

Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5817 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Midt-Norge

Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 73 54 63 85 / 86
Telefax (47) 54 63 87

Tittel Vurdering av tekniske og miljømessige forhold vedr. inntak og utslipp av kjølevann ved Akerselvas nedre del.	Løpenr. (for bestilling) 5284-2006	Dato 23.10.2006
	Prosjektnr. Undernr. O-26227	Sider Pris 29
Forfatter(e) Birger Bjerkeng Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Bror Jonsson Norsk institutt for naturforskning (NINA)	Fagområde Oseanografi	Distribusjon
	Geografisk område Oslo	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Viken Fjernvarme AS, Pb 7034 St. Olavs plass, 0130 Oslo, v/ Øyvind Nilsen	Oppdragsreferanse Innkj.ordrenr: 75635
---	---

<p>Sammendrag</p> <p>Viken Fjernvarme AS (VF) har planer om å bygge et anlegg for produksjon av fjernvarme og fjernkjøling i området sør for Bjørvika. I påvente av ferdigstilling av dette anlegget må det bygges en provisorisk kjølesentral for første byggetrinn i Bjørvika. VF ønsker å finne en midlertidig løsning hvor man bruker vann fra Akerselvas nederste del, men samtidig unngår uheldig termisk påvirkning av resipienten og eventuelle negative konsekvenser for fisk i elva.</p> <p>På oppdrag for VF har Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA) i samarbeid med Norsk Institutt for Naturforskning (NINA) vurdert tre utslippssteder: 1. I elveløpet før utløpet i Bjørvika, 2. Rett utenfor elveløpet, dvs. sør for enden av Bjørvikautstikkeren, 3. I området sør for Sørengautstikkeren.</p> <p>Ut fra en vurdering av fysiske forhold og forventet virkning på fisk i elva og planktonproduksjon i havneområdet er det konkludert med at utslipp i elveløpet kan aksepteres ved utbygging til 25 % av full kapasitet. Ved full utbygging bør kjølevannet ikke slippes i elva. Ved videre utbygging ut over 25 % av full kapasitet anbefales utslipp i havneområdet ca. 100 m sørvest for Bjørvikautstikkeren med utslipp på 5-8 m dyp. Hvis ledningen ligger 1-2 m over bunn, betyr det at den kan plasseres i et område med bunn dyp 6-10 m. Utslipet bør fordeles på flere hull med effektiv og rask fortynning.</p>

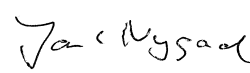
<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kjølevann 2. Fiskevandring 3. Oslofjorden 4. Akerselva 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Cooling water 2. Fish migration 3. Oslofjord 4. Akerselva
---	--



Birger Bjerkeng
Prosjektleder



Dominique Durand
Forskningsleder



Jarle Nygard
Fag- og markedsdirektør

O-26227

**Vurdering av tekniske og miljømessige forhold
vedr. inntak og utslipp av kjølevann
ved Akerselvas nedre del**

Forord

På oppdrag fra Viken Fjernvarme AS har Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA) i samarbeid med Norsk Institutt for Naturforskning (NINA) foretatt en miljømessig vurdering av å bruke vann fra Akerselvas utløp i Bjørvika som kjølekilde til en midlertidig kjølesentral for et planlagt fjernkjøleanlegg i Bjørvika. Denne rapporten inneholder en slik vurdering og er sluttleveranse fra prosjektet. Den omfatter både fysiske forhold og biologiske konsekvenser på vannkvalitet i området og på fiskevandring i elva.

Utredningen av fysiske og kjemiske forhold og konsekvenser for vannkvalitet er gjennomført av NIVA ved Birger Bjerkeng. Jarle Molvær har deltatt i møter og bidratt i diskusjon av problemstillingen, og har også kvalitetssikret rapporten. Bror Jonsson ved NINA har vurdert virkning på fisk i Akerselva.

Oslo, 23/10-2006

Birger Bjerkeng

Innhold

Sammendrag	5
1. Bakgrunn og formål	7
2. Tekniske spesifikasjoner - kjølebehov og utforming av inntak og utslipp	7
3. Beskrivelse av området	9
4. Datagrunnlag	9
4.1 Data for vannføring og kvalitet i Akerselva	10
4.1.1 Vannføring	10
4.1.2 Temperatur i Akerselva	12
4.1.3 Vannkvalitet i Akerselva – innhold av næringsstoffer for algevekst	13
4.2 Lagdeling og strøm i Akerselva nedenfor planlagt inntakssted	14
4.3 Data fra Oslo havn	14
4.3.1 Lagdeling i temperatur og saltholdighet	15
4.3.2 Næringsalter	16
5. Vurdering av alternative utslippssteder for oppvarmet kjølevann	18
5.1 Betydning av varierende saltholdighet i inntaksvannet	18
5.2 Utslipp i elveløpet før utløpet i Bjørvika	19
5.3 Rett utenfor elveløpet, dvs. sør for enden av Bjørvikautstikkeren	20
5.4 Utslipp til området sør for Sørengautstikkeren, med mulighet for større utslippsdyp.	21
6. Konsekvenser for laks og ørret	22
6.1 Ungfisk	22
6.2 Smoltutvandring	22
6.3 Oppvandring	23
6.4 Konklusjon	24
7. Sammenfatning med anbefaling	25
8. Litteratur	26
Vedlegg A. Tidligere målinger av lagdeling og strøm i nedre del av Akerselvas løp	27
Vedlegg B. Betydningen av varmeutveksling med atmosfæren	28

Sammendrag

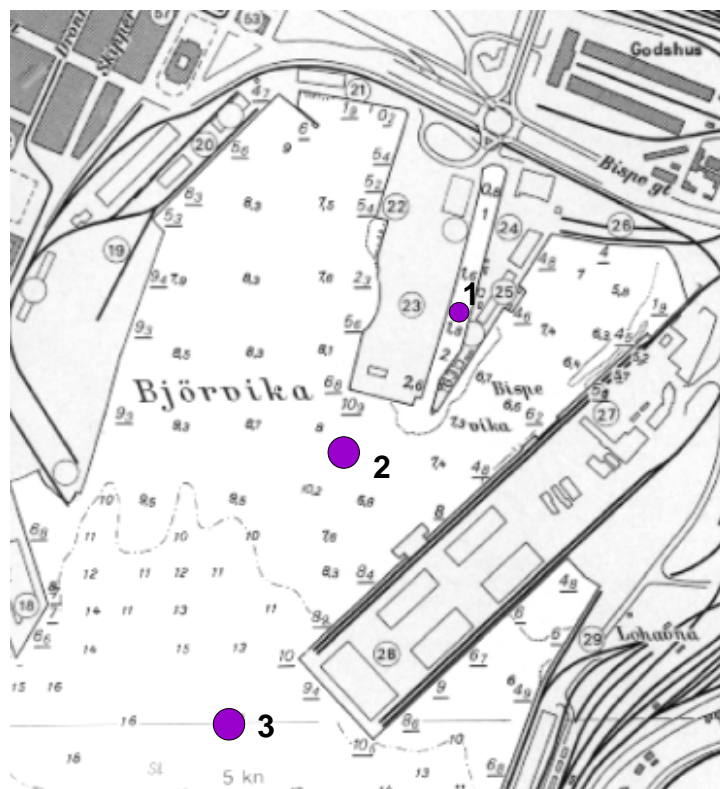
Planlagt anlegg. Viken Fjernvarme AS (VF) har planer om å bygge et anlegg for produksjon av fjernvarme og fjernkjøling i området sør for Bjørvika. Anlegget skal etter planen stå ferdig tidligst i 2010. I påvente av ferdigstilling av dette anlegget må det bygges en provisorisk kjølesentral for første byggetrinn i Bjørvika på OSU-tomta (B10-B13 i reguleringsplanen), som bygges ut av Oslo S Utvikling. VF ønsker å finne en midlertidig løsning hvor man bruker vann fra Akerselvas nederste del, men samtidig unngår uheldig termisk påvirkning av resipienten og eventuelle negative konsekvenser for vannmiljø samt fisken i elva.

På oppdrag for VF har Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA) i samarbeid med Norsk Institutt for Naturforskning (NINA) gjort en utredning med formål å finne løsninger mht. plassering av utslipp av kjølevann som sikrer at virkning på vannmiljøet holdes på et akseptabelt nivå og at vandringen av fisk opp og ned Akerselva ikke påvirkes.

Dimensjonerende vanninntak (varmeste dag) er satt til $0.36 \text{ m}^3/\text{s}$, som tilsvarer en energitilførsel på ca. 15 MW ved oppvarming med $10 \text{ }^\circ\text{C}$, med lavere effekt vår og høst. Utbyggingen er planlagt å skje etappevis, slik at effektbehovet til kjøling sommeren 2007 og 2008 vil være ca. 25 % av det som gjelder ved full utbygging.

Tre utslippssteder vurdert

1. I elveløpet før utløpet i Bjørvika
2. Rett utenfor elveløpet, dvs. sør for enden av Bjørvikautstikkeren
3. I området sør for Sørengautstikkeren.



Virksomheter ved utslippssted 1. Pga. varierende vannstand og lagdeling i nedre del av elveløpet må en regne med at vanninntaket i perioder vil trekke vann fra saltkilen som ligger under det utstrømmende ferskvannet. Ved utslipp i nedre del av elveløpet er det viktig å unngå resirkulering i slike tilfeller ved å sørge for utslipp nær overflaten gjennom flere turbulente stråler som sikrer at vannet fortynnes godt med ferskvann før det synker ned mot saltkilen. Under disse forutsetningene vil et utslipp i elveløpet ved full utbygging av kjøleanlegget kunne gi en temperaturøkning i nedre del av elveløpet på 2.5 til 3.5 °C. Dette vil kunne redusere produksjonen av unger av laks og ørret nedenfor utslippsstedet. Ved 25 % utbygging av kjølekapasitet vil et utslipp i elva gi temperaturøkning innenfor 0.8 °C, og det ventes ikke å gi slike effekter på fisk. Andre effekter ventes å bli små og på akseptabelt nivå uansett utbyggingsgrad.

Utslipp i overflatelaget i elveløpet (utslippssted 1 i Figur 15) med rask fortykning kan aksepteres ved utbygging til 25 % av full kapasitet, da dette ikke vil gi negative effekter verken for fisk eller vannmiljø. Ved full utbygging bør kjølevannet ikke slippes i elva.

Virksomheter ved utslippssted 2. Ved å legge utslippet på 5-8 m dyp i havneområdet utenfor elveutløpet vil en utnytte den naturlige lagdelingen i fjorden slik at kjølevannet stiger opp og fortynnes med kaldere vann. På den måten motvirkes temperatureffekten av oppvarmingen av kjølevannet, og ved å fordele utslippet på anslagsvis 10 utslippsstråler vil netto temperaturøkning i nærsone holdes innenfor 0.6 °C og langt lavere enn dette i havneområdet som helhet. Ved ikke å gå dypere enn 5-8 m unngås samtidig uønsket transport av næringstoffer for algevekst opp mot overflatelaget. Temperaturendring pga. et slikt utslipp antas å ha marginal eller ingen virkning på fisk, selv ved full utbygging av anlegget. Det anses tilstrekkelig å trekke utslippet ca. 100 m sørvest for Bjørvikautstikkeren (utslippssted 2 i figuren over).

Utslipp ved utslippssted 2 vil ikke gi negative effekter verken for fisk eller vannmiljø. Dette gjelder også ved full utbygging.

Virksomheter ved utslippssted 3. Utslipp lenger sør, ut for enden av Sørengautstikkeren (utslippssted 3 i Figur 15) muliggjør større utslippsdyp, men det anbefales ikke å gå dypere enn 5-8 m, fordi det ville gi risiko for forsterkning av planktonproduksjon pga. tilførsler av næringssalter opp mot overflatelaget i fortykningsvann som rives med oppover når utslippsstrålen stiger opp og fortynnes.

Konklusjon. *Kjølevann fra inntil 25 % av full kapasitet kan slippes ut ved utslippssted 1 eller 2 uten å ha uheldige virkninger på vannmiljø (fysiske og biologiske effekter) eller fisk. Ved videre utbygging ut over 25 % av full kapasitet anbefales utslipp i havneområdet ca. 100 m sørvest for Bjørvikautstikkeren med dykket utslipp på 5-8 m dyp. Dette vil ikke gi uheldige virkninger for vannmiljø eller fisk. Hvis ledningen ligger 1-2 m over bunn, betyr det at den kan plasseres i et område med bunndyp 6-10 m ved utslippssted 2. Utslippet bør fordeles på flere hull.*

1. Bakgrunn og formål

Viken Fjernvarme AS (VF) har planer om å bygge et anlegg for produksjon av fjernvarme og fjernkjøling i området sør for Bjørvika. Endelig lokalisering av dette anlegget er ikke fastlagt, men et aktuelt sted er Sjursøya. Fjernvarmen skal kobles til Viken Fjernvarmes hovednett i Oslo, mens fjernkjøleanlegget skal betjene Bjørvikaområdet. Anlegget skal etter planen stå ferdig tidligst i 2010. I påvente av ferdigstilling av dette anlegget må det bygges en provisorisk kjølesentral for første byggetrinn i Bjørvika, OSU-tomta (B10-B13 i reguleringsplanen), som bygges ut av Oslo S Utvikling.

VF ønsker å finne en midlertidig løsning med minimale miljøkonsekvenser som samtidig innfrir funksjonelle og økonomiske krav. Man søker derfor etter en løsning hvor man bruker vann fra Akerselvas nederste del, men samtidig unngår uheldig termisk påvirkning av resipienten og eventuelle negative konsekvenser for fisken i elva.

VF har bedt Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA) utarbeide dokumentasjon som grunnlag for miljømessig vurdering hos aktuelle myndigheter (SFT, NVE og Fylkesmannen). På denne bakgrunnen har NIVA i samarbeid med Norsk Institutt for Naturforskning (NINA) gjort en utredning med formål å finne løsninger mht. plassering av utslipp av kjølevann som sikrer at:

- virkning på vannmiljøet holdes på et akseptabelt nivå
- vandringen av fisk opp og ned Akerselva ikke påvirkes

2. Tekniske spesifikasjoner - kjølebehov og utforming av inntak og utslipp

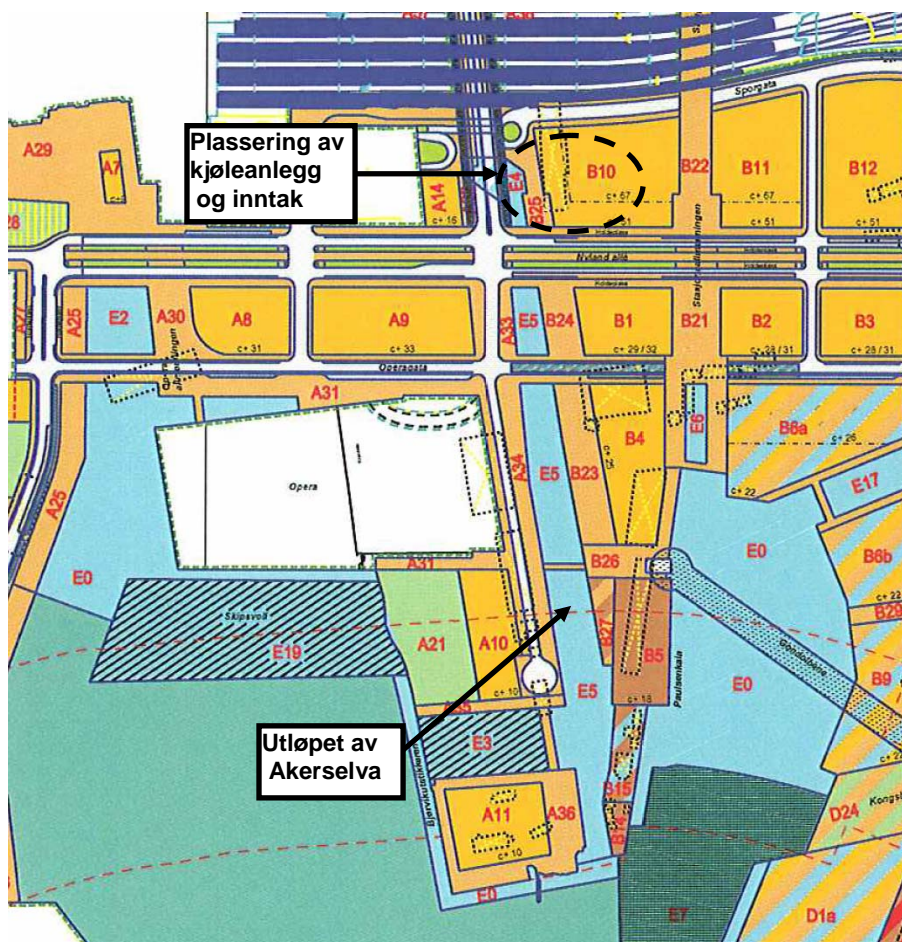
Opplysninger fra oppdragsgiver om kjølevannsbehov og energieffekter fra kjøleanlegget ved full utbygging av anlegget er vist i **Tabell 1** (Møtereferat 8.11.2005). Spesifikasjonen gjelder en oppvarming av inntaksvannet med 10 °C, til maksimal utslippstemperatur 35 °C. Største månedsgjennomsnitt er ca. 0.11 m³/s i juli, som er den måneden da det er størst kjølebehov. Det er også oppgitt at dimensjonerende vanninntak (varmeste dag) er satt til 0.36 m³/s, som tilsvarer en energitilførsel på ca. 15 MW ved oppvarming med 10 °C. I rapport fra Norconsult (Havellen 2006) er det angitt omtrent samme verdier for juni, juli og august som i **Tabell 1**, men noe høyere effekt for mai og september, hhv. 1400 og 700 MWh pr. måned, og omtrent 450 MWh pr. måned i vinterhalvåret.

Tabell 1. Spesifisert kjølevannsbehov og energitilførsel ved full utbygging av anlegget.

Måned	Menge kjølevann m ³ /mnd	Energitilførsel pr. mnd MWh	Gjennomsnitt over måneden		Maksimal verdi innenfor måneden	
			m ³ /s	MW	m ³ /s	MW
Mai	41 600	482	0.02	0.65	0.05	2.15
Juni	208 000	2411	0.08	3.35	0.26	10.77
Juli	291 000	3375	0.11	4.54	0.36	15.07
August	250 000	2893	0.09	3.89	0.31	12.94
September	41 600	482	0.02	0.67	0.05	2.15

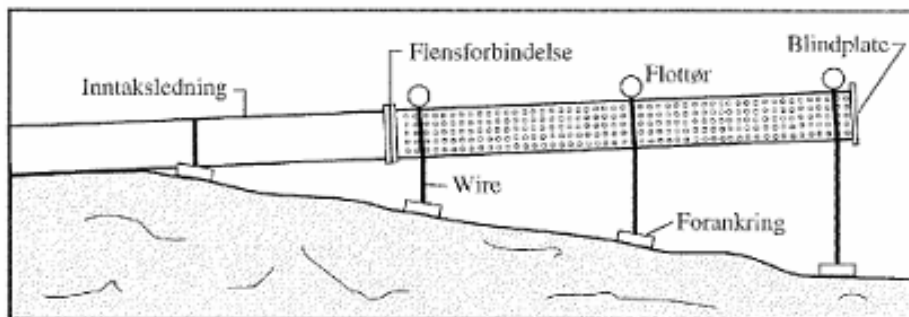
Utbyggingen er planlagt å skje etappevis, slik at effektbehovet til kjøling sommeren 2007 og 2008 vil være ca. 25 % av det som gjelder ved full utbygging. Det vil si at vannmengder og effekter da vil være ¼ av det som står i **Tabell 1**.

Summer og gjennomsnitt pr. måned er oppgitt fra oppdragsgiver for hver enkelt måned. Maksimal verdi for vannmengde og effekt til høyre i tabellen er beregnet ut fra dimensjonerende effekt (varmeste dag), som er ført opp som maksimal verdi for juli måned. Maksimalt vannbehov og effekt innenfor hver av de andre månedene er beregnet ut fra dette ved å anta at det er samme forhold mellom maksimalverdi og månedsgjennomsnitt som i juli. For vurderingen i denne rapporten legges det vekt på det som oppgis for månedene juni til august.



Figur 1. Utsnitt av Reguleringskart over utbyggingsområdet. Sporområdet for Oslo S vises helt øverst i kartet.

Kjøleanlegget skal plasseres ved område B10 i utbyggingsplanen for Bjørvika, dvs. rett sør for sporområdet på Oslo S (**Figur 1**). Inntaket vil være ved B25 og er tenkt plassert fast i forhold til bunn, så dypt at det alltid ligger under vannflaten. En prinsippsskisse av hvordan utslippet er tenkt utformet vist i **Figur 2**. Skissen viser at enden av ledningen da tenkes forankret slik at utslippshullene ligger fordelt over 4 til 5 m lengde, 1 til 2 m over bunn. Utslippet tenkes plassert enten nedstrøms i elveløpet eller sør for Bjørvikautstikkeren, eventuelt enda lenger sør utenfor enden av Sørengautstikkeren. Utslppsledningen vil ha innvendig diameter 500 mm, og kan eventuelt avsluttes med en perforert ende med flere hull i siden og et blindlokk i enden, og legges 1-2 m opp fra bunn (pers. medd. Christian Serck-Hanssen, Norconsult, 16. juni 2006).



Figur 2. Skisse av tenkt utforming av utslippet. (Kilde: Prenøk-håndboken <http://www.vvs-foreningen.no/default.asp?cont=1&side=21&meu=4>)

3. Beskrivelse av området

Nedenfor det aktuelle inntaksstedet for kjølevann renner Akerselva i dag ut i to kanaler under Bispelokket, hver ca. 7.5 m bred. Videre sørover fra Bispelokket går elva i én kanal i ca. 500 m lengde mellom Bjørvikautstikkeren og Paulsenkaia, med 28-30 m bredde over det meste av strekningen, men innsnevret til 16 m bredde i de ytterste 60 m av løpet. Overflateareal av elvestrekningen nedenfor Bispelokket er opp mot 15 000 m². I forbindelse med bygging av E18-tunnelen vil elveløpet bli ca. 150 m kortere, og da antagelig med 30 m bredde helt ut; overflatearealet blir da ca. 10 000 m². Kanalen er 2.1 m dyp i nordenden av utløpet, og 3.5 m dyp på midten i sørenden av kanalen. Opplysninger om bredder og dybder i elveløpet er gitt i feltnotater fra målinger 28. juni 2001 (Jarle Molværs notater), se også kapittel 4.2.

4. Datagrunnlag

Vurderingen bygger på eksisterende data for Akerselva og fjordområdet. Eksisterende data som er innhentet og sammenstilt til bruk i vurderingene omfatter:

- Data fra Vann- og avløpsetaten i Oslo Kommune for vannføring og temperatur i Akerselva.
 - Døgnverdier for vannføring 2000-2001
 - Døgnverdier for temperatur juni 2001 til desember 2005
 - Timeverdier for temperatur sommersesongen 2004
 - Ukeverdier for vannføring og vannkvalitet 1987-88, 1997-98 og 2000-2005
- Meteorologiske data fra Blindern, 6-timers registreringer for perioden 2000-2005 (kilde: Meteorologisk institutt - met.no)
- Data fra tidligere målinger av strøm og lagdeling i nedre del av Akerselva, utført 28. juni og 12. september 2001 (kilde: Jarle Molvær og Jan Magnusson, NIVA, se kapittel 4.2 for detaljer).
- Data for vertikal lagdeling i Oslo havn/Bjørvika - temperatur, saltholdighet, næringsalter og plankton (NIVAs målinger, se kapittel 4.3 for detaljer)

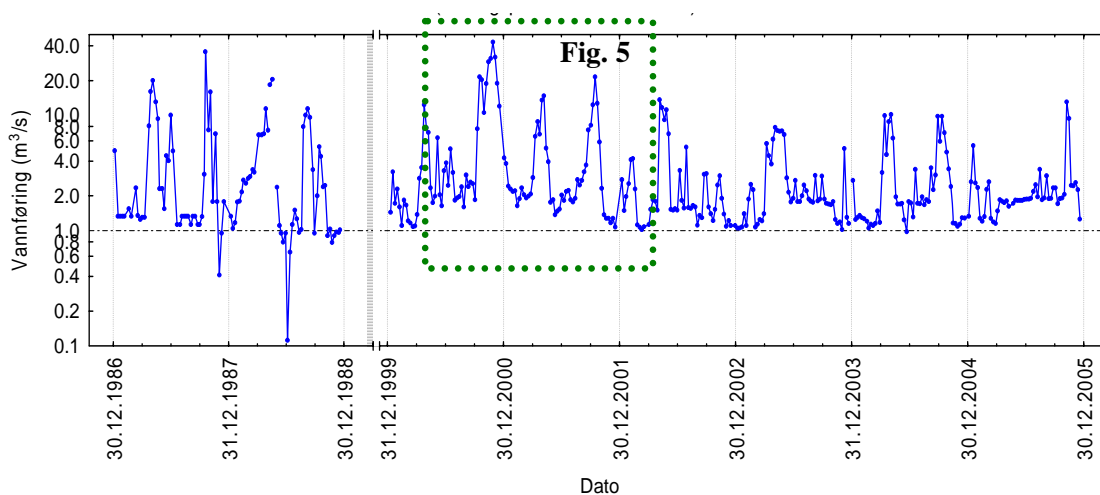
4.1 Data for vannføring og kvalitet i Akerselva

Som grunnlag for oppdragsgivers planlegging av anlegget og for den miljømessige vurderingen av tekniske løsninger presenteres data for temperatur og vannføring i Akerselva grafisk og statistisk. Dataene er stilt til rådighet av Oslo kommune ved Vann og avløpsetaten (ref. Terje Wold og Toril Roberg). Målingene gjøres nedenfor Grünerløkka, på målestasjonen ved Vestre Elvebakken/Nedre gate.

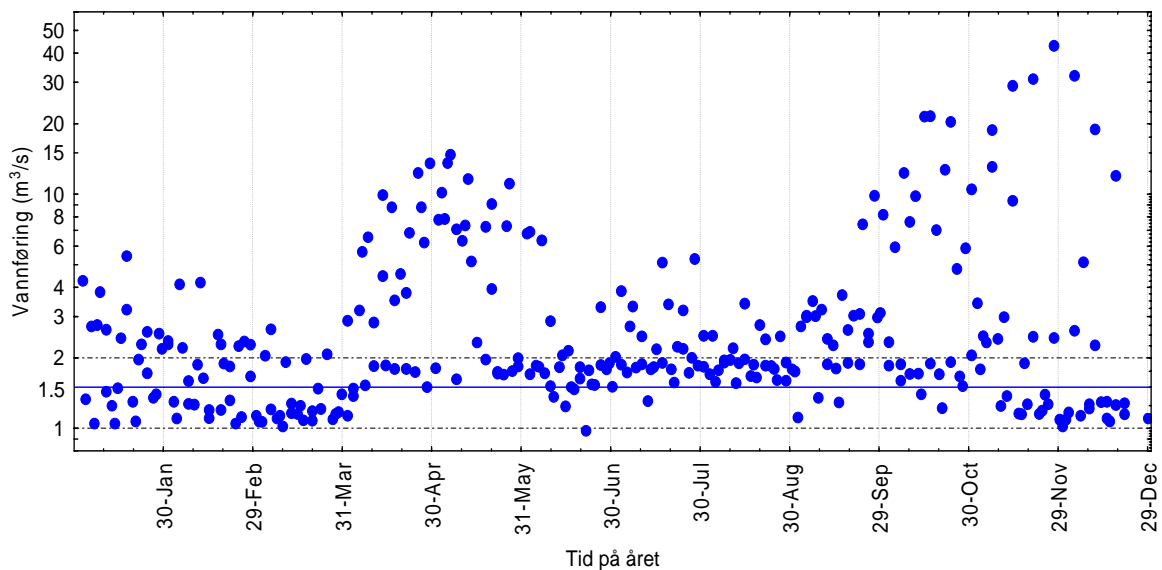
4.1.1 Vannføring

Ukemedler av vannføringen i Akerselva er vist som tidsserie i **Figur 3**. Figuren viser perioden 1987-88 og perioden 2000-2005. I den første perioden forekom det enkelte lave verdier, med minimum helt ned mot $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$, men de siste 6 årene har ukevannføringen aldri ligget under $1 \text{ m}^3/\text{s}$.

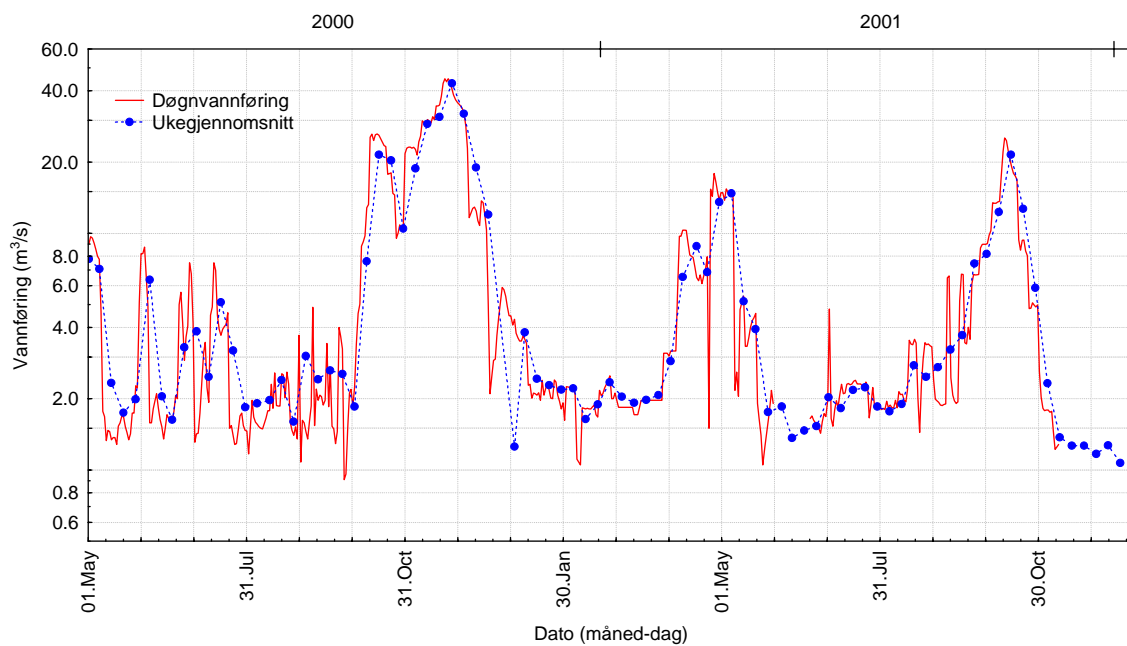
De laveste vannføringer opptrer stort sett om vinteren (**Figur 4**). For månedene april t.o.m. oktober ligger ukevannføringen stort sett alltid over $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$, som er pålagt minstevannføring for denne perioden på året, og fra midten av april til slutten av mai og i siste del av september er den stort sett alltid over $2 \text{ m}^3/\text{s}$. Men også i sommerhalvåret må en regne med lavere verdier i kortere perioder, og i tørre år også i lengre perioder. En sammenligning av uke- og døgnvannføringer for 2000 og 2001 (**Figur 5**) viser at døgnvannføringene ofte kan variere rundt ukevannføringene med en faktor opp mot 2 begge veier. Over de to sommerperiodene var laveste ukevannføring ca. $1.6 \text{ m}^3/\text{s}$, mens laveste døgnvannføringen var ca. $0.9 \text{ m}^3/\text{s}$. Molvær et al. (2002) nevner at det i 1996 forekom vannføring helt nede i $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$. Siden slike perioder vil sammenfalle med varmt vær og stort kjølebehov, må en regne med at det kan oppstå situasjoner hvor behov for kjølevann er større enn vannføringen i elva, selv om det må betraktes som en helt ekstrem situasjon som bare vil forekomme svært sjelden.



Figur 3. Vannføring i Akerselva, gjennomsnitt over ca. en uke (midlingsperioden kan variere litt) som tidsserie. Data fra Oslo kommune. Vannføringen er vist med logaritmisk akse. Data for 2000 og 2001 er vist mer i detalj i Figur 5.



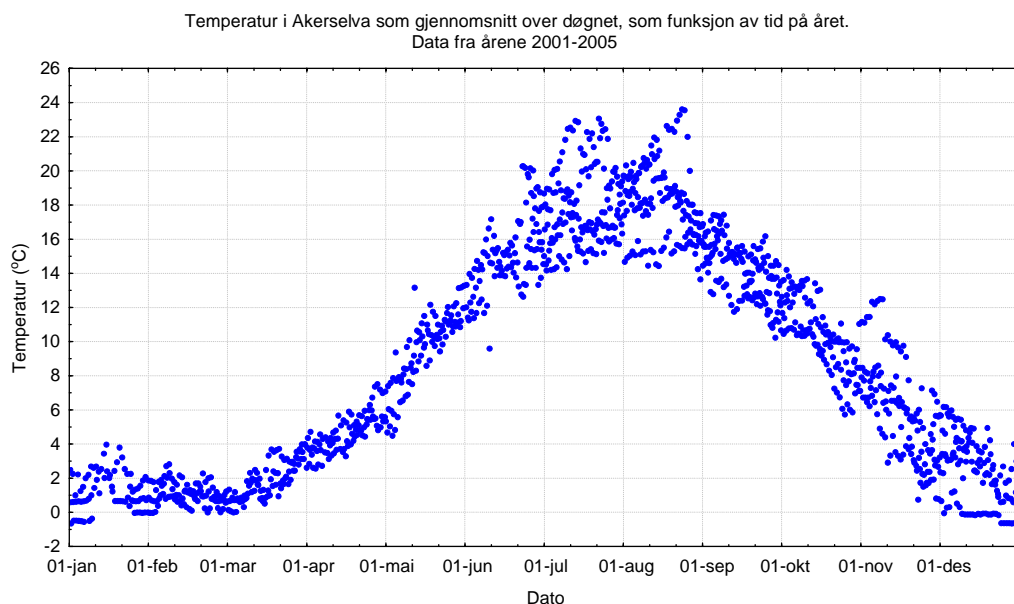
Figur 4. Vannføring i Akerselva 2000-2005, over ca. en uke (midlingsperioden kan variere litt) mot årstid. Data fra Oslo kommune. Vannføringen er vist med logaritmisk akse. Vannføring 1.0, 1.5 og 2.0 m^3/s er markert som horisontale linjer.



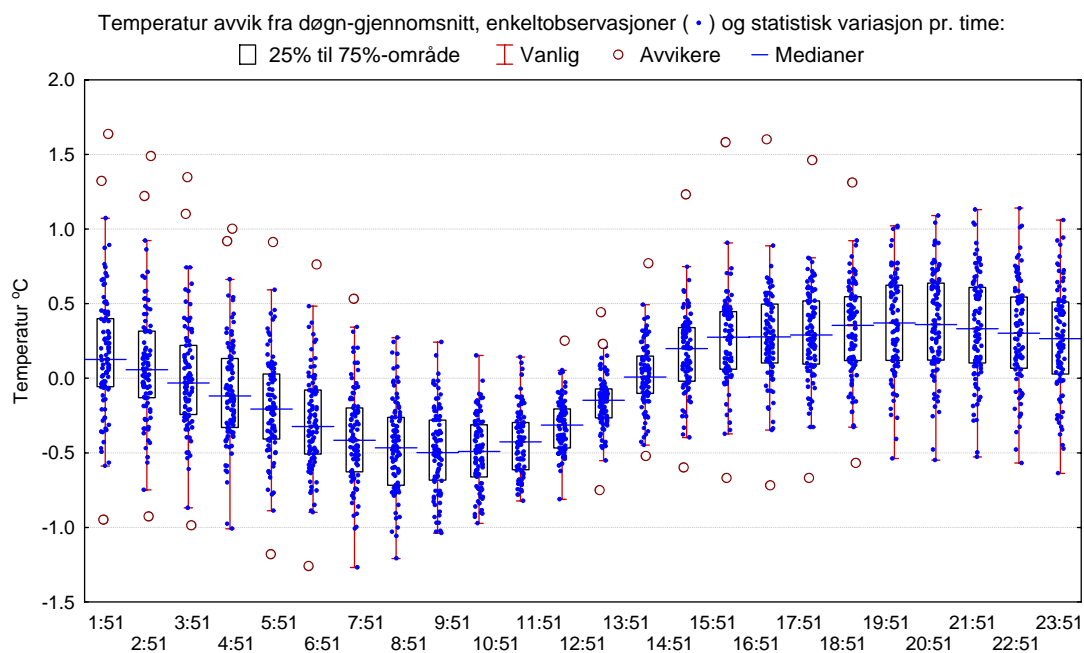
Figur 5. Døgn- og ukegjennomsnitt av vannføring i Akerselva for årene 2000 og 2001. Vannføringen er vist med logaritmisk akse.

4.1.2 Temperatur i Akerselva

Temperaturvariasjoner gjennom året og mellom år i Akerselva er vist i **Figur 6** som observerte døgngjennomsnitt. I den perioden da det er størst kjølebehov (juli og august) vil midlere temperatur over døgnet stort sett variere mellom 15 og 23 °C, men kan komme opp mot 24 °C. Om dagen kan temperaturen bli 1-2 °C høyere enn døgngjennomsnittet (**Figur 7**), dvs. at temperaturen kan være litt høyere enn det som fremgår av **Figur 6** på den tiden av døgnet da det er størst kjølebehov.

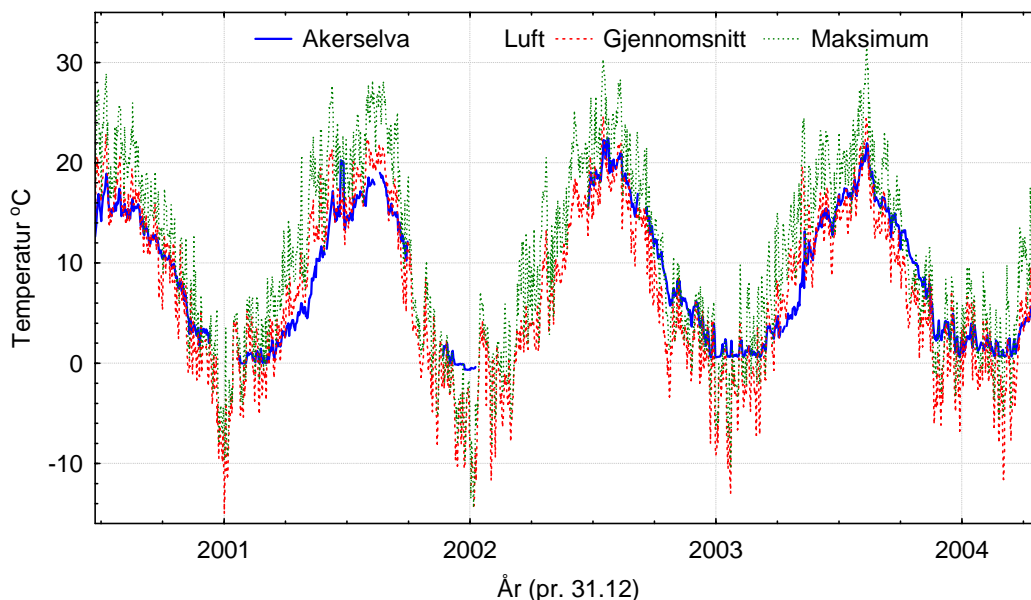


Figur 6. Døgngjennomsnitt for temperatur i Akerselva basert på alle data fra årene 2000-2005.



Figur 7. Temperaturavvik fra døgngjennomsnitt pr. time på døgnet for Akerselva, basert på data for juni-august 2004. Klokkeslett for målingene er vist under hver søyle. Enkeltobservasjonene er spredt i horisontalretning for bedre lesbarhet, men alle observasjoner innen hver søyle er tatt på samme klokkeslett.

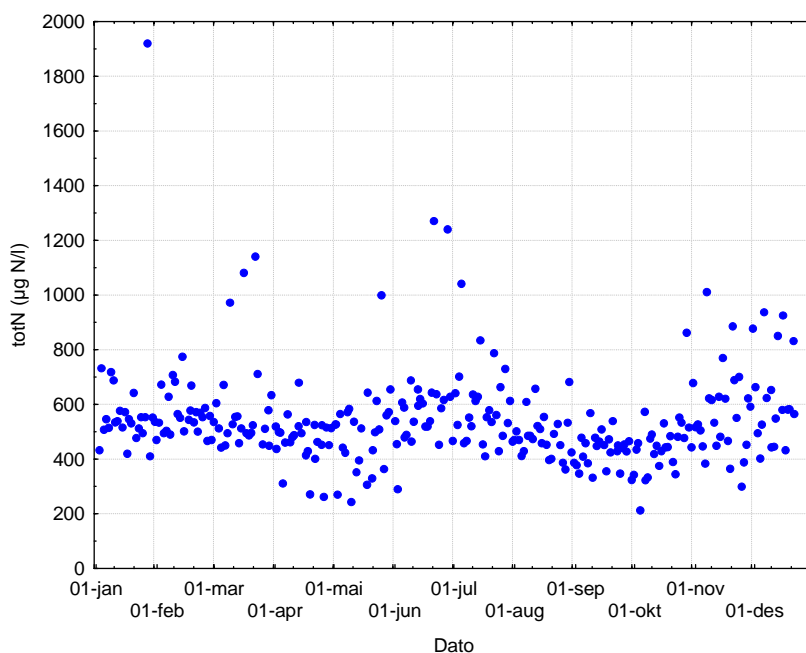
Sammenligning med meteorologiske data viser at i vår- og sommerhalvåret ligger vann-temperaturen i elva ofte 1-2 °C under døgngjennomsnitt av lufttemperatur, og 4-5 °C under maksimal lufttemperatur. På sensommeren er vanntemperaturen ofte mellom døgngjennomsnitt og maksimaltemperatur i luft.



Figur 8. Sammenligning av vanntemperatur i Akerselva (døgngjennomsnitt) med lufttemperatur.

4.1.3 Vannkvalitet i Akerselva – innhold av næringsstoffer for algevekst

Innholdet av næringsstoffer i elva er et element i vurderingen av alternative utslippsmåter for kjølevannet. Data fra Oslo kommune viser at innholdet av nitrogen og fosfor i Akerselva stort sett varierer mellom 400-700 µg N/l (**Figur 9**) hvorav anslagsvis 70-80 % er løst nitrat som er direkte tilgjengelig for algevekst. Innholdet av fosfor er 10-40 µg P/l, her vil bare en mindre del, anslagsvis 1-3 µg/l, være løst næringssalt (andel ikke målt, men anslås ut fra andre tilsvarende data).



Figur 9. Nitrogeninnhold i Akerselva 2000-2005 mot årstid. Verdiene representerer stort sett ukeblandprøver, men midlingsperioden varierer litt.

4.2 Lagdeling og strøm i Akerselva nedenfor planlagt inntakssted

En vil nesten alltid ha en kile av saltvann inn under ferskvannslaget i nederste del av elveløpet. Ferskvannet vil strømme ut i et lag ved overflaten og rive med seg noe vann fra saltvannskilen, slik at utstrømmede vann i elvemunningen vil være nokså rent ferskvann i overflaten, og med økende saltholdighet og tetthet nedover mot grenseflaten mellom utstrømmende vann og innstrømming av vann i saltvannskilen.

De nederste 500 m av elveløpet har bredde 30 m, og dypet er omkring 2 m. Ytterst er det i dag innsnevret til 16 m bredde, med et dyp på ca. 2.5 m. Saltholdigheten på ca. 3 m dyp i Bjørvika/Bispevika vil i sommermånedene variere mellom 20 og 25¹, og det gir en tetthetsforskjell på ca. 15 σ_t -enheter² mellom ferskvann og sjøvann i elveløpet.

Bare ved flomvannføringer vil ferskvannet fylle opp Akerselvas løp helt ut. For at hele tverrsnittet skal fylles av ferskvann slik elveløpet er i dag, må en ha vannføringer på ca. 20 m³/s. Hvis elveløpet kortes av og får 30 m bredde i munningen, må det vannføringer på 40 m³/s til for å fylle opp elveløpet med ferskvann.

Målinger av strøm og lagdeling i elveløpet fra Bispelokket og ut til munningen, utført i 2001, viser at ved lave vannføringer på 1.5-2 m³/s vil ferskvannet danne et lag på ca. 0.5 m tykkelse, som strømmer ut med hastigheter omkring 10-20 cm/s. Under dette laget vil en ha nokså stillestående vann med saltholdighet 20 til 25 (Vedlegg A.).

Ved lave vannføringer vil vannstandsvariasjoner pga. halvdaglig tidevann kunne gi episoder med stagnerende forhold også i overflaten i nederste del av elveløpet. Vannstanden i Oslo havn varierer med 30-40 cm mellom høyvann og lavvann med tidevannet (målinger av trykkvariasjoner på bunn i Schanning et al. (2000)), og det meste av økningen skjer i løpet av 4 timer. Det kan bety en volumøkingsrate på 0.4 m³/s på stigende tidevann i elveløpet nedenfor Bispelokket, og eventuelt noe mer for hele strekningen opp til B25. Det kan derfor forekomme perioder på noen timer med stillestående vann i nedre del av elveløpet ved ekstremt lav vannføring i elva. Det vites ikke om dette gjør seg fullt ut gjeldende opp til inntaksstedet, men uten å ha undersøkt det nærmere bør en regne med. Variasjoner knyttet til lufttrykk og vind vil være enda større (anslagsvis 1 m), og gjøre at det varierer hvor høyt ferskvannslaget ligger i forhold til et fast høyde på bunnen eller på land³. Det kan gi stor variasjon over tid i kvaliteten av inntaksvannet både mht. saltholdighet og temperatur.

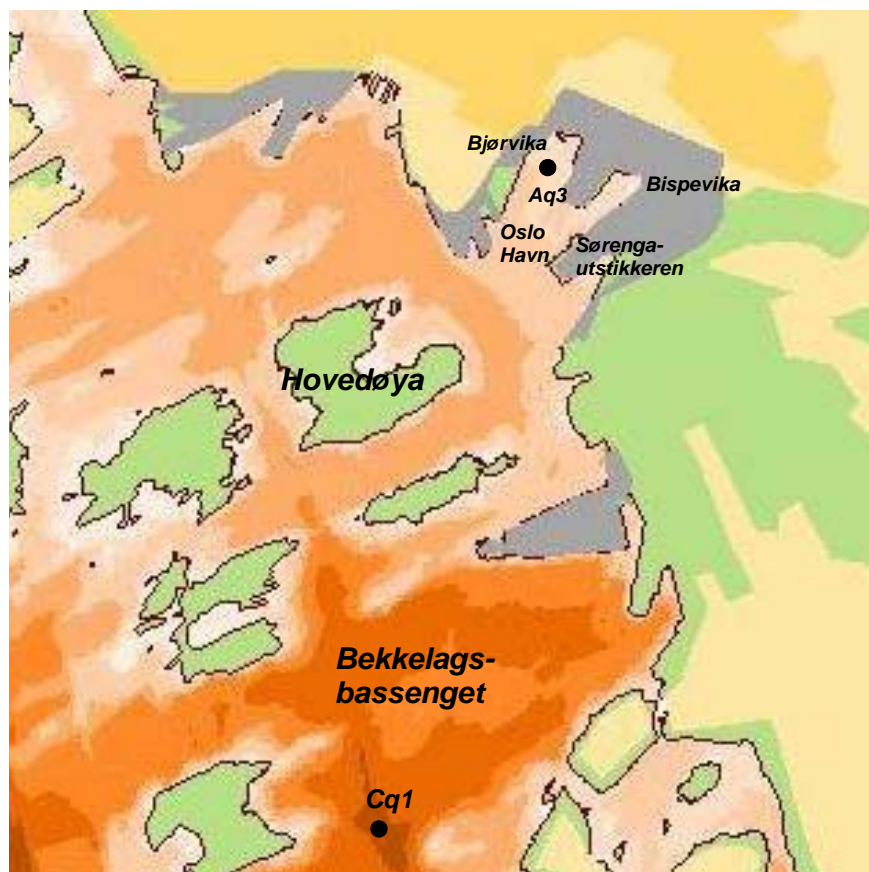
4.3 Data fra Oslo havn

Gjennom overvåkingen av indre Oslofjord og spesialundersøkelser i Oslo havn er det målt temperatur, saltholdighet og innhold av næringssalter på flere stasjoner i havneområdet (Magnusson et al. 2006 og tidligere overvåkingsrapporter). Statistikken nedenfor er bygd på data fra stasjon Aq3 for Bjørvika, og fra stasjon Cq1 for Bekkelagsbassenget (**Figur 10**).

¹ Saltholdighet defineres innen oseanografien som et dimensjonsløst tall; tilsvarer i praksis er tallet svært nær saltinnholdet i ‰.

² Tetthet i σ_t -enheter er definert som $\sigma_t = (\text{tetthet}[\text{kg/m}^3] - 1.000)$.

³ Lufttrykk- og vindstyrte vannstandsvariasjoner er langsommere enn tidevannsvariasjonen, og påvirker derfor ikke netto utstrøm så mye.

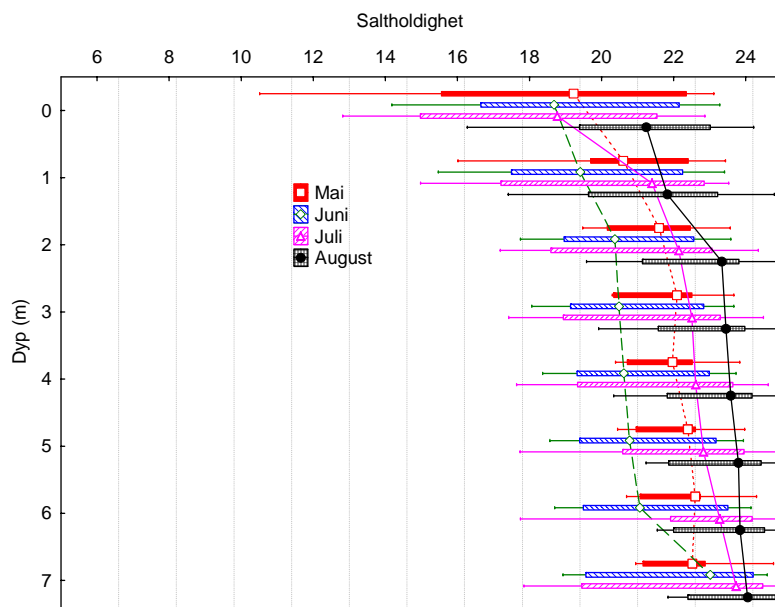


Figur 10. Plassering av utvalgte målestasjoner fra overvåkingsprogrammet for indre Oslofjord .

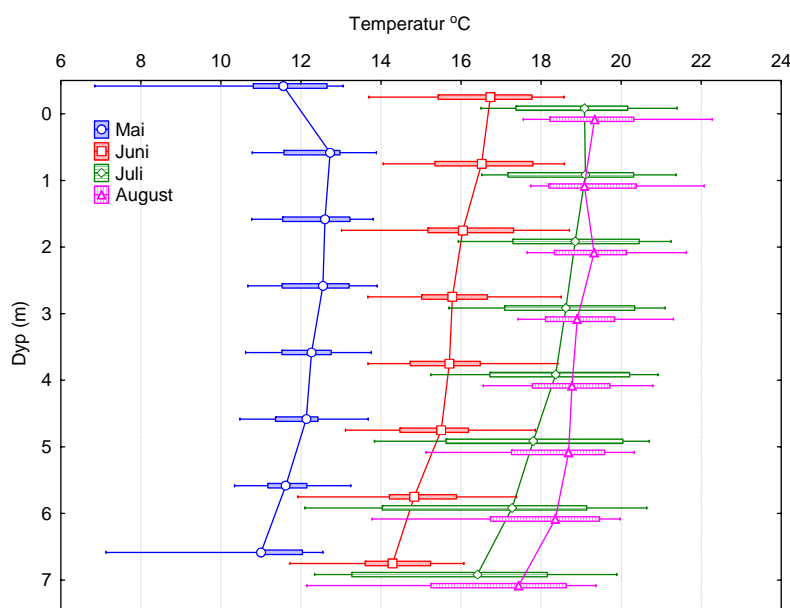
4.3.1 Lagdeling i temperatur og saltholdighet

Ferskvannet fra Akerselva sprer seg på overflaten i Oslo havn og blandes etter hvert ned i overflatelaget, som i Oslo havn ofte er ca. 10 m dypt. De øverste 7-8 metrene er da relativt tetthetshomogene, med saltholdigheter som varierer mellom 15 og 25, og med lavest saltholdighet i situasjoner med stor vannføring i elva, ofte i juni (**Figur 11**). I noen situasjoner kan det være helt homogene forhold til 8 m dyp, men det er som regel også en viss økning i saltholdighet ned mot 5-7 m dyp. Temperatur i overflaten følger i stor grad lufttemperaturen gjennom året, og er ofte ganske homogen i de øverste 3-4 m, men ofte 2 til 4 °C lavere på 5-7 m dyp (**Figur 12**). Under overflatelaget er det et mer eller mindre skarpt sprangsjikt ned til et underliggende lag hvor saltholdigheten er ca. 30-32, og temperaturen varierer mye mindre gjennom året og typisk ligger på 8-10 °C.

Det vannet som trekkes som en saltvannskile inn i elveløpet ved lave og midlere vannføringer vil komme fra 2-4 m dyp ute i havna, dvs. innenfor overflatelaget i fjorden. Ved lav vannføring i Akerselva kan en regne med saltholdighet 20-25 i dette vannet, som målingene i elveløpet viser (Vedlegg A.). Temperaturen i saltkilen vil om sommeren være i området 15-22 °C, omtrent det samme som i ellevannet.



Figur 11. Statistikk for variasjon i saltholdighet i 0-7 m dyp i Bjørvika (stasjon Aq3) om sommeren. Skraverte bokser viser 25-75 persentiler, og horisontale linjer viser 10-90 persentiler. Linjene som forbinder dypene er trukket gjennom gjennomsnittsverdiene. Statistikken gjelder samme dyp for alle måneder, men er litt forskjøvet i figuren for bedre lesbarhet.

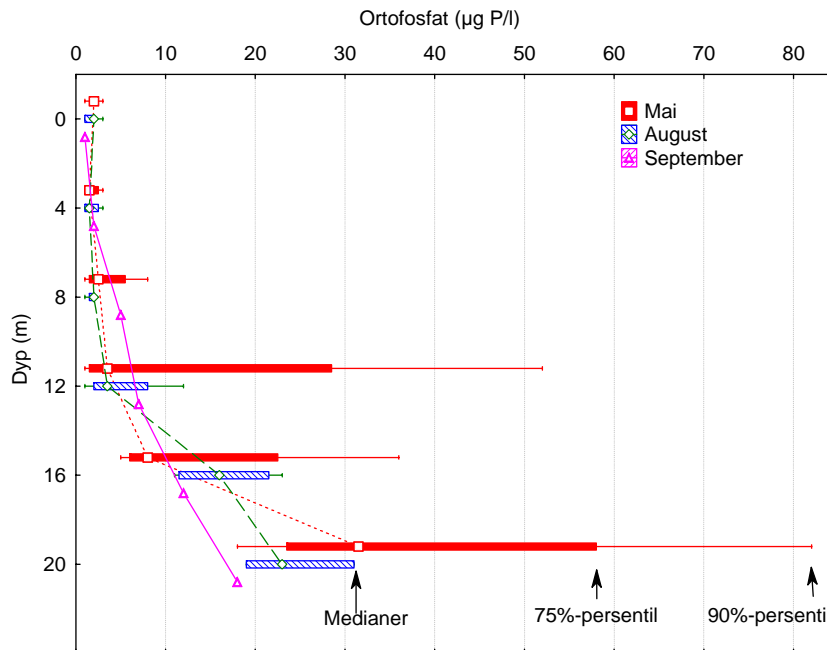


Figur 12. Statistikk for variasjon i temperatur i 0-7 m dyp i Bjørvika (stasjon Aq3) om sommeren. Skraverte bokser viser 25-75 persentiler, og horisontale linjer viser 10-90 persentiler. Linjene som forbinder dypene er trukket gjennom gjennomsnittsverdiene. Statistikken gjelder samme dyp for alle måneder, men er litt forskjøvet i figuren for bedre lesbarhet.

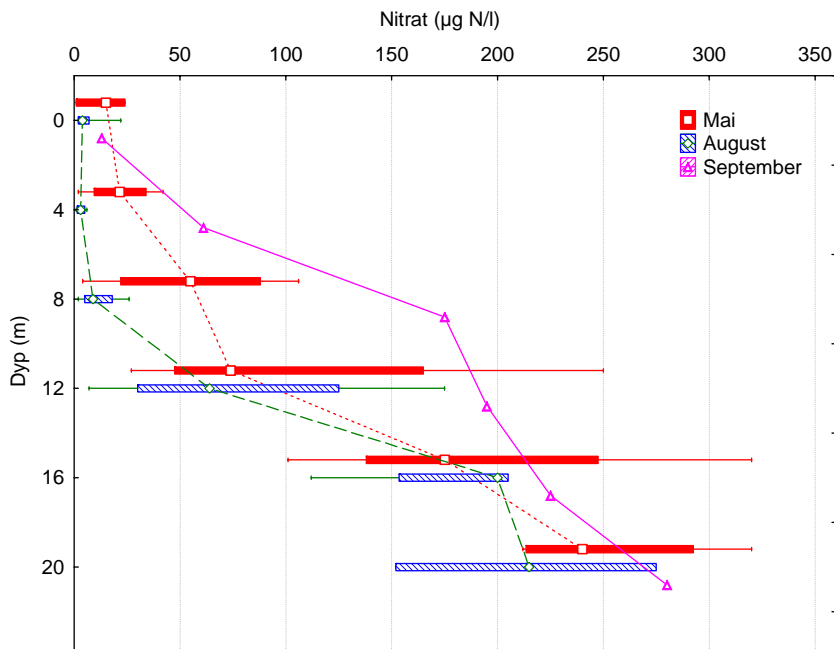
4.3.2 Næringsalter

Innholdet av næringsalter for algevekst varierer også med dypet; det har betydning for virkningen av et dykket utslipp ute i havna. I Bjørvika er næringsalter mest målt i overflaten, men i Bekkelagsbassenget er det målt dypprofiler av nitrat, ammonium og fosfat, oftest ved overvåkingstokt i april-mai, august og oktober. Statistikk for konsentrasjon av næringsalter nitrat og ortofosfat i **Figur 13** og **Figur 14** viser at i perioden mai-august er det jevnt over lave restkonsentrasjoner av ortofosfat (<5 µg P/l) ned til 8 m dyp, mens det er noe høyere på 12 m dyp

(opp mot 30 $\mu\text{g P/l}$). For nitrat kan det være høyere konsentrasjoner på 4 og 8 m dyp enn i overflaten. I august har både nitrat og fosfat lave verdier ned til 8 m dyp, men høyere på 12 og 16 m dyp. I mai og september er det også større innhold av nitrat på 4 og 8 m dyp, mens fosfat er lavt ned til 8 m dyp.



Figur 13. Statistikk for variasjon i ortofosfat i 0-20 m dyp i Bekkelagsbassenget (Stasjon Cq1) om sommeren. Skraverte bokser viser 25-75 persentiler, og horisontale linjer viser 10-90 persentiler. Linjene som forbinder dypene er trukket gjennom gjennomsnittsverdiene. Statistikken gjelder samme dyp for alle måneder, men er litt forskjøvet i figuren for bedre lesbarhet.

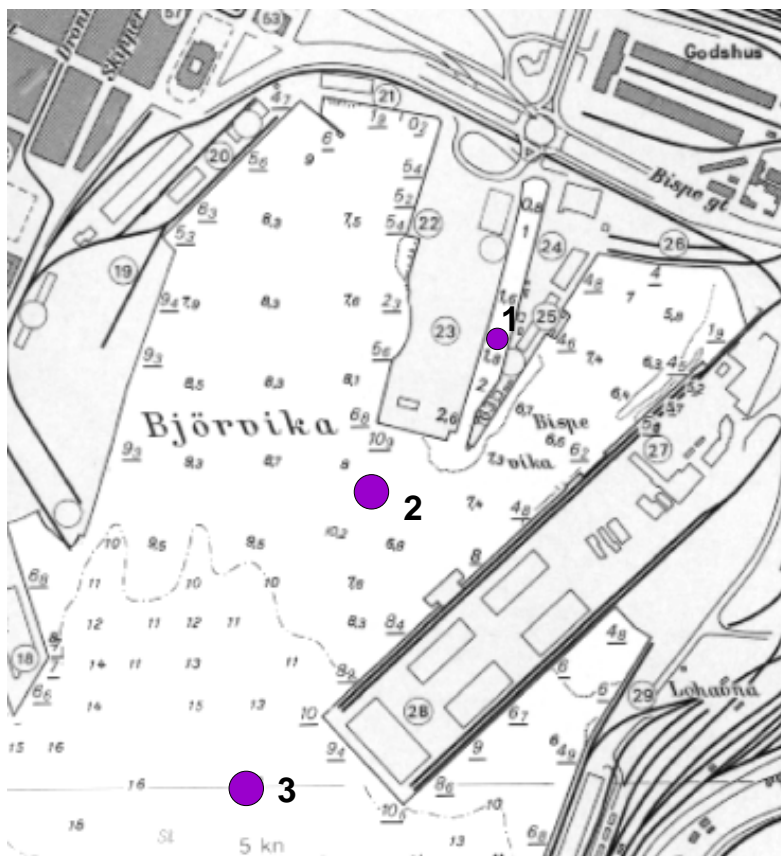


Figur 14. Statistikk for variasjon i nitrat i 0-20 m dyp i Bekkelagsbassenget om sommeren. Skraverte bokser viser 25-75 persentiler, og horisontale linjer viser 10-90 persentiler. Linjene som forbinder dypene er trukket gjennom gjennomsnittsverdiene. Statistikken gjelder samme dyp for alle måneder, men er litt forskjøvet i figuren for bedre lesbarhet.

5. Vurdering av alternative utslippssteder for oppvarmet kjølevann

Tre utslippssteder er vurdert (se kart i **Figur 15**):

1. I elveløpet før utløpet i Bjørvika
2. Rett utenfor elveløpet, dvs. sør for enden av Bjørvikautstikkeren
3. I området sør for Sørengautstikkeren.



Figur 15. Kart over Bjørvika med alternative utslippssteder markert

Det er opplyst fra oppdragsgiver at anlegget skal konstrueres for å tåle både salt og skittent vann. Saltholdigheten på kjølevannet har betydning for hvordan vannet vil spre seg i resipienten, og beliggenheten av inntaket er derfor diskutert i kapittel 5.1. Virkningen av utslipp etter de tre alternativene er vurdert i kapitlene 5.2, 5.3 og 5.4. Her er både temperatureffekter og eventuell virkning på planktonproduksjon i fjorden vurdert i sammenheng. Virkning for fiskens vandring i elva vurderes i kapittel 6 og konklusjoner og anbefalinger er gitt i kapittel 7.

5.1 Betydning av varierende saltholdighet i inntaksvannet

Ved lave vannføringer må en som nevnt regne med at vannstanden i elveløpet ved inntaket er influert av vannstanden i fjorden, og varierer med tidevann, luttrykk og vind. Hvis inntaket ligger fast i forhold til elvebunnen og så dypt at en er sikret at det alltid vil ligge under overflaten unntatt ved ekstremt lav vannstand i fjorden, må en regne med at det i perioder vil trekke vann fra saltkilen som ligger under det utstrømmende ferskvannet (se kapittel 4.2). Det vil særlig kunne forekomme i perioder med varmt og tørt vær med lite vannføring i Akerselva, da tykkelsen av ferskvannslaget

kan være ca. 0.5 m. Selv om inntaksvannet oppvarmes 10 °C, vil det i slike tilfeller fortsatt ha tetthet i nærheten av det en har i saltkilen når det slippes ut.

Hvis kjølevann som er hentet fra saltkilen, slippes ut i elveløpet lenger ut mot elvemunningen, vil det kunne synke ned i øvre del av saltkilen. Det kan da delvis blande seg inn i utstrømmende ferskvann, med størst temperatureffekt i underkant av brakkvannslaget, og delvis kunne bli dratt med innover i elva med fare for resirkulering mellom inntak og utslipp. For å unngå resirkulering bør utslippet utformes slik at en får effektiv innblanding i overflatelaget.

5.2 Utslipp i elveløpet før utløpet i Bjørvika

Virkningen av utslipp i elveløpet (markert med punkt 1 i **Figur 15**) vil variere avhengig av om inntaksvannet hentes fra ferskvannslaget eller den underliggende saltkilen.

Situasjoner med inntak fra ferskvannslaget

Dersom kjølevannet hentes fra ferskvannslaget, vil en temperaturøkning med 10 °C gi en egenvekt-reduksjon på mellom 1 og 3 sigma_t-enheter⁴, mest for høye temperaturer. Dette er det samme som en får ved en forskjell på 1.2 til 4 i saltholdighet. Det underliggende sjøvannet i nedre del av elveløpet har typisk en saltholdighet på 20 til 25, og virkningen av temperaturøkningen er derfor liten i forhold til tetthetsforskjellene mellom det utstrømmende overflatelaget, som er helt eller nesten ferskt, og sjøvannet under.

I utgangspunktet antas at kjølevannet blander seg i hele den utgående elvestrømmen uansett hvordan det slippes ut. Utslippet bør utformes slik at innblandingen skjer raskest mulig. Hvis vannføringen i elva er 1 m³/s, vil gjennomsnittstemperaturen i ferskvannslaget nedenfor utslippet kunne øke med 3.6 °C ved full utbygging av kjøleanlegget. I de fleste tilfeller vil vannføringen være mer enn 1.5 m³/s, slik at temperaturøkningen blir innenfor 2.5 °C. Dette gjelder for månedene juni-august; i mai og september vil temperaturøkningen antagelig være langt lavere enn dette; stort sett innenfor 0.5 °C ut fra angitt kjølebehov i **Tabell 1**.

En annen virkning i en situasjon med inntak av ferskvann og utslipp lenger ned i elveløpet vil være noe lavere vannføring mellom inntakssted og utslippsted, ca. 30 % reduksjon ved lave vannføringer. Hvis inntaket ligger fast i forhold til bunnen og relativt dypt, vil inntak av ferskvann som regel skje ved relativt høye vannføringer, og virkningen både på vannføring og temperatur blir da mindre.

Dersom kjølevannet består av mest ferskvann og slippes ut i elveløpet, vil det også gi en viss temperaturpåvirkning i overflaten ute i havna, men virkningen vil der være mer begrenset enn i elveløpet. I følge beregningene i Vedlegg B. vil avkjøling mot luft antagelig ha liten betydning for å redusere temperatureffekter sammenlignet med blanding og spredning av vannmasser. Ute i havneområdet vil ferskvannet raskt blande seg med saltvann, og overflatesaltholdigheten vil være 10-15 i Akerselvas nærrområde, 20-25 lenger ut i havna. En overflatesaltholdighet omkring 13, som er i underkant av det som vanligvis observeres, tilsvarer et blandingsforhold 1:2 mellom ferskvann og sjøvann med saltholdighet omkring 20. Temperaturøkningen på overflatelaget i nærrområdet utenfor Sørengautstikkeren ved full utbygging vil da være maksimalt 1.2 °C i juni-august, dersom en bare regner med enveis transport gjennom området pga. sirkulasjon drevet av ferskvannstilrenningen. For indre deler av Oslo havn skjer det imidlertid også annen horisontal vannutveksling med fjorden utenfor, drevet av vannstandsvariasjoner og vind. For Bjørvika er dette tidligere anslått til omkring 2.2 m³/s for det øvre laget på 0 til 4 meter. Hvis vi tar i betraktning også en slik horisontal utveksling, og antar at det skjer med et område hvor temperatureffekten er helt borte pga. av videre blanding i større skala og varmeutveksling med atmosfæren, blir netto temperaturheving maksimalt 0.8 °C i juni-august ved full utbygging.

⁴ $\sigma_t = (\text{tetthet}[\text{kg/m}^3] - 1.000)$.

Ved utbygging til 25 % av full kapasitet vil kjøleanlegget gi tilsvarende mindre temperatureffekter. Økningen i elveløpet vil ligge innenfor maksimalt 0.8 °C ved full innblanding i en lav vannføring på 1 m³/s, og effekten ute i havna vil være innenfor 0.2 til 0.3 °C.

Den maksimale temperaturøkningen ute i havna med 0.8 til 1.2 °C ved full utbygging kan antas å øke veksthastighet for plankton med 5 til 10 % under ellers gode vekstvilkår (Bjerkeng 1995). Fordi planktonproduksjon i stor grad er begrenset av tilgang på næringsalter, vil den totale virkningen bli mye mindre enn dette, og anses uten betydning.

Situasjoner med vanninntak fra saltkilen.

Som omtalt i kapittel 5.1 kan det være vanskelig å sikre mot at kjøleanlegget henter vann fra saltkilen i elva i situasjoner med lave vannføringer og/eller høy vannstand. Som nevnt foran vil en oppvarming på 10 °C gi en tetthetsreduksjon som bare utgjør en liten del av forskjellen mellom ferskvann og sjøvann, og kjølevannet i utslippet vil derfor fortsatt ha tetthet i nærheten av det en har i saltkilen. Etter utslipp i elveløpet kan kjølevannet komme til å legge seg i underkant av sprangsjiktet i elva, hvor hastighetene er små, og eventuelt også bli blandet ned og ført innover igjen mot inntaket. Det er spesielt risiko for det i tidsrom innenfor tidevannssyklusen med lite strøm utover pga. stigende vannstand. Utslipp i elveløpet av kjølevann fra saltkilen kan derfor gi risiko for resirkulering av vann til inntaket og forsterket temperaturøkning ut over de planlagte 10 °C. Først når akkumulert temperaturøkning gjør vannet vesentlig lettere i forhold til forskjellen mellom sjøvann og ferskvann vil det følge med utover i underkant av det utstrømmende ferskvannet. Vann fra saltkilen med temperatur 20 °C og saltholdighet 25 må eksempelvis varmes opp med 20 °C for å få en tetthetsreduksjon på 1/3 av forskjellen mellom ferskvann og sjøvann, og det er hva som skal til for å få det opp i utstrømmende lag i følge målingene som er beskrevet i Vedlegg A.

For å unngå slik resirkulering er det viktig å sørge for utslipp nær overflaten gjennom flere turbulente stråler som sikrer at vannet fortynnes godt med ferskvann før det synker ned mot saltkilen også i de situasjonene hvor vannet er hentet fra saltkilen. Hvis en oppnår det, kan en regne med temperatureffekter i overflatestrømmen innenfor det som ble beregnet ovenfor for kjølevann fra ferskvannsstrømmen. Nedenfor utslippet vil det da være noe større utstrømning i overflatelaget, og med noe større saltholdighet og høyere temperatur enn uten kjølevannsutslippet. Samtidig øker utskiftningshastigheten på saltkilen.

Dersom elveløpet kortes av i forbindelse med bygging av tunnel for E18 under Bjørvika, vil vurderingen av et utslipp i elveløpet være den samme. Pga. av bredere utløp kan tykkelsen av ferskvannet ved lave vannføringer bli noe mindre, og inntak av saltvann kan derfor antagelig skje noe oftere enn for elveløpet slik det er i dag.

5.3 Rett utenfor elveløpet, dvs. sør for enden av Bjørvikautstikkeren

Rett utenfor sørenden av Bjørvikautstikkeren er største dyp ca. 10 m, og ca. 100 m sørvest for utløpet er maksimalt dyp 11-12 m. Hvis kjølevannet føres mot dette området gjennom en ledning på bunnen av Akerselva og videre sørvestover fra munningen, og utslippet legges dykket på 5-8 m dyp, gjerne fordelt på flere mindre utslippsåpninger, vil kjølevannet fortynnes i omgivende sjøvann. Det kan da legge seg inn i et mellomlag under overflatelaget, og spre seg videre horisontalt uten å gi store temperatureffekter i overflaten. Hvis utslippet skjer via en ledning som ligger 1-2 m over bunnen det da passende legges over et bunndyp på 6-10 m.

Beregninger med programmet JETMIX (Bjerkeng og Lesjø 1973) for noen representative tetthetsprofiler viser at med utslipp på 5 meters dyp som én stråle vil ferskvann fra kjøleanlegget ved

maksimal vannmengde stige mot overflaten og blande seg inn i overflatelaget 4-5 ganger fortynnet⁵ og legge seg i eller nær overflaten. Kjølevannet, som er ca. 10 °C varmere enn overflatevannet, vil da som regel være fortynnet på vei opp med vann som er saltere og opp til 1 til 2 °C kaldere enn det overflatelaget det legger seg inn i. Hvis fortynningsvannet i gjennomsnitt er 0.5 °C kaldere enn vann i innlagingsdyp, vil temperaturforhøyelsen i den innlagrede skyen av fortynnet kjølevann om sommeren ligge innenfor 1.6 °C sammenlignet med omgivende overflatelag⁶. Det innlagrede vannet vil bidra til å gi litt økt saltholdighet i overflatelaget lokalt rundt utslippsstedet sammenlignet med en situasjon hvor alt ferskvann går ut i overflaten. Ved å fordele utslippet på 10 horisontale stråler med diameter 16 cm tilstrekkelig langt fra hverandre (2 m avstand mellom stråler i samme retning) oppnås fortynning på ca. 10 ganger. Med samme gjennomsnittlige temperatur mellom fortynningsvann og vann i innlagingsdyp vil da netto temperaturøkning i kjølevannsskyen ligge innenfor 0.6 °C sammenlignet med omgivende overflatevann⁷, dvs. at temperaturøkningen i kjølevannet i stor grad oppveies av fortynning med kaldere og saltere vann.

Ved utslipp av ferskvann på 8 m dyp blir fortynningen noe større, opp mot 15 ganger, og det vil ofte bli innlagring 3-4 meter under overflaten, selv med maksimal vannmengde i kjøleanlegget. Også da blir det lite temperatureffekt i innlagingsdyp.

De temperatureffektene som er beregnet ovenfor gjelder bare i en begrenset nærsone rundt utslippet. For havneområdet som helhet kan en vente temperaturøkning innenfor det som ble beregnet i kapittel 5.2, dvs. 0.8 til 1.2 °C. Med et utslippsdyp 5-8 m vil det antagelig bli en del lavere pga. innblanding av kaldere vann nedenfra ved strålefortynningen av utslippsstrålene.

På grunn av horisontal fortynning og spredning av skyen og naturlige strømmer i området vil det antagelig bli lite resirkulering inn i Akerselvas saltkile. En må regne med at kjølevannet i perioder kan være helt eller delvis hentet fra saltkilen, og utslippet kan da legge seg inn omkring 2-4 m dyp. Strålene bør likevel rettes horisontalt, og i størst mulig grad vekk fra elvemunningen, og med utslippet i tilstrekkelig avstand fra elveutløpet, gjerne trukket ut til siden for elveløpet. Hvis utslippet legges ca. 100 m fra elvemunningen, og gjerne på skrå i sørvestlig retning (punkt 2 i **Figur 15**), anses det å være liten risiko for noen vesentlig resirkulering av kjølevann. Også etter en avkorting av elveløpet etter utbygging av E18-tunnelen under Bjørvika bør utslippet trekkes ut hit for å sikre mot resirkulering.

Ved utslipp i 5 til 8 m dyp vil transport av fortynningsvann mot overflaten i liten grad medføre næringstilskudd til planktonproduksjon om sommeren, fordi utslippsdypet ligger godt innenfor fotosyntesesonen og i det laget hvor innholdet av frie næringsstoffer for algevekst er lite (Kapittel 4.3.2).

5.4 Utslipp til området sør for Sjøengautstikkeren, med mulighet for større utslippsdyp.

I dette området, ca. 100 m ut for utstikkeren, finnes bunndyp på 16-17 m (punkt 3 i **Figur 15**). Hvis kjølevannet føres til dette området, kan en få dypere utslipp, og derved også dypere innlagring med større fortynning enn ved utslipp ut for Bjørvikautstikkeren. Med utslipp av maksimal mengde ferskt kjølevann i 10 stråler med diameter 16 cm oppnås fortynninger 6-15 og innlagring omkring 10 m dyp, og også da kan en regne med liten eller ingen temperaturforskjell mellom innlagret avløpsky og omgivende vannmasser.

Imidlertid vil et utslippsdyp på 10-15 m medføre transport av næringsstoffer opp mot overflatelaget, og kunne bidra til en viss økning i planktonproduksjon. Nitratinnholdet i ferskvann er ca. 2 til 3 ganger større enn hva det er i fortynningsvannet på 15 m dyp i fjorden. Ved maksimalt kjøle-

⁵ Her refereres gjennomsnittsfortynning, som er anslagsvis 1.75 ganger mindre enn senterfortynningen som programmet beregner.

⁶ 20 % vann med avvik +10°C, 80 % vann med avvik -0.5 °C

⁷ 10 % vann med avvik +10°C, 90 % vann med avvik -0.5 °C

behov og liten vannføring i elva kan utslippet gi en nitrat-transport oppover fra 12-15 m til 10 m dyp som er like stor som nitrattransporten i Akerselva. Til gjengjeld blir ca 1/3 av nitrattransporten i elva flyttet fra overflaten og ned på 10 m dyp, og blir noe mindre tilgjengelig for planktonproduksjon. Hva som blir nettoeffekten av det er usikkert; det vil antagelig variere over tid.

Ved å legge utslippet her unngås i praksis enhver risiko for resirkulering til Akerselva, men totalt er gevinsten usikker sammenlignet med utslipp 100 m utenfor Bjørvikautstikkeren. Selv om utslippet skulle flyttes hit, bør det benyttes et utslippsdyp på 5-8 m.

6. Konsekvenser for laks og ørret

6.1 Ungfisk

Både sjøørret (*Salmo trutta*) og laks (*Salmo salar*) gyter i Akerselva, og det er ungfisk fra aldersgruppene 0—2 år i elva året rundt. Ørreten gyter i oktober mens laksen gyter i november—desember. Eggene utvikler seg nedgravd i elvegrusen fram til klekking i april, hvoretter en larve, kalt plommeseekkyngel, utvikler seg videre til frittlevende yngel som kommer opp og begynner å ete rundt månedsskiftet mai—juni. Mens eggene ikke bør utvikles ved temperaturer over 10 °C for å unngå deformiteter hos fosteret, tåler yngelen varmere vann. Fra første sommer tåler de temperaturer opptil 25 °C, mens temperaturer mellom 25 og 30 °C er i økende grad dødelige. Optimaltemperaturen for vekst hos ørret øker med mengden mat fisken eter, og føret til metthet er den 16—17 °C hos ørret og 1—2 °C høyere hos laks (Jonsson et al. 2001). Veksthastigheten blir deretter gradvis lavere ettersom vannet blir varmere. I juli-august er vanntemperaturen nederst i elva mellom 15 og 24 °C som et døgngjennomsnitt. Den høyeste temperaturen nærmer seg letaltemperaturen for unger av laksefisk.

Ved utslipp av kjølevann nederst i Akerselva for et fullt utbygget anlegg kan den ytterligere økning av vanntemperaturen fra kjølevannet føre til dødelighet eller at fisken trekker vekk fra det berørte området, og den delen av elva som får økt vanntemperatur kan bli uegnet som oppvekstområde for laks- og ørretunger om sommeren. Ved utslipp i elva etter en 25 % utbygging av kjøleanlegget, med en temperaturøkning innenfor 0.8 °C, vil det neppe bli særlige negative effekter.

Utslipp utenfor elvemunningen vil ha liten effekt for artene unntatt når vannet ellers er kaldt. Da vil en varmtvannskilde, som dette utslippet vil bli, kunne trekke til seg fisk. Imidlertid vil da kjølebehovet og derved temperatureffekten også være mye mindre enn dimensjonert effekt for sommerperioden.

Egg og yngel av ørret tåler en saltholdighet opptil ca. 4—5, og salttoleransen øker deretter gradvis fram til smoltifiseringen da de tåler rent sjøvann med saltholdighet 35. I Akerselva inntreer smoltifiseringen når laks og ørret er ca. 15—20 cm lange og 2 år gamle. Fiskeunger som oppholder seg i elva nær munningen, beveger seg mellom brakkvann og ferskvann og følger tidevannets bevegelser. En liten økning i saltholdigheten nederst i elva, enten pga. innblanding av kjølevann fra saltkilen eller redusert ferskvannsføring mellom inntak og utslipp, vil antakelig ha liten betydning for disse.

6.2 Smoltutvandring

Tidspunktet for smoltutvandring varierer mellom arter og bestander innen arter. Hos laks synes tidspunktet for smoltutvandring å være tilpasset slik at forholdene for overlevelse og vekst i sjøen er best mulig når smolten kommer ut i saltvann. En årsak til variasjon i overlevelse henger sammen med variasjon i sjøvannstemperatur. Det er for eksempel vist at hos laks fra Sørvest-Norge og Skottland øker overlevelse og vekst med økende størrelse på den delen av laksens beiteområde i Nord-Atlanteren som holder 8—10 °C i mai, dvs. er forholdsvis varm på den tiden da denne

smolten vandrer til havs. Tilsvarende avtar overlevelsen med økende størrelse på det området som på samme tid som bare holder 5—7 °C (Friedland et al. 2000).

Det er generelt sammenheng mellom klimaet og laksens vekst i havet. Den nordatlantiske klima-indeksen (NAOI), som bygger på forskjellen i lufttrykk mellom Azorene og Island, er en måte å angi klimaet på. Dess lavere verdier denne indeksen har når smolten vandrer til havs, dess bedre blir årsveksten (Jonsson & Jonsson 2004). Over tid blir bestander tilpasset gjennom naturlig utvalg på en slik måte at utvandringen skjer når overlevelse og vekst i havet er best mulig, slik at avkomproduksjonen blir maksimal.

Når laksen vandrer til havs, vet den ikke hvor varmt det er dit den skal, bare hvordan forholdene er der den er. Både økt vannføring og økt -temperatur stimulerer til utvandring om våren. Smoltifiserende fisk trekker ofte gradvis mot elveutløpet, og tidlig nedvandrende fisk kan stoppe ved munningen før utvandring til sjøen.

Smoltutviklingen styres av vanntemperaturen, og den skjer tidligere dess varmere det er i vannet. I Sør-Norge smoltifiserer fisken i april og begynnelsen av mai (Jonsson & Ruud-Hansen 1985; Jonsson & Jonsson 2002). Fiskeungene trenger en viss varmemengde for å bli smolt (Zydlewski et al. 2005). Økt vannføring kan også bidra til å gi fisken tidligere utvandring (Jonsson 1991). Under smoltifiseringen endrer fisken atferd ved at den slipper taket i bunnen slik at sterkere strøm vil kunne bringe dem raskt til havs. Tilsvarende vil økt vanntemperatur og økt vannføring stimulere til utvandring hos sjørret (Jonsson & Jonsson 2002). Tilført, oppvarmet vann vil således kunne gi flere dager tidligere utvandring av laks og ørret som står i munningsområdet. Ved at fisken vandrer tidligere til havs vil overlevelse og vekst kunne bli redusert fordi det vil være kaldere i vannet når de begynner å beite. Vi antar at effekten i dette tilfelle vil bli liten. Hvor stort et eventuelt produksjonstap blir, kan imidlertid bare estimeres gjennom forsøk på stedet. Kjølebehovet er størst i den varme årstiden; i mai er det anslått til ca. 10 % av det maksimale (**Tabell 1**), slik at forventet temperaturøkning i nederste del av elveløpet vil ligge innenfor 0.3 °C selv ved full utbygging av kjøleanlegget. Den forventede virkningen på fisken skulle ut fra dette bli marginal.

6.3 Oppvandring

Vannføring og temperatur i elva kan påvirke tidspunktet for laksefiskenes oppvandring i ferskvann når de kommer for å gyte. Kjøleanlegget kan føre til endret netto utstrøm i elva mellom inntakssted og utslippssted, dvs. i en del eller hele nedre del av elveløpet, avhengig av hvilket lag kjølevannet hentes fra, og om utslippet skjer i elveløpet eller ute i fjorden. Ved høye vannføringer vil inntaket trekke inn ferskvann, og da reduseres ferskvannsutstrømningen. Ved lave vannføringer kan inntaket i stedet komme til å trekke fra saltkilen, i så fall påvirkes ikke ferskvannsutstrømningen, men det kan bli noe større saltholdighet i utstrømmende overflatelag nedenfor et eventuelt utslipp i elveløpet.

Laksen fra Akerselva kommer tilbake fra beiteområdene i det nordlige Norskehavet om sommeren. På den tiden er vannføringen i Akerselva lav (1-4 m³/s). Det meste av laksen som kommer tilbake da, vil kunne bli stående i fjorden til det blir mer vann i elva. Dette vil ofte være i oktober. Laksefisk trenger en del vann for å vandre opp tidlig i sesongen, men blir det storflom, vil oppvandringen stanse. Generelt er laksen mest følsom for lite vann i elva tidlig på sesongen. Den blir mer villig til å vandre opp ved lave vannføringer dess nærmere gytetiden i november—desember den kommer (Tetzlaff et al. 2005). Temperaturen synes å ha mindre effekt på oppvandringen enn vannføringen, men kan til en viss grad påvirke laksen til å vandre opp tidligere når vannet er varmt om sommeren (Jonsson et al. MS). Kjølevannsutslippet vil imidlertid ha liten temperatureffekt om høsten, både fordi kjølebehovet er lite og fordi det blandes ut i relativt stor vannføring. Det vil derfor ha liten betydning for tidspunktet for laksens oppvandring i Akerselva.

Sjørretten fra Akerselva beiter i Oslofjorden om sommeren. Den kan overvintre i brakkvann eller vandre opp i elva. Når den skal gyte, kommer den som regel tilbake for å gjøre dette i Akerselva.

Sjørret kan vandre opp fra sjøen de fleste månedene når vanntemperaturen er over 4 °C, dvs. april-desember. Det meste av sjørreten vil imidlertid vandre opp fra august til oktober. Ørreten har mindre kropp enn laksen, og er derfor mindre følsom for lite vann enn denne. Blir vannføringen i Akerselva mindre enn 2 m³/s, kan en ytterligere reduksjon i vannføringen på strekningen mellom inntaks- og utslipps-sted for kjølevann gi minsket eller noe forsinket oppvandring hos ørret.

Hos ørret kan økt vanntemperatur om sommeren i elva og fjorden utenfor forsinke tidspunktet for oppvandring noe (Jonsson & Jonsson 2002), men totalt antas denne virkningen som marginal med de temperatureffekter det er snakk om her.

6.4 Konklusjon

Kjølevannsutslipp nederst i Akerselva etter full utbygging av kjøleanlegget vil gi en temperaturøkning i overflatelaget i elveløpet på inntil 2.5 til 3.5 °C om sommeren, og dette vil kunne redusere produksjonen av unger av laks og ørret nedenfor utslippsstedet. Ved 25 % utbygging av kjølekapasitet vil et utslipp i elva gi temperaturøkning innenfor 0.8 °C, og det ventes ikke å gi slike effekter.

Økt vanntemperatur i elva kan stimulere til tidligere utvandring av smolt av laks og ørret om våren. Det kan i prinsippet gi mindre produksjon og overlevelse i havet, men effekten av dette ventes å være liten i dette tilfelle, selv ved full utbygging, siden utvandringen skjer på en tid av året hvor kjølebehovet bare er ca. 10 % av det maksimale.

Temperaturøkningen i havneområdet blir mindre, og ventes ikke å ha noen effekt på fisk, verken på ungeproduksjon eller utvandring. I situasjoner med relativt kaldt vann i fjorden, da en økning kunne ha virkning ved å tiltrekke fisk, er kjølebehovet lavt og temperaturøkningen liten.

Utslipp direkte til sjøen i Bjørvika unngår temperatur-effekten i elva, og en får bare den svakere temperaturøkningen i havneområdet, med liten betydning for ungeproduksjon eller utvandring for laks og ørret. Det gjelder både ved utslipp sør for Bjørvikautstikkeren og lenger sør, utenfor Sørengautstikkeren.

Uansett utslippssted kan kjøleanlegget gi redusert vannføring over en strekning av elveløpet nedenfor inntaksstedet under tørkeperioder med generelt lav vannstand i elva. Slik reduksjon kan i prinsippet virke hemmende på oppvandringen av disse artene før oktober. Det gjelder spesielt for laks, som er mest følsom for lav vannføring under fiskesesongen sommer og tidlig høst. Den hemmende effekten vil øke med fiskestørrelsen. Virkningen av vannføringsreduksjon har imidlertid ikke noen stor betydning i Akerselva fordi laksen der normalt er smålaks, som helst venter med å vandre opp til vannstandsøkningen i oktober, da det er forholdsvis lite kjølevannsuttak.

Høy temperatur på sensommeren i elva eller fjorden kan forsinke oppvandringen av ørret noe, men effekten ventes uansett å være marginal i dette tilfelle, også ved utslipp i elva.

7. Sammenfatning med anbefaling

Utslipp i elveløpet (utslippssted 1 i Figur 15) med innblanding i utstrømmende overflatevann vil ved full utbygging av kjøleanlegget kunne gi temperaturøkning på ca. 3.6 °C i overflaten i elva om sommeren i relativt vanlige situasjoner med lav vannføring. Dette kan gi negative konsekvenser for fisk, og kan ikke anbefales.

Med utbygging til 25 % av full kapasitet, slik det er planlagt for sommeren 2007 og 2008, vil maksimal temperaturøkning i elveløpet etter utslipp der ligge innenfor 0.8 °C om sommeren, og dette ventes ikke å gi vesentlig negative virkninger for fisk. Et utslipp i elveløpet med rask fortynning bør derfor kunne aksepteres i en slik mellomfase.

En må regne med at inntaket i perioder trekker vann fra det underliggende saltvannet i elva, særlig i situasjoner med lav vannføring. Det er viktig at utslipp i elveløpet utformes slik at det gir innblanding i overflatelaget også i slike tilfeller, dvs. med utslipp i overflatelaget med effektiv innblanding gjennom flere turbulente stråler ved dimensjonerende vannføring som ved 25 % utbygging blir 0.09 m³/s. Hvis det ikke gjøres, kan det være risiko for vesentlig høyere temperatureffekter i grensesjiktet mellom ferskvann og underliggende saltvann og dårligere driftsforhold pga. resirkulering mellom inntak og utslipp.

Utslipp i overflatelaget i elveløpet vil gi en viss temperaturøkning også i det øverste overflatelaget i havneområdet utenfor. Ved full utbygging kan en vente en økning på 0.8 til 1.2 °C og med utbygging til 25 % av full kapasitet opp mot 0.2 til 0.3 °C. Virkningen i havneområdet antas ikke å ha vesentlige negative konsekvenser på fisk eller å gi særlig økt planktonproduksjon selv ved full utbygging.

Utslipp i elveløpet (utslippssted 1 i Figur 15) kan aksepteres ved utbygging til 25 % av full kapasitet med de forutsetninger som er gitt ovenfor. Ved full utbygging bør kjølevannet ikke slippes i elva.

Utslipp i havneområdet unngår temperatureffekten i elva, og ved på legge det på 5-8 m dyp vil en utnytte den naturlige lagdelingen i fjorden slik at kjølevannet stiger opp og fortynnes med kaldere vann, slik at temperatureffekten motvirkes. Ved ikke å gå dypere unngås samtidig uønsket transport av næringsstoffer for algevekst opp mot overflatelaget. Temperaturendring pga. et slikt utslipp antas å gi ingen eller marginal virkning på fisk, selv ved full utbygging av anlegget.

Ved utslipp fra ett hull anslås temperaturøkningen i nærsone rundt utslippet om sommeren ved full utbygging til ca. 1.6 °C, og i havneområdet generelt opp mot 0.8 til 1.2 °C, omtrent som for utslipp i elva. Ved å fordele utslippet på 10 mindre hull med horisontale stråler på begge sider av utslippsledningen fordelt over ca 5 m lengde kan en holde temperaturøkning i innlagret kjølevannssky innenfor 0.6 °C i forhold til omgivende vannmasser, også om sommeren ved full utbygging av anlegget, og virkningen i havneområdet som helhet vil bli mindre enn dette.

Det anses tilstrekkelig å trekke utslippet ca. 100 m sørvest for Bjørvikautstikkeren (utslippssted 2 i Figur 15). Utslipp lenger sør, ut for enden av Sørengautstikkeren (utslippssted 3 i Figur 15) muliggjør større utslippsdyp, men det anbefales ikke å gå dypere enn 5-8 m, fordi det ville gi risiko for forsterkning av planktonproduksjon pga. tilførsler av næringsalter opp mot overflatelaget i fortynningsvann som rives med oppover når utslippsstrålen stiger opp og fortynnes.

Ved videre utbygging ut over 25 % av full kapasitet anbefales utslipp i havneområdet ca. 100 m sørvest for Bjørvikautstikkeren med dykket utslipp på 5-8 m dyp. Hvis ledningen ligger 1-2 m over bunn, betyr det at den kan plasseres i et område med bunndyp 6-10 m. Utslippet bør fordeles på flere hull som beskrevet ovenfor.

8. Litteratur

- Bjerkeng, B. og Lesjø, Aa. (1973): Mixing of a jet into a stratified environment. Computas report no. 73-3.
- Bjerkeng, B. (1994): Eutrofimodell for Oslofjorden. Fysiske prosesser. Litteraturstudium og data-analyse. NIVA-rapport lnr. 3115, 107 sider.
- Bjerkeng, B. (1995): Eutrofimodell for Oslofjorden. Fytoplankton-prosesser – et litteraturstudium. NIVA-rapport lnr. 3116, 165 sider.
- Friedland, K.D., Hansen, L.P., Dunkley, D.A. & MacLean, J.C. (2000) Linkage between ocean climate, post-smolt growth, and survival of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in the North Sea area. *ICES Journal of Marine Science* 57, 419-429.
- Havellen, Vidar (2006): Varighetskurver for kjøling og påvirkninger på temperaturen i Akerselva. Notat K901-BIAS-BT-0001. Norconsult 8. mai 2006
- Jonsson, B. & Ruud-Hansen, J. (1985). Water temperature as the primary influence on timing of seaward migrations of Atlantic salmon smolts. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 42, 593-595.
- Jonsson, B., Forseth, T., Jensen, A.J. & Næsje, T.F. (2001). Thermal performance in juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Functional Ecology* 15, 701-711
- Jonsson, B., Jonsson, N. & Hansen, L.P. (MS). Factors affecting upstream migration in hatchery reared adult Atlantic salmon, *Salmo salar* L.. Submitted to *Journal of Fish Biology*.
- Jonsson, N. & Jonsson, B. (2004). Size and age at maturity of Atlantic salmon correlate with the North Atlantic Oscillation Index (NAOI). *Journal of Fish Biology* 64, 241-247.
- Jonsson, N. (1991). Influence of water flow, water temperature and light on fish migration in rivers. *Nordic Journal of Freshwater Research* 66, 20-35.
- Jonsson, N., & Jonsson, B. (2002). Migration of anadromous brown trout in a Norwegian river. *Freshwater Biology* 47, 1391-1401.
- Magnusson, J., Andersen, T. (UiO), Amundsen, R. (UiO), Berge, J., Bjerkeng, B., Gjørseter, J. (HFF), Hylland, K., Johnsen, T., Lømsland, E., Paulsen, Ø. (HFF), Ruus, A., Schøyen, M., Walday, M. (2006) Overvåking av forurensningssituasjonen i indre Oslofjord 2005. NIVA-rapport 5242.
- Molvær, J., Muniz, I.P og Magnusson, J. (2002): E18 mellom Festningstunnelen og Ekeberg tunnelen. Detalj- og reguleringsplan, etappe 1. Vannkvalitet og hensyn til naturmiljøet. NIVA-rapport nr. 4485-2002, 48 sider, ISBN 82-577-4133-7.
- Schaanning, M., Bjerkeng, B., Magnusson, J. og Sundfjord, A. (2000): E18 mellom Festningstunnelen og Ekeberg tunnelen. Tiltak for å sikre vannkvalitet. NIVA-rapport 4250-2000, 35 sider, ISBN 82-577-3874-3
- Tetzlaff, D., Soulsby, C., Youngson, A.F., Gibbins, C., Bacon, P.J., Malcolm, I.A., & Langan, S. (2005). Variability in stream discharge and temperature: a preliminary assessment of the implications for juvenile and spawning Atlantic salmon. *Hydrology and Earth System Science* 9, 193-208.
- Zydlewski, G.G., Haro, A., & McCormick, S.D. (2005). Evidence for cumulative temperature as an initiating and terminating factor for downstream migratory behaviour of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 62, 68-78.

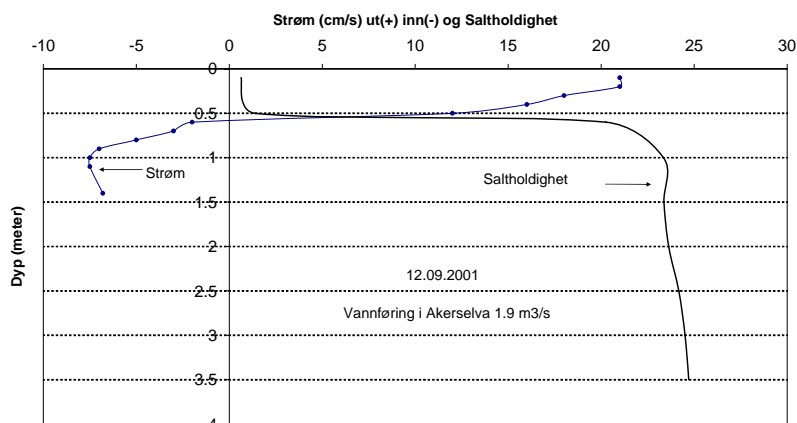
Vedlegg A. Tidligere målinger av lagdeling og strøm i nedre del av Akerselvas løp

I 2001 ble det målt lagdeling og strøm på tre stasjoner i Akerselva, ved utløpet av tunnelen under Bispelokket, midt i kanalen fra Bispelokket til utløpet (bredde 30 m) og ved utløpet av Akerselva (bredde 16 m). Målingene ble gjort 28. juni (vannføring fra Maridalsvannet 1.5-2.0 m³/s), 5. september (vannføring ca. 1.9 m³/s) og 12. september (vannføring ca. 2.0 m³/s). Noen av resultatene er tidligere beskrevet i Molvær et al. (2002).

Ved målinger i elva 28. juni 2001 på lav vannføring med 1.6 m³/s var det et markert sprangsjikt i elveløpet på omkring 0.5 m dyp, definert av variasjon i saltholdighet. Det var også en viss lagdeling i ferskvannslaget, definert av temperaturforskjeller. I overflaten (~10 cm) var temperaturen 20-21°C. Litt lenger ned avtok det mot et minimum på 17.5 til 18 °C like over sprangsjiktet i vann med saltholdighet 3 til 4, altså i ferskvann med opp mot 20 % innblanding fra saltkilen. Videre nedover i vertikalprofilene økte temperaturen igjen til rundt 20 °C og saltholdigheten til 21-22. Oslo kommunes målinger i Akerselva 27. og 28. juni viser synkende temperatur fra 17 til 16.5 °C. Meteorologiske data for 26. til 28 juni viser dagtemperaturer på henholdsvis 27, 24.5 og ca. 20 °C, med varierende skydekke. Den forhøyede temperaturen i overflaten kan derfor være en reell effekt av oppvarming fra atmosfære og lysinnstråling. Det ser ut til at elvevannet har en temperaturstyrt sjiktning når det møter saltkilen, og at det observerte temperaturminimum på 17.5 til 18 °C er nettoresultatet av en viss sol-oppvarming også av det kaldeste ferskvannet, kombinert med innblanding av varmere saltvann fra saltvannskilen. Strømhastighet i overflaten registrert med driftmerker var 15-19 cm/s, og en måling på 0.2 m dyp viste hastighet 12 cm/s.

Den 5. september 2001 ble det målt både strøm og lagdeling i nederst i elveløpet (Stasjon 3). Ved tunnelen ble det målt strøm sørover i 0.1 m dyp i rent ferskvann og på 0.5 m dyp i vann med saltholdighet 15. med hastigheter 13-17 cm/s. På 1 m dyp var det svak strøm sørover med hastighet 3-4 cm/s i vann med saltholdighet 22.7, og på 2 og 3 m dyp var det omtrent stillestående vann, med hastigheter 1-2 cm/s og mindre definert retning. Temperaturen i ferskvannet var ca. 15 °C, mens saltkilen hadde temperatur 17.5 °C og saltholdighet 23.5.

Den 12. september ble det målt strøm utover med 20 cm/s i overflaten, også da ned til ca. 0.5 m dyp, og svakere nordoverrettet strøm i saltkilen under det. **Figur 16** viser resultatet av målingen i munningen av Akerselva, hvor bredden er ca. 16 m. Temperaturen var 14-15 °C i begge lag, og saltholdigheten i saltkilen var 23-24.



Figur 16. Strøm og lagdeling (saltholdighet) målt i Akerselvas munning 12.9.2001

Vedlegg B. Betydningen av varmeutveksling med atmosfæren

Temperaturheving i overflaten vil delvis utlignes av økt varmeavgivelse til atmosfæren. Overflate-temperaturen er et netto resultat av innstråling av lys og varme, konvektiv varmeutveksling med atmosfæren, utstråling av varme fra vannet til atmosfæren og fordampning. De forskjellige bidragene til varmeutvekslingen slik de inngår i NIVAs fjordmodell er beskrevet av Bjerkeng (1994) basert på et litteraturstudium. Det som styres av overflatetemperaturen er varmestråling fra vannflaten, varmeledning mellom vann og luft og avkjøling eller oppvarming ved fordampning eller kondensering. Endringen i utstrålingen som funksjon av endret temperatur ΔT i overflaten vil i følge beskrivelsen i Bjerkeng (1994) være:

$$\text{Varmeutstråling} \quad \Delta Q_1 = \varepsilon \sigma \Delta (T_K^4) \cong \varepsilon \sigma T_K^3 \Delta T_K \quad (1)$$

$$\text{Varmeledning} \quad \Delta Q_2 = \rho_a c_a C_h U \Delta T_s \quad (2)$$

$$\text{Netto fordampning} \quad \Delta Q_3 = L_t C_e \Delta q_s U \quad (3)$$

Her er

ε = emissivitet for vann = 0.97

σ = Boltzmanns konstant = $5.67 \cdot 10^{-8}$ [W m⁻² °K⁻⁴]

T_K = overflatetemperatur i grader Kelvin (=T(°C)+273.15)

ρ_a = luftens tetthet (ca. 1.2 kg/m³ ved 20 °C)

c_a = varmekapasitet for luft (ca. 1.00 J/kg/°C)

C_h = varmeledningskoeffisient dimensjonsløs (estimerer varierer fra $0.6 \cdot 10^{-3}$ til $1.5 \cdot 10^{-3}$ mellom ulike litteraturkilder og avhengig av temperaturforskjell vann/luft)

U = vindhastighet 10 m over vannflaten (m/s)

T_s = vanntemperatur i vannoverflaten (°C)

L_t = spesifikk fordampningsvarme = $2494 - 2.2(T_s - 273.15)$ [J/g]

C_e = fordampningskoeffisient, dimensjonsløs, varierer fra $0.5 \cdot 10^{-3}$ til $3 \cdot 10^{-3}$ med vind og stabilitet i temperaturforskjell luft-vann = ca. $1.1 \cdot 10^{-3}$ for små temperaturforskjeller og lite vind.

q_s = absolutt mettet fuktighet for luft ved vannets overflatetemperatur T_s [g/m³]

Absolutt luftfuktighet q (g/m³) ved metning over rent vann kan beskrives som funksjon av temperatur $T > 0$ [°C] funksjonen:

$$q(T) = q_0 \left(\frac{T}{T_k} + 1 \right)^a \quad (4)$$

hvor $q_0 = 4.80$ [g/m³] er mettet fuktighet ved 0 °C

T = temperatur i °C

$T_k = 109.7$ [°C]

$a = 7.594$

Nettoeffekten av endringer med endringer i vanntemperatur i overflaten blir:

$$\Delta E = (\Delta Q_1 + \Delta Q_2 + \Delta Q_3) A = \left(\varepsilon \sigma T_K^3 + \rho_a c_a C_h U + L_t C_e U \cdot q_0 a \left(\frac{T_s}{T_k} + 1 \right)^{a-1} \right) \Delta T_s$$

Som et rimelig estimat kan en regne med en økt varmeavgivelse til atmosfæren på ca. 6 W/m²/°C.

Ved maksimal til midlere energitilførsel vil varmeavgivelsen til atmosfæren være helt ubetydelig innenfor elveløpet (1-3 %). For at det meste av maksimal energitilførsel på 15 MW skal avgis til atmosfæren, må overtemperatur integrert over areal være 2.5 mill $m^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, dvs. for eksempel 2.5 $^\circ\text{C}$ over 1.0 mill m^2 . Til sammenligning er hele arealet av det østlige havneområdet, øst for Hovedøya og nord for Sjursøya, ca. 1.3 mill m^2 . Det betyr at en må regne med at varmetveksling med atmosfæren ikke betyr så mye innenfor havneområdet, her vil det være blanding av vannmasser som styrer overtemperaturen.