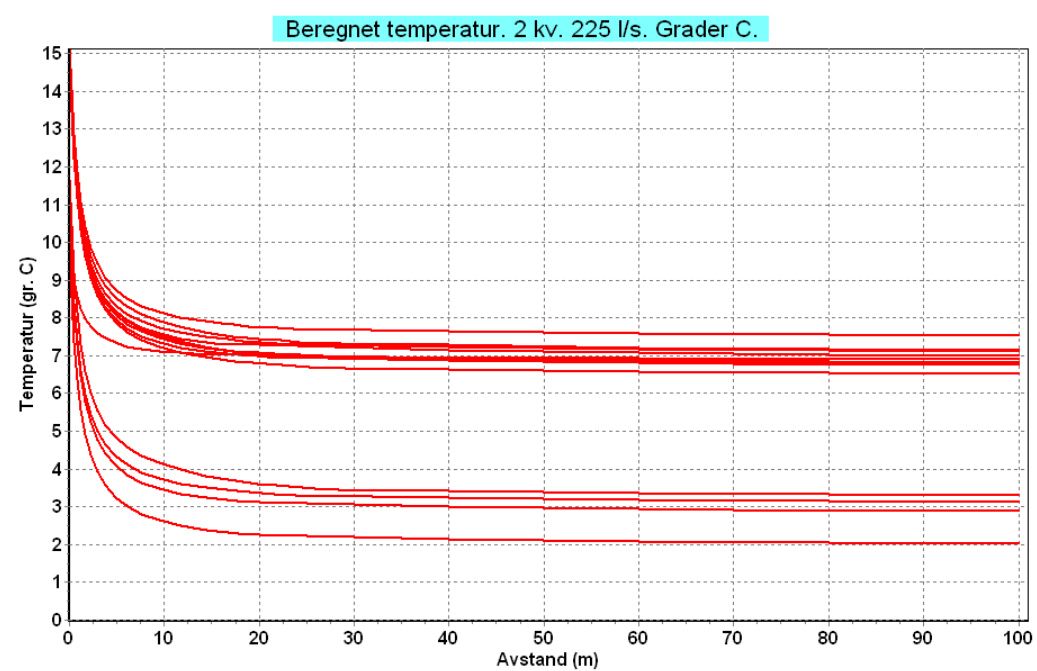


Miljøkonsekvensvurdering. Utslipp av sjøvann fra energianlegg, Bjørvika, Oslo.

Vurdering av temperaturendringer og næringssalttransport



RAPPORT

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

NIVA Region Midt-Norge


Høgskoleringen 9
7034 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Miljøkonsekvensvurdering. Utslipp av sjøvann fra energianlegg, Bjørvika, Oslo. Vurdering av temperaturendringer og nærings salttransport.	Løpenr. (for bestilling) 6574-2013	Dato 9.10 2013
	Prosjektnr. Udemr. 13335	Sider Pris 43
Forfatter(e) Jarle Molvær Birger Bjerkeng	Fagområde Oseanografi	Distribusjon Fri
	Geografisk område Oslo	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Oslo kommune, Kulturbyggene i Bjørvika. Kontaktperson Per Henrik Gulbrandsen, ÅF Advansia AS.	Oppdragsreferanse Oslo Kommune saksref. 201301989-8
--	---

<p>Sammendrag</p> <p>Man vurderer å bruke sjøvann for oppvarming/kjøling av flere bygg i Bjørvika. Sjøvannet hentes fra ca. 20 m dyp og man har vurdert utslipp i 8 m og 20 m dyp. I begge tilfeller vil kjølevannet innlagres nær bunnen, og det er liten sannsynlighet for effekter av temperaturheving eller –senking utenfor en avstand på 20-30 m fra utslippet. Utslipet vil ikke påvirke vandring av fisk mellom Akerselva og fjorden.</p> <p>Ved utslipp i ca. 8 m dyp vil kjølevannet medføre en netto tilførsel av næringsalter fra 20 m dyp sør for Bjørvika til 8 m dyp inne i Bjørvika. Sammenlignet med tilførselen fra Akerselva til overflatelaget i sommerhalvåret 2012 er transporten pga. energianlegget meget liten og utgjør 3-7 % for fosfor og 2-3% for nitrogen. At kjølevannet legger seg nær bunnen, hvor lysforholdene begrenser algeveksten, taler også for at det vil ha liten virkning på algeveksten i sommerhalvåret.</p>
--

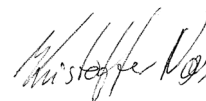
<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kjøleanlegg 2. Bjørvika 3. Utslipp 4. Temperatur 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Cooling system 2. Bjørvika 3. Outfall 4. Temperature
---	---



Birger Bjerkeng
Prosjektleder



Kai Sørensen
Forskningsleder



Kristoffer Næs
Forskningsdirektør

MILJØKONSEKVENSVURDERING
UTSLIPP AV SJØVANN FRA ENERGIANLEGG, BJØRVIKA, OSLO
Vurdering av temperaturendringer og næringsalttransport

Forord

Man vurderer å bruke sjøvann fra 20 m dyp for oppvarming/kjøling av nytt Munchmuseum, nytt Deichmanske hovedbibliotek og eventuelt også andre bygg i Bjørvika. Norsk institutt for vannforskning har blitt forespurt av Oslo kommune, Kulturbyggene i Bjørvika, ved ÅF Advansia AS om å foreta en miljøkonsekvensvurdering av en slik sjøvannsløsning. Denne rapporten er resultatet av en slik vurdering.

Etter avtale med oppdragsgiver er arbeidet i hovedsak utført av Jarle Molvær, Molvær Resipientanalyse, i samarbeid med undertegnede, som også har vært prosjektleder på NIVA. Arbeidet er gjort på oppdrag for Oslo kommune, Kulturbyggene i Bjørvika. Kontaktperson for oppdragsgiver har vært Per Henrik Gulbrandsen, ÅF Advansia AS.

Oslo, 9. oktober 2013

Birger Bjerkeng

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Bakgrunn og formål	7
2. Beskrivelse av topografi og bunnforhold	7
3. Metodikk og data	8
3.1 Metodikk for beregning av kjølevannets fortykning og temperatur	8
3.2 Data	9
3.3 Virkning av temperaturendring i sjøvannet	16
4. Resultater og vurderinger	17
4.1 Kjølevannets innlagring og temperatur	17
4.2 Utslipp i 20 m dyp	19
4.3 Utslipp i 8 m dyp	31
4.4 Næringssaltpåvirkning	39
4.4.1 Utslipp i 20 m dyp	39
4.4.2 Utslipp i 8 m dyp	39
5. Litteratur	40
Vedlegg A. Temperaturdata fra stasjon Ap2 for 2010-2012.	41
Vedlegg B. Statistikk for temperaturdata i Oslo havn 2004-2012 -	42

Sammendrag

Man vurderer å bruke sjøvann for oppvarming/kjøling av nytt Munchmuseum, nytt Deichmanske hovedbibliotek og eventuelt andre bygg i Bjørvika. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) har blitt forespurt av Oslo kommune, Kulturbyggene i Bjørvika, ved ÅF Advansia AS (ÅF) om å foreta en miljøkonsekvensvurdering av en slik sjøvannsløsning. Det antas at kjølevannet hentes fra omkring 20 m dyp.

Beregningene er gjort for inntaksdyp 20 m og utslippsdyp 20 m og 8 m, med vannmengdene 120, 150 og 225 liter/s. Som inngangsdata er brukt hydrografiske data fra Oslo havn og Bjørvika. Sjøvannet vil i første og andre kvartal avkjøles 2,4 - 3 °C før utslipp, og i andre og tredje kvartal vil det bli oppvarmet 7 - 9 °C. Dette er maksimalverdier. Beregninger av kjølevannets¹ innlagring, fortykning med omkringliggende sjøvann og tilhørende temperatur er utført for 35 vertikalprofiler av temperatur og saltholdighet målt utenfor Bjørvika i 2009-2012, med hovedvekt på kvartalene 2 og 3 da temperaturendringen i kjølevannet er størst.

For utslipp i 20 m dyp viser beregningene at kjølevannet til vanlig innlagres nær bunnen både under oppvarming og avkjøling. Det synes usannsynlig at 'skyen' med fortynt kjølevann i sommerhalvåret kan stige høyere enn til 12 - 15 m dyp før den synker noe tilbake og innlagres. I vinterhalvåret ligger den ved bunnen.

Når kjølevann slippes ut med en overtemperatur på 7-9 °C, vil gjennomsnittstemperaturen i 'skyen' av fortynt kjølevann allerede ved en avstand på ca. 10 m fra utslippet avvike mindre enn 1 °C fra temperaturen i det omkringliggende sjøvannet, og temperatureffekten avtar med økende avstand fra utslippet. Selv om temperaturen i sentrum er høyere enn gjennomsnittstemperaturen, betyr dette likevel at sannsynligheten for effekter av temperaturheving utenfor en avstand av 10-20 m fra utslippet er svært liten.

Også ved utslipp i 8 m dyp vil kjølevannet innlagres like over bunnen både under oppvarming og avkjøling. Det synes usannsynlig at 'skyen' med fortynt kjølevann i sommerhalvåret kan påvirke vannkvaliteten høyere enn 6-7 m dyp. Fortyningen blir sannsynligvis litt mindre enn for utslipp i 20 m dyp, og dermed blir vannmassen med overtemperatur >1 °C noe større. Det synes likevel usannsynlig at dette strekker seg mer enn 20-30 m fra utslippet.

Verken med utslipp i 20 m eller 8 m dyp vil det ha noen virkning på vandring av fisk mellom Akerselva og fjorden.

Når kjølevannet hentes fra ca. 20 m dyp og slippes ut omkring samme dyp, vil vannet igjen legge seg nær bunnen, dvs. omkring det dyp som det hentes fra. Det er dermed ikke grunn til å forvente at næringssaltene i utslippsvannet vil endre algeveksten i området.

Næringssaltkonsentrasjonen i 20 m dyp er gjennomgående markert høyere enn i 8 m dyp, og ved utslipp i 8 m dyp får Bjørvikas indre en noe økt tilførsel av næringssalter. Basert på tall for forskjellen i konsentrasjon mellom 20 m dyp og 8 m dyp i vår- og sommermånedene (april, mai og august, 2-5 målinger pr. måned) er det beregnet en netto døgntransport i størrelsesorden 0,2-0,4 kg for total fosfor og 2-3,5 kg for total nitrogen. Sammenlignet med tilførselen av næringssalter fra Akerselva til overflatelaget i Bjørvika for april-august 2012 utgjør dette for fosfor bare 3-7 %, og for nitrogen 2-3 %. At kjølevannet legger seg nær bunnen taler også for meget liten virkning på algeveksten i sommerhalvåret.

Virkinger av temperatursenkingen når anlegget brukes til oppvarming om vinteren er mindre kjent, men her er avkjølingen av vannet fra energianlegget relativt liten (maks 3 °C), og som beregningene for første og fjerde kvartal viser, utjevnes også dette temperaturavviket innen 20-30 m fra utslippet.

¹ For enkelhets skyld brukes betegnelsen kjølevann om både utslippet i sommerhalvåret (kjøling) og vinterhalvår (oppvarming)

Summary

Title: Environmental impact assessment. Discharge of seawater from an energy plant, Bjørvika, Oslo. Evaluation of temperature changes and transport of nutrients

Year: 2013

Authors: Jarle Molvær and Birger Bjerkeng

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-6309-1

The new Deichman main library, the new Munch museum and possibly other buildings at Bjørvika, Oslo, is planned with heating/cooling systems using seawater from approximately 20 m depth in the Oslofjord outside Bjørvika. This study considers discharges of heated/cooled seawater of 120, 150 and 225 litres/s at either 20 or 8 m depth. During summer, the water temperature may increase 7-9 °C, and in winter be reduced by 2,4-3 °C.

Both for discharge at 8 m and 20 m depth the cooling water will be trapped near the bottom, in summer as well as winter.

The effect of increase or decrease in temperature is considered on the basis of a conservative estimate of 1°C for acceptable temperature change. The results show that this criterion will be fulfilled within 20-30 m from the outfall.

The nutrient concentration at 20 m depth is generally higher than the concentration at 8 m, and in summer a discharge at 8 m will therefore create a net daily transport in the order of 0,2-0,4 kg of total phosphorus and 2-3,5 kg of total nitrogen. However, compared to the nutrient outflow from Akerselva to the surface layers of Bjørvika this is only 3-7 % for phosphorus and 2-3 % for nitrogen. In addition, the cooling water is trapped near the bottom below 6-7 m depth, and the nutrients are not expected to increase the growth of algae in summer.

No effects are expected on the migration of fish between Akerselva and the fjord, neither for discharge at 8 m nor 20 m depth.

1. Bakgrunn og formål

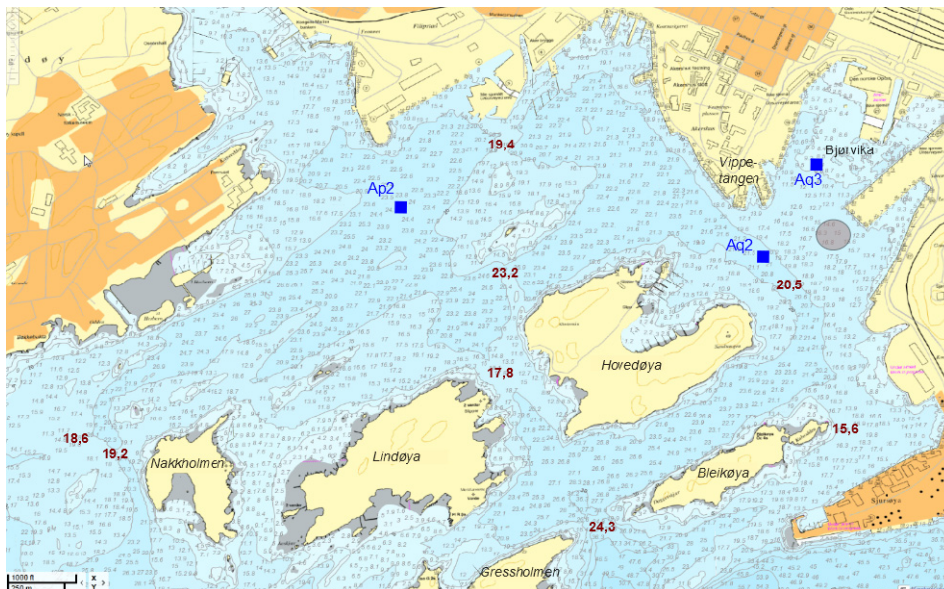
Man vurderer å bruke sjøvann for oppvarming/kjøling av nytt Munchmuseum og nytt Deichmanske hovedbibliotek i Bjørvika. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) har blitt forespurt av Oslo kommune, Kulturbyggene i Bjørvika, ved ÅF Advansia AS (ÅF), om å foreta en miljøkonsekvensvurdering av en slik sjøvannsløsning.

Et alternativ med større vannmengder for eventuell fellesløsning med andre bygg i Bjørvika er også vurdert.

2. Beskrivelse av topografi og bunnforhold

Figur 1 viser kart over Oslo havn. Bunn dybden i Bjørvika øker fra 6 m inne ved Operatunnelen og skipsvollen til 10-12 m øst for Vippetangen, og derfra øker dybden gradvis mot en renne med 20-21 m dyp som ligger mellom Akershus og Hovedøya. Det er flere åpne forbindelser mot resten av fjorden ned til ca. 20 m. En forbindelse går vestover til Oslo havn og videre mot fjorden via en åpning vest for Nakholmen. Det er også åpen forbindelse østover via området mellom Hovedøya og Bleikøya og videre mot Bekkelagsbassenget og resten av fjorden gjennom en åpning ned til ca. 26 m dyp mellom Gressholmen og Bleikøya. På vestsiden av Hovedøya mot Lindøya er det åpent ned til 18 m dyp, slik at vannet kan sirkulere rundt Hovedøya. Det er altså et relativt åpent område hvor det ligger topografisk til rette for inntak av kjølevann ned til 20 m dyp.

Bjerkeng (2013) gav en detaljert beskrivelse av hydrografi, sjøvannstemperatur og strømforhold i dette området, og for informasjon om dette henvises til den rapporten.

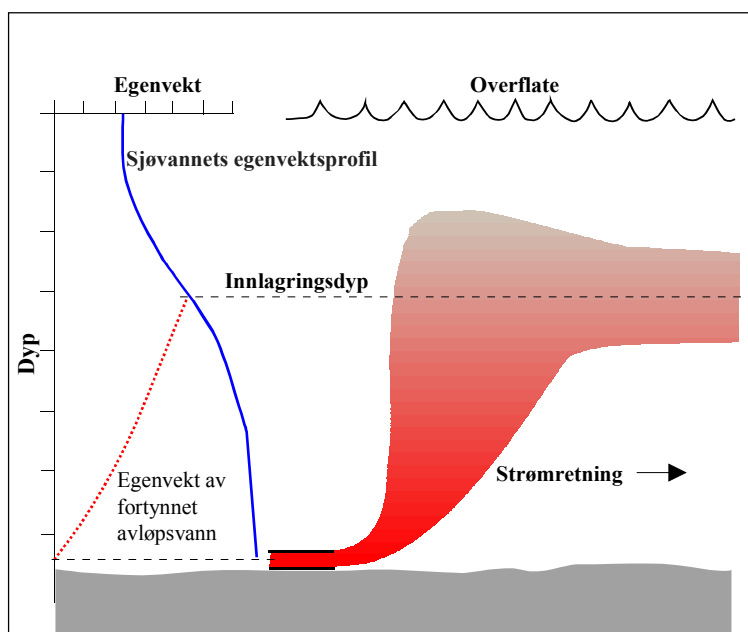


Figur 1. Kart over Oslo havn og området utenfor. Nærliggende målestasjoner for hydrografi er vist med blå kvadrater. Kartet viser detaljert dybdeinformasjon, men med ganske liten skrift; de viktigste terskeldypene for åpningene mot resten av fjorden er vist spesielt med større typer og i mørk rød skrift. (Kart fra www.gislink.no; Kartgrunnlag Norge Digital og Geovekst)

3. Metodikk og data

3.1 Metodikk for beregning av kjølevannets fortynning og temperatur

Kjølevannet er sjøvann som kan hentes fra ca. 20 m dyp utenfor Bjørvika. Det oppvarmes 5-9 grader om sommerhalvåret og avkjøles inntil 3 grader i vinterhalvåret². Egenvekten bestemmes i hovedsak av sjøvannets saltholdighet, men oppvarming vil gjøre kjølevannet litt lettere enn det omkringliggende sjøvannet. Når oppvarmet kjølevann slippes ut fra et neddykket utslipp, vil det derfor begynne å stige mot overflata samtidig som det fortynnes raskt med omkringliggende sjøvann, slik at egenvekten til blandingen av kjølevann+sjøvann øker. Hvis sjøvannet har en vertikal stabil sjiktning (egenvekten øker mot dypet), vil egenvekten til det omkringliggende sjøvannet avta ettersom strålen stiger, og i et gitt dyp kan dermed blandingsvannmassen få samme egenvekt som sjøvannet omkring (se Figur 2). Da har ikke lenger blandingsvannmassen noen "positiv oppdrift", men har fortsatt bevegelsesenergi og vil stige noe forbi dette "likevektsdypet" for så å synke tilbake og innlagres.



Figur 2. Prinsipp-skisse som viser hvordan et dyp utslipp av kjølevann kan fungere i forhold til innlagring (i dette tilfelle avløpsvann med liten egenvekt i forhold til sjøvann).

I Oslofjorden, inkludert Bjørvika, er det vanligvis vertikal sjiktning i sjøvannet, og det fortynnede kjølevannet kan innlagres uten å nå overflaten. Etter innlagringen vil kjølevannet spres med strømmen samtidig som det fortynnes videre.

Ved avkjøling i vinterhalvåret øker kjølevannets egenvekt, og det kan bli noe tyngre enn det omkringliggende sjøvannet – og dermed synke mot bunnen.

² For enkelhets skyld bruker vi betegnelsen kjølevann om både utslippet i sommerhalvåret (kjøling) og vinterhalvår (oppvarming)

Innlagringsdyp og fortynning for kjølevannet beregnes med den numeriske modellen Visual Plumes (VP) utviklet av U.S. EPA (Frick et al., 2001). Nødvendige opplysninger er vannmengde, utslippsdyp, diameter for utslippsrør/diffusorhull, strømhastigheten i resipienten og et representativt antall vertikalprofiler for temperatur og saltholdighet.

Samtidig beregnes temperaturen i blandingen av kjølevann og sjøvann som funksjon av avstand fra utslippspunktet. Nødvendige data her er temperaturen i det omkringliggende sjøvannet som er beskrevet i de nevnte vertikalprofilene, og kjølevannets temperatur og saltholdighet. For hver kombinasjon av de tre vannmengdene og de 35 profilene beregnes kjølevannets temperatur som sjøvannets temperatur ved inntaksdyp 20 m + temperaturøkningen (se Tabell 1 og Tabell 2).

Den beregnede fortynningen vil variere med størrelsen av koeffisienten for turbulent horisontal blanding, som varierer fra sted til sted og med tiden. *Vi velger å følge EPAs anbefaling for innelukkede farvann og bruker en konstant koeffisient $0,0003 \text{ m}^{2/3}/\text{s}$, som et ganske konservativt estimat av fortynningen³. I dette ligger en sikkerhetsmargin.*

3.2 Data

Kjølevannsinntaket

Tabell 1 viser vannmengder og temperaturendringer som benyttes ved beregningene av kjølevannets spredning, fortynning og temperatur. Inntaksdypet er omtrentlig.

Tabell 1 Beskrivelse av utslippet av kjølevann (fra Boland, 2013).

Vannmengde, l/s	Diameter utløp, mm	Inntaksdyp, m	Sommer: temperaturøkning, °C	Vinter: temperatursynking, °C
120	300	Ca.20	2,7-8,9	0,3-3,1
150	300	Ca.20	2,2-7,1	0,2-2,4
225	400	Ca.20	2,7-8,9	0,3-3,1

I beregningene av temperatur i kjølevannet tar vi utgangspunkt i maksimalverdiene for temperaturendring, og bruker $-2,4 \text{ °C}$ og -3 °C for senhøst og vinter (dvs. kvartalene 1 og 4). For vår, sommer og tidlig høst (dvs. kvartalene 2 og 3) brukes $+7$ og $+8 \text{ °C}$.

Kjølevannsutslippet

Det gjøres beregninger for utslipp i 8 m dyp og 20 m dyp.

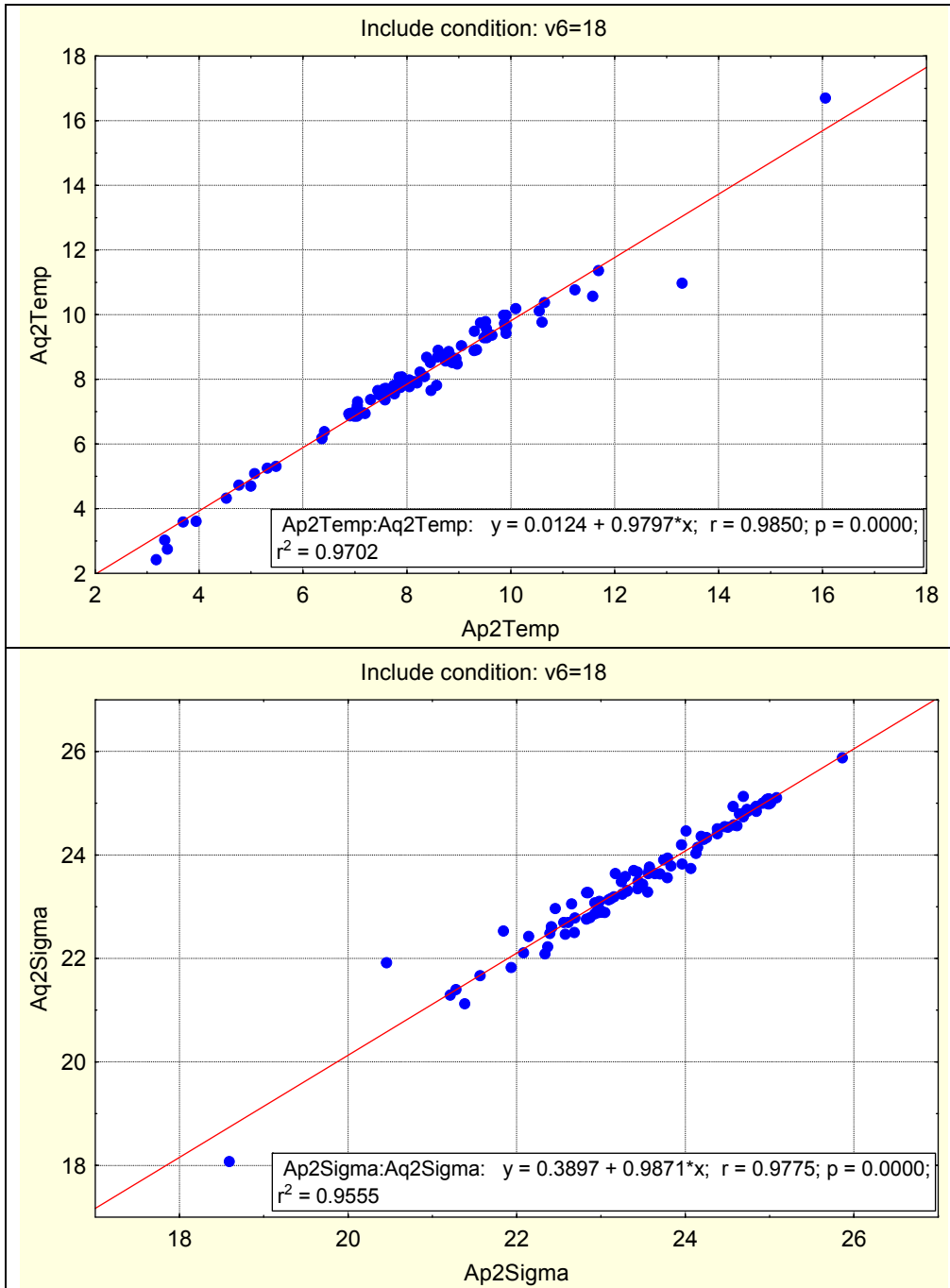
Hydrografiske data

Kjølevannsinntaket ønskes plassert i et dyp hvor det er mest mulig stabile temperaturforhold. I 14 m til 20 m dyp er temperaturen lavest om vinteren eller våren og høyest sent på sommeren og om høsten. Økende dyp gir mer stabile temperaturforhold.

Data finnes fra overvåkningsstasjonene Aq2 sør for Bjørvika, Ap2 i vestre del av Oslo havn, og Cq1 i Bekkelagsbassenget (sør for området vist i Figur 1). Stasjon Aq2, som ligger nærmest det aktuelle plasseringsområde for kjølevannsinntaket, er bare inkludert i måleprogrammet i januar og i de ukentlige sommertoktene i juni-august.

³ Blandingskoeffisienten har dimensjon m^2/s , men regnes å øke med størrelsen (bredden) av skyen opphøyd i eksponent $4/3$. Den konstanten som skal brukes har derfor dimensjon $\text{m}^{2/3}/\text{s}$; når den multipliseres med et lengdemål $L^{4/3}$ blir enheten riktig. For mer informasjon om dette, se http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/mixingzones/upload/2006_07_19_standards_mixingzone_WA_MZ_Guide.pdf

Det klart beste datasettet finnes fra stasjon Ap2 som ligger 1,8 - 2 km fra st. Aq2. Mellom disse to stasjonene er det åpne forbindelser ned til ca. 20-21 m dyp og av den grunn kan forventes at i dypere vannlag er temperaturen på disse stasjonene tilnærmet lik. En statistisk analyse av data i 18 m dyp bekrefter dette: for temperatur og egenvekt er korrelasjonen $r=0,98$ (Figur 3).



Figur 3. Sammenligning av sjøvannets temperatur og tetthet⁴ i 18 m dyp på stasjonene Aq2 og Ap2. Korrelasjoner er vist i en ramme nederst på hver figur.

⁴ Sjøvannets tetthet (egenvekt) beregnes på grunnlag av målingene av temperatur og saltholdighet. Her er tettheten beskrevet ved størrelsen $\sigma_t = (\text{egenvekten} - 1000)$, der egenvekten er oppgitt med enheten kg/m^3 .

For bruk i VP-modellen bruker vi derfor data fra Ap2 fra årene 2010-2012 (se Vedlegg A. for et inntrykk av spredningen). Som en beskrivelse av temperaturforhold ved ulike årstider gjøres beregninger for hvert kvartal. Tabell 2 gir oversikt over data fra Ap2 – det finnes ikke data fra mars, september og november. Vi velger å bruke alle data fra januar-mai og oktober-desember (2-3 pr. måned), samt 6 datasett pr. måned for juni-august. Det legges mest vekt på sommermånedene, for da er temperaturøkningen i kjølevannet størst. I alt er det gjort beregninger for 35 vertikalprofiler. Som supplement viser Tabell 3 statistikk for 18 m dyp på stasjon Ap2 for de data som er brukt i beregningene, dvs. tidsrommet 2010-2012.

Figur 3 viser at temperatur og tetthet på 18-20 m dyp er så like på de to stasjonene at data og statistikk fra Ap2 trygt kan brukes som dimensjoneringsgrunnlag ved planlegging av vanninntak i området rundt stasjon Aq2. Statistikk basert på alle data fra 2004-2012, og for begge stasjoner der det er data for det, er vist i Vedlegg B. Her er også sammenhengen mellom temperatur og tetthet de to stasjoner for 6 m dyp vist. Utstrømming av ferskvann fra Akerselva vil bare berøre overflatelaget, og ikke påvirke temperatur eller tetthet i de aktuelle dypene, dvs. fra 6 - 7 m og dypere.

Tabell 2. Oversikt over vertikalprofiler som brukes i beregningene. Merk at for juli er det brukt data fra 2009-2011 fordi det mangler data fra 2012.

Januar-februar	April-juni	Juli-August	Oktober og desember
19.1.2010	19.4.2010	6.7.2009	25.10.2010
4.1.2011	14.4.2011	21.7.2009	17.10.2011
9.1.2012	17.4.2012	7.7.2010	19.10.2012
15.2.2010	10.5.2010	21.7.2010	20.12.2010
13.2.2012	18.5.2011	5.7.2011	12.12.2011
	14.5.2012	21.7.2011	13.12.2012
	8.6.2010	10.8.2010	
	22.6.2010	26.8.2010	
	7.6.2011	9.8.2011	
	22.6.2011	23.8.2011	
	6.6.2012	7.8.2012	
	19.6.2012	23.8.2012	

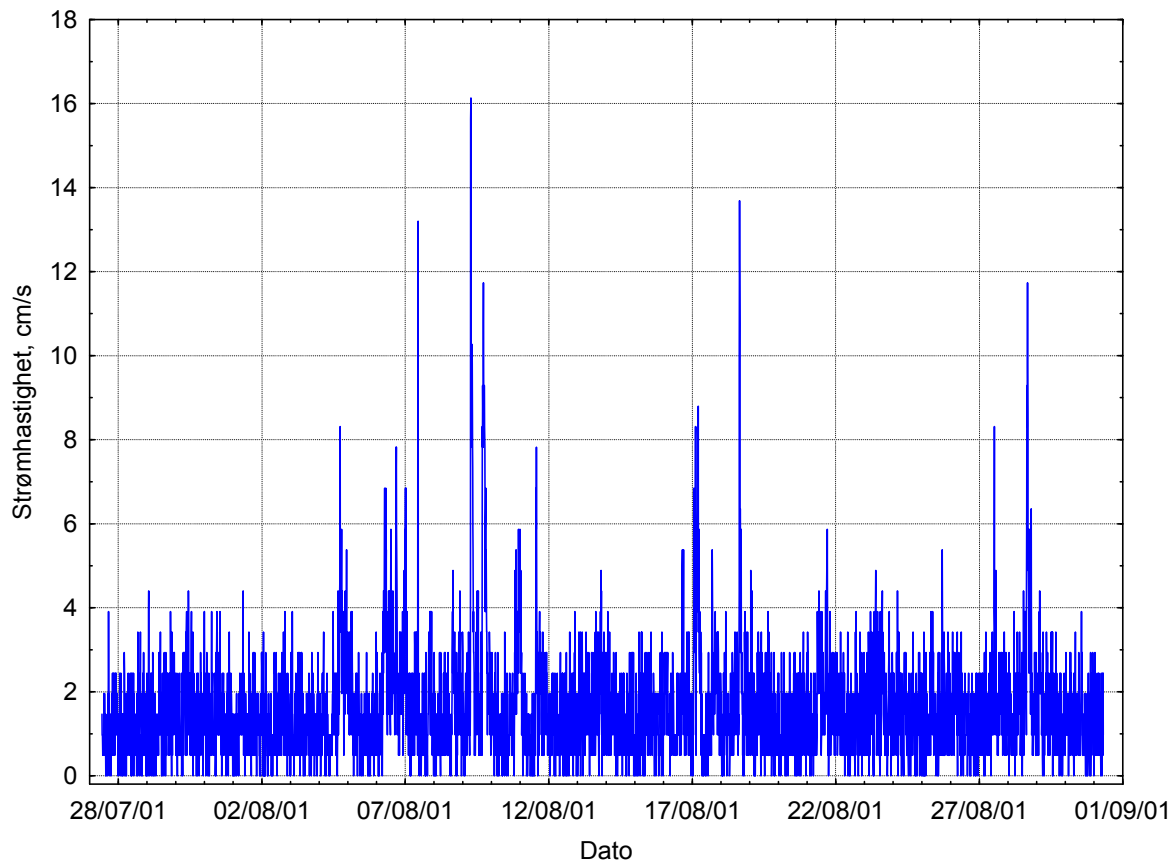
Tabell 3. Statistikk for temperatur i 18 m dyp i tidsrommet 2010-2012, fordelt på måneder. Merk at det mangler data fra mars, september og november.

Breakdown Table of Descriptive Statistics (CTD_data_unstacked.sta in Ap2_Unstacked data.stw)							
N=53 (No missing data in dep. var. list)							
Include condition: v5=18							
Exclude condition: v2<2010							
Month	Ap2Temp Means	Ap2Temp N	Ap2Temp Minimum	Ap2Temp Maximum	Ap2Temp Median	Percentil 10	Percentil 90
1	7.84	3	6.88	9.56	7.09	6.88	9.56
2	6.07	2	3.58	8.55	6.07	3.58	8.55
4	5.09	3	2.31	6.62	6.34	2.31	6.62
5	5.58	3	1.77	8.16	6.82	1.77	8.16
6	5.78	12	3.18	7.47	6.67	3.34	7.30
7	8.50	9	3.94	16.06	7.90	3.94	16.06
8	8.54	15	5.07	11.63	9.54	5.09	11.58
10	8.23	3	7.10	9.51	8.09	7.10	9.51
12	8.08	3	7.72	8.55	7.98	7.72	8.55

Strømforhold

Det er gjort lite strømmålinger i dette området, og det som er gjort er ikke direkte relevant for den aktuelle problemstillingen. Det finnes noen strømmålinger i overflatelaget inne i Bjørvika fra 2001 (Christie et al. 2006). Disse målingene kan ikke uten videre anvendes som representative for strømmen nær bunnen sør for Sørenga, men de kan likevel gi nyttig generell bakgrunnsinformasjon om hva slags strømstyrker en kan regne med (se Figur 3 og Tabell 4). En typisk hastighet er ca. 1,5 cm/s, som brukes i beregningene.

For nærmere omtale av strømforholdene utenfor Bjørvika henvises til Bjerkeng (2013).



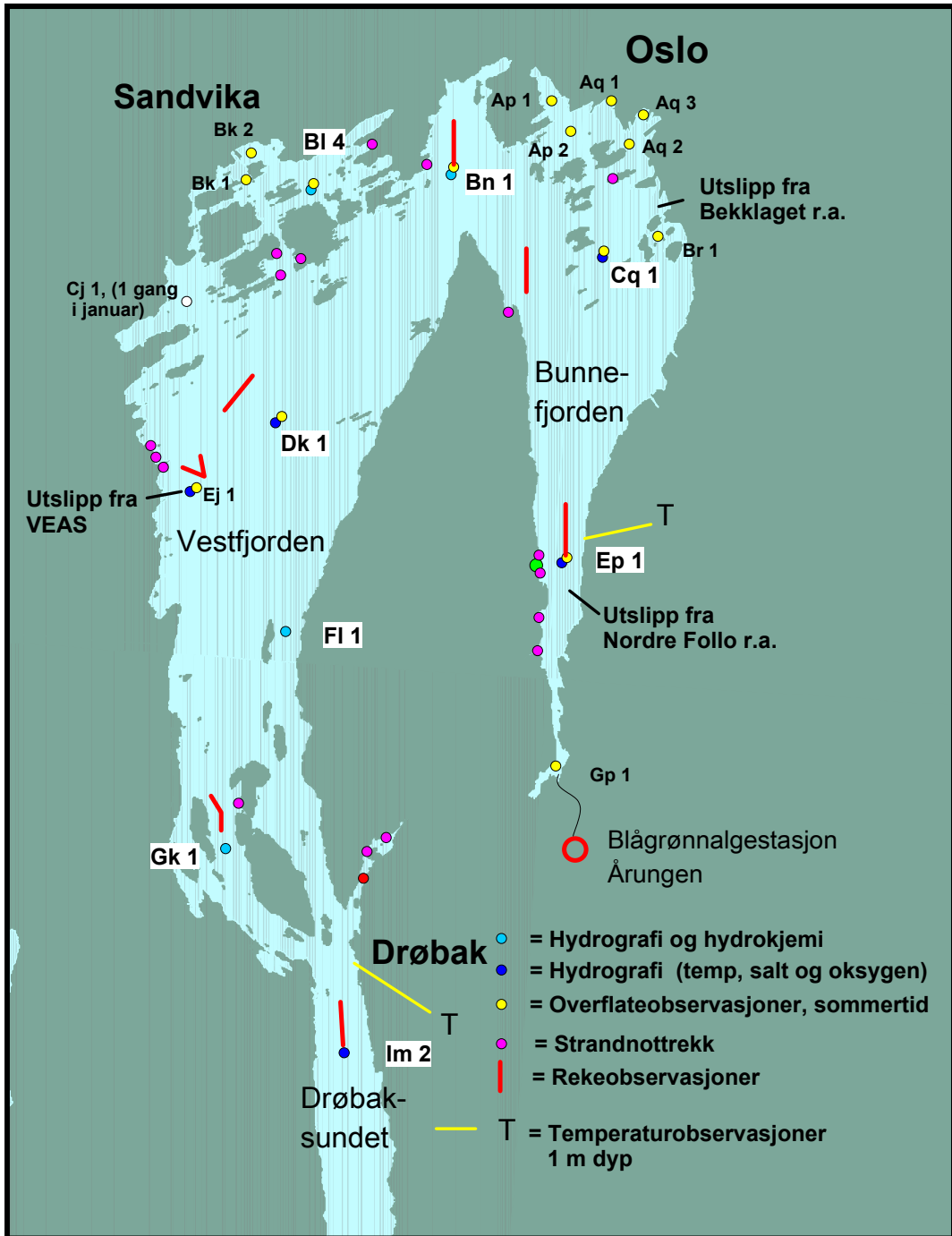
Figur 3. Strømhastighet på 4.5 meters dyp i Bjørvika juli/ august 2001, her vist som registrering hvert 10. minutt.

Tabell 4. Statistikk for strømmålingene i juli-september 2001.

Variable	Descriptive Statistics(Oslofjorden-Bjørvika-27.07.01-31.08.01 in Strømmåling Bjørvika)						
	Valid N	Mean	Median	Minimum	Maximum	Percentil 10	Percentil 90
Current speed	5025	1.6	1.5	0.0	16.1	0.5	2.9
Strøm_nord	5025	0.3	0.2	-15.6	10.2	-1.2	1.9
Strøm_øst	5025	-0.1	-0.1	-13.1	13.6	-1.8	1.7

Næringssalter

Konsentrasjonen av fosfor og nitrogen ved bunnen av Bjørvika er ikke kjent. Vi må derfor bruke data fra nærmeste hydrokjemistasjon innen overvåkingsprogrammet for Indre Oslofjord, som er Cq1 i Bekkelagsbassenget, dvs. i luftlinje ca. 4 km fra Bjørvika (se Figur 4). Her finnes hydrokjemidata for tidsrommet 2002-2007 (Tabell 5 og Tabell 6). Etter 2007 har næringssalter ved Cq1 bare blitt målt i overflaten, som i Oslo havn ellers.



Figur 4. Stasjoner i overvåkingsprogrammet for indre Oslofjord (fra Berge et al., 2012).

Tabell 5. Statistikk for hydrokjemidata fra 8 m dyp på stasjon Cq1 i tidsrommet 2002-2007.

Data fra 2002-2007 Dyp 8 m							
Month	Tot-P($\mu\text{g/l}$) Means	Tot-P($\mu\text{g/l}$) N	PO4-P($\mu\text{g/l}$) Means	Tot-N/L($\mu\text{g/l}$) Means	Tot-N/L($\mu\text{g/l}$) N	NO3-N ($\mu\text{g/l}$) Means	NH4-N($\mu\text{g/l}$) Means
1		0			0		
2	29.3	3	22.0	343	3	220	13
4	9.0	2	2.5	185	2	22	25
5	10.7	3	2.0	247	3	38	30
8	10.8	5	2.6	214	5	37	19
9	11.0	1	5.0	310	1	175	14
10	18.3	6	12.2	281	6	137	18
12	33.8	5	28.0	400	5	275	13

Tabell 6. Statistikk for hydrokjemidata fra 20 m dyp på stasjon Cq1 i tidsrommet 2002-2007.

Data fra 2002-2007 Dyp 20 m							
Month	Tot-P($\mu\text{g/l}$) Means	Tot-P($\mu\text{g/l}$) N	PO4-P($\mu\text{g/l}$) Means	Tot-N/L($\mu\text{g/l}$) Means	Tot-N/L($\mu\text{g/l}$) N	NO3-N ($\mu\text{g/l}$) Means	NH4-N($\mu\text{g/l}$) Means
1		0			0		
2	47.0	3	40.7	372	3	242	26
4	43.0	2	37.5	443	2	317	11
5	34.7	3	27.0	403	3	266	26
8	25.0	4	20.0	338	4	237	9
9	24.0	1	18.0	400	1	280	5
10	35.0	6	29.3	396	6	282	7
12	42.0	5	37.2	385	5	278	7

Datagrunnlaget er tynt: for månedene april, mai, august bare 2-5 registreringer pr. måned. Men vi ønsker likevel å bedømme om utslippet av kjølevann bidrar til en netto tilførsel av næringssalter til Bjørvika, og eventuelt anslå størrelsen av denne.

Ved vanninntak i 20 m dyp og utslipp til samme dyp blir det i utgangspunktet ingen netto tilførsel, men kanskje en 'sidelengs' forflytning – avhengig av plasseringen av inntak og utslipp.

Ved utslipp i 8 m dyp viser dataene i Tabell 5 og Tabell 6 at konsentrasjonen av fosfor og nitrogen i dette vannlaget er betydelig lavere enn konsentrasjonen i 20 m dyp, hvor kjølevannsinntaket kan bli plassert.

Det er ikke datagrunnlag for noen nøyaktig bestemmelse av konsentrasjonsforskjellen, men for månedene april, mai og august kan en forskjell på 20 µgP/l og 180 µgN/l (regnet som total fosfor og total nitrogen) være en sannsynlig størrelsesorden.

For en vannmengde på 120 -225 l/s betyr utslippsdyp 8 m et tilskudd av 0,2 - 0,4 kg/P/døgn og 2 - 3,5 kg N/døgn til 8 m dyp i indre del av Bjørvika ved at mer næringsrikt vann flyttes inn fra 20 m dyp sør for Bjørvika.

Dette tilskuddet kan sammenlignes med det som kommer ut i Bjørvika fra Akerselva og tilføres overflatelaget direkte. Årsrapporten for 2012 fra Vann- og avløpsetaten i Oslo kommune viser en tabell over ukentlige gjennomsnitt av vannføring, konsentrasjoner og beregnet transport av bl.a. total N og P fra Akerselva (side 32 i Beschorner og Sjølander 2012). For månedene april til og med august 2012 varierte transporten av total-fosfor mellom 8 og 385 kg P/uke og av total-nitrogen mellom 300 og 2450 kg N/uke. Regnet om til døgnbasis blir det mellom ca. 1 og 55 kg P/døgn og mellom 38 og 350 kg N/døgn. Medianverdiene er 2.8 kg P/døgn og 85 kg N/døgn, og gjennomsnitt er 6 kgP/døgn og 106 kg N/døgn.

Sammenlignet med gjennomsnittlig tilførsel fra Akerselva til overflatelaget, er bidraget til 8 meters dyp pga energianlegget mye mindre, for fosfor i størrelsesorden 3-7 % av gjennomsnittet, og for nitrogen 2-3 %. Fordi det ikke kommer til overflaten, men blir nær bunnen, vil virkningen være mindre enn mengdene skulle tilsi.

3.3 Virkning av temperaturendring i sjøvannet

Temperaturøkning kan virke direkte og indirekte inn på marine organismer. Den viktigste indirekte innvirkningen er reduksjon i sjøvannets evne til å holde på oppløst oksygen. Temperatur har også en innvirkning på biologiske prosesser. De fleste prosessene vil øke med økende temperatur til et toleransmaksimum, hvoretter de raskt stopper. Denne grensen ligger i de aller fleste tilfeller over 20 °C, men lavere grenser forekommer for arktiske arter. Prosessene øker ofte med en faktor 2-5 for hver 10 °C økning, men svært mange organismer har evne til å regulere prosessene til et normalnivå etter en akklimatisering, så lenge temperaturen holder seg innenfor artens toleranseintervall.

Overskrides det øvre toleransenivå, stopper veksten, og arten kan i verste fall forsvinne. Sukketare, for eksempel, stopper veksten ved ca. 20 °C (Lee og Brinkhuis, 1986), fingertare forsvinner ved samme grense; butare og blæretang forsvinner der gjennomsnittstemperaturen for august er over ca. 16 °C (Sundene, 1962). En del vanlige grønn- og rødalger har høyere overlevelsestemperatur (28 – 30 °C). For marine dyr virker temperatur inn på for eksempel næringsopptak, fysiologi, formeringsevne, modningstid, livslengde og toleranse for miljøgifter.

Man kan regne med at toleranse for temperaturøkning er lavere i marine samfunn som normalt opplever liten sesongendring i temperaturen enn der slik sesongvariasjon er stor. Norske marine samfunn på grunt vann utsettes for stor sesongfluktuasjon i temperatur og må ut fra det regnes som tolerante for endringer så lenge ikke øvre og nedre toleransegrensene overskrides.

Siden norske marine samfunn har en blanding av kuldekjære og varmekjære arter er det er vanskelig å fastsette en grense for hvor høy overtemperatur et samfunn tåler. En vedvarende temperaturøkning vil kunne virke positivt på noen arter, negativt på andre, og man kan få en gradvis forskyvning av artssammensetning og samfunnsstruktur. En konservativ grense for hvilken overtemperatur som kan gi effekter er i mange tilfeller satt til +1 °C, ut fra at det er sannsynlig at de aller fleste artene vil tåle dette uten vesentlig endring i biologi. Dette kriteriet brukes bl.a. av det amerikanske miljøverndirektoratet (EPA) for påvirkning av marine økosystem: «*the maximum acceptable increase in the weekly average temperature resulting from artificial sources is 1 °C (1.8 F) during all seasons of the year, providing the summer maxima are not exceeded*» (EPA, 1986). Som maksimalt døgnmiddel bruker EPA +2 °C.

NIVA gjennomførte i 1988 – 1991 et modelløkosystem-eksperiment der transplanterte hard- og bløtbunnsamfunn fra ca. 10 m-15 m dyp ved Jomfruland i 2,5 år ble utsatt for en konstant overtemperatur på +3 °C oppå den normale temperaturvariasjonen (Bakke et al., 1992).

Overtemperaturen virket lite inn på vannets fysiske og kjemiske forhold bortsett fra en svak reduksjon i oksygeninnhold og pH. Effekten på enkeltarters biologi gikk som ventet i begge retninger og varierte over sesong. Innenfor samme art kunne det også være f.eks. positiv effekt på vekst og negativ på overlevelse. Overtemperaturen ga en liten, men entydig gradvis endring i samfunnsstruktur på hardbunn over tid, men denne var så liten at den ville være vanskelig å påvise i et åpent naturlig system. På bløtbunn ble ikke samfunnsstrukturen entydig påvirket. Samlet indikerte resultatene at det vil være vanskelig å påvise effekter av 3 °C vedvarende temperaturpåslag på naturlige marine bunnmiljø på 10 m-15 m dyp i Oslofjorden.

Som følge av dette anser vi en temperaturøkning på 3 °C som en sannsynlig øvre grense og en økning på 1 °C som en konservativ grense for hvilke endringer en kan ha uten at det påvirker de naturlige bunnsamfunn omkring kjølevannsutslippet.

4. Resultater og vurderinger

4.1 Kjølevannets innlagring og temperatur

Det er gjort beregninger av kjølevannets innlagring og temperatur for vanninntak i 20 m dyp

1. Utslippsdyp 20 m og 8 m
2. Hvert av årets 4 kvartaler (Dato for de tilgjengelige dyp-profiler er vist i Tabell 2)
3. Vannmengdene 120 l/s, 150 l/s og 225 l/s, men for utslipp i 8 m 120 l/s og 225 l/s
4. Temperaturendringer som vist i Tabell 1. Selv om vi vet at temperaturendringen i kjølevannet vil variere over de 'kalde' kvartalene 1 og 4, og de 'varme' kvartalene 2 og 3, er det overalt i beregningene brukt maksimale avvik fra sjøvannstemperaturen. Det gir en sikkerhetsmargin.

Kjølevannets saltholdighet er satt lik saltholdigheten i 20 m dyp for hver tetthetsprofil.

NB! Modellen Visual Plumes er beregnet for bruk på utslipp der avløpsvannet fortynnes i omgivende vannmasser. For utslipp i 8 m dyp og noen situasjoner ved utslipp i 20 m dyp er kjølevannets egenvekt betydelig større enn sjøvannets egenvekt i utslippsdypet. Det vil da synke mot bunnen og man må være forsiktig med bruk av beregningsresultatene videre i strålebanen.

Resultater for utslipp i 20 m dyp og 8 m dyp er vist i etterfølgende underkapitler som beregninger for hvert kvartal, med en figur for hver vannmengde. Den øverste delen av hver figur viser vertikale snitt av senter av strålebanen, med innlagringsdypet vist ved strålebanenes beliggenhet i stor avstand fra utslippet. Øvre og nedre grense for utslippskyens vertikale utbredelse er vist med prikker. Den nedre delen viser gjennomsnittstemperaturen i den fortynnede strålen av vann fra energianlegget, også det som funksjon av avstanden fra utslippet. I begge figurene er resultatene vist med en kurve for hver tetthetsprofil (jfr. Tabell 2).

Mht. kjølevannets innlagring og spredning viser beregningene for utslipp i 20 m dyp at

- I kvartalene 1 og 4 er vannet avkjølt og får dermed egenvekt litt større enn det omkringliggende sjøvannet. Når det slippes ut (her i 20 m dyp) vil det dermed fordele seg nær bunnen.
- I kvartalene 2 og 3 er vannet oppvarmet (her er brukt +8 °C) og får dermed egenvekt mindre enn det omkringliggende sjøvannet. Når det slippes ut (i ca. 20 m dyp) kan det dermed stige 2-4 m før det synker noe tilbake og fordeler seg nær bunnen.

Som vist ovenfor vil strømhastigheten iblant være merkbart lavere enn 1,5 cm/s som her er valgt (jfr. Tabell 4), og i kvartal 2 og 3 kan kjølevannet da stige litt høyere enn beregnet. Det synes imidlertid usannsynlig at vannet vil stige høyere enn 12-15 m dyp før det synker tilbake og innlagres. Ved større hastighet vil 'strålebanen' bli flatere og innlagringen nærmere utslippsdypet enn det figurene viser.

Grunnlaget for å bedømme effekter av temperaturendringer er gitt i Kapittel 3.3. Ved en horisontal avstand på ca. 10 m fra utslippet avviker gjennomsnittstemperaturen i 'skyen' av fortynt kjølevann i andre og tredje kvartal mindre enn 1 °C fra temperaturen i det omkringliggende sjøvannet. Vi minner om at +1 °C ansees som en konservativ øvre grense og +3 °C er en sannsynlig øvre toleransegrense. Selv om temperaturen i sentrum av skyen er høyere enn gjennomsnittstemperaturen, betyr dette at sannsynligheten for effekter av temperaturheving utenfor en avstand av 10-20 m fra utslippet er svært liten.

For utslipp i 8m dyp viser beregningene et noe mer komplisert bilde, i første rekke fordi temperaturvariasjonene i sjøvannet er langt større enn i 20 m dyp.

- Pga. høyere saltholdighet (og i vinterhalvåret nedsatt temperatur) er kjølevannets egenvekt jevnt over større enn sjøvannets, og det synker derfor mot bunnen.
- Det synes usannsynlig med påvirkning av sjøvannet over 6-7 m dyp.

Fortynningen blir sannsynligvis litt mindre enn for utslipp i 20 m dyp, og dermed blir vannmassen med overtemperatur >1 °C noe større. Men det synes usannsynlig dette strekker seg mer enn 20-30 m fra utslippet.

Verken utslipp i 20 m eller 8 m dyp vil ha noen virkning på vandring av fisk mellom Akerselva og fjorden.

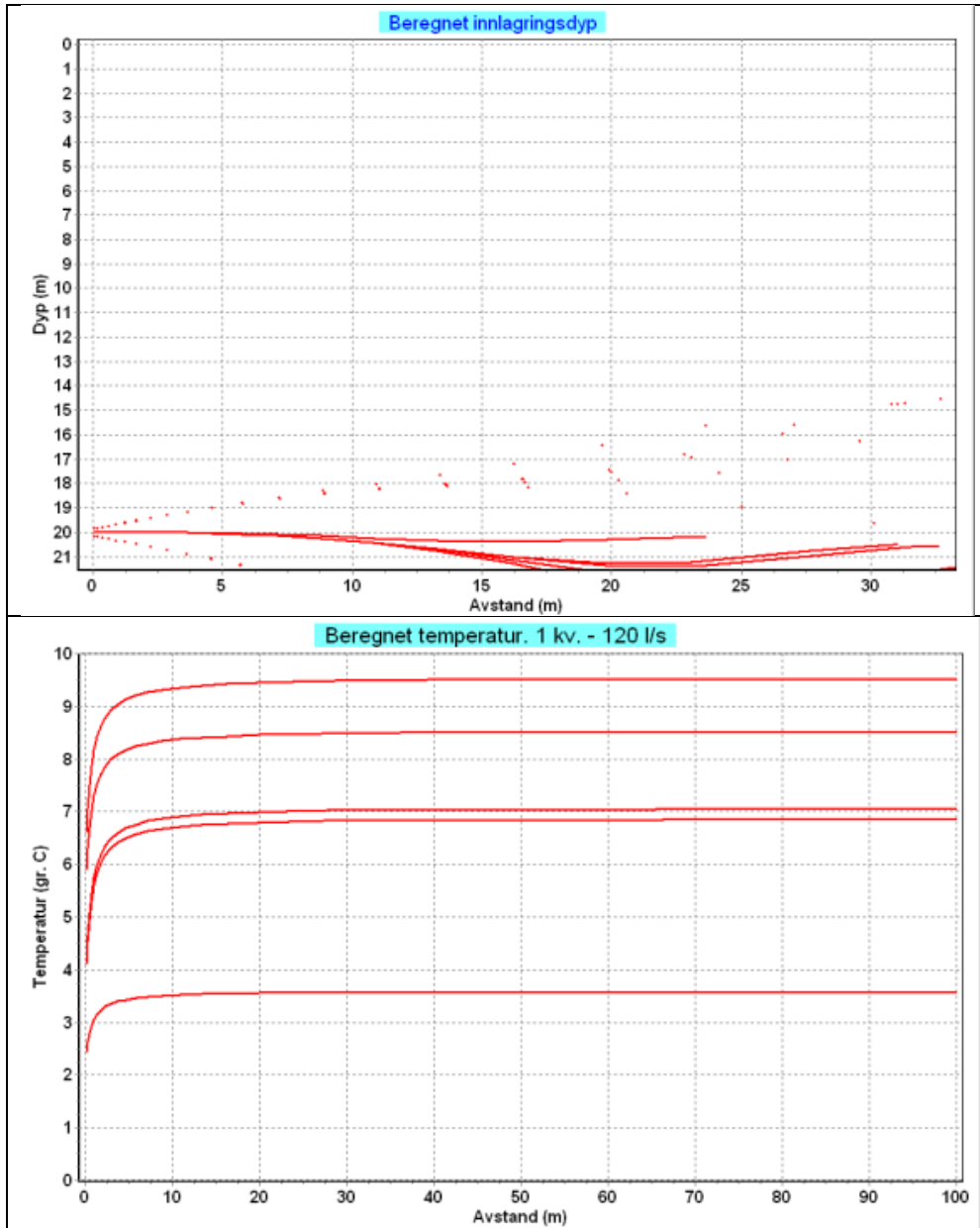
Virkinger av temperatursenkning er mindre kjent, men her er avkjølingen relativt liten (maks 3 °C), og som beregningene for første og fjerde kvartal viser utjevnes også dette temperaturavviket innen 10-20 m fra utslippet.

For di temperaturpåvirkningen er så liten selv ved bruk av maksimalverdier, ansees det som unødvendig å gjøre beregninger for mindre temperaturøkning/-senkning i vannet fra energianlegget.

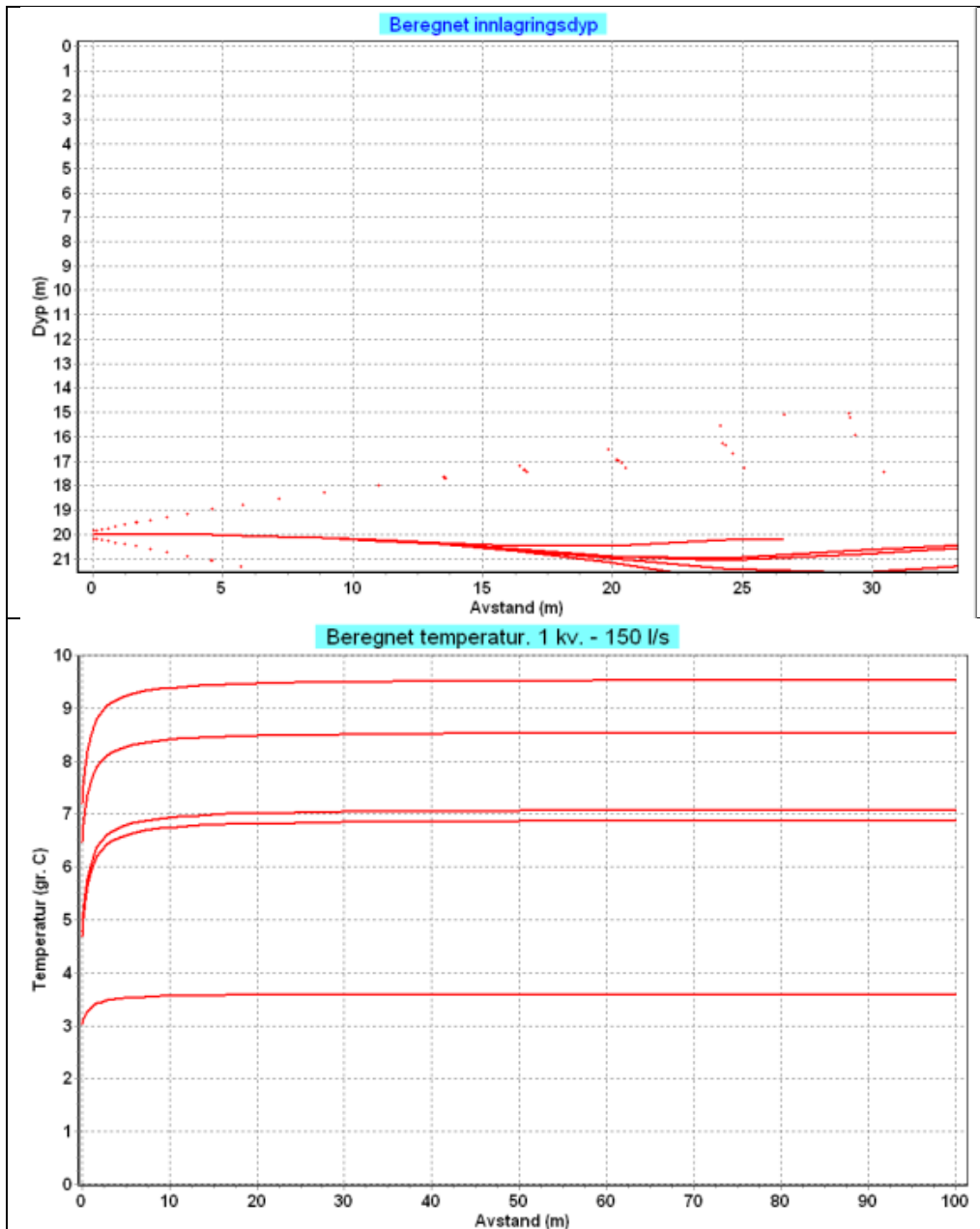
4.2 Utslipp i 20 m dyp

Første kvartal (data fra januar-februar)

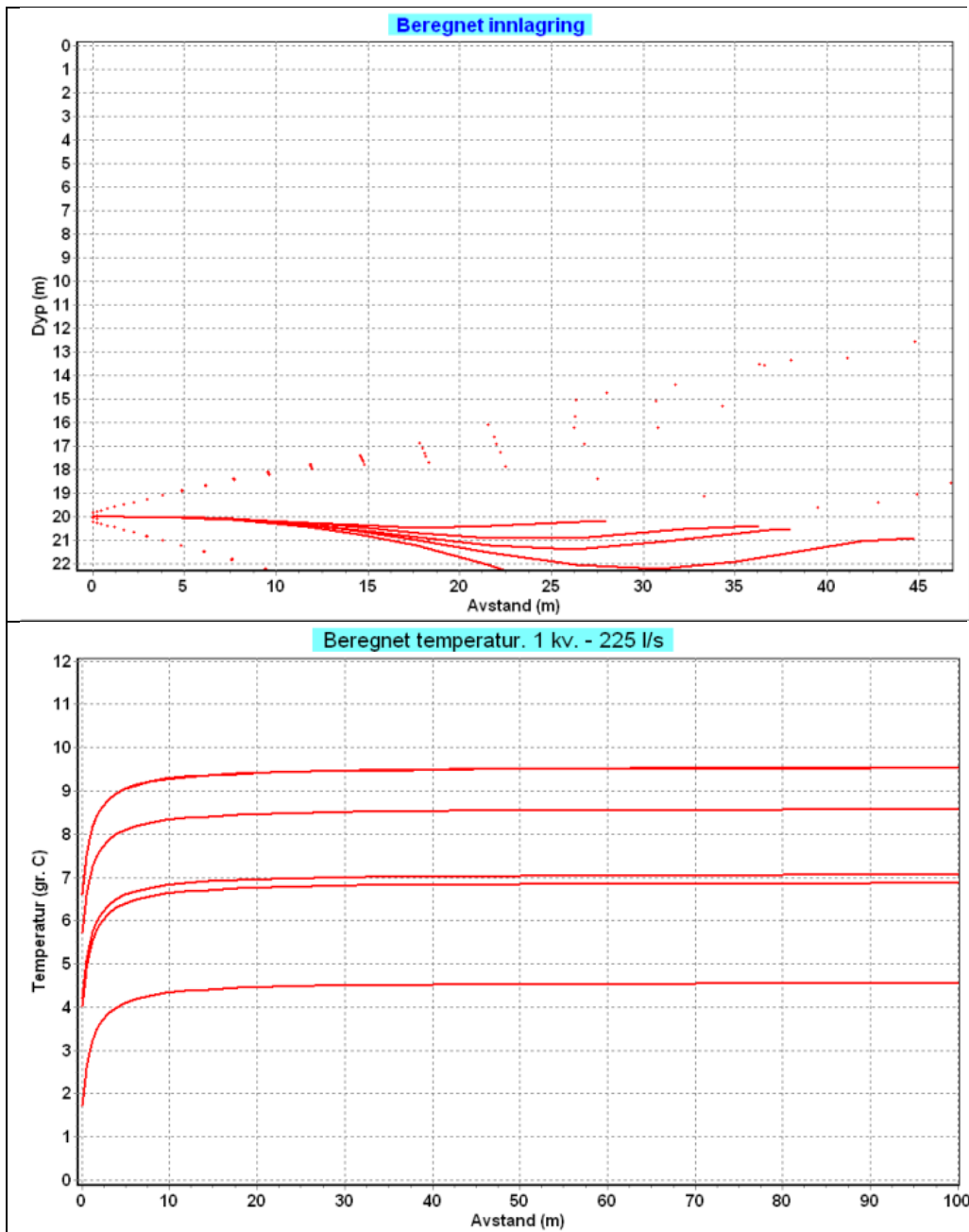
Figur 5 - Figur 7 viser resultat av beregningene.



Figur 5. Utslipp av 120 l/s i januar-februar. Avkjøling 3 °C. Øverst: kjølevannets innlagring. Nederst: kjølevannets temperatur.



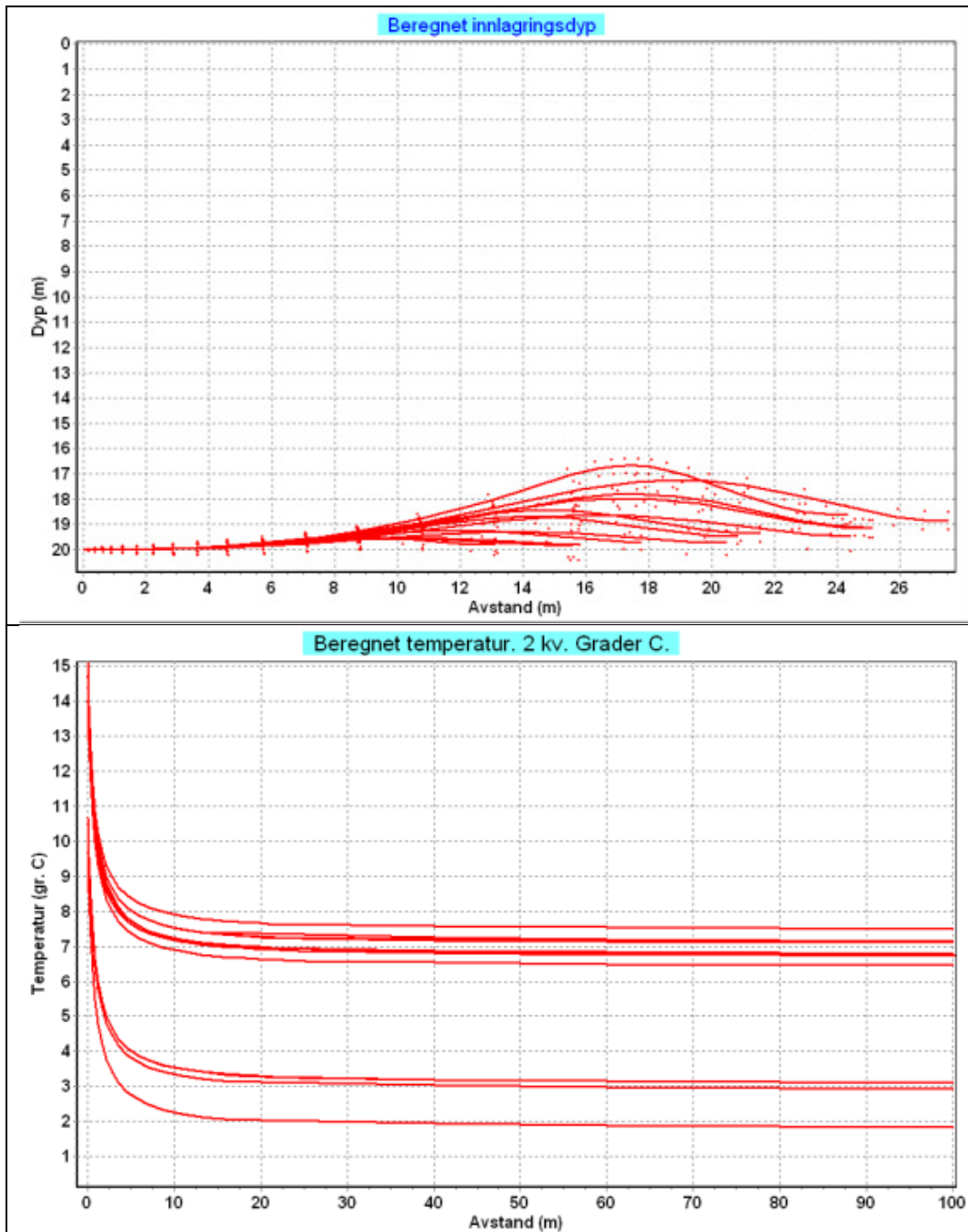
Figur 6. Utslipp av 150 l/s i januar-februar. Arkjøling 2,4 °C. Øverst: kjølevannets innlagring. Nederst: kjølevannets temperatur.



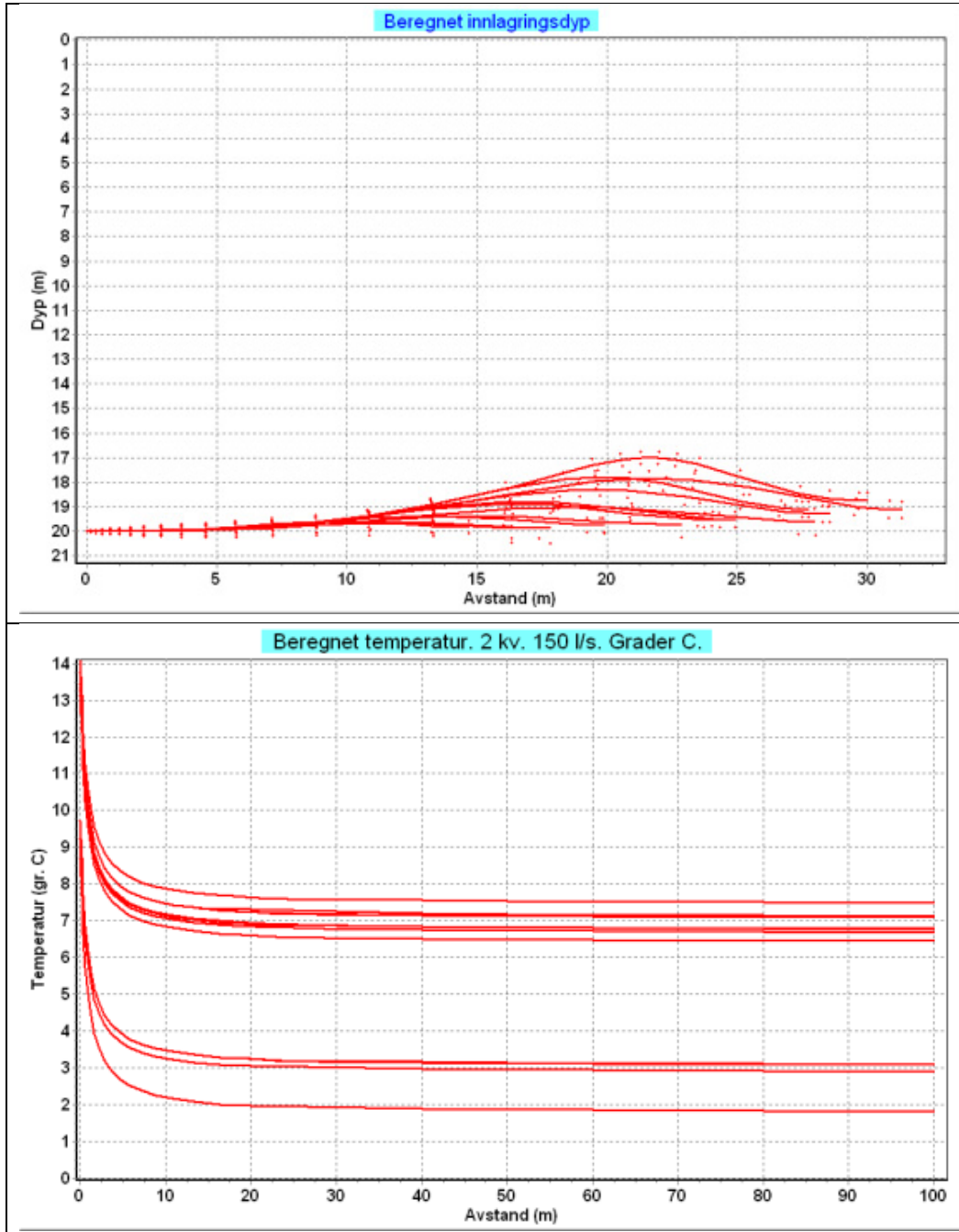
Figur 7. Utslipp av 225 l/s i januar-februar. Avkjøling 3 °C. Øverst: kjølevannets innlagring. Nederst: kjølevannets temperatur.

Andre kvartal (april-juni)

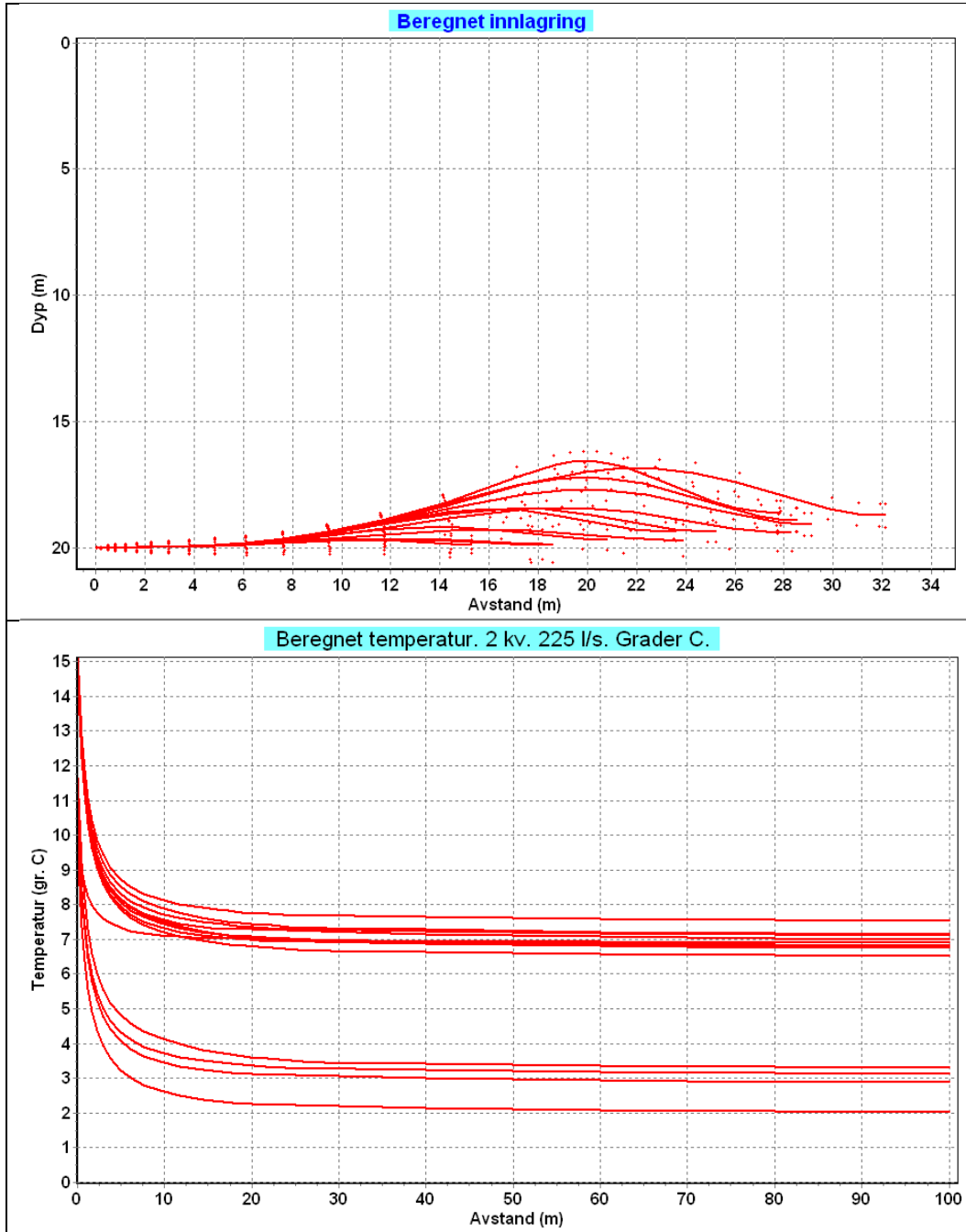
Figur 8 - Figur 10 viser resultat av beregningene.



Figur 8. Utslipp av 120 l/s i april-juni. Oppvarming 8 °C. Øverst: kjølevannets innlagring. Nederst: kjølevannets temperatur.



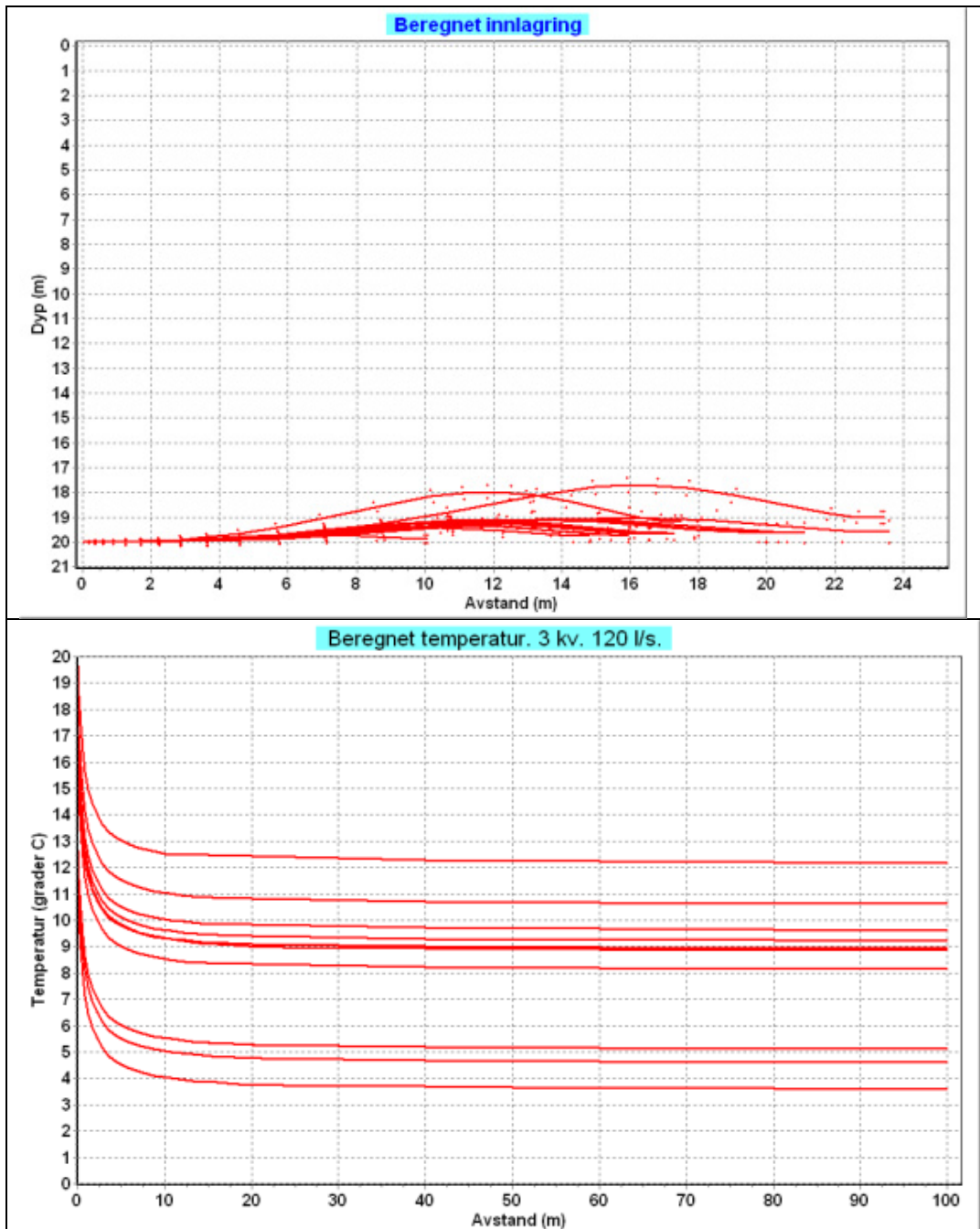
Figur 9. Utslipp av 150 l/s i april-juni. Oppvarming 8 °C. Øverst: kjølevannets innlagring. Nederst: kjølevannets temperatur.



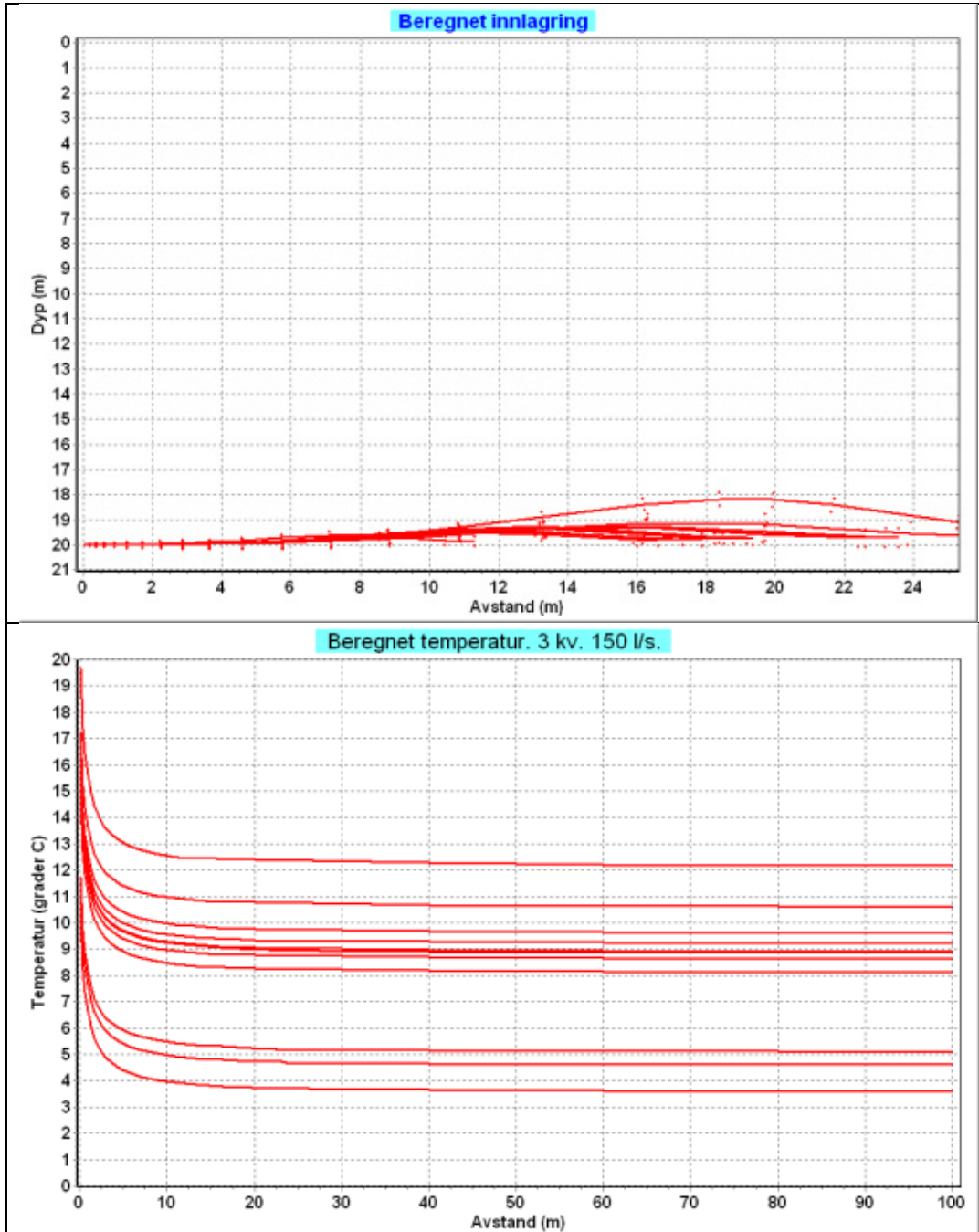
Figur 10. Utslipp av 225 l/s i april-juni. Oppvarming 8 °C. Øverst: kjølevannets innlagring. Nederst: kjølevannets temperatur.

Tredje kvartal (data fra juli-august)

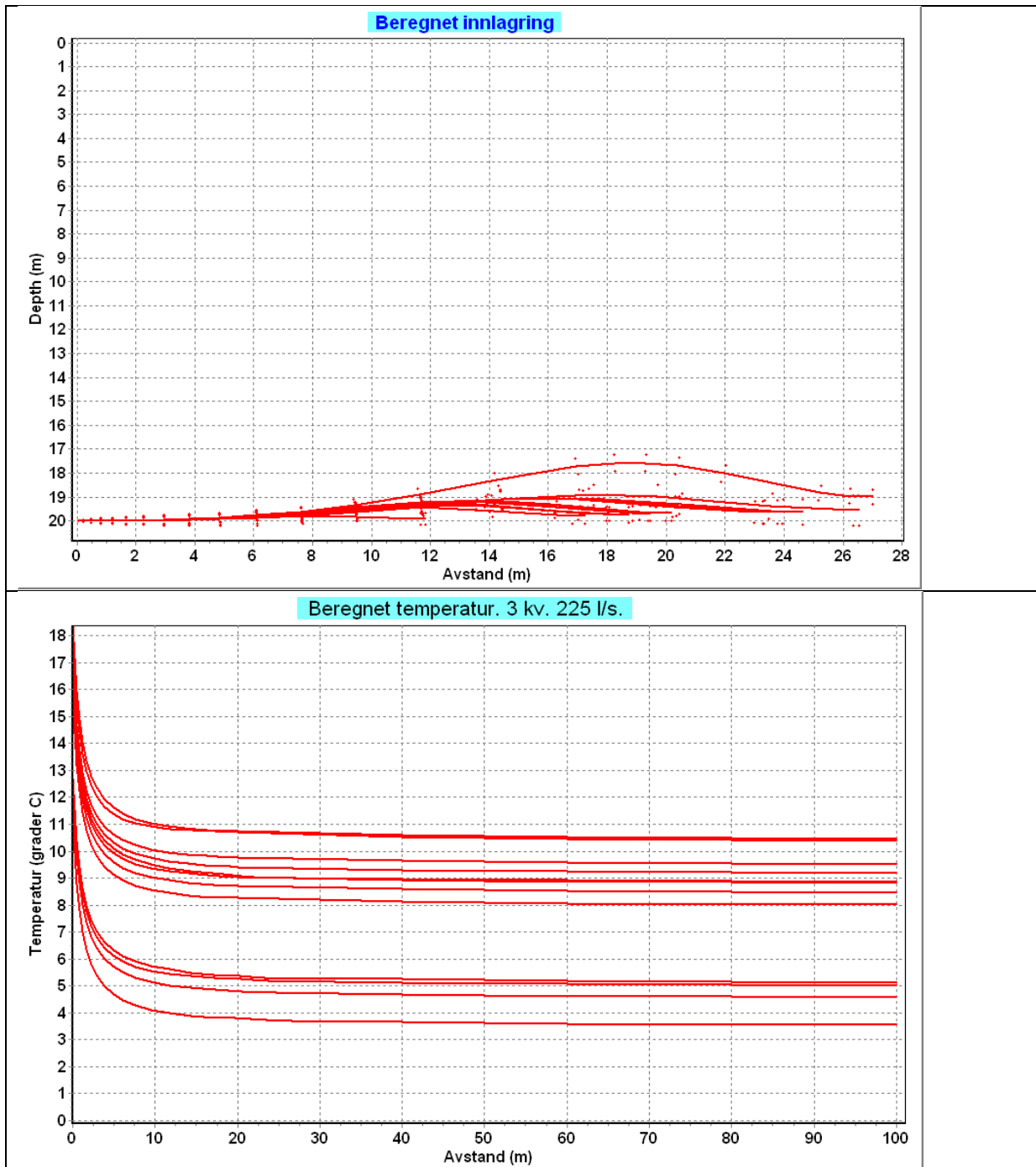
Figur 11 - Figur 13 viser resultat av beregningene.



Figur 11. Utslipp av 120 l/s i juli-august. Oppvarming 8 °C. Øverst: kjølevannets innlagring. Nederst: kjølevannets temperatur.



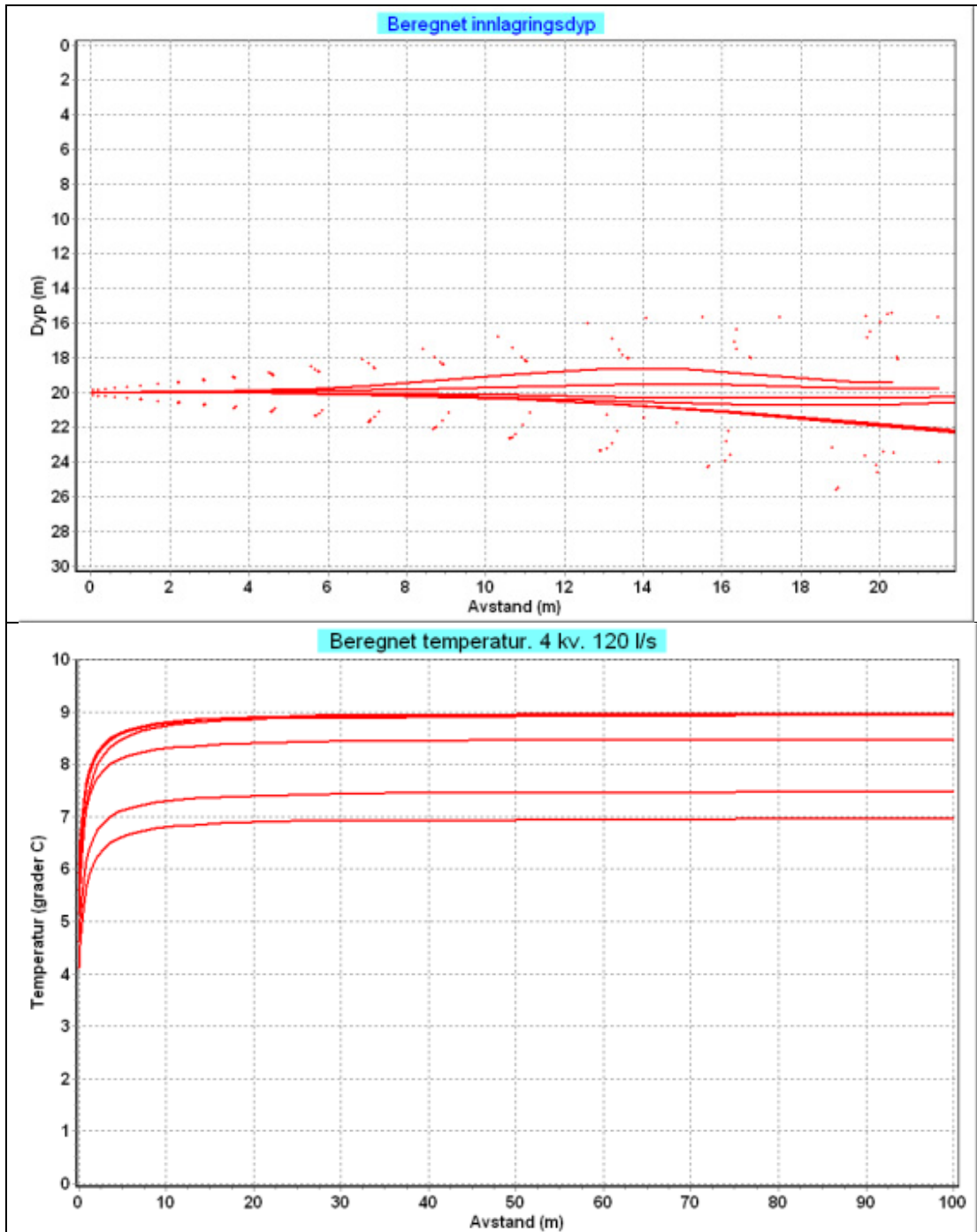
Figur 12. Utslipp av 150 l/s i juli-august. Oppvarming 8 °C. Øverst: kjølevannets innlagring. Nederst: kjølevannets temperatur.



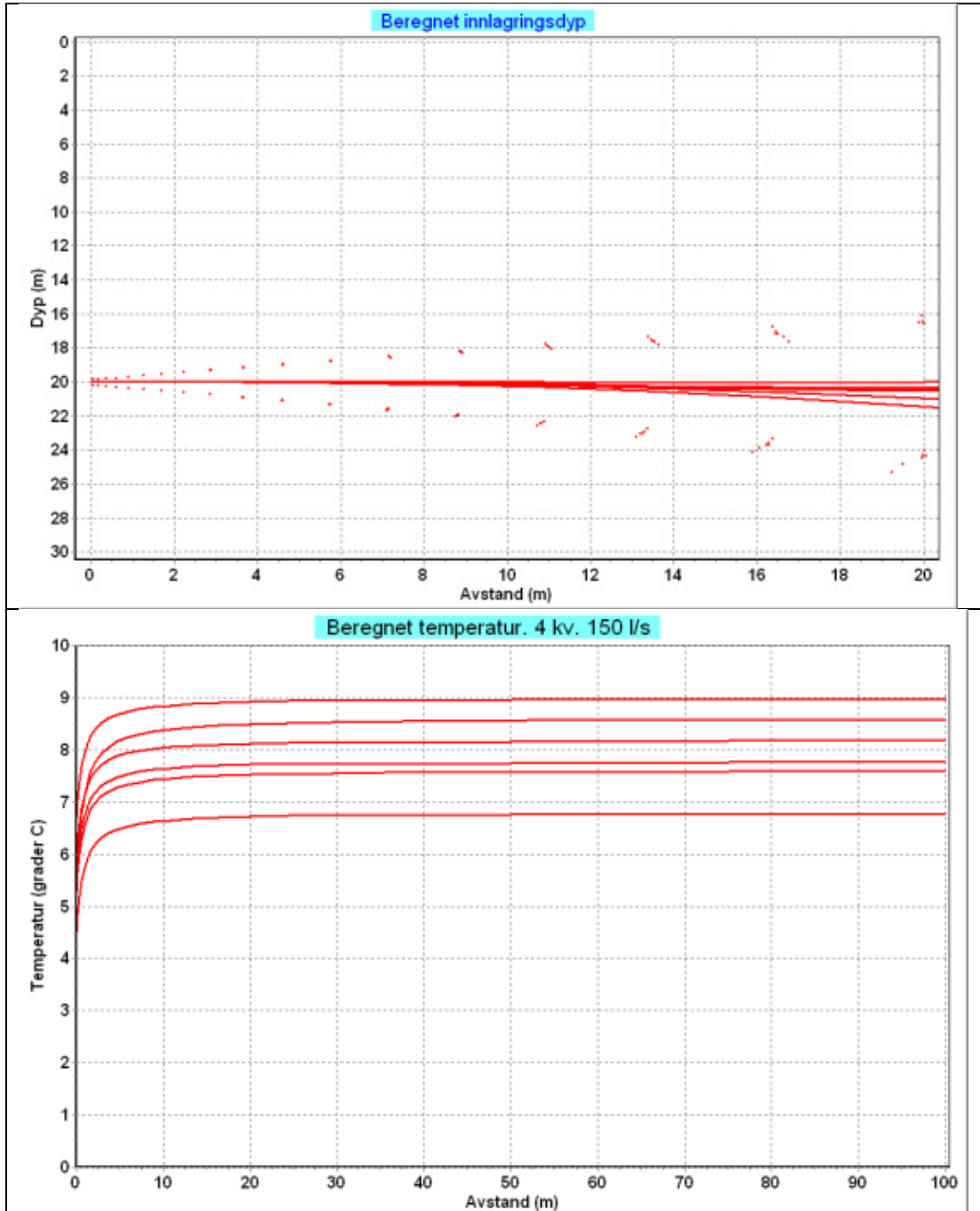
Figur 13. Utslipp av 225 l/s i juli-august. Oppvarming 8 °C. Øverst: kjølevannets innlagring. Nederst: kjølevannets temperatur.

Fjerde kvartal (data fra oktober og desember)

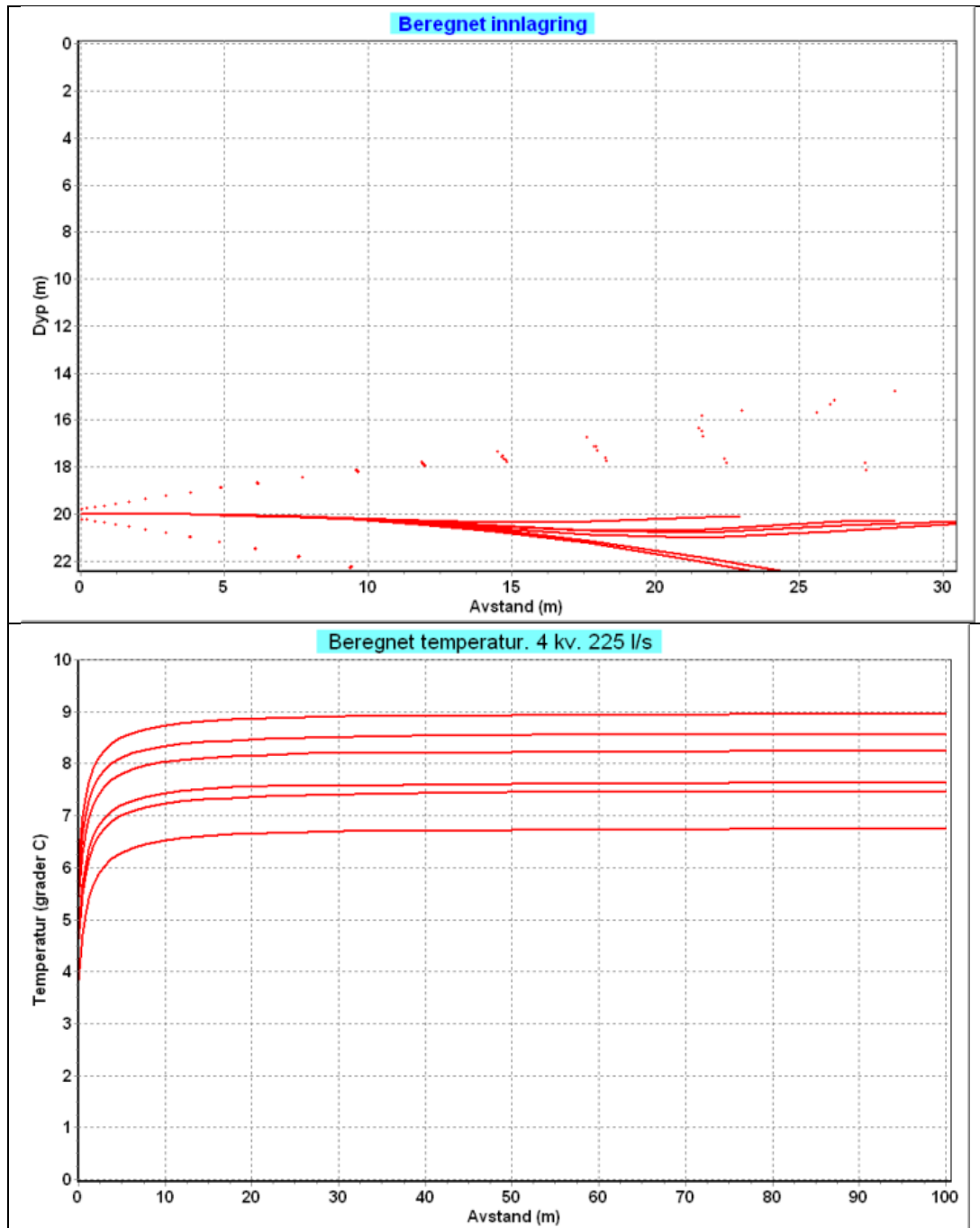
Figur 14 - Figur 16 viser resultat av beregningene.



Figur 14. Utslipp av 120 l/s i oktober og desember. Avkjøling 3 °C. Øverst: kjølevannets innlagring. Nederst: kjølevannets temperatur.



Figur 15. Utslipp av 150 l/s i oktober og desember. Avkjøling 2,4 °C. Øverst: kjølevannets innlagring. Nederst: kjølevannets temperatur.



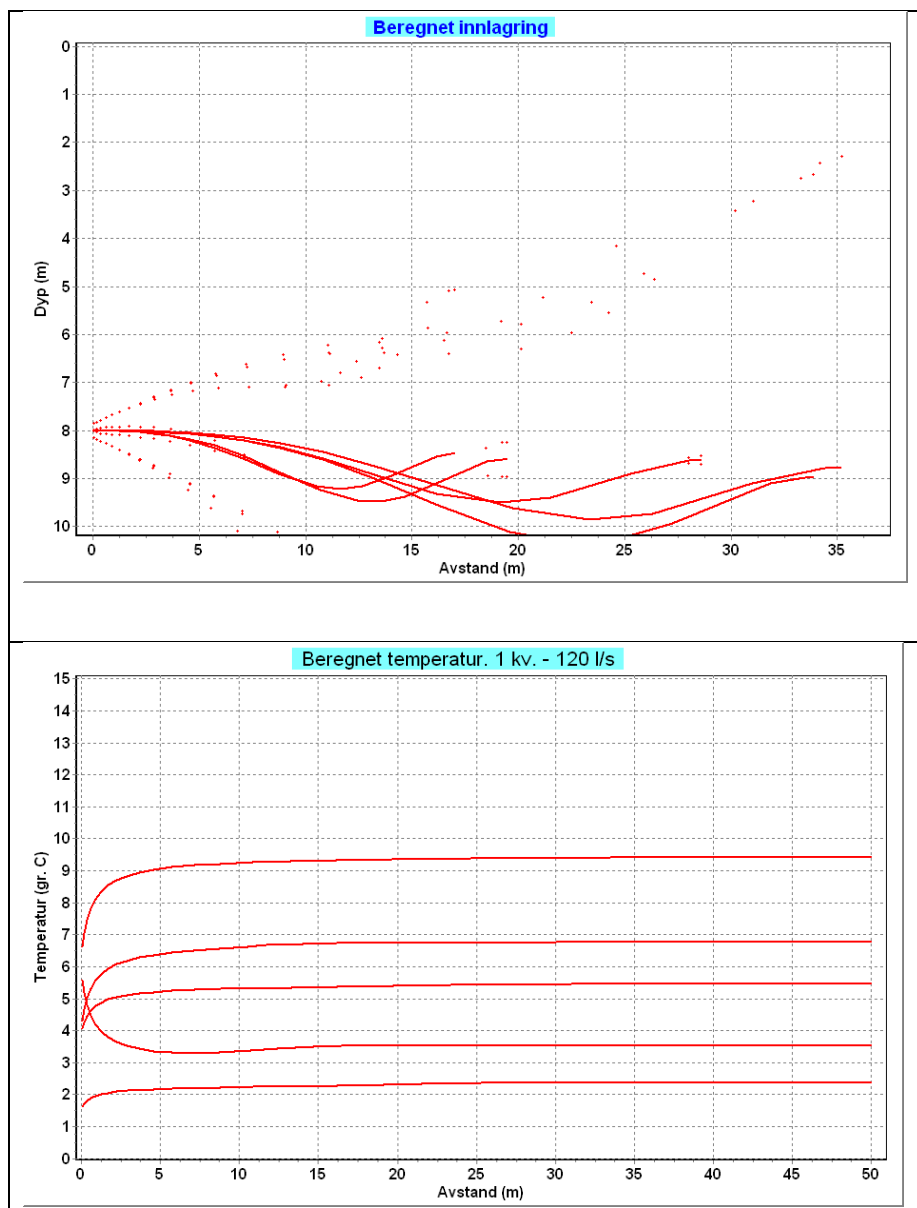
Figur 16. Utslipp av 225 l/s i oktober og desember. Avkjøling 3 °C. Øverst: kjølevannets innlagring. Nederst: kjølevannets temperatur.

4.3 Utslipp i 8 m dyp

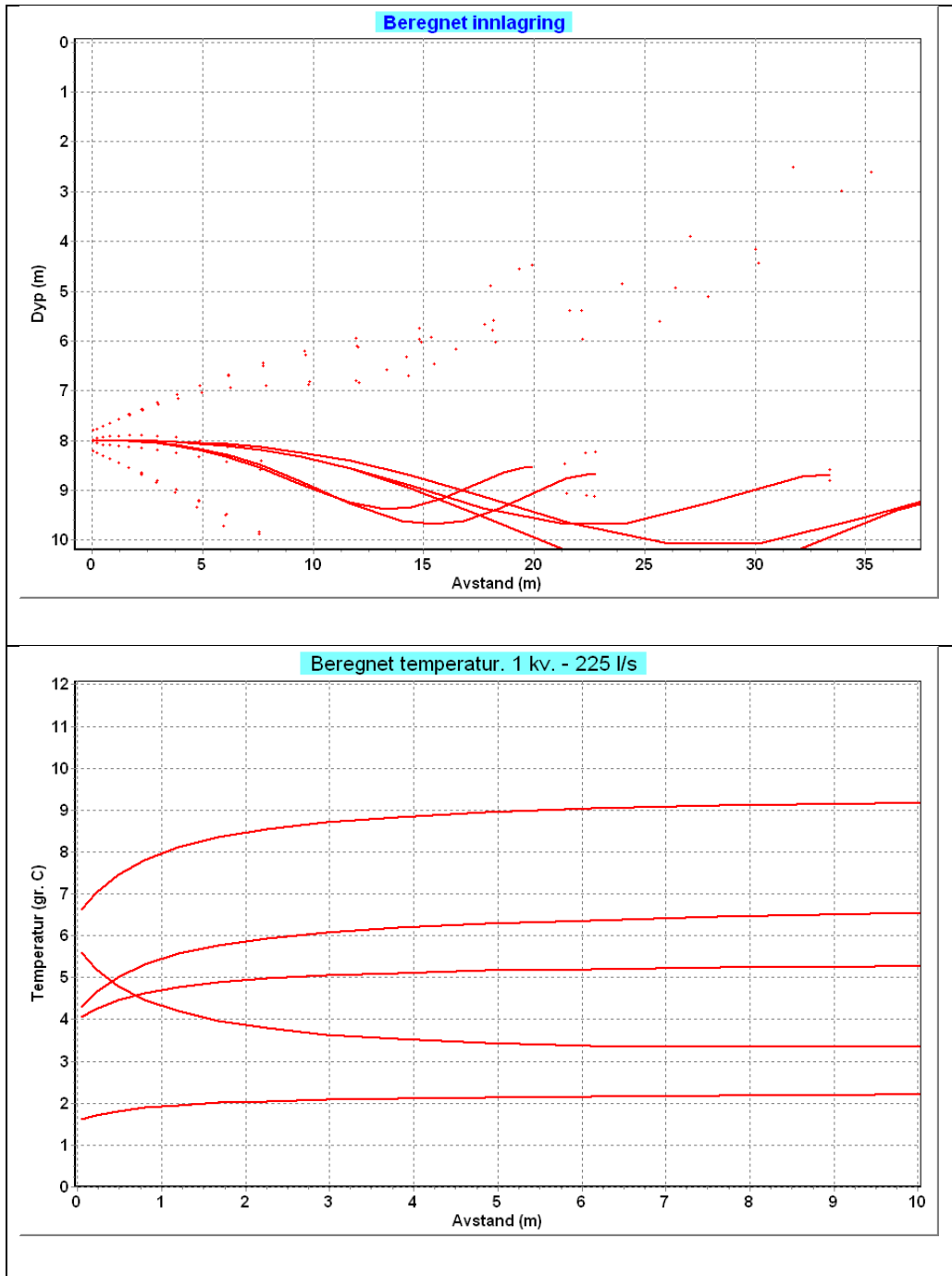
Første kvartal (data fra januar-februar)

Figur 17 og Figur 18 viser resultat av beregningene. Øvre figur viser at avløpsvannet er tyngre enn sjøvannet i 8 m dyp (først og fremst pga. større saltholdighet) og synker mot bunnen. NB! Hvis utslippet blir liggende bare 0,5-1 m over bunnen skal det ikke legges vekt på kurven under 8 m dyp. Avløpsvannet legger seg langs bunnen.

Nedre figur viser at temperaturen innen en avstand på 5 m avviker maksimalt 1 °C fra omgivelsenes temperatur. Fordi beregning av fortynningen i liten grad tar hensyn til bunnen, gir modellen sannsynligvis for stor fortykning. Derfor er det mer realistisk å anslå en distanse på 15-20 m før temperaturavviket er maksimalt 1 °C.



Figur 17. Utslipp av 120 l/s i januar-februar. Avkjøling 3 °C. Øverst: kjølevannets innlagring. Nederst: kjølevannets temperatur.

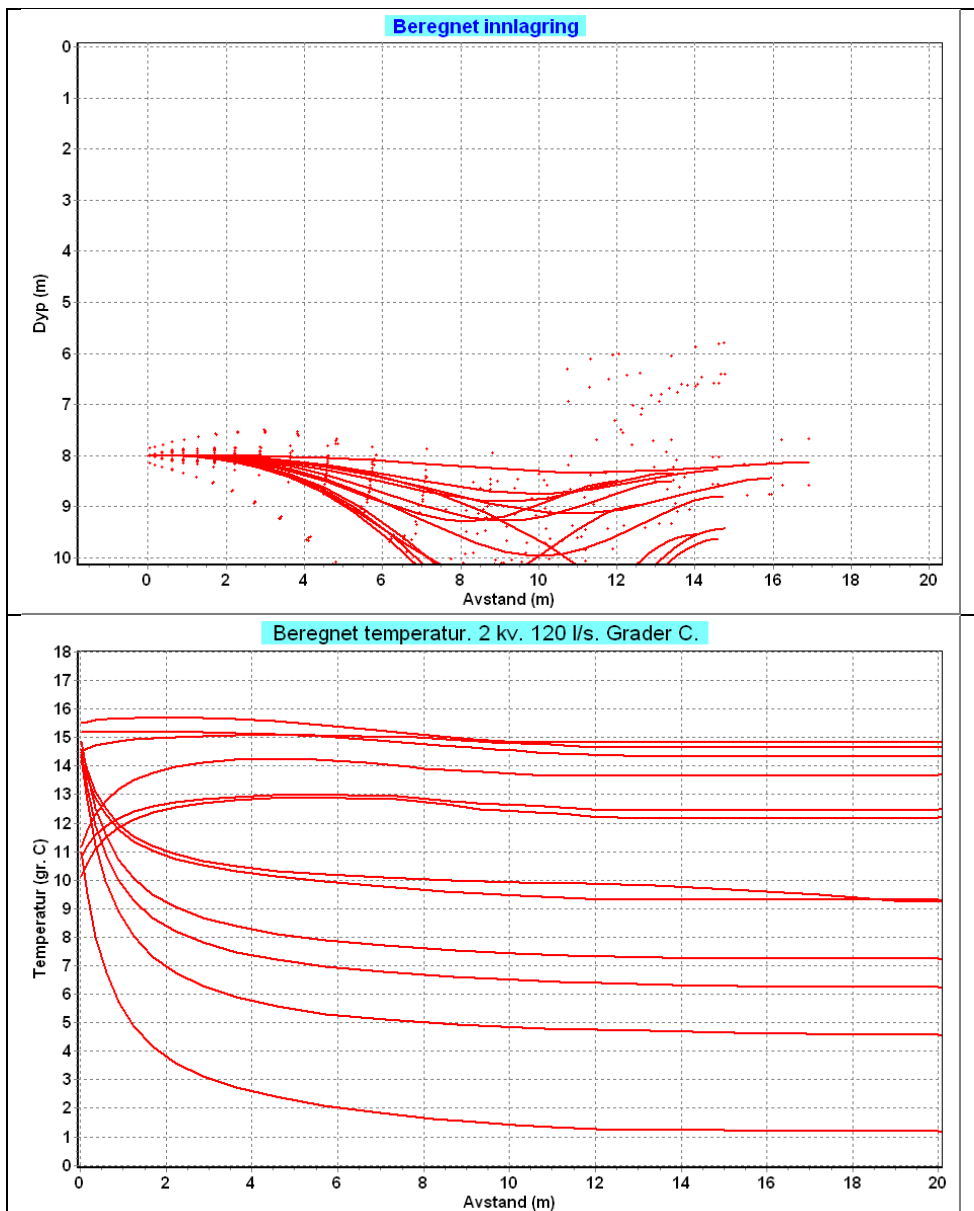


Figur 18. Utslipp av 225 l/s i januar-februar. Avkjøling 3 °C. Øverst: kjølevannets innlagring. Nederst: kjølevannets temperatur.

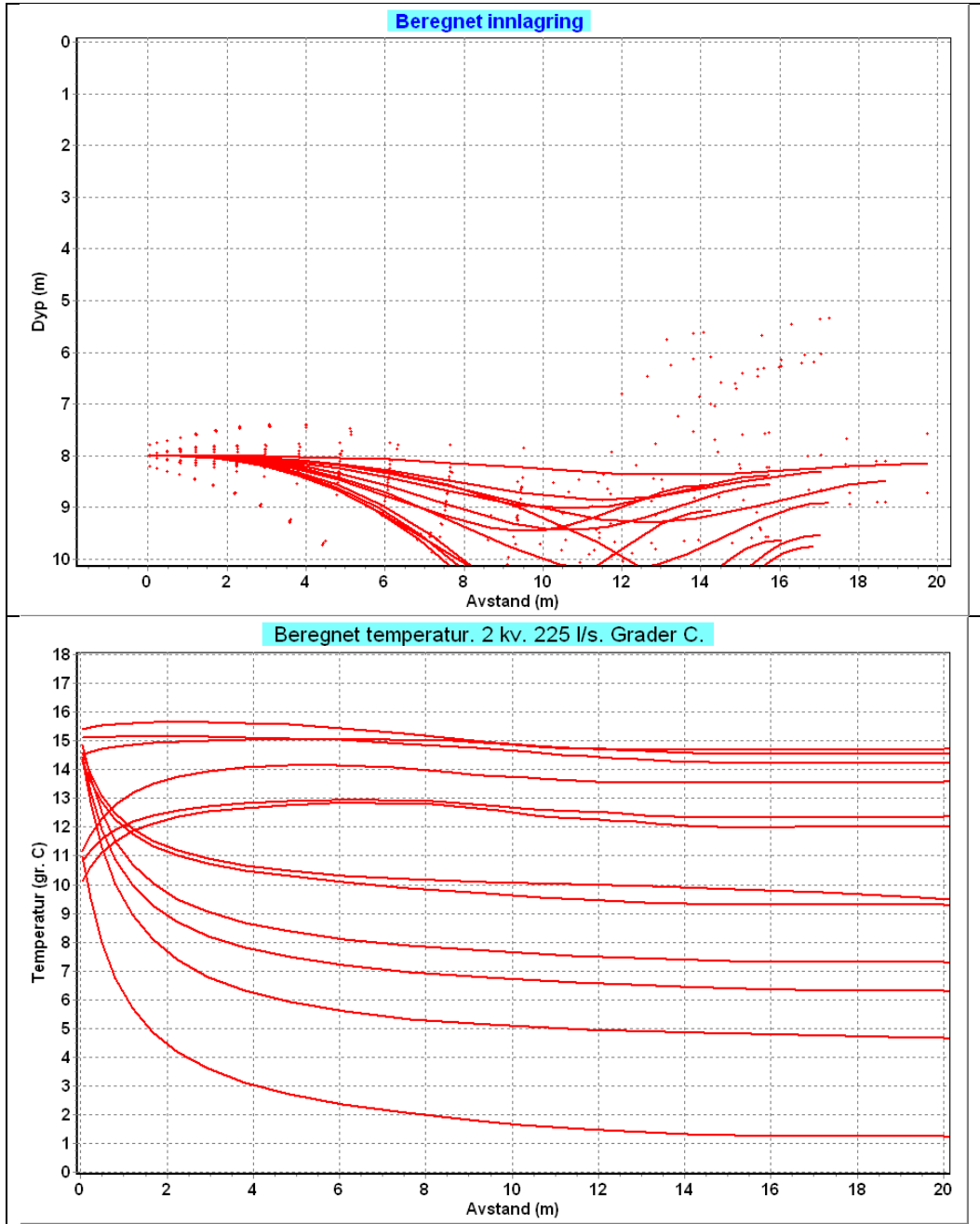
Andre kvartal (data fra april-juni)

Figur 19 og Figur 20 viser resultat av beregningene. Sammenlignet med 1.kvartal er dette mer kompliserte figurer pga. flere profiler og særlig fordi temperaturen i vannsøyla varierer mye i tidsrommet april-juni. Øvre figur viser at avløpsvannet er tynge enn sjøvannet i 8 m dyp (først og fremst pga. større saltholdighet) og legger seg over bunnen. **NB! Det bør ikke legges vekt på kurvene under 8 m dyp.**

Nedre figur viser at temperaturen innen en avstand på 10-20 m avviker maksimalt 1 °C fra omgivelsenes temperatur. Fordi beregning av fortynningen i liten grad tar hensyn til bunnen, gir modellen sannsynligvis for stor fortykning. Derfor er det mer realistisk å anslå en distanse på 20-30 m før temperaturavviket er maksimalt 1 °C.



Figur 19. Utslipp av 120 l/s i april-juni. Oppvarming 8 °C. Øverst: kjølevannets innlagring. Nederst: kjølevannets temperatur.

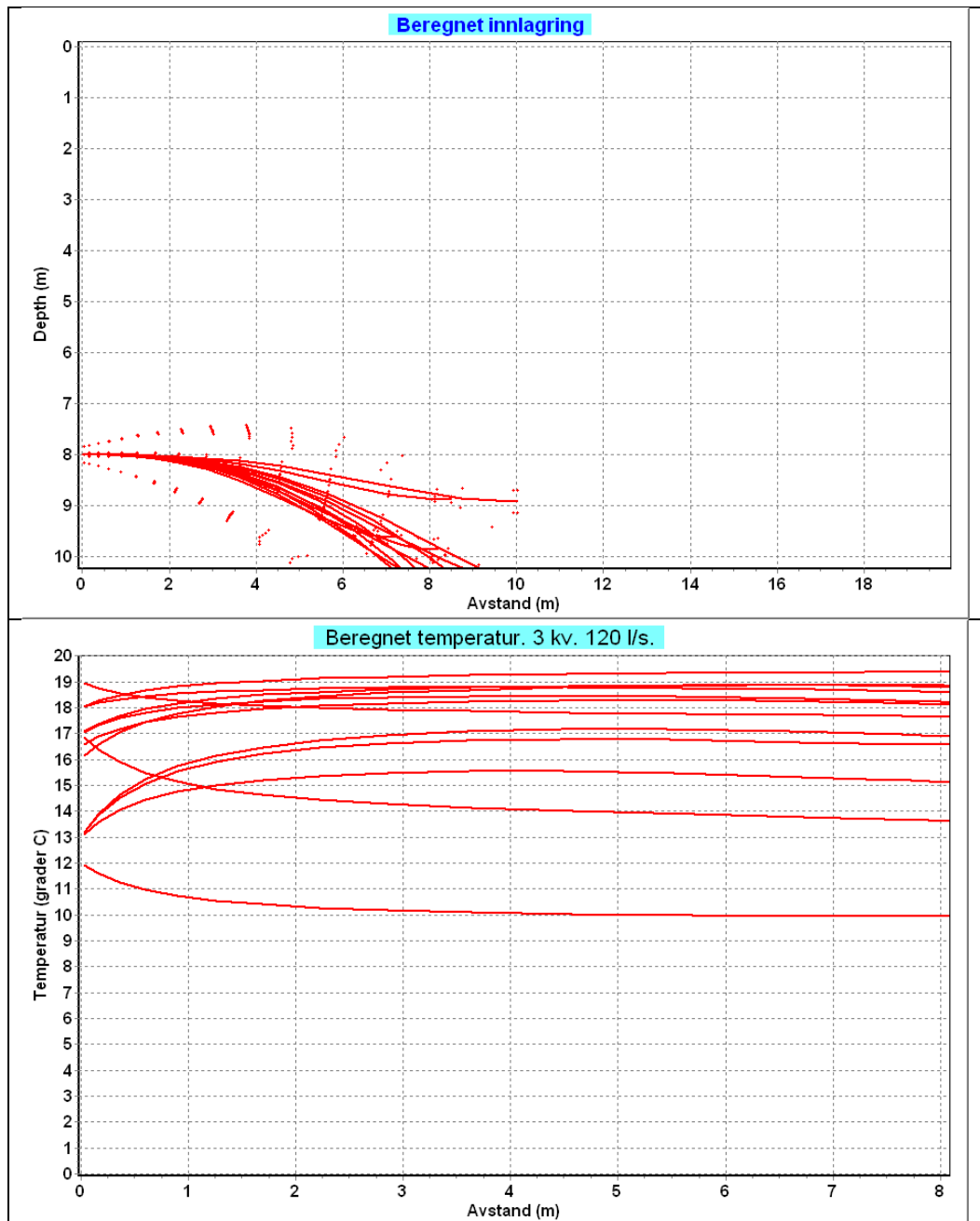


Figur 20. Utslipp av 225 l/s i april-juni. Oppvarming 8 °C. Øverst: kjølevannets innlagring. Nederst: kjølevannets temperatur.

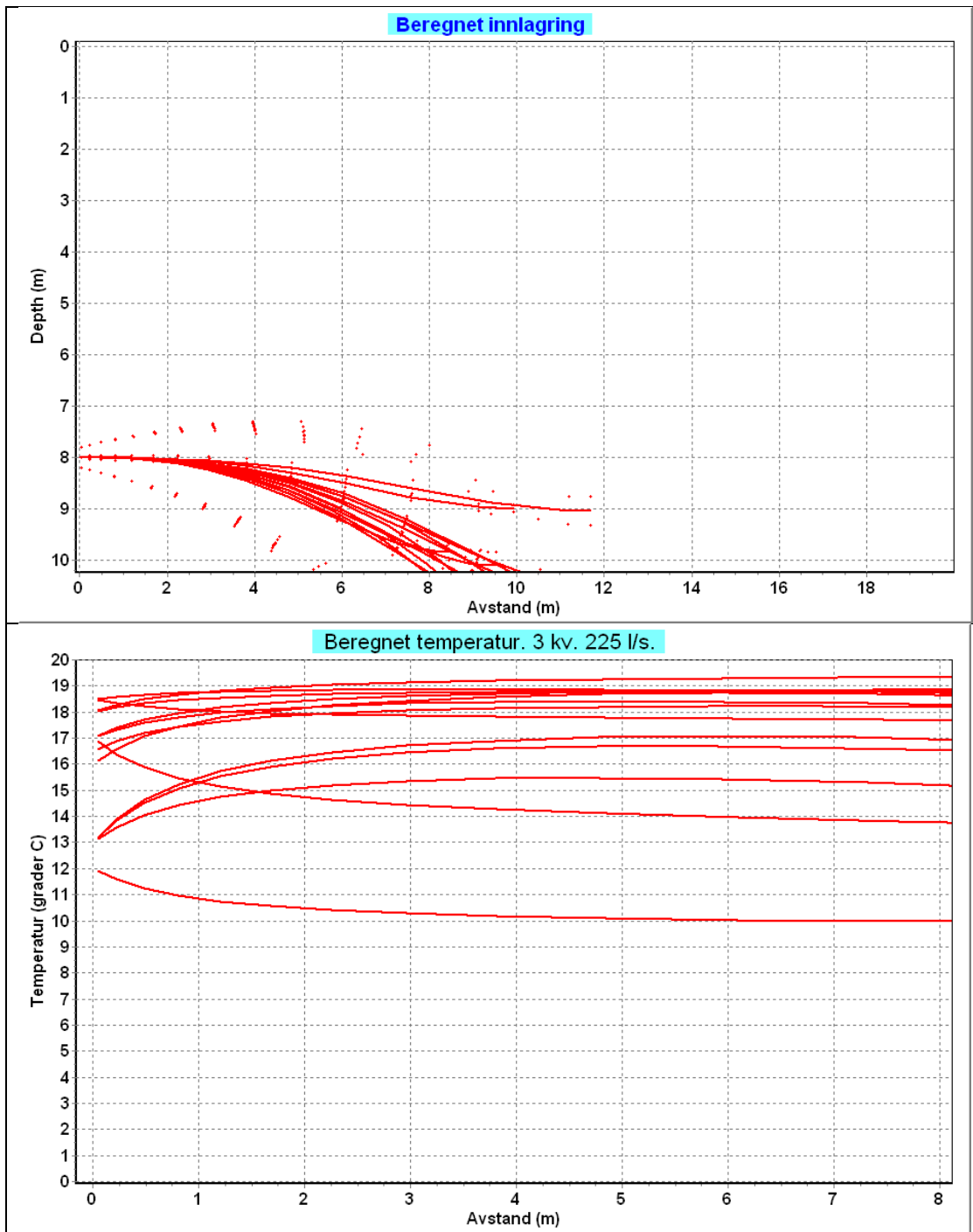
Tredje kvartal (data fra juli-august)

Figur 21 og Figur 22 viser resultat av beregningene. Øvre figur viser at avløpsvannet er tyngre enn sjøvannet i 8 m dyp (først og fremst pga. større saltholdighet) og legger seg over bunnen. NB! Det bør ikke legges vekt på kurvene under 8 m dyp.

Nedre figur viser at temperaturen innen en avstand på 5-10 m avviker maksimalt 1 °C fra omgivelsenes temperatur. Fordi beregning av fortykningen i liten grad tar hensyn til bunnen, gir modellen sannsynligvis for stor fortykning. Derfor er det mer realistisk å anslå en distanse på 15-20 m før temperaturavviket er maksimalt 1 °C.



Figur 21. Utslipp av 120 l/s i juli-august. Oppvarming 8 °C. Øverst: kjølevannets innlagring. Nederst: kjølevannets temperatur.

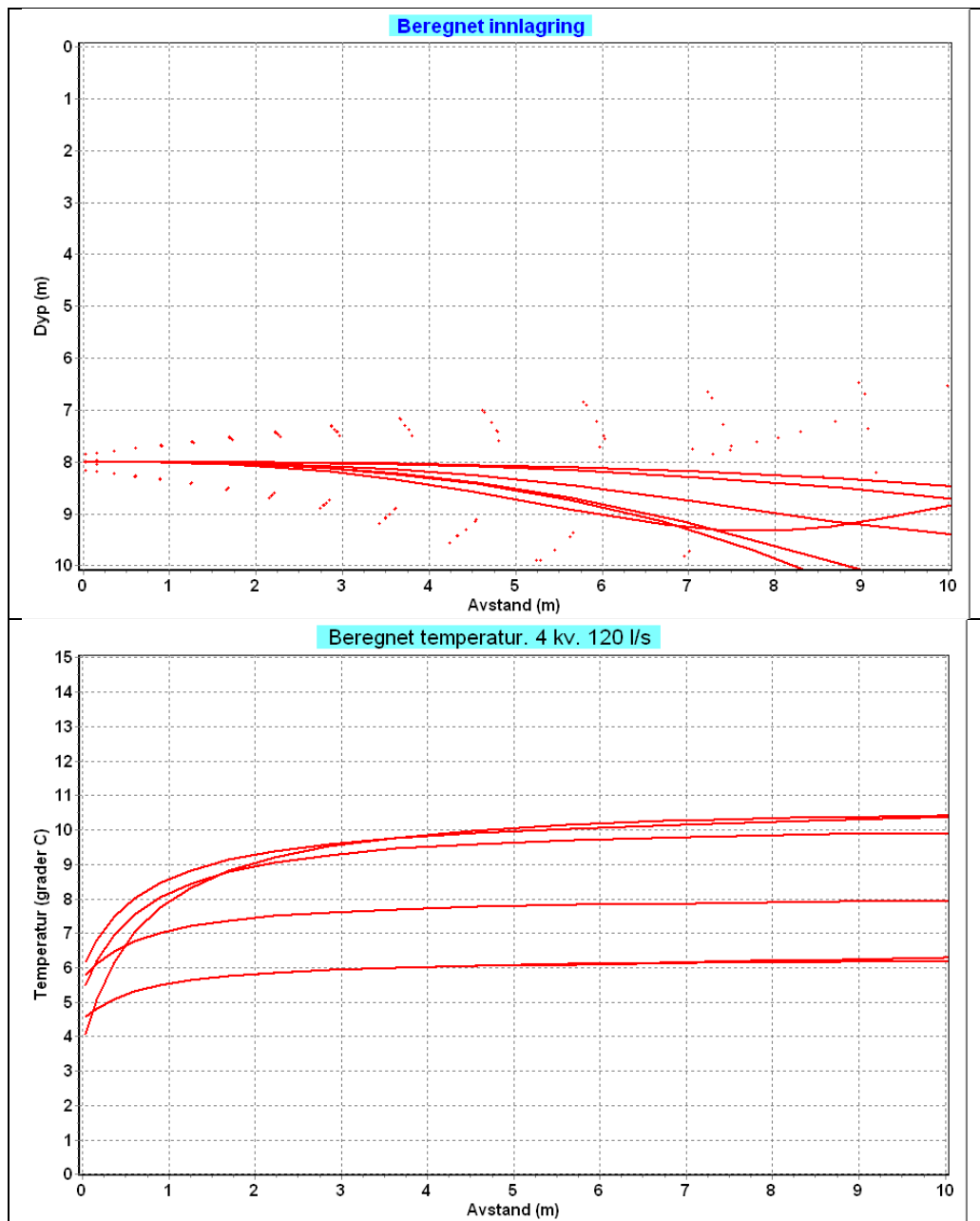


Figur 22. Utslipp av 225 l/s i juli-august. Oppvarming 8 °C. Øverst: kjølevannets innlagring. Nederst: kjølevannets temperatur.

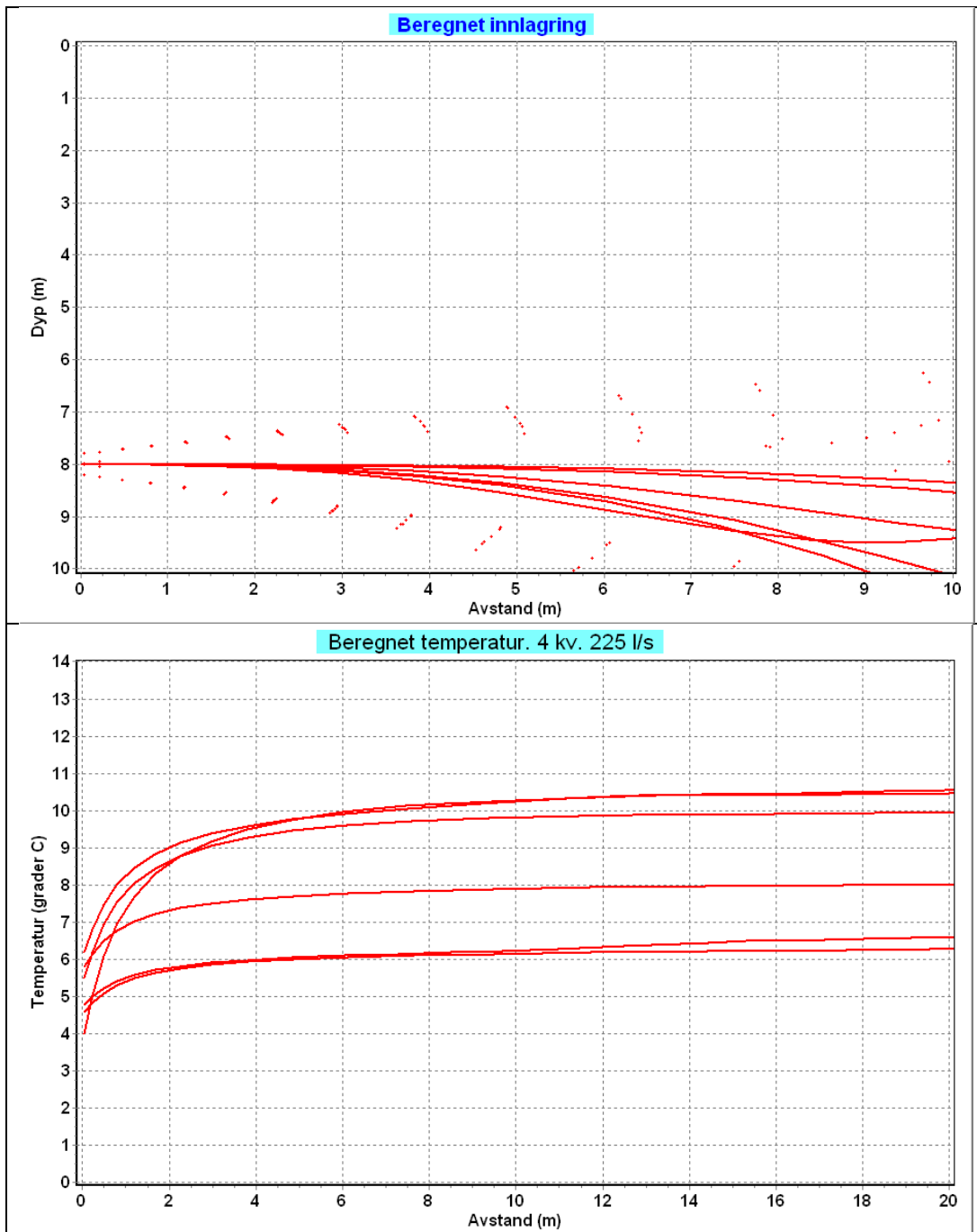
Fjerde kvartal (data fra oktober og desember)

Figur 23 og Figur 24 viser resultat av beregningene. Øvre figur viser at avløpsvannet er tyngre enn sjøvannet i 8 m dyp (først og fremst pga. større saltholdighet) og legger seg over bunnen. NB! Det bør ikke legges vekt på kurvene under 8 m dyp.

Nedre figur viser at temperaturen innen en avstand på 5-10 m avviker maksimalt 1 °C fra omgivelsenes temperatur. Fordi beregning av fortykningen i liten grad tar hensyn til bunnen, gir modellen sannsynligvis for stor fortykning. Derfor er det mer realistisk å anslå en distanse på 15-20 m før temperaturavviket er maksimalt 1 °C.



Figur 23. Utslipp av 120 l/s i oktober og desember. Avkjøling 3 °C. Øverst: kjølevannets innlagring. Nederst: kjølevannets temperatur.



Figur 24. Utslipp av 225 l/s i oktober og desember. Avkjøling 3 °C. Øverst: kjølevannets innlagring. Nederst: kjølevannets temperatur.

4.4 Næringssaltpåvirkning

4.4.1 Utslipp i 20 m dyp

Vi har forutsatt at kjølevannet hentes fra ca. 20 m dyp og slippes ut omkring samme dyp. Beregningene ovenfor viser at kjølevannet etter utslipp igjen legger seg nær bunnen, dvs. omkring det dyp som det hentes fra.

Det er dermed ikke grunn til å forvente at næringssaltene i kjølevannet vil endre algeveksten i området hvor det slippes ut. Det anses derfor ikke nødvendig å gjøre noen mer detaljert vurdering av dette for de enkelte årstider eller tetthetsprofiler.

4.4.2 Utslipp i 8 m dyp

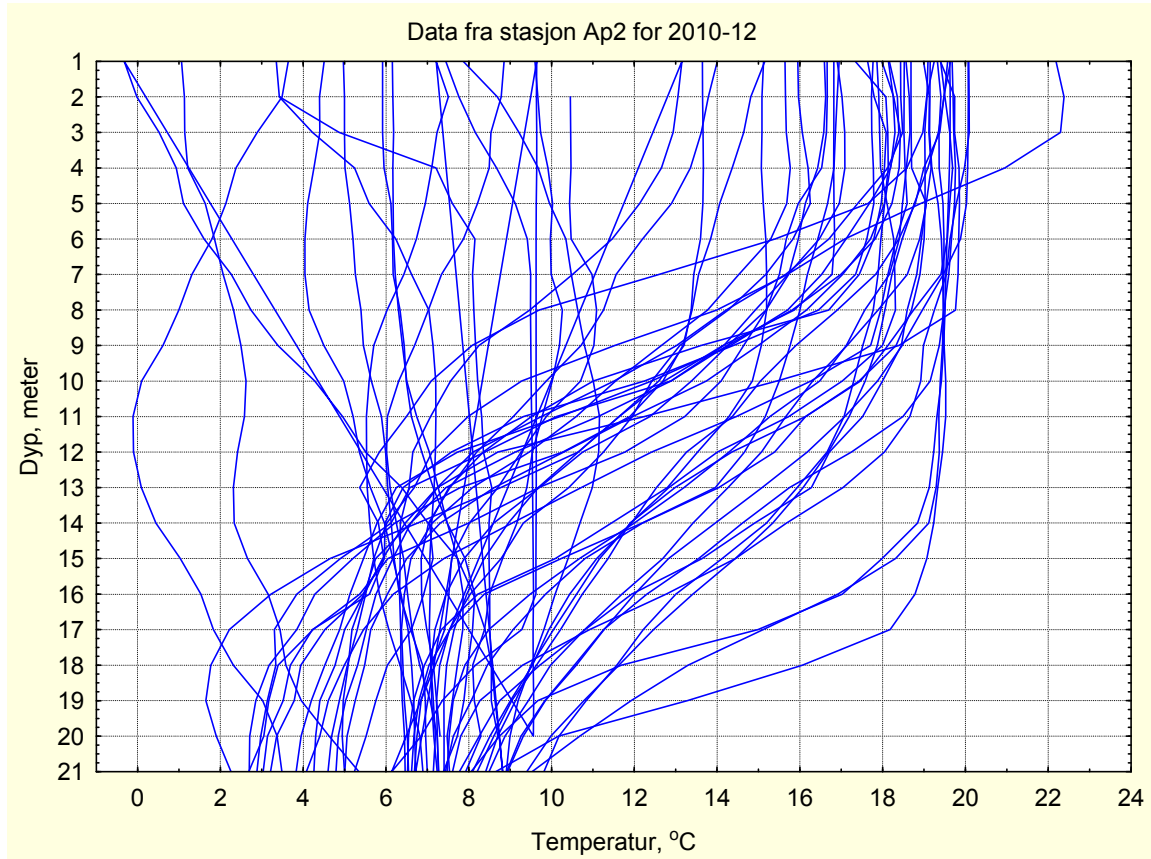
Som beregnet ovenfor tyder tall for vår-sommermånedene (april, mai og august, 2-5 målinger pr. måned) på en netto⁵ døgntransport fra 20 m til 8 m dyp av 0,2-0,4 kg total fosfor og i størrelsesorden 2-3,5 kg total nitrogen. Sammenlignet med gjennomsnittlig tilførsel av næringsalter fra Akerselva til overflatelaget i Bjørviks for april-august 2012 utgjør dette for fosfor bare i størrelsesorden 3-7 %, og for nitrogen 2-3 %.

Videre skal påpekes at ved utslipp av kjølevann på 8 m dyp blir dette liggende som et lag ved bunnen, og næringssaltene vil av den grunn i mindre grad bidra til økt algevekst oppover i vannmassen sammenlignet med det som kommer til overflatelaget.

⁵ Basert på forskjellen i konsentrasjon mellom 20 m dyp og 8 m dyp.

5. Litteratur

- Bakke, T., J.A. Berge, B. Braathen, F. Moy, H. Oen, A. Pedersen og M. Walday 1992. Kombinerte effekter av kjølevann og oppdrett på marine bunnsamfunn. Et økosystemeksperiment. NIVA-rapport 2743-1992. 201 sider.
- Berge, J.A, Amundsen, R., Bergland, K., Bjerkeng, B., Gitmark, J., Holt, T.F., Hylland, K., Johnsen, T.M., Kroglund, T., Ledang, A.B., Lømsland, E., Magnusson, J., Rohrlack, T. og Sørensen, K., 2012. Overvåking av Indre Oslofjord i 2011. NIVA-rapport nr. 6371-2012. 14 sider.
- Beschorner, A. og Sjølander, I., 2012. Vannkvalitet i byvassdrag og fjord 2012. Oslo Kommune, Vann- og avløpsetaten, avdeling Drift og vedlikehold, seksjon Vannmiljø. 56 sider. http://www.vann-og-avlopsetaten.oslo.kommune.no/vannet_vart/vassdrag_og_fjord/
- 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
- Bjerkeng, B. og Jonsson, B., 2006. Vurdering av tekniske og miljømessige forhold vedr. inntak og utslipp av kjølevann ved Akerselvas nedre del. NIVA-rapport 5284-2006. 29 sider.
- Christie, H., Fredriksen, S., Magnusson, J. og Rueness, J., 2006. Marinbiologiske forbedringer i Bjørvika/Bispevika. Vurdering av muligheter. NIVA-rapport 5237-2006. 29 sider.
- EPA, 1986. Quality Criteria for Water. The Gold Book. EPA 440/5-86-001.Washington.USA. 476 pp.
- Frick, W.E., Roberts, P.J.W., Davis, L.R., Keyes, J, Baumgartner, D.J. and George, K.P., 2001. Dilution Models for Effluent Discharges, 4th Edition (Visual Plumes). Environmental Research Division, U.S. Environmental Protection Agency, Athens Georgia, USA.
- Lee, J.A. og Brinkhuis, B.H., 1986. Reproductive phenology of *Laminaria saccharina* (L.) Lamour. (Phaeophyta) at the southern limit of its distribution in the Northwest Atlantic °Cean. J. Phycol., 22, 276-285.
- Sundene, O., 1962. The implications of transplant and culture experiments on the growth and distribution of *Alaria esculenta*. Nytt magasin for botanikk, 9.

Vedlegg A. Temperaturdata fra stasjon Ap2 for 2010-2012.

Figur V1. Temperaturdata fra stasjon Ap2 fra 2010-2012. NB! Dette er rådata som vises for å gi et inntrykk av spredningen.

Vedlegg B. Statistikk for temperaturdata i Oslo havn 2004-2012

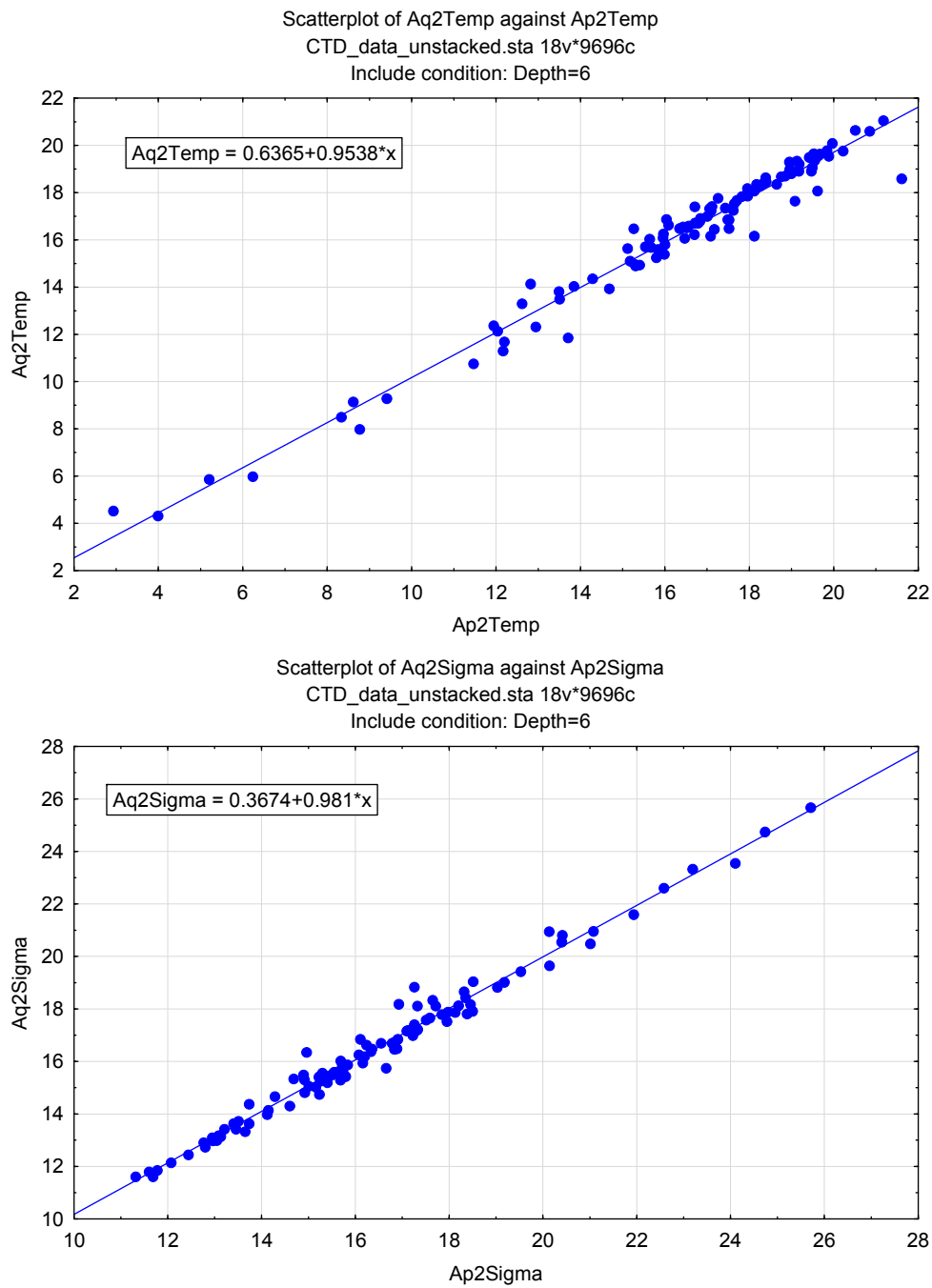
Dette vedlegget viser supplerende fremstillinger av temperaturdata fra Oslo havn.

Tabell V1 viser tilsvarende statistikk som Tabell 3 for temperatur på 18 m dyp på både stasjon Aq2 og Ap2 (se kart i Figur 1), men disse tabellene er basert på alle tilgjengelige data for 2004-2012, slik at det gir et bedre statistisk grunnlag. For mange av månedene er det ikke gjort målinger på Aq2, men der det er målt begge steder, er temperaturvariasjonene såpass like at en bør kunne bruke data fra Ap2 som grunnlag for å bedømme forventet fordeling av temperatur i inntaksvannet også ved stasjon Aq2. Temperaturen på 18 og 20 m dyp vil ikke være vesentlig forskjellig.

Figur V2 viser sammenhengen mellom stasjonene Aq2 og Ap2 når det gjelder temperatur og tetthet på 6 m dyp. Det er svært god lineær sammenheng, og ingen tegn til at lokal påvirkning fra Akerselva på stasjon Aq2 går så langt ned som 6 m dyp.

Tabell V1. Statistikk for temperatur i 18 m dyp i tidsrommet 2004-2012, fordelt på måneder for stasjon Ap2 og Aq2. Merk at det mangler data fra mars, september og november fra Ap2, og at stasjon Aq2 bare har data for januar og sommermånedene juni – august. Det statistiske grunnlaget er noe forskjellig også i de månedene hvor det finnes data fra begge stasjonene, og noe av forskjellene i statistikk vil skyldes dette.

Mnd	Stasjon Ap2							Stasjon Aq2						
	Gjennsnitt	Antall	Min.	Maks.	Median	Persentiler		Gjennsnitt	Antall	Min.	Maks.	Median	Persentiler	
						10 %	90 %						10 %	90 %
1	7.97	9	6.12	9.6	8.27	6.12	9.6	7.81	2	6.93	8.7	7.81	6.93	8.7
2	6.59	6	3.58	8.5	6.67	3.58	8.5		0					
4	6.49	8	2.31	8.7	6.88	2.31	8.7		0					
5	6.65	8	1.77	8.4	6.92	1.77	8.4		0					
6	7.07	36	3.18	8.8	7.22	3.69	8.7	6.9	31	2.43	8.9	7.31	3.59	8.7
7	8.54	31	3.94	16.1	8.46	4.99	9.9	8.36	31	3.61	16.7	8.23	4.73	10
8	9.15	44	5.07	12	9.56	6.04	11.2	8.78	29	5.08	11.3	8.69	5.31	10.6
10	9.22	7	7.1	10.6	9.69	7.1	10.6		0					
12	8.68	8	7.72	10	8.65	7.72	10		0					



Figur V2. Sammenligning av sjøvannets temperatur og tetthet⁶ i 6 m dyp på stasjonene Aq2 og Ap2. Linear-regresjon er vist i hver figur.

⁶ Sjøvannets tetthet (egenvekt) beregnes på grunnlag av målingene av temperatur og saltholdighet. Her er tettheten beskrevet ved størrelsen $\sigma_t = (\text{egenvekten} - 1000)$, der egenvekten er oppgitt med enheten kg/m^3 .

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 samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

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