

Bruk av Akerselva for energiutveksling med Avantors bygningsmasser i Nydalen.

En vurdering av virkning på bunndyr og fisk.

Åge Brabrand og Svein Jakob Saltveit



Denne rapportserien utgis av:

Naturhistorisk museum
Postboks 1172 Blindern
0318 Oslo

www.nhm.uio.no

Publiseringsform:

Trykket og elektronisk (pdf)

Forfattere:

Åge Brabrand og Svein Jakob Saltveit

Sitering:

Brabrand, Å. & Saltveit, S.J. 2013. Bruk av Akerselva for enegiutveksling med Avantors bygningsmasser i Nydalen. En vurdering av virkning på bunndyr og fisk. Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo, Rapport nr. 23, 23 s.

ISSN: 1891-8050

ISBN: 978-82-7970-037-1

Fra 2011 inngår forskningsrapportene fra LFI i ny rapportserie ved Naturhistorisk museum.

Gammelt rapportarkiv for LFI for perioden 1972-2010:

<http://www.nhm.uio.no/forskning/publikasjoner/lfi-rapporter/>

Forsidebilde: Åge Brabrand



Bruk av Akerselva for energiutveksling med Avantors bygningssmasser i Nydalen.

En vurdering av virkning på bunndyr og fisk.

Åge Brabrand og Svein Jakob Saltveit





Antall sider og bilag:		Tittel	
23 sider		Bruk av Akerselva for energiutveksling med Avantors bygningsmasser i Nydalen. En vurdering av virkning på bunndyr og fisk.	
		Forfatter(e)/ enhet: Åge Brabrand (NHM) Svein Jakob Saltveit (NHM)	
Rapportnummer: 23	Gradering: Åpen	Prosjektleder: Åge Brabrand	Prosjektnummer:
ISSN 1891-8050	Dato: 15.1.2013	Oppdragsgiver(e): Avantor Eiendomsforvaltning AS	
ISBN 978-82-7970-037-1		Oppdragsgiversref. Roy Åge Frivoll	

Forord

Avantors datterselskap Nydalen Energi har konsesjon for Nydalen for fjernvarme, og har fra 2005 hatt et anlegg som benytter Akerselva for kjøleformål/energiutveksling.

I den videre utbyggingen av bygningsmassen i Nydalen er det behov for å utvide anlegget, og i dette arbeidet inngår utslipp av oppvarmet vann til Akerselva fra en varmesentral i enkelte perioder når bygningsmassen har behov for kjøling, og utslipp av nedkjølt vann når det er behov for oppvarming.

I konsesjonsbehandlingen har Fylkesmannen bedt om mer utredning om samlet påvirkning av disse tiltak på biologiske samfunn som følge av utslipp av vann med endret vanntemperatur.

Utredningen ble påbegynt 22.11.2012 og skulle ferdigstilles innen 1.2.2013.

Oslo 15.1.2013


Åge Brabrand

Innhold

1.	INNLEDNING	8
2.	PROBLEMSTILLING	9
3.	VIRKNING PÅ FAUNA	13
3.1.	DRIVORGANISMER I VARMESENTRALEN	14
3.2.	ORGANISMER I ELVA NEDENFOR UTSLIPPSPUNKT.....	14
3.2.1	<i>Bunndyr</i>	15
3.2.2.	<i>Kreps</i>	15
3.2.3.	<i>Elvemusling</i>	16
3.2.4.	<i>Fisk</i>	16
3.2.5.	<i>Eggutvikling</i>	17
3.2.6.	<i>Varmekrevende arter</i>	18
3.2.7.	<i>Kaltdvannsarter: laks og ørret</i>	18
4.	KONKLUSJON	19
5.	LITTERATUR	21

1. Innledning

Avantor Eiendomsforvaltning AS sine bygningsmasser i Nydalen ligger sentralt plassert i forhold til Akerselva, og Avantor's datterselskap Nydalen Energi AS har overtatt retten fra det gamle Christiania Spikerverk til bruk av vann til energiformål. I 2004 etablerte Avantor en sentral for energiutveksling med elvevannet, og det er nå ønskelig med en utvidelse av anlegget.

Bruk av Akerselva som energiutveksler er ikke ny. Elvevann ble brukt for å kjøle ned ovnene i det gamle Christiania Spikerverk, og det ble regnet med at dette periodevis ga en forhøyet temperatur i Akerselva på inntil 2 °C. Fram til 2008 hadde spikerverket utslipp av oppvarmet vann til elva fra vestsiden (Fig. 1), men det er ikke data som angir temperatur og vannmengde dette har hatt.

Varmesentralen som ble satt i drift i 2004 av Avantor ble beregnet å gi en forhøyet elvetemperatur på inntil 0,7 °C etter full innblanding, og etter at sentralen var kommet i full drift fra 2008. Virkningen av dette på de økologiske forholdene ble ansett som marginale (Kvambekk & Brabrand 2005).

Dette var vel og merke temperaturheving etter full innblanding. Vannet som ble tilført Akerselva fra anlegget fra 2004 hadde imidlertid en temperatur på inntil 35 °C (etter full drift fra 2008), noe som ble vurdert å ha lokal dødelig effekter på bunndyr og fisk (Kvambekk & Brabrand 2005). Slik tilførsel vil derfor kunne ha betydelig lokal virkning på flora og fauna, og utslipp av denne typen skiller seg lite fra andre typer utslipp. Sentralt her er utslippsvolum, vannføring i elva og hydrologiske forhold. Elvetemperaturen vil ved økende avstand fra utslippspunktet nærme seg full innblanding.

Akerselva har en bunnfauna som tidligere var preget av en til dels forenklet fauna i forhold til den forventete, naturlige faunaen i lavereliggende vassdrag på Sør-Østlandet (Saltveit et al. 2012a). Hovedårsaken til dette var industri langs elva og tilførsel av organisk forurensning i form av kloakk. Ulike tilførsler av toksiske stoffer har også hatt betydning. I tillegg er nedbørsfeltet til Akerselva delvis preget av leire.

Helt siden 1976 har det vært en klar bedring i vannkvaliteten og rentvannsarter fra grupper som steinfluer, døgnfluer og vårfluer påvises på hele elvestrekningen. Imidlertid er enkelte tilbakeslag påvist, pga. akutte utslipp og av ekstremt lave vannføringer.

Fisk finnes nå i hele elvas lengderetning og rentvannsarter som laks (nedre del) og ørret dominerer. Imidlertid kan lave tettheter av ørret og ørekyt ved Nydalen/Bjølsen indikere at forhold her er noe dårligere. Nedenfor nedre Foss foregår det naturlig rekruttering av laks og sjøørret, og ved tidligere undersøkelser er det her beregnet til dels høye tettheter av årsunger (0+) av laks og ørret, noe som viser at gyting og rognutvikling er vellykket. Det er også god vekst. Sannsynligvis vandrer laks ut som smolt allerede etter én eller to vekstsесonger. Selv om strekningen for naturlig reproduksjon er kort, vil Akerselva pga. lav smoltalder relativt sett kunne produsere mye laks.

I nedre del av Akerselva har Viken Fjernvarme utredet muligheten for en midlertidig kjølesentral der et alternativ var utslipp av vann som ville gi 2,5-3,5 °C høyere temperatur i elva nær sjøen (Bjerkeng & Jonsson 2006).

Ifølge manøvreringsreglementet for Akerselva skal det gå minst $1,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ fra utløpet av Maridalsvannet i perioden 1. april til 31. november, og minst $1,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ fra 1. desember til 31. mars. Hvis det er spesielt lav magasinfylling i Nordmarka kan vannføringen ut fra Maridalsvannet reduseres til $0,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (gjeldende fra 1995).

Det søkes nå om utvidelse av konsesjonen fra 2004. Det er her gitt en vurdering av anleggets virkning på fisk og bunndyr.

2. Problemstilling

Virkning av utslipp av vann med høyere temperatur enn elvevann dreier seg i prinsippet om en dose-respons situasjon. Dose vil definere eksponeringen, i dette tilfelle mengde vann med forhøyet temperatur og varigheten av utslippet. Siden enkelte organismer lever lenge; fisk noen år, elvemuslinger 50-150 år, mens andre lever kort; bunndyr ett år, så vil både kortvarige (noen dager) og sjeldne utslipp (en gang i året) kunne være styrende for utbredelse og mengde av begge disse organismegruppene. For kortlevde organismer, de med ett-årig livssyklus eller med flere generasjoner i året (bunndyr) og de med stor egenbevegelse/passiv drift (bunndyr, fisk), vil det kunne skje relativt rask rekolonisering etter utslipp.

For å belyse virkning på faunaen er derfor viktig å betrakte både de sjeldne ekstreme situasjonene og den mer vanlige driftssituasjonen.

Det oppgis fra Avantor at behov for kjøling fra elv er fra mai til september, men dette vil variere fra år til år. Avantor har satt som ett utgangspunkt fra 1. mai til 30. september. Kjølebehovet styres ikke av utetemperatur, men av kjølevannstemperaturen i de enkelte bygg. Kjøling som medfører temperaturheving av elva vil merkes på ca. 18 °C uteluft og nå maksimal påvirkning ved 26 °C uteluft. Ved minstevannføring i elva antar Avantor at det vil bli merkbar påvirkning ved uteluft ved 16 °C.

Avantor har beregnet en maksimal temperaturheving i elva på 2 °C etter full innblanding fra den nå planlagte varmesentralen. Dette vil inntreffe ved maksimal kjøling og når vannføringen i Akerselva vil være lik minstevannføringen på $1,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Maksimal kjøling vil være en del av den ordinære driften, mens vannføringen styres av vannsituasjonen i Maridalsvannet. Ved høyere vannføring enn minstevannføringen vil temperaturhevingen bli mindre enn 2 °C.

Minstevannføringen kan under spesielle omstendigheter fravikes, og ved vannføring mindre enn $1,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ eller når temperaturen i elva blir for høy ($> 24,5 \text{ °C}$), så skal kjølingen suppleres med vann fra kommunalt ledningsnett (VAV), som vil hjelpe til å holde temperaturen i elva nede og bidra til mer vannføring i elva. Dette planlegges styrt manuelt.

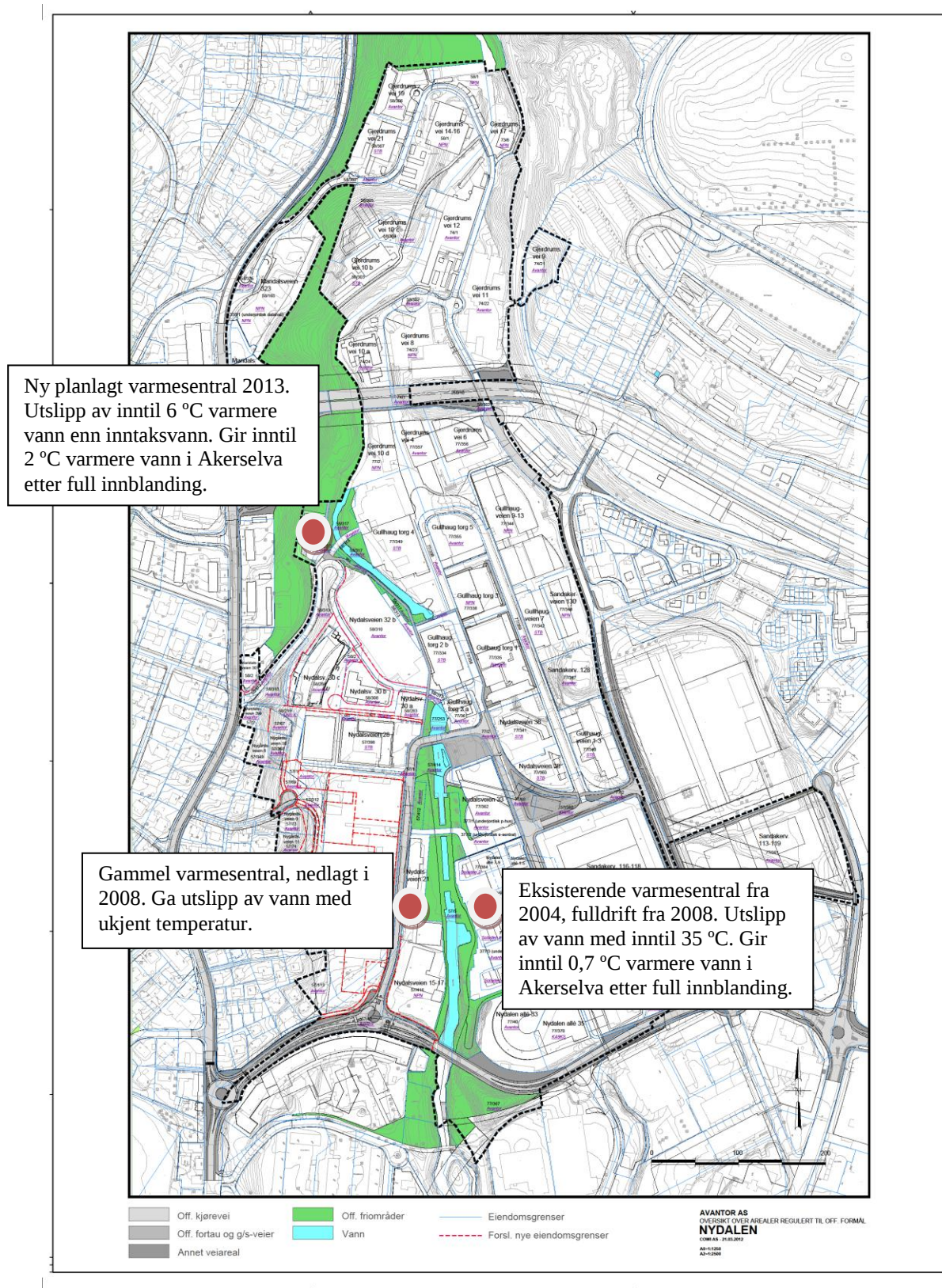


Fig. 1. Oversiktskart over Nydalen med angitte varmesentraler (●) for energiuutveksling med Akerselva.

Energisentralen vil ved maksimal drift ta inn 535 L s^{-1} . I energisentralen vil inntaksvannet varmes opp $6,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Dersom ellevannet i utgangspunktet har en temperatur på $22,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, vil dette etter energiutveksling inne i sentralen få en temperatur på $29 \text{ }^{\circ}\text{C}$. De 535 L s^{-1} på $29 \text{ }^{\circ}\text{C}$ vil blande seg som nevnt over med de resterende 965 L s^{-1} (forutsatt minstevannføring), og slutttemperaturen etter full innblanding er da beregnet til å være hevet $2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, dvs. fra $22,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ til $24,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (oppgitt av Avantor).

Temperatureffekten på ellevannet videre nedover vassdraget etter full innblanding vil avhenge av lufttemperaturen. De største endringene i vanntemperaturen på grunn av varmepumpene forventes som nevnt på varme dager om sommeren med stor solinnstråling. Det blir da størst kjølebehov i bygningsmassen. Akerselva kommer fra Maridalsvannet, som naturlig nok er termisk tregere enn elva. På varme dager vil ellevannet på sin vei mot sjøen etterhvert få høyere temperatur, og sannsynligvis ennå ikke være i termisk likevekt med lufttemperaturen ved Nydalen, særlig dersom vannet fra Maridalsvannet fortsatt er ”kaldt” og lufttemperaturen er ”høy”.

Dersom ellevannet i utgangspunktet har en temperatur på $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$, vil utslippet ha en temperatur på inntil $21,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($15+6,5$), og elva etter full innblanding ha $17 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Inntaket til den nye sentralen blir plassert i en mindre dam/oppdemmet kulp ca 300 m ovenfor den varmesentralen som ble satt i drift i 2004 (se Fig. 1). Oppvarmet vann er planlagt sluppet tilbake til dammen rett før vannet renner over en betongterskel. Blandingssonen blir derfor i dammen, og i strykområdene rett nedenfor. Det er her relativt kraftig stryk med god innblanding, og full innblanding antas å skje på de første 50-100 m.

Vannet renner videre gjennom de sentrale delene av Nydalen og mottar så oppvarmet vann fra den gamle varmesentralen fra 2004, som kan gi en oppvarming på inntil $0,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Imidlertid forutsetter Avantor at de to sentralene samkjøres slik at summen av tilført varmemengde fra de to sentralene ikke skal føre til mer enn $2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ oppvarming av elva (etter full innblanding).

Når ellevannet varmes kunstig opp ved Nydalen vil dette redusere videre oppvarming, men på varme dager vil det fortsatt forventes en temperaturheving videre nedover vassdraget. Utfallet her vil avhenge av ¹vannføringen, ²vanntemperaturen i Akerselva før Nydalen og ³av lufttemperaturen. På varme dager er denne ”ekstra” temperaturhevingen angitt til $0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Kvambekk & Brabrand 2005), slik at vanntemperaturen ved utløp i fjorden slike dager da er vurdert å kunne bli inntil $25,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Det må nevnes at det på solrike og varme dager er en betydelig døgnvariasjon i vanntemperaturen. I målinger utført av Oslo vann- og avløpsetat (VAV) i 2012 er døgnvariasjonen inntil $1,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ gjennom døgnet ved Elvebakken, og med maksimal temperatur på ettermiddagen, når også kjølebehovet er størst.

I sum kan vanntemperaturen heves inntil $2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ i perioden mai til ut september etter full innblanding. For organsimer i elva vil det bety høyere sommertemperatur. Hvorvidt tilført varmtvann fra varmesentralene vil bety større døgnvariasjon er uklart, men det er ikke usannsynlig, siden kjølebehovet er størst på ettermiddagen.

Avantor Eiendom A/S opplyser at maksimal oppvarming (dvs. 2 °C) vil være fra kl. 14 til kl 20 på dagtid. Utenom denne tiden er kjølebehovet lavt fordi ventilasjonsanlegg i forretningsbyggene slår seg av kl. 18, men det regnes med en tidsforsinkelse på 2 timer.

VAV har de siste årene hatt to målestasjoner for vanntemperatur, en i utløpet av Mariadalsvannet og en ved Elvebakken langt ned i Akerselva, se Fig. 2.

Ved utløpet av Maridalsvannet var temperaturen i 2012 over 18 °C i perioden 6.7-28.8., med maksimaltemperatur på 19,8 °C 16.8.2012. I 2011 var vanntemperaturen ved utløpet av Maridalsvannet over 18 °C i perioden 30.6-18.8., og med en maksimumsemperatur på 22,2 °C 5.8.2011.

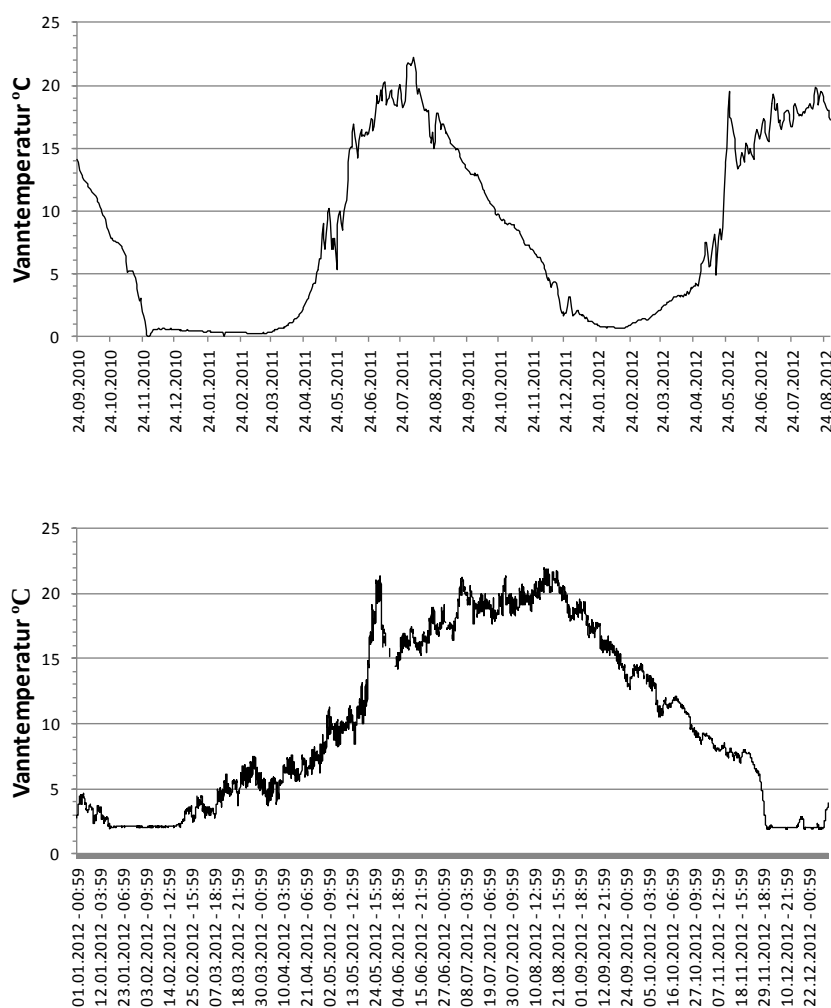


Fig. 2. Øverst: Vanntemperatur i Akerselva ved utløpet av Maridalsvannet i perioden 24.9.2010 – 24.8.2012 (døgnmiddel). **Nederst:** Vanntemperatur i Akerselva ved Elvebakken i perioden 1.1.-24.12.2012 målt annenhver time gjennom døgnet. Data: Oslo Vann- og avløpsetat (VAV).

På vinteren er sentralen dimensjonert for å utnytte varme fra elvevann fra september og så lenge utover høsten elvevannet er over 5 °C. Når elva blir kaldere kan den ikke nyttes til dette formålet. Det vil derfor kunne oppstå temperatursenking i elvevannet på høsten når det er behov for oppvarming og fram til elvevannet har nådd en temperatur på 5 °C. Ved en elvetemperatur på 5 °C og vannføring på 1,5 m³ s⁻¹ er temperatursenkingen beregnet til 0,16 °C, slik at elva etter full innblanding har en temperaur på 4,84 °C.

3. Virkning på fauna

Det bør fremheves to forhold når det gjelder virkning av tilført varmtvann på fauna.

- Øvre terskel for overlevelse, letaltemperaturen, dvs. temperatur som forårsaker akutt dødelighet
- Avvik fra optimaltemperaturen som kan endre vekst og livssyklus og derved over tid gi forskyvning mellom arter

I prinsippet vil kaldevannsarter (kaldstenoterme arter) bli berørt mest ved oppvarming av elvevannet fordi disse artene har lav optimaltemperatur og også en relativt lav øvre terskeltemperatur for å overleve. Dette vil gjelde både for bunndyr og fisk. Dette er arter som trives i kaldt vann og der høyere sommertemperatur lett øker avviket fra optimaltemperaturen. Men også for disse artene vil en heving av temperaturen være gunstig når vanntemperaturen i utgangspunktet er lavere enn optimaltemperaturen.

I Akerselva er det satt en periode fra 1. mai til 30. september med mulig forhøyet vanntemperatur, noe som også kan tenkes å øke vekstsesongens lengde. Sluttresultatet av dette på organismene er uoversiktlig, der ¹⁾ mulig letaltemperatur og ²⁾ om heving fører elvetemperaturen mot eller fra optimaltemperaturen selvsagt helt er avhengig av selve driften. For varmekjære arter med høy optimaltemperatur vil forhøyet sommertemperatur gi lengre perioder med vanntemperatur nærmere optimaltemperaturen.

Det bør anmerkes at tålegrense og temperatur for livskraftige bestander er to forskjellige ting. Dette vil kunne ytre seg ved at temperaturheving kan gi redusert bestandstetthet, fordi hevingen kan føre til at temperatur går fra å være en ikke-begrensende faktor til å bli en begrensende faktor.

Mange elvelevende organismer kan overleve ugunstige korte perioder ved å oppholde seg nede i bunnsubstratet (Power 1999). Dette vil gjelde mange grupper av bunndyr, edelkreps, elvemusling, men også fisk. Hypokloritt-utslippet i mars 2011 viste at til tross for stor dødelighet, var det likevel mange grupper som overlevde (Bækken 2011a, b, Saltveit m.fl. 2012b). Det er sannsynlig at nedgraving og opphold nede i elvebunnen og i bredden er årsaken til dette.

En viktig faktor her er innsig av grunnvann opp gjennom elvebunnen. Dette er sannsynlig at grunnvannsinnsiget i Akerselva er sterkt endret som følge av drenering og urban arealbruk. Mye av det vannet som opprinnelig har vært grunnvann tilføres nå trolig som overflatevann. Det er derfor sannsynlig at forholdene nede i bunnen for organismer som tidvis vil oppholde

seg i ”kaldt” grunnvann stedvis er sterkt redusert sammenliknet med elver som har mer naturlige nærområder.

3.1. Drivorganismer i varmesentralen

Det vil være drivorganismer som følger med driftsvannet som tas inn i varmesentralen (535 L s⁻¹ ved maksimal drift). Dette vil være yngre stadier av bunndyr og det vil være larver av elvemusling som på etter-sommeren slippes ut av mormuslingen og som skal feste seg på fisk. Ved en oppvarming av driftsvannet til 29 °C i ”noen” minutter (mens vannet er i og på vei ut av varmesentralen) må det regnes med stor eller total dødelighet av flere organismegrupper. Dette vil imidlertid være ekstremsituasjonen som oppstår når ellevannet i utgangspunktet har en temperatur på 22,4 °C.

Basert på skjønn vil dødeligheten for drivorganismer (bunndyr) som følger med driftsvannet være vesentlig redusert når driftsvannet varmes opp til 25 °C. Dette vil oppstå ved full drift når vanntemperaturen i elva før inntak er 18,5 °C (25-6,5).

Larver av elvemusling er periodevis en del av elvedrivet. Larver av elvemusling forlater mormuslingen tidlig høst og driver med ellevannet for å feste seg til en laksefisk. I Akerselva er dette ørret. I Oslo-området gyter muslingen normalt i andre halvdel av august (Rimstad 1986, Sandaas & Enerud 1996), men varierer med et par uker fra år til år. I Akerselva er elvemusling påvist mellom Maridalsvannet og Nydalen, mens larver er påvist på ørret så langt ned som nedenfor nedre Foss (Saltveit m.fl. 2012b). Mye tyder på at dette er larver som har drevet ned fra øvre del av elva.

Dødelighet av larver fra elvemusling i drivet pga. oppvarmet vann i varmesentralen vil avhenge av om sentralen er i drift når larvene driver, dvs. i siste halvdel av august, og hvilken temperatur inntaksvannet varmes opp til. Mye tyder på at larvene er følsomme for temperaturendringer (Young & Williams 1984), men dødelighet som følge av oppvarming av selve driftsvannet er vurdert å ikke bli en begrensende faktor for elvemusling i Akerselva.

3.2. Organismer i elva nedenfor utslippspunkt

Etter full innblanding vil som nevnt den maksimale temperaturhevingen være 2 °C, hvilket vil si at elvetemperaturen nedenfor varmesentralen kan komme opp i 24,5 °C i enkelte varme perioder. Det kan ikke utelukkes høyere temperaturer videre nedover vassdraget pga. ytterligere oppvarming på dager med sterk solinnstråling. Dette vil imidlertid være sjeldne hendelser.

For organismer i vann er vanntemperaturen av stor betydning. Når vanntemperaturen er lavere enn optimum vil høyere temperatur for de fleste enkeltorganismer føre til økt vekst etter formelen:

$$G = aT^b,$$

der G = vekst, T er temperatur og a og b er konstanter.

Ved høyere temperatur enn optimum vil veksten avta, og ved ytterligere økning vil maksimal tålegrense inntreffe. Dette er vel og merke et forløp for den enkelte art. For biologiske samfunn med mange arter vil endringer inntreffe selv med små endringer i temperaturen. Dette skjer fordi arter har forskjellig optimaltemperatur og små endringer derfor fører til at andre arter får konkurransemessige fordeler og dette vil gi endringer i faunasammensetningen.

3.2.1. Bunndyr

Bunndyrsamfunnet i Akerselva er i dag relativt variert og der insektlarver utgjør en vesentlig del. Vannkvaliteten er betydelig forbedret, og dette har ført til etablering av flere grupper nedover vassdraget som krever god vannkvalitet. Indekser (ASPT og EPT) som beskriver bunndyrsamfunnet viser at det har skjedd vesentlige forbedringer siden 1970-tallet (Saltveit m.fl. 2012a). Dette skyldes sanering av tilførsler og nedleggelse av industri, noe som samlet sett har ført til bedre vannkvalitet.

Det er imidlertid fortsatt redusert bunndyrsamfunn fra stasjon kalt AKR 3 (Badebakken nedenfor Nydalen), med en viss forbedring i den nedre delen av vassdraget (Saltveit m.fl. 2012a), og nedgangen som er markert på AKR3 er vanskelig å forklare uten videre. Dette kan dreie det seg om diffuse utslipp, men andre forhold som temperatur fra nedlagt varmesentral i 2008 og ny sentral fra 2004 kan ikke utelukkes.

En temperaturheving på inntil 2 °C uavhengig av hvilken vanntemperatur det er i elva i utgangspunktet må angis som relativt mye. Dette vil selvsagt avhenge av temperaturhevingen (varighet og antall grader). Denne temperaturhevingen forventes på sikt å endre på mengdeforholdet mellom arter innen bunndyrsamfunnet fra utslippspunktet og nedover, men det forventes ikke at arter blir borte.

3.2.2. Kreps

Edelkreps finnes med relativt bra bestand fra Maridalsvannet og ned til Badebakken (nedenfor Nydalen), mens det videre nedover mot anadrom strekning er sparsom bestand (Bækken 2011a, b, Saltveit m. fl. 2012b).

Edelkreps viser ifølge Kivivuori (1980) unnvikelsesreaksjoner ved vanntemperatur på 23 °C. Dette er ikke det samme som tålegrensen, men det må angis som sannsynlig at temperaturer høyere enn 22 °C fører til dårligere forhold for edelkreps. På den annen side vil økt vanntemperatur bedre forhold for edelkreps når vanntemperaturen i utgangspunktet er lavere enn optimal temperaturen for edelkreps. I Souty-Grosset m.fl. (2006) angis optimaltemperatur for vekst i intervallet 16-24 °C og med overlevelse med kortvarig opphold i vann på 28 °C. Kivivuori (1980) angir 19,2 °C som kritisk temperatur på våren og 26,0 °C på høsten.

Det konkluderes med at perioder med maksimal vanntemperatur på 24,5 °C ikke fører til målbare negative konsekvenser for edelkreps. Perioder med forhøyet vanntemperatur opp mot 22 °C vil trolig føre til bedre forhold for edelkreps.

3.2.3. Elvemusling

Elvemusling er som nevnt til stede i Akerselva mellom Maridalsvannet og ned til Ring 3 med spredt forekomst. Tilstedeværelsen skyldes høyst sannsynlig utsetting av ørret som har vært infisert med muslinglarver. Så langt er det ikke funnet elvemusling nedenfor Ring 3. Siden vertsfisken ørret er infisert med glochidielarver (Saltveit m. fl. 2012a), kan det konkluderes med at elvemuslingen i Akerselva er kjønnsmoden. Det er funnet ørret med larver på hele elvestrekningen ned til og med anadrom strekning, dvs. i deler av elva der det ikke er påvist elvemusling. Det er et potensiale for at elvemusling vil etablere seg videre nedover elva, men det kan ikke uten videre forklares hvorfor det ikke har skjedd allerede.

Spennet i temperaturtoleranse hos elvemusling er ifølge Jungbluth & Lehmann (1976) fra -0,4 til 25,6 °C, men at temperaturer opp til 28 °C i kortere tid (10-20 min) kan tåles. Det er derfor ikke grunnlag for å angi negative konsekvenser for elvemusling som måtte etablere seg nedenfor Nydalen som følge av periodevis maksimumstemperaturer på 24,5 °C.

Siden elvemusling i første del av livssyklus har et obligatorisk parasitt-stadium på ørret, vil temperaturvirkning på ørretbestanden har indirekte effekt på elvemuslingens reproduksjon.

3.2.4. Fisk

For fisk vil endret vanntemperatur ha betydning for fiskens veksthastighet og utviklingstid for rogn. I tillegg er det tålegrenser for både øvre og nedre temperaturer. Siden arter resonderer forskjellig på temperatur, vil endret temperatur kunne berøre konkurranseforholdet mellom fiskearter, og det er spesielt yngre stadier av fisk som er følsomme for endringer i temperatur.

Fiskesamfunnet i Akerselva nedenfor Nydalen har faste bestander av laks, ørret og ørekyte, mens mort, abbor og gjedde bare treffes sporadisk på typiske elvelokaliteter. Anadrom strekning er opp til Nedre Foss, og det påvises her gyting hos både laks og sjørørret. Ovenfor anadrom strekning settes det ut både laks og ørret, og ørret har i tillegg til utsettingene også naturlig rekruttering. Utsetting av laks ovenfor lakseførende strekning vil derfor benytte strekningen ovenfor Nedre Foss til produksjon av laksesmolt.

Tetthet av laks og ørretunger (årsunger 0+ og eldre) høsten 2012 er vist i Fig. 3, der det fremkommer en fordeling nedover vassdraget som viser samme mønster som for bunndyr. Uten at det kan forklares er det ofte redusert tetthet eller fravær av laksefisk på AKR3 (Badebakken). I likhet med for bunndyr kan dette være diffuse utslipp, men forhøyet vanntemperatur fra varmesentral nedlagt i 2008 og ny sentral fra 2004 kan ikke utelukkes.

Mens laks og ørret er kaldtvannsarter, er ørekyte, mort, abbor og gjedde regnet som varmekjære arter, dvs. med høyere temperatur for optimal vekst og en høyere tålt maksimaltemperatur. En temperaturheving vil derfor gi en ulik respons.

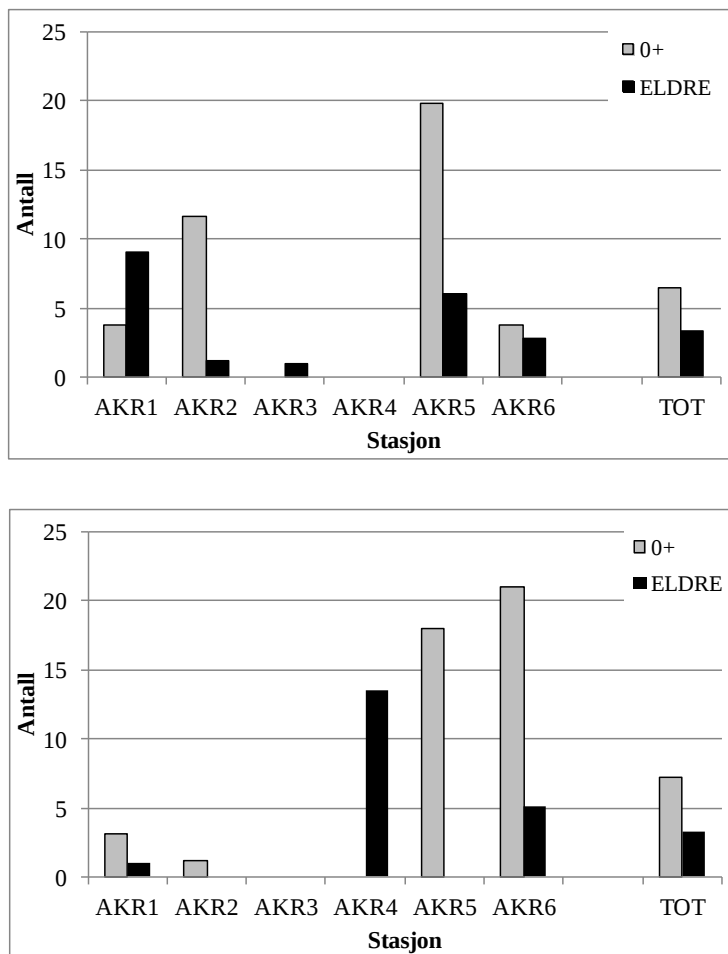


Fig. 3. Beregnet tetthet (antall pr. 100m²) av 0+ og eldre laksunger (øverst) og ørret (nederst) på ulike stasjoner i Akerselva 2012 (fra Saltveit m.fl. 2012b).

3.2.5. Eggutvikling

For alle fiskearter vil eggutviklingen skje raskere ved økende temperatur etter formelen (Crisp 1988):

$$Y = aT^b,$$

der Y er utviklingstid, T er temperatur og a og b er konstanter.

En temperaturheving om sommeren/høsten vil ikke berøre laks og ørret, da disse gyter senhøstes med eggutvikling gjennom vinteren.

For ørekyt, mort, abbor og gjedde vil en temperaturheving innbære raskere eggutvikling. Imidlertid er disse artene vårgytere og det er ikke sannsynlig at varmesentralen vil influere vesentlig på elvetemperaturen når disse artene gyter (mai-juni).

3.2.6. Varmekrevende arter

En temperaturheving på ettersommeren vil gi vekstøkning når temperaturen i utgangspunktet er lavere enn optimaltemperaturen for vekst.

For ørekyt, abbor, mort og gjedde vil optimumstemperaturen være høyere enn 24,5 °C, og for disse artene vil en temperaturheving opp til 24,5 °C trolig gi økt vekst. For disse artene er det vanskelig å se for seg negative følger som følge av en temperaturheving på inntil 2 °C og med en maksimaltemperatur på 24,5 °C. For de fleste populasjonsparametre vil optimaltemperaturen for disse artene ligge høyere enn dette.

3.2.7. Kaldtvannsarter: laks og ørret

For laks er det beregnet en maksimal vekst ved 18,5 °C (Forseth m.fl. 2001), mens Elliot & Hurley (1997) angir 15,9 °C som optimaltemperatur. For ørret angis 13 °C (Elliott (1975a, b, Elliott 1994)). For begge arter har de forskjellige stadiene i laksens og ørretens liv i ferskvann også forskjellige temperaturkrav (Jensen m.fl. 1989, Jonsson & Jonsson 2011). Publiserte arbeider har også hatt ulik tilnærming for å måle temperaturrespons, der rask og langsom heving av temperatur gir ulik terskelverdi, og der fisk under laboratorieforhold med tilstrekkelig næring vil ha annen respons enn fisk i naturlig elv (Elliott & Elliott 1995).

Letaltemperaturen er imidlertid ikke en fast temperatur, men har å gjøre både med fiskens stadium og med eksponeringstiden. Den begynnende letaltemperaturen for laks er av Jonsson & Jonsson 2009b) angitt til 27,8 °C, mens den for ørret er 24,7 °C. For ørret opphører veksten når temperaturen blir 23 °C (Forseth 2009).

Hovedtrekkene er at laksunger har vekst over et større temperaturintervall enn ørret. Laks har unnvikelsesreaksjoner når vanntemperaturen blir høyere enn 22 °C (Crisp 1993), og med en øvre tålegrense på 25-28 °C. For ørret angir Elliott & Elliott (2010) 20-22 °C som øvre tålegrense. Det må antas at unnvikelsesreaksjoner for ørret observeres ved noe lavere temperatur enn dette.

Sammenhengen mellom sommertemperatur og tetthet av ørret er vist i Fig. 3, der nedgang i tetthet for 10 undersøkte elver er en konsekvens av at ørret får suboptimale vekstforhold ved høy gjennomsnittlig sommertemperatur og tilslutt opplever øvre tålegrense (letaltemperatur) som i dette arbeidet angis til 25 °C (Lessard & Hayard 2003). Nedgangen i tetthet forårsakes både av konkurranse fra andre arter og at dødeligheten trolig øker.

Det må her presiseres at materialet i Fig. 3 omfatter elver med forskjellig gjennomsnittlig sommertemperatur. For Akerselva vil det dreie seg om økning i temperaturen i enkelte perioder, og som for bunndyr vil det her være et spørsmål om varighet av perioden(e) og hvilken vanntemperatur elva har i utgangspunktet.

Men en heving på 2 °C til 24,5 °C i de perioder elva i utgangspunktet har 22,5 °C må angis som mye og vil ligge nær terskeltemperaturen (dødelighet) for spesielt ørret. På den annen side vil temperaturøkning i de periodene temperaturen er lavere enn optimal temperaturen gi økt vekst, og dette vil være når temperaturen er lavere enn 13 °C for ørret og 15,9 °C for laks. Men det er lite sannsynlig at det er behov for kjøling når vanntemperaturen i elva er 13 °C hhv. 15,9 °C. Siden sesongen med forhøyet temperatur ikke øker i lengde, og varmt vann

tilføres elva når temperaturen i elva som oftest allerede er høyere enn optimaltemperaturen, er det sannsynlig at spesielt ørret totalt sett får redusert tetthet og vekst.

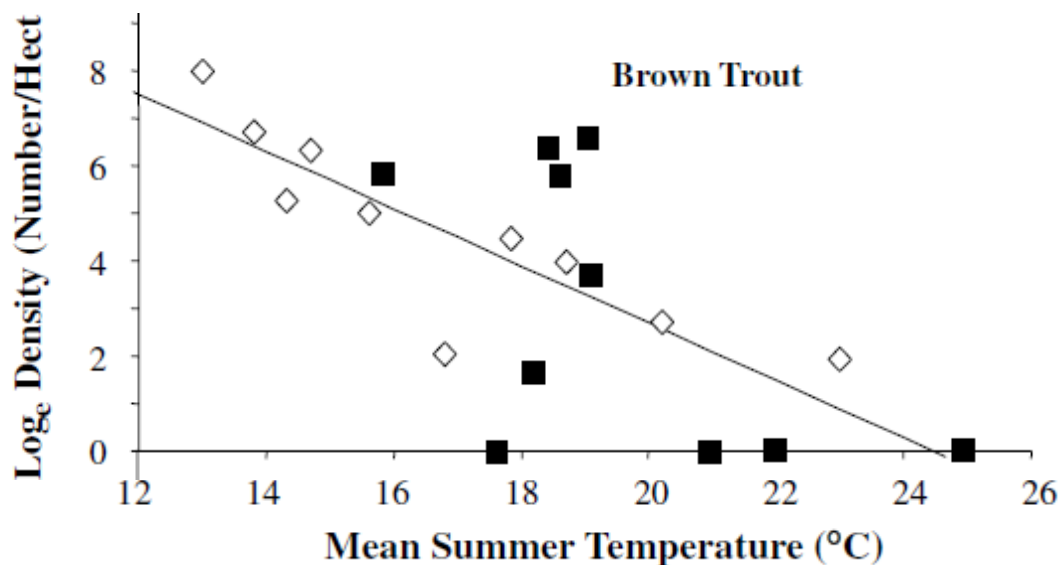


Fig. 2. Sammenheng mellom tetthet av ørret ($\log_e$ transformert) og gjennomsnittlig sommertemperatur i 10 undersøkte elver (Lessard & Hayard 2003). Åpne og fylte symboler angir hhv. øvre og nedre del av vassdragene.

I tillegg er den generelle vannkvaliteten i Akerselva periodevis en stressfaktor for flere organismegrupper. Det finnes trolig fortsatt diffus tilsig som lekker inn i elva både i form av feilkoblinger, overflateavrenning og fra sedimentert industriavfall som ligger i elvebunnen. Dette fører sannsynligvis til økt følsomhet når temperaturen øker, spesielt hos ørret.

4. Konklusjon

Det oppgis fra Avantor at behov for kjølevann fra Akerselva er fra mai til september, men at dette vil variere fra år til år. Kjøling av bygningsmassen som medfører temperaturheving av elva vil merkes ved uteluft fra ca. 18 °C og nå maksimal påvirkning ved 26 °C uteluft. Ved minstevannføring i elva antar Avantor at det vil bli merkbar påvirkning allerede ved uteluft ved 16 °C. Avantor har satt som utgangspunkt at dette betyr påvirkning av elvetemperaturen fra 1. mai til 30. september.

Avantor har beregnet en maksimal temperaturheving i elva på 2 °C etter full innblanding fra den nå planlagte varmesentralen og fra varmesentralen fra 2004 tilsammen. Dette vil inntreffe ved maksimal kjøling og når vannføringen i Akerselva vil være lik minstevannføringen på $1,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Ved høyere vannføring enn minstevannføringen vil temperaturhevingen bli mindre enn 2 °C. Avantor har satt øvre terskel til 24,5 °C og opplyser som tidligere nevnt at maksimal oppvarming vil være fra kl. 14 til kl 20 på dagtid. Utenom

denne tidsperioden vil temperaturøkningen være fra 2 °C kl. 20 til 0,5 °C kl. 05 og det samme opp igjen til kl. 14. Dette er ut fra forventet kjølebehov.

For organismer i elva vil temperaturheving være knyttet til to forhold:

- Øvre terskel for overlevelse, dvs. tålegrense
- Avvik fra optimaltemperaturen som kan endre vekst og livssyklus

I prinsippet vil kaldtvannsarter (kaldstenotherme arter) bli berørt mest ved oppvarming av elvevannet fordi disse artene har lav optimaltemperatur og også en relativt lav øvre terskeltemperatur. Dette vil gjelde både for bunndyr og fisk. Dette er arter som trives i kaldt vann og der høyere sommertemperatur lett øker avviket fra optimaltemperaturen. For disse artene vil imidlertid en heving av temperaturen være gunstig når vanntemperaturen i utgangspunktet er lavere enn optimaltemperaturen.

I første del av sommerperioden, anslått til mai og første del av juni, vil elvetemperaturen være lavere enn 13 °C. Dette er lavere enn optimaltemperaturen for vekst for mange arter, inkludert ørret (13 °C) og laks (16 °C). En forhøyet elvetemperatur i denne perioden vil gi en temperatur som er nærmere optimaltemperaturen, og økt vekst er antatt resultat. Driften av varmesentralen i mai og første del av juni antas imidlertid å være beskjeden fordi det ikke vil være kjølebehov før uteluften blir 16-18 °C. Det antas derfor at hevingen av elvetemperaturen nærmere optimaltemperaturen for laks og ørret i denne perioden vil være marginal.

Når elvetemperaturen passerer optimaltemperaturen vil en forhøyet elvetemperatur føre til større avvik fra optimaltemperaturen, og derved redusert vekst. I 2011 var temperaturen ved utløpet av Maridalsvannet over 18 °C i perioden 30. juni til 16. august, med maksimumstemperatur 5. august på 22,2 °C. Da er også kjølebehovet størst. Når elvetemperaturen nærmer seg 20-22 °C vil unnvikelsesreaksjoner inntreffe hos laks og ørret, før tålegrensen inntreffer, for laks 27-28 °C og for ørret 24,7 °C.

Basert på disse betraktningene og på litteratur når det gjelder temperaturrespons hos ørret og laks antas vekstreduksjon og lavere tetthet å bli sluttresultatet, fordi kjølebehovet er størst når elvetemperaturen allerede har passert optimaltemperaturen. En økning på inntil 2 °C vil, når maksimaltemperaturen i utgangspunktet er 22,5 °C, gi en elvetemperatur på 24,5 °C som er i nærheten av tåletemperaturen for ørret. Utover redusert vekst og lavere tetthet vil mulig dødelighet være en tilleggseffekt på ørret. Hvor ofte dette vil inntreffe er selvsagt væravhengig, og virkning på bestandene vil også avhenge av om det finnes overlevelsesområder med lavere temperatur (grunnvannssig).

I Tabell 1 er satt opp antatte virkninger av en forhøyet vanntemperatur på inntil 2 °C i Akerselva ved Nydalen.

Tabell 1. Antatt virkning av forhøyet vanntemperatur i Akerselva ved Nydalen på 2 °C til en maksimaltemperatur på 24,5 °C etter full innblanding.

Gruppe	Antatt virkning basert på litteratur
Bunndyr	Endret mengdeforhold mellom arter, ingen arter utryddes
Elvemusling	Ingen sannsynlige konsekvenser på etablert bestand, men på rekruttering via effekt på ørret
Kreps	Uforandret eller bedre forhold
Ørekyte, mort, abbor, gjedde	Bedre vekstforhold og økte bestander
Laks (utsatt ovenfor nedre Foss, naturlig nedenfor)	Maksimaltemperaturen gir unnvikelsesreaksjoner for laksunger. Trolig redusert bestand og mindre smoltproduksjon
Ørret (utsatt og naturlig bestand)	Maksimaltemperaturen er nær tålegrensen for ørret. Trolig redusert vekst og redusert bestand. Konsekvens på ørret av betydning for elvemusling

5. Litteratur

- Bækken, T., Rustadbakken, A., Schneider, S., Edvardsen, H., Eriksen, T. E., Sandaas, K., & Billing, H. 2011b. Virkninger av utslippet av natriumhypokloritt på økosystemet i Akerselva. NIVA 6240-2011. 69s.
- Allan JD. 1995. *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters*. Chapman and Hall: London.
- Bjerkeng, B. & Jonsson, B. 2006. Vurdering ad tekniske og miljømessige forhold vedr. Inntak og utslipp ad kjølevann ved Akerselvas nedre del. Norsk institutt for vannforskning. Rapport O-26227, 29 s
- Bækken, T., Rustadbakken, A. & Eriksen, T. E. 2011a. Biologiske effekter ved utslipp av natriumhypokloritt til Akerselva. Statusrapport etter befaring 7. mars 2011. NIVA. 6136. 12s + Vedlegg
- Crisp, D.T. 1981. A desk study of the relationship between temperature and hatching time of the eggs of five species of salmonid fishes. *Freshwater Biology*, 11: 361-368.
- Crisp, D. T. 1988. Prediction, from temperature, of eyeing, hatching and "swim-up" times for salmonid embryos. *Freshwater Biology*, 19: 41-48.
- Elliott, J. M. 1975a. The growth rate of brown trout (*Salmo trutta* L.) fed on maximum rations. *Journal of Animal Ecology*, 44: 805-821. 45
- Elliott, J.M. 1975b. The growth rate of brown trout (*Salmo trutta* L.) fed on reduced rations. *Journal of Animal Ecology*, 44: 823-842.
- Elliott, J. M. 1991. Tolerance and resistance to thermal stress in juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Freshwater Biology*, 25, 61–70.
- Elliot J.M. 1994. *Quantitative Ecology and the Brown Trout*. Oxford University Press: New York.

- Elliott, J.M. & J.A. Elliott, 1995. The effect of the rate of temperature increase on the critical thermal maximum for parr of Atlantic salmon and brown trout. *Journal of Fish Biology*, 47:917-919.
- Elliott, J. M. & J. A. Elliott (2010). Temperature requirements of Atlantic salmon *Salmo salar*, brown trout *Salmo trutta* and Arctic charr *Salvelinus alpinus*: predicting the effects of climate change. *Journal of Fish Biology*, 77(8): 1793-1817.
- Elliott J.M. & Hurley M.A. 1997. A functional model for maximum growth of Atlanticsalmon parr, *Salmo salar*, from two populations in northwest England. *Functional Ecology*, 11, 592–603.
- Forseth, T., Hurley, M.A., Jensen, A.J. & Elliott, J.M. 2001. Functional models for growth and food consumption of Atlantic salmon parr, *Salmo salar*, from a Norwegian river. *Freshwater Biology* 46: 173-186
- Forseth, T., Larsson, S., Jensen, A.J. Jonsson, B. Näslund, I. & Berglund, I. 2009. Thermal performance of juvenile brown trout, *Salmo trutta*, L.; no support for thermal adaptation hypotheses. *Journal of Fish Biology* 75, 133-149. Doi:10.1111/j.1095-8946.02119.
- Jensen, A.J., Johnsen, B.O. & Saksgard, L. 1989. Temperature requirements in Atlantic salmon (*Salmo salar*), brown trout (*Salmo trutta*), and Arctic char (*Salvelinus alpinus*) from hatching to initial feeding compared with geographic distribution. *Canadian Journal of Fish Aquatic Sciences*, 46:786-789.
- Jonsson, B. & Jonsson, N. 2011. *Ecology of Atlantic salmon and brown trout*, Springer, Dordrecht, 708 pp.
- Jungbluth J. H. & Lehmann G. 1976. Untersuchungen zur Verbreitung, Morphologie und Ökologie der *Margaritifera* - Populationen an den atypischen Standorten des jungtertiären Basaltes im Vogelsberg/ Oberhessen. (Mollusca: Bivalvia). *Archiv für Hydrobiologie* 78: 165-212.
- Klemetsen, A. & Amundsen, P. A. 2003. Atlantic salmon *Salmo salar* L., brown trout *Salmo trutta* L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.): a review of aspects of their life histories. *Ecology of Freshwater Fish* 12(1): 1-59.
- Kivivuori, L. 1980. Effects of temperature and temperature acclimation on the motor and neural functions in the crayfish *Astacus astacus* L. *Comparative Biochemistry and Physiology* 65A, 297–304.
- Kvambekk, Å.S. & Brabrand, Å. 2004. Bruk ad Akerselva til oppvarming/nedkjøling ad Avantors bygningsmasser I Nydalen. NVE-rapport nr. 5-2005, 15 s
- Lessard, J.L. & Hayes, D.B. 2003. Effects of elevated water temperature on fish and macroinvertebrate communities below small dams. *River Research and Applications*. (www.interscience.wiley.com). DOI: 10.1002/rra.713
- Power, G., Brown, R.S., Imhof, J.G., 1999. Groundwater and fish - insights from northern North America. *Hydrological Proc.* 13, 401-422.
- Rimstad, E. 1986. Dødelighet hos ørretyngel etter infeksjon med glochidier. - *Norsk Veterinærtidsskrift* 98: 889-890.
- Saltveit, S.J., Brittain, J.E., Bremnes, T. & Brabrand, Å. 2012a. Langtidsutvikling av økologisk tilstand i vassdrag i Oslo basert på bunndyr og fisk, med vurdering av effekten på laks av klorutslippet i Akerselva våren 2011. *Vann 03 2012*, 371- 385
- Saltveit, S.J., Brabrand, Å., Bremnes, T. & Pavels, H. 2012b. Tilstand for bunndyr, fisk, edelkreps og elvemusling i Akerselva etter utslipp av hypokloritt. Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo, Rapport nr. 22, 43s + vedlegg.

- Sandaas, K. & Enerud, J. 1996c. Elvemusling *Margaritifera margaritifera* i Sørkedalselva, Oslo kommune 1995. Utbredelse og bestandsstatus-. Oslo kommune, Etat for miljørettet helsevern, næringsmiddeltilsyn. Rapport 1996-32. 20 s.
- Souty-Grosset, C., Holdich, D.M., Noël, P. Y., Reynolds, J. D. & Haffner, P. (eds.) 2006. *Atlas of freshwater crayfish in Europe*. Museum national d'Histoire naturelle, Paris, 187 p.
- Young, M. & Williams, J. 1984. The reproductive biology of the freshwater mussel *Margaritifera margaritifera* (Linn.) in Scotland. II. Laboratory studies. *Archiv für Hydrobiologie*, 100: 29-43.