endringer i vannstanden utgjorde en forskjell på 2,2 meter når laveste og høyeste vannstand sammenlignes for hele den undersøkte perioden (Figur 3.2).

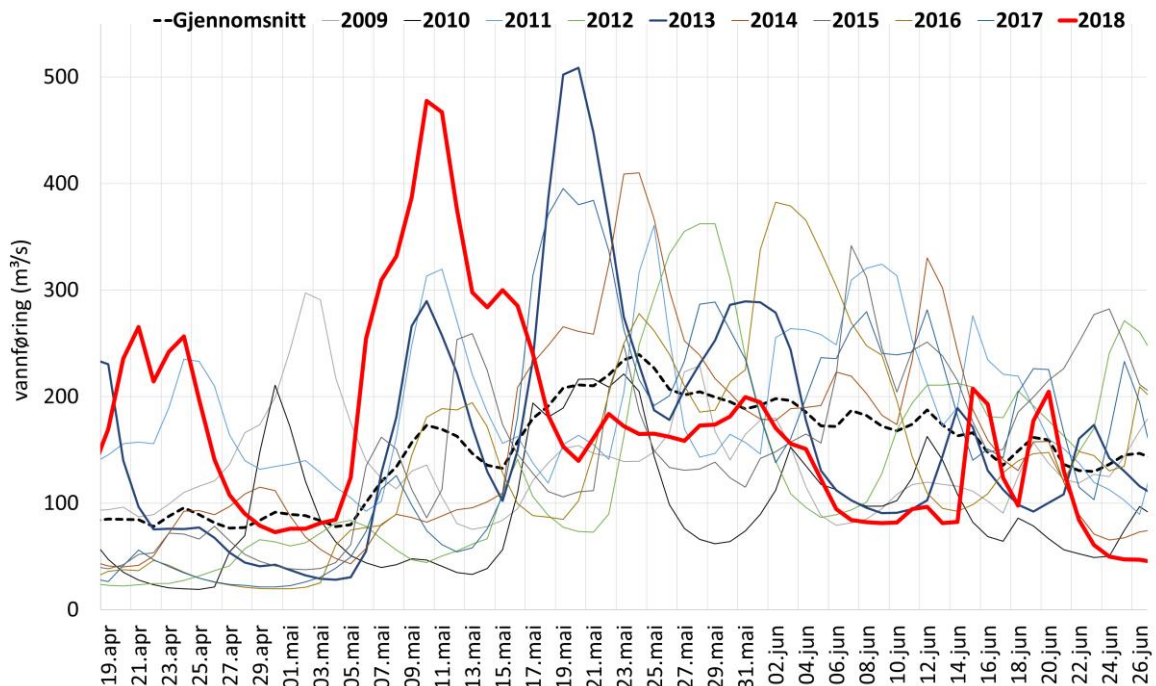
Vannføringen til Vosso ved innløpet til Evangervatnet har en vårflom i 2018 som topper tidligere sammenlignet med andre år i perioden 2009-2018 (Figur 3.3), og har den største gjennomsnittlige vannføringen for mai måned ($220 \text{ m}^3/\text{s}$) registrert de siste 10 år. Gjennomsnittlig vannføring for juni ($106 \text{ m}^3/\text{s}$) er imidlertid den laveste siden 2010.



Figur 3. 1. Vannføring 2018. Data registrert ved målestasjon Bulken (NVE: 62.5.0) sammenlignet med beregnet vannføring for Vosso ved innløp Evangervatn (døgn gjennomsnitt; m^3/s). Kilde: BKK, NVE



Figur 3. 2. Evangervatnet. øvre del. Beregnet vannføring (døgn gjennomsnitt; m³ / s) fra Vosso ved innløp Evangervatnet og vannstand (meter) i øvre del av Evangervatnet for perioden 19. april til 26. juni 2018. Vannstanden gjennom perioden er registrert med akustiske doppler instrumenter (ADCP). Kilde: BKK, NORCE



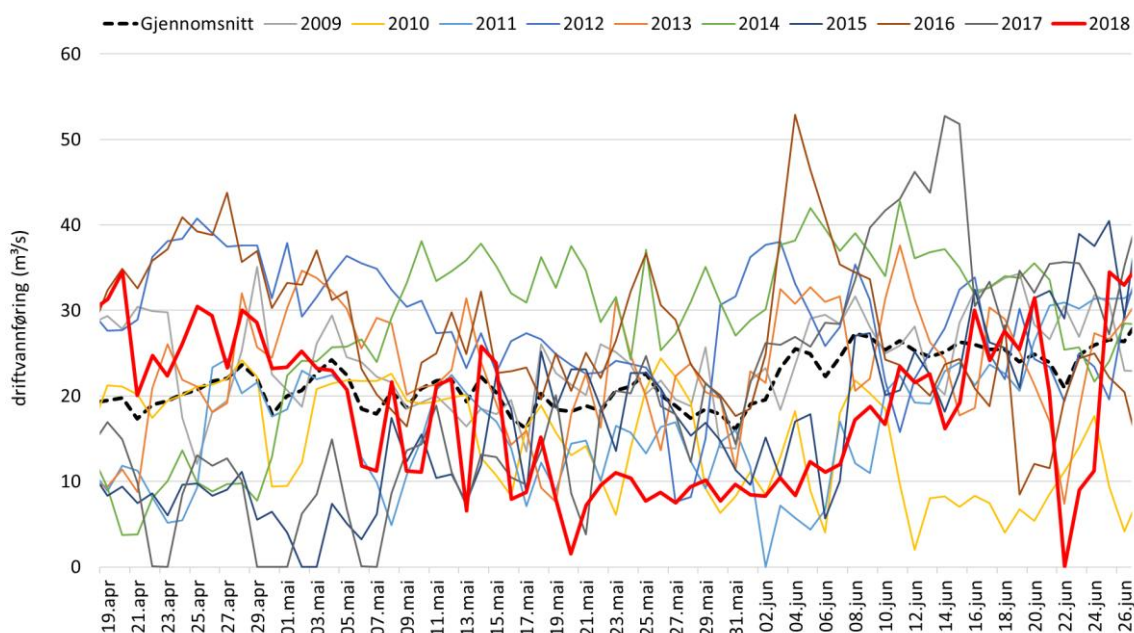
Figur 3. 3. Vannføring Vosso ved innløpet til Evangervatnet 19. april til 26.juni (døgnmiddel). Målinger fra 2018 er markert med rød linje i forhold til gjennomsnittet for alle årene (stiplet linje). Kilde: BKK og NVE

Evanger kraftverk (april-juni)

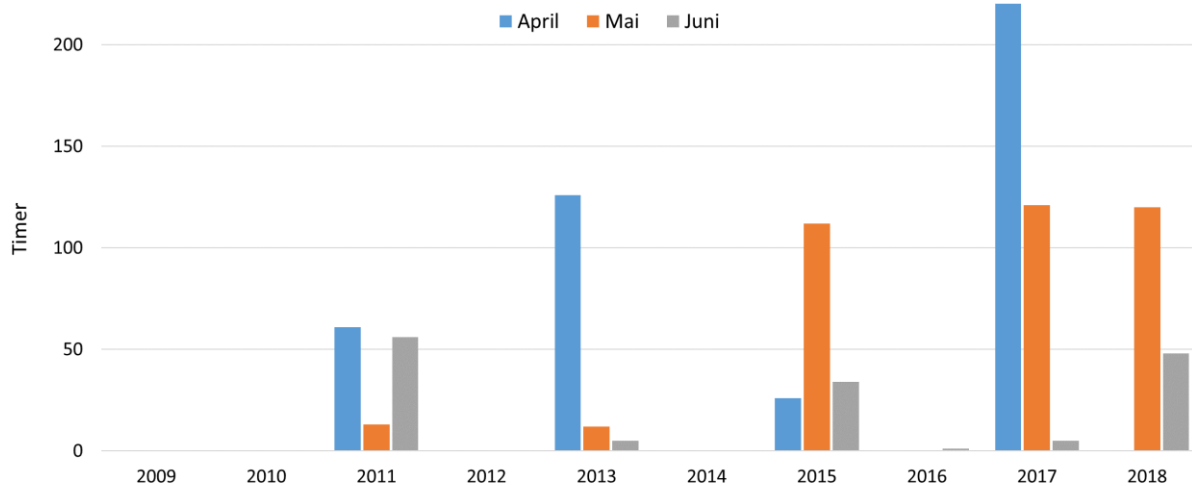
Gjennomsnittlig driftsvannføring i Evanger kraftverk (døgnmiddel) for perioden 19. april til 26. juni 2018 var $18 \text{ m}^3/\text{s}$, som er noe lavere enn gjennomsnittet ($22 \text{ m}^3/\text{s}$) for 2009-2018. Driftsvannføring til Evanger kraftverk for perioden 19. april – 26. juni er vist for årene 2009 til 2018 i figur 3.4. Størst driftsvannføring i 2018 var i april måned (gjennomsnittlig døgnmiddel $27 \text{ m}^3/\text{s}$) uten stans i drift, mens lavest var i mai ($14 \text{ m}^3/\text{s}$) med 120 timer uten drift. Perioder uten drift varierer fra år til år (figur 3.5), og i tillegg kan det være stor døgnvariasjon i driftsvannføringen der perioder uten drift oftest forekommer nattetid (Figur 3.6).

Driftsvannføring til Evangervatnet fra Evanger kraftverk i forhold til vannføringen i Vosso ved innløpet til Evangervatnet i perioden 19. april – 26. juni 2018 er vist i figur 3.7. Det ble registrert 19 døgn av totalt 69 i perioden 19. april til 26. juni 2018 med gjennomsnittlig driftsvannføring fra kraftverket som var 20 % eller mer i forhold til tilsiget fra Vosso. Perioder med de relativt største driftsvannføringene forekom i april og juni (Figur 3.8).

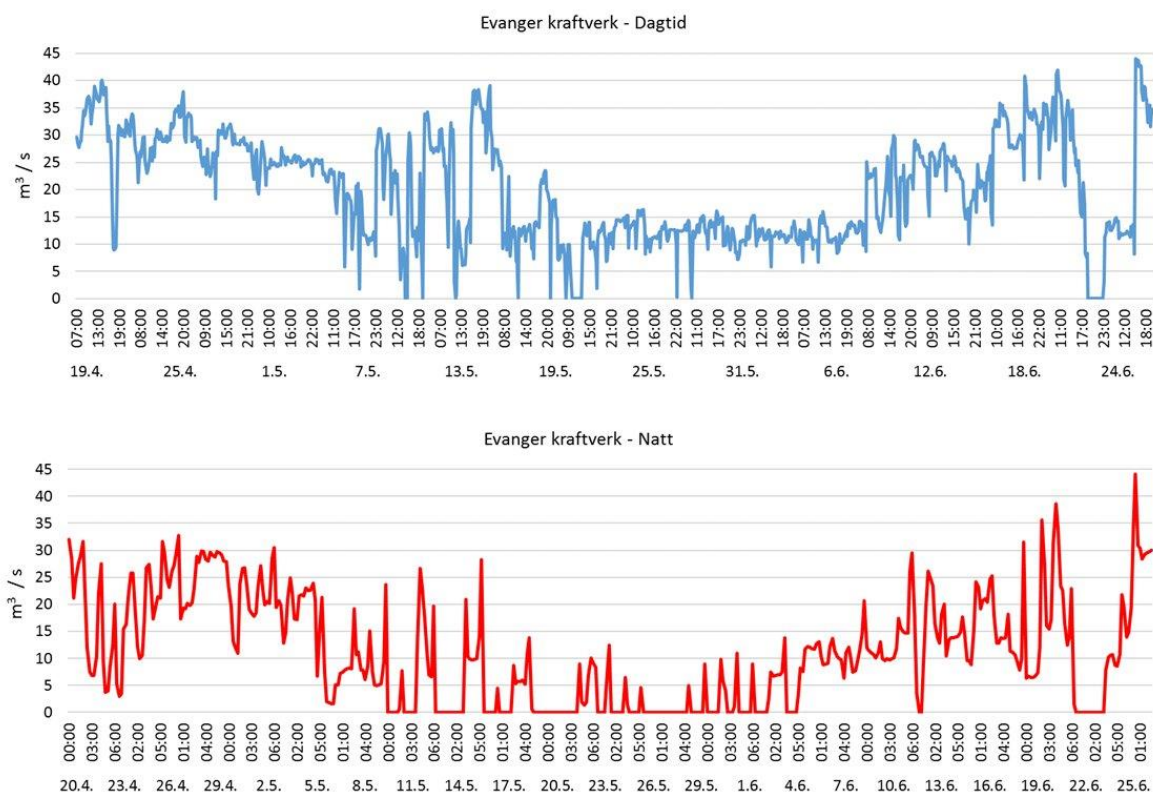
Driftsvannføringen til Evanger kraftverk i forhold til vannføringen til Vosso ved innløp Evangervatnet var imidlertid relativt lav i 2018 sammenlignet med tidligere år, med en andel som ligger under gjennomsnittet for nesten hele perioden 19. april til 26. juni (Figur 3.9).



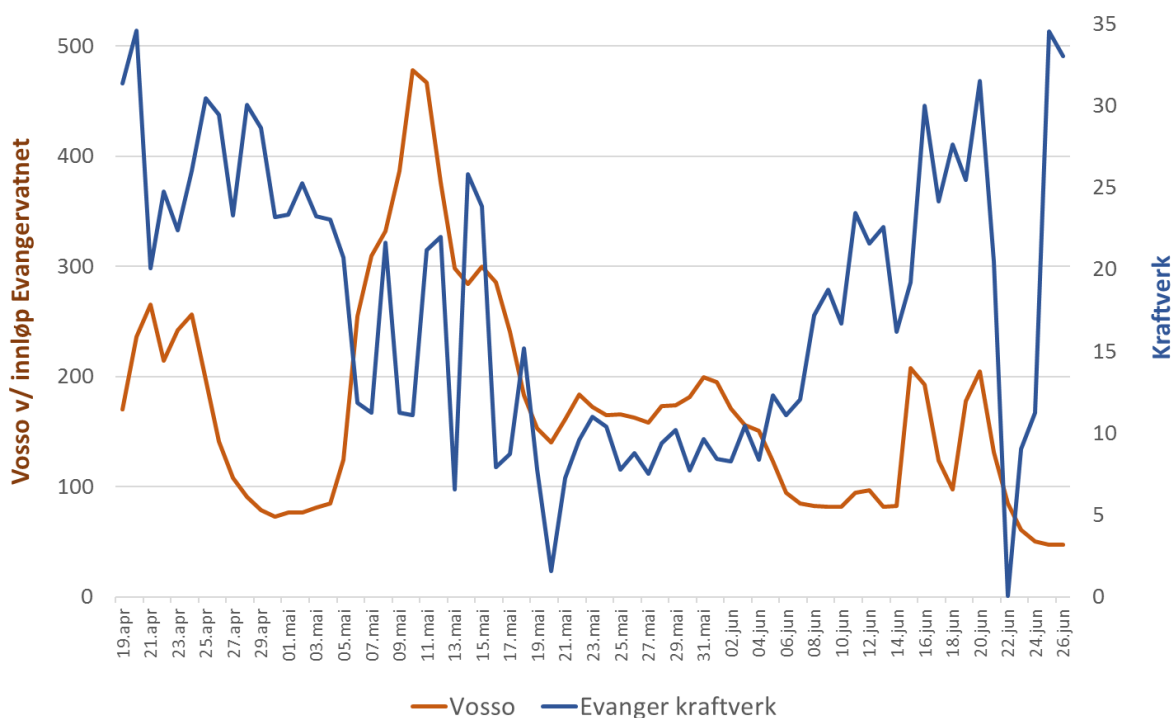
Figur 3. 4. Evanger kraftverk. Driftsvannføring vist som døgnmiddel for perioden 19. april til 26.juni i årene 2009-2018. Registreringer fra målinger i 2018 er markert med rød linje i forhold til gjennomsnittet for alle årene (stiplet linje). Kilde: BKK



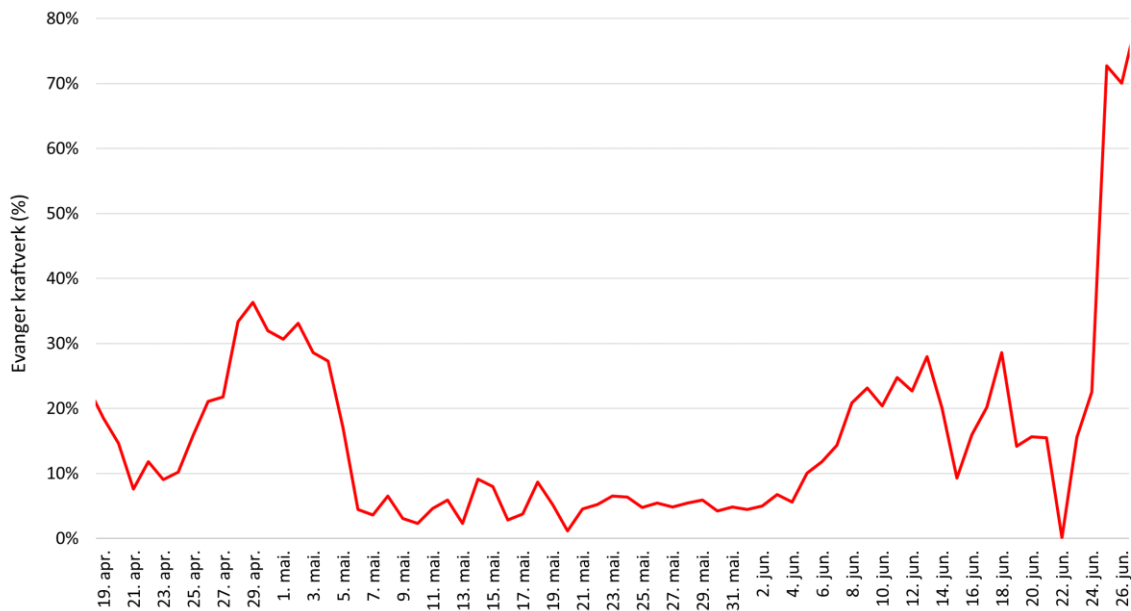
Figur 3. 5. Perioder uten drift Evanger kraftverk. Antall timer med null utslipp for perioden april-juni i årene 2009-2018. Kilde: Data fra BKK



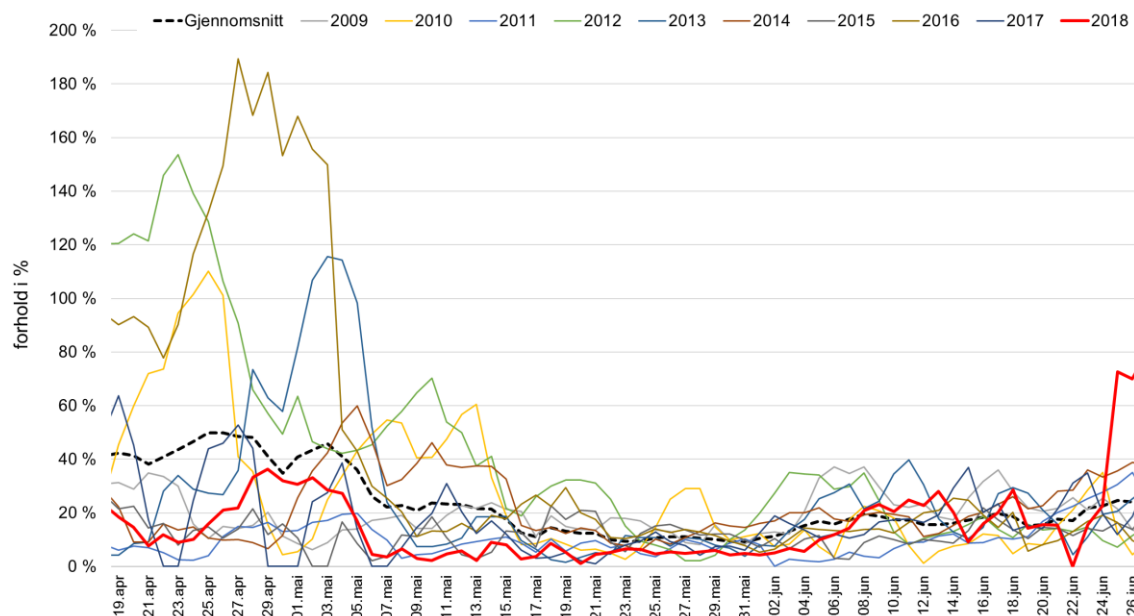
Figur 3. 6. Driftsvannføring Evanger kraftverk. Driftsvannføring på dagtid (kl.07-24) og natt (kl.00-06) i perioden 19. april – 26. juni 2018. Kilde Data fra BKK, bearbejdet av NORCE



Figur 3. 7. Tilsig til østre (øvre) del av Evangervatnet i perioden 19.april til 26. juni 2018. Vannmengder fra Evanger kraftverk og beregnet vannføring fra Vosso v/ innløp i Evangervatnet (verdier gitt som døgngjennomsnitt; m³/s). Kilde: BKK



Figur 3. 8. Andel av tilsig til østre (øvre) del av Evangervatnet. Tilsig til Evangervatnet fra Evanger kraftverk i forhold til vannføringen i Vosso ved innløpet i Evangervatnet (døgnsnitt).



Figur 3. 9. Driftsvannføring Evanger kraftverk i forhold til vannføring i Vosso ved innløpet i Evangervatnet 2009-2018 (døgnmiddelverdier). Driftsvannføring i 2018 sammenlignet med tidligere år for perioden 19. april – 26. juni. Kilde: BKK

3.2 Temperaturforhold under smoltutgangen 2018

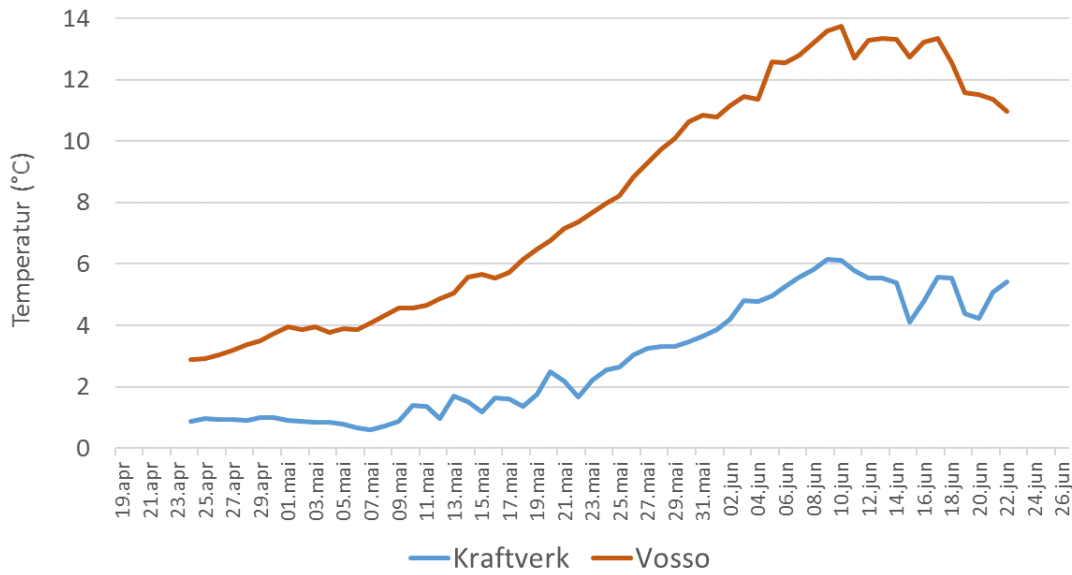
Evanger kraftverk og Vosso

Temperaturloggere ble satt ut i Vosso og i avløpstunnelen fra Evanger kraftverk 24. april. Loggerne samlet data hvert 15. min til disse ble hentet inn 22. juni. Resultatene viser at det er signifikant kaldere vann fra kraftverket enn fra Vosso gjennom hele denne måleperioden (t-test, $p < 0,05$), men temperaturøkningen i både vannet fra kraftverket og vann fra Vosso følger samme trend (Kendalls's $\tau = 0,7$; $p < 0,05$). Temperaturen varierte mellom 0,6 og 6,1 °C i avløpsvannet fra kraftverket og tilsvarende mellom 2,9 og 13,7 °C i Vosso ved innløpet til Evangervatnet (Figur 3.10).

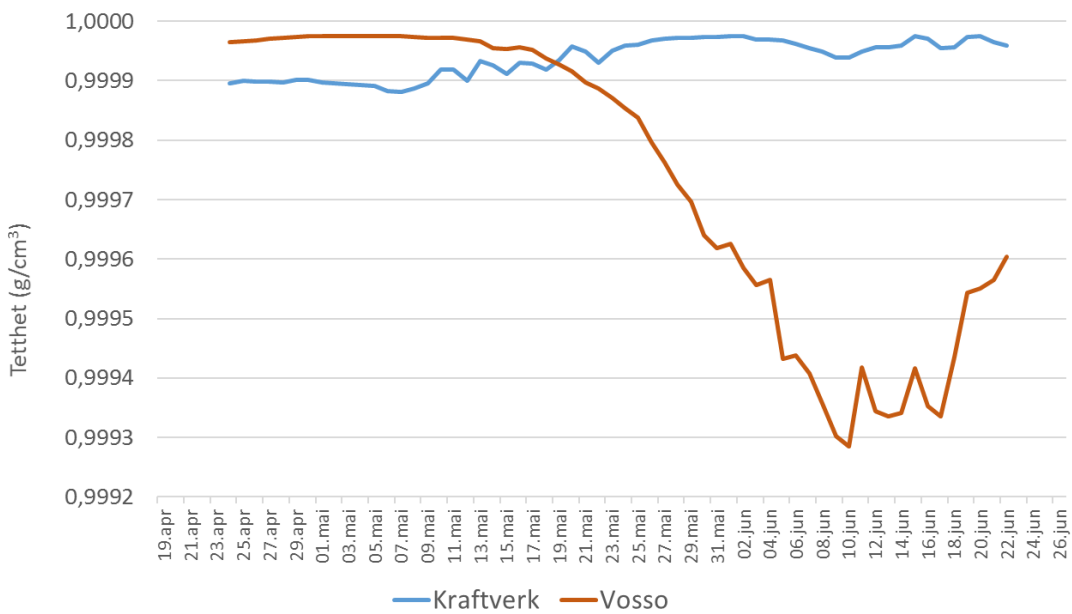
Den største økningen i temperatur i både avløpsvannet fra kraftverket og i Vosso skjer i størst grad i perioden etter 21. mai. Denne endringen gir også relativt store utslag på vanntettheten til vannet fra Vosso sammenlignet med vannet fra kraftverket (Figur 3.11). Dette skiftet i endring av vanntettheten forekommer når temperaturen i Vosso blir mer enn 7 °C.

Temperatur og følgelig vanntetthet i vannet fra Vosso viser til dels store variasjoner fra år til år (Figur 3.12 og 3.13). Sammenligninger av temperaturer i Vosso for perioden april – juli i tidligere år (2009-2017) viser lignende mønster i markant endring av vanntettheten som forekommer når temperaturen i Vosso er > 7 °C og økende. For årene 2009, 2010 og 2014 forekommer denne endringen i slutten av mai, for årene 2011, 2012, 2013, 2016 og 2017 i starten av juni, mens tilsvarende temperaturøkning ikke forekom før i slutten av juni i 2015. Sammenlignet med tidligere år skiller 2018 seg ut med relativt rask vanntemperaturøkning og tilsvarende markant endring i vanntettheten.

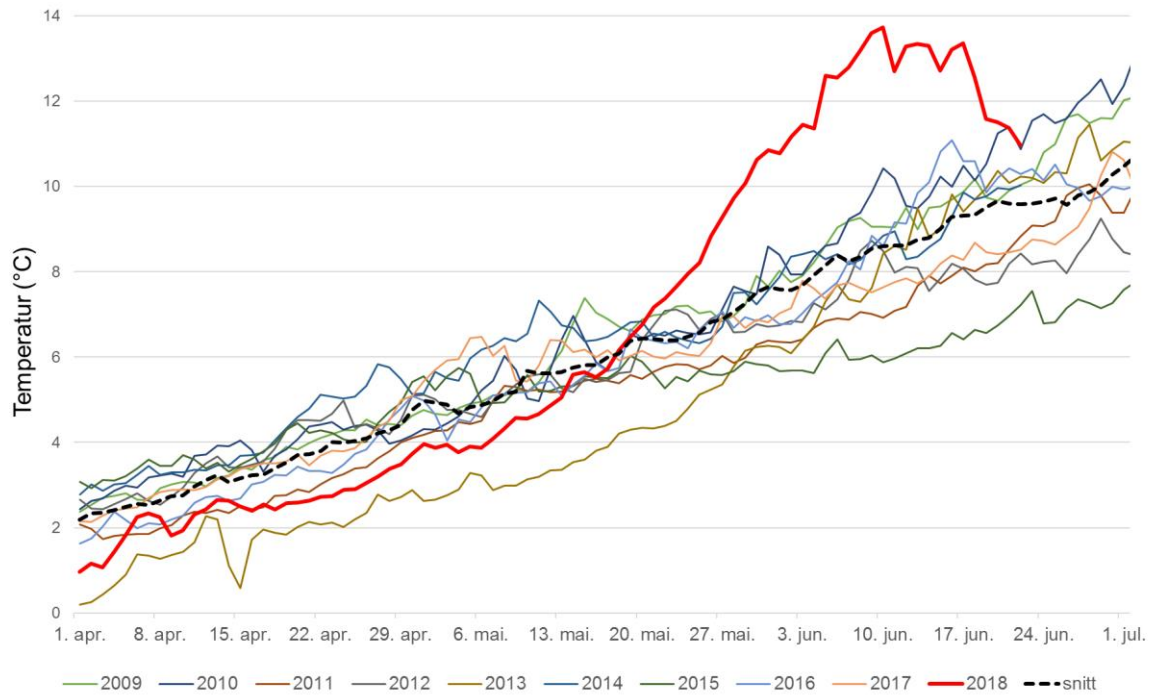
Tilsvarende endring og variasjon i temperatur og vanntetthet forekommer ikke like markant i det relativt kalde vannet fra kraftverket som har temperaturer under 7 °C i hele perioden 19. april til 26. juni (Figur 3.14 og 3.15).



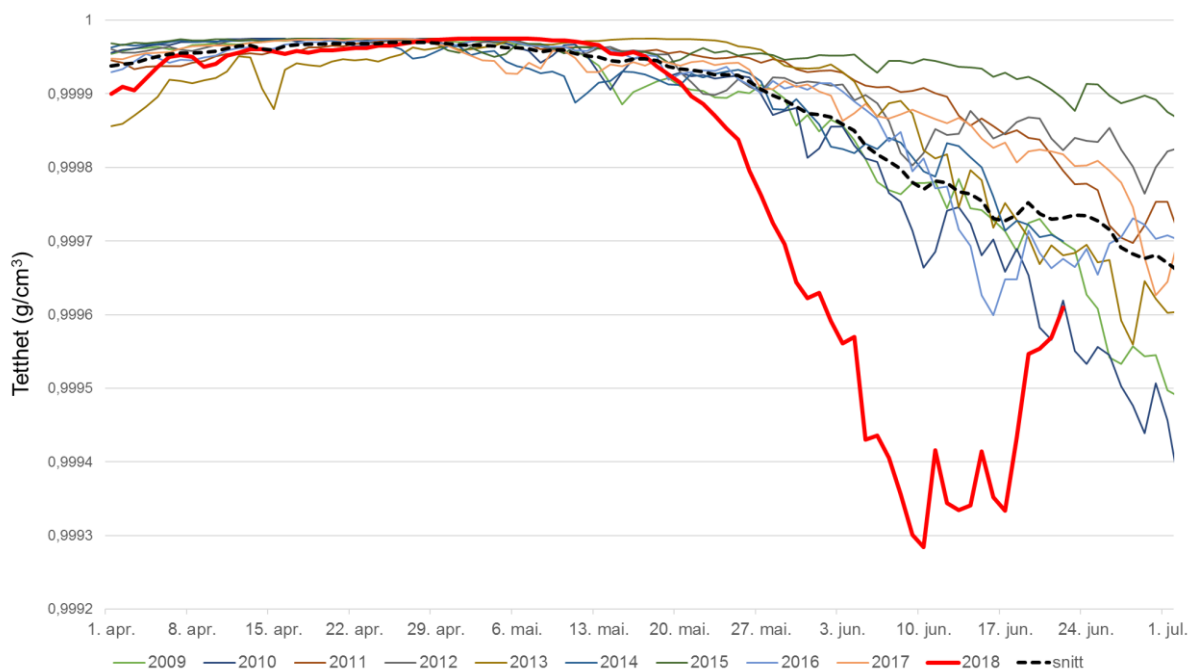
Figur 3. 10. Vanntemperatur. Gjennomsnittlig vanntemperatur per døgn i Vosso ved innløpet til Evangervatnet og i vannet fra Evanger kraftverk i perioden 24. april til 22. juni 2018.



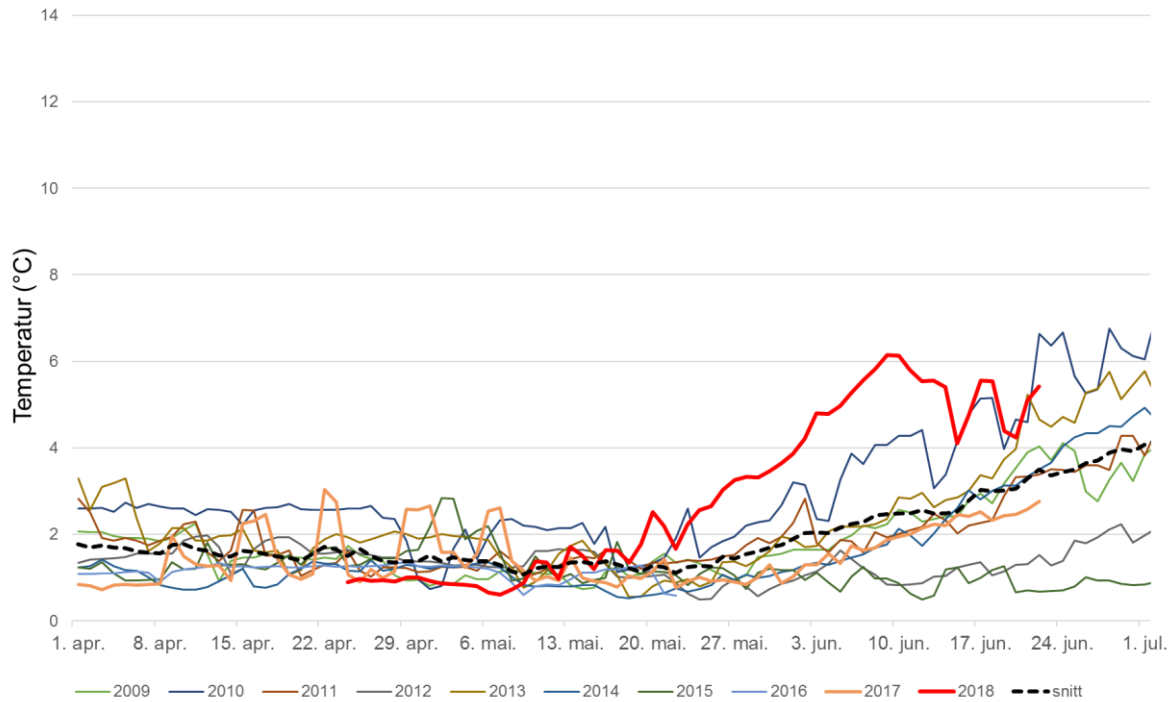
Figur 3. 11. Tetthet. Beregnet tetthet (densitet, σ_T); g/cm³ for vann fra Vosso ved innløpet til Evangervatnet og fra Evanger kraftverk i perioden 24. april – 22. juni 2018.



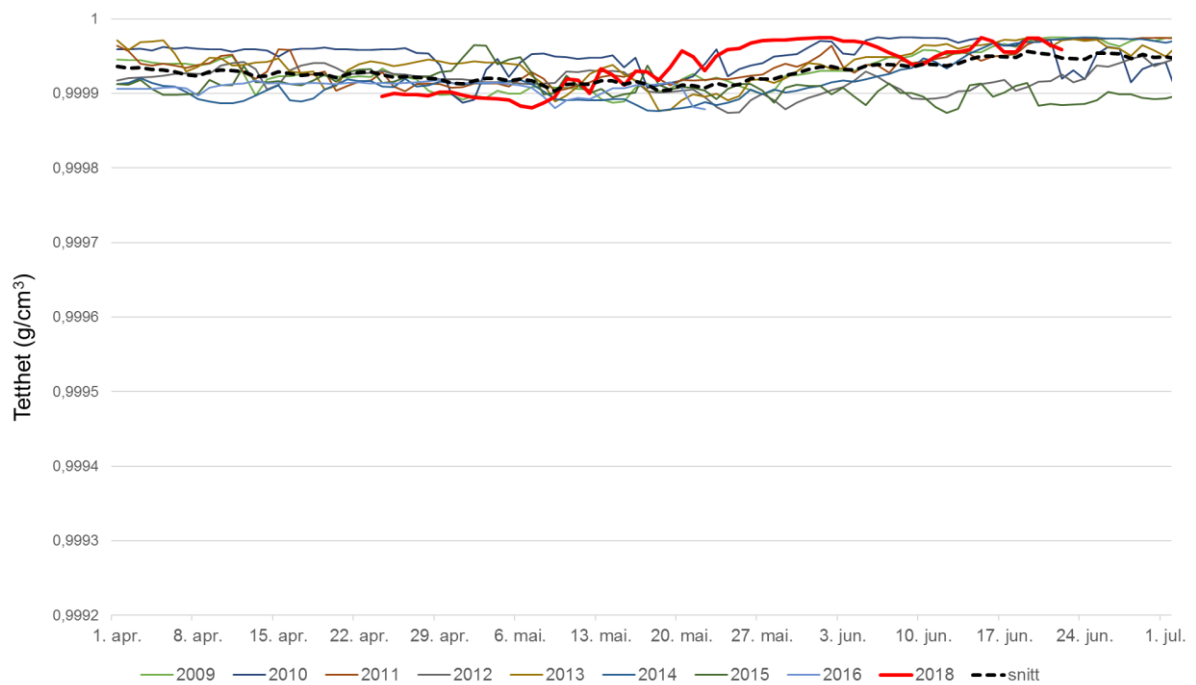
Figur 3. 12. Vanntemperatur Vosso 2009-2018. Døgnmiddel i Vosso ved innløpet til Evangervatnet for perioden april-juni. Resultater fra 2018 er markert med rød linje (målinger utført av NORCE) i forhold til gjennomsnittet for alle årene (stiplet linje). Kilde: BKK, NORCE.



Figur 3. 13. Vanntetthet Vosso 2009-2018. Resultater fra 2018 er markert med rød linje (målinger utført av NORCE) i forhold til gjennomsnittet for alle årene (stiplet linje). Kilde: BKK, NORCE



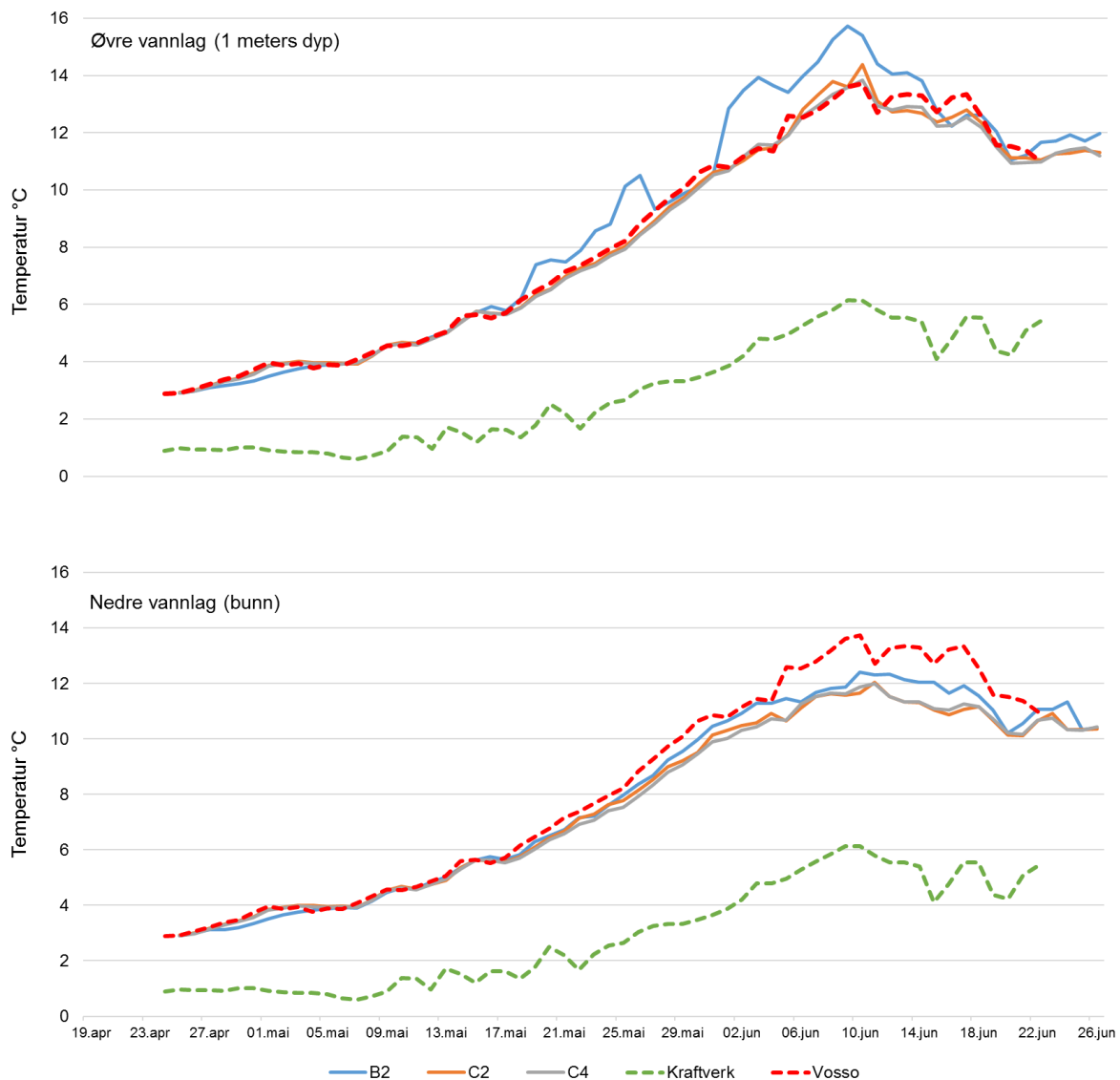
Figur 3. 14. Vanntemperatur til vannet fra Evanger kraftverk 2009-2018. perioden april-juni. Resultater fra 2018 er markert med rød linje (målinger utført av NORCE) i forhold til gjennomsnittet for alle årene (stiplet linje). Kilde: BKK, NORCE



Figur 3. 15. Vanntetthet til vannet fra Evanger kraftverk 2009-2018. Resultater fra 2018 er markert med rød linje (målinger utført av NORCE) i forhold til gjennomsnittet for alle årene (stiplet linje). Kilde: BKK, NORCE

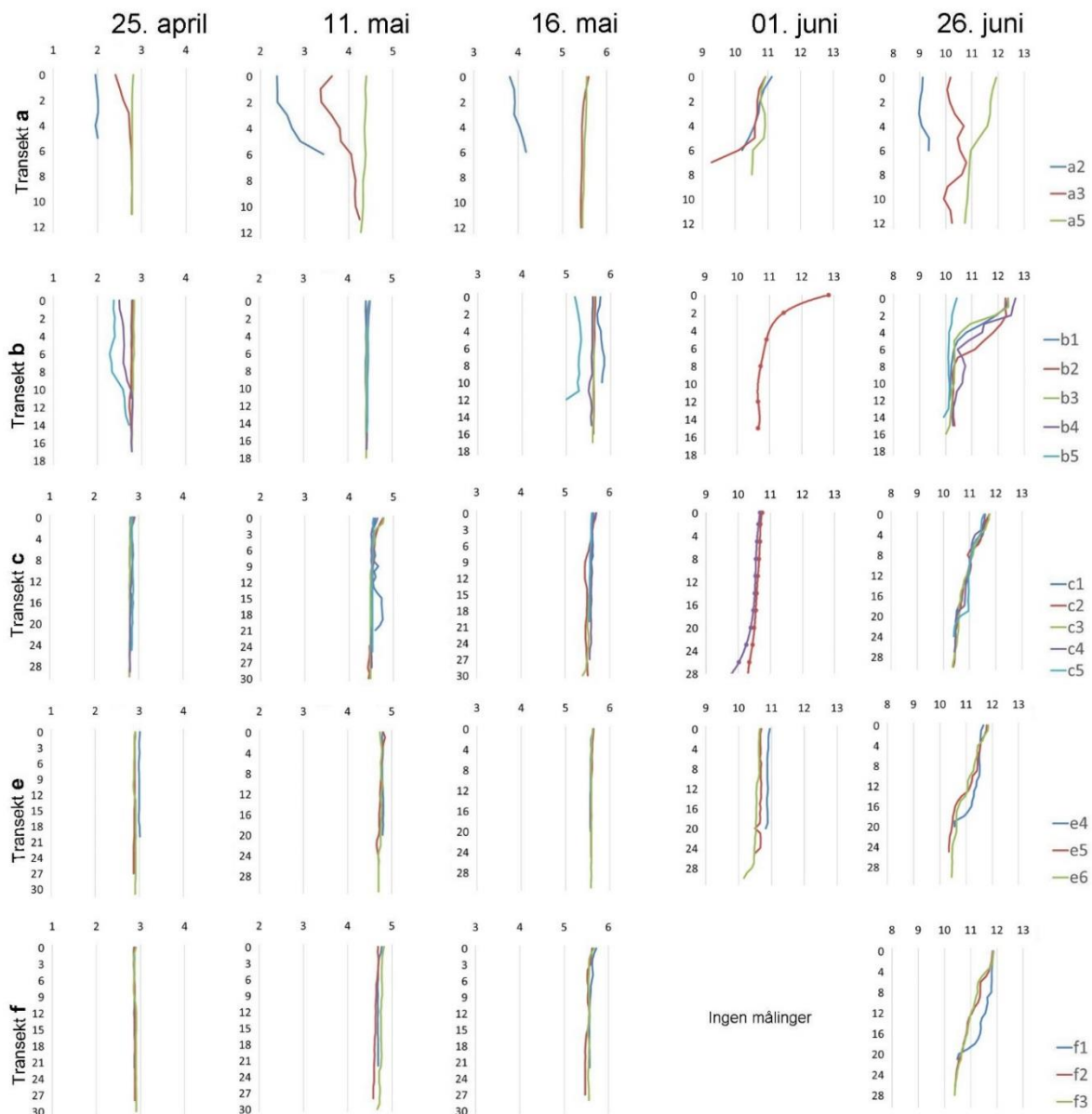
Evangervatnet

Temperaturloggerene på de tre ADCP-stasjonene (st. B2, C2 og C4; Figur 2.5) viste at det ble dannet en tydeligere temperaturgradient i perioden etter 21. mai, med kaldere vann på bunn i Evangervatnet sammenlignet med temperaturer i vannlagene over (Figur 3.16). I perioden før 21. mai var det signifikant forskjell mellom overflatetemperatur og bunntemperatur på st. B2 (t-test; $t=2,7$ $df=4896$, $p<0,007$), men ingen forskjell i temperaturene på st. C2 eller C4. I perioden etter 21. mai var det derimot signifikant forskjell i overflate temperaturen og bunntemperaturen på alle stasjonene (t-test, $p<0,0001$).



Figur 3. 16. Vanntemperaturer. Temperaturer målt på stasjonene B2, C2 og C4. Maks. bunndyp registrert på de ulike stasjonene i løpet av perioden 25.april til 26.juni var 15-17 meter på st. B2, 30-33 meter på st. C2 og 27-30 på st. C4. Temperaturer målt i avløpstunnelen til Evanger kraftverk (stiplet grønn) og i Vosso ved innløpet til Evangervatnet (stiplet rød).

Transektmålinger (tverrsnitt) av temperaturprofiler i Evangervatnet ble gjennomført 25. april, 11. mai, 16. mai, 1. juni og 26. juni (Figur 3.17). Plassering av stasjoner brukt i transektmålingene er vist i kart i figur 2.9. Kaldest vann er oftest registrert langs land fra kraftverksutløpet og ut gjennom den nordlige delen av sundet mellom Fadnes og Hernes (st. a2 og b5; se Figur 2.9) som indikerer hovedtransporten av vannet fra kraftverket (Figur 2.2 og 2.9). Det oppstår få, klare termokline sprangsjikter i de ulike transektene, noe som tyder på stor vannutskiftingshastighet på alle dyp. Slike termokline sprangsjikt er mest tydelig i B-transektet på st. b1-b4, mens b5 skiller seg ut med stabil temperatur i alle vannlag 26. juni. Dette mønsteret indikerer at vannet på st. b5 i størst grad inneholder vann fra kraftverket, mens vannet på de andre stasjonene har innblanding av vann fra andre kilder. Det er også en synkende temperatur i dybdeprofilene på stasjonene i transekt C, E og F 26. juni, noe som indikerer større utskifting av øvre vannlag sammenlignet med bunnvannet, eller en mindre grad av vertikal omrøring eller begge deler. Det ble ikke gjennomført transektmålinger på alle stasjoner 1. juni pga. batymetriske oppmålinger denne dagen.



Figur 3. 17. Temperaturprofiler (°C). Transektmålinger (a, b, c, e og f) i Evangervatnet gjennomført på ulike tidspunkt i perioden april – juni 2018. Temperaturer er vist på x-aksen, måledyp (i meter) på y-aksen. De ulike stasjonene i transektmålingene er vist med fargekoder til høyre i figuren. Alle målinger utført med CTD/STD sonde (SAIV 208) med unntak av målinger i transekt C 1. juni. Disse målingene er hentet fra temperaturloggere på de stasjonære stasjonene. Ingen målinger eller data tilgjengelig for transekt f 1. juni.

Det ble ikke registrert signifikant forskjell i temperaturen til Vosso og temperaturer i øvre vannlag på st. C2 og C4. Høyest målte temperatur ble registrert i øvre vannlag ved st. B2 i perioden 6. juni til 14. juni. Det ble registrert gjennomsnittlig døgn temperatur på 14,1 °C på st. B2 i denne perioden. Til sammenligning var gjennomsnittlig døgn temperaturer i Vosso 13,2 °C og i øvre vannlag på st. C2 og C4 hhv. 12,9 °C og 12,8 °C (samme dyp som på st. B2). Vannbevegelsene i overflaten (1-3 meters dyp) hadde oftest en sørlig retning på st. B2 i denne perioden, noe som indikerer at det varme vannet i overflaten kan ha kommet inn fra vestre del av Evangervatnet (Figur 3.18).



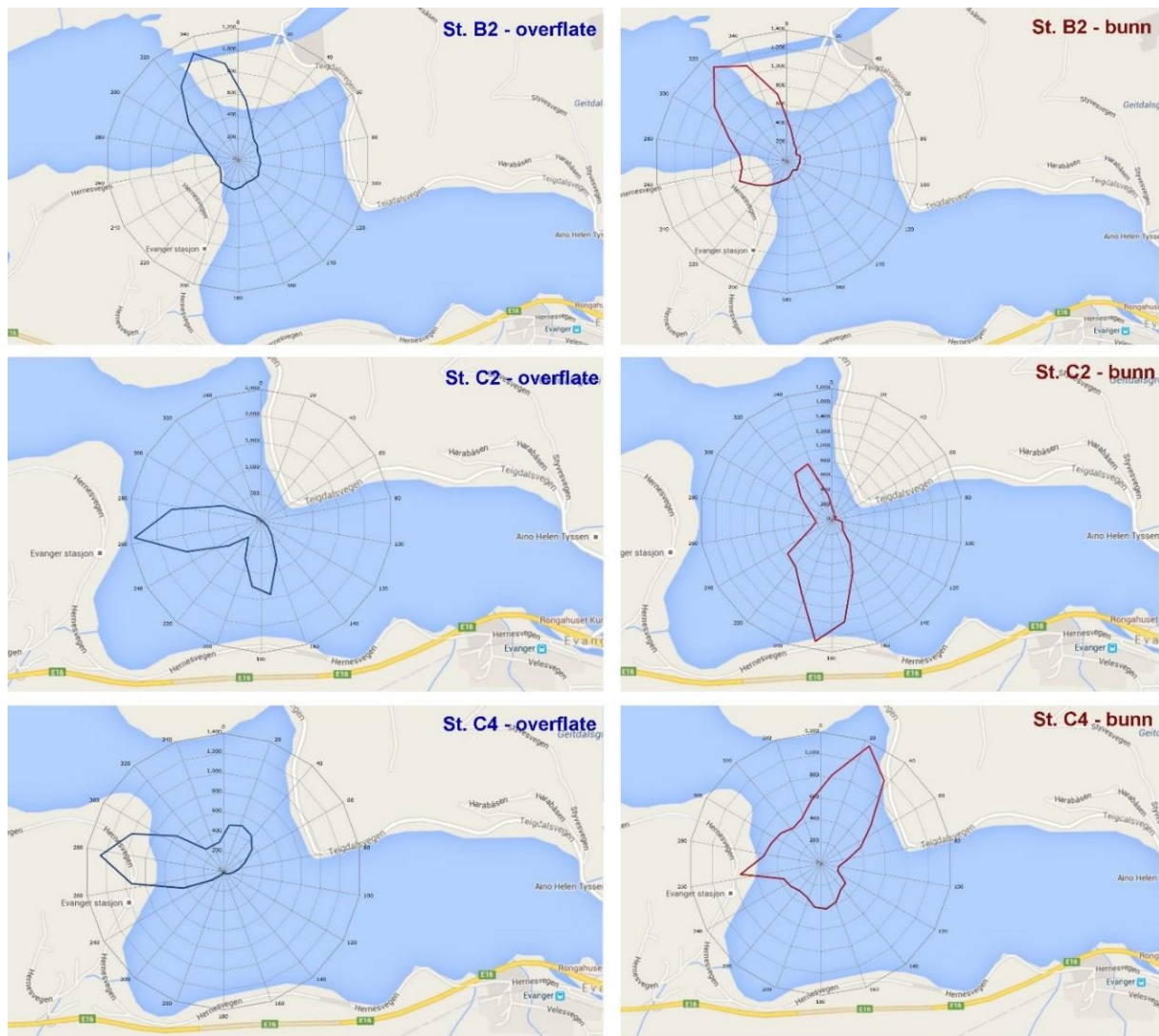
Figur 3. 18. Stasjon B2. Vanntransport (relativ fluks) registrert i perioden 6-14 juni, øvre vannlag (2-3 meters dyp).

3.3 Strømhastigheter og –retninger

Strømmålingene på ADCP-stasjonene B2, C2 og C4 viste til dels store forskjeller i både retninger og hastigheter i perioden 19. april til 26. juni 2018. Hastigheter til overflatestrømmene på disse stasjonene øker med økt vannføring i Vosso (Kendalls's $\tau > 0,3$; $p < 0,05$), mens økning i driftsvannføringen til kraftverket har en noe bremsende effekt på strømhastigheten (Kendalls's $\tau < -0,2$; $p < 0,05$). Sterkest strøm ble registrert på st. C2 uansett dybde, men særlig på bunn med gjennomsnittlig strømhastighet på 22,9 cm/s og signifikant maksimal hastighet på 40,9 cm/s for denne perioden. Svakest strøm ble registrert på st. B2 for alle dyp. De sterkeste strømmene på st. B2 ble registrert på bunn med signifikant maksimal hastighet på 19,9 cm/s. Generelt sett ble det målt sterkere strøm nær bunn og svakest strøm i øvre vannlag på alle stasjonene. Resultatene for hele perioden er oppsummert i Tabell 3.1 og i fluksdiagrammer i Figur 3.19. Stasjon B2 har tidvis varierende strømretninger, men mest frekvent er nordvestlig strømretning i både øvre vannlag (36 % av målingene i øvre 5 meter) og på bunn (43 % av målingene) gjennom hele måleperioden fra 19. april til 26. juni.

Stasjonene C2 og C4 viser imidlertid større variasjon i strømretninger i samme periode fra 19. april til 26. juni. Strømmen i øvre vannlag skifter mellom sørlige og vestlige retninger gjennom perioden på st. C2, mens den skifter tilsvarende mellom nordøstlig og vestlig på st. C4.

Vanntransporten på bunn på st. C2 har hovedsakelig en sørlig retning, men har perioder med nordvestlig retning. Det er ikke like tydelig skifte i hovedstrømretninger i bunnvannet sammenlignet med overflaten på st. C2. På st. C4 veksler vanntransporten på bunn mellom nordøstlig retning (mest frekvent) og perioder med sørlige og vestlige retninger.



Figur 3. 19. Strømmålinger. Strømretninger registrert i øvre vannlag og nær bunn på stasjonene B2, C2 og C4 i Evangervatnet. Målingene viser retningsfordeling av daglig relativ fluks (vanntransport; funksjon av strømstyrke og strømretning) for perioden 19. april til 26. juni 2018.

Strømforhold i øvre vannlag

De registrerte endringen i hovedretninger til vanntransporten i øvre vannlag (relativ fluks) skjer ikke vekselvis, men samtidig på de tre ADCP-stasjonene. Dette gjelder særlig for st. C2 og C4. På stasjon C4 skjer det også et skifte i vanntransporten langs bunn på dette tidspunktet (Figur 3.20). Skiftet i strømretninger i øvre vannlag på st. C2 og st. C4 skjer omkring 21. mai med mer stabil strøm i perioden før og i perioden etter (Neumann parameter $>0,7$) sammenlignet med stabiliteten for hele perioden (Neumann $<0,7$). Dette skiftet i strømretninger skjer også omtrent samtidig med temperaturøkningen og endringer i tettheten til vannet i Vosso som beskrevet i kap. 3.2 (Figur 3.10 og 3.11). Generelt sett var vannstand, vannføring og utslipp fra kraftverket signifikant større i perioden før 21. mai sammenlignet med perioden etter 21. mai (t-test, $p<0,03$). Det ble imidlertid registrert høyere gjennomsnittlige strømhastigheter i øvre vannlag på alle stasjonene i perioden etter 21. mai. Strømdata for perioden før og etter 21. mai er oppsummert i tabell 3.2 og 3.3.

Tabell 3. 1. Strømmålinger. Strømhastigheter (cm/s) og retninger på ulike dyp på stasjonene B2, C2 og C4 for hele perioden 19. april – 26. juni 2018. Antall målinger på hvert dyp er 6539 for alle stasjonene i perioden.

Måledybde (meter)	St. B2			St. C2			St. C4		
	1-3	10-12	14-16 (bunn)	1-3	10-12	29-31 (bunn)	1-3	10-12	26-28 (bunn)
Gjennomsnittlig strømhastighet (±std.av)	10,9 (±6,6)	11,4 (±7,1)	12,0 (±8,5)	16,8 (±8,3)	14,9 (±7,9)	22,9 (±16,5)	12,8 (±6,6)	11,4 (±6,2)	14,2 (±8,8)
Signifikant maks hastighet	18,4	19,0	19,9	26,3	24,0	40,8	20,3	18,4	23,1
Signifikant min. hastighet	4,5	4,8	5,1	8,2	6,7	8,6	6,0	5,1	6,5
Neumann parameter	0,33	0,46	0,43	0,66	0,60	0,34	0,51	0,47	0,21
Mest dominant strømrretning	NV	NV	NV	V, S	S, V	S, NV	V, NØ	NØ, V	NØ

Tabell 3. 2. Strømdata Evangervatnet for perioden 19.april til 21.mai. Data er oppgitt for øvre vannlag (1-3 m), dypere vannlag (10-12 m) og ved bunn på målestasjonene B2, C2 og C4. Antall målinger på hvert dyp er 3045 for alle stasjonene i perioden.

Måledybde (meter)	St. B2			St. C2			St. C4		
	1-3	10-12	14-16 (bunn)	1-3	10-12	29-31 (bunn)	1-3	10-12	26-28 (bunn)
Gjennomsnittlig strømhastighet (±std.av)	10,6 (±6,9)	10,4 (±7,6)	11,2 (±10,4)	15,1 (±6,4)	15,0 (±6,5)	27,9 (±17,3)	10,8 (±5,3)	12,4 (±6,3)	15,3 (±9,6)
Signifikant maks hastighet	18,3	17,9	19,8	22,3	22,4	47,3	16,9	19,1	24,6
Signifikant min. hastighet	4,3	4,2	4,4	8,2	8,0	12,7	5,2	6,1	7,4
Neumann parameter	0,23	0,19	0,23	0,89	0,90	0,55	0,79	0,79	0,64
Mest dominant strømrretning	NV	NV	NV, SV	S	S	S, SV	NØ	NØ	NØ

Tabell 3. 3. Strømdata for perioden 21.mai til 26. juni 2018. Data er oppgitt for øvre vannlag (1-3 m), dypere vannlag (10-12 m) og ved bunn på målestasjonene B2, C2 og C4. Antall målinger på hvert dyp er 3495 for alle stasjonene i perioden.

Måledybde (meter)	St. B2			St. C2			St. C4		
	1-3	10-12	14-16 (bunn)	1-3	10-12	29-31 (bunn)	1-3	10-12	26-28 (bunn)
Gjennomsnittlig strømhastighet (±std.av)	11,2 (±6,3)	12,3 (±6,4)	12,6 (±6,2)	18,0 (±9,2)	14,7 (±9,0)	18,7 (±14,5)	14,5 (±7,0)	10,6 (±6,1)	13,2 (±8,0)
Signifikant maks hastighet	18,4	19,7	19,8	28,6	25,3	34,0	22,5	17,5	21,7
Signifikant min. hastighet	4,7	5,6	6,0	8,1	5,8	6,7	7,0	4,5	5,9
Neumann parameter	0,42	0,66	0,60	0,85	0,72	0,17	0,83	0,60	0,37
Mest dominant strømrretning	NV	NV	NV	V	V	NV, SØ	NV	NV	NV, S

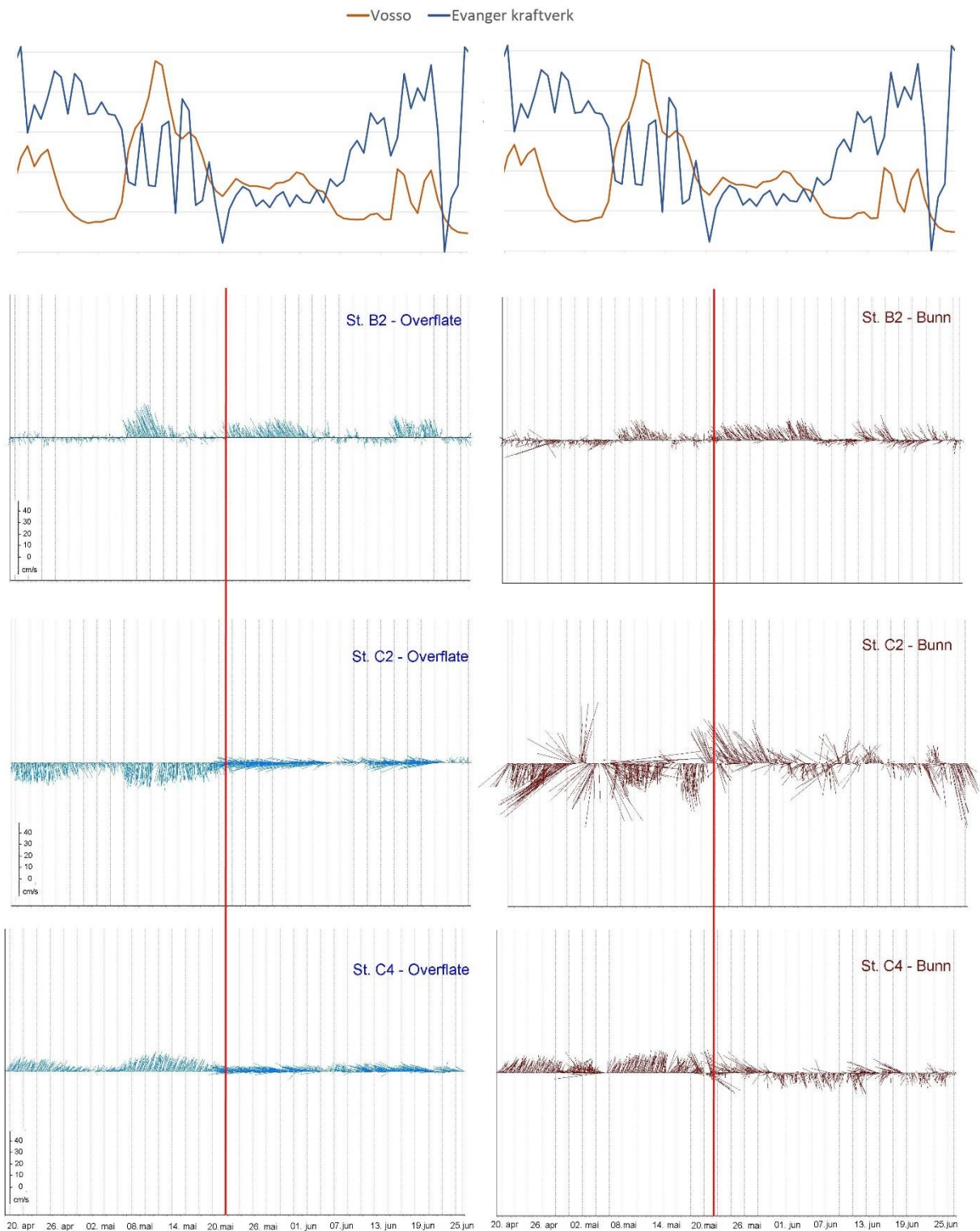
Stasjon B2 på terskelen mellom Fadnes og Herdnes (Fig. 2.9)

Vanntransporten på st. B2 viser ikke helt samme tendenser som på stasjonene C2 og C4. Stabiliteten til strømmen i øvre vannlag på st. B2 i perioden før 21. mai var relativ ustabil (Neumann parameter 0,26), men viste større stabilitet i perioden etter 21. mai (Neumann parameter 0,43).

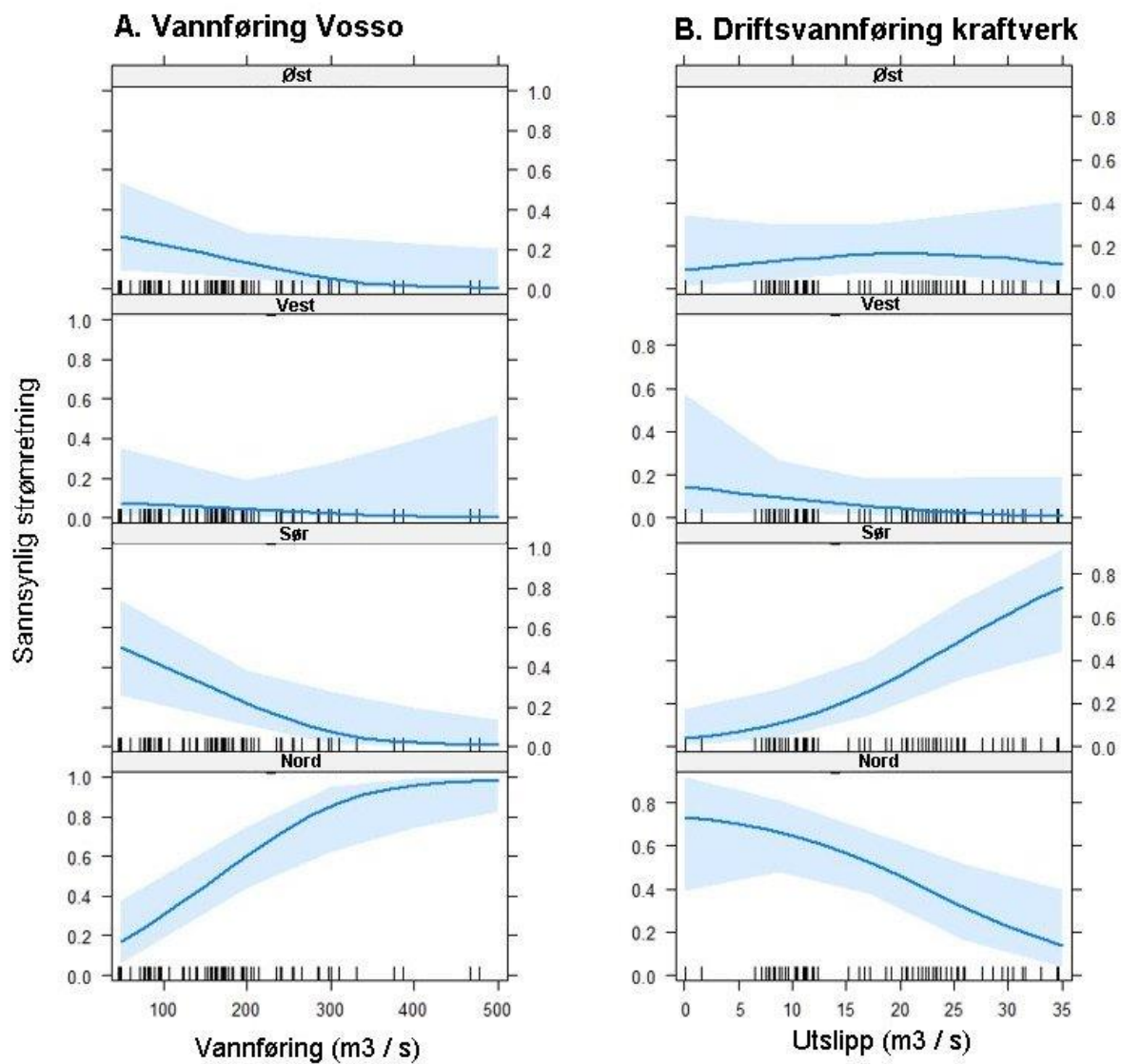
Strømrretningen på st. B2 skifter hovedsakelig mellom nordlige og sørlige retninger, og disse retningene er styrt av vannføring fra Vosso og driftsvannføringen fra kraftverket (Figur 3.21). Det er signifikant størst vanntransport (relativ fluks) i nordlig og nordvestlig retning når vannføringen i Vosso er relativ stor ($>150 \text{ m}^3/\text{s}$; døgnmiddel). Dette gjelder både i perioden før 21. mai (t-test: $t=5,96$; $df=22$; $p<0,001$) og etter 21. mai ($t=6,6$; $df=29$; $p<0,002$). Det er derimot en tendens at økning i driftsvannføring fra kraftverket gir mer sørlige enn nordlige strømrretninger på st. B2. Denne tendensen er statistisk signifikant for perioden før 21. mai (t-test: $t=5,8$ $df=22$, $p<0,001$).

Generelt sett dominerer sørlige eller sørøstlige strømrretninger på st. B2 i perioder med driftsvannføring fra kraftverket som overstiger $23 \text{ m}^3/\text{s}$ uavhengig av vannføring i Vosso, og i perioder med relativt høy driftsvannføring som tilsvarende 20 % eller mer i forhold til vannføringen i Vosso (Figur 3.7 og 3.8). Mer stabile nordlige eller nordvestlige retninger dominerer i perioder med relativt lav driftsvannføring ($<15 \text{ m}^3/\text{s}$ eller $<10\%$) og i perioder med høy vannføring i Vosso. Forskjellene i vannfluks for tilfeller med høye og lave driftsvannføringer fra kraftverket er vist i Figur 3.22. Periodene er valgt ut fra nivåer som tilsvarende mer enn 20% relativt vannføring eller mindre enn 10% relativt vannføring som vist i Figur 3.8 (tilsig til Evangervatnet fra Evanger kraftverk i forhold til vannføringen i Vosso ved innløpet i Evangervatnet).

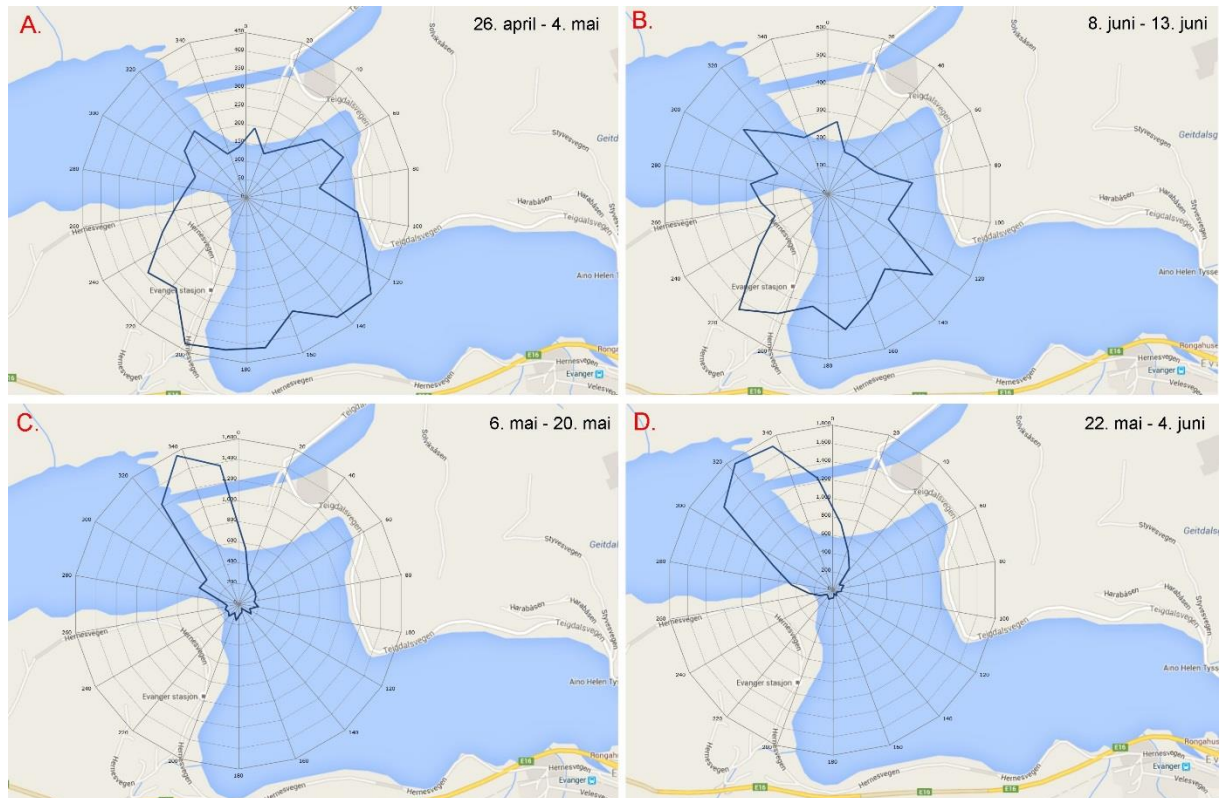
Nordlige og nordvestlige strømrretninger på st. B2 har signifikant større hastighet sammenlignet med hastigheter registrert i perioder med andre strømrretninger (t-test; $p<0,05$), og strømstyrken er signifikant positivt korrelert med vannføring i Vosso både før 21. mai (Kendalls's $\tau=0,68$; $p<0,0001$) og etter 21. mai (Kendalls's $\tau=0,58$; $p<0,0001$). Relativ fluks (vanntransport) omkring st. B2 i disse periodene er illustrert i Figur 3.23.



Figur 3. 20. Stick-diagram (pinnediagram). Retning og strømstyrke i øvre vannlag og nær bunn på stasjonene B2, C2 og C4 i Evangervatnet. Strekene i diagrammet markerer retningen på strømmen (kompassretninger, med nord oppover) og relativ strømhastighet (lengden på streken; vist med bar, cm/s). Rød linje markerer skifte i strømrretninger omkring 21. mai. Øverst: Variasjoner i vannføring fra Vosso og kraftverket for samme periode.



Figur 3. 21. Strømretning. Plot fra multinomiell modell som forklarer sannsynligheten for retningen på vannstrømmen (N, S, Ø, V) ved stasjon B2 som effekt av A. Vannføring fra Vosso og B. Driftsvannføring fra kraftverket. Modellen tilsier at sannsynligheten for nordlig retning er størst når vannføringen fra Vosso er høy, og vannføringen fra kraftverket er lavt. Når vannføringen fra kraftverket er høy er sannsynligheten for sørlig retningen høyere.



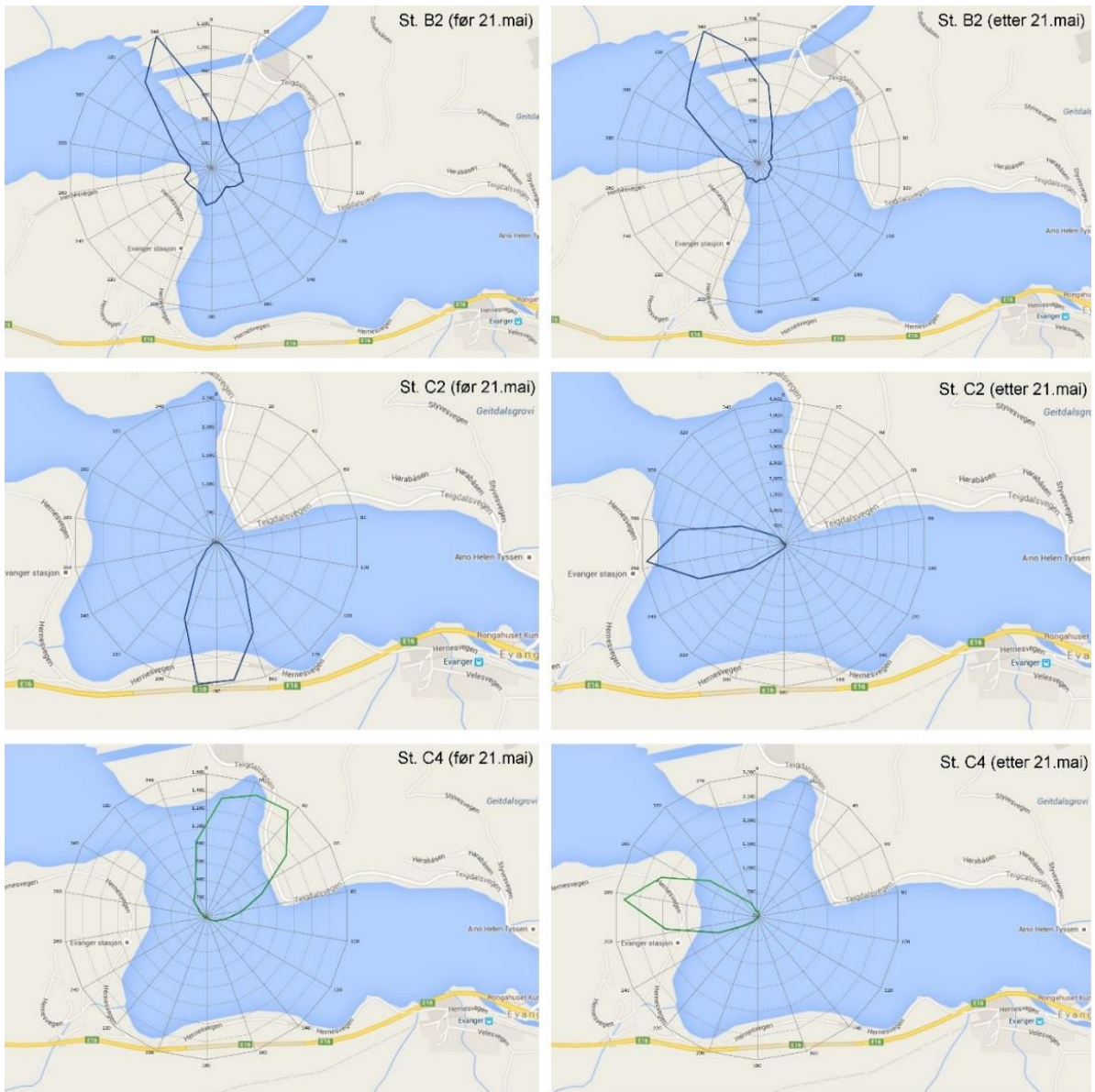
Figur 3. 22. Vanntransport (fluks) på stasjon B2. Figurene A og B viser vanntransport i øvre vannlag på st. B2 i perioder med relativt høy vannføring fra kraftverket (>20 %) i forhold til vannføring i Vosso; Figurene C og D viser vanntransport i perioder med relativt liten vannføring fra kraftverket (<10%).

Stasjonene C2 og C4, midtre del av Evangervatnet

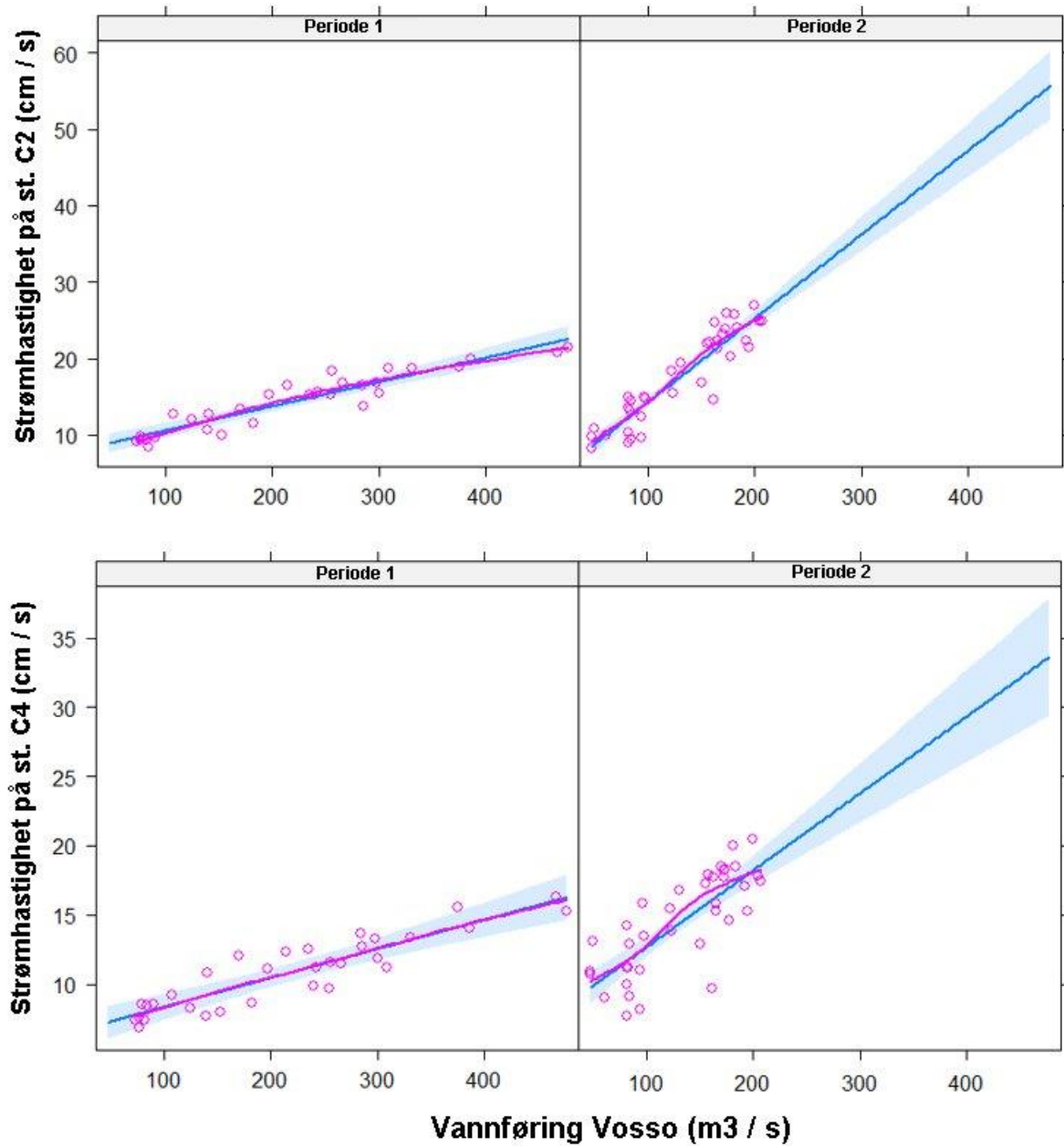
Vanntransporten (relativ fluks) i øvre vannlag var svært stabil på st. C2 og st. C4 i perioden før og etter 21. mai, men de dominerende strømrørninger endret seg fra første til siste periode (Figur 3.20 og 3.23). På st. C2 hadde strømmen i øvre vannlag en sørlig retning i 90% av målingene i perioden 19. april til 21. mai, mens retningen i perioden 21.mai til 26. juni hadde en vestlig retning i 84% av målingene. Tilsvarende hadde strømmen på st. C4 nordøstlig retning i 79% av målingene i første periode og en vestlig retning i 82% av målingene i den siste perioden.

Overflatestrøm med vestlig retning som dominerte på både st. C2 og C4 i andre periode hadde signifikant høyere hastighet sammenlignet med andre strømrørninger på disse stasjonene (t-test, $p < 0,001$).

Kort oppsummert, så viser målingene at det er betydelig sterkere overflatestrøm på stasjonene C2 og C4 i perioden etter 21. mai til tross for at vannføringen fra Vosso er lavere i denne perioden sammenlignet med perioden før 21. mai. I begge perioder er det imidlertid en sterk positiv korrelasjon mellom vannføring i Vosso og strømstyrke i øvre vannlag på begge stasjonene (C2: Kendalls's $\tau > 0,7$, $p < 0,05$; C4: Kendalls's $\tau > 0,5$; $p < 0,05$). Dette tyder på at vannføringen fra Vosso har stor effekt på strømstyrken, men også at det er andre variabler som påvirker denne effekten. Det kan ikke påvises at vannføringen fra kraftverket har statistisk signifikant effekt på strømrørning eller strømhastigheten i øvre vannlag på stasjonene C2 og C4 (Figur 3.24).



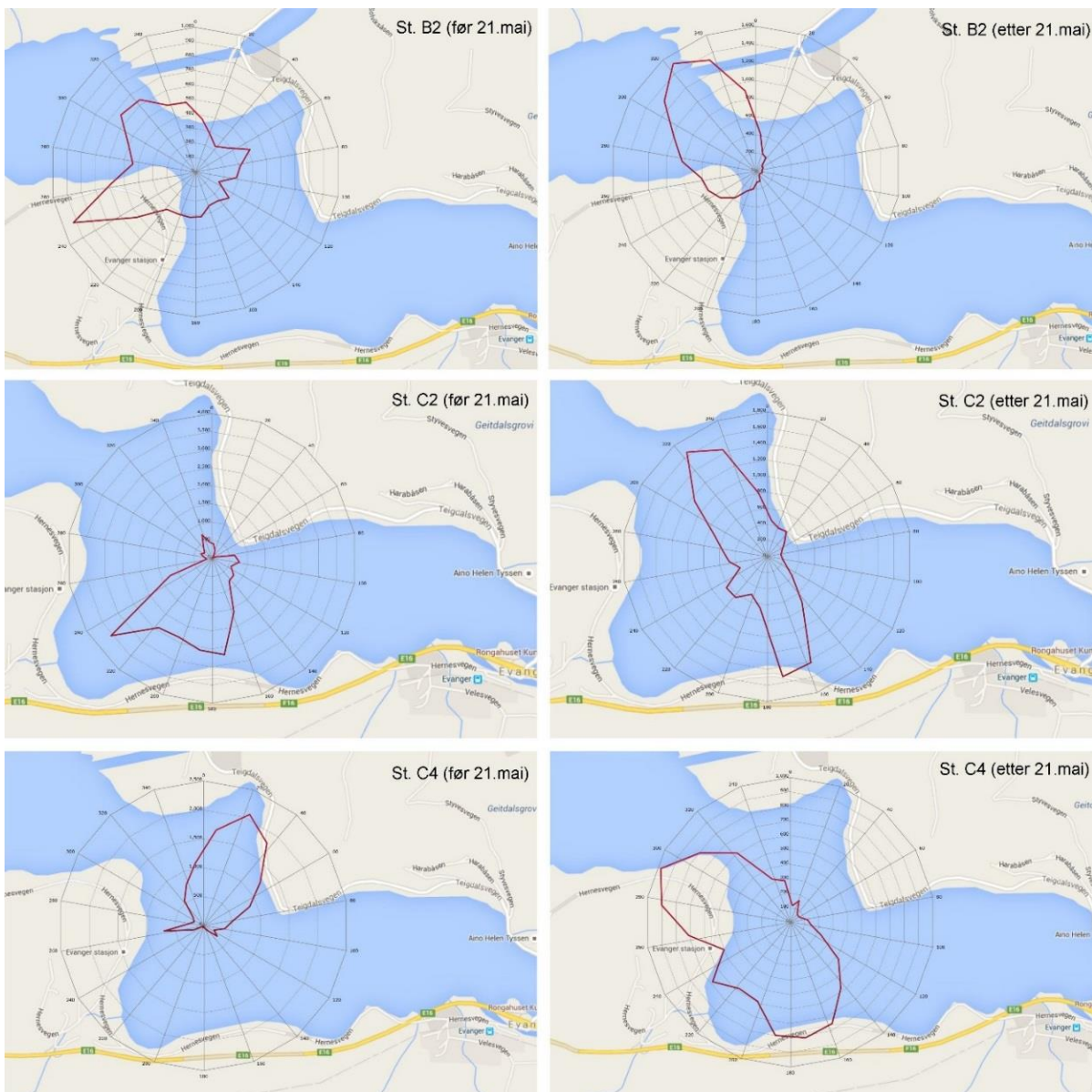
Figur 3. 23. Overflatestrøm. Vanntransport (relativ fluks) i øvre vannlag (1-3 meters dyp) på stasjon B2, C2 og C4 i perioden 19.april – 26. juni.



Figur 3. 24. Strømhastighet i øvre vannlag. Lineær modell av vannhastighet ved st. C2 (over) og st. C4 (under). I denne modellen har vi sammenlignet periodene før (periode 1) og etter 21 mai (periode 2) som forklaringsvariabler. Modellen viser at vannhastighetene på st. C2 og C4 (rosa punkter) i størst grad er forklart av vannføring fra Vosso og ikke av vannføringen fra kraftverket.

Strømforhold i nedre vannlag (bunnmålinger)

Endringene i hovedretninger til vanntransporten i nedre vannlag (bunn) er ikke like markant som for øvre vannlag for perioden før og etter 21. mai. Vanntransporten var mest stabil etter 21. mai på st. B2 (Neumann 0,6), mens den var mest stabil før 21. mai på stasjonene C2 (Neumann 0,6) og C4 (Neumann 0,7). Dette indikerer at temperaturøkningen og endringer i vanttettheten til Vosso ikke har lik effekt på vanntransporten langs bunn som for de øvre vannlag. Strømstyrken i øvre vannlag var større på alle stasjoner (B2, C2 og C4) i perioden etter 21. mai. For bunnstrømmen var dette motsatt i midtre del av Evangervatnet (St. C2 og C4), som hadde sterkere gjennomsnitt strømhastighet og signifikant maksimal hastighet i perioden før 21. mai. Strømdata for alle stasjonene før og etter 21. mai er oppsummert i Tabell 3.2 og 3.3.



Figur 3. 25. Bunnsstrøm. Vanntransport (relativ fluks) på stasjon B2 (dybde 14-16 m), C2 (29-31 m) og C4 (26-28) i perioden 19.april – 26. juni.

Bunnstrøm på stasjon B2 på terskelen mellom Fadnes og Herdnes (Fig. 2.9)

St. B2 hadde ustabil bunnstrøm i perioden før 21. mai med strømretninger som i størst grad skiftet mellom sørvestlig og nordvestlig (Figur 3.20). Strømretningene i perioden før 21. mai er styrt av vannføring fra Vosso og driftsvannføringen fra kraftverket. Nordvestlige strømretninger dominerer ved høy vannføring i Vosso, mens sørlige og sørvestlige strømretninger dominerer når vannføringen fra kraftverket overstiger 23 m³/s uavhengig av vannføring til Vosso. Det er ingen signifikant forskjell i strømhastighetene for nordvestlig eller sørvestlig retning. Bunnstrømmen på st. B2 etter 21. mai var langt mer stabil med nordvestlig retning i 60 % av målingene, men med sørvestlig og sørlige strømretninger som mest dominerende når vannføringen fra kraftverket var mer enn 23 m³/s. Relativ fluks (vanntransport) omkring st. B2 for perioden før og etter 21. mai er vist i Figur 3.25.

Bunnstrøm på stasjonene C2 og C4, midtre del av Evangervatnet

Skifte i strømretning på stasjonene C2 og C4 er ikke like markant i vanntransporten langs bunn sammenlignet med vanntransporten i øvre vannlag (Figur 3.20). Strømmen er mer stabil på både st. C2 og C4 i første periode fra 19. april til 21. mai (Neumann >0,5) sammenlignet med perioden etter 21. mai (Neumann <0,4).

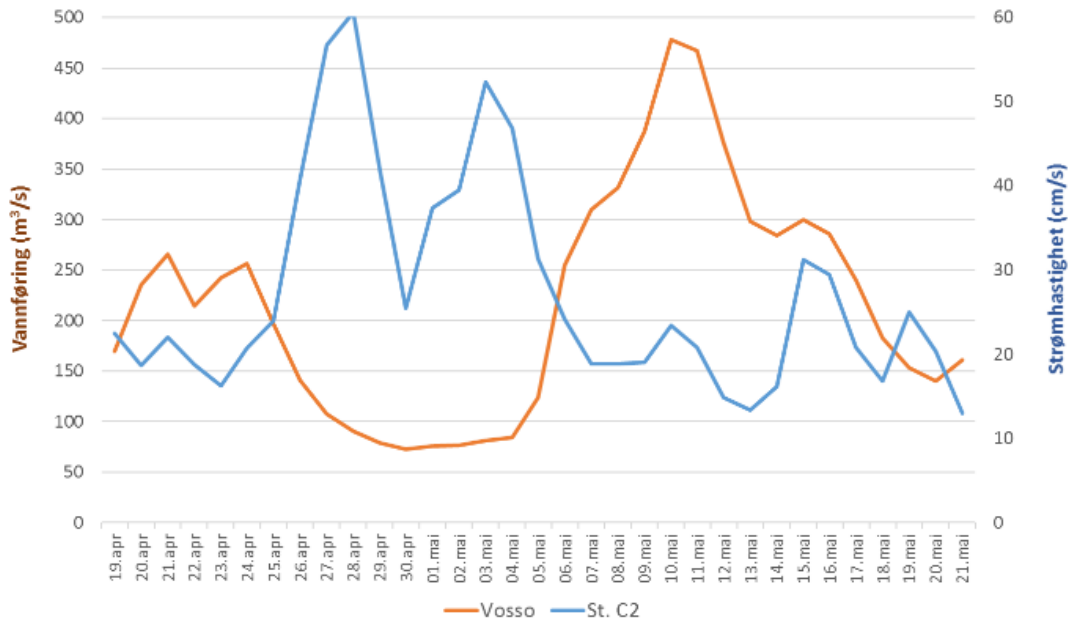
Vanntransporten langs bunn på st. C2 hadde sørlige og sørvestlige retninger i 67 % av målingene før 21. mai. Sørlig strømretning langs bunn dominerer særlig når vannføringen fra Vosso er større enn 200 m³/s. Strømstyrken langs bunn på st. C2 er imidlertid signifikant negativ korrelert med vannføringen til Vosso (Figur 3.26; Kendalls's $\tau < -0,42$, $p < 0,001$). Det vil si at hastigheten til bunnstrømmen på st. C2 øker i perioder når vannføringen fra Vosso reduseres i måleperioden 19. april til 21. mai. I perioder med lavere vannføring enn 200 m³/s er strømretningen skiftende, men med sørvestlig retning som den mest frekvente. Det kan ikke påvises at vannføring fra kraftverket har statistisk signifikant effekt på strømretning eller strømstyrke på st. C2 i perioden før 21. mai. Strømmen på st. C2 har større gjennomsnittlig hastighet og signifikant maksimal hastighet i perioden før 21. mai sammenlignet med perioden etter 21. mai (Tabell 3.2 og Tabell 3.3.).

I perioden etter 21. mai er det ingen statistisk signifikant korrelasjon mellom vannføringen fra Vosso og bunnstrøm på st. C2, det vil si at variasjoner i vannføringen har liten effekt på hastigheten til bunnstrømmen. Gjennomsnittlig vannføringen fra Vosso var lavere i måleperioden etter 21. mai (134 m³/s) sammenlignet med perioden før 21. mai (219 m³/s).

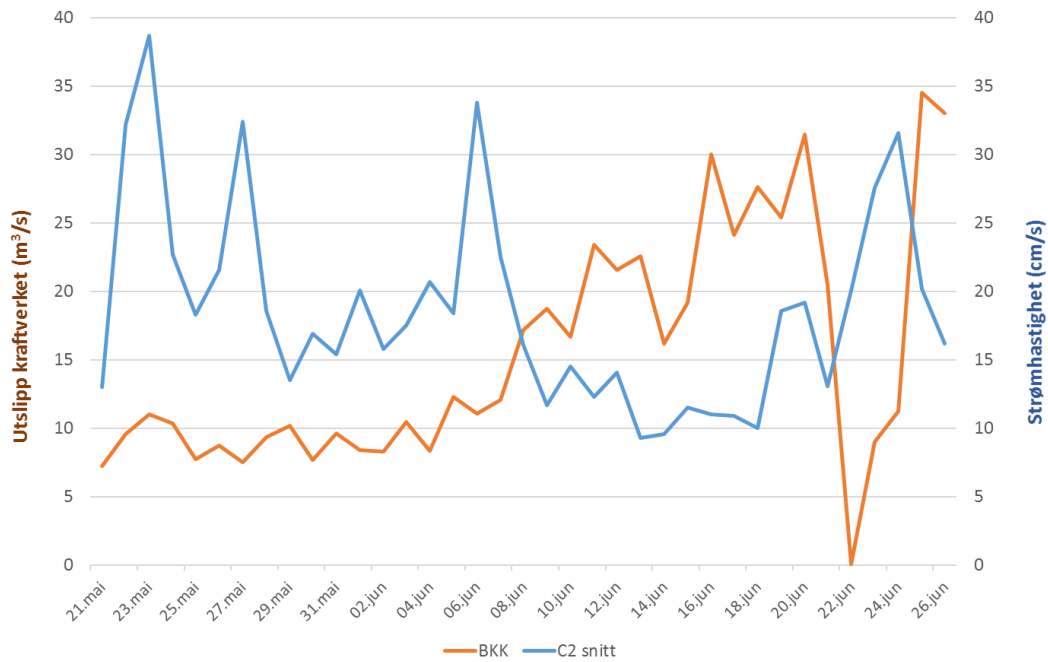
I den siste måleperioden (21. mai – 26. juni) viser derimot økning i vannføringen fra kraftverket en signifikant negativ korrelasjon med hastigheten til bunnstrømmen på st. C2 (Figur 3.27; Kendalls's $\tau < -0,27$, $p < 0,02$). Dette betyr i så tilfelle at økt vannføring fra kraftverket har en viss bremsende effekt på bunnstrømmen på st. C2. Tendensen (ikke statistisk signifikant) er også at strømmen har en mer sørøstlig retning i perioder med relativt høye utslipp fra kraftverket (>20 m³/s) i perioden etter 21. mai.

Vanntransporten på st. C4 hadde en svært stabil bunnstrøm i perioden før 21. mai med nordøstlig retning i 68 % av målingene. Vannføring fra Vosso eller vannføring fra kraftverket har ingen statistisk signifikant effekt på strømhastighetene i denne perioden, men tendensen er at hastigheten øker med økt vannføring fra Vosso i denne perioden.

I perioden etter 21. mai er det en relativ ustabil vanntransport langs bunn med retninger som i størst grad veksler mellom sørlig og vest-nordvestlig, med sterkest strøm i vestlig og nordvestlige retninger. Vannføringsmengder fra Vosso eller vannføring fra kraftverket har ingen statistisk signifikant effekt på strømhastigheten.



Figur 3. 26. Bunnstrøm. Strømhastighet (cm/s) på stasjon C2 i forhold til vannføring (m³/s) til Vosso ved innløpet til Evangervatnet i perioden 19.april til 21. mai.



Figur 3. 27. Bunnstrøm. Strømhastighet (cm/s) på stasjon C2 i forhold til vannføringen fra kraftverket i perioden 21.mai til 26.juni.

Transektmålinger

Det ble gjennomført transektmålinger av overflatestrøm (1-2 meters dyp) i ulike deler av Evangervatnet (se Figur 2.9). Målingene ble gjennomført 25. april, 11. mai, 16. mai, 1. juni (delvis) og 26. juni. Variasjoner i vannføring fra Evanger kraftverk og Vosso på de ulike tidspunktene målingene ble gjennomført er vist i Tabell 3.4. Strømhastigheter og -retninger på de ulike stasjonene i transektmålingene er vist i Figur 3.28.

Sterkest strøm i *transekt a* ble registrert på stasjon a2 (nordligste stasjonen) i periodene med størst vannføring fra kraftverket. Høyeste strømhastighet på st. a2 ble registrert 11. mai (32,5 cm/s) da det var stor vannføring fra både Vosso og kraftverket. Målingene fra *transekt a* og *transekt b* viser at vanntransporten fra kraftverksavløpet er svært stabil med vestlig retning ut gjennom sundet. Dette gjelder særlig stasjonene nærmest land (st. a2 og st. b5). Resultatene fra målingene i *transekt a* og *transekt b* indikerer derfor at strømstyrken langs land og gjennom den nordlige delen av sundet i stor grad blir bestemt av driftsvannføringen fra kraftverket.

Transektmålingene over sundet mellom Fadnes og Hernes (*transekt b*) viser at perioder med relativt høy vannføring fra kraftverket også gir ustabil strøm i den sørlige delen av sundet (st. b1, st. b2 og st. b3) med varierende strømrørninger. Dette er særlig tydelig på st. b2 i målingene fra 25. april og 26. juni, da det dannes en kompensasjonsstrøm med sørøstlig retning. Dette blir bekreftet med data fra profilmåleren på B2 som har samme posisjon som transekt-stasjonen b2 (se Figur 2.9). Mest stabil vanntransport gjennom sundet er registrert 11. mai og 16. mai, perioder med relativt liten vannføring fra kraftverket i forhold til vannføringen i Vosso (Tabell 3.4; Figur 3.28). Målingene viser at vann fra kraftverksavløpet i størst grad følger land langs nordsiden (Fadnes) over terskelen. I perioder med lav driftsvannføring fra kraftverket er det sterkest strøm midt i sundet mellom Fadnes og Hernes, mens det i perioder med relativt høy driftsvannføring fra kraftverket er strømmen sterkest langs land på nordsiden av sundet (ved Fadnes), uavhengig av vannføringen fra Vosso.

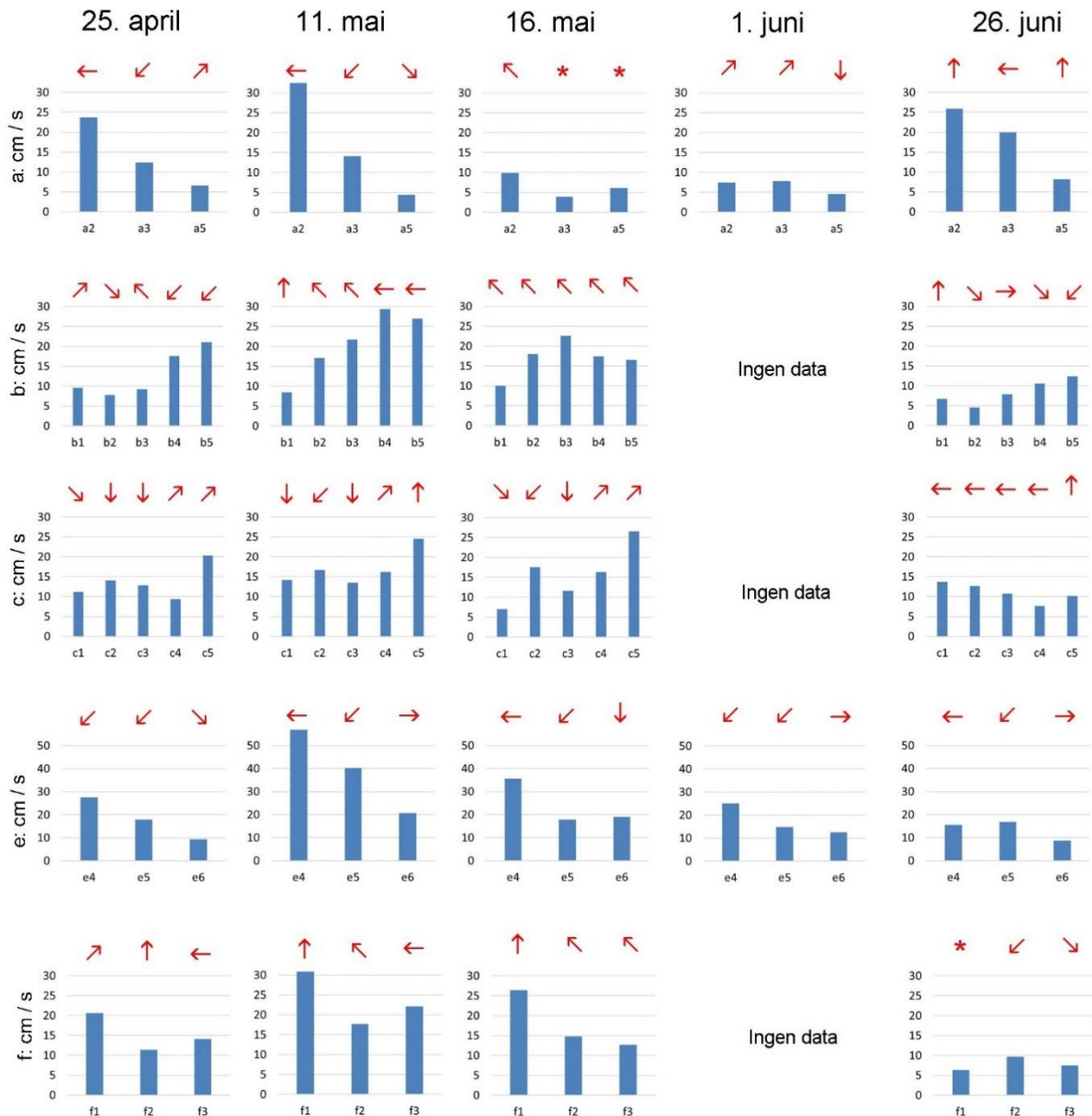
Målingene i *transekt c* (midtre del av Evangervatnet) viser at det er sørlige strømmen på stasjonene lengst øst (st. c1, st. c2 og st. c3), mens stasjonene lengst vest i dette transektet (st. c4 og st. c5) har nordlige strømrørninger. Unntaket er siste måling 26. juni med vestlige strømrørninger som dominerer (Figur 3.28). Dette samsvarer med målingene fra ADCP-stasjonene (St. C2 og st. C4). Sterkest strøm i *transekt c* er målt på st. c5 (lengst vest) i perioden april-mai (signifikant maks 25-30 cm/s i nordlig/nordøstlig retning). I den siste målingene 26. juni er det st. c1 og st. c2 (lengst øst) som har sterkest strøm (signifikant maks 19 cm/s i vestlig retning).

Målingene i *transekt e* viser vestlige eller sørvestlige strømrørninger på stasjonene st. e4 og st. e5 i alle målingene, mens st. e6 (lengst sør) i større grad har en strøm i motsatt retning (kompensasjonsstrøm). Sterkest strøm i *transekt e* er målt på st. e4 med strømstyrke 70 cm/s (signifikant maks) 11. mai og 40 cm/s (signifikant maks) 16. mai. Disse periodene sammenfaller med stor vannføring fra Vosso. Det har ikke blitt målt sterkere strøm enn dette på noen andre transektstasjoner med unntak av st. a2 den 11. mai som hadde en signifikant maks strøm på 43 cm/s. Generelt sett viser stasjonene i *transekt e* stabile strømmen (Neumann > 0,6) i alle målingene, og strømstyrken blir i stor grad bestemt av vannføringen fra Vosso.

Målingene i *transekt f* viste svært stabile strømmen (Neumann > 0,9) med nordlige strømrørninger på st. f1 og st. f2, mens st. f3 hadde en mer vestlig strøm i perioden før 21. mai. I den siste målingen 26. juni var strømmen svak med ustabil retning på st. f1 og st. f3, mens st. f2 hadde en stabil strøm i sørvestlig retning.

Tabell 3. 4 Transektmålinger. Vannføring (m³/s) fra Evanger kraftverk og Vosso ved innløpet til Evangervatnet på tidspunkt strømmålinger ble gjennomført i de ulike transektene (a, b, c, e, f). Andel vannføring fra kraftverket i forhold til vannføring fra Vosso er gitt i prosent (%). Ingen målinger gjennomført i transekt b, c og f den 1. juni.

Vannføring	25.apr					11.mai					16.mai					01.jun					26.jun				
	a	b	c	e	f	a	b	c	e	f	a	b	c	e	f	a	b	c	e	f	a	b	c	e	f
Kraftverk	35	34	35	35	33	30	32	27	28	27	14	12	11	8	11	11	-	-	11	-	35	34	34	32	37
Vosso	186	189	182	174	176	462	466	453	450	445	281	286	277	274	273	186	-	-	186	-	47	48	47	47	47
Andel %	19	18	19	20	19	6	7	6	6	6	5	4	4	3	4	6	-	-	6	-	74	71	72	69	79



Figur 3. 28 Strømp profiler i øvre vannlag. Transektmålinger (a, b, c, e, f) i Evangervatnet gjennomført på ulike tidspunkt i perioden april – juni 2018. Søylen markerer strømhastighet og pilene den mest dominerende himmel strømrretningen. Målinger merket * betyr at det ikke var noen dominerende strømrretning.

Dannelse av virvel i bassenget til Evangervatnet, østre del

Resultatene fra transektmålingene og målingene på ADCP-stasjonene (B2, C2 og C4) viser at vanntransporten fra Vosso danner en stor virvelstrøm som dreier med klokken i dypområdet (bassenget) i Evangervatnet (Figur 3.29 og 3.30).

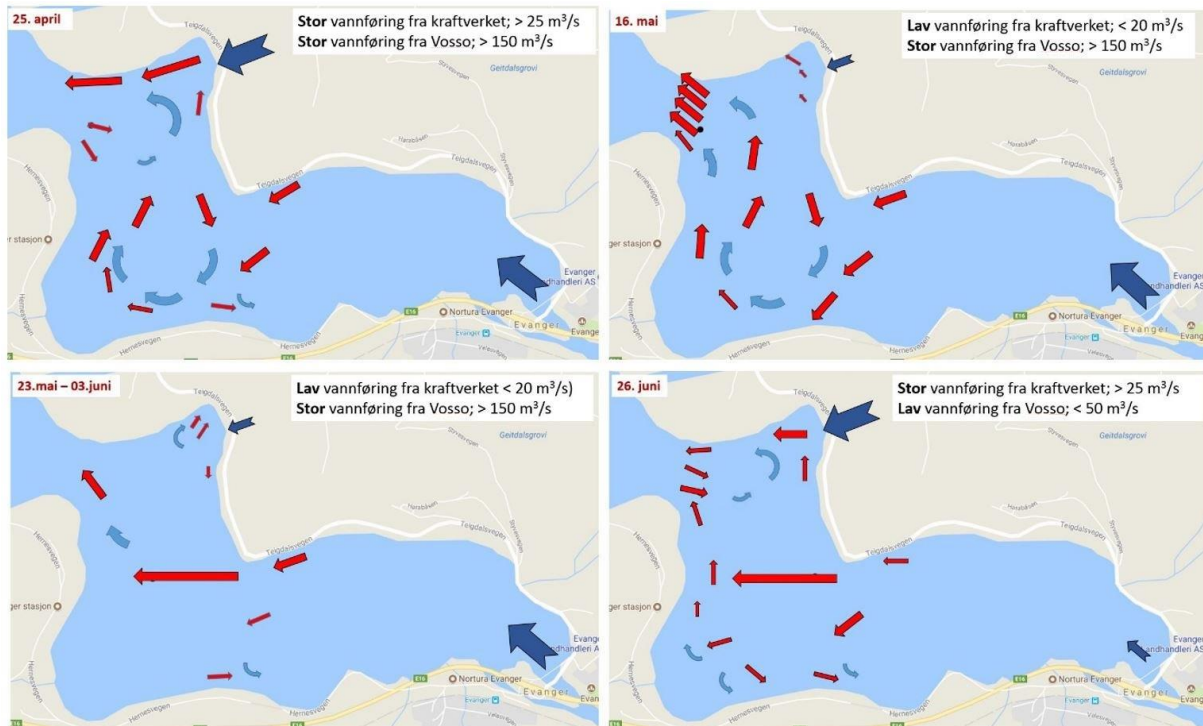
Virvelstrømmen dannes sannsynligvis når det ikke er noen betydelig termoklin sjikting i vannsøylen. Det vil si når vanntemperaturen og vanntettheten er homogen i hele vannsøylen. I slike tilfeller vil batymetrien i bassenget i stor grad bestemme strømretningen, med relativ liten forskjell i retninger til overflate- og bunnstrøm. Dette er tilfelle for perioden før 21. mai da virvel formasjonen er særlig tydelig (st.C2 og st.C4; Figur 3.20). I perioden etter 21. mai nærmest opphører virvelen, eller den får en mer motsatt retning.

Årsaken til dette skiftet i strømretninger kan best forklares med endringer i vanntemperaturen som resulterte i termoklin sjikting i perioden etter 21. mai. Denne sjiktingen bidrar til at varmere og lettere vann (lavere tetthet, se Figur 3.11) i øvre vannlag legger seg over kaldere og tyngre vann i de dypeste områdene i Evangervatnet, noe som medfører en mer direkte strømretning gjennom bassenget og ut sundet mellom Fadnes og Hernes. Strømmålingene i bassenget (st. C2 og st. C4) viser også at det er større forskjeller i retningen til overflatestrømmen og bunnstrømmen etter 21. mai sammenlignet med perioden før 21. mai (st. C2 og st. C4; Figur 3.20).

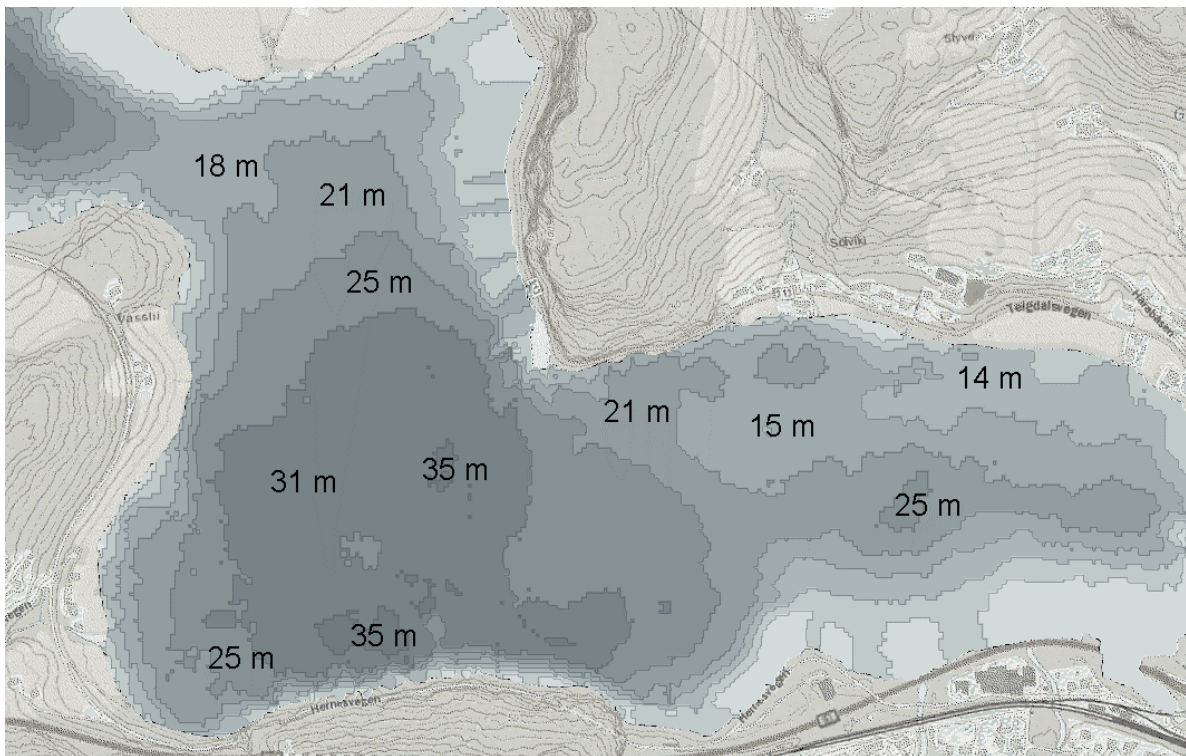
Strømmålingene viser at det er meget god vannutskifting i alle dyp i østre (øvre) del av Evangervatnet på grunn av vannføringen i Vosso ved innløpet til Evangervatnet. Følgelig er det temperaturen i Vosso som i stor grad bestemmer temperaturen i denne delen av Evangervatnet. Dette kommer tydelig frem i Figur 3.16 som viser at temperaturen i øvre vannlag målt i bassenget (st. C2 og st.C4) er tilnærmet samme som målt i Vosso ved innløpet til Evangervatnet. I perioden før 21. mai var det også tilnærmet samme temperatur i Vosso og i bunnvannet i bassenget.

Bunnvannet i bassenget i perioden etter 21. mai er imidlertid noe kaldere enn Vosso. Dette kan til dels forklares med større utskifting av overflatevann i forhold til bunnvann i denne perioden. Det vil si at bunnvannet har lengre oppholdstid i bassenget sammenlignet med overflatevannet. Strømmålingene viser at strømhastigheten til bunnvannet etter 21. mai hadde noe lavere strømhastighet sammenlignet med perioden før 21. mai (Tabell 3.2 og 3.3). I tillegg er strømretningen til bunnstrømmen langt mer ustabil med skiftende retninger sammenlignet med den svært stabile overflate strømmen. Det kan allikevel ikke utelukkes at bunnvannet i bassenget blir påvirket av vannføringen fra kraftverket. Kaldt, tungt vann fra kraftverket kan synke ned i bassenget og dermed bidra til å senke temperaturen i bunnvannet. Strømmålingene omkring stasjon C2 og C4 i perioden etter 21. mai bekrefter at det er en betydelig vanntransport med sørlig retning inn i bassenget (Figur 3.25). Målingene indikerer at økning i vannføring fra kraftverket påvirker både hastighet og –retning til bunnstrømmen på st. C2. Perioder med relative høy driftsvannføring ($>20\text{m}^3/\text{s}$) etter 21. mai viser at hastigheten til bunnstrømmen reduseres samtidig som den i større grad dreier i en sørøstlig retning. Slike perioder kan bidra til økt tilførsel av kaldt vann og økt termoklin sjikting. Dersom dette er tilfelle, vil kaldt vann fra kraftverket bidra til mer stabil vanntransport i øvre vannlag gjennom bassenget. Dette er observasjoner som bør bekreftes i oppfølgende undersøkelser.

Virveldannelser og kompensasjonsstrømmer er illustrert og oppsummert i Figur 3. 29. Denne figuren er basert på alle målingene fra transektene, ADCP-stasjonene og vannføring fra kraftverket og Vosso. Dybdeforholdene i Evangervatnet er illustrert i Figur 3.30 som er basert på batymetriske målinger gjennomført 1. juni 2018.



Figur 3. 29 Vanntransport i øvre vannlag (3-5 meters dyp) i utvalgte perioder fra 19. april til 26. juni 2018. Perioder med relativt høye (> 25 m³/s døgnmiddel) og lave vannføringer (< 20 m³/s døgnmiddel) fra kraftverket og med høy (> 150 m³/s døgnmiddel) og lav (< 50 m³/s døgnmiddel) vannføring fra Vosso. Røde piler markerer vanntransport registrert med strømmålere. Perioder med relativt stor vannføring fra kraftverket gir mindre stabil vanntansport gjennom sundet i nordvestre del av vannet. Det dannes en stor strømvirvel i dypområdet sentralt i Evangervatnet. Denne virvelen opphører i slutten av mai, samtidig som det dannes stabile strømmer med vestlig retning som varer resten av måleperioden.



Figur 3. 30. Batymetri (bunntopografi). Dybdeforholdene i østre del av Evangervatnet (dybdekoter = 5 m). Sentralt i vannet er det et basseng med dybde >30 meter. Dybdene ble målt 1. juni 2018.

Oppsummering og konklusjon om temperatur- og strømmålingene

Vannføringen i Vosso er den største driveren når det gjelder vanntransport gjennom østre del av Evangervatnet, men i perioder med redusert vannføring har økt driftsvannføring fra kraftverket en viss påvirkning. Alle tendensene vedrørende effekt av vannføring i Vosso og driftsvannføring fra kraftverket på vanntransporten i ulike deler av Evangervatnet har blitt bekreftet med ulike statistiske tilnærmelser. Data fra både målestasjoner med profilmålinger (B2, C2 og C4) og målinger fra øvre vannlag i transektene viser at stor driftsvannføring fra kraftverket bidrar til endringer i strømrørninger og hastigheter. Denne effekten er mest tydelig i sundet mellom Fadnes og Hernes.

I tillegg har varmere vann i forbindelse med temperaturøkning utover våren en stor påvirkning av både strømhastighet- og retning i øvre vannlag. Denne sistnevnte effekten er større enn effekten til både vannføringen i Vosso og driftsvannføring fra kraftverket når det gjelder vanntransport og virveldannelse i bassenget til østre del av Evangervatnet. Målingene viser en vanntransport i øvre vannlag som dannet en stabil virvel i klokkeretning over dypområdet i østre del av Evangervatnet. Denne virvelen opphørte etter 21. mai, og årsaken til dette kan best forklares med økning i vanntemperaturen i Vosso som bidro til sjikting av vannlagene med lettere og varmere vann i overflaten sammenlignet med bunnvannet. I perioden før 21. mai (periode med virvel) var det til sammenligning liten eller ingen forskjell i temperatur og vanntetthet i vannsøylen.

Det er imidlertid usikkert hvilken grad resultatene og observasjonene i denne gjennomførte undersøkelsen i 2018 kan overføres til andre år. Perioden april-juni i 2018 skiller seg ut på flere områder når man sammenligner denne perioden med årene 2009-2017:

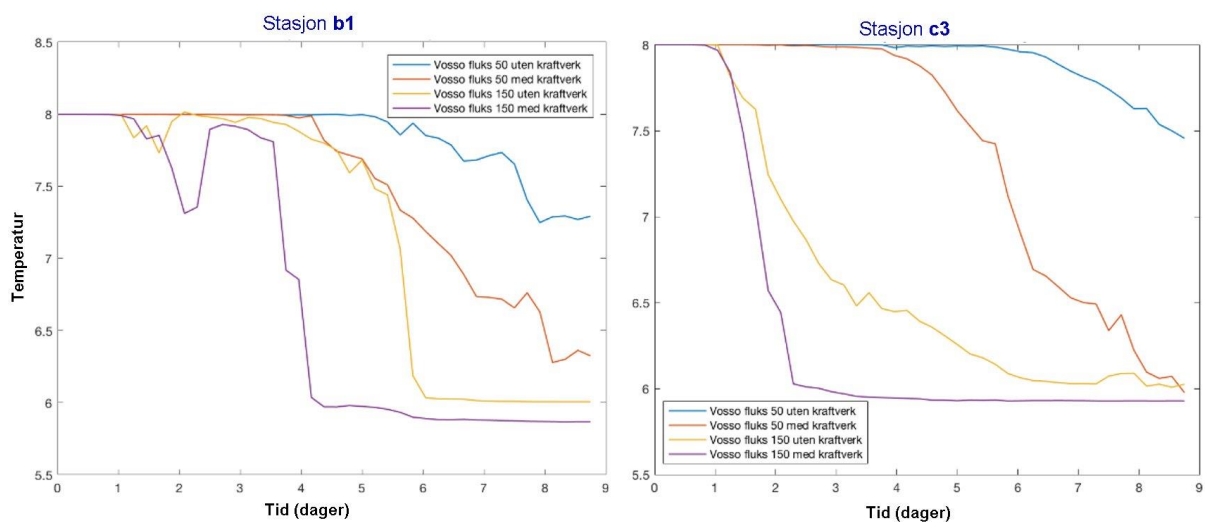
- Vannføringen til Vosso ved innløpet til Evangervatnet har en vårflom som topper tidligere sammenlignet med andre år i perioden 2009-2017
- Vanntemperaturen i Vosso økte markant og var betydelig høyere for perioden etter 21. mai sammenlignet med gjennomsnittet for 2009-2017
- Driftsvannføringen til Evanger kraftverk i forhold til vannføringen til Vosso ved innløpet til Evangervatnet var relativt lav i 2018, med en andel som ligger under gjennomsnittet for tilsvarende periode i 2009-2017

Vanntransporten gjennom østre del av Evangervatnet som viser perioder med og uten virvel er antageligvis et naturlig fenomen som oppstår hvert år, men tidspunktet for opphør av virvelen kan avhenge av temperaturøkning i Vosso utover våren og sommeren. Det vil derfor være nødvendig med oppfølgende undersøkelser for å bekrefte hva slags effekt temperaturen i Vosso har på virveldannelsen rundt bassenget i østre del av Evangervatnet. Når kan vi forvente at opphør av virvel forekommer, basert på temperaturmålinger i Vosso? Hvordan varierer dette fenomenet fra år til år, og hvordan sammenfaller dette med perioden for smoltutvandring?

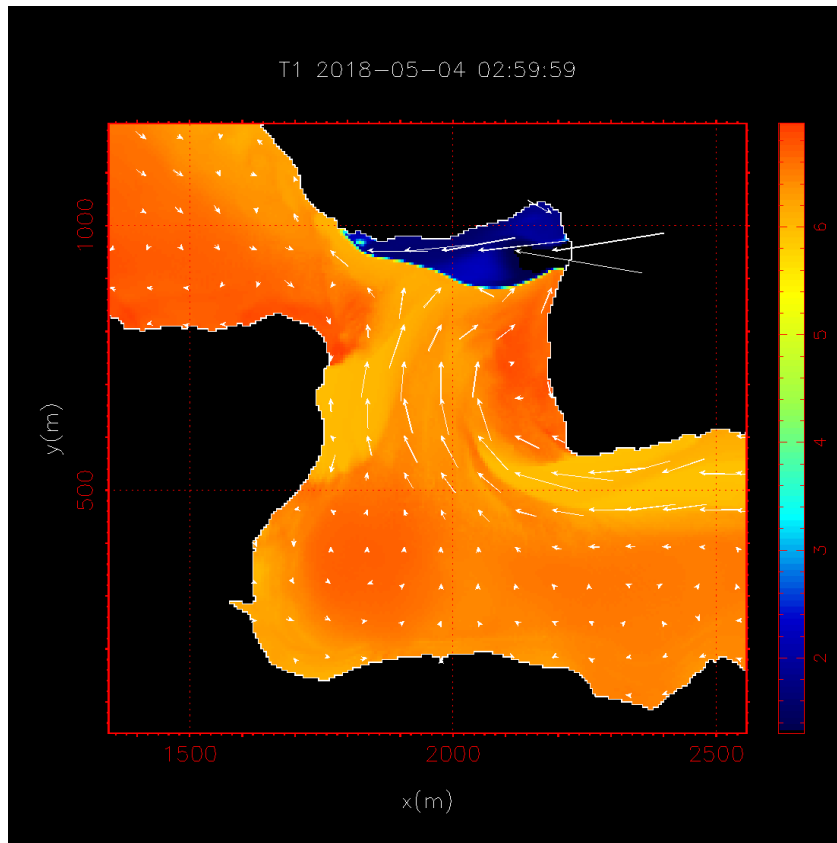
Det er også nødvendig med gjentatte undersøkelser for å vurdere effekten til Evanger kraftverk i vårperioder med høyere driftsvannføringer enn det som var tilfelle for 2018. Driftsvannføringen fra kraftverket kan muligens ha både negative og positive effekter med tanke på smoltvandringen. De negative effektene vil være dannelse av ustabil strøm gjennom sundet mellom Fadnes og Hernes som kan medføre økt oppholdstid for smolten i østre del av Evangervatnet. Positive effekt kan være tilførsel av kaldt vann til bunn av bassenget som bidrar til dannelse av termoklin sjikting med mer stabil strøm i øvre vannlag og kortere oppholdstid for smolten i denne del av Evangervatnet.

3.4 Modellering av strømforhold

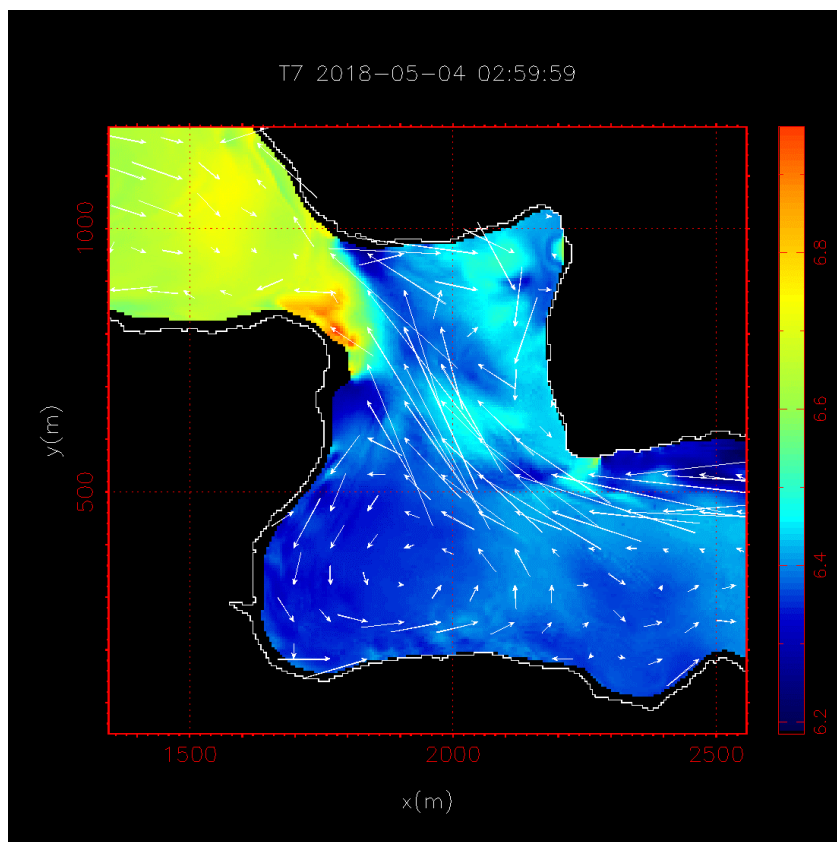
I de første eksperimentene med den numeriske strømmodellen ble det undersøkt hvordan forholdene i vannet kan se ut under helt stabile forhold med og uten kraftverk. Modellen ble satt opp med konstant vanntemperatur og alt vann helt i ro, med gradvis økning i vannføringene fra de to elvene og kraftverket. Etter noen minutter simulert tid settes vannføring og temperatur konstant. Avhengig av størrelsen på vannføringen vil man da etter noen få dager nå en såkalt «steady state», en tilstand hvor ingen ting forandrer seg vesentlig. En av grunnantakelsene i modellkjøringene i denne rapporten er at randverdiene nedstrøms er av mye mindre betydning enn randverdiene oppstrøms, på grunn av de store verdiene vannføringen har i perioden som er studert. Figurene for vannføring i Vosso (Figur 3.7) viser to perioder på ca. 5-6 dager med relativt stabil vannføring fra Vosso, hhv. etter 27. april og etter 21. mai. To scenarier med konstant vannføring fra Vosso på hhv. 50 m³/s og 150 m³/s ble testet. Vanntemperaturen i Evangervatnet ble initielt satt til 8 °C, mens Vosso ved innløpet til Evangervatnet ble gitt 6 °C. Temperaturen til avløpsvannet fra kraftverket ble satt til 3 °C. Hvordan temperaturen i vannet fra Vosso og kraftverket påvirker ulike deler av Evangervatnet ble testet i modellen for ulike scenarier, og er vist i Figur 3.31 - 3.34.



Figur 3.31. Overflatetemperatur for stasjon b1 (sørlig del av sundet mellom Fadnes og Hernes) og stasjon c3 (sentralt i østre del av Evangervatnet) under simulering av steady state situasjon med 50 og 150 m³/s fluks fra Vosso, 25 m³/s fra kraftverk.

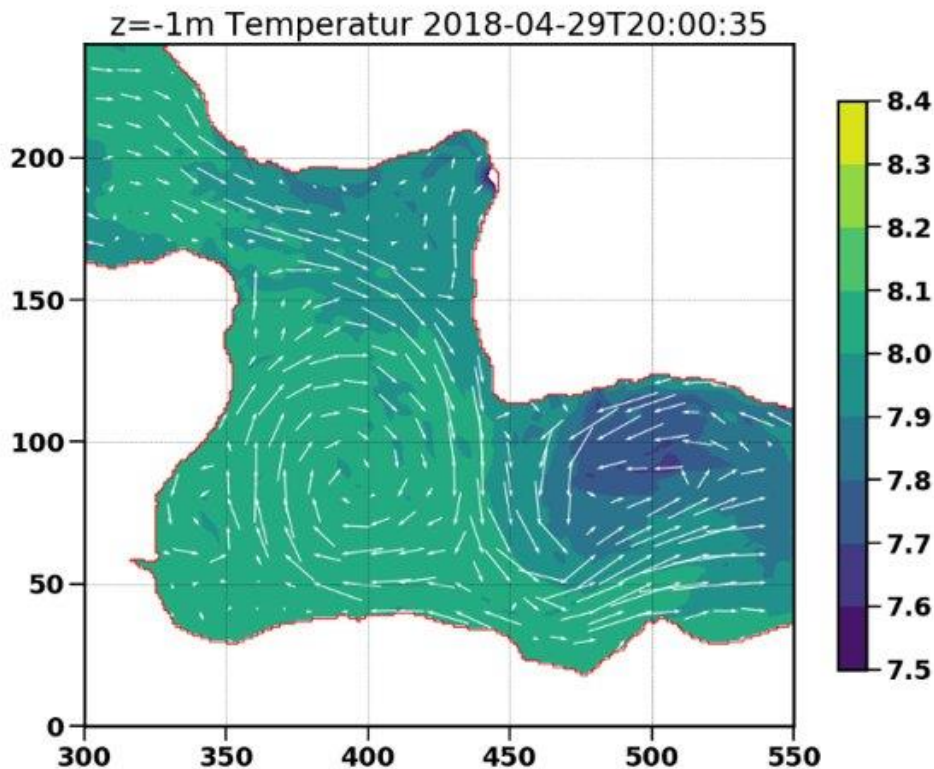


Figur 3.32. Overflatetemperatur og strømmønster. Simulering av steady state situasjon med $50 \text{ m}^3/\text{s}$ fluks fra Vosso, $25 \text{ m}^3/\text{s}$ fra kraftverk. Initiell temperatur $8 \text{ }^\circ\text{C}$ i Evangervatnet, Vossotemperatur $6 \text{ }^\circ\text{C}$, kraftverk $3 \text{ }^\circ\text{C}$.



Figur 3.33 Overflate temperatur og strømmønster. Simulering av steady state situasjon med $50 \text{ m}^3/\text{s}$ fluks fra Vosso, $0 \text{ m}^3/\text{s}$ fra kraftverk. Initiell temperatur $8 \text{ }^\circ\text{C}$ i Evangervatnet, Vossotemperatur $6 \text{ }^\circ\text{C}$, kraftverk $3 \text{ }^\circ\text{C}$.

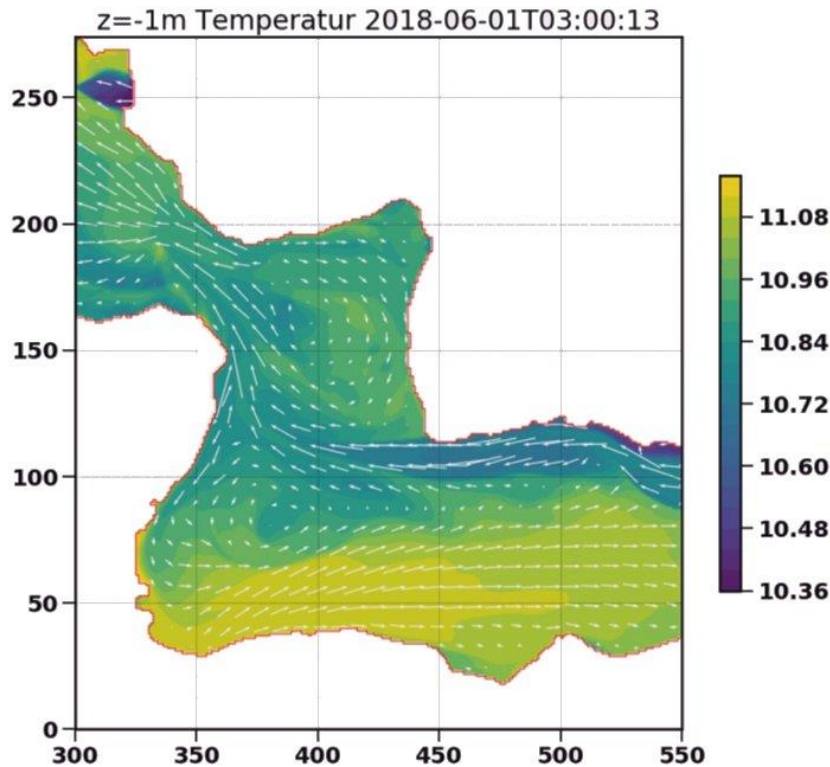
Steady state scenarioene bekrefter at vannutskiftningen i indre del tar ca 2 dager med moderat/stor vannføring (150 m³/s) i Vosso ved innløp Evangervatnet. Modellen viser også at det er en markant forskjell i overflatetemperatur med og uten kraftverk. Figur 3.34 viser et øyeblikksbilde fra en kjøring hvor modellen ble startet med utgangspunkt i kunstig varm starttilstand og med ekstra oppvarming av overflatevann i hele området. I dette tilfellet ble det brukt målte (reelle) verdier for vannføring og temperatur på vannet som kommer inn i området fra den siste uken i april 2018. Denne typen eksperiment ble gjort for å se hvordan en innstrømming av overflatevann fra vest påvirker strømmønsteret.



Figur 3.34 Strømmønster i østre del av Evangervatnet. I Denne simuleringen er modellen startet med 8 °C vanntemperatur men med tidsavhengig, målt vannføring fra perioden 24.4 2018 til 1.5.2018. Det er også lagt på en kunstig høy oppvarming av overflatevannet for å se hvordan en innstrømming av varmt vann fra vest påvirker sirkulasjon mens det kommer kaldere vann fra kraftverket og Vosso. Vosso ved innløp Evangervatn hadde 79 m³/s (daglig snitt) og kraftverket 29 m³/s 29. april 2018, med temperaturene 3,5 °C og 1,0 °C for hhv Vosso og i utløpsvann fra kraftverket.

Selv om disse testkjøringene er idealiserte, viser figurene 3.33 og 3.34 den karakteristiske virvelen nær Naustviki, som går enten med eller mot klokka.

Modellen ble deretter kjørt for en rekke korte perioder med realistiske inngangsdata for avrenning fra våren 2018, samt en starttemperatur for vannet som settes konstant. Som forventet er Vosso på grunn av sin vannføring svært viktig for strømningsmønsteret. Målingene av temperatur fra C transektet ble valgt som startverdi. En eksakt startverdi er ikke veldig viktig for modellen, men verdien bør være omtrentlig lik målingene. Vannet i den østre delen av Evangervatnet vil uansett byttes ut i løpet av noen dager.



Figur 3.35 Typisk strømmønster i modellen når Vosso ved innløpet til Evangervatnet har stor vannføring (>150 m³/s)

Modellen viser som strømmålingene at den østre delen av Evangervatnet har to hovedmodi, karakterisert ved en virvel i sørvestre hjørne av området, som vist tidligere i figur 3.34 og 3.35. Figur 3.35 viser et øyeblikksbilde fra 1 meter dyp, hvordan vannet fra Vosso i et scenario med avrenning fra slutten av mai og litt ut i juni, følger nordsiden av østre del av Evangervatnet vestover før det fortsetter rett frem og nord og ut over terskelen. I denne perioden er vannføringen fra Vosso opp mot 200 m³/s og driftsvannføringen fra kraftverket 10 m³/s eller lavere. Langs land rett nord for kraftverksmunningen er det litt tilbakestrømming, mens det i det sørvestre hjørnet står en relativt stabil virvel mot klokken. I modellen er dette et strømmønster som går igjen, både i den tidlige delen av perioden og mot slutten (19.april – 26. juni 2018), men i korte perioder kan man se den karakteristiske virvelen i sørvestre hjørne som dreier med klokka. Sammenliknet med figur 3.29 kjenner vi igjen de aller fleste retningene i disse øyeblikksbildene, med unntak av at registrerte strømmålinger indikerer en sørvestlig komponent ved stasjon e5 (stasjonsplassering vist i Figur 2.9). Modellen viser motsatt retning (nordøstlig) i denne delen av vannet.

Registrerte målinger omtalt i forrige kapittel (kap. 3.3) viser at den store virvelen med retning med klokka er en robust modus i perioden før 21. mai. Modellen slik den er satt opp per i dag viser denne virvelen i bare korte perioder, noe som medfører at statistikken for de ulike målestasjonene i noen punkt skiller seg en del fra målingene i perioden før 21.mai. Modellen indikerer likevel to mekanismer for hvorfor denne virvelen kan oppstå. I modellkjøringen hvor modellen starter med kunstig varmt vann for å trigge en innstrømning fra vest (vist i Figur 3.34), vil varmt og relativt lettere overflatevann i den vestre del av Evangervatnet trenge inn i den østre delen over terskelen mellom Fadnes og Hernes. Denne inntrengningen er sterk nok til å lage en sørgående strøm rett sør for kraftverksavløpet, og bøye av vannet fra Vosso slik at det også får en sørlig retning rundt stasjon C4 (se stasjonsplassering i Figur 2.9). I følge modellen kan vannet fra Vosso også skape en nordlig strøm langs land ved Naustviki som deler seg ved terskelen mellom Hernes og Fadnes; en gren går østover og dreies etter hvert sørover, sannsynligvis på grunn av vannføring fra kraftverket, og er deretter med på å bøye av strømmen fra Vosso.

Tabell 3.5. Gjennomsnittlig (minimum - maksimum) vannføring (m^3/s) fra Evanger kraftverk (utslipp) og Vosso ved innløpet til Evangervatnet i utvalgte perioder. Andel utslipp fra kraftverket i forhold til vannføring fra Vosso er gitt i prosent (%).

Vannføring (m^3/s)	8. mai - 12. mai	29. mai - 2. juni	7. juni - 14. juni
Kraftverk	17 (0-34)	9 (0-16)	19 (0-30)
Vosso	408 (316-493)	184 (160-206)	86 (69-112)
Andel (%)	4 %	5 %	22 %

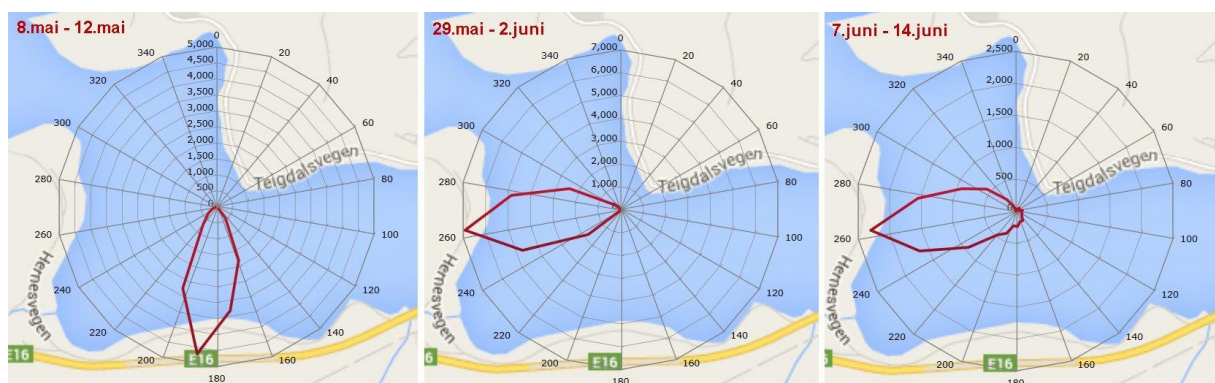
Presisjonen til modellen mht til vanntransport (strømretning og styrke) kan testes ved å sammenligne perioder med resultater fra gjennomførte strømmålinger i ulike deler av Evangervatnet. I denne sammenheng har perioder med høy, moderat og lav vannføring fra Vosso blitt undersøkt (Tabell 3.5). Modellert vanntransport for disse periodene har blitt sammenlignet med reelle målinger utført på de stasjonære stasjonene C2, C4 og B2 i Evangervatnet (se Figur 2.5).

Stasjon C2, overflatestrøm

Figur 3.37 viser strømroser for overflaten for tre av periodene vi har modellert med realistiske data for avrenning og temperatur. Strømmålinger for de samme periodene som er testet med modellen er vist i Figur 3.38. Vannføring fra kraftverket og Vosso for disse periodene er gitt i tabell 3.5. Modellen predikerer en nordvestlig retning for strømmen i perioden før 21. mai, mens strømmålingene viser en robust sørlig retning (Figur 3.23, Figur 3.38). I perioden etter 21. mai ser vi derimot at modellen treffer godt på både retning og styrke.



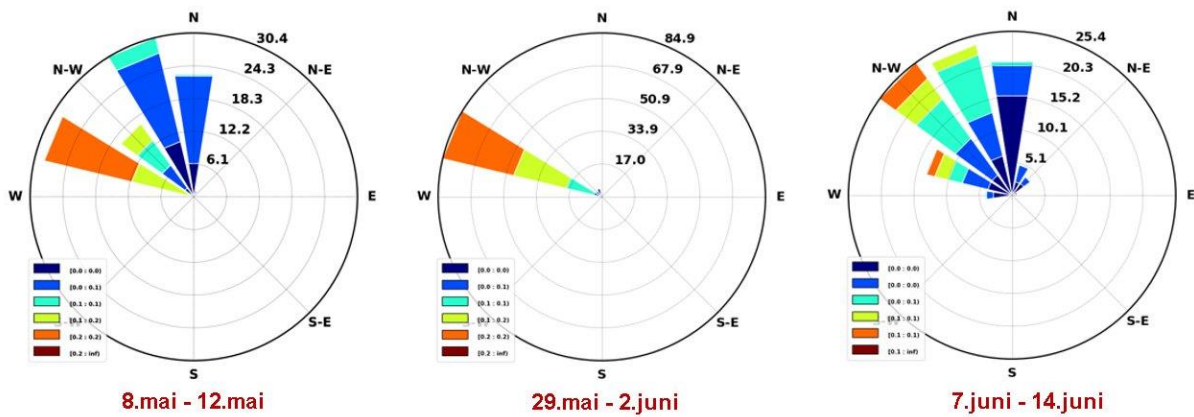
Figur 3.37 Stasjon C2, modell. Modellert vanntransport i øvre vannlag for ulike perioder.



Figur 3.38. Stasjon C2, strømmåling. Gjennomsnittlig vanntransport ($m^3/m^2/dag$) i øvre vannlag (3-4 meters dyp) for ulike perioder. Målinger utført med akustisk profilmåler (ADCP, Nortek).

Stasjon C4, overflatestrøm

I figur 3.39 ser vi liknende tendens som for C2, men ikke like sterk, i perioden før 21. mai er modellens hovedstrømretning nordvestlig, mens målingene registrerte nordlig og nordøstlig retning. I perioden 29. mai til 2. juni ser vi igjen svært god overenstemmelse mellom modell og måling, jevn hastighet med retning mellom vest og nordvest. Modellen indikerer så at det vil komme en del svake strømretningshendelser i nordlig retning i perioden fra 7. til 14. juni. Strømmålinger for de samme periodene som er testet med modellen er vist i Figur 3.40. Vannføring fra kraftverket og Vosso for disse periodene er gitt i tabell 3.5.



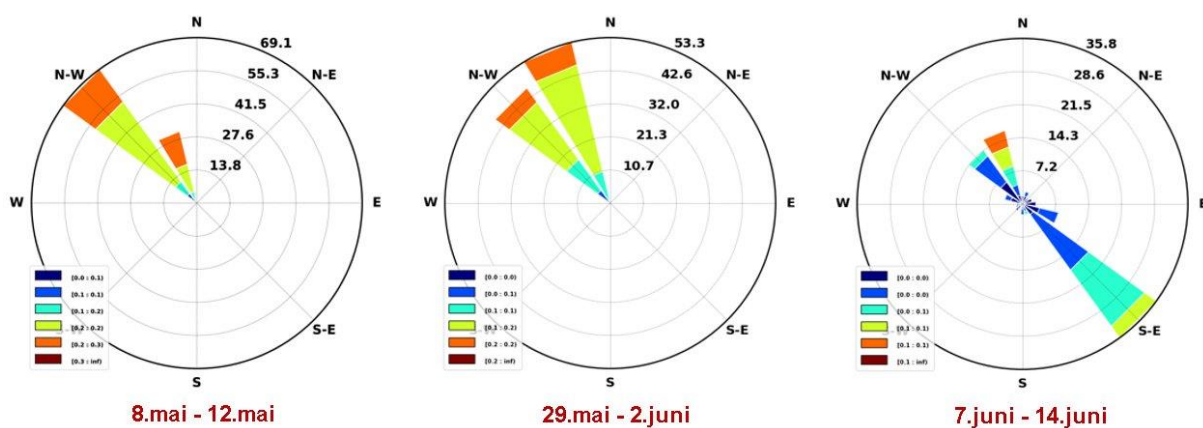
Figur 3.39 Stasjon C4, modell. Modellert vanntransport i øvre vannlag for ulike perioder.



Figur 3.40. Stasjon C4, strømmåling. Gjennomsnittlig vanntransport ($m^3/m^2/dag$) i øvre vannlag (3-4 meters dyp) for ulike perioder. Målinger utført med akustisk profilmåler (ADCP, Nortek).

Stasjon B2 (i sundet mellom Fadnes og Hernes), overflatestrøm

Figur 3.41 viser strømmoser for overflaten på st. B2 for tre av periodene vi har modellert med realistiske data for avrenning og temperatur. Strømmålinger registrert på st. B2 for de samme periodene som er testet med modellen er vist i Figur 3.42. Resultatene viser god overenstemmelse mellom modell og de reelle målingene. I den siste perioden, fra 7-14 juni ser vi en interessant endring i strømbildet på st. B2, med en relativt sterk komponent innstrømning fra vest i overflaten. Denne perioden skiller seg ut fra de andre periodene i denne sammenligningen med relativt stort utslipp fra kraftverket i forhold til vannføringen i Vosso (Tabell 3.5). Lignende tilbakestrømninger er også observert i de gjennomførte strømmålingene, og slike tilbakestrømninger med sørlige retninger er typisk for perioder med relativ høy vannføring fra kraftverket (se figur 3.21, figur 3.22, figur 3.42).



Figur 3.41 Stasjon B2, modell. Modellert vanntransport i øvre vannlag for ulike perioder.



Figur 3.42. Stasjon B2, strømmåling. Gjennomsnittlig vanntransport ($m^3/m^2/dag$) i øvre vannlag (3-4 meters dyp) for ulike perioder. Målinger utført med akustisk profilmåler (ADCP, Nortek).

Oppsummering, diskusjon og mulig arbeid videre med modellen.

En forenklet strømmodell er etablert for østre del av Evangervatnet. Modellen er tredimensjonal og med tilstrekkelig romlig oppløsning til å representere virvler, bunntopografi og kystlinje. For vårperioden 2018 er modellen kjørt med realistiske innløpsrandverdier til modellområdet, men en del antakelser er gjort ved utløpet. I perioden før 21. mai hvor tettheten til vannet fra kraftverket er mindre enn tettheten til vannet fra Vosso klarer ikke modellen med de gitte randbetingelser å gjenskape den store virvelen sørvest for kraftverksutslippet som strømmålingene viste (se Figur 3.29). I perioden etter 21. mai er derimot overenstemmelsen mellom modell og strømmålinger god til veldig god både når det gjelder retning og styrke.

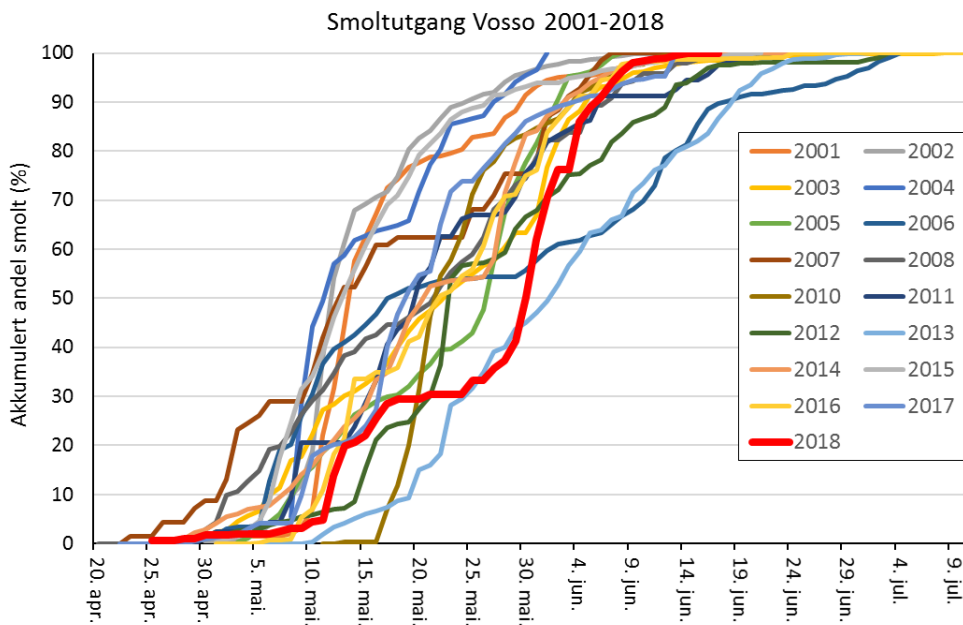
En av hovedantakelsene bak modellen er at den vestre delen av Evangervatnet ikke påvirker forholdene i den østre delen vesentlig. Både målinger og modellresultat indikerer at dette ikke er riktig. Målinger viser perioder med tilbakestrømming av overflatevann, noe som bekreftes av testkjøringer hvor vi har satt overflatetemperaturen i modellen «kunstig» høy. Det kan tenkes at vi var *uheldig* med året 2018, siden dette året hadde en relativ lang varm periode før 21. mai som skiller seg ut statistisk sammenlignet med andre år, men samtidig er det lett å tenke seg at den vestlige delen av Evangervatnet vil opptre som et minne, i og med at store, langvarige avrenningshendelser som en flom vil endre og magasinere opp hydrografi/tetthet. I den østre delen hvor volumet er relativt lite vil hendelser endre hydrografien i løpet av timer. Det vil dermed kunne oppstå situasjoner hvor for eksempel den østre delen er fylt opp med relativt kaldt, tungt vann mens den vestre delen har varmt vann. Dette vil gi en innstrømming av varmt lett vann i overflaten i den østre delen. Siden modellen bare kjøres noen få dager om gangen vil denne «historikken» ikke være representert.

Modelleringsmessig kan dette løses ved å redusere den horisontale oppløsningen i modellen i så stor grad at man kan inkludere også den vestlige (nedre) delen av Evangervatnet i simuleringene. Dette vil gå på bekostning av detaljnivå i det «interessante» området øst i Evangervatnet (øvre del), men vil gjøre at man unngår å gjøre feil i randbetingelsene rett i nærheten av terskelen. I tillegg vil den reduserte oppløsningen gjøre det mulig å regne på perioder på flere uker, i stedet for bare dager. Det vil da bli nødvendig å inkludere effekten av solinnstråling.

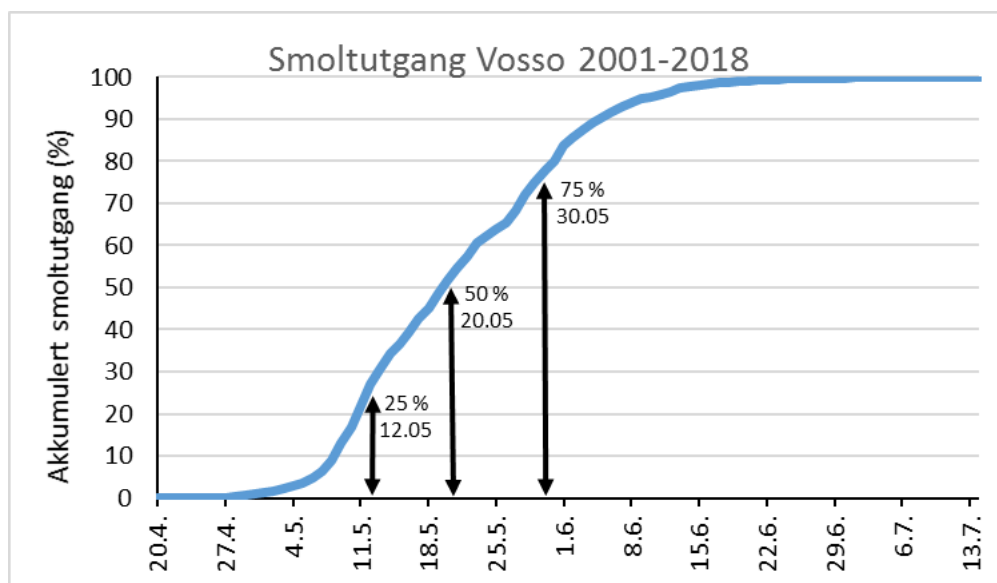
3.5 Smoltutvandringen fra Vosso

Generelle trekk ved smoltutgangen fra Vosso

I Vosso viser fellefangstene for perioden 2001-2018 at smolten er på vandring fra siste halvdel av april, i hele mai og i noen år også ut juni (Figur 3.43). Slås data fra alle år sammen er 50 % av smoltutgangen (dvs. halvparten av totalfangsten) registrert den 20. mai, med 25 % av utgangen registrert 12. mai og 75 % 30. mai (Figur 3.44). Dette betyr at mesteparten av smoltutvandring skjer i løpet av noen uker i mai måned. Holdes data fra de ulike år separat kan man se en variasjon i andel utvandring som strekker seg mellom 5-13. mai for 25 %, 12. mai-2. juni for 50 % og 19. mai-12. juni for 75 % smoltutvandring (Tabell 3.5).



Figur 3. 43 Akkumulert andel smolt registret i smoltskruer i Bolstadhølen og/eller i smoltruser i Bolstadjfjorden i årene 2001 til 2018. Fangstene fra 2018 er vist med markert rød strek.



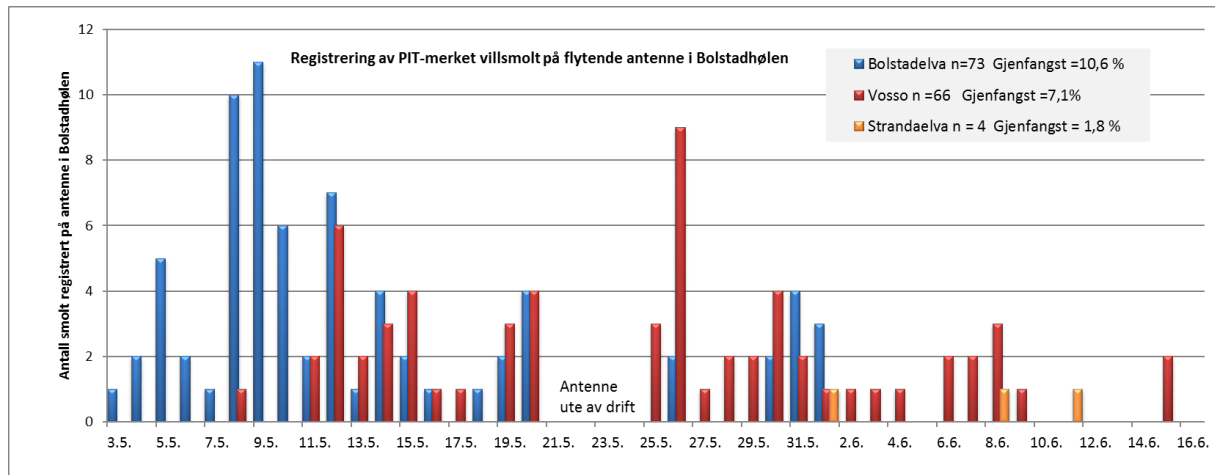
Figur 3. 44 Akkumulert smoltutgang når samtligte data summeres for hele perioden 2001-2018. Pilene angir dato for når hhv. 25 %, 50% og 75% av smolten er registrert i totalmaterialet.

Tabell 3. 5 Smoltutvandring. Dato for når 25%, 50 % og 75 % av den totale fellefangsten av smolt er registret de ulike årene. Nederst i tabellen er tilsvarende verdier når fellefangsten i hele perioden 2001-2008 er slått sammen.

År	25 %	50 %	75 %
2001	12.05	14.05	19.05
2002	11.05	13.05	19.05
2003	11.05	23.05	1.06
2004	9.05	12.05	21.05
2005	14.05	27.05	30.05
2006	9.05	17.05	12.06
2007	5.05	13.05	28.05
2008	9.05	22.05	31.05
2010	20.05	22.05	26.05
2011	15.05	20.05	30.05
2012	20.05	23.05	3.06
2013	23.05	2.06	11.06
2014	14.05	21.05	29.05
2015	9.05	13.05	20.05
2016	14.05	22.05	30.05
2017	16.05	19.05	26.05
2018	16.05	30.05	2.06
2001-2018	12.05	20.05	30.05

Når vandrer smolten inn i Evangervatnet?

I motsetning til de årlige fellefangstene ved utløpet ved Bolstad eller i Bolstadfjorden finnes det lite felledata for når smolten vandrer inn i Evangervatnet. Men i 2016 ble det fanget 188 laksesmolt i en ruse som sto ute fra 28 april til 02 juni i Evangervatnet. De første smoltene ble registrert den 05 mai og 50 % av fangsten var registrert den 11 mai. Imidlertid ble rusen fylt av rekved i forbindelse med økende flomvannføring den 08-09 mai og dette reduserte fangbarheten betydelig. Disse resultatene fra rusefangsten i Evangervatnet sammenfaller med de første registreringer i smoltfellene i Bolstadhølen og i rusene i Bolstadfjorden. Et felles signal for denne første vandringen synes å være den økte vannføringen i første halvdel av mai måned (Figur 3.45). Samlet tyder dette på at resultatene fra smoltutvandringen registret ved Bolstad i hovedsak gjenspeiler hovedmønsteret for smoltvandringen inn i Evangervatnet noe som også er rimelig å anta gitt at vannføring og temperaturutvikling i hovedsak følger hverandre i Bolstadelva og Vosso. Tilsvarende resultat som viser at smoltvandringen starter om lag på samme tid i Bolstad og Vosso er også funnet ved bruk av akustisk merket smolt (Haugen m.fl. 2016; 2017).



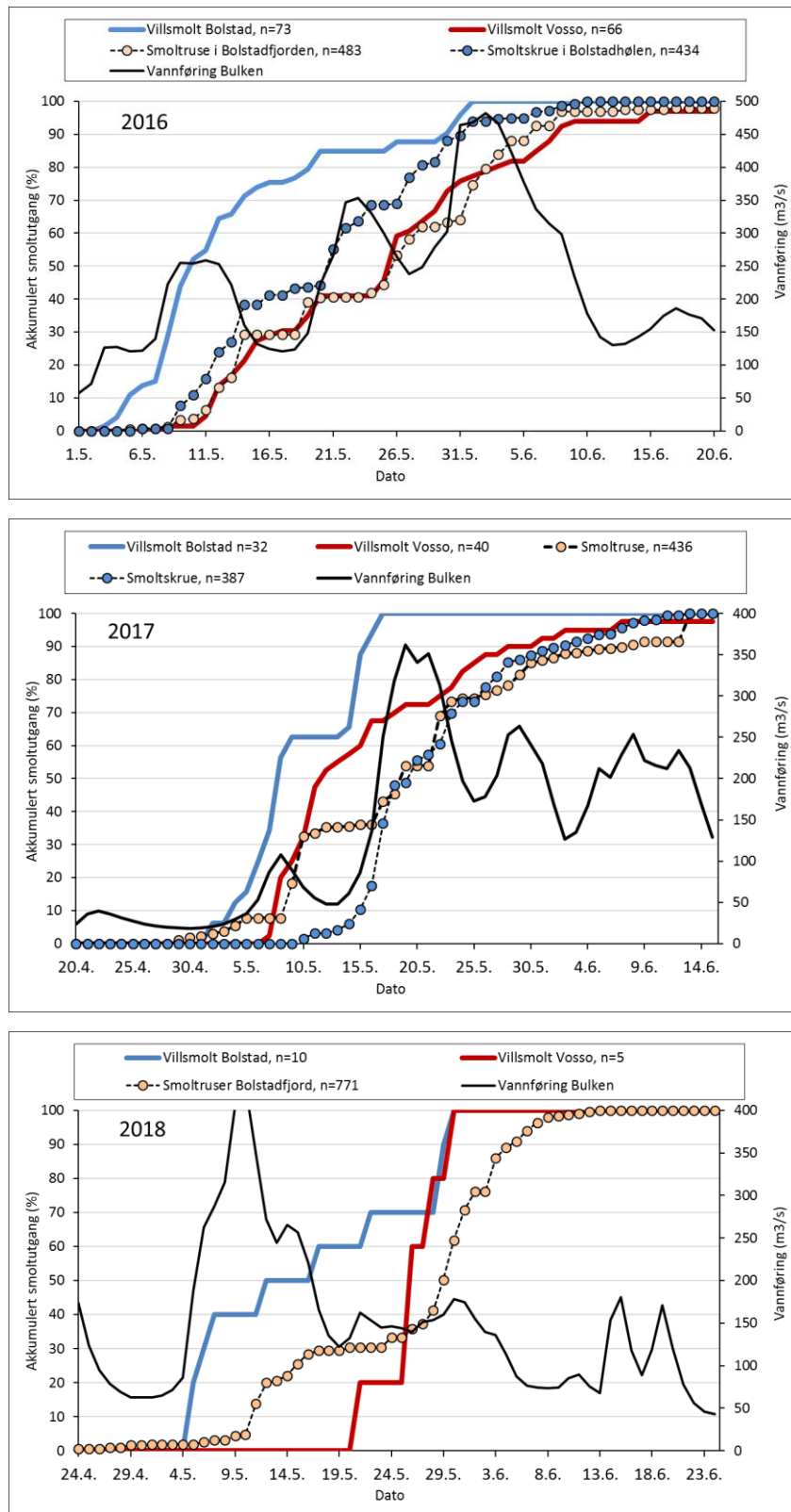
Figur 3. 45 Antall PIT-merket smolt satt ut i Bolstadelva, Vosso og Strandaelva som senere ble registrert på den flytende antenne i Bolstadhølen i mai og juni 2016.

Registreringer av PIT merket smolt

I 2016 ble 10,6 % av villsmolten som var merket og satt ut i Bolstadelva, registrert på den flytende antenne i Bolstadhølen mens tilsvarende tall for villfisk satt ut i Vosso og Strandaelva var henholdsvis 7,1 % og 1,8 %. Disse tallene må regnes som minimumstall for hvor stor andel av den merkede smolten som vandret ut siden antennen bare dekker en begrenset del av elvetversnittet (ca. 10-15 %) og fordi fangbarheten reduseres ved høy flomvannføring. Resultatene viste at smolten satt i Bolstadelva ble registrert betydelig tidligere enn smolten satt i Vosso dvs. 50 % utvandring for smolten satt i Bolstad ble nådd den 10. mai mens for smolt satt i Vosso ble først 50 % utvandring nådd den 26. mai. For umerket smolt registrert i smoltskruen og smoltrusene var 50 % registrert hhv. den 21. og 26. mai (Figur 3.46). På grunn av skade var antennen ute av drift i dagene 21. – 25. mai. Dette førte til et gap i dataserien som bidro til redusert gjenfangst og en feilkilde i forhold til registrert forløp av smoltutgangen.

I sum viser analysen at fisk som blir sluppet lenger oppe i vassdraget har lavere sannsynlighet for å bli detektert ved Bolstad enn fisk lenger ned. Det er sannsynlig at en stor del av denne dødeligheten skjer i innsjøene og at predasjon er en viktig bidragsyter til dette. Dette støttes av resultatene som indikerer størrelsesseleksjon blant fisk som blir sluppet ovenfor Evangervatnet, men ikke fisk som blir sluppet nedenfor. I tillegg er det helt åpenbart at klekkerifisk har en avvikende atferd og lav overlevelse.

Det er viktig å påpeke at disse estimatene er basert på et datasett som ikke tar forbehold om at vandringstidspunktet fra de forskjellige elvestrekningene vandrer forbi Bolstad på forskjellige tidspunkter. Dette vil føre til en bias i sannsynlighet for deteksjon ettersom antennene ikke var like effektive gjennom hele perioden (se foregående tekst). I forbindelse med en flomtopp var antennen ute av drift i dagene 21. - 25. mai. Dette var en periode da en kan forvente at relativt mye av smolten fra Vosso og kanskje også Strandaelva vandret ut. Det er derfor umulig å fastslå om den estimerte forskjellen mellom elveavsnittene hovedsakelig er forårsaket av lavere deteksjonseffektivitet eller redusert overlevelse. Det er derimot liten tvil om at dataene tilsier at kultivert smolt har en sterkt redusert overlevelse og forsinket utvandring sammenlignet med villsmolt. I tillegg virker det som fisk fra elvestrekninger lenger opp i elven har en redusert overlevelse sammenlignet med fisk fra elvestrekninger nærmere sjøen. Det er derimot også viktig å påpeke at resultatene viser at alle de tre elveavsnittene bidrar til smoltutvandringen, og at det ikke kan være riktig at man har nærmere 90 % dødelighet gjennom Evangervatnet slik studiet med akustisk merket smolt kan tyde på (Urke et al. 2016). Eksakt hvor stor dødeligheten er og om dødeligheten er unaturlig høy sammenlignet med vill laksesmolt i andre innsjøer er et viktig og uavklart spørsmål.

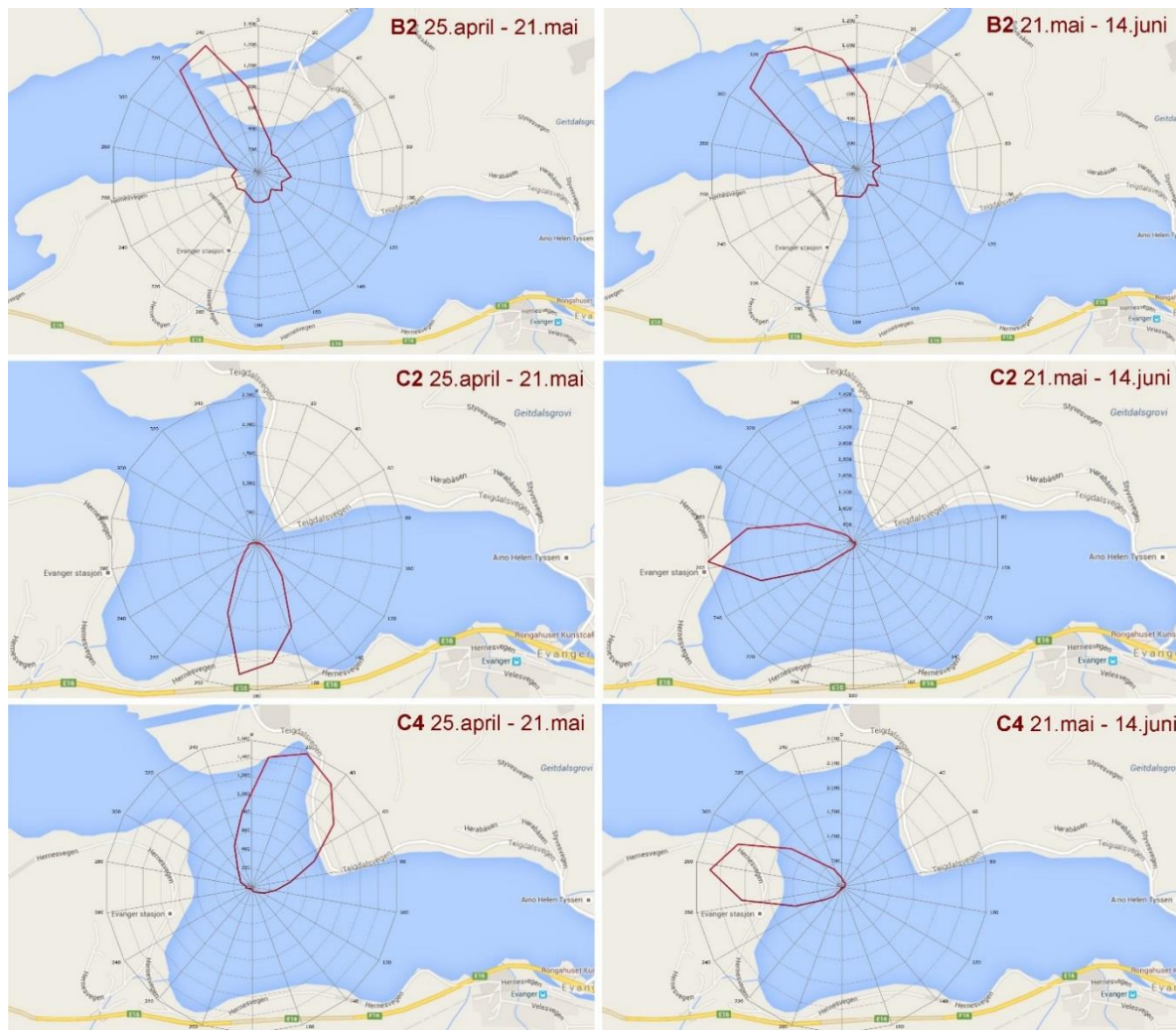


Figur 3. 46 Forløpet av smoltutgangen for PIT-merket smolt i 2016, 2017 og 2018 satt ut i Bolstadelva og Vosso og registrert på den flytende antenna i Bolstadhølen, og tilsvarende for umerket smolt registrert i smoltskruen i Bolstadhølen og i smoltruse i Bolstadfjorden.

Strømforhold i Evangervatnet under smoltvandringen 2018

I 2018 ble det registrert utvandrende smolt i perioden 25. april til 14. juni (figur 3.46). I denne perioden var hovedstrømretningen gjennom sundet i Evangervatnet målt på stasjon B2 nordvestlig (figur 3.47), men det ble registrert perioder med ustabile strøm med varierende strømhastighet og retninger. Perioder med mest ustabil strøm gjennom sundet sammenfaller med perioder med relativ høy driftsvannføring fra kraftverket. Relativ høy driftsvannføring ($> 20\text{m}^3/\text{s}$ og samtidig $> 20\%$ i forhold til vannføring fra Vosso) ble registrert i perioden 26. april – 4. mai og 10. juni – 13. juni. I disse periodene var det sørlige strømretninger med lav hastighet som dominerte i sundet på målestasjon B2. Denne effekten av driftsvannføringen fra kraftverket er mest tydelig i perioden før 21. mai. Det ble også registrert en periode med ustabil strøm i en liten periode etter flomtoppen 11. mai. Dette kan forklares med at vestre del av Evangervatnet er fylt opp i den grad at det blir en liten tilbakeføring av vannmasser inn i østre del av Evangervatnet når vannføringen til Vosso avtar. Denne effekten er imidlertid vanskelig å vurdere da topper i vannføringen til Vosso i perioden med smoltutvandring i 2018 ofte er etterfulgt med topper i driftsvannføring fra kraftverket. Det kan derfor ikke utelukkes at ustabile strømforhold i sundet representerer naturlige svingninger i forhold til vannføringen i Vosso.

Som tidligere beskrevet (Kap 3.3) viste målingene et markant skifte i strømretninger i øvre vannlag på målestasjonene C2 og C4 sentralt i østre del av Evangervatnet, og at dette skiftet skjedde 21. mai. I perioden før 21. mai var det stabil strøm i sørlig og nordvestlig retning på hhv. st. C2 og C4. I denne perioden ble det registrert en stor naturlig dannet virvel som dreide i klokkeretning over dypområdet i østre del av Evangervatnet. Denne virvelen opphørte i perioden etter 21. mai, med strømskifte og stabil strøm i vestlig retning på begge målestasjonene (C2 og C4). Opphør av denne virvelen sammenfaller med økning i temperatur i Vosso målt ved innløpet til Evangervatnet, og det antas derfor at tidspunkt for når virvelen opphører vil variere fra år til år avhengig av vanntemperaturen i Vosso. I perioden uten virvel (etter 21. mai) har overflatestrømmen en mer direkte linje gjennom østre del av Evangervatnet, fra Vosso ved innløpet til Evangervatnet og ut gjennom sundet. Strømforholdene i østre del av Evangervatnet under smoltutvandringen i 2018 er vist i figur 3.47.



Figur 3. 47 Strømmønster i øvre vannlag i perioden med registrert utvandrende smolt fra Vossovassdraget (25. april – 14. juni 2018). Relativ vannfluks (vanntransporten) i ulike deler av Evangervatnet i perioden før og etter 21. mai. Stasjon B2 viser vanntransporten gjennom sundet mellom Fadnes og Hernes; stasjonene C2 og C4 viser vanntransporten gjennom den østre delen av Evangervatnet.

Kunnskap om smoltvandring gjennom innsjøer fra andre studier

Generelt er det langt mindre kunnskap om smoltens vandringmønster gjennom innsjøer enn for vandring i elv og sjø (Thorstad m.fl. 2012). Det finnes imidlertid flere andre studier internasjonalt som har undersøkt vandringshastighet og overlevelse for smolt gjennom innsjøer både ved bruk av radiotelemetri, PIT-merker og Carlin-merker. Et fellestrekk i mange av studiene er at smolten ofte har lange oppholdstider i innsjøene, med netto vandringshastigheter ofte lavere enn 1,5 km per dag (Thorpe m.fl. 1981, Hansen m.fl. 1984, McLennan m.fl. 2018, Honkanen m.fl. 2018), men det er også eksempler på at smolten i noen tilfeller kan vandre raskt gjennom innsjøer (opptil 15,6 km per dag, Bourgeois & O'Connell 1988). I motsetning til vandring gjennom elvestrekninger med rennende vann, hvor smoltens vandringretningen synes å være ensrettet nedstrøms (Thorstad m.fl. 2012), synes smoltens vandringmønster å være mer stokastisk på kryss og tvers i innsjøer, og tidvis til og med i motstrøms retning (Thorpe m.fl. 1981, Aarestrup m.fl. 1999, Honkanen m.fl. 2018). Dette antas å gjenspeile variasjon i overflatestrømmer i innsjøene, og at det er vanskeligere for smolten å finne hovedstrømmen til utløpet av innsjøen (Thorpe m.fl. 1981, Aarestrup m.fl. 1999). Dette vandringmønsteret bidrar trolig også til å forklare den forholdvis lange oppholdstiden smolten synes å ha i innsjøer i flere av disse studiene.

Mange av de aktuelle studiene finner også at smoltdødeligheten ved innsjøvandring ofte er svært høy (> 70 %), både ved vandring i menneskeskapte vannkraftreservoarer (Jepsen m.fl. 1998, Aarestrup m.fl. 1999, McLennan m.fl. 2018) og gjennom naturlige innsjøer (Kennedy m.fl. 2018). Smoltdødelighet synes i stor grad å skyldes predasjon fra større fisk (Jepsen m.fl. 1998, Kennedy m.fl. 2018) og fugl (Jepsen m.fl. 1998). Kennedy m.fl. (2018) fant også at smolttapet var klart høyere i overgangen mellom elv og innsjø, dvs innsjøens innløpsområde. For øvrig synes smoltvandringen i de fleste overnevnte studiene å være på nattetid, noe som antas å være en anti-predatoradferd.

Basert på tilgjengelig informasjon fra studier i litteraturen, synes lang oppholdstid og høy dødelighet å være vanlig forekommende for laksesmolt som vandrer gjennom innsjøer. En usikkerhetskilde ved flere av de overnevnte studiene er at effekten av merking og håndtering er ukjent, og at en ikke har kunnskap om smolten faktisk er spist av en predator. Det er derfor behov for flere studier for å finne ut hva som er «normal» smoltatferd og overlevelse ved vandring gjennom innsjøer, og hvordan de eventuelt påvirkes av ulike menneskeskapte endringer.

4. Status og videre arbeid

- Målinger utført i en preliminær undersøkelse i 2016 (4.mai – 27.mai) og i den utvidede undersøkelsen i 2018 (19. april – 26. juni) viser at det dannes en stor naturlig strømvirvel som dreier med klokkeretningen over dypområdet i østre del av Evangervatnet. Denne virvelen 'løste seg opp' i slutten av mai 2018, noe som resulterte i en mer direkte vanntransport av overflatevann gjennom Evangervatnet fra innløpet til Vosso og gjennom sundet i mellom Fadnes og Hernes i perioden etter 21. mai 2018. Det ble ikke observert lignende oppløsning av virvel i målingene som ble utført i perioden 4. mai til 27. mai 2016. Vannføring og temperatur i Vosso i 2018 for perioden med smoltutvandring (april-juni) kan imidlertid ikke sammenlignes med samme periode i 2016 eller tidligere år. Vosso hadde en vårfloem i 2018 som toppet tidligere sammenlignet med med andre år i perioden 2009-2017. I tillegg var temperaturen i Vosso betydelig høyere i 2018 for perioden etter 21. mai sammenlignet med gjennomsnittet for samme periode i 2009-2017. Det vil derfor være nødvendig med oppfølgende undersøkelser for å bekrefte hva slags effekt vannføringen og temperaturen i Vosso har på virveldannelsen rundt bassenget i østre del av Evangervatnet, og hvordan opphør av virvel kan variere fra år til år i perioden for smoltvandring.

I perioden med smoltvandring (april-juni) i 2018 var driftsvannføringen til Evanger kraftverk i forhold til vannføringen i Vosso lavere enn gjennomsnittet for tilsvarende periode i 2009-2017. Det er derfor nødvendig med gjentatte undersøkelser for å vurdere effekten til Evanger kraftverk i vårperioder med høyere utslipp enn det som var tilfelle for 2018.

Oppfølgende undersøkelser for å vurdere effekter av vannføring fra Vosso og driftsvannføring fra Evanger kraftverk kan enklest gjennomføres med å utplassere profilerende strømmålere på samme stasjoner som i 2018 i perioden medio april til medio juli 2019. En slik oppfølgende undersøkelse kan også bekrefte om ustabile strømforhold i sundet mellom Fadnes og Hernes kan forekomme naturlig i forhold til vannføringen fra Vosso.

- Ny modellering med redusert oppløsning kan inkludere vestre del av Evangervatnet og i tillegg gjøre det mulig å regne på langvarige perioder over uker i stedet for dager. En slik simulering vil også i større grad vise om flomtopper fra Vosso kan medføre en tilbakeføring av vannmasser fra vestre del av Evangervatnet gjennom sundet mellom Fadnes og Hernes og inn i østre del av Evangervatnet når vannføringen i Vosso avtar.
- Flere ulike studier har vist at det kan forekomme stor smoltdødelighet forbundet med innsjøvandring gjennom både menneskeskapt vannkraftreservoarer og naturlig innsjøer. Denne dødeligheten kan i stor grad forklares med lang oppholdstid og predasjon fra større fisk og fugl, men usikkerheten i disse studiene er effekt av merketoder og håndtering av fisk. Det er følgelig behov for flere studier for å finne ut hva som er «normal» smoltadferd og overlevelse ved vandring gjennom innsjøer, og hvordan de eventuelt påvirkes av ulike menneskeskapt endringer.
- Vandringsstudiene av smolt som har blitt gjennomført ved bruk av akkustikk-merker i Vossovassdraget har en del begrensinger ettersom en ikke kan skille mellom vandrende smolt og smolt som har blitt spist av større fisk. Våren 2019 vil det bli utført et pilotforsøk med en ny type merker som registrerer om den merkede smolten blir spist av predatorer. Bruk av denne merketoden vil kunne gi mer detaljert informasjon om både når og hvor eventuell predasjon forekommer, og dermed gi langt bedre grunnlag for å vurdere eventuell smoltdødelighet i Evangervatnet og de andre innsjøene.

Referanser

- Aarestrup, K., Jepsen, N. & Rasmussen, G. 1999. Movements of two strains of radio tagged Atlantic salmon, *Salmo salar* L., smolts through a reservoir. *Fisheries Management and Ecology*, 6, 97-107.
- Barlaup, B.T. 2018. Redningsaksjonen for Vossolaksen – framdriftsrapport per 2017. Uni Research Miljø LFI. LFI rapport nr. 300. 274 s.
- Bourgeois, C. E. & O'Connell, M. F. (1988). Observations on the seaward migration of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts through a large lake as determined by radiotelemetry and Carlin tagging studies. *Canadian Journal of Zoology* 66, 685–691.
- Hansen, L.P., Jonsson, B., Døving, K.B. (1984) Migration of wild and hatchery reared smolts of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., through lakes. *Journal of Fish Biology* 25: 617-623.
- Haugen, T.O., Ulvund, J.B., Lunde, R., Kristensen, T., Barlaup, B.T. & Urke, H.A. 2016. Vandringsmønster og overleving hjå laksesmolt frå Bolstadelva og Vosso [Migration pattern and survival in Atlantic salmon smolt from Bolstadelva and Vosso]. NMBU - INA Fagrapport 32. 54 sider
- Haugen, T.O., Kristensen, T., Nilsen, T.O. & Urke, H.A. 2017. Vandringsmønsteret til laksesmolt i Vossovassdraget med vekt på detaljert kartlegging av åtferd i innsjøsystema og effektar av miljøtilhøve. - MINA fagrapport 41. 85 s.
- Honkanen, H.M., Rodger, J.R., Stephen, A., Adams, K., Freeman, J. & Adams, C.E. Counterintuitive migration patterns by Atlantic salmon *Salmo salar* smolts in a large lake *Journal of Fish Biology*, 93:159–162.
- Jepsen, N., Aarestrup, K., Økland, F. & Rasmussen, G. 1998. Survival of radio-tagged Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and trout (*Salmo trutta* L.) smolts passing a reservoir during seaward migration. *Hydrobiologia* 371/372: 347–353.
- Kennedy, R.J., Rosell, R., Millane, M., Doherty, D. & Allen, M. 2018. Migration and survival of Atlantic salmon *Salmo salar* smolts in a large natural lake. *Journal of Fish Biology* 93:134–137.
- Kirkhorn, T. 2018. Evangervatnet. Historiske data som grunnlag til vurderinger av strøm og temperaturforhold. BKK rapport (ID:11968950). 43 s.
- McLennan D, Rush, E. McKelvey, S. & Metcalfe, N.B. 2018. Timing of Atlantic salmon *Salmo salar* smolt migration predicts successful passage through a reservoir. *Journal of Fish Biology* 92: 1651–1656.
- Pulg, U., Stranzl, S. & E. Olsen. 2018. Gassmetning i Evangervatnet 2015-2017. I: B.T. Barlaup (redaktør). Redningsaksjonen for Vossolaksen – framdriftsrapport per 2017. Uni Research Miljø. LFI rapport nr. 300.
- Karlsen, B., Finstad, O. Ugedal og T. Svåsand (redaktører). 2016. Kunnskapsstatus som grunnlag for kapasitetsjustering innen produksjonsområder basert på lakselus som indikator. Rapport fra Havforskningen. Nr. 14–2016 ISSN 1893-4536.
- Stenberg, S. K. (2016). Effects of gas super saturation on migrating Atlantic salmon smolt (*Salmo salar*) in Evangervatnet. (MSc thesis). Department of Biology, University of Bergen, Bergen. Retrieved from www.bora.uib.no/handle/1956/15374
- Thorpe J.E., Ross L.G., Struthers G. & Watts W. (1981) Tracking Atlantic salmon smolts (*Salmo salar* L.) through Loch Voil, Scotland. *Journal of Fish Biology* 19: 519-537.
- Thorstad, E., Whoriskey, F., Uglem, I., Moore, A., Rikardsen, A. & Finstad, B. 2012. A critical life stage of the Atlantic salmon *Salmo salar*: behaviour and survival during the smolt and initial post-smolt migration. *Journal of Fish Biology* 81: 500–542.
- Ugedal, O., Kroglund, F., Barlaup, B. og Lamberg, A. 2014. Smolt – en kunnskapsoppsummering. Rapport fra Miljødirektoratet. M126-2144.
- Urke, H. A., Kristensen, T., Ulvund, J. B., & Alfredsen, J. A. (2013). Riverine and fjord migration of wild and hatchery-reared Atlantic salmon smolts. *Fisheries Management and Ecology*, 20, 544–552. <https://doi.org/10.1111/fme.12042>
- Vollset, K.W., B.T. Barlaup, S. Mahlum, B. Skår, H. Skoglund, E. S. Normann, J.C. Holst, V. Wennevik, G. Skaet, J. Grimsrud Davidsen. 2014. Migration and predation of Atlantic salmon smolts from Vosso. Uni Research Environment. Final report FHF project #900778.