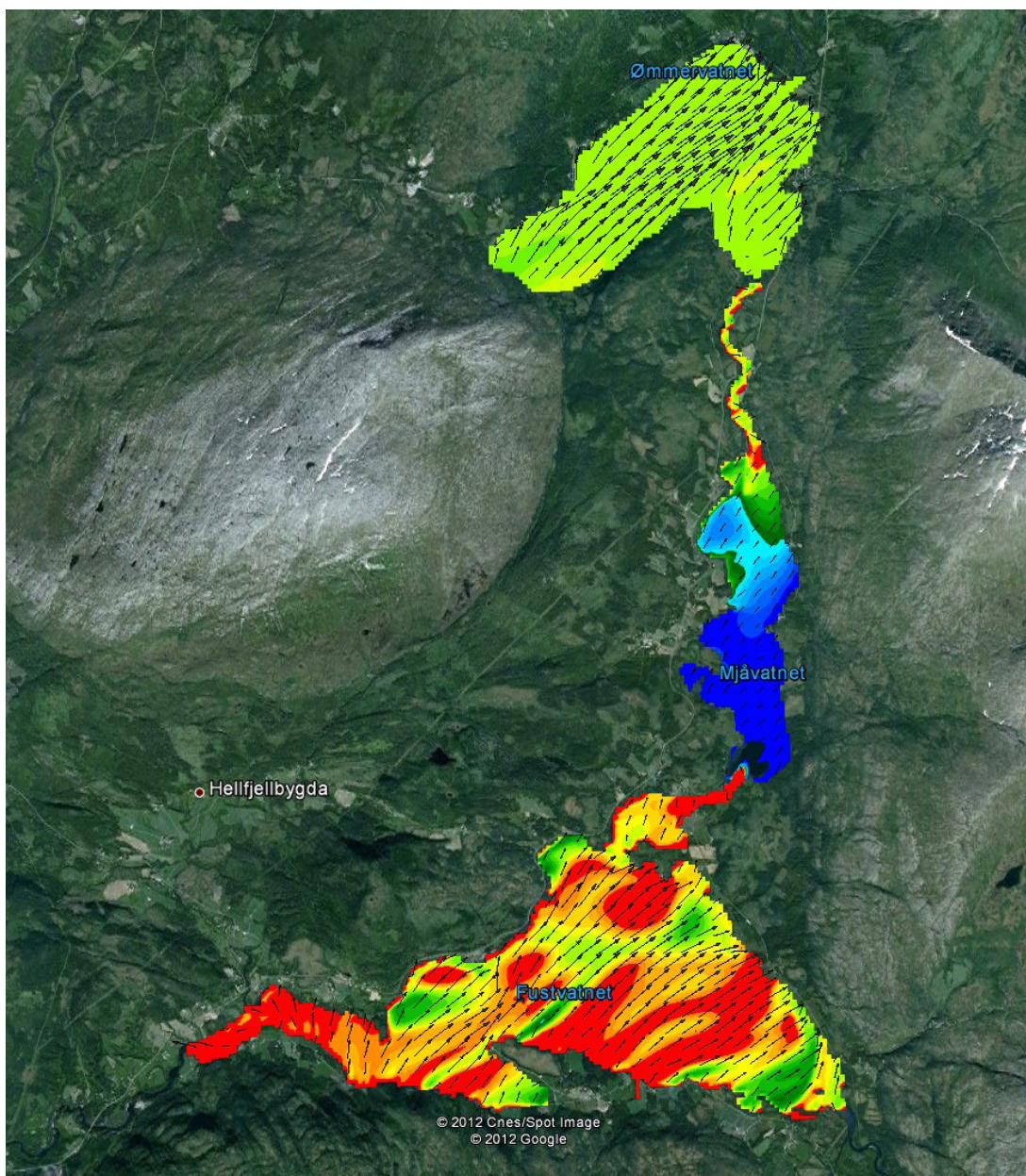


Gyrobehandling av Ømmervatn, Mjåvatn og Fustvatn. Matematisk modellering



RAPPORT

Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

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

Østlandsavdelingen

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

Vestlandsavdelingen

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

NIVA Midt-Norge

Pirsenteret, Havnegata 9
Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87


| | | |
|---|---------------------------------------|----------------------|
| Tittel Gyrobehandling av Ømmervatn, Mjåvatn og Fustvatn. Matematisk modellering | Løpenr. (for bestilling) 6363-2012 | Dato 11. mai 2012 |
| | Prosjektnr. Undernr. O-10456 | Sider Pris 54 |
| Forfatter(e) Torulv Tjomsland, Pål Adolfsen (Veterinærinstituttet), Helge Bardal (Veterinærinstituttet) og Geir Vatne (Vatne Tracing/NTNU) | Fagområde Gyrobehandling | Distribusjon Fri |
| | Geografisk område Nordland | Trykket NIVA |

| | |
|--|-----------------------------------|
| Oppdragsgiver(e) Veterinærinstituttet | Oppdragsreferanse Helge Bardal |
|--|-----------------------------------|

Sammenheng

Hensikten med denne rapporten var å bedre grunnlaget for en vellykket behandling av Ømmervatn, Mjåvatn og Fustvatn med rotenon (CFT-Legumin). Behandlingen ble simulert ved en matematisk modell. I simuleringene oppnådde vi en tilfredsstillende jevn fordeling av dosert rotenon innen hver av innsjøene. I modellen ble det ble dosert i striper med 100 meters mellomrom, og fra overflate til bunn. Oktober er valgt for tidspunkt for behandlingen ut fra hensiktsmessig temperatur på vannet med hensyn til bestandighet av rotenon og vertikale blandingsforhold,

| | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| Fire norske emneord | Fire engelske emneord |
| 1. <i>Gyrodactylus salaris</i> | 1. <i>Gyrodactylus salaris</i> |
| 2. Hydrodynamikk | 2. Hydrodynamics |
| 3. Modellering | 3. Modeling |
| 4. Rotenonbehandling | 4. Rotenone treatment |



Torulv Tjomsland
Prosjektleder



John Rune Selvik
Forskningsleder



Brit Lisa Skjelkvåle Monsen
Forskningsdirektør

Norsk institutt for vannforskning

Gyrobehandling av Ømmervatn, Mjåvatn og Fustvatn

Matematisk modellering

Prosjektleder: Torulv Tjomsland

Medarbeidere: Pål Adolfsen, Veterinærinstituttet
Helge Bardal, Veterinærinstituttet
Geir Vatne, Vatne Tracing/NTNU

Forord

Veterinærinstituttet jobber med forberedelser til tiltak mot parasitten *Gyrodactylus salaris* (Gyro) i Ømmervatn, Mjåvatn og Fustvatnet i Nordland og ønsket i den forbindelse en matematisk modellering av innblanding av rotenon (CFT-Legumin) for å bedre grunnlaget for en effektiv behandling.

De utførte simuleringer er gjort i nært samarbeid med Helge Bardal og Pål Adolfsen ved Veterinærinstituttet. Arbeidet er også blitt justert via arbeidsmøter med andre medarbeidere innen prosjektet. Geir Vatne, Vatne Tracing/NTNU har spesielt deltatt i forbindelse med simulert rotenonbehandling ved bruk av rodamin. Dette gjaldt både feltarbeid og beskrivelse av resultatene. Helge Bardal har vært kontaktperson ved Veterinærinstituttet

Oslo, 11. mai 2012

Torolv Tjomsland

Innhold

| | |
|---|-----------|
| Sammendrag | 5 |
| Summary | 7 |
| 1. Innledning | 8 |
| 1.1 Mål | 8 |
| 1.2 Beskrivelse av området | 8 |
| 1.3 Modell | 11 |
| 1.4 Inngangsdata, simuleringsperiode og dosering | 13 |
| | 14 |
| 2. Simulerte og observerte verdier av strøm og sporstoff | 17 |
| 2.1 Simulert og observert strøm | 17 |
| 2.2 Modellering av dosert rodamin i Ømmervatn | 19 |
| 2.2.2 Dosert sporstoff | 19 |
| 2.2.3 Modellering av sporstoffutslippet | 24 |
| 3. Simulert rotenonbehandling | 35 |
| 3.1 Behandling ved naturlige forhold | 35 |
| 3.2 Behandling ved sterk vind | 44 |
| 3.3 Behandling uten vind | 46 |
| 3.4 Rotenon med lengre nedbrytningstid | 50 |
| 4. Diskusjon og konklusjoner | 53 |
| 5. Referanser | 54 |

Sammendrag

Hensikten med denne rapporten er å bedre grunnlaget for en vellykket behandling av Ømmervatn, Mjåvatn og Fustvatn i Nordland med rotenon (CFT-Legumin). Målet er å dosere med rotenon slik at konsentrasjonen blir 100 % dødelig på samme tid i hver av innsjøene, med tilstrekkelig margin for variasjoner i konsentrasjonen. Dødelig dose anses å være 0,3 mg/l CFT-Legumin.

Resultater fra modelleringen skal være veiledende for doseringsmengde og doseringstetthet horisontalt og vertikalt.

Dosering og spredning av rotenon ble simulert med den 3-dimensjonale modellen GEMSS. Modellen, GEMSS, beregner strøm, temperatur, konsentrasjon av stoffer med ulike egenskaper mm. Modellen beregner hva som skjer i innsjøen ut fra kjent klima, vannføring, vanntemperatur og stoffkonsentrasjon i tilløp/utslipp og vannføring i utløp. Innsjøene ble delt inn i beregningsceller. I horisontalplanet var disse 50 m x 50 m og i dybderetningen adskilt av horisontale flater med en meters mellomrom. For hver celle ble resultatene beregnet skrittvis fremover i tid med periode på et par minutter.

Modellen ble verifisert mot observasjoner i Ømmervatn. Det var godt samsvar mellom observert og modellert strøm.

I Ømmervatn utførte Veterinærinstituttet en simulert behandling ved bruk av fargestoffet rodamin. Det ble dosert på dypt vann første dag og i overflaten andre dag. Doseringen skjedde i striper med 200 meters mellomrom. Mellom 30 meter og bunn ble det dosert med 10 meters mellomrom i dybderetningen. Dette feltforsøket samt numerisk modellering av dette feltforsøket, viste at doseringstettheten både horisontalt og vertikalt måtte forbedres for å oppnå en tilstrekkelig jevn fordeling av det doserte stoffet i innsjøen

Vi oppnådde en vellykket simulert behandling med den matematiske modellen ved følgende forhold og forutsetninger:

- Meteorologiske forhold og vannføringer var som i perioden 26. oktober – 1. november 2011.
- Det ble i modellen dosert 3.3 % rotenonholdig væske.
- Vi antok en halveringstid for rotenon på 10 dager ved en vanntemperatur på 5 °C.
- I elvene ble det dosert slik at konsentrasjonene var 0,7 mg/l av CFT-Legumin
- I innsjøene ble det dosert striper med 100 meters mellomrom og jevn fordelt fra overflate til bunn. Mengden tilsvarte 0,7 mg/l CFT-Legium i innsjøene ved en ideell blanding..
- Den første dagen (26.okt.) ble det dosert i Ømmervatn (øverst), den tredje dagen (28.okt.) i Fustvatn (nederst) og tilslutt i Mjåvatn dagen etter (29.okt.).

Vi testet den skisserte doseringen ved å utføre tilsvarende simuleringene ved meget sterk vind, samt under vindstille forhold. Vi studerte også virkningen av langsommere nedbrytning av rotenonet.

Konklusjoner - anbefalinger

I følge simuleringene er det mulig å oppnå konsentrasjoner av CFT-Legumin på mer enn ca. 0,6 mg/l innen hver av innsjøene samtidig ved å dosere tilsvarende en ideell jevn blanding av CFT_Legumin på 0,7 mg/l.

Ved en halveringstid på 1 måned vil det kun være en liten reduksjon fra ideell blanding på 0,7 mg/l CFT Legumin. Virkningen av stoff fra den ene innsjøen til den nedenforliggende blir større og tidsrommet med effektiv blanding økes. Reduksjon under den ideelle middelverdien på 0,7 mg/l skjedde fortrinnsvis i Ømmervatn.

Jo lenger tid doseringen tar, desto mer ujevn blir konsentrasjonsfordeling ved doseringens slutt. Man bør følgelig tilstrebe en så nær momentan dosering som mulig. I praksis betyr det å dosere samtidig fra overflate til bunn og så tett som kapasiteten tillater, f.eks. i striper med 100 meters mellomrom.

For å unngå lommer med lave konsentrasjoner bør man dosere helt inn til land. Dette bør repeteres til slutt, i alle fall i vindskjermede bukter.

Det er liten vannutskiftning i de dypeste bassengene. Man bør legge ekstra vekt på å treffe de dypeste gropene.

Blandingen går raskere om vi doserer i striper på tvers av vindretningen. I snitt blir dette nordvest-sydøstlige retninger

Det ideelle er å ha rolige forhold under doseringen og påfølgende vind for å få til en god blanding. I følge simuleringene virker det planlagte doseringsmønsteret robust mot endrede vindforhold.

En konsentrasjon på 0,3 mg/l rotenon antas å være dødelig for røye. I følge simuleringene skulle en dosering tilsvarende en jevn blanding på 0,4 mg/l være gi et tilfredsstillende resultat. Det er vanskelig å si hvor sikre simuleringene er. Det er heller ikke mulig å simulere en hver tenkelig situasjon. Videre er den praktiske gjennomføringen i felt forbundet med usikkerhet. Ikke alt går nødvendigvis etter planen. Det er følgelig nødvendig å øke doseringsmengden i forhold til hva simuleringene antyder for å øke sannsynligheten for et vellykket resultat.

Summary

Title: Gyro-treatment of Lake Ømmervatn, Lake Mjåvatn and Lake Fustvatn. Mathematical modeling.
Year: 2012

Author: Torulv Tjomsland, Pål Adolfsen, Helge Bardal og Geir Vatne

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-6098-4

The objective of this report is to contribute to improved plans for a successful rotenone treatment in Lake Ømmervatn, Lake Mjåvatn and Lake Fustvatn in the county of Nordland, against the salmon parasite *Gyrodactylus salaris*.

Various scenarios of distributing rotenone in the lakes were simulated with the GEMSS model. The simulations rendered satisfactory concentrations in the lakes when rotenone was distributed in transects with distance equal 100 m in the model, simultaneously from the surface to the bottom of the lake. The upper lake, Lake Ømmervatn, was treated on day 1. The most downstream lake, Lake Fustvatn, was treated on day 3, and the middle lake, Lake Mjåvatn, was treated on day 4. This treatment pattern seemed to be effective under various wind conditions.

Simulated water currents were in good accordance with observed values. A tracer (rhodamine) were added to one of the lakes and monitored to illustrate a rotenone treatment scenario. Simulated and observed concentrations were rather good. The tracer study in the lake and the numerical simulation of the intermixture of the tracer substance, indicated that rotenone should be distributed from the surface to the bottom of the lake simultaneously in order to obtain optimal mixing.

To avoid risk of establishing pockets with low concentrations under practical treatment conditions, some advises may be followed:

- Carry through the distribution of rotenone as fast as possible, at least treat one lake in one day.
- Avoid low concentrations in bays by applying repeated distribution of rotenone along the shores at the end of the same day as the main treatment of the lake.
- Give special attention to distribution of rotenone in the deepest parts of the lake due to low currents and slow mixing in that compartment.
- The fastest mixing of rotenone is along the wind direction. It is recommended to plan for distribution transects in NW - SE direction, perpendicular to the wind.

1. Innledning

1.1 Mål

Hensikten med denne rapporten er å bedre grunnlaget for en vellykket behandling mot lakseparasitten *Gyrodactylus salaris* (Gyro) av Ømmervatn, Mjåvatn og Fustvatn med rotenon (CFT-Legumin). Målet er å dosere slik at konsentrasjonene blir 100 % dødelig på samme tid i hver innsjø, med tilstrekkelig margin. Dødelig dose anses å være 0,3 mg/l CFT-Legumin.

Resultater fra modelleringen skal være veiledende i forhold doseringsmengde og doseringstetthet horisontalt og vertikalt.

De simuleringene som er gjort i denne rapporten bygger på innledende beregninger som ble utført i 2010 for Fustvatn og i 2011 for Ømmervatn, Mjåvatn og Fustvatn (Tjomsland 2010, Tjomsland 2011).

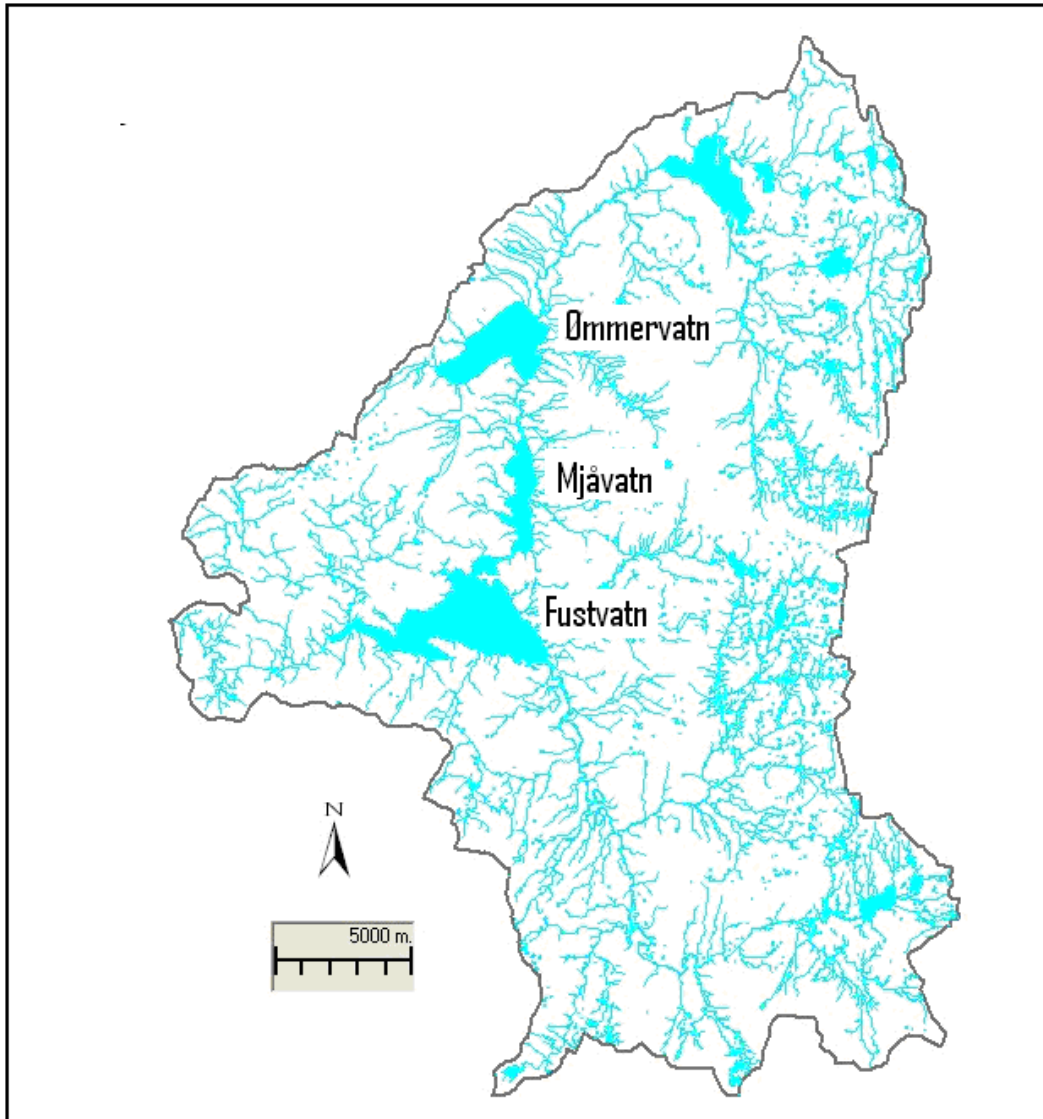
1.2 Beskrivelse av området

Nedbørfeltet til Fustvatn er 526 km². De to største tilløpene er i nordøst (Mjåvatn, 220 km², 42 %) og i sørvest (Herringelva, 198 km², 38 %). Utløpselva, Fusta, drenerer til Vefsnfjorden nær Mosjøen i Nordland, (**Figur 1**).

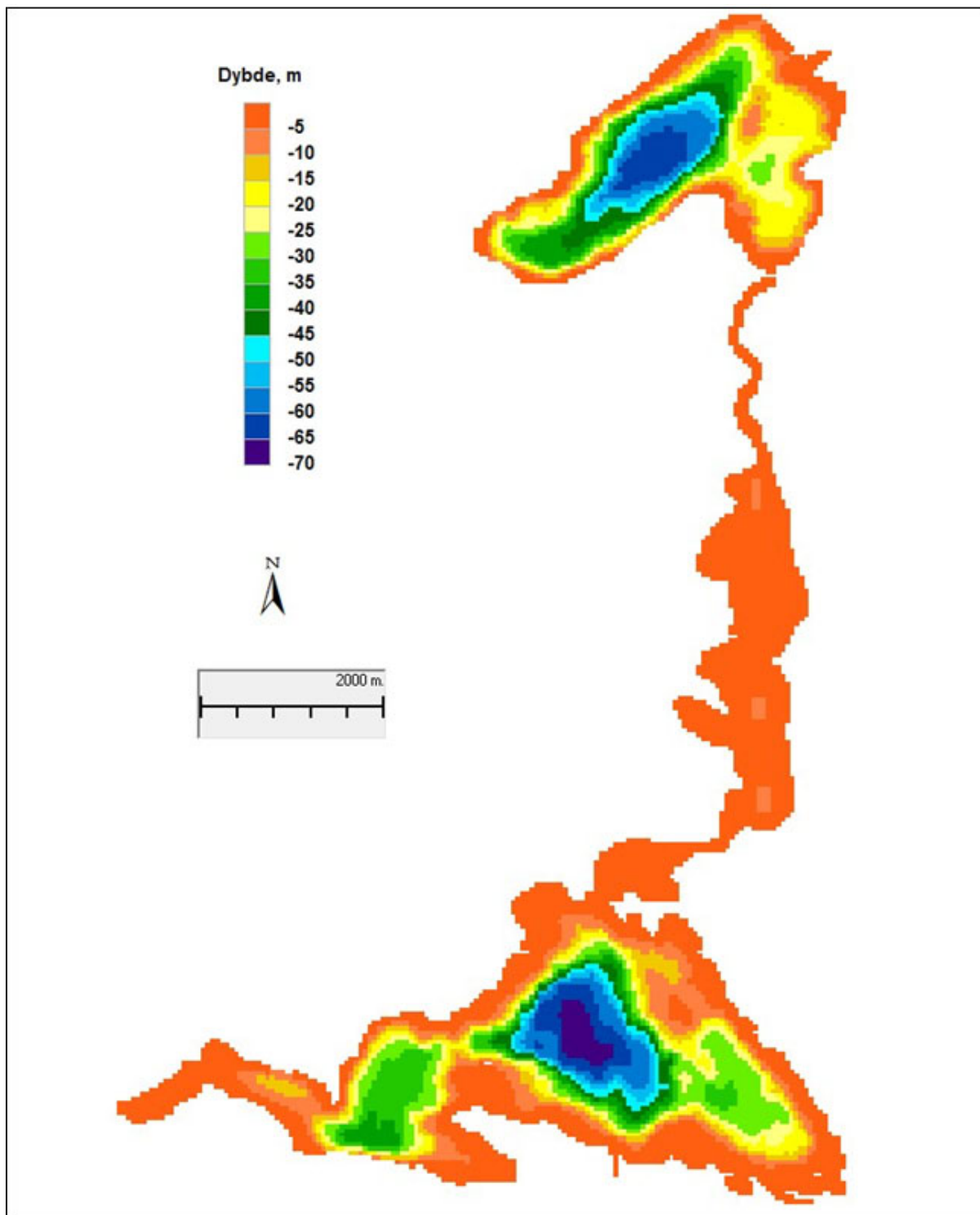
I følge NVE har Fustvatn et overflateareal på 10,6 km². Midlere dybde er 21 meter. Volumet er 221 mill. m³. Dette er meget nær de samme verdiene som ble benyttet ved modelleringen og bestemt ut fra den automatiske inndelingen i beregningsceller ut fra dybdekart (**Figur 2**). Ca. halvdelen av innsjøens volum finnes i de øverste 12 meterne. Midlere vannføring 1960-1990 var 33 m³/s. Teoretisk oppholdstid (volum/middelvannføring) er 80 døgn. Det er et stort basseng med største dyp på 70 meter i de sentrale deler av innsjøen. I sørvest er det et noe mindre basseng med maksimum dyp på 40 meter. Et tredje og adskillig mindre basseng finnes i sørøst. Maksimum dyp er også der 40 meter (**Figur 2**).

Mjåvatn har samme høyde over havet som Fustvatn. Areal, midlere dyp og volum er henholdsvis 2,6 km², 5 m og 13 mill. m³. Nedbørfeltet er 220 km². Midlere vannføring 14,8 m³/s. Teoretisk oppholdstid er 10 døgn.

Ømmervatn har et areal på 5,3 km², midlere dyp lik 27 meter og et volum på 147 mill. m³. Det er et basseng i vest med dybder ned mot 70 meter. Nedbørfeltet er 180 km². Midlere vannføring 12,3 m³/s. Teoretisk oppholdstid er 140 døgn.



Figur 1. Nedbørfeltet til Fusta som drener til fjorden.(Kilde: Norge Digitalt)

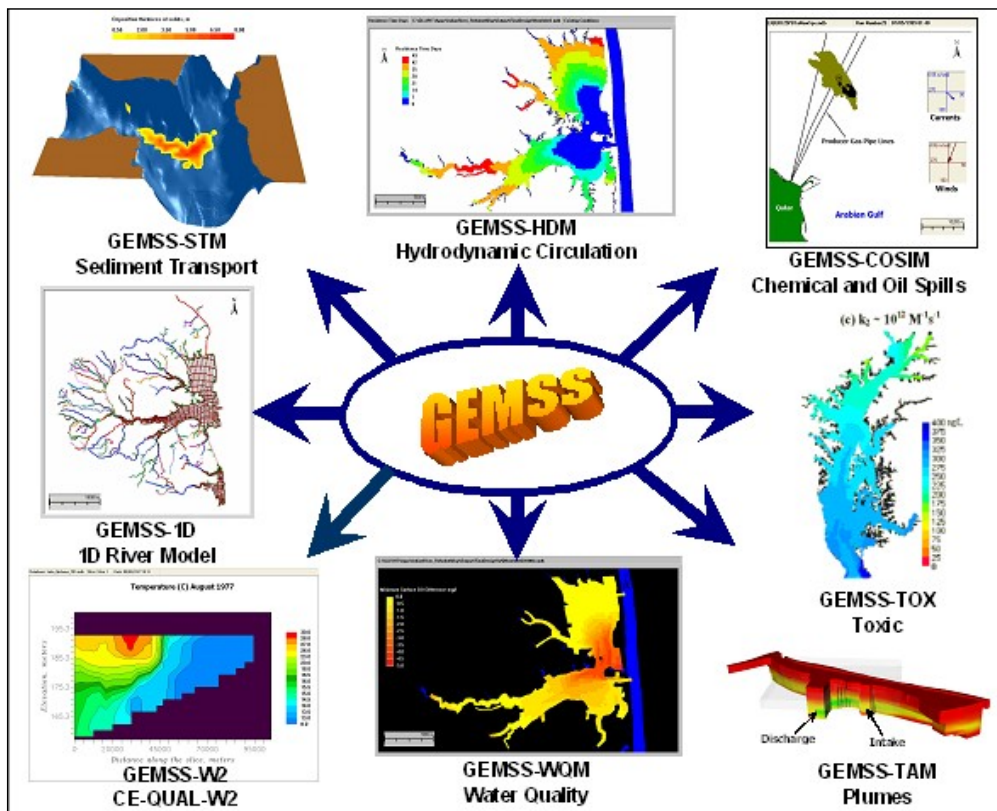


Figur 2. Ømmervatn, Mjåvatn og Fustvatn. Dybdekart slik det er benyttet i modellen. Oppmålingene gjort på oppdrag av Veterinærinstituttet).

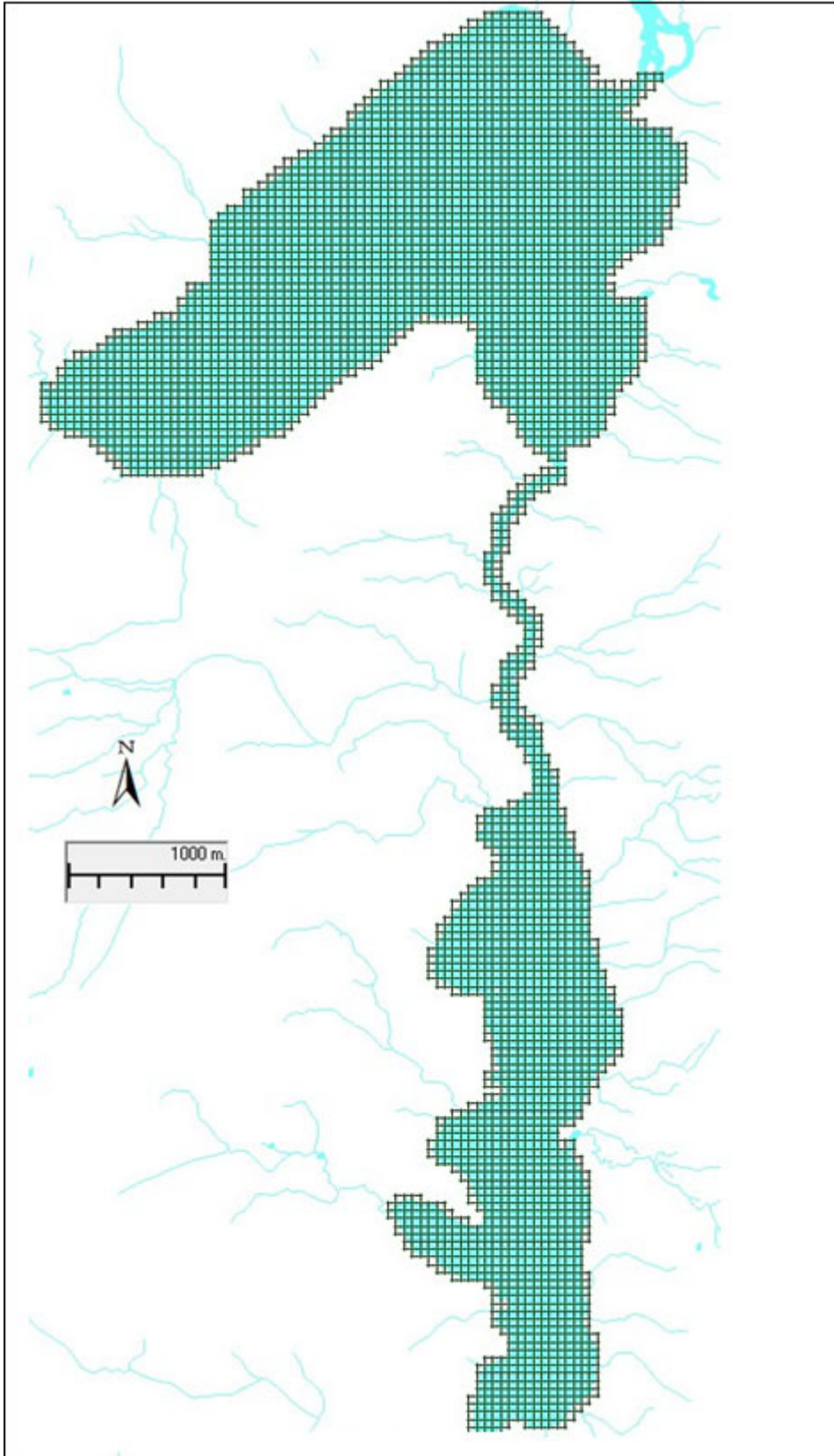
1.3 Modell

Vi benyttet den 3-dimensjonale modellen GEMSS (Figur 3). Modellen beregner strøm, temperatur, konsentrasjon av stoffer med ulike egenskaper mm. Modellen beregner hva som skjer i innsjøen ut fra kjent klima, vannføring, vanntemperatur og stoffkonsentrasjon i tilløp, vannføring i utløp. Innsjøen ble delt inn i beregningsceller (Figur 4). I horisontalplanet var disse 50 m x 50 m og i dybderetningen 1 m. For hver celle ble resultatene beregnet skrittvis fremover i tid med periode på et par minutter.

Modellen/modellpakken er utviklet av ERM's Surfacewater Modeling Group i Exton, Pennsylvania, USA. Modellen og eksempler på bruk av modellen kan studeres nærmere på hjemmesiden <http://www.erm-smg.com>. Modellen er blant de mest avanserte som finnes. Den er jevnlig i bruk verden rundt.



Figur 3. GEMSS er en pakke med modeller. Ved denne anledningen bruker vi modul for hydrodynamikk og transport. Modellen/modellpakken er utviklet av ERM's Surfacewater Modeling Group i Exton, Pennsylvania, USA.



Figur 4. Innsjøene ble delt inn i beregningsceller. I horisontalplanet var disse 50 m x 50 m og i dybderetningen 1 m.

1.4 Inngangsdata, simuleringsperiode og dosering

Vi simulerte rotenonbehandling av innsjøene i perioden 26. oktober – 1. november 2011. I denne perioden ble det gjort feltnmålinger i området. Tidsrommet ble valgt ut fra hensiktsmessig temperatur på vannet med hensyn til bestandighet av rotenon og vertikale blandingsforhold, (Tjomsland 2010 og Tjomsland 2011).

I modellen ble det lest inn vannføringer i de 20 største tilløpene. Disse ble funnet ved arealbetraktninger fra NVEs vannføringsstasjon 152.4 Fusta ved utløpet av Fustvatn.

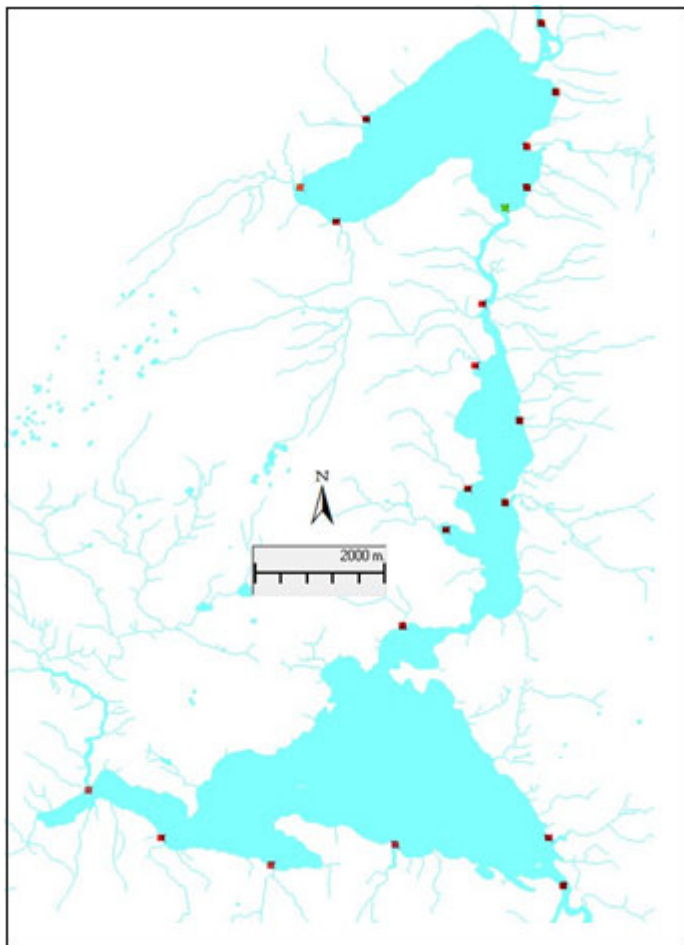
Meteorologiske data (lufttemperatur, duggpunkt temperatur, vindstyrke, vindretning, skydekke og lufttrykk) ble observert i nordenden av Ømmervatn 6 meter over bakken. Lufttemperatur og vindstyrke er vist i (**Figur 6 - Figur 9**).

Simuleringsperioden var 26. oktober – 1. november 2011. Vinden blåste overveiende **mot** nord-øst. I 90 % av tiden var farten under 4 m/s. De største hastighetene var over 8 m/s. De drivende kreftene med hensyn til strøm er først og fremst vind, dernest vannføring i tilløp og utløp.

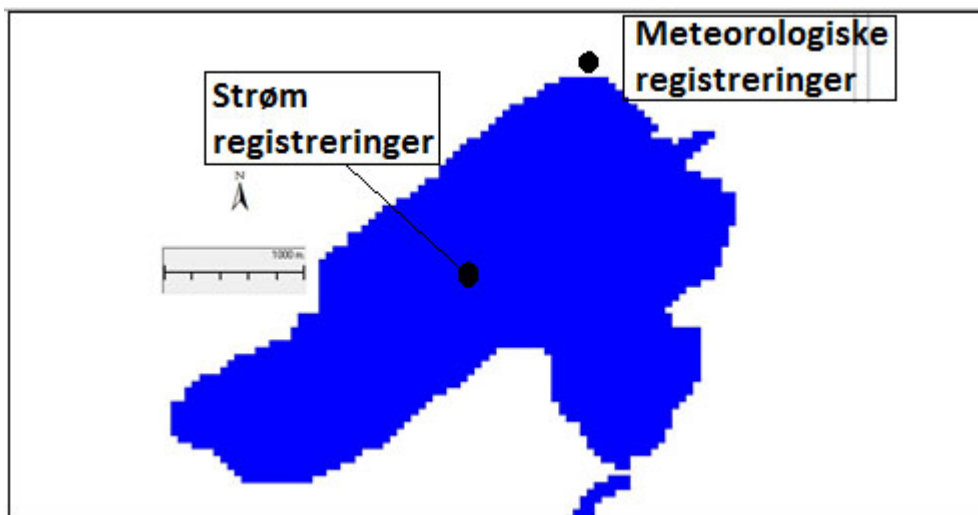
Temperaturen på vannet i tilløpselvene ble modellert ved å anta at denne temperaturen var i likevekt med klimaet på et hvert tidspunkt. Det ble observert temperaturprofiler i Ømmervatn som ble benyttet som startverdier ved modelleringen.

I tillegg ble det observert strøm nær overflaten i sentrum av Ømmervatn (**Figur 6**). Disse ble benyttet til verifisering av modellresultatene. Det ble også målt temperaturprofiler som ble benyttet som startverdier for modelleringene (**Figur 10**).

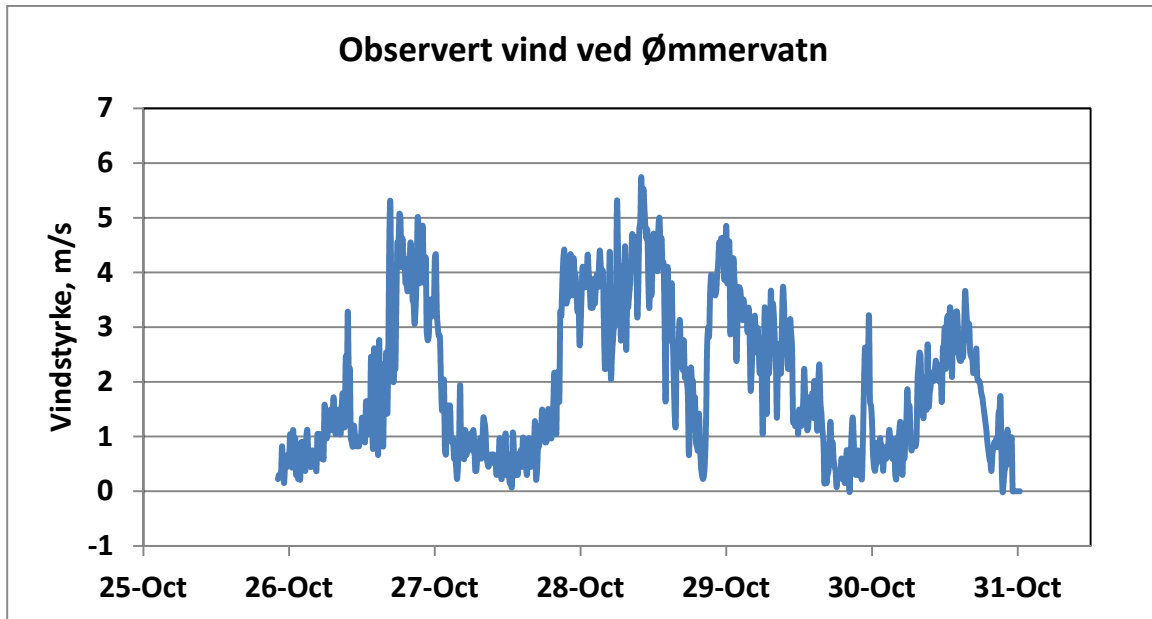
Med disse inngangsdataene simulerte vi strømforholdene for å se om modellen fart og retning i overensstemmelse med observerte verdier.



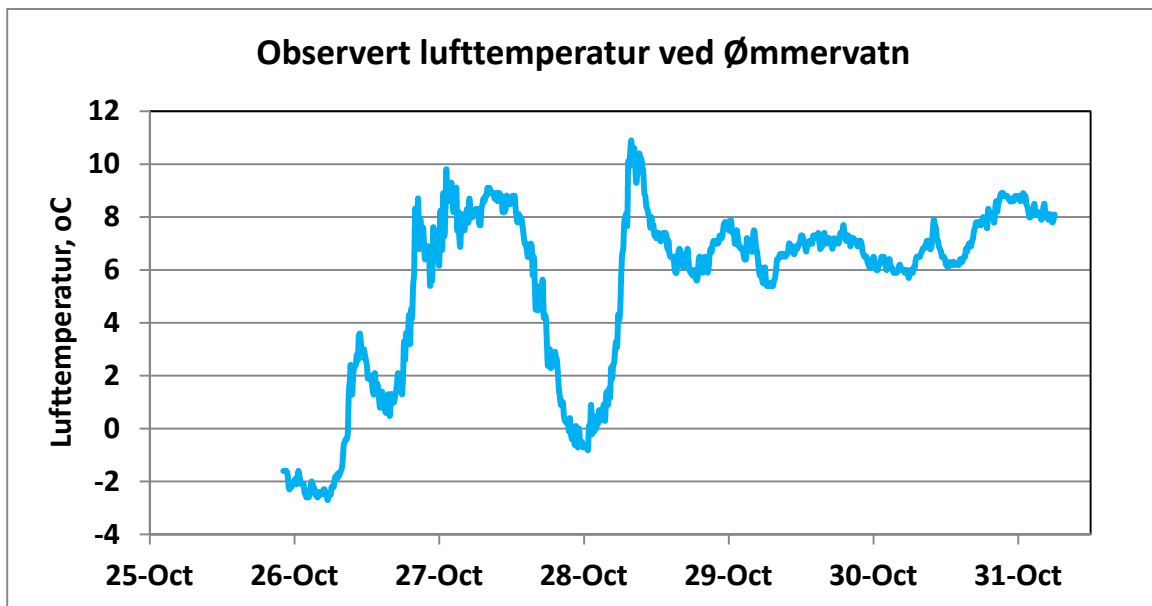
Figur 5. Vann og rotenon ble i modellen tilført via de 20 største elvene/bekkene.



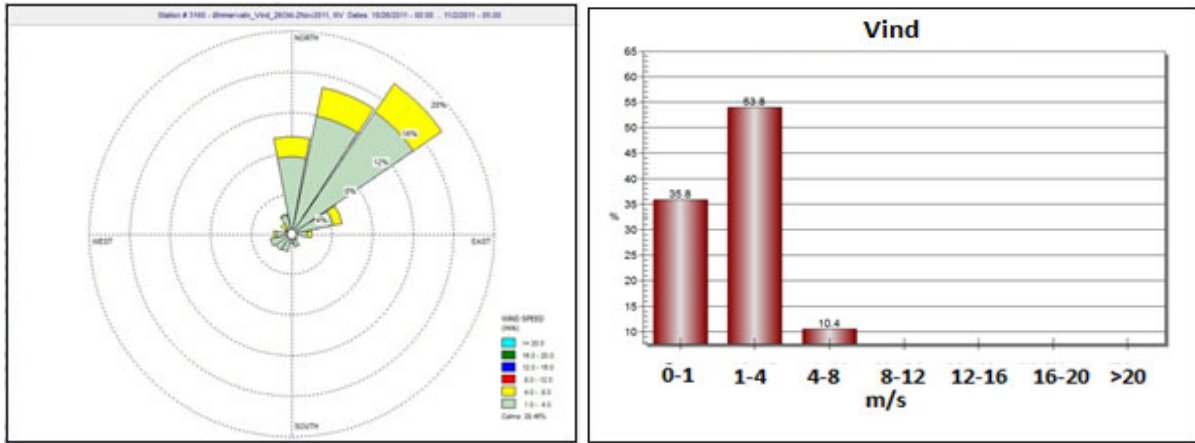
Figur 6. Det ble registrert strøm nær overflaten i Ømmervatn og vind i nordenden av vatnet i oktober - november 2011.



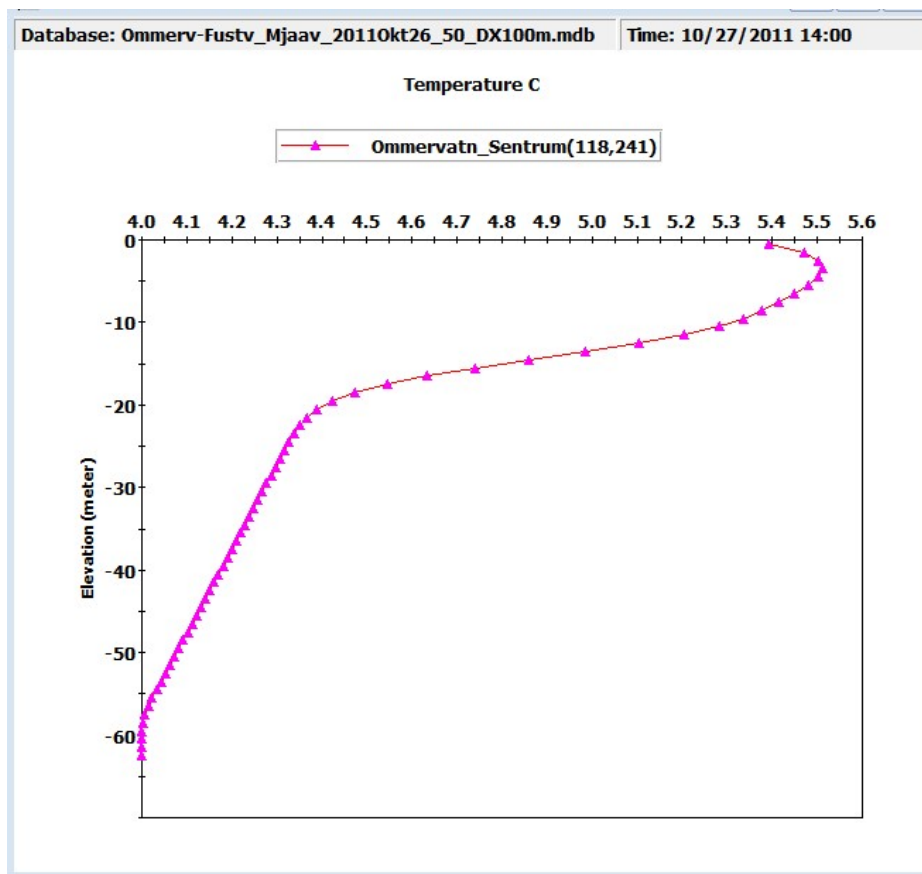
Figur 7. Vind 6 meter over bakken i nordenden av Ømmervatn i simuleringsperioden.



Figur 8. Lufttemperatur målt ved nordenden av Ømmervatn i simuleringsperioden. Temperaturene varierte mellom -2 °C og 10 °C.



Figur 9. Vinden ble målt i nordenden av Ømmervatn 6 meter over bakken 26. oktober – 2. november 2011. Vinden blåste overveiende **mot** nord-øst. I 90 % av tiden var farten under 4 m/s. De største hastighetene var over 8 m/s.



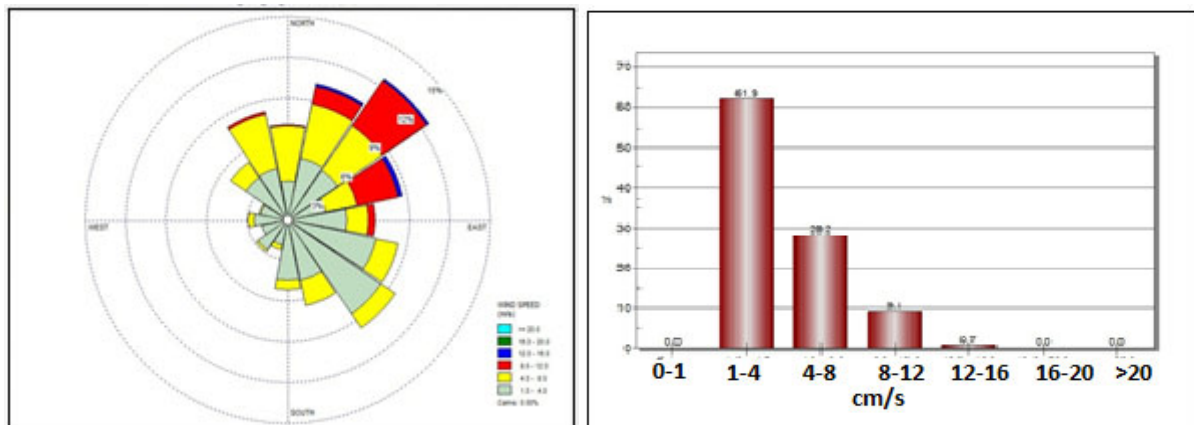
Figur 10. Observert temperaturprofil som ble benyttet som startverdier for simuleringen.

2. Simulerte og observerte verdier av strøm og sporstoff

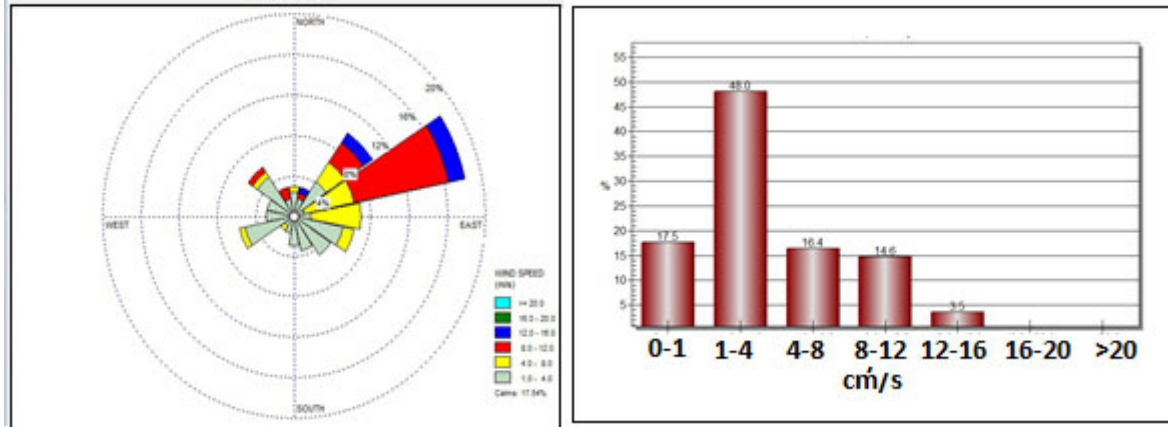
2.1 Simulert og observert strøm

Vi simulerte rotenonbehandling av innsjøene i perioden 26. oktober - 1. november 2011. I Ømmervatn hadde vi anledning til å sammenlikne modellerte og observerte overflatestrømmer (**Figur 11 – Figur 13**).

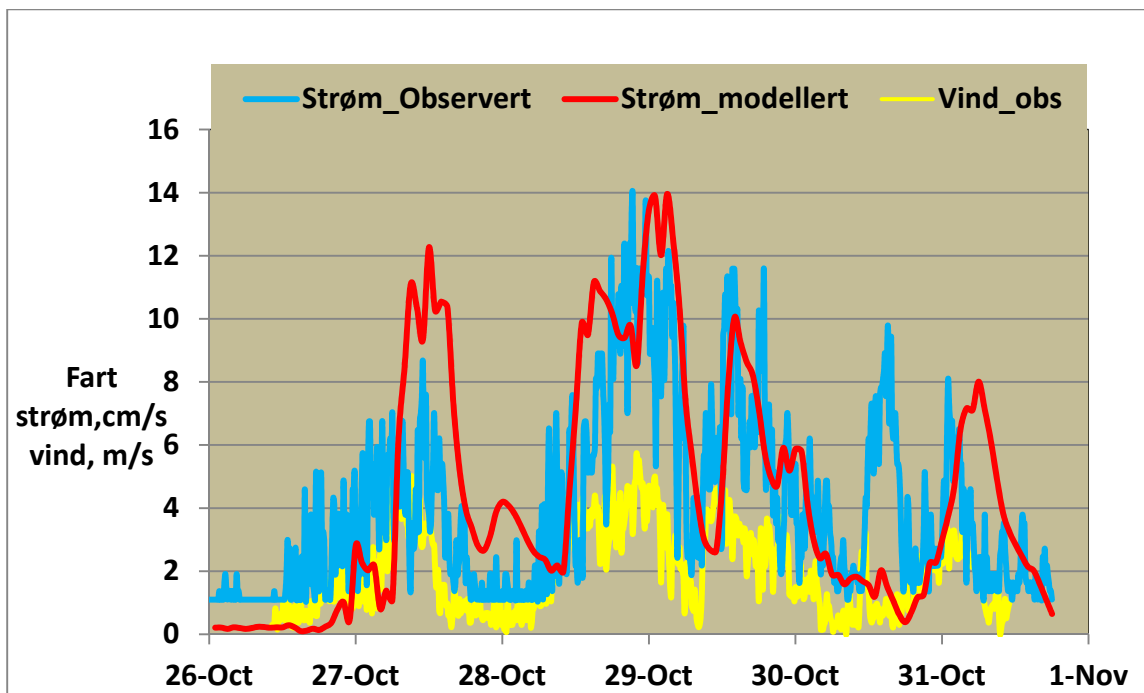
Den vanligste modellerte strømretning i overflaten var mot nord-øst. I halvparten av tiden var farten under 4 cm/s. De største hastighetene var nær 16 cm/s. Strømretningen var i samme retning som vinden eller noe til høyre for denne. Dette passer bra med jordrotasjonenes avbøyende kraft til høyre for bevegelsen. Hovedretningene passer også bra med hovedretningene på de observerte strømmene. Imidlertid hadde de observerte strømretningene større komponenter på tvers av hovedretningene. Det var meget bra samsvar mellom modellert og observert fart. I begge tilfellene var farten i over 60 % av tiden under 4 cm/s og de største hastighetene var nær 16 cm/s. Det ser ut til at minsteverdien for observert fart feilaktig ble registrert som 1 cm/s (**Figur 13**). Formodentlig var andelen av rolige strømforhold, under 1 cm/s, av samme størrelse som modellert (18 %).



Figur 11. Observert strøm nær overflaten i sentrum av Ømmervatn 26. oktober – 2. november 2011. Vanligste strømretning var mot nord-øst. Strøm på tvers av denne hovedretningen var også vanlig. I halvparten av tiden var farten under 4 cm/s. De største hastighetene var nær 16 cm/s.



Figur 12. Modellert strøm nær overflaten i sentrum av Ømmervatn 26. oktober – 2. november 2011. Vanligste strømretning var mot nord-øst. I halvparten av tiden var farten under 4 cm/s. De største hastighetene var nær 16 cm/s.



Figur 13. Det var overveiende godt samsvar mellom observert og modellert fart på strømmene i Ømmervatn 26. oktober – 2. november 2011.

2.2 Modellering av dosert rodamin i Ømmervatn

Utslipp av sporstoff ble både planlagt og gjennomført av Veterinærinstituttet. Hensikten var å skaffe erfaring med utstyr, doseringsmetodikk osv. samt test av matematiske simuleringer, som forberedelse til kommende rotenondosering. Hendelsen ble også modellert.

2.2.2 Dosert sporstoff

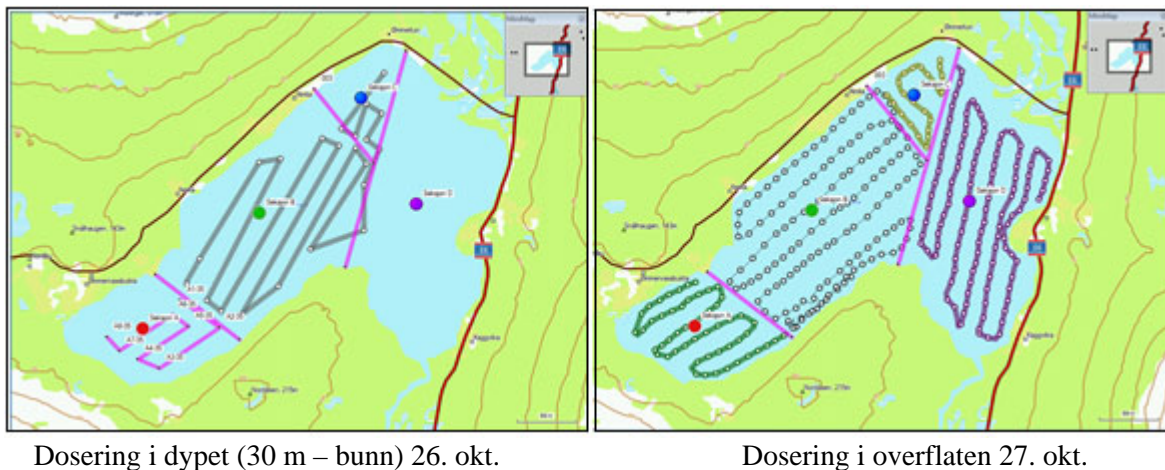
Det ble valgt å bruke Keyacid Rhodamine WT liquid fra Keystone (<http://www.dyes.com/Fluorescent-Dyes-%28Water-Tracing%29>). Under doseringen ble rodamin blandet med vann fra overflatelaget i Ømmervatn. Doseringen ble gjennomført over to dager, der dybdosering ble gjennomført første dag. Det ble dosert fra en flåte i striper med 200 m mellomrom og i 4 dybder, henholdsvis 30, 40, 50 og 60 m dyp. Overflatelaget ble dosert dagen etterpå. I tillegg ble det dosert i de to største innløpselvene (Figur 14).

Det ble dosert rodamin tilsvarende en konsentrasjon på 0,14 µg/l ved en jevn blanding i hele Ømmervatn.

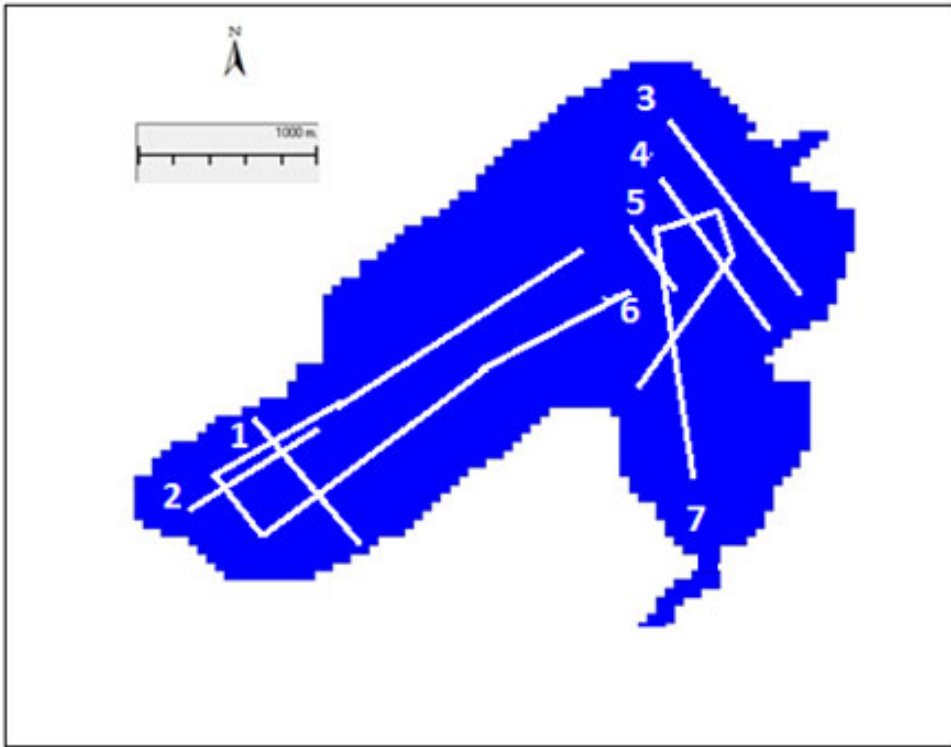
Det ble målt konsentrasjoner 27. og 28. oktober 2011. Kjørerutene er vist i **Figur 15** og konsentrasjonene av rodamin i kjørerute 1-5 (overflatelagene 4-8 meter) er vist i **Figur 16** og **Figur 20**.

Konsentrasjonene var noenlunde jevne omkring 0,2 µg/l. På omkring 20-30 meters dyp var konsentrasjonene overveiende av samme størrelse som i overflaten, men varierte mer, se kjørerute 6 og 7 i **Figur 21** og **Figur 22**.

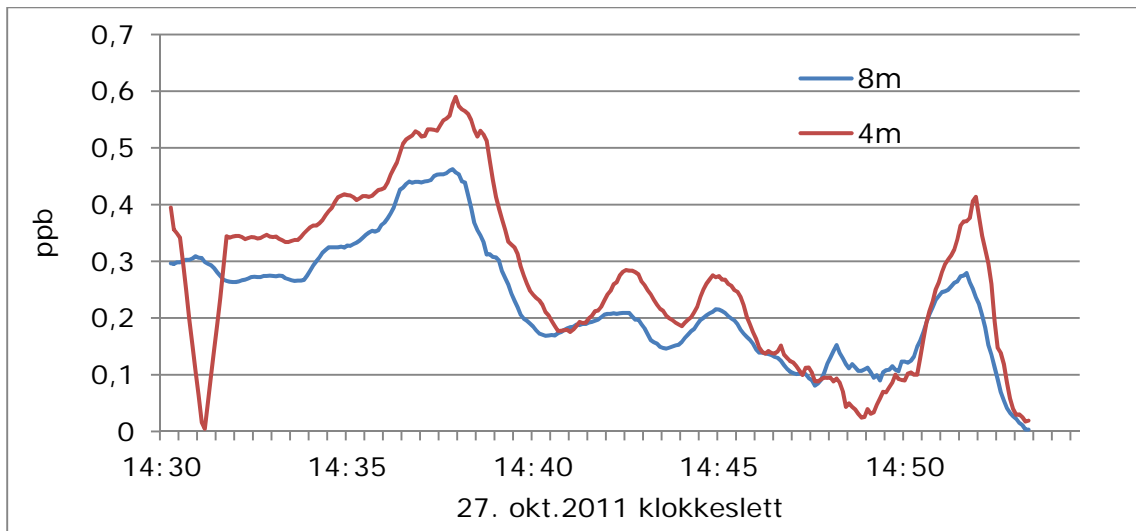
Målinger langs bunnen i sentrale deler av innsjøen viste meget små verdier, <0.05 µg/l rodamin, dvs. det doserte stoffet ble i liten grad funnet igjen.



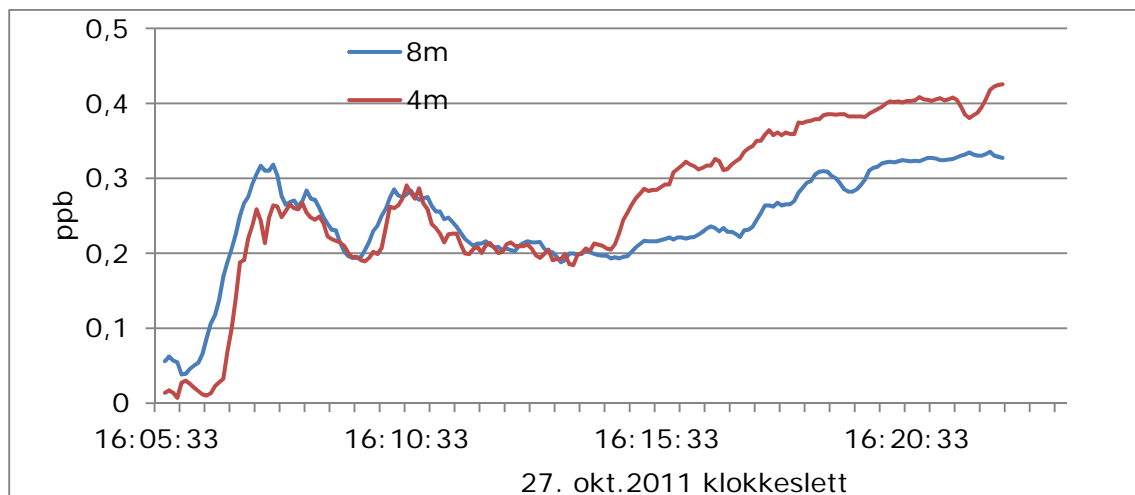
Figur 14. Dosering av rodamin 26. og 27. oktober 2011.



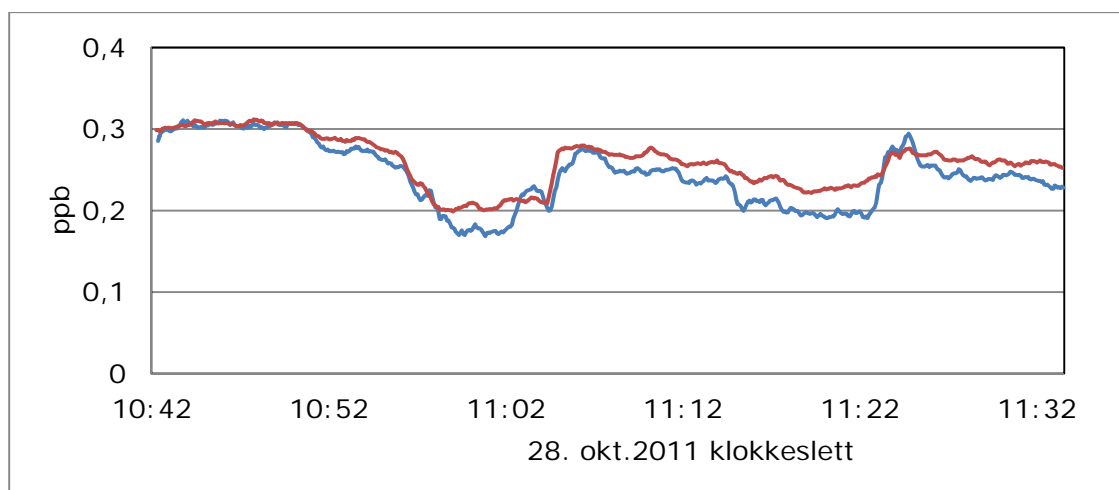
Figur 15. Kjøreruter ved måling av rodamin i Ømmervatn. For hver av kjørerutene er det i de følgende figurene vist et profil med konsentrasjoner. Nummeret på kjøreruten er til venstre på de følgende figurene.



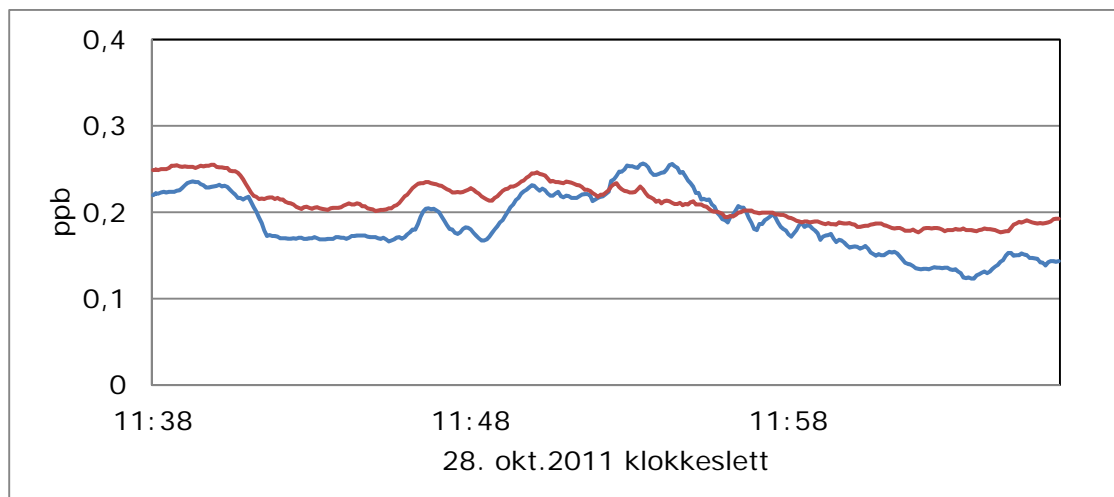
Figur 16. Profil 1: 27. okt. Konsentrasjon lang vest-øst profil i sørenden av Ømmervatn.



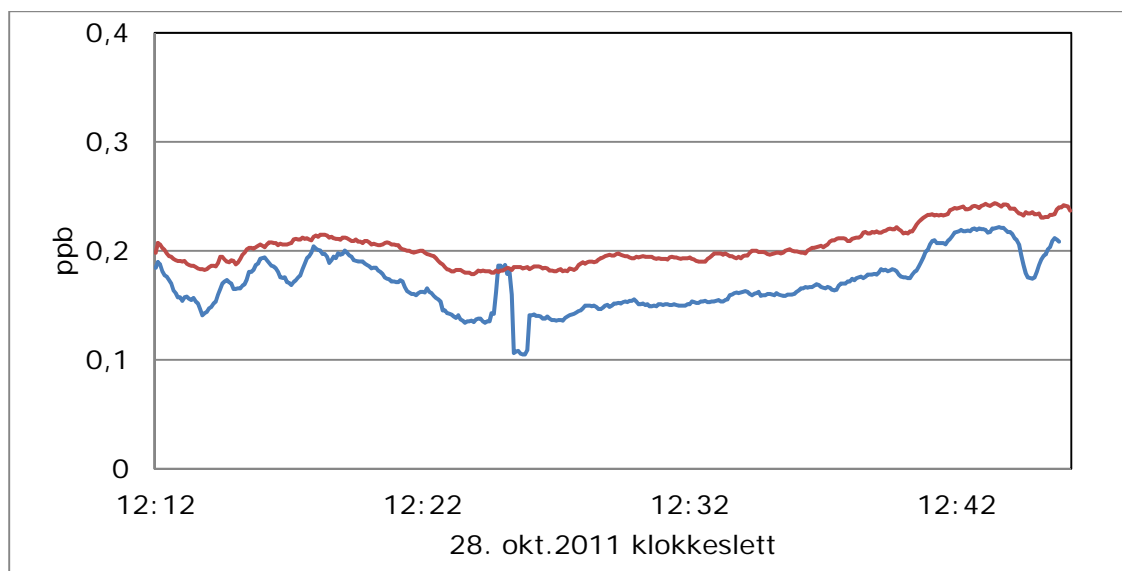
Figur 17. Profil 2: 27. okt. Konsentrasjon lang sør-nord profil i sørenden av Ømmervatn.



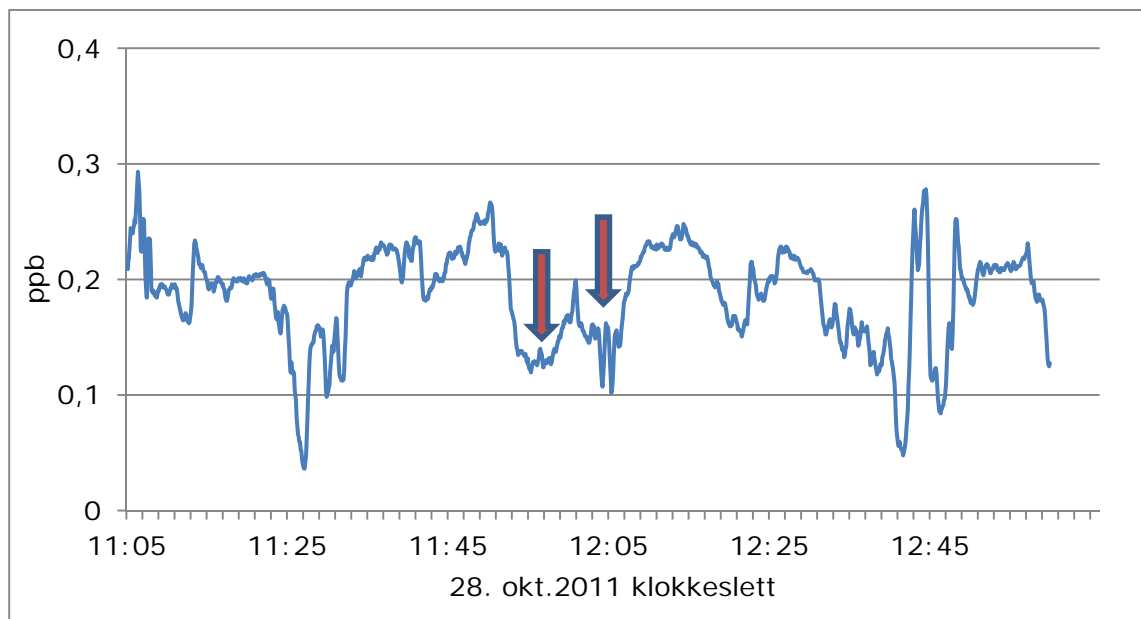
Figur 18. Profil 3: 28.okt. Konsentrasjon langs måleprofil lengst nord i Ømmervatn.



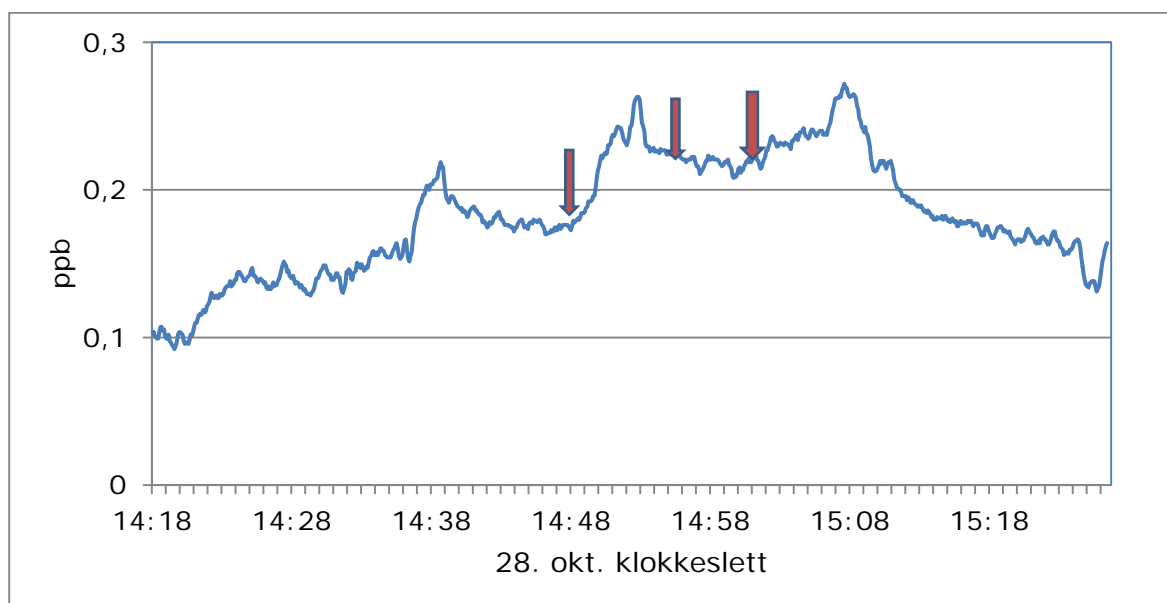
Figur 19. Profil 4: 28. okt. Konsentrasjon langs måleprofil i nord-øst i Ømmervatn.



Figur 20. Profil 5: 28.okt. Konsentrasjon langs måleprofil i nord-øst i Ømmervatn.



Figur 21. Profil 6: 28. okt. Konsentrasjon i sørlig del på 25 meters dyp. Pilene viser hvor båten snudde.



Figur 22. Profil 7: 28. okt. Konsentrasjon i østlig del. Målingene er gjennomført så nær bunnen som mulig. Pilene viser hvor båten snudde.

2.2.3 Modellering av sporstoffutslippet

Utslipp av sporstoffet ble simulert med samme dosering som i det praktiske forsøket. Den første dagen (26. oktober 2011) ble det dosert på dypt vann (30 m – bunn) og den andre dagen (27. oktober) på overflaten. Vi antok at væsken som ble dosert ble innlagret i tilnærmet med samme nivå som det ble dosert.

Resultatene av modellen er vist i **Figur 24 - Figur 31**. På figurene er det lengde-dyp profiler på langs og tvers av Ømmervatn. Plasseringen av disse tverrsnittene er vist i **Figur 23**.

Det var til dels sterk vind (**Figur 7**). Hovedretningen var mot nord-øst. Dette førte til oppoverrettede strømmer langs sør - vestlige bredder og nedover rettede strømmer langs nord- østlige bredder. Stoffet i overflaten beveget seg mot nord - østlige bredder, dukket ned og returnerte på dyp ned til 30 meter. Den tredje dagen (29. okt.) nådde stoffet vestbredden, tok del i oppover rettede strømmer der og påvirket overflatevannet.

På dypt vann ble stoffet langsomt stadig bedre blandet. Varierende vind førte til indre bølger som førte vann og stoff fram og tilbake. **Figur 32** viser et spesiallaget eksempel på dette. De oppoverrettede strømmene langs vestbredden førte i blant stoff fra store dyp opp mot overflaten.

Blanding ble stadig bedre, men det var fortsatt store lommer med nær upåvirket vann den 30. oktober .

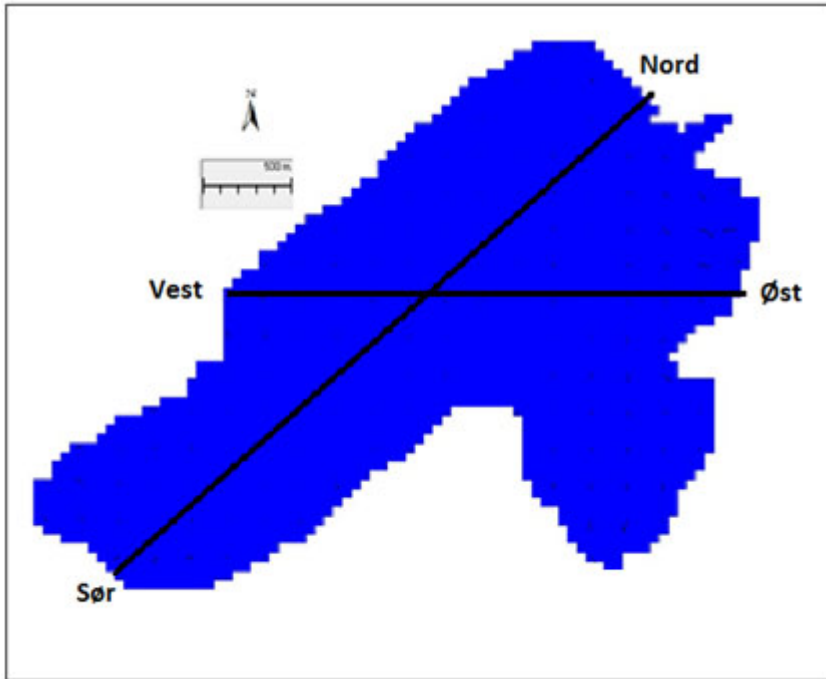
Vi sammenliknet resultatene fra de målte profilene med modellerte resultater på de aktuelle tidspunktene. Nær overflaten var modellerte og målte konsentrasjoner av samme størrelse. Dette var også tilfelle for profilene på mellom 20-30 meters dyp. Imidlertid ble det ikke utført målinger i områder med de største lommene med lave konsentrasjoner, f.eks. nærme land.

På dypt vann, under 30 meter, ble det i sentrale deler av innsjøen målt konsentrasjoner som jevnlig var under 0,04 µg/l, dvs. at det doserte stoffet i liten grad ble funnet igjen. Dette var ikke i samsvar med modellerte verdier. Modellerte konsentrasjonene varierte mye, men gjennomsnittet var omkring den forventede middelveidien 0,14 mg/l.

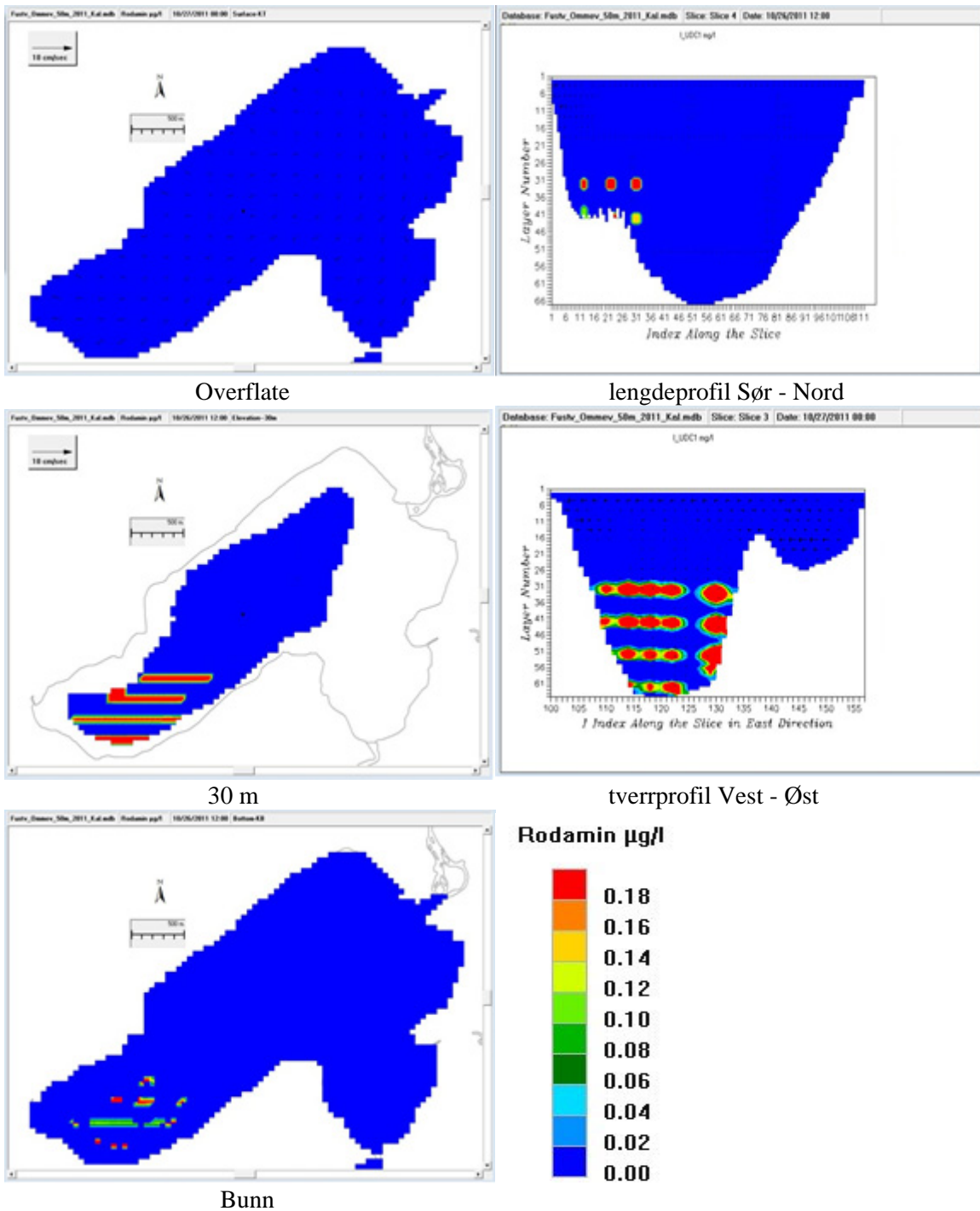
I følge simuleringene var det behov for å forbedre doseringsmetodikken for å oppnå en jevn konsentrasjonsfordeling.

Ideelt sett skulle den naturlige vertikale sirkulasjonen blande dosert rodamin tilført overflaten nedover til sprangsjiktet på omkring 20 – 30 meters dyp. Imidlertid førte vinden til horisontal forflytning av det overflatevannet som var dosert, mot nordøst, med påfølgende fornying av upåvirket vann fra opprinnelig dypere liggende lag fra vest. Disse lommene ble ikke utjevnet i simuleringssperioden.

I følge simuleringene var det behov for å forbedre doseringsmetodikken for å oppnå en jevn konsentrasjonsfordeling. Lommene med lave konsentrasjoner kunne vært unngått om vi hadde dosert fra overflaten og ned til bunnen samtidig. Oppstrømmene vann ville da allerede vært behandlet. Opp- og nedstrømning av vann skjer i størst grad langs land. Det betyr at det er viktig å dosere langs land for å unngå lommer når dette vannet forflytter seg utover i innsjøen.



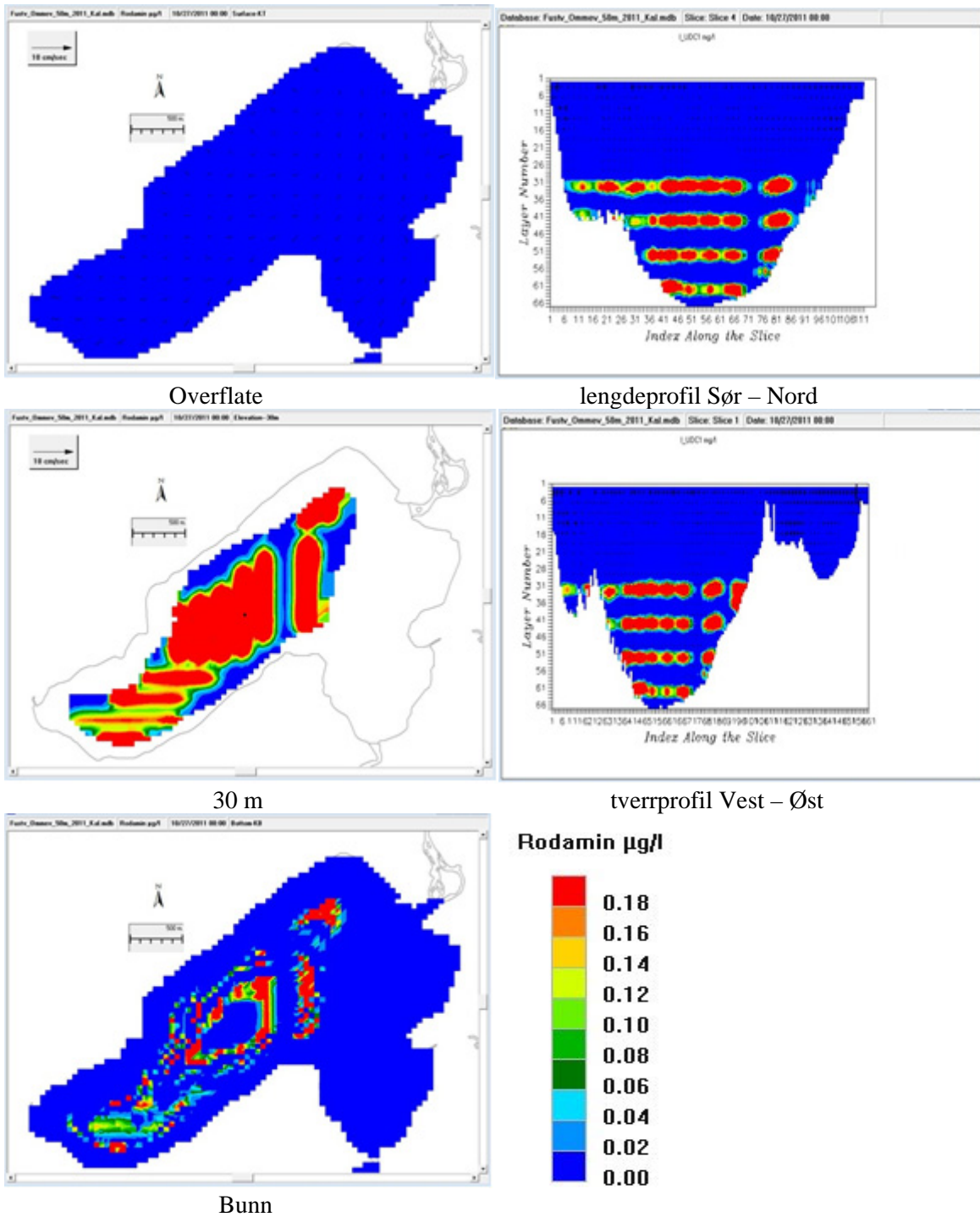
Figur 23. Lengde-dyp profiler vist i de følgende figurene



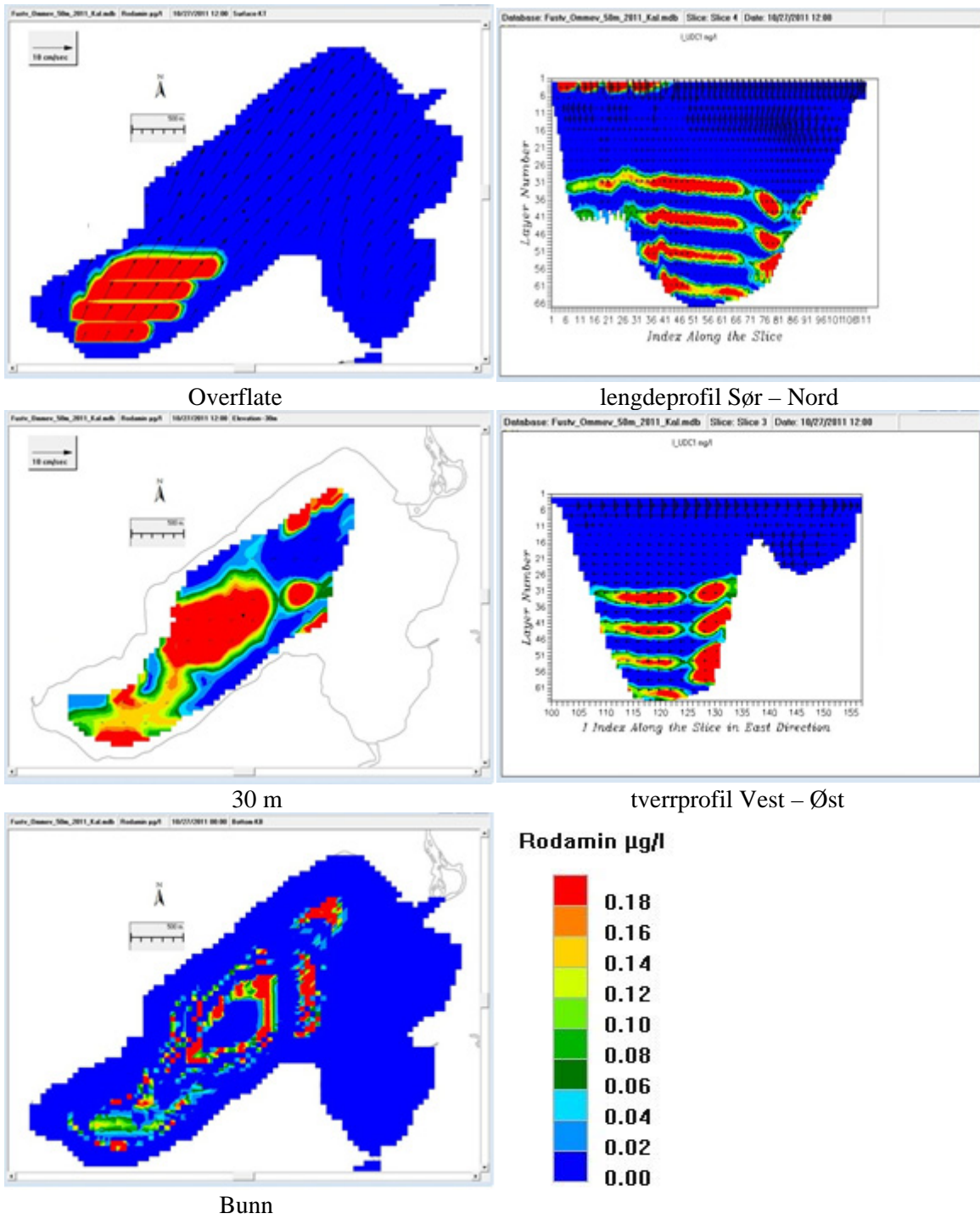
(Obs! Bunnen kan ha en dybde på 1 meter langs land og 60 meter på det dypeste.)

Figur 24. 26. okt. (dag 1) kl. 12

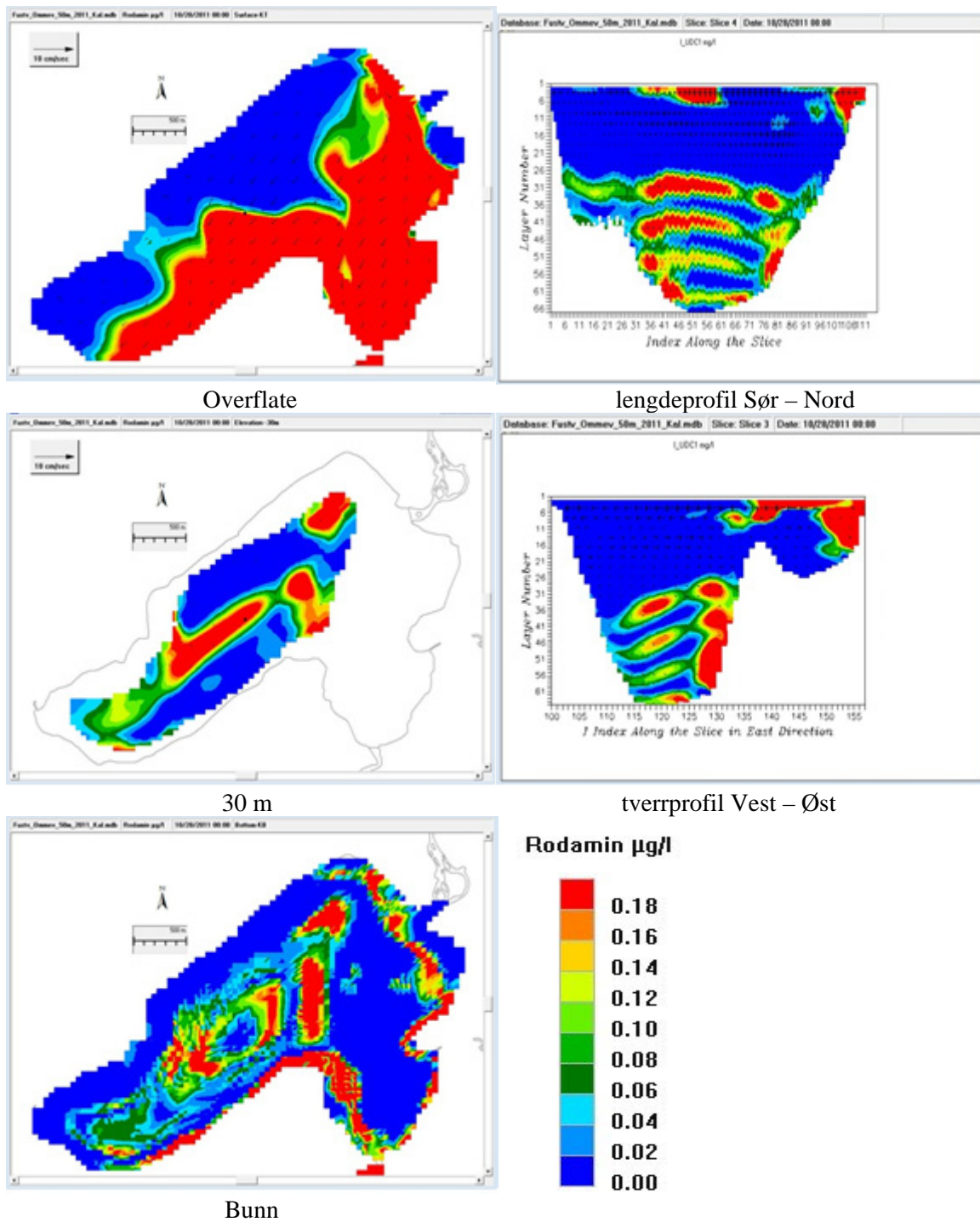
Det ble dosert rodamin i striper for hver 10. meter dypere enn 30 m.



Figur 25. 27. okt. (dag 2) kl. 00
 Åtte timer etter at doseringen var fullført under 30 meter.

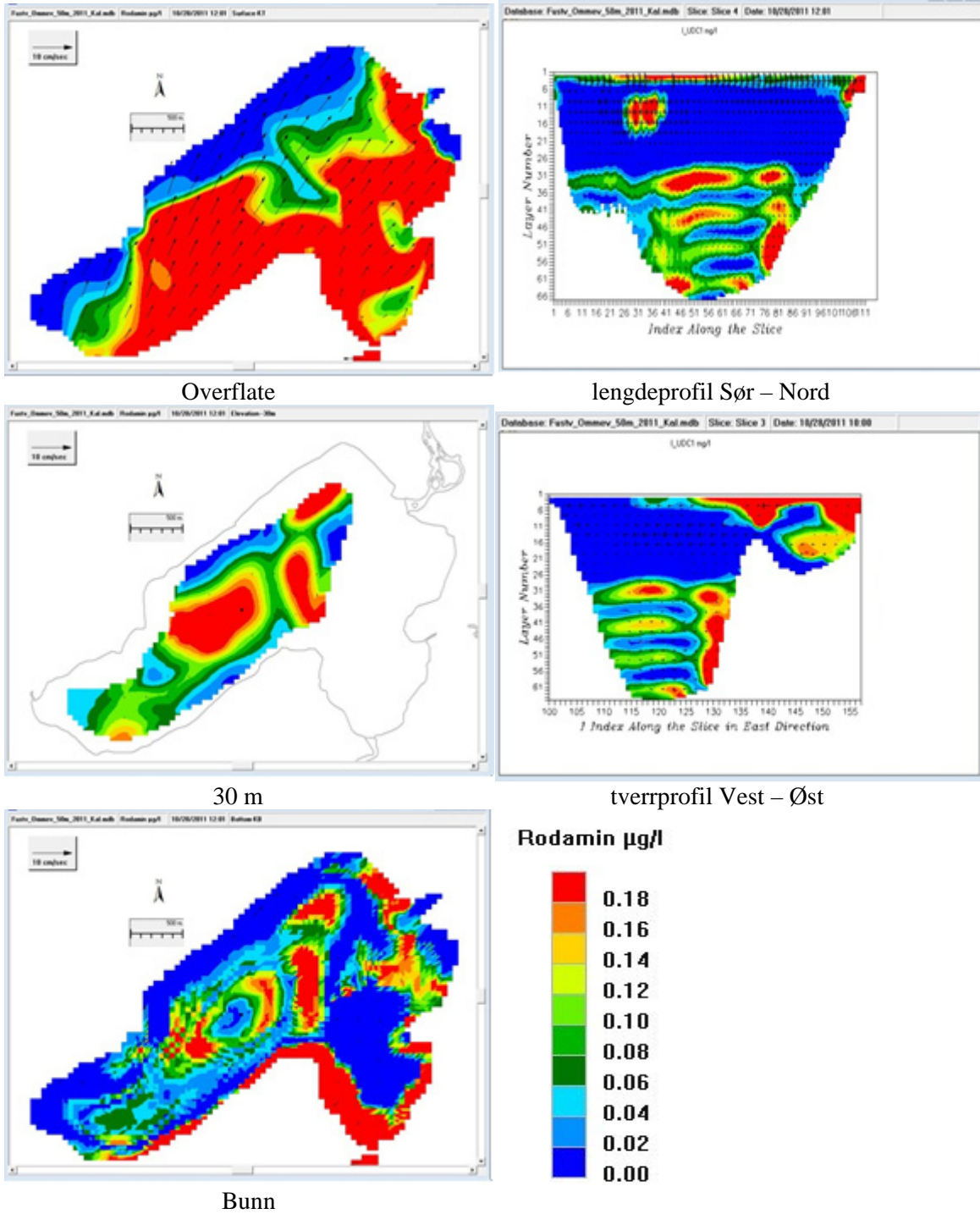


Figur 26. 27. okt. (dag 2) kl. 12
 Doseringen hadde startet i overflaten, 0 – 5 meter.



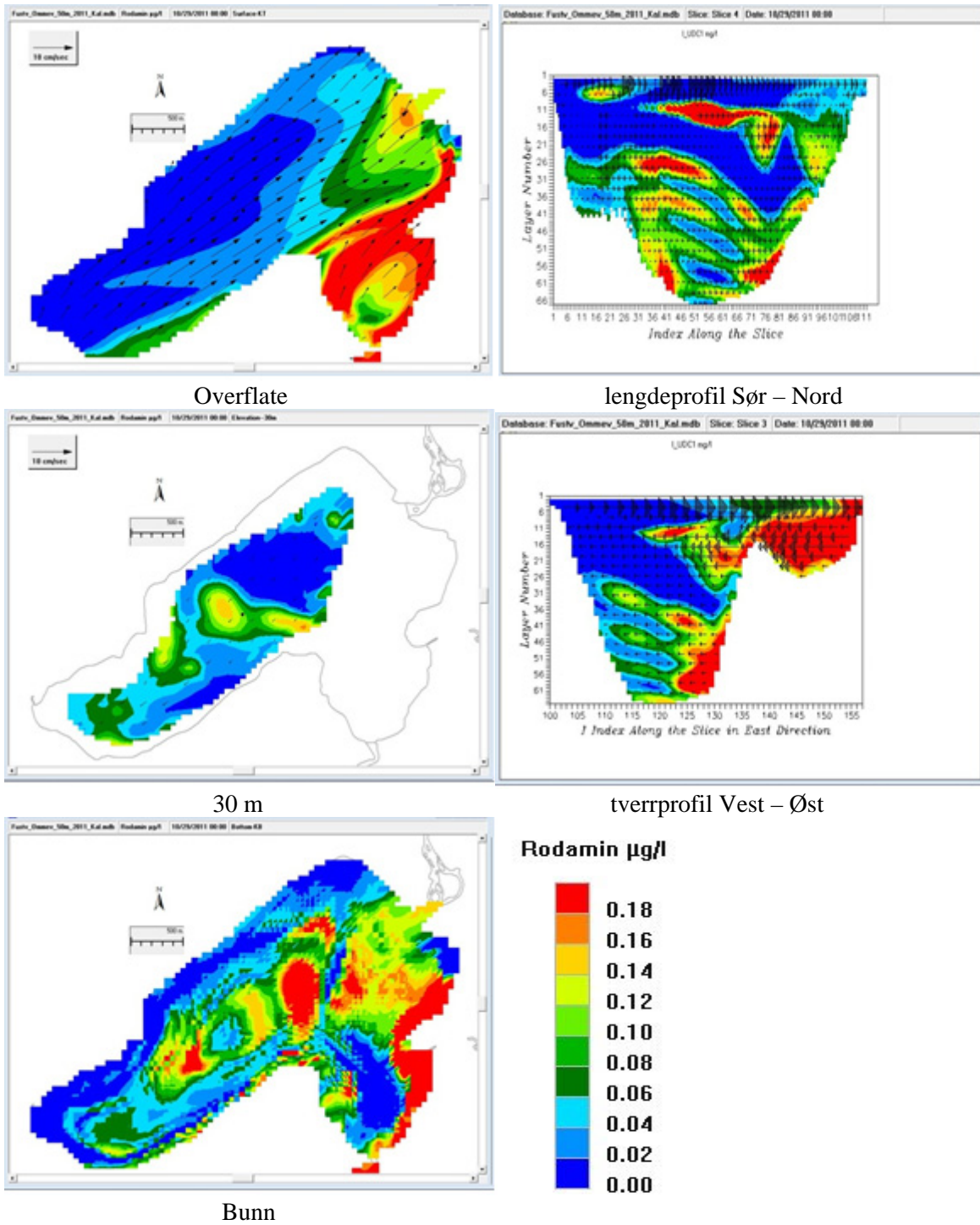
Figur 27. 28. okt. (dag 3) kl. 00

Åtte timer etter endt dosering. I overflaten førte strømmene stoffet mot østlige deler av innsjøen hvor det dukket ned. På vestsiden førte oppover rettede strømmer påvirket vann til overflaten. Varierende vind førte til indre bølger forflyttet stoffet fram og tilbake på dypt vann.



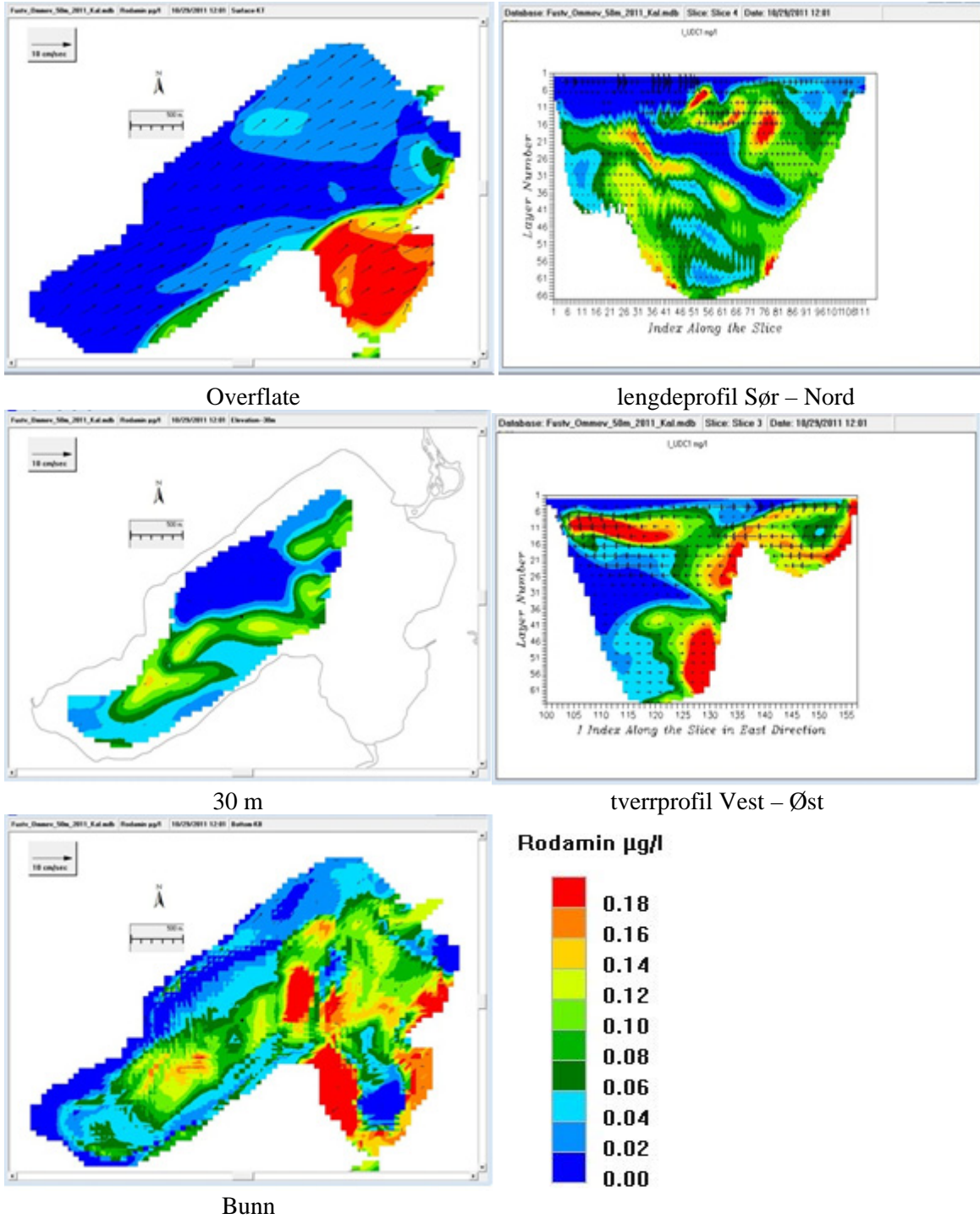
Figur 28. 28. okt. (dag 2) kl. 12

Det ble stadig bedre blandet på dypt vann. Over 30 meter befant stoffet seg i stor grad i østlige deler av innsjøen.

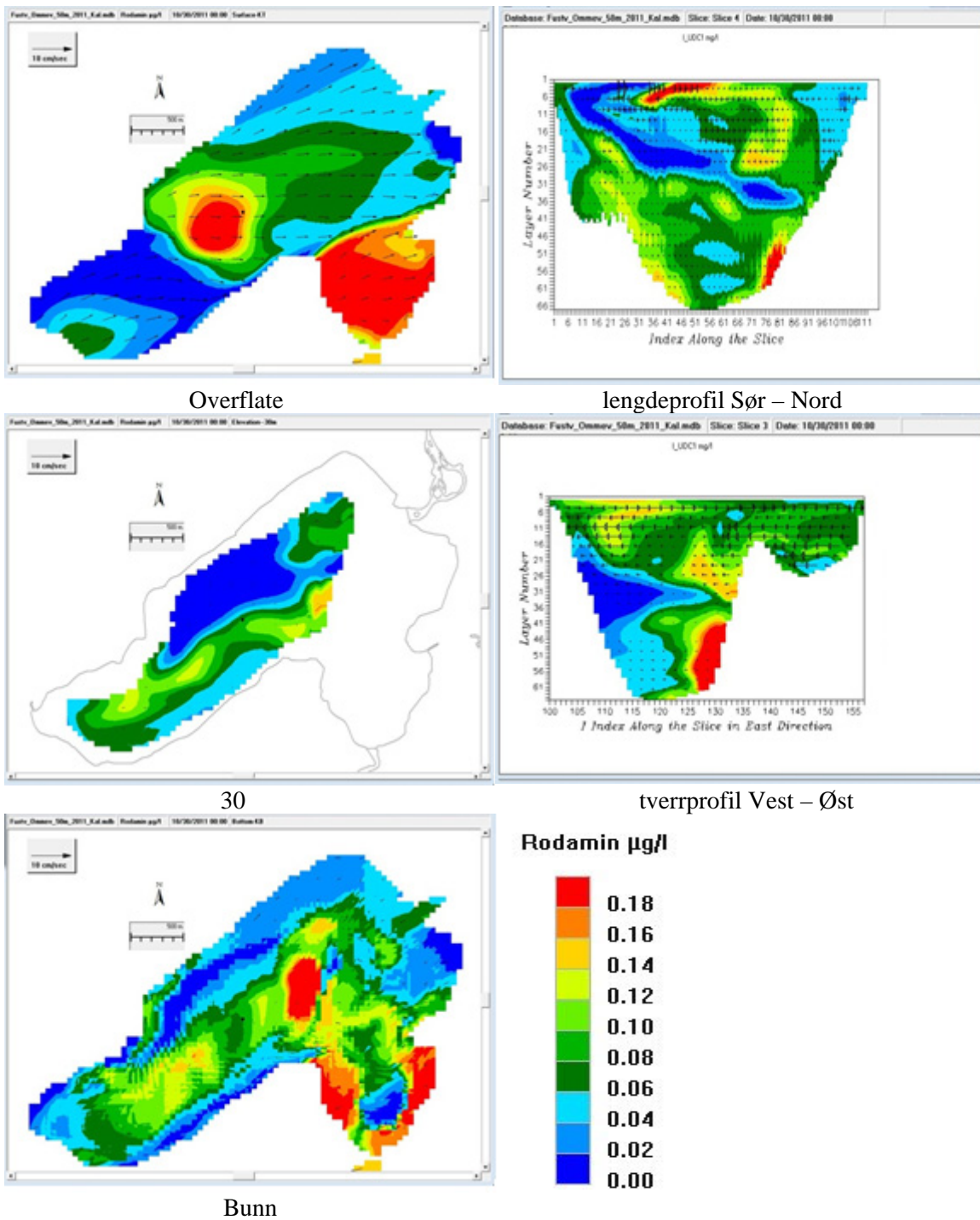


Figur 29. 29. okt. (dag 3) kl. 00

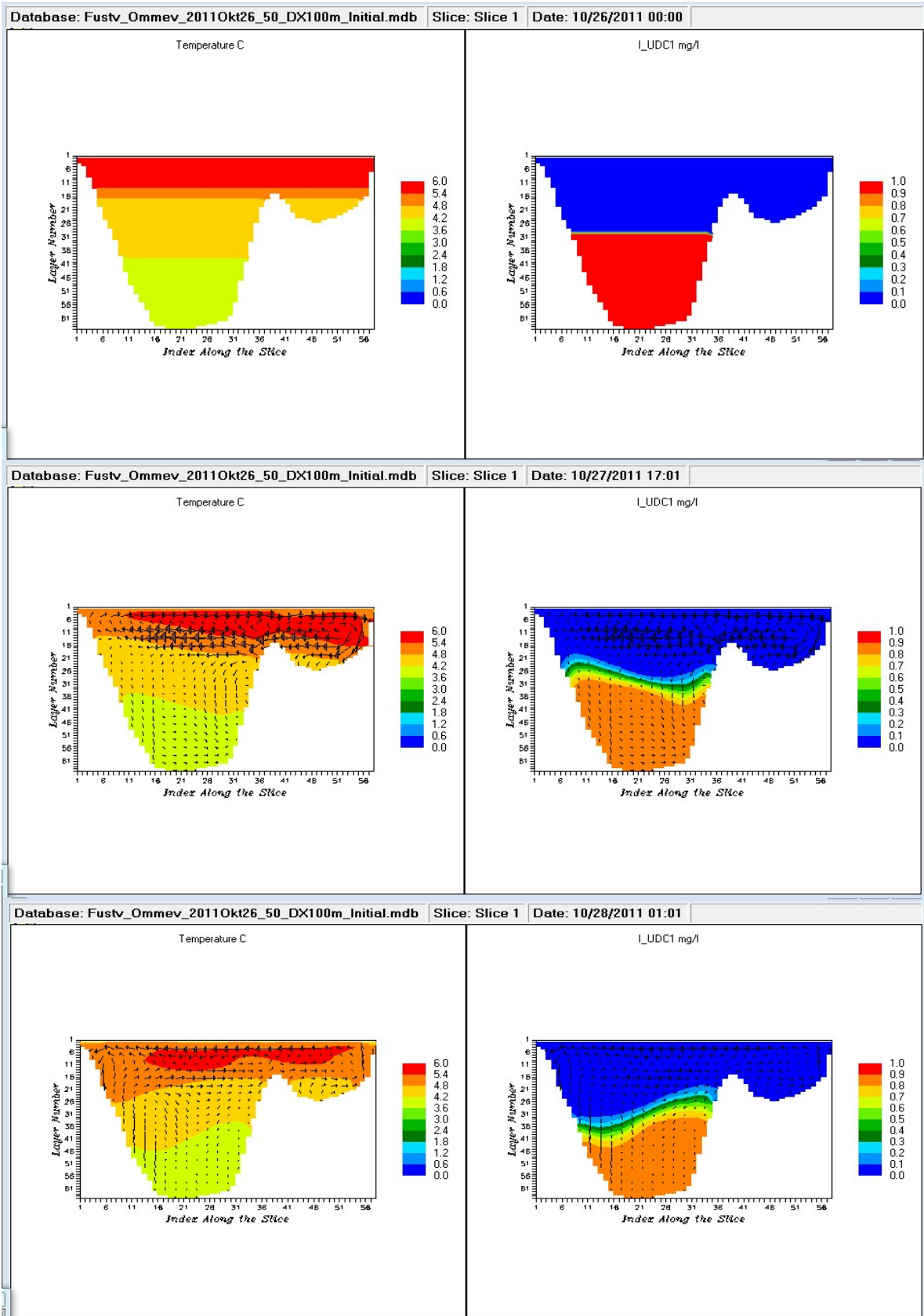
Det var sterk vind mot nord-øst som er dominerende vindretning. Stoffet i overflaten fortsatte å bevege seg mot nordøstlige bredder, dukket ned og returnerte mellom 10 og 30 meter. Blandingen fortsatte dypere ned.



Figur 30. 29. okt. (dag 3) kl. 12
 Det var fortsatt sterk vind mot nordøst. Områdene med upåvirket vann langs sørvestlige bredder ble ført til overflaten og mot nordøst.



Figur 31. 30. okt. (dag 4) kl. 00
 Stoff dosert nær bunnen ble ført mot overflaten langs oppstrømningsområdene langs sørvestlige bredder. Stoff dosert i overflaten, og som returnerte på dypere vann, hadde nådd vestbredden, strømmet oppover og påvirket overflaten igjen. Blandingen ble stadig bedre, men det var fortsatt store lommer med lave konsentrasjoner.



Temperatur

Konsentrasjon av konservativt sporstoff

Figur 32. Eksempel på hvordan varierende vind kan sette i gang indre bølger. Stoffet vil fortrinnsvis strømme fram og tilbake i samme nivå. (Samme tverrsnitt i Ømmervatn som på de øvrige figurene.)

3. Simulert rotenonbehandling

Vi laget fire scenarier for rotenoninnblanding. Det første scenariet gjaldt naturlige forhold. Dvs. at vi simulerte en behandling i løpet av den uken høsten 2011 hvor det ble gjort registreringer i felt. Deretter ble det laget scenarier for å teste virkningen av endrede vindforhold og svinrate for rotenon.

3.1 Behandling ved naturlige forhold

Meteorologiske forhold og vannføringer var som i perioden 26. oktober – 1. november 2011. Det ble dosert slik at konsentrasjonene ville ha blitt 0,7 mg/l rotenon (CFT-Legumin) ved en ideell jevn blanding. Målet var å dosere slik at minste konsentrasjon samtidig innen hver av innsjøene, ble så nær denne grensen som mulig. Dvs. først nær 0,7 mg/l innen hele Ømmervatn, deretter tilsvarende i Mjåvatn og i Fustvatn. 0,3 mg/l anses som dødelig for fisk. Den reelle doseringen kan da skaleres ut fra simuleringresultatene.

Vi antok en halveringstid for rotenon på 10 dager ved en vanntemperatur på 5 °C.

I elvene ble det dosert slik at konsentrasjonene var 0,7 mg/l. Denne konsentrasjonen ble opprettholdt i hele simuleringperioden, dvs. opp til 7 dager. Hovedmengden ble dosert i innsjøen. Denne doseringen ble foretatt i striper med 100 meters mellomrom og jevnt fordelt fra overflate til bunn. Den første dagen (26.okt.) ble det dosert i Ømmervatn, den tredje dagen (28.okt.) i Fustvatn og tilslutt i Mjåvatn dagen etter (29.okt.).

En jevn konsentrasjon på 0,7 mg/l utgjør 103 tonn, 9 tonn og 155 tonn av den rotenonholdige væske i henholdsvis Ømmervatn, Mjåvatn og Fustvatn.

Innsjøene ble delt inn i beregningsceller. I horisontalplanet var disse 50 m x 50 m og i dybderetningen adskilt av horisontale flater med en meters mellomrom. Det ble dosert i striper med 100 meters mellomrom fra overflaten og ned til bunnen. Mengden tilsvarte 0,7 mg/l rotenon i innsjøene ved en ideell jevn blanding.

Temperaturene i innsjøene avtok fra 5-6 °C i overflaten til 4 °C på omkring 50 meters dyp. Vannføringene i utløpet av Fustvatn avtok fra 80 m³/s til 30 m³/s. Midlere vannføring 1960-1990 var 33 m³/s.

Strategien for den simulerte behandlingen var et resultat av tidligere simuleringer, rodamin forsøket og vurderinger gjort på arbeidsmøte med alle deltagerne i prosjektet samt ekstra samtaler med prosjektledelsen.

Resultatene på slutten av hver dag i simuleringperioden er vist i **Figur 33 - Figur 39**.

Dag 1, 26. oktober. Det ble dosert i Ømmervatn den første dagen, 26. oktober kl. 08-16. Vind mot nordøst førte mye av stoffet i overflaten i nordøstlig retning. Stoffet dukket ned langs land i nordøst. Dette ble kompensert av stofftransport via oppoverrettede strømmer langs land i sør og vest. I dypet gikk spredningen langsommere. Doseringstripene i øst-vestlig retning var tydelige.

Dag2, 27. oktober. Det ble ikke dosert stoff denne dagen. I Ømmervatn ble overflatevannet godt blandet. Dette var også tilfelle langs bunnen i noe mindre grad. Konsentrasjonene var over 0,5 mg/l.

Dag 3, 28. oktober. Fustvatn ble dosert denne dagen (kl. 08-16). Det ble også dosert kontinuerlig i to døgn mellom Mjåvatn og Fustvatn. Dette for å oppnå tilsig av vann fra Mjåvatn med konsentrasjoner på 0,7 mg/l. I Ømmervatn ble vannet godt blandet. Konsentrasjonene var der over 0,6 mg/l. Også øverste del av Mjåvatn fikk konsentrasjoner over 0,6 mg/l som følge av avrenning fra Ømmervatn.

Dag 4, 29. oktober. Mjåvatn ble dosert denne dagen. I Ømmervatn ble konsentrasjonsforskjellene stadig mindre. Stoffets decay/svinn hadde redusert effekten med ca. 20 %. De laveste verdiene var ca. 0,5 mg/l. I Fustvatn var det betydelige konsentrasjonsforskjeller. Laveste verdi var ca. 0,5 mg/l.

Dag 5, 30. oktober. I Fustvatn var stoffet godt blandet. Laveste verdi var 0,6 mg/l i nesten hele innsjøen. I Mjåvatn var det en «bølge» med høye konsentrasjoner som forflyttet seg nedstrøms.

Dag 6, 31. oktober. Det var små konsentrasjonsforskjeller i Fustvatn. De laveste verdiene var ca. 0,6 mg/l. I enkelte mindre områder var konsentrasjonene 0,5 mg/l. «Bølgen» med høye konsentrasjoner i Mjåvatn hadde forflyttet seg ytterligere i nedstrøms retning mot Fustvatn.

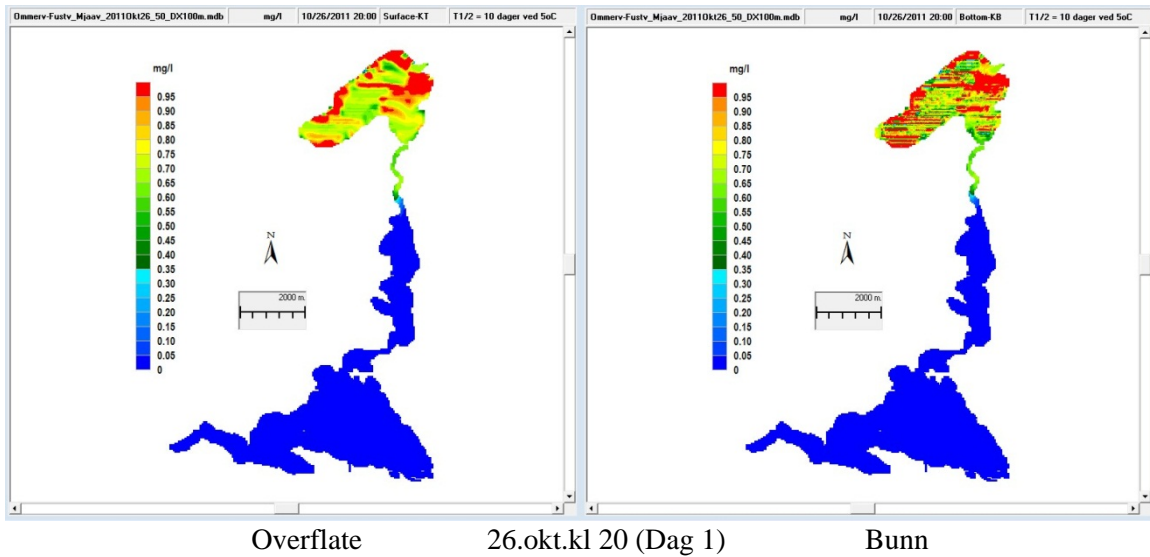
Dag 7, 1. november. I Ømmervatn var de laveste konsentrasjonene nede i 0,4 mg/l. Bølgen med høye konsentrasjoner hadde passert Mjåvatn og nådd Fustvatn. Det var små konsentrasjonsforskjeller i Fustvatn. Verdiene var overveiende over 0,6 mg/l. I enkelte mindre områder var konsentrasjonene 0,5 mg/l.

Kartene over konsentrasjoner på overflaten og nær bunnen gir et godt inntrykk av hvordan stoffet fordeler seg i de tre innsjøene. For å få et komplementerende bilde av konsentrasjoner i de øvrige delene, ble konsentrasjonene studert i rekke profiler i hver av innsjøene. I Ømmervatn, ble konsentrasjonene i alle dybdesnittene høyere enn 0,6 mg/l ca. ett døgn etter doseringens slutt (**Figur 40**).

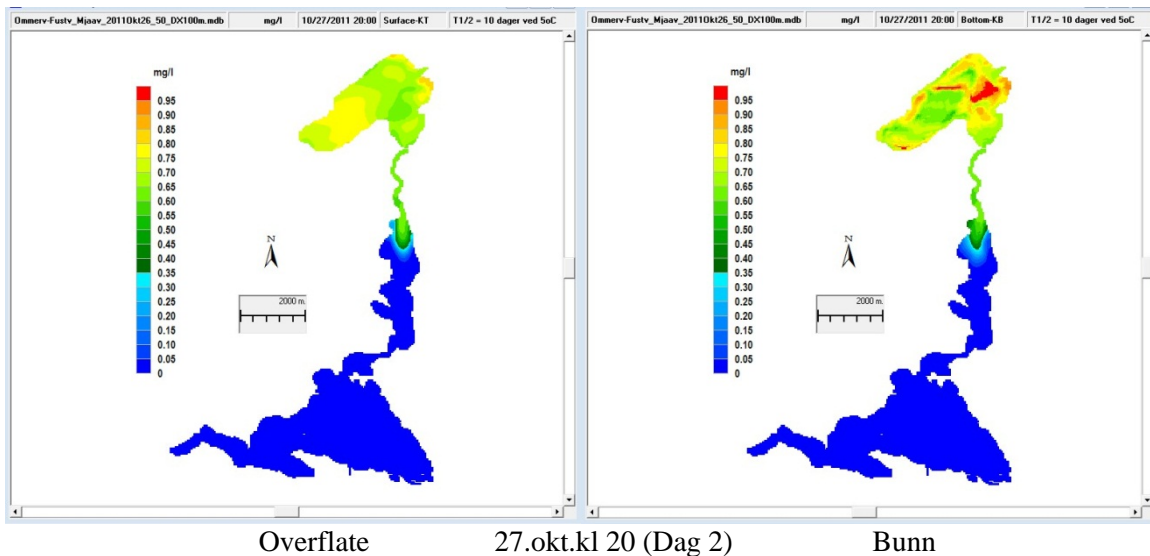
I den sentrale delen av Mjåvatn var konsentrasjonene i alle dybdeprofilene over 0,6 mg/l (**Figur 41**). I begge endene av strekningen, med stor elveliknende vannutskiftning, var konsentrasjonene lavere. Disse delene fikk konsentrasjoner over 0,7 mg/l via en «bølge» av høye konsentrasjoner som forplantet seg nedstrøms. Selv om ikke hele Mjåvatn fikk tilstrekkelig høye konsentrasjoner samtidig, vil behandlingen være effektiv. «Bølgen» med konsentrasjoner over 0,7 mg/l som beveget seg nedstrøms i begge elveliknende endene vil være effektiv på noe ulike tidspunkter. Fisken har ikke muligheter for å unnsnippe mot områder med permanent lavere konsentrasjoner. Før doseringen startet i Mjåvatn, fikk innsjøen tilført rotenon fra Ømmervatn i tre døgn. Det var følgelig ikke nødvendig med full dosering i den smale delen nedenfor Ømmervatn.

I Fustvatn ble konsentrasjonene 2-3 døgn etter endt dosering over 0,6 mg/l i nesten hele innsjøen (**Figur 42**). Unntak var bukten i nordvest (profil 118 og 119), samt ett profil mer sentralt (profil 115) mellom 5 og 15 meters dyp. Vannet i bukten med de lave konsentrasjonene ble i betydelig grad skiftet ut like etter doseringen og i utilstrekkelig grad fornyet av vann med høye konsentrasjoner i resten av simuleringsperioden. I dette tilfellet ville problemet kunne løses ved en ekstra dosering på slutten av dagen.

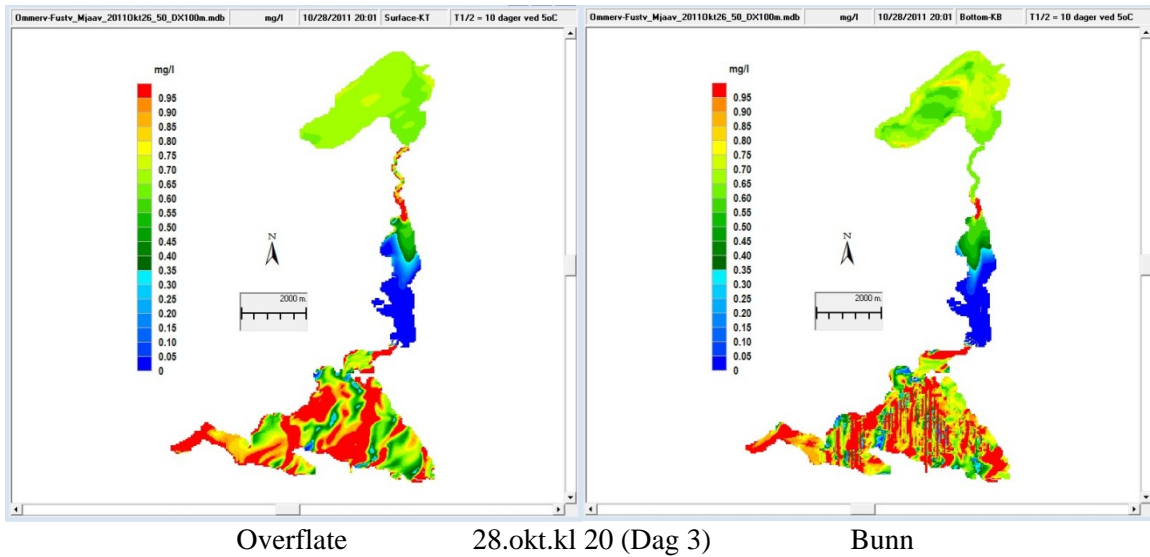
En detaljert studie langs land i alle innsjøene indikerer at dette også kan skje andre steder. Det er følgelig viktig å dosere helt inn til land, i alle fall i vindskjermede bukter. Videre kan det være nødvendig med en ekstra runde langs land til slutt.



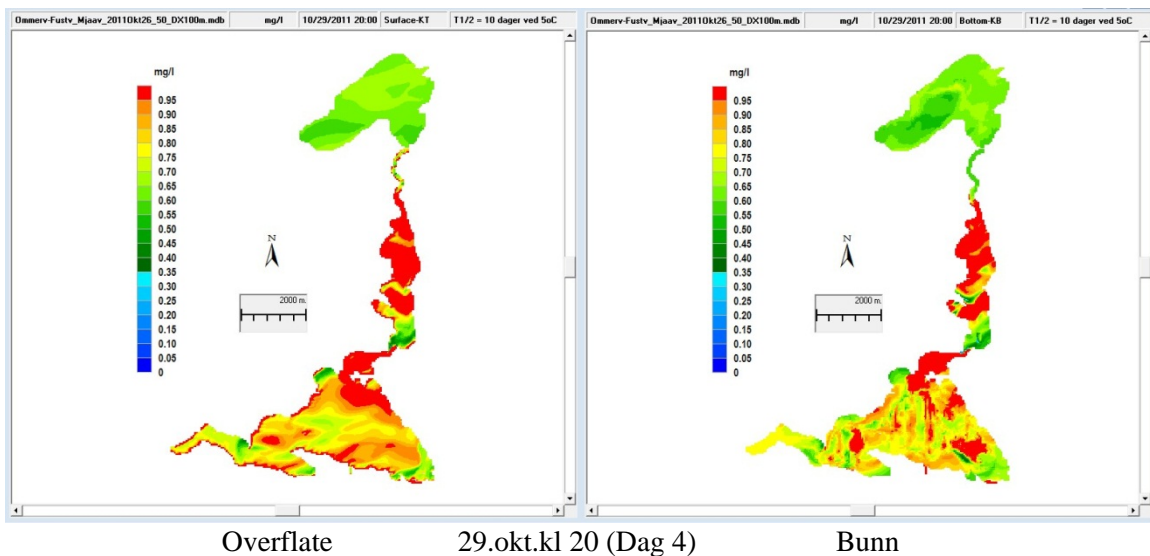
Figur 33. Ømmervatn ble dosert i løpet av dagen (kl. 08-16). Vind mot nordøst førte mye av stoffet i overflaten i denne retning. Stoffet dukket ned langs land i nordøst. Dette ble kompensert med oppover rettede strømmer langs land i sør og vest. I dypet gikk spredningen langsommere. Doseringsstripene i øst-vestlig retning var tydelige.



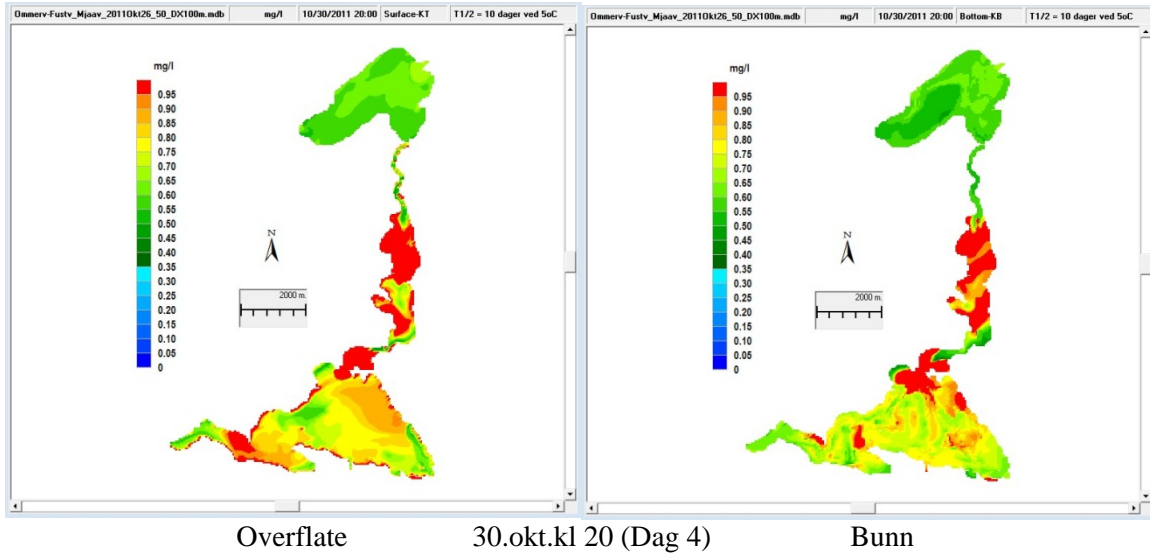
Figur 34. Det ble ikke dosert stoff denne dagen. I Ømmervatn ble overflatevannet godt blandet. Dette var også tilfelle langs bunnen i noe mindre grad. Konsentrasjonene var over 0,5 mg/l.



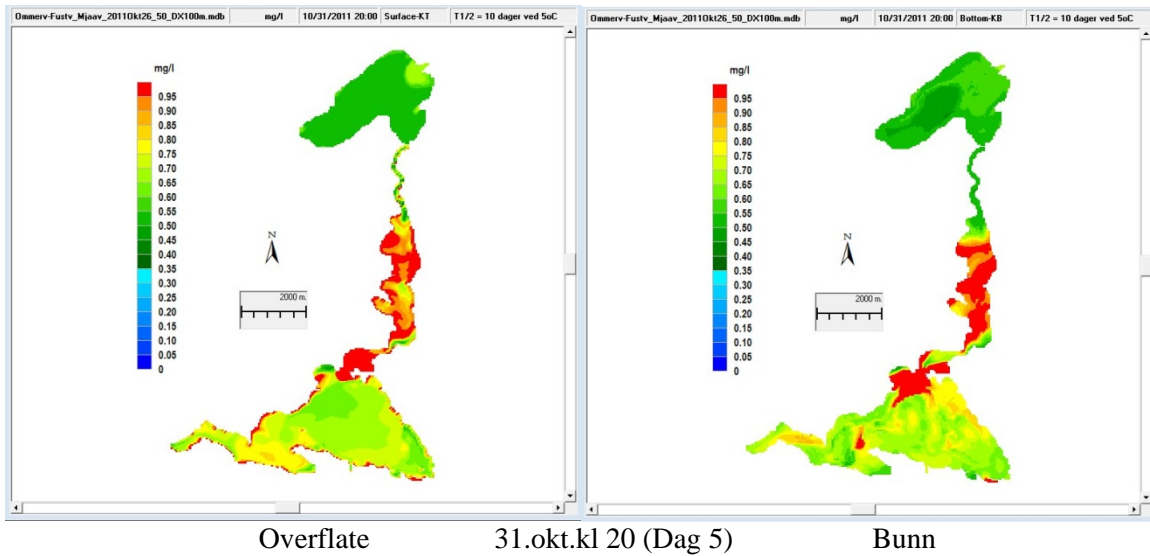
Figur 35. Fustvatn ble dosert denne dagen (kl. 08-16). I Ømmervatn ble vannet godt blandet. Konsentrasjonene var der over 0,6 mg/l. Også øverste del av Mjåvatn fikk konsentrasjoner over 0,6 mg/l som følge av avrenning fra Ømmervatn.



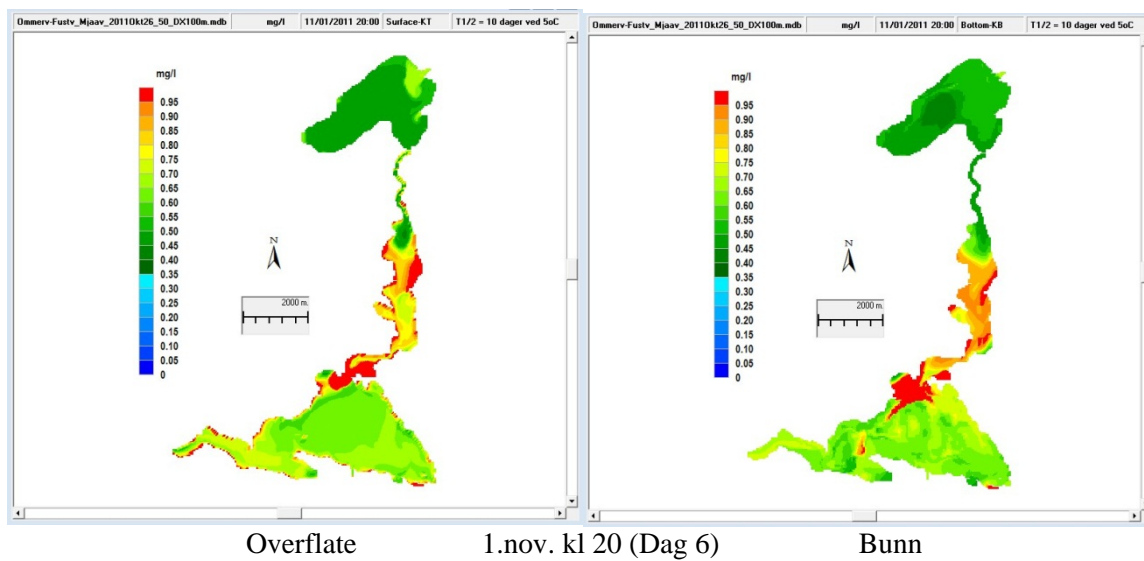
Figur 36. Mjåvatn ble dosert denne dagen. I Ømmervatn ble konsentrasjonsforskjellene stadig mindre. Stoffets decay/svinn hadde reduserte effekten med ca. 20 %. De laveste verdiene var ca. 0,5 mg/l. I Fustvatn var det betydelige konsentrasjonsforskjeller. Laveste verdi var ca. 0,5 mg/l.



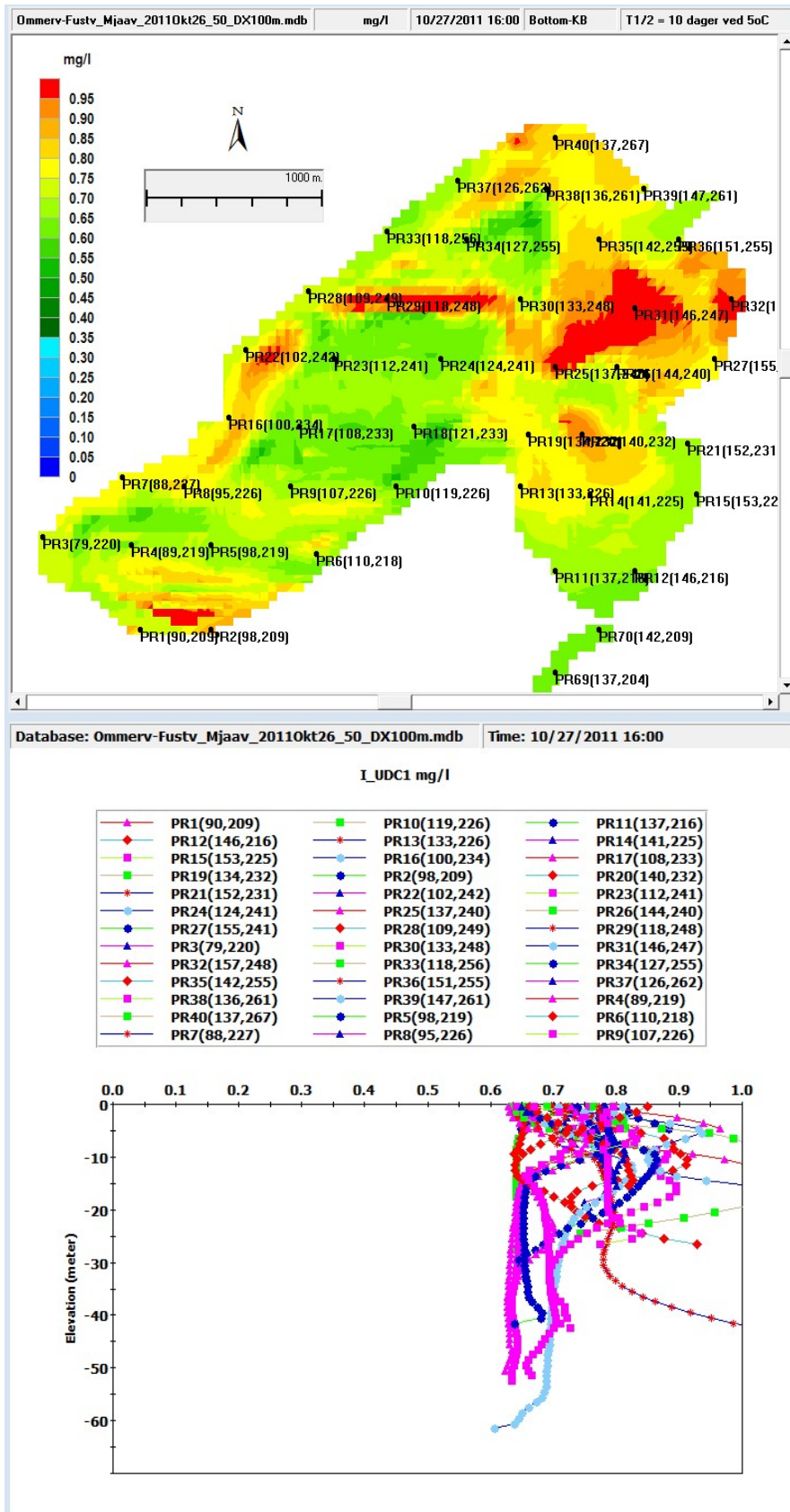
Figur 37. I Fustvatn var stoffet godt blandet. Laveste verdi var 0,6 mg/l. I Mjåvatn var det en «bølge» med høye konsentrasjoner som forflyttet seg nedstrøms.



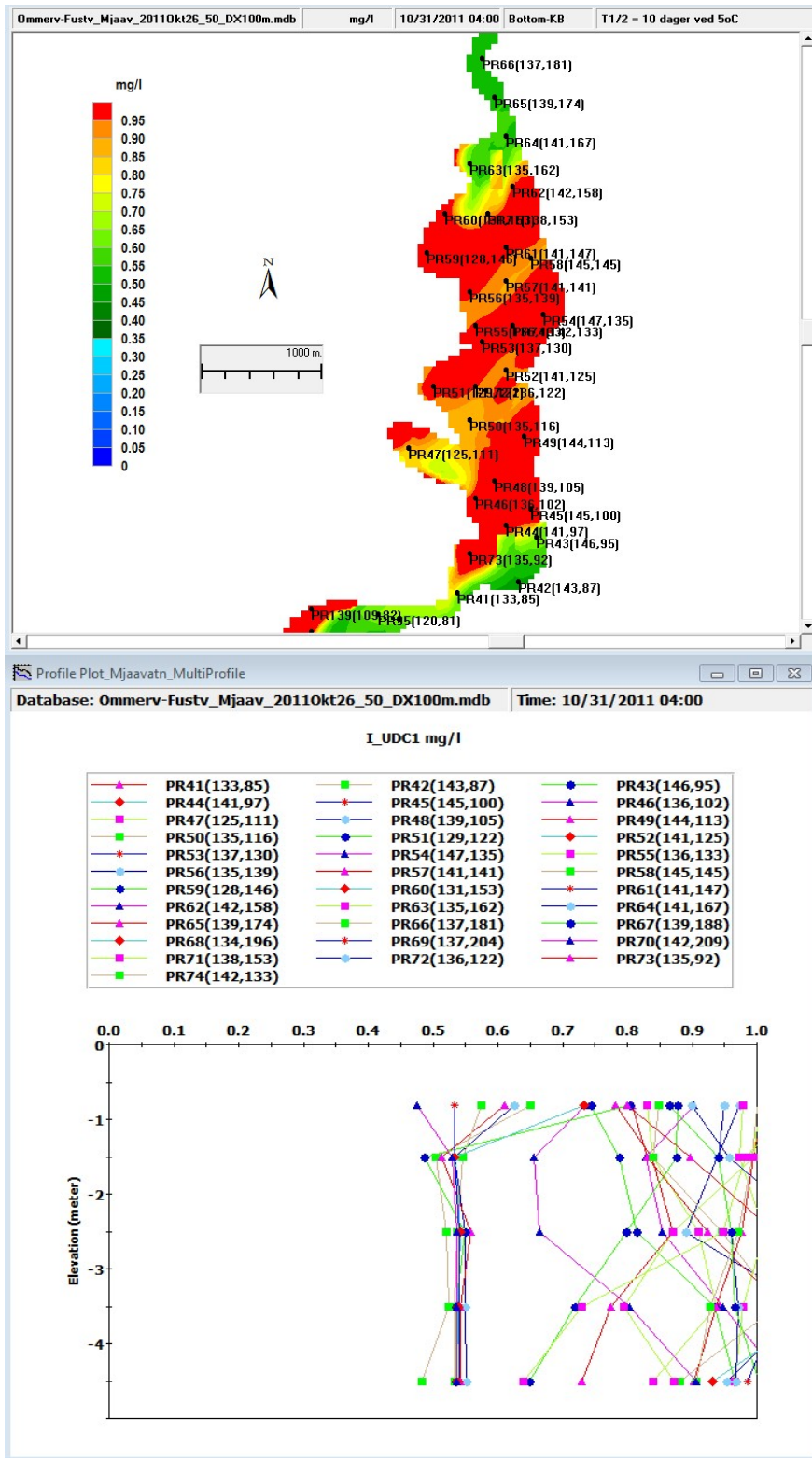
Figur 38. Det var små konsentrasjonsforskjeller i Fustvatn. De laveste verdiene var ca. 0,6 mg/l. «Bølgen» med høye konsentrasjoner i Mjåvatn hadde forflyttet seg ytterligere i nedstrøms retning mot Fustvatn.



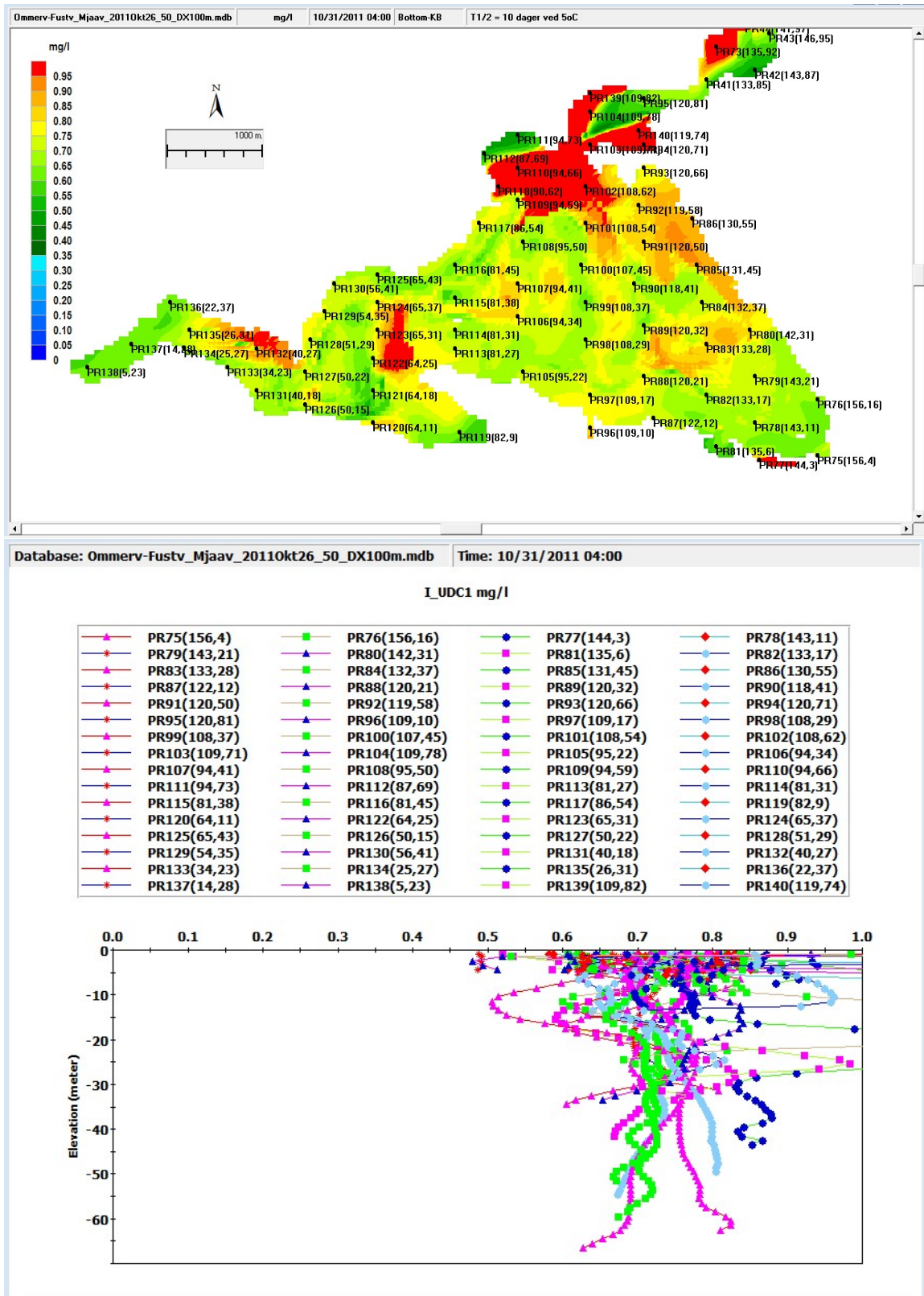
Figur 39. I Ømmervatn var de laveste konsentrasjonene nede i 0,4 mg/l. Bølgen med høye konsentrasjoner hadde passert Mjåvatn og nådd Fustvatn. Det var små konsentrasjonsforskjeller i Fustvatn. Verdiene var overveiende over 0,6 mg/l. I enkelte mindre områder var konsentrasjonene 0,5 mg/l.



Figur 40. I Ømmervatn ble konsentrasjonene i alle dybdesnittene høyere enn 0,6 mg/l ca. ett døgn etter doseringens slutt.



Figur 41. I den sentrale delen av Mjåvatn var konsentrasjonene i alle dybdeprofilene over 0,6 mg/l. I begge endene av strekningen, med stor elveliknende vannutskifting, var konsentrasjonene lavere. Disse delene fikk konsentrasjoner over 0,7 mg/l via en «bølge» av høye konsentrasjoner som forplantet seg nedstrøms.



Figur 42. I Fustvatn ble konsentrasjonene 2-3 døgn etter endt dosering over 0,6 mg/l i nesten hele innsjøen. Unntak var bukten i nordvest (profil 118 og 119), samt ett profil mer sentralt (profil 115) mellom 5 og 15 meters dyp

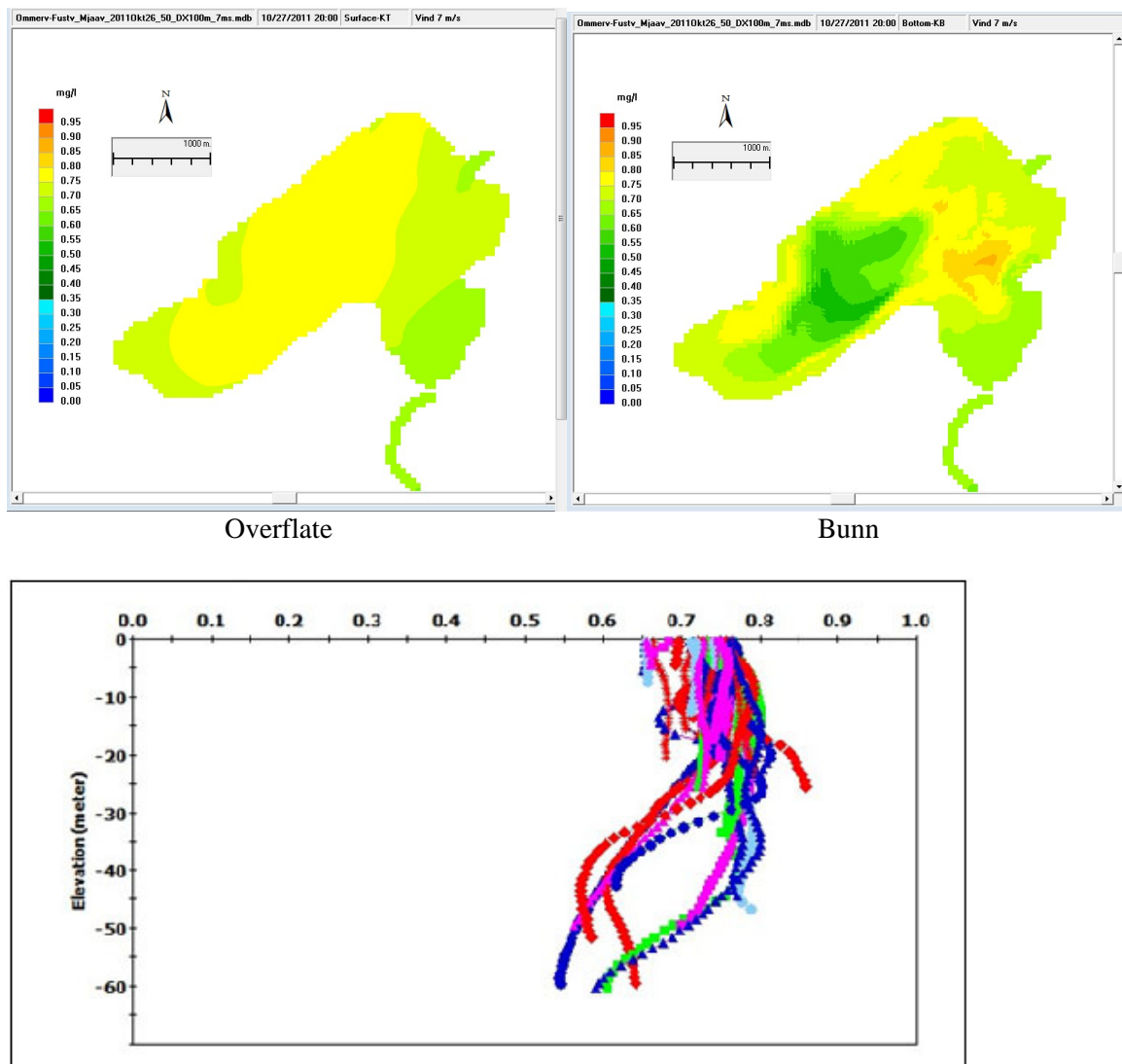
3.2 Behandling ved sterk vind

Vi antok at vindens fart var 7 m/s i hele simuleringsperioden. Dette er en fart som naturlig kun ble overskredet i noen få prosent av tiden. For øvrig var alle forhold som i det forrige scenariet «naturlige forhold».

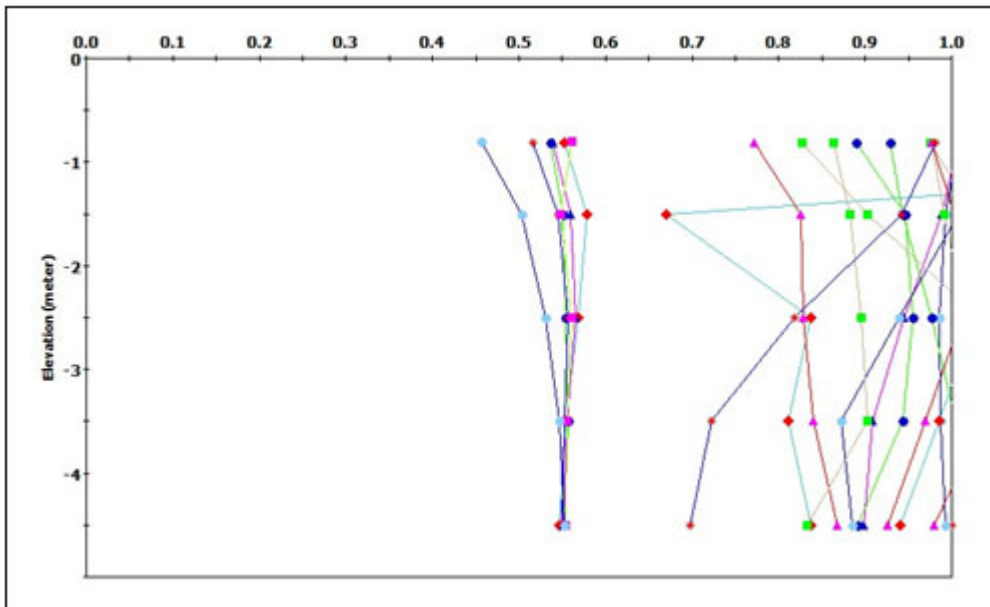
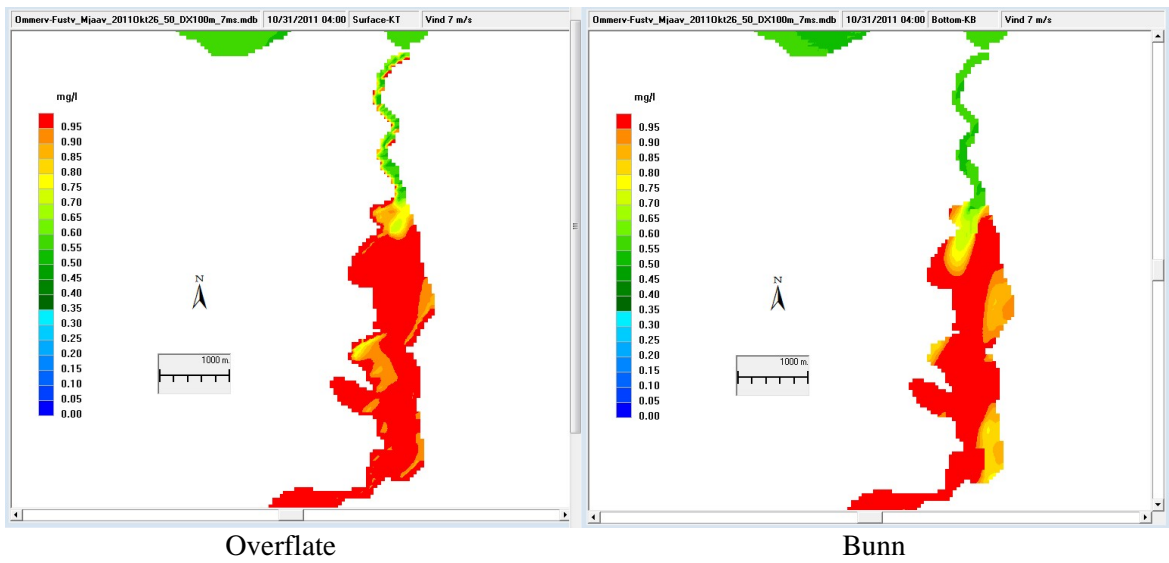
Ømmervatn 27. okt. kl.20 (Dag 2). Vinden førte til spesiell god blanding i overflatelaget. Også langs størstedelen av bunnen fant det sted en god utjevning. Likevel fikk konsentrasjonene i de dypeste områdene noe lavere konsentrasjoner enn ved «normale» vindforhold. Den 31. okt. kl.04 (Dag 6) ble konsentrasjonene nær 0,55 mg/l i hele innsjøen.

I Fustvatn resulterte økt vind til et bedre resultat. Det ble en betydelig bedre blanding og høyere minsteverdier. Også i de «vindskjermede» buktene ble konsentrasjonene høyere.

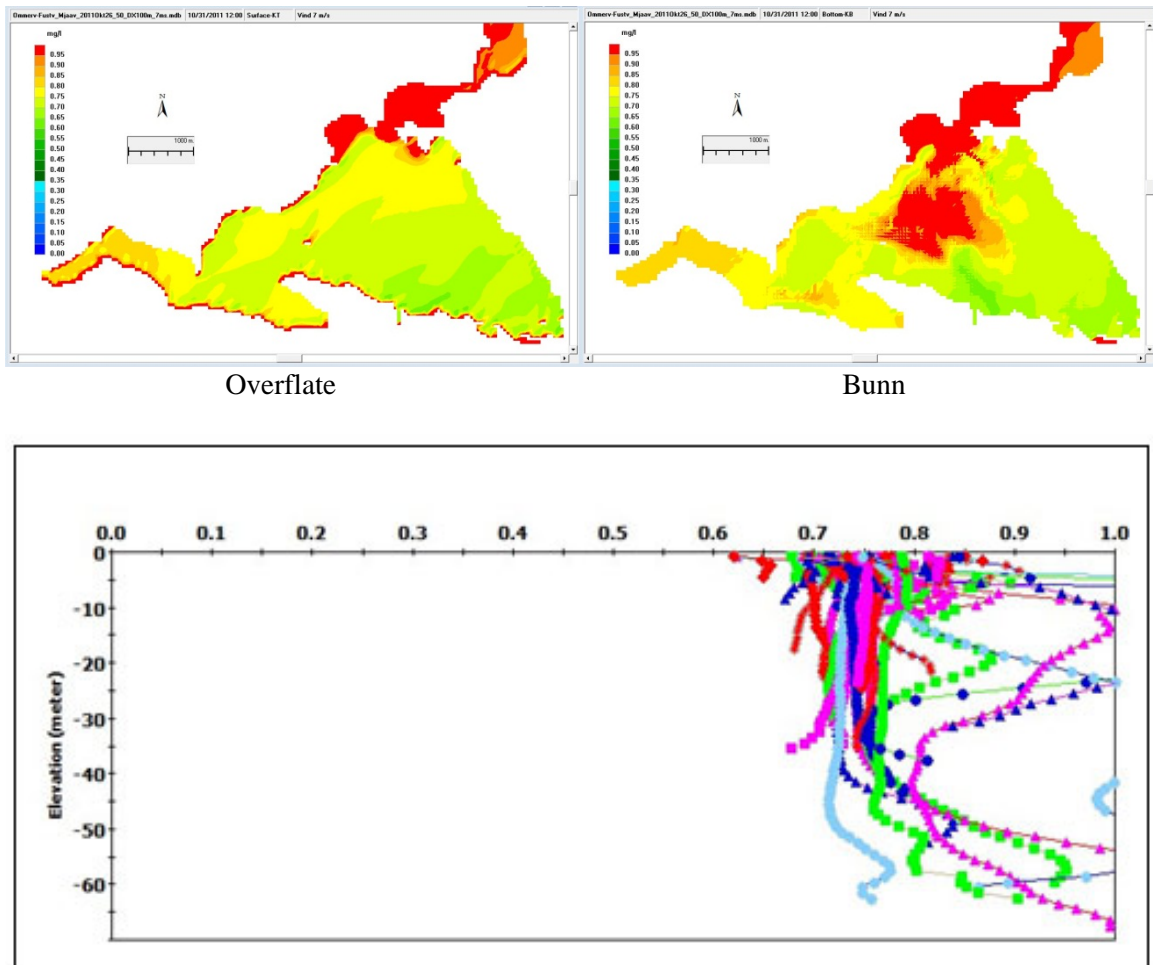
I både Mjøvatn og Fustvatn resulterte økt vind i bedre resultater. Det ble en bedre blanding og høyere minsteverdier.



Figur 43. Ømmervatn 27. okt. kl.20 (Dag 2). Vinden førte til spesiell god blanding i overflatelaget. Konsentrasjonene i noen av de dypeste områdene fikk noe lavere konsentrasjoner enn ved «normale» vindforhold.



Figur 44. Mjøvatn 31. okt. kl. 04 (Dag 6). Økt vind resulterte i bedre resultater. Det ble en bedre blanding og høyere minsteverdier.



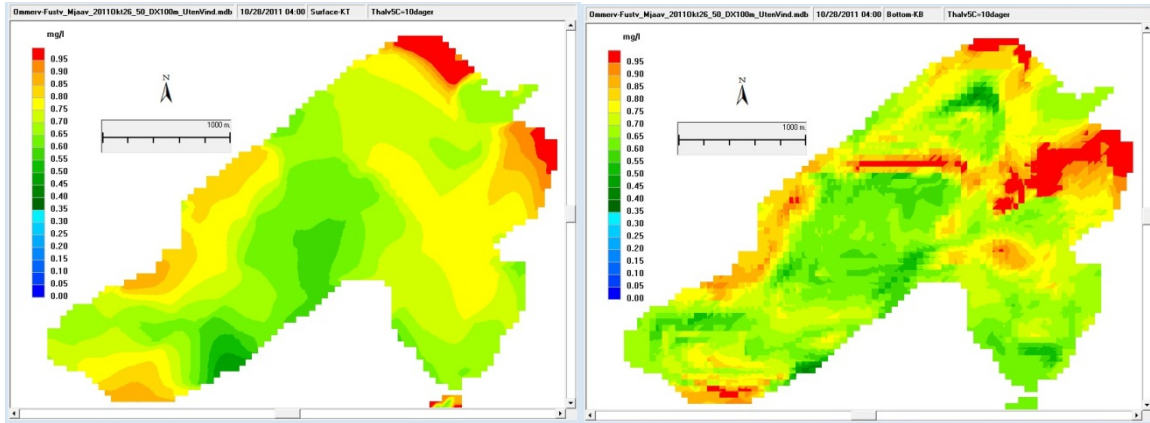
Figur 45. Fustvatn 31. okt. kl.12 (Dag 6). I Fustvatn resulterte økt vind til et bedre resultat. Det ble en betydelig bedre blanding og høyere minsteverdier. Dette gjaldt også «vindskjermede» buktene i nord.

3.3 Behandling uten vind

Vi antok at det ikke blåste vind i det hele tatt. Strømmene ble kun forårsaket av gjennomstrømming av elver og bekker. For øvrig var alle forhold som i scenariet «Naturlige forhold».

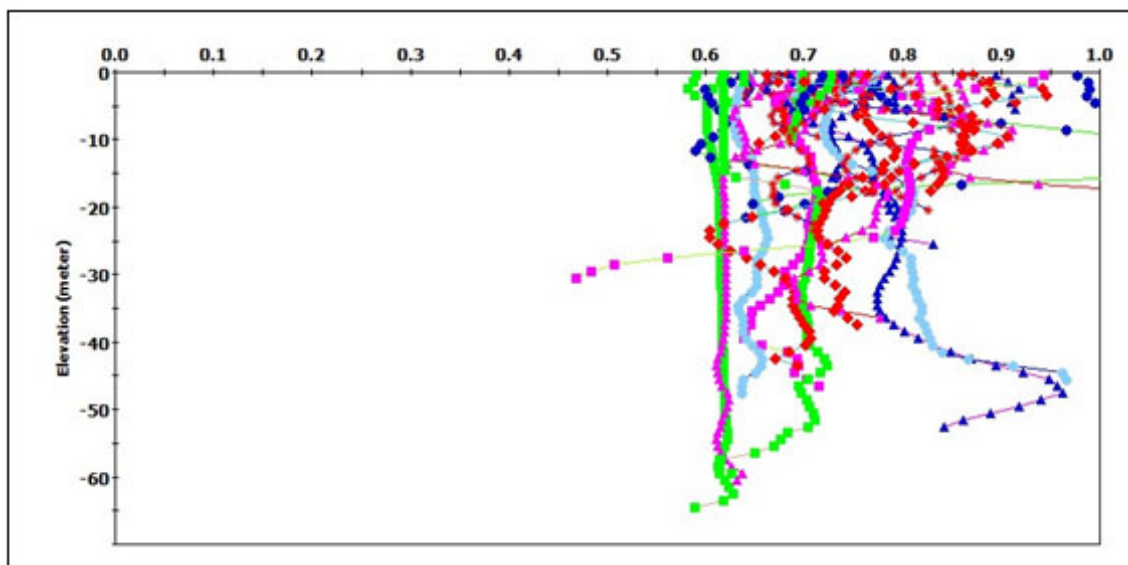
I Ømmervatn og Mjåvatn ble det små avvik i forhold til resultatene i scenariet som gjaldt naturlige forhold (**Figur 46** og **Figur 47**).

I Fustvatn ble det dårligere blanding, større konsentrasjonsforskjeller og flere områder med lavere verdier enn i scenariet med naturlige forhold. Dette gjaldt for en stor del i utløpsområdene. Tidligere hadde det forflyttet seg en «bølge» av høye konsentrasjoner gjennom denne delen slik at stillestående fisk ville ha blitt utsatt for tilstrekkelig fåt store doser. Denne «bølgetoppen» ble fulgt av en «bølgedal» med lavere konsentrasjoner ned mot 0,5 mg/l.

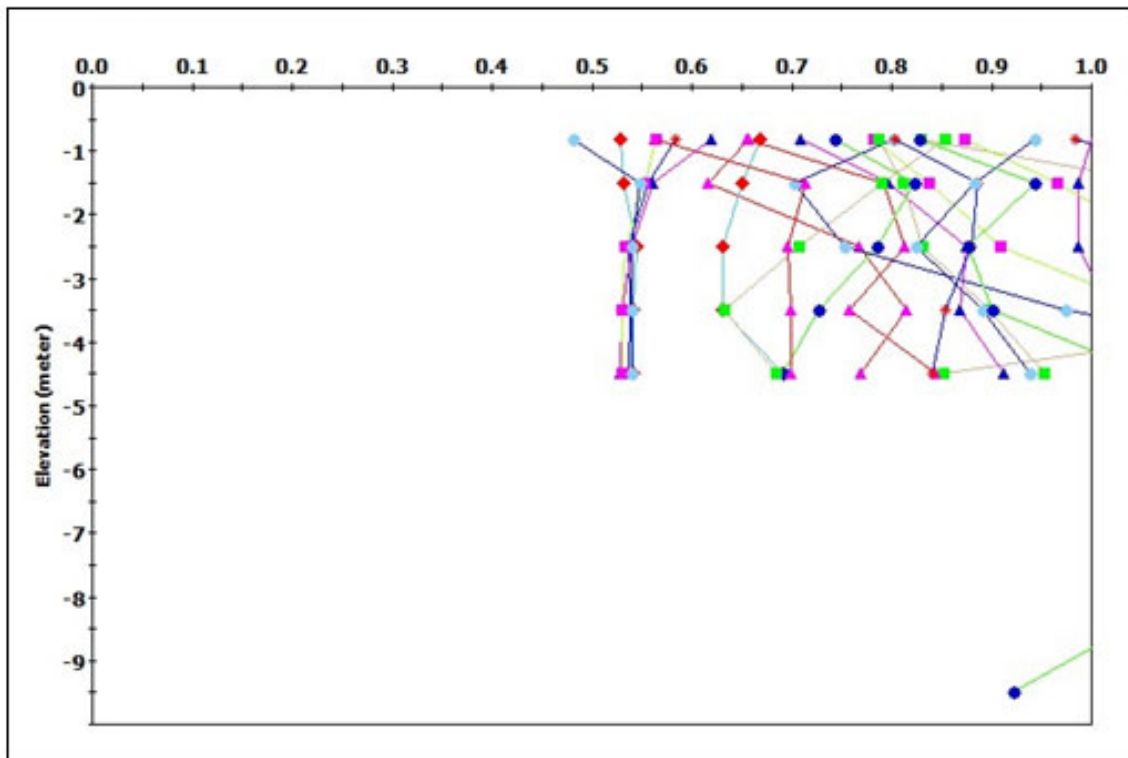
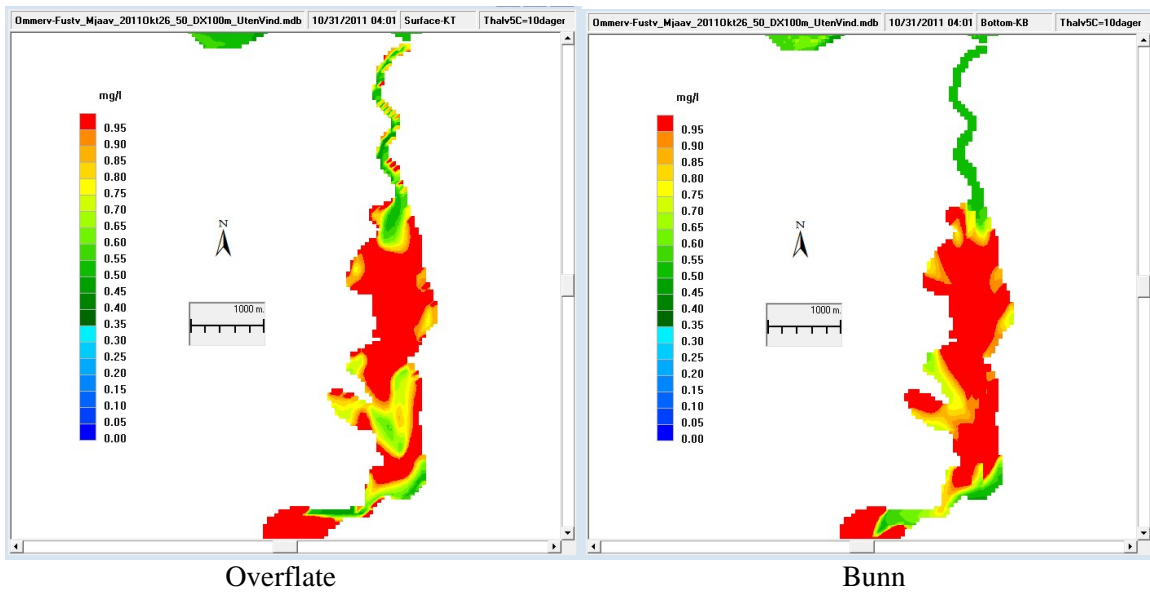


Overflate

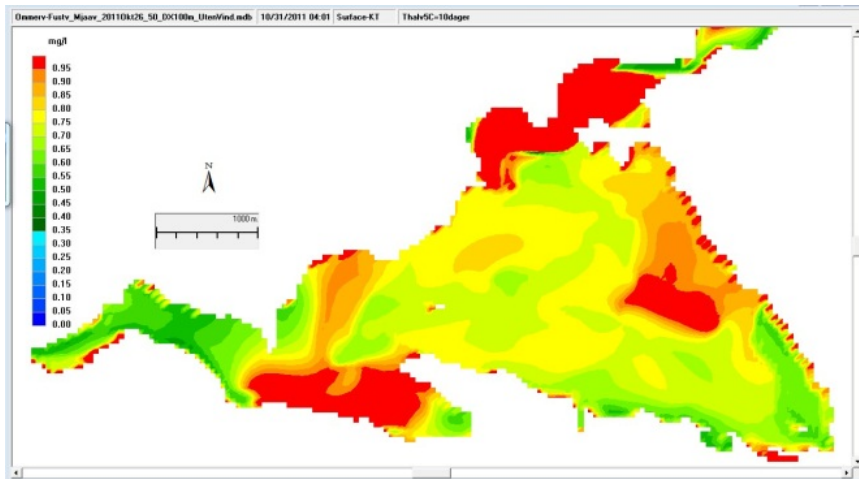
Bunn



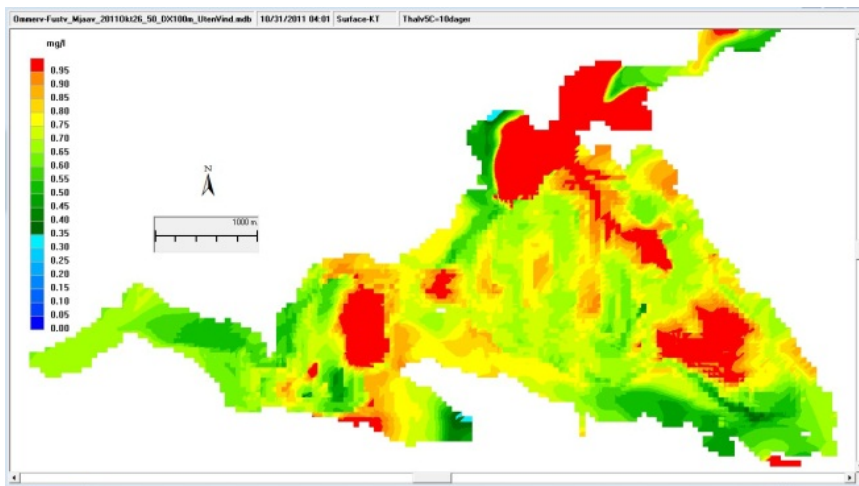
Figur 46. I Ømmervatn ble det små avvik i forhold til resultatene ved naturlige forhold.



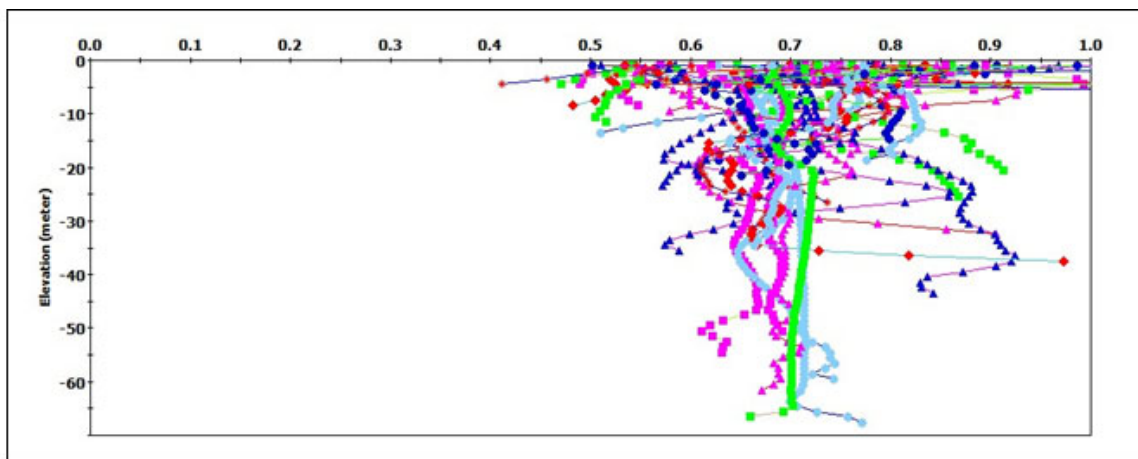
Figur 47. I Mjåvatn ble det små avvik i forhold til resultatene ved naturlige forhold.



Overflate



Bunn

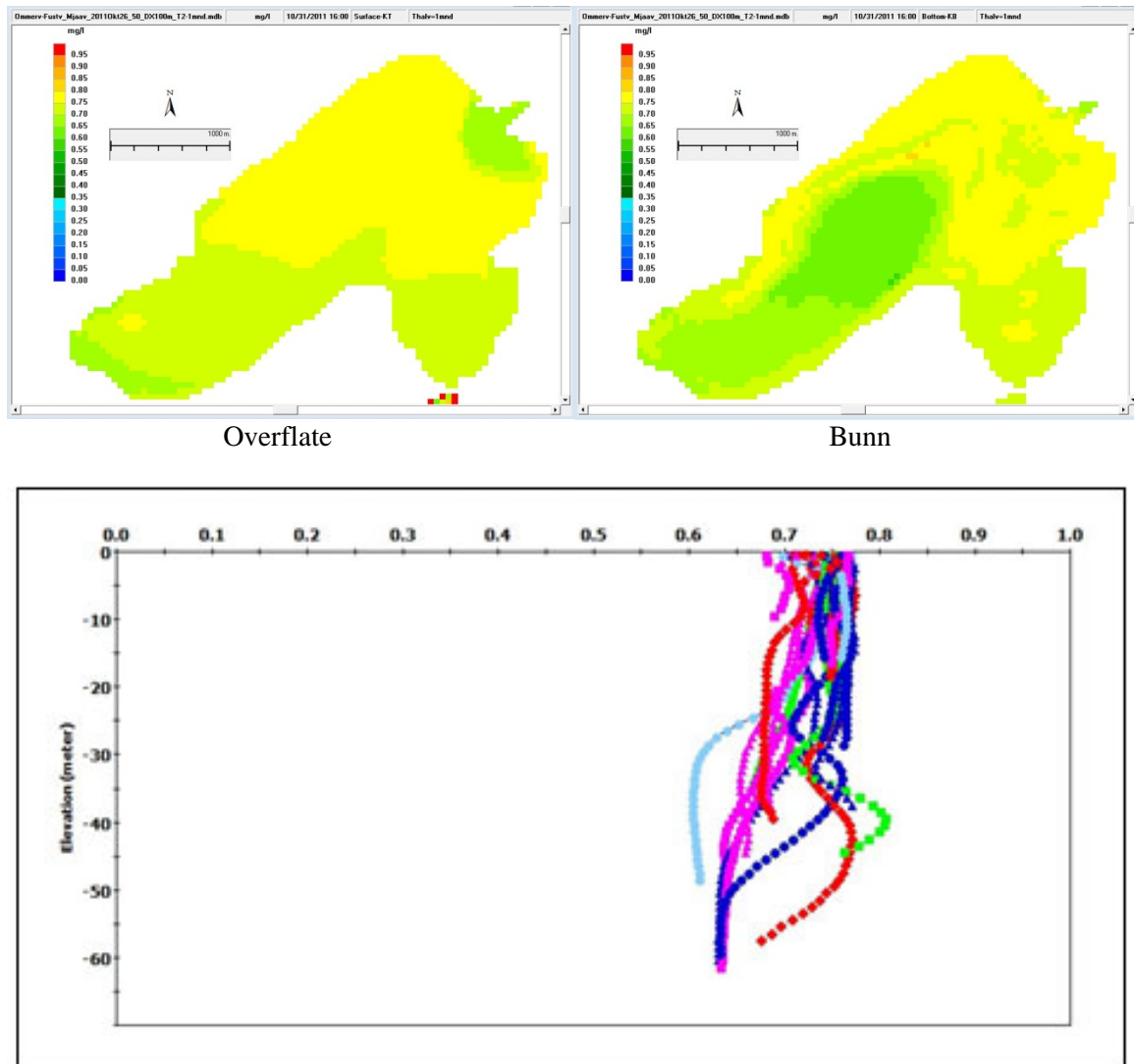


Figur 48. I Fustvatn ble det dårligere blanding, større konsentrasjonsforskjeller og flere områder med lavere verdier enn i scenariet med naturlige forhold.

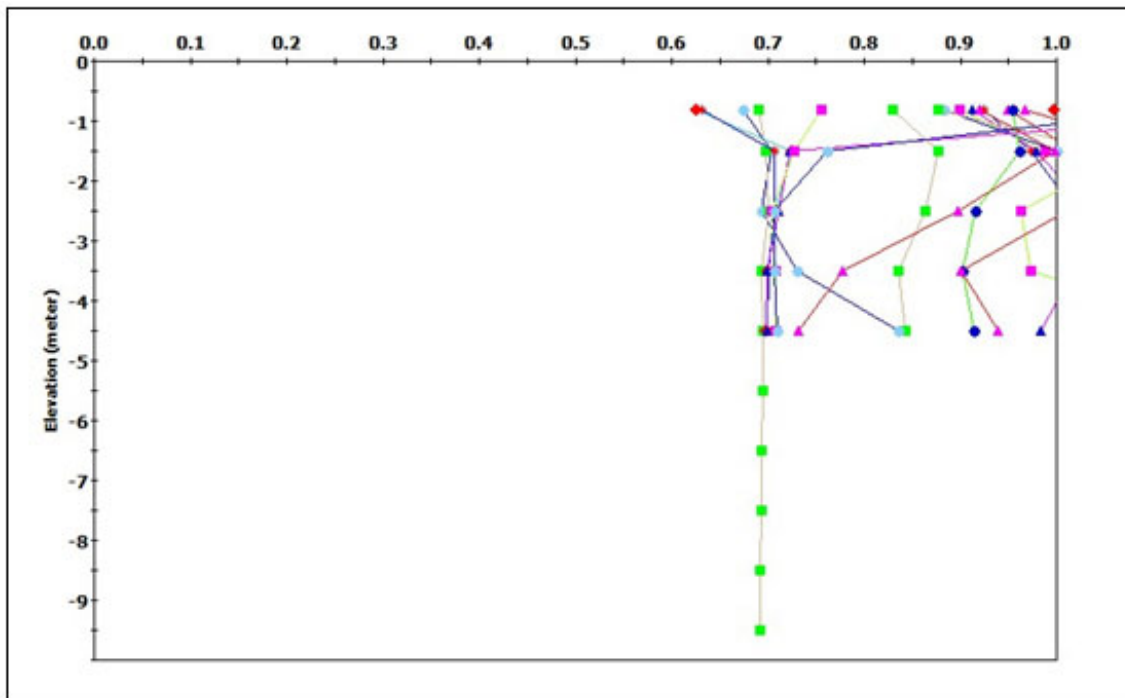
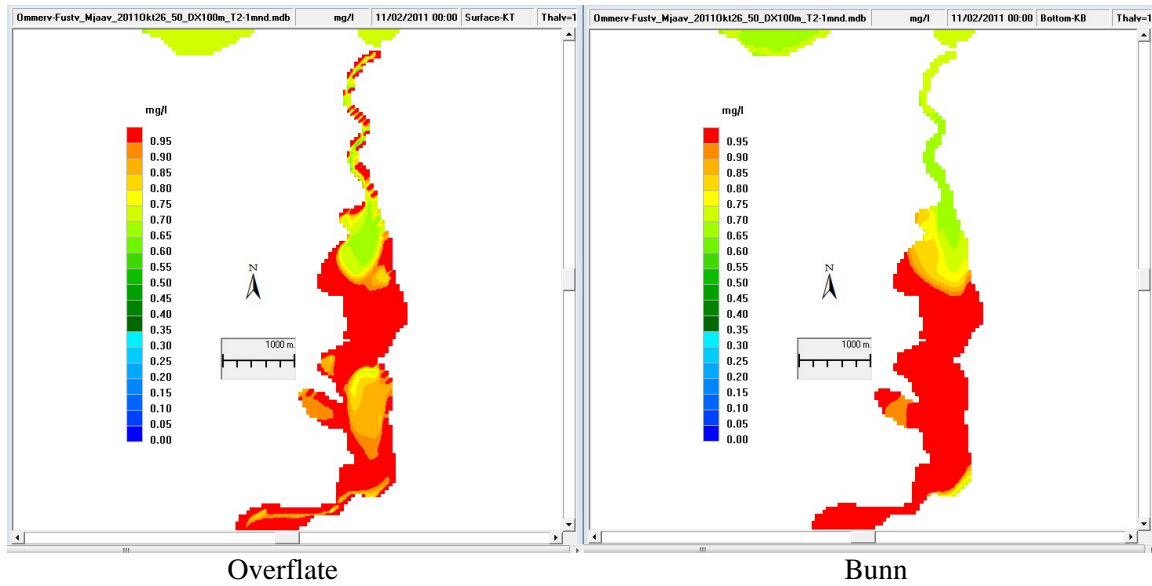
3.4 Rotenon med lengre nedbrytningstid

Scenariet var det samme som for naturlige forhold med unntak av at rotenonet var mer bestandig. Halveringstiden var 1 måned mot tidligere 10 dager ved 5 °C.

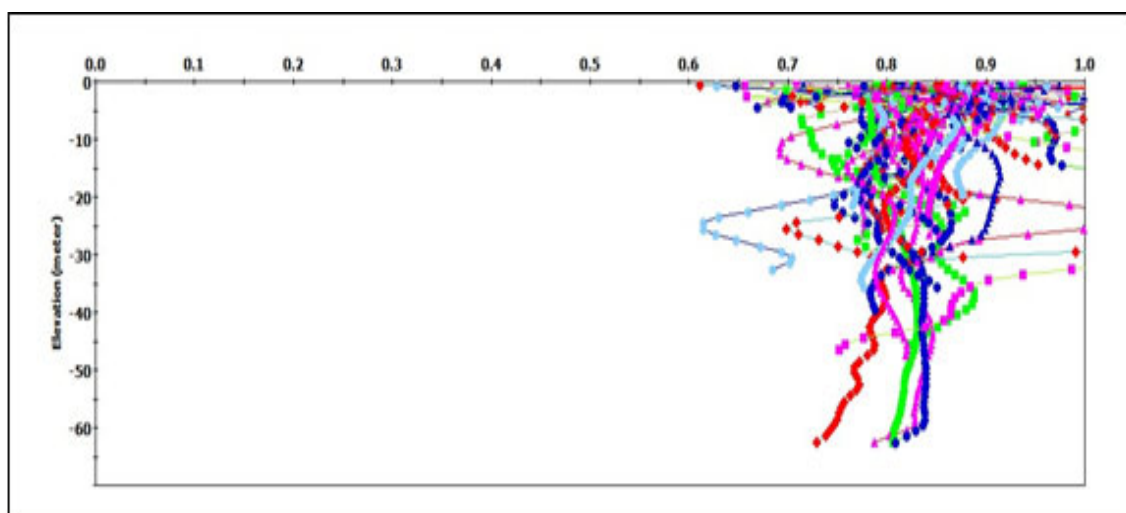
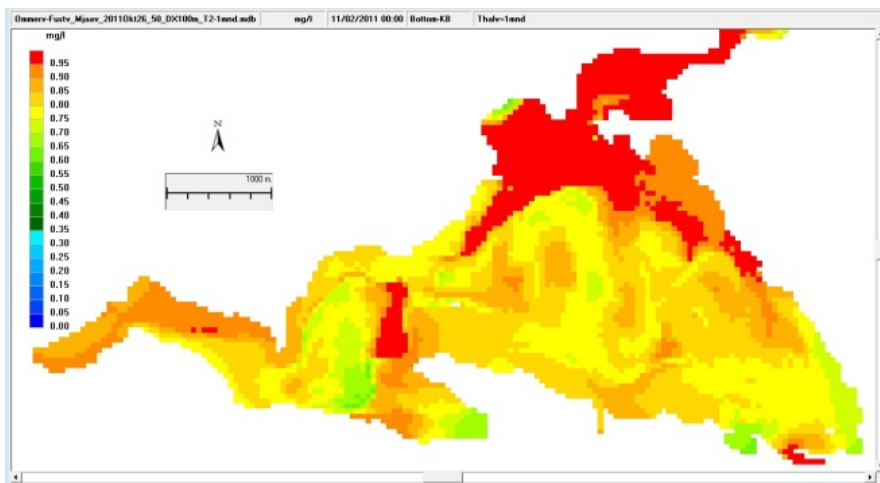
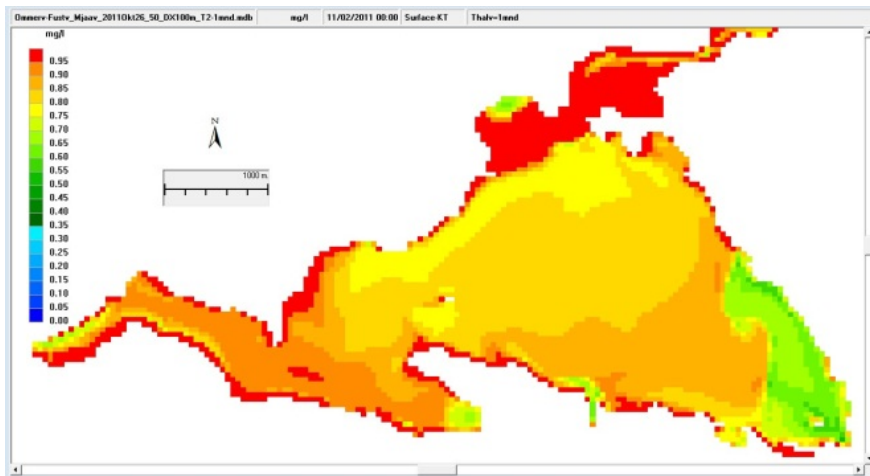
Da nedbrytningen av stoffet gikk langsommere kunne blandingsprosessene vare lenger uten å redusere virkningen i samme grad som i scenariet ved naturlige forhold. I alle innsjøene ble det en bedre blanding og høyere konsentrasjoner. Virkningen av stoff fra den ene innsjøen til den nedenforliggende ble større. De aktuelle samtidige minsteverdiene innen hver av innsjøene ble lite under den ideelle middelverdien på 0,7 mg/l, fortrinnsvis i Ømmervatn.



Figur 49. I Ømmervatn ble det bedre blanding og høyere konsentrasjoner ved økt nedbrytningstid for rotenon.



Figur 50. I Mjøvatn ble det bedre blanding og høyere konsentrasjoner ved økt nedbrytningstid for rotenon.



Figur 51. I Fustvatn ble det bedre blanding og høyere konsentrasjoner ved økt nedbrytningstid for rotenon.

4. Diskusjon og konklusjoner

I følge simuleringene er det stor sannsynlighet for å oppnå minstekonsentrasjoner på ca. 0,6 mg/l samtidig innen hver av innsjøene ved å dosere tilsvarende en ideell jevn blanding på 0,7 mg/l. Ved ekstremt ugunstige værforhold oppsto det dog lommer med konsentrasjoner ned mot 0,5 mg/l. Vi har da forutsatt en halveringstid av rotenon på 10 dager ved 5°C.

Ved en halveringstid på 1 måned vil reduksjonen under den ideelle blandingen bli mindre. Virkningen av stoff fra den ene innsjøen til den nedenforliggende blir større og tidsrommet med effektiv blanding økes.

Målet er å dosere **vannet** i innsjøene ved doseringens start i striper med 100 meters mellomrom. I praksis må vi følge en på forhånd oppsatt plan og dosere i henhold linjer på kartet hvor man tar hensyn til vekslende dybder. Når vannet beveger seg vil det bli avvik fra dette ideelle mønsteret. Enkelte steder blir mellomrommene mellom stripene større og andre steder mindre enn målsetningen. Dermed oppstår det lommer med rent vann og områder med opphopning av stoff. Des lenger tid doseringen tar, desto mer ujevn konsentrasjonsfordeling ved doseringens slutt. Man bør følgelig tilstrebe en så nær momentan dosering som mulig. I praksis betyr det å dosere samtidig fra overflate til bunn og så tett som kapasiteten tillater, f.eks. i striper på 100 meter.

For å unngå lommer med lave konsentrasjoner bør man dosere helt inn til land. Dette bør repeteres til slutt, i alle fall i vindskjermede bukter.

Blandingen går raskere om vi doserer i striper på tvers av vindretningen. I snitt blir dette nordvest-sydøstlige retninger.

Det er liten vannutskiftning i de dypeste bassengene. Man bør legge ekstra vekt på å treffe de dypeste gropene.

Det ideelle er å ha rolige forhold under doseringen og påfølgende vind for å få til en god blanding. I følge simuleringene virker det planlagte doseringsmønsteret robust mot endrede vindforhold.

En konsentrasjon på 0,3 mg/l antas å være dødelig for røye. I følge simuleringene skulle en dosering tilsvarende en jevn blanding på 0,4 mg/l gi et tilfredsstillende resultat. Det er vanskelig å si hvor sikre simuleringene er. Det er heller ikke mulig å simulere enhver tenkelig situasjon. Videre er den praktiske doseringen i felt forbundet med usikkerhet, ikke alt går nødvendigvis etter planen. Det er følgelig nødvendig å øke doseringsmengden i forhold til hva simuleringene antyder for å øke sannsynligheten for et vellykket resultat.

5. Referanser

ERM (modellutvikler), hjemmeside: <http://www.erm-smg.com>.

Tjomsland T. 2010. Modellert rotenonbehandling av Fustvatn. 38 sider. Løpenr. 6064-2010. Norsk institutt for vannforskning, Oslo.

Tjomsland T. 2011. Modellert rotenonbehandling av Ømmervatn, Mjåvatn og Fustvatn. 38 sider. Løpenr. 6064-2010. Norsk institutt for vannforskning, Oslo

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