

Vurdering av utslipp av sjøvann fra energianlegg i Bjørvika



Hovedkontor

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

NIVA Region Sør

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

NIVA Region Innlandet

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

NIVA Region Vest

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

Tittel Vurdering av utslipp av sjøvann fra energianlegg i Bjørvika	Løpenr. (for bestilling) 6700-2014	Dato 3. juni 2014
	Prosjektnr. Underr. 12378.6	Sider Pris 18
Forfatter(e) André Staalstrøm	Fagområde Oseanografi	Distribusjon Fri
	Geografisk område Oslo	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) A10 Nyland Bjørvika AS Kontaktperson Rune Sjøli, Erichsen & Horgen A/S	Oppdragsreferanse
---	-------------------

Sammendrag

Det skal benyttes sjøvann for oppvarming og kjøling av flere bygg i Bjørvika, blant annet nytt Deichmanske hovedbibliotek og nytt Munch museum. Vanninntaket vil være på 20 m dyp, og det er planlagt at utslippet skal plasseres på 8 m dyp. Det er planlagt at vannmengden som skal gå gjennom anlegget vil være 400 l/s. I rapporten blir effekter av temperaturendringer nær utslippspunktet og tilførsel av næringssalter vurdert. Ved utslipp av oppvarmet vann (9 °C høyere) på sommeren og avkjølt vann (3 °C lavere) på vinteren, så vil ikke temperaturavviket bli større enn 1 °C i en avstand på 5-10 m fra utslippspunktet. Det amerikanske miljødirektoratet (EPA) anser et temperaturavvik på 1 °C som akseptabelt, og det er liten sannsynlighet for at man vil se noen biologiske effekter av temperaturendringer utenfor denne avstanden fra utslippspunktet.

Ved utslipp på 8 m med en vannmengde på 400 l/s vil det være en netto tilførsel av næringssalter som tilsvarer 13 % av årsmidlet tilførselen av fosfor og 5 % av årsmidlet tilførsel av nitrat fra Akerselva. De tilsvarende tallene med en vannmengde på 225 l/s var henholdsvis 7 og 3 %. I lange perioder på sommeren med lav vannføring, så vil energianlegget tilføre en mengde fosfat til den eufotiske sonen som er av samme størrelsesorden som tilførselen av fosfat fra Akerselva. Denne tilførselen vil bidra til å forringe vannkvaliteten i overflatelaget, og det anbefales å legge utslippet dypere enn dette. Ved å legge utslippet på omtrent 11 m vil utslippsskya innlagres mellom 11 og 14 m, som er nederste del av den eufotiske sonen, og man unngår da å bidra til å forringe vannkvaliteten i overflatelaget.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Kjøleanlegg	1. Cooling system
2. Bjørvika	2. Bjørvika
3. Utslipp	3. Outfall
4. Temperatur	4. Temperature



André Staalstrøm
Prosjektleder



Kai Sørensen
Forskningsleder

O-12378.6

**Vurdering av utslipp av sjøvann fra energianlegg i
Bjørvika**

Forord

Denne rapporten er utarbeidet på oppdrag fra A10 Nyland Bjørvika AS, som er i ferd med å bygge et anlegg som vil benytte sjøvann til oppvarming og kjøling av flere bygg i Bjørvika. Det har tidligere blitt foretatt en miljøkonsekvensvurdering av dette energianlegget, men i denne rapporten er konsekvensene av økt vannmengde vurdert. NIVA har hatt Rune Sjøli fra Erichsen og Horge A/S som kontaktperson som har representert A10 Nyland Bjørvika AS. Beregningene og vurderingene i rapporten har blitt kvalitetssikret av oseanograf Anna Birgitta Ledang.

Oslo, 3. juni 2014

André Staalstrøm

Innhold

	1
Sammendrag	5
1. Bakgrunn og formål	6
2. Beskrivelse av topografi og hydrografi	8
3. Beregning av innlagringsdyp og temperatur	9
4. Vurdering av økt tilførsel av næringssalter	16
5. Samlet vurdering	18
6. Litteratur	18

Sammendrag

Det skal benyttes sjøvann for oppvarming og kjøling av flere bygg i Bjørvika, blant annet nytt Deichmanske hovedbibliotek og nytt Munch museum. Vanninntaket vil være på 20 m dyp, og det er planlagt at utslippet skal plasseres på 8 m dyp. Det er planlagt at vannmengden som skal gå gjennom anlegget vil være 400 l/s. I rapporten blir effekter av temperaturendringer nær utslippspunktet og tilførsel av næringssalter vurdert.

Ved utslipp av oppvarmet vann (9 °C høyere) på sommeren og avkjølt vann (3 °C lavere) på vinteren, så vil ikke temperaturavviket bli større enn 1 °C i en avstand på 5-10 m fra utslippspunktet. Det amerikanske miljødirektoratet (EPA) anser et temperaturavvik på 1 °C som akseptabelt, og det er liten sannsynlighet for at det blir noen biologiske effekter av temperaturendringer utenfor denne avstanden fra utslippspunktet.

Ved utslipp på 8 m med en vannmengde på 400 l/s vil det være en netto tilførsel av næringssalter som tilsvarer 13 % av årsmidlet tilførselen av fosfor og 5 % av årsmidlet tilførsel av nitrat fra Akerselva. De tilsvarende tallene med en vannmengde på 225 l/s var henholdsvis 7 og 3 %. I lange perioder på sommeren med lav vannføring i Akerselva, så vil energianlegget tilføre en mengde fosfat til den eufotiske sonen som er av samme størrelsesorden som tilførselen av fosfat fra Akerselva. Denne tilførselen vil bidra til å forringe vannkvaliteten i overflatelaget, og det anbefales å legge utslippet dypere enn dette. Ved å legge utslippet på 11 m vil utslippsskya innlagres mellom 11 og 14 m, som er nederste del av den eufotiske sonen, og man unngår da å bidra til å forringe vannkvaliteten i overflatelaget.

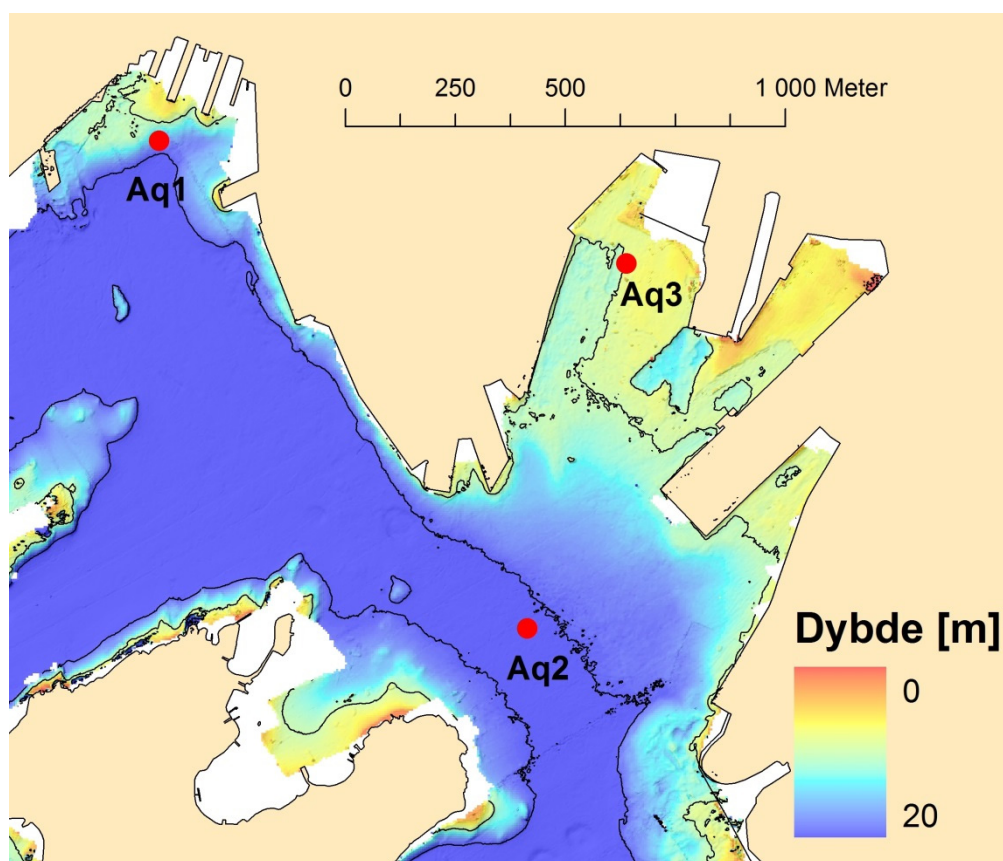
1. Bakgrunn og formål

Det skal benyttes sjøvann for oppvarming og kjøling av flere bygg i Bjørvika, blant annet nytt Deichmanske hovedbibliotek og nytt Munch museum. Vanninntaket vil være på 20 m dyp i nærheten av stasjon Aq2 i **Figur 1**. Detaljene i bunnforholdene inne ved Operaen i Bjørvika er vist i **Figur 2**.

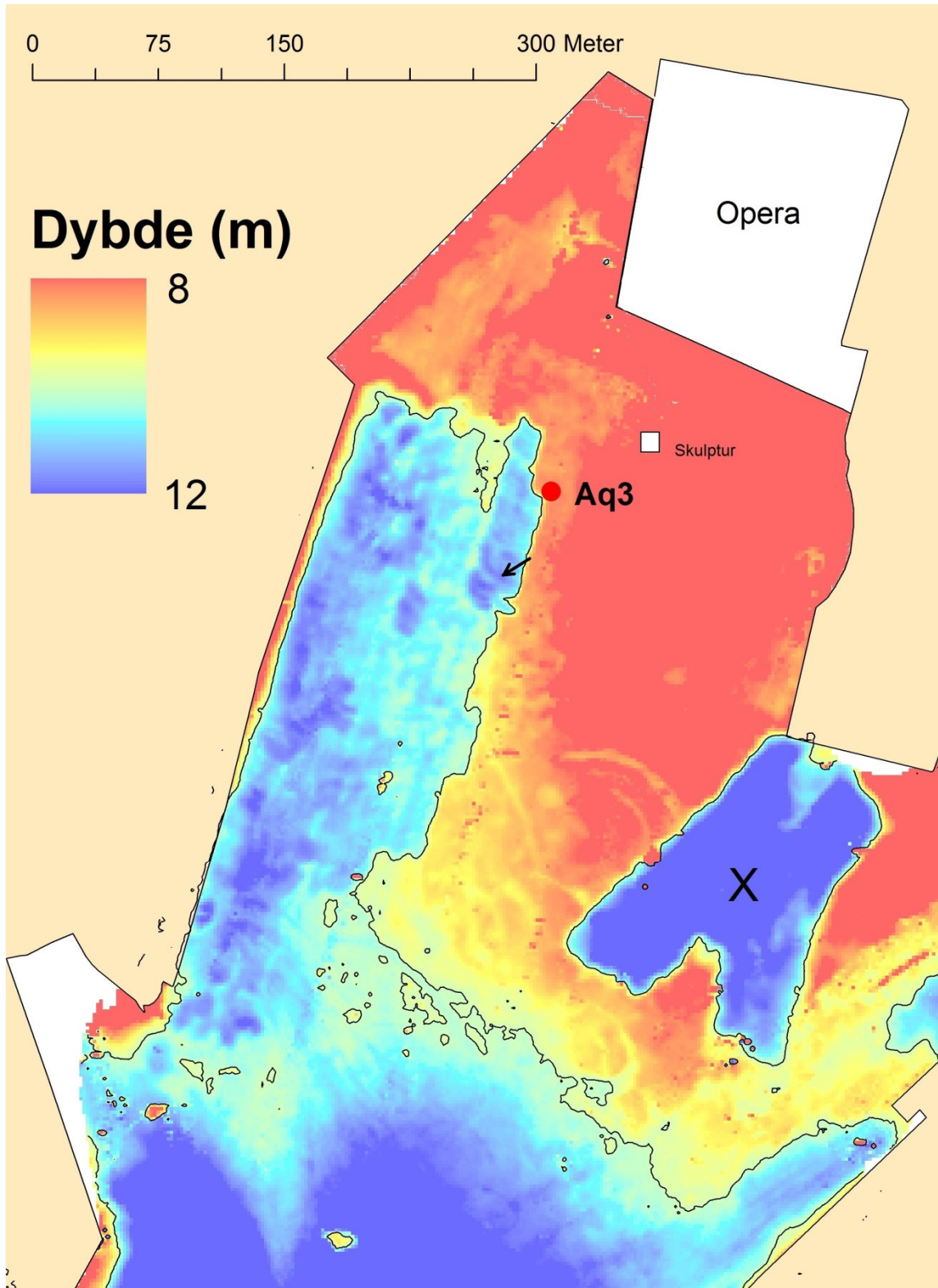
NIVA har tidligere vurdert konsekvensene av et slikt utslipp med vannmengder opp til 225 L/s med vanninntak på 20 m (Molvær og Bjerkgeng, 2013). Her ble det lagt til grunn at sjøvannet avkjøles før utslipp opp mot 3 °C på sommeren og oppvarmes opp mot 9 °C på vinteren, og to alternativer ble vurdert, utslipp på 8 m og utslipp på 20 m dyp. Det ble funnet at avløpsvannet vanligvis innlagres nær bunn både ved avkjøling og oppvarming. Videre ble det funnet at temperaturen i avløpsvannet i en avstand av ca. 10 m fra utslippsrøret ikke avviker mer enn 1 °C fra temperaturen i det omkringliggende vannet. Det ble konkludert at det ville være liten sannsynlighet for at man ville se effekter av temperaturendringer i resipienten.

Når sjøvann hentes og slippes ut på samme dyp vil det ikke være noen netto tilførsel av næringssalter, og heller ingen endring i algevekst. Ved utslipp på 8 m vil det være en netto tilførsel av næringssalter som tilsvarer 7 % av tilførselen av fosfor og 3 % av tilførselen av nitrat fra Akerselva.

I denne rapporten blir det vurdert om disse tidligere konklusjonene endres hvis vannmengden i anlegget økes til 400 L/s.



Figur 1. Kart over området. Fargeskalaen angir dyp ned til 20 m og konturlinjer er tegnet for hver 10. meter. Der hvor det ikke fins dybde data er det hvit farge. De røde prikkene angir stasjoner fra overvåkingsprogrammet for Indre Oslofjord. Dybde data er levert av NGU (Lepland et al., 2009).



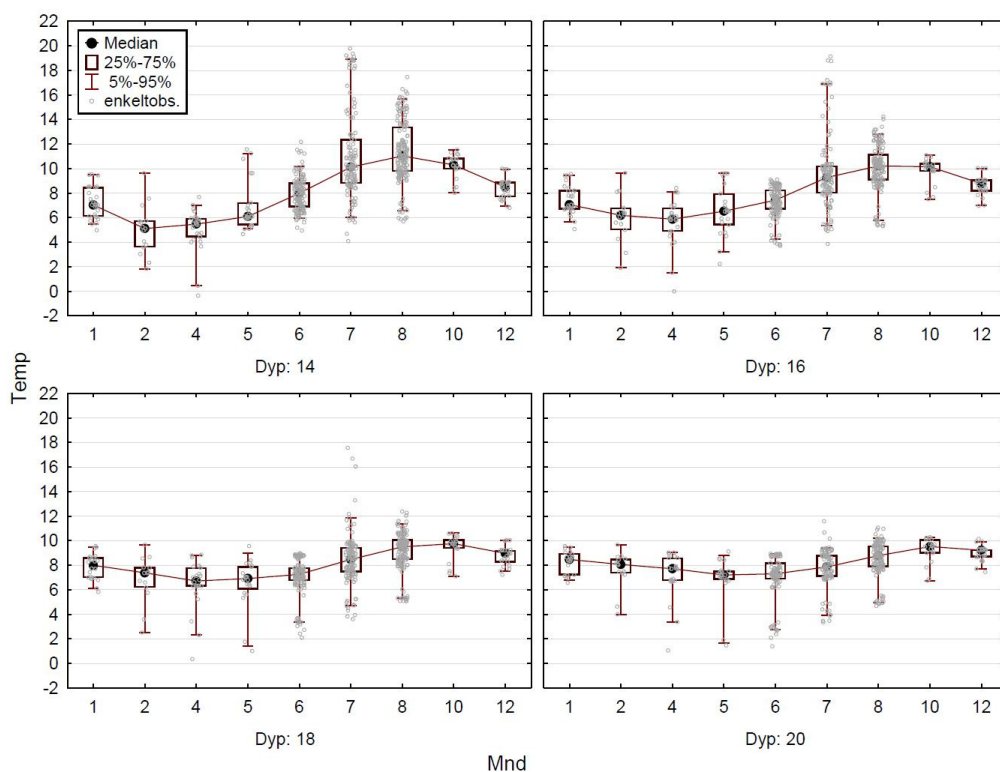
Figur 2. Dybdeforholdene i området hvor utslippet vil ligge. Fargeskalaen angir dyp fra 8 m til 12 m. Rød farge betyr 8 m eller grunnere, mens blå betyr 12 m eller dypere. Den svarte konturlinjen angir 10 meters dyp. Der hvor det ikke fins dybde data er det hvit farge. Den røde prikken angir stasjonen Aq3 fra overvåkningsprogrammet for Indre Oslofjord. Dybde data er levert av NGU (Lepland et al., 2009).

2. Beskrivelse av topografi og hydrografi

Figur 1 viser et kart over området rundt Bjørvika og Bispevika hvor bunntopografien er vist på en fargeskala. Dybde dataene er levert av NGU (Lepland, et al., 2009) og har en horisontal oppløsning på 5 m. Dybden øker fra omtrent 6 m inne ved Operatunnelen til omtrent 15 meter øst for Vippetangen. Det er et område med dybder på 10-11.5 meter som strekker seg fra Vippetangen og inn mot stasjon Aq3. Ute ved stasjon Aq2 er det litt over 20 m. Herfra er det åpen forbindelse til resten av fjorden gjennom en over 20 m dyp renne.

NIVA har siden 1973 utført overvåking av fjorden på oppdrag fra Fagrådet for vann- og avløpsteknisk samarbeid i Indre Oslofjord. Her har det blitt samlet inn hydrografidata, det vil si vertikale profiler av temperatur og saltholdighet. Overvåkningsprogrammet består av seks årlige tokt, som hovedsakelig har vært utført i februar, april, mai, august, oktober og desember. I tillegg til dette har det i de seinere år vært utført ukentlig målinger i månedene juni-august. Data er beskrevet i overvåkningsrapporter, som Berge et al. (2014). Tre av stasjonene fra dette programmet er vist i **Figur 1**.

Fra disse dataene vet man at det som regel er et kraftig sprangsjikt i fjorden i området 15 til 20 m. Det vil si at vannets egenvekt øker raskt i dette dybdeintervallet. Dette skyldes ferskvannstilførsel og Drøbakerskelen, som hindrer horisontal innstrømning under 20 m mesteparten av året. **Figur 3** viser hvordan temperaturen varierer gjennom året i dybdeintervallet 14 til 20 m på stasjonene som ligger nærmest Bjørvika. Varmt overflatevann blir hovedsakelig bare blandet ned til øverste del av sprangsjiktet (omtrent 14 m), mens temperaturen i vannet lenger ned i sprangsjiktet varierer mindre gjennom året. I perioden august til desember er 95 persentilen til temperaturen på 20 m dyp på litt over 10 °C. Det vil si at 95 % av tiden er temperaturen lavere enn dette, men den blir ikke høyere enn litt under 12 °C.

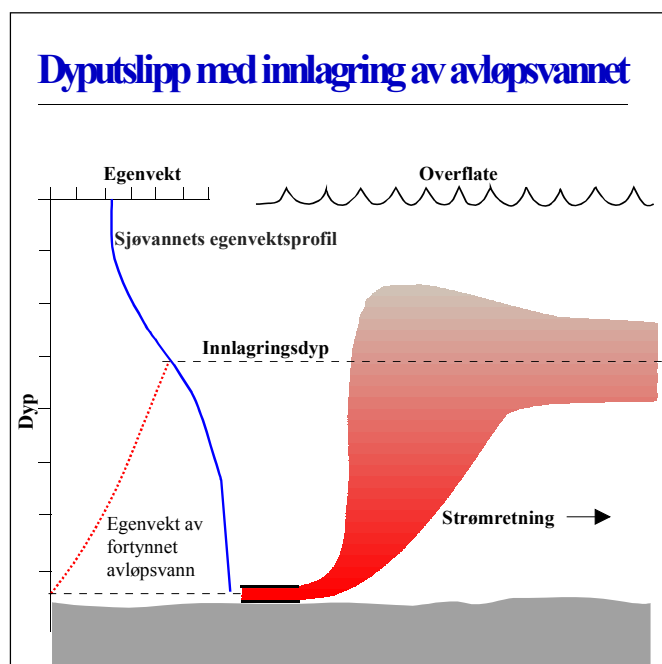


Figur 3. Årstidsvariasjon for temperatur på ulike dyp (14, 16, 18 og 20 m) i Bjørvika, Oslo havn og Bekkelagsbassenget (Stasjoner Aq2, Aq3, Ap2, Ap3 og Cq1), basert på data fra 2004-2012. Statistikken er gruppert på måned, og rådata er vist innenfor hver måned med randomisert plassering langs den horisontale aksene. Figuren er hentet fra Bjerkeng (2013).

3. Beregning av innlagringsdyp og temperatur

Det er vanlig å slippe ut avløpsvann fra blant annet renseanlegg på større dyp. Dette vannet er da ferskt og vil være lettere enn vannet i resipienten, og dermed stige oppover. Avløpsstrålen vil da ha positiv oppdrift, men samtidig vil sjøvann blandes inn, og avløpsstrålens egenvekt øker. Ofte er resipienten lagdelt, slik som tilfellet er i Indre Oslofjord. Det betyr at egenvekten minker oppover i vannsøylen, og egenvekten til sjøvannet rundt avløpsstrålen blir mindre og mindre, mens avløpsstrålen stiger oppover. Når egenvekten til avløpsstrålen er lik tettheten til vannet rundt på grunn av innblanding, har ikke lenger avløpsstrålen positiv oppdrift. Avløpsvannet vil likevel stige et stykke oppover, helt til all bevegelsesenergien i strålen er brukt opp, og den vil synke noe ned igjen til den når laget med samme egenvekt igjen. Vi sier at avløpsvannet har nådd sitt innlagringsdyp. **Figur 4** illustrerer dette, hvor stigende avløpsvann når sitt innlagringsdyp, og siden spres horisontalt. Til venstre for skissen av avløpsskyen, vises to grafer som henholdsvis viser egenvekten til resipienten (blå linje) og avløpsvannet (rød stiplet linje). Innlagringsdypet vil være omtrent hvor de to kurvene krysser hverandre. Vi kan merke oss at hvis vannmassen er veldig homogen, det vil si at den blå kurven er nesten vertikal, så vil det bli vanskelig å oppnå et innlagringsdyp under overflaten.

Hvis saltvann som er hentet fra dypet slippes ut lenger opp i vannsøylen hvor vannets egenvekt er mindre, vil avløpsstrålen ha negativ oppdrift og synke nedover. Vann fra resipienten vil også nå blandes inn og dermed minke avløpsvannets egenvekt helt til det finner sitt innlagringsdyp på samme måte som beskrevet over.



Figur 4. Prinsippskisse som viser hvordan et dyputslipp av avløpsvann fungerer i forhold til innlagring. En forutsetning for innlagring er at egenvekten for fjordvannet øker med dypet (vertikal sjiktning).

Vi benytter programmet Visual Plumes (Frick et al., 2001) til å beregne dette innlagringsdypet. Programmet beregner samtidig hvor mye avløpsvannet blir fortynnet med vannet i resipienten. Fortynningen blir videre benyttet til å beregne hvordan temperaturen i avløpsstrålen varierer mens det brer seg vekk fra utslippspunktet. Vi har benyttet profiler av temperatur og saltholdighet hentet fra overvåkingsprogrammet i beregningene. Det er benyttet 5 profiler fra vinteren som avkjøles 3 °C før

utslipp, og 12 profiler fra sommeren som oppvarmes 9 °C før utslipp. De verdiene som er brukt i beregningene er vist i **Tabell 1**.

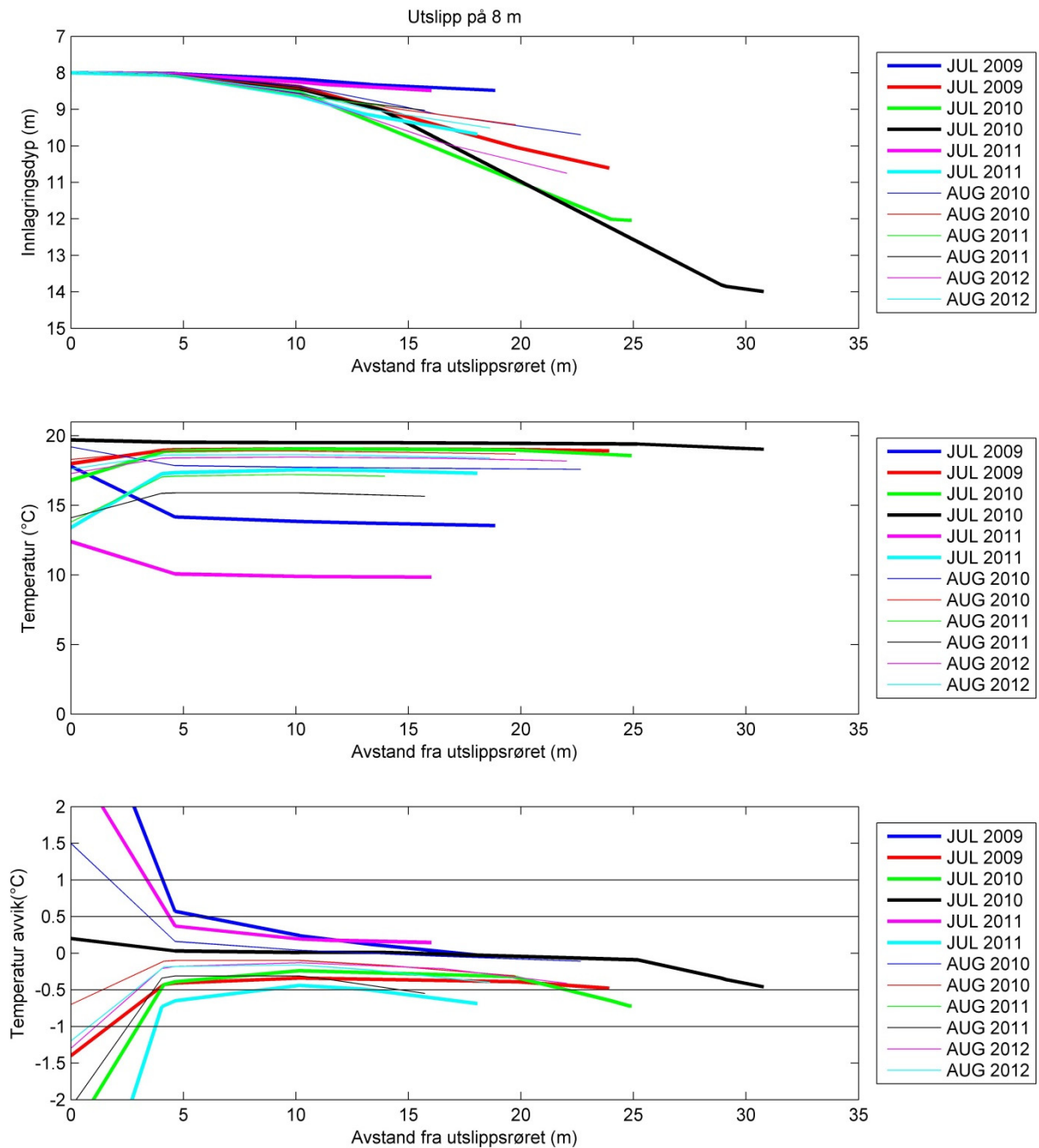
Tabell 1. Saltholdighet og temperatur på inntaksvannet benyttet i beregningene. På vinteren er avløpsvannet avkjølt 3 °C, mens det om sommeren er oppvarmet 9 °C.

Profil nr.	Tidspunkt for måling	Saltholdighet (PSU) ved 20 m	Temperatur (°C) ved 20 m	Utslipps-temperatur (°C)
Vinter profiler				
1	Jan 2010	32,4	9,6	6,6
2	Feb 2010	32,1	8,6	5,6
3	Jan 2011	33,1	7,0	4,0
4	Jan 2012	30,2	7,2	4,2
5	Feb 2012	29,9	4,6	1,6
Sommer profiler				
1	Jul 2009	31,9	8,8	17,8
2	Jul 2009	31,5	9,0	18,0
3	Jul 2010	31,4	7,8	16,8
4	Jul 2010	29,7	10,7	19,7
5	Jul 2011	29,2	3,4	12,4
6	Jul 2011	29,1	4,4	13,4
7	Aug 2010	29,7	10,2	19,2
8	Aug 2010	30,2	9,3	18,3
9	Aug 2011	29,5	4,8	13,8
10	Aug 2011	29,8	5,1	14,1
11	Aug 2012	28,6	8,3	17,3
12	Aug 2012	28,4	8,6	17,6

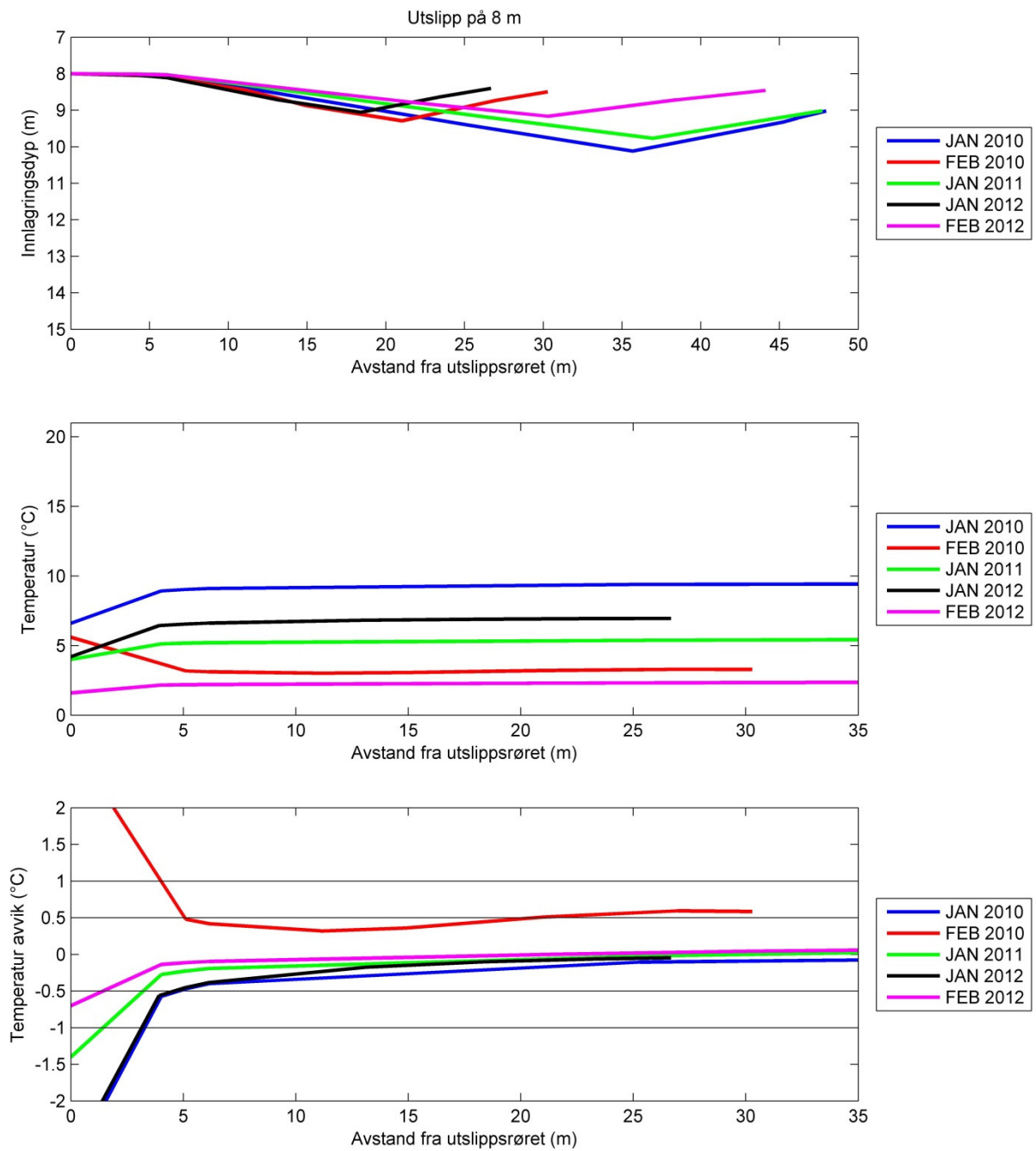
Ved utslipp på 8 m (**Figur 5** og **Figur 6**) så vil utslippsskyen innlagres ved omtrent 8 m eller dypere både på sommeren og vinteren. Temperaturavviket i utslippsskya i forhold til temperaturen til vannet i resipienten er mindre enn 1 °C i en avstand av 5 m fra utslippspunktet.

Ved utslipp på 20 m (**Figur 7** og **Figur 8**) så vil utslippsskyen innlagres mellom 18 og 20 m på sommeren og 20 m eller dypere på vinteren. Temperaturavviket i utslippsskya i forhold til temperaturen til vannet i resipienten er mindre enn 1 °C i en avstand av 7 m fra utslippspunktet.

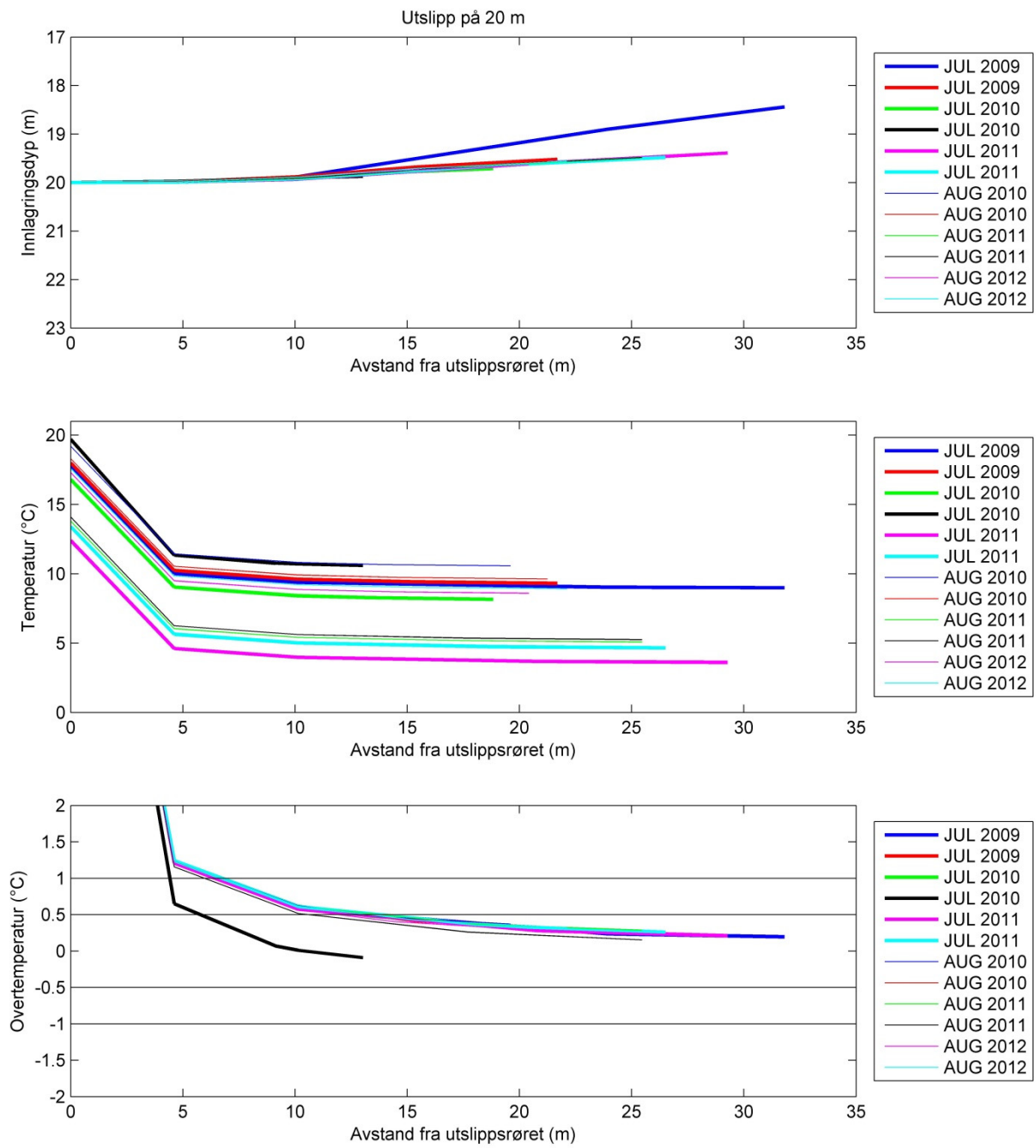
I et utslipp mellom disse to dypene (ved 11 m, se **Figur 9**) så vil utslippsskya innlagres i dybdeintervallet 11 til 14 m.



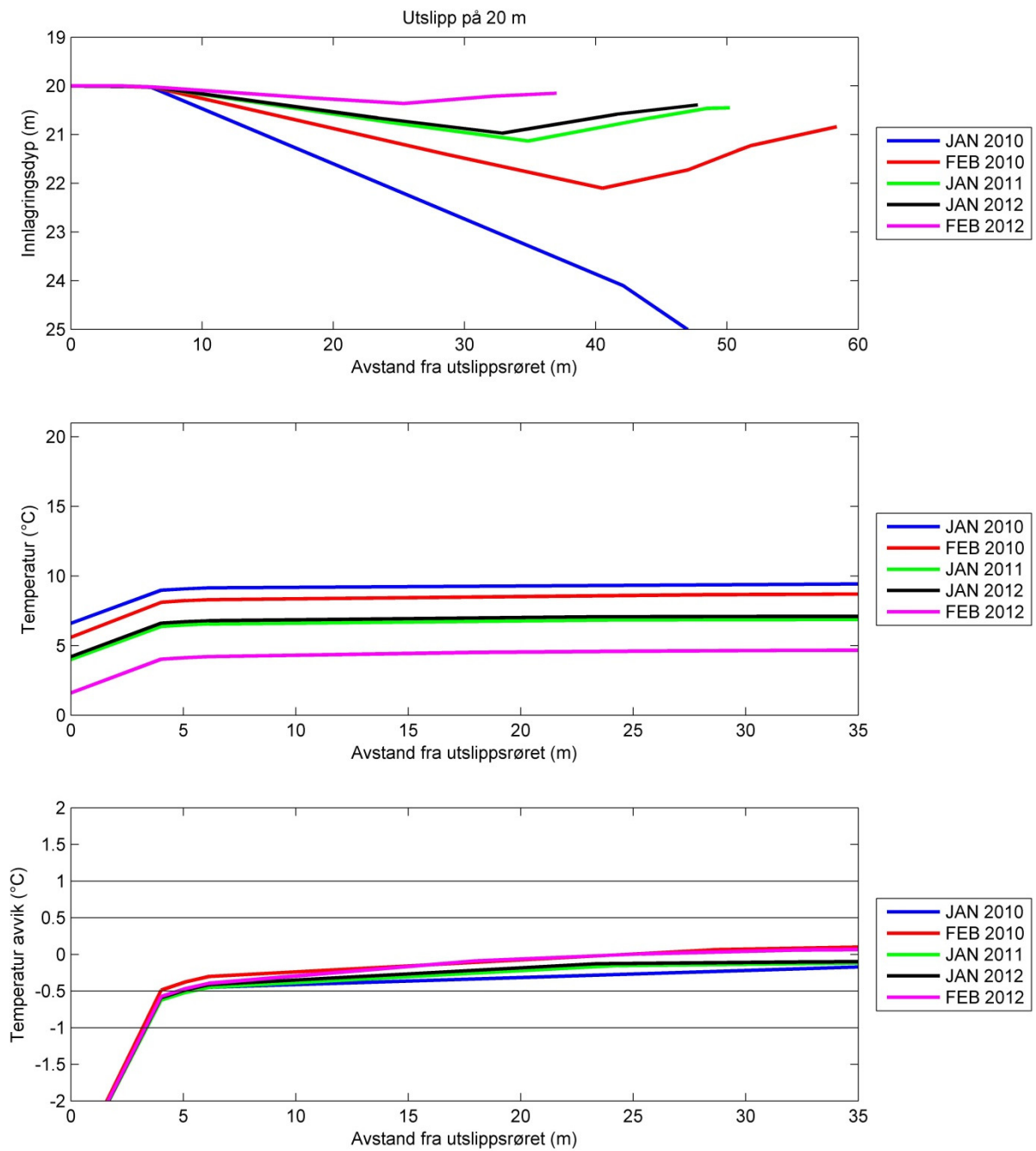
Figur 5. Beregnet innlagringsdyp, temperatur i utslippsskya og temperaturavvik ved utslipp på 8 m om sommeren.



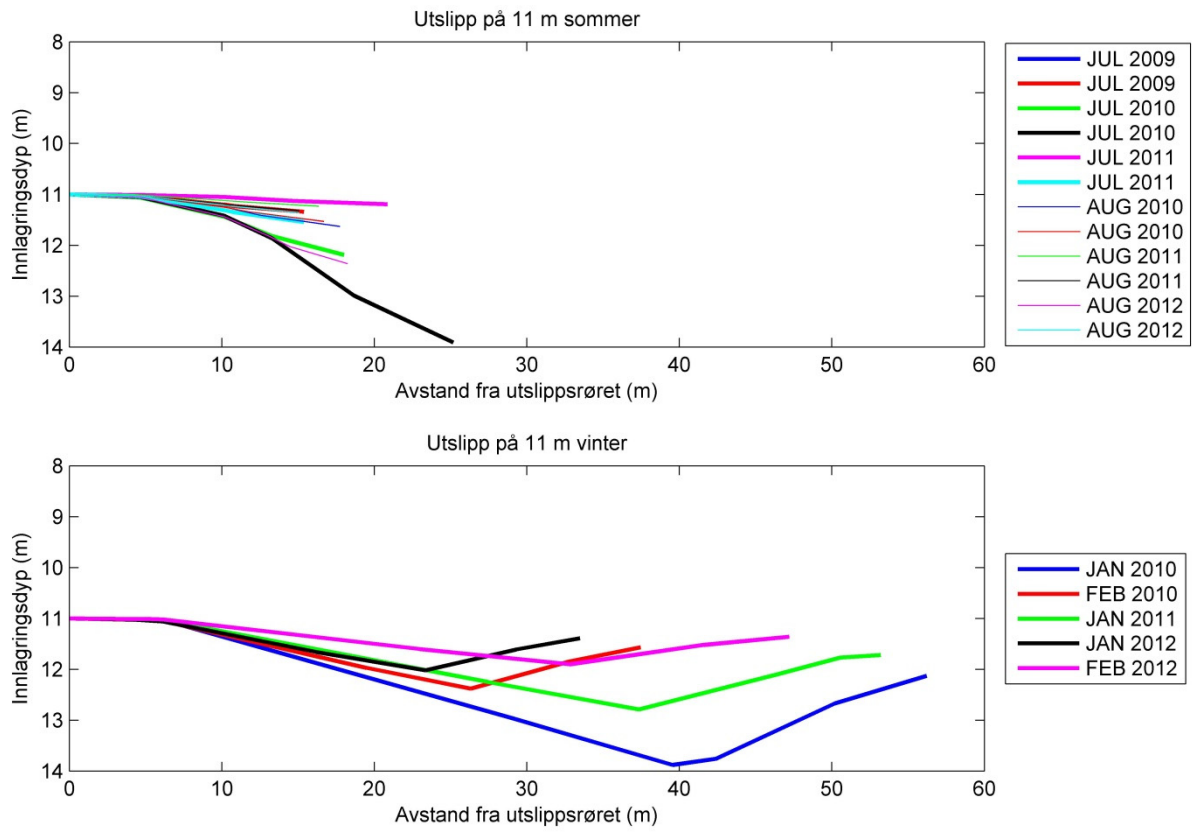
Figur 6. Beregnet innlagringsdyp, temperatur i utslippsskya og temperaturavvik ved utslipp på 8 m om vinteren.



Figur 7. Beregnet innlagringsdyp, temperatur i utslippsskya og temperaturavvik ved utslipp på 20 m om sommeren.



Figur 8. Beregnet innlagringsdyp, temperatur i utslippsskya og temperaturavvik ved utslipp på 8 m om vinteren.



Figur 9. Innlagringsdyp ved utslipp i 11 meters dyp på sommeren (øverst) og vinteren (nederst).

4. Vurdering av økt tilførsel av næringsalter

Siden planteplankton lever nær overflata hvor det er tilgang på lys (eufotisk sone), så vil det på sommerhalvåret vanligvis være mindre konsentrasjon av næringsalter her enn lenger ned i dypet, hvor det er mindre alger. Ved å transportere vann fra dypet for så å slippe det ut nærmere overflata, vil man skape en netto vertikal transport av næringsalter, som potensielt vil kunne øke algeveksten. I områder hvor man ønsker badevannskvalitet, og som også er belastet fra andre kilder bør dette unngås.

Hvis utslippet legges på 20 m så vil det ikke være noen vertikal transport av næringsalter, siden avløpsvannet innlagres i omtrent samme dyp som det hentes fra.

Ved utslipp i 8 m vil det være en netto vertikal transport av næringsalter fra 20 m til 8 m, siden konsentrasjonen av henholdsvis nitrat og fosfat er 180 µg N/l og 20 µg P/l høyere i dypet enn ved 8 m (Molvær og Bjerkeng, 2013). Med en vanntransport på 400 l/s, så vil dette gi en transport av fosfat på 0,7 kg P/døgn og av nitrat på 6,2 kg N/døgn.

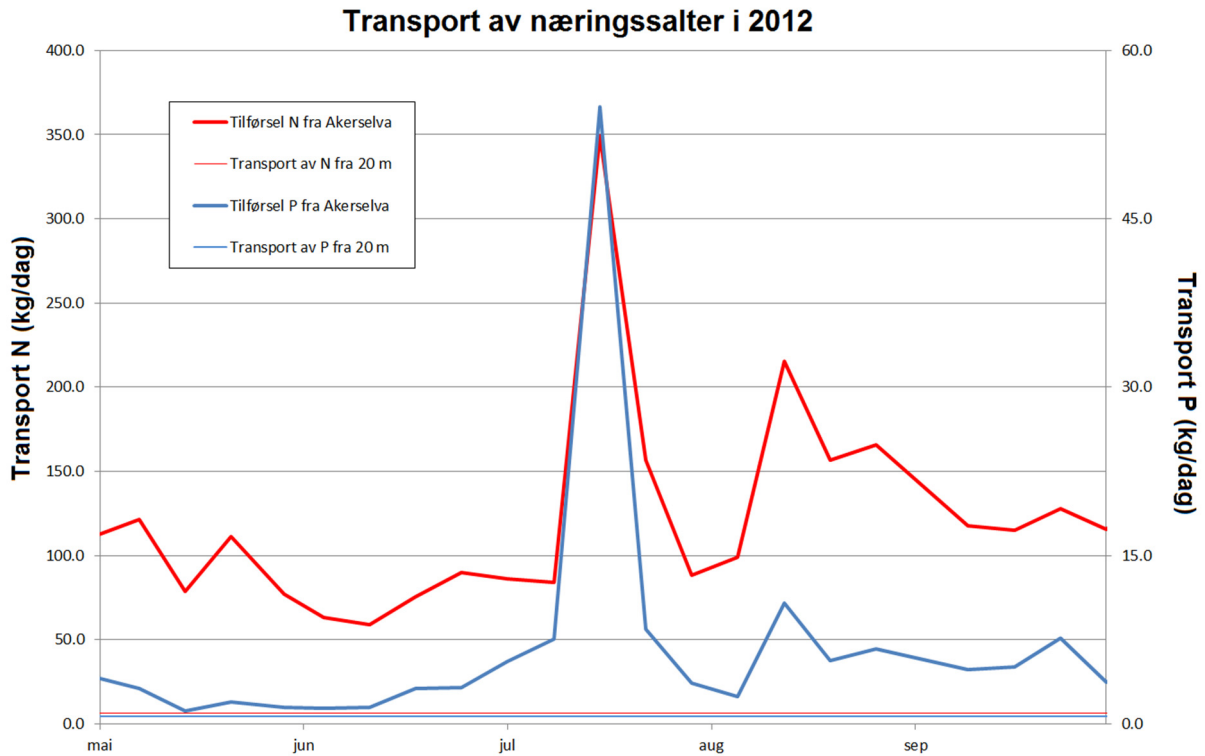
Vannkvaliteten i Akerselva måles ukentlig (Beschoner og Sjølander, 2012). Transport av næringsalter fra elva kan beregnes ved å multiplisere vannføring med konsentrasjon av næringsalter. Tilførslene fra 20 m er sammenlignet med de fra Akerselva i **Figur 10**. Molvær og Bjerkeng (2013) sammenlignet tilførselen fra 20 m ved en vannmengde på 225 l/s med middelverdien av transportene fra Akerselva, og fant at dette utgjorde 7 % av fosfat transporten og 3 % av nitrat transporten. Når vannmengden økes til 400 l/s så vil økt tilførsel utgjøre 13 % av fosfat transporten og 5 % av nitrat transporten.

Det må påpekes at dette resultatet får man hvis man sammenligner med middelverdien til transporten fra Akerselva. I perioden mai til juni er økt tilførsel av fosfat fra 20 m av samme størrelsesorden som tilførselen fra Akerselva. Dette er en periode hvor algeveksten er begrenset av lav tilgang på næringsalter, og det kan være uheldig å øke tilførselen til den delen av vannsøylen hvor algene har tilgang til lys. **Figur 11** viser målinger av klorofyll fluorescens som er et grovt mål på planteplankton biomasse. Fra figuren ser man at algeveksten forgår omtrent ned til 8 m dyp.

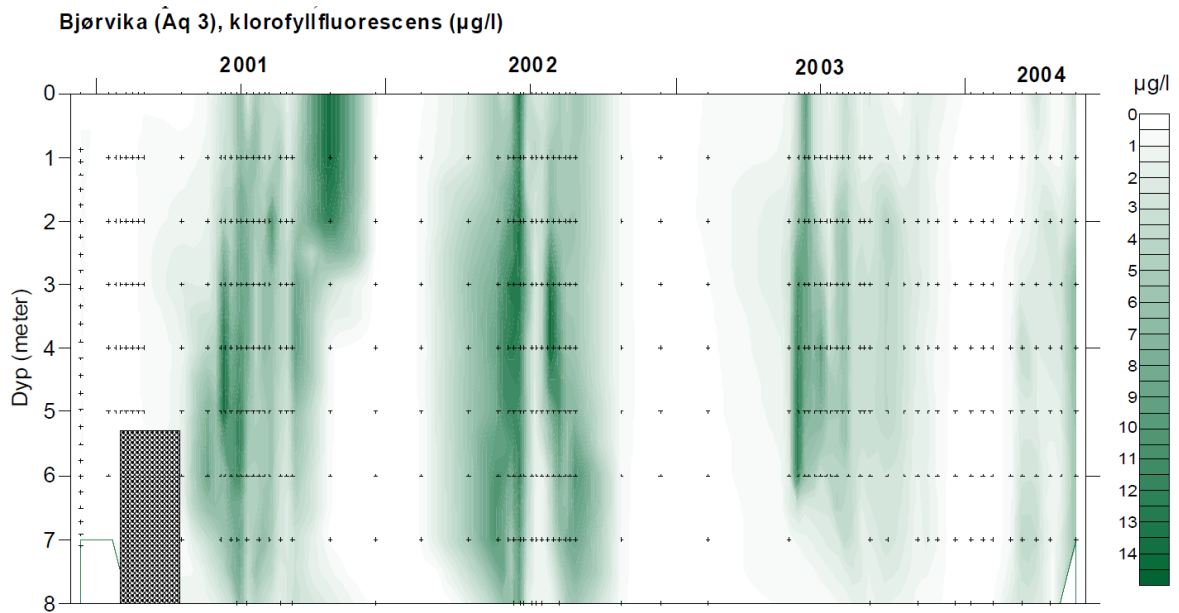
Utslippsvannet som er hentet fra 20 m vil vanligvis legge seg langs bunn (**Figur 5** til **Figur 9**). Ved å legge utslippet kun noen meter dypere enn 8 m, så vil man unngå å få økt tilførsel av næringsalter til den eufotiske sonen. Siktedypet er et mål på hvor dyp den eufotiske sonen er. Siktedypet ved stasjon Aq2 er i klassen «Dårlig» for de tre siste årene (Berge et al., 2014), og et realistisk mål er å nå klassen «Moderat» i nær fremtid. Ved en vannkvalitet i klassen moderat er siktedypet mellom 4.5 og 6.0 m (Veileder 02:2013) som tilsvarer en eufotisk sone på 8-11 m (Aas et al. 2014). Ved å legge utslippet på omtrent 11 m eller dypere vil man ikke bidra til å forringe vannkvaliteten i overflatelaget. I det tilfellet vil utslippsskya innlagres mellom 11 og 14 m (se **Figur 9**).

På **Figur 2** er et forslag til utslippspunkt markert med en svart pil. Hvis utslippet blir liggende i omtrent den retningen pilen antyder, vil vannet legge seg på bunn dypere enn 10 m, og ha fri forbindelse ut i fjorden. Volumet av vannmassen under 10 m dyp, fra pila og omtrent 400 m utover langs kaia, er ca. 45000 til 50000 m³. Med en vannmengde i utslippet på 250 l/s, så antyder dette en oppholdstid på vannet på 50-56 timer, før det når de mer sentrale deler av fjorden.

Det bør unngås at vannet havner i det innelukkede bassenget markert med en «X» i **Figur 2**, for i det tilfellet er det risiko for å danne vannmasser som kan bli liggende i lengre tid. Basert på dybdeedata fra Lepland et al. (2009), så er det opp mot 14 m dyp i det området.



Figur 10. Transport av næringsalter i sommerhalvåret 2012.



Figur 11. Klorofyllfluorescens (indirekte mål på planteplanktonbiomasse) i Bjørnvika desember 2000 til mai 2004 hentet fra Magnusson (2004). Punkter i figuren representerer tidspunkt og dyp for prøvetaking. Skalaen er vist til høyre i figuren. (Et skravert felt nederst til venstre viser manglende observasjoner).

5. Samlet vurdering

Ved utslipp av oppvarmet vann (+9 °C) på sommeren og avkjølt vann (- 3 °C) på vinteren, så vil ikke temperaturforskjellen bli større enn 1 °C i en avstand på 5-10 m fra utslippspunktet. Det amerikanske miljødirektoratet (EPA) anser en temperaturredifferanse på 1 °C som akseptabelt (se Molvær og Bjerkeng, 2013), og det er liten sannsynlighet for at det blir noen biologiske effekter av temperaturendringer utenfor denne avstanden fra utslippspunktet.

Ved utslipp på 8 m med en vannmengde på 400 l/s vil det være en netto tilførsel av næringsalter som tilsvarer 13 % av tilførselen av fosfor og 5 % av årsmidlet tilførselen av nitrat fra Akerselva. De tilsvarende tallene med en vannmengde på 225 l/s var henholdsvis 7 og 3 %. I lange perioder på sommeren med lav vannføring så vil energianlegget tilføre en mengde fosfat til den eufotiske sonen som er av samme størrelsesorden som tilførselen av fosfat fra Akerselva. Denne tilførselen vil bidra til å forringe vannkvaliteten i overflatelaget, og det anbefales å legge utslippet dypere enn dette. Ved å legge utslippet på omtrent 11 m vil utslippsskya innlagres mellom 11 og 14 m, som er nederste del av den eufotiske sonen, og man unngår da å bidra til å forringe vannkvaliteten i overflatelaget.

6. Litteratur

Aas, E., Høkedal, J., & Sørensen, K. (2014). *Secchi depth in the Oslofjord-Skegerrak area: theory, experiments and relationship to other quantities*. Ocean Science, 10, 177-199.

Berge, J. A., Amundesen, R., Bratrud, T., Bølling, N., Erdahl, E., Gitmark, J., Gundersen, H., Hinchcliffe, C., Holt, T. F., Haande, S., Hylland, T. F., Johnsen, T. M., Kroglund, T., Ledand, A., Norli, M., Lømsland, E. R., Staalstrøm, A., Wisbech, C. og Wolf, R. (2014). *Overvåkning av indre Oslofjord i 2013*. NIVA-rapport 6698-2012. 137 sider.

Beschorner, A., & Sjølander, I. (2012). *Vannkvalitet i byvassdrag og fjord 2012*. Oslo Kommune, Vann- og avløpsetaten. 56 sider.

Bjerkeng, B. (2013). *Miljømessige forhold ved kjøleløsning med rør-coil i Oslofjorden for nye Deichmanske hovedbibliotek. Enkel vurdering av temperaturendringer og virkning på næringssalttransport*. NIVA-rapport 6538-2013. 29 sider.

Frick, W. E., Roberts, P. J., Davis, L. R., Keyes, J., Baumgartner, D. J., & George, K. P. (2001). *Dilution Models for Effluent Discharges, 4. edition (Visual Plumes)*. Athens Georgia, USA.: Environmental Research Division, U. S. Environmental Protection Agency.

Lepland, A., Bøe, R., Lepland, A., & Totland, O. (2009). *Monitoring the volume and lateral spread of disposed sediments by acoustic methods, Oslo Harbour, Norway*. J. Environ. Man., 11(90), 3589-3598.

Magnusson, J. (2004). *Forundersøkelse til overvåkning av mudringsarbeider i samband med bygging av senketunnel i Bjørvika/Bispevika: Vannkvalitet*. NIVA-rapport 4929-2004. 26 sider.

Miljødirektoratet. (2013). Veileder 02:2013, *Klassifisering av miljøtilstand i vann, Økologisk og kjemisk klassifisering for kystvann, grunnvann og elver*. 263 sider.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsniv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no