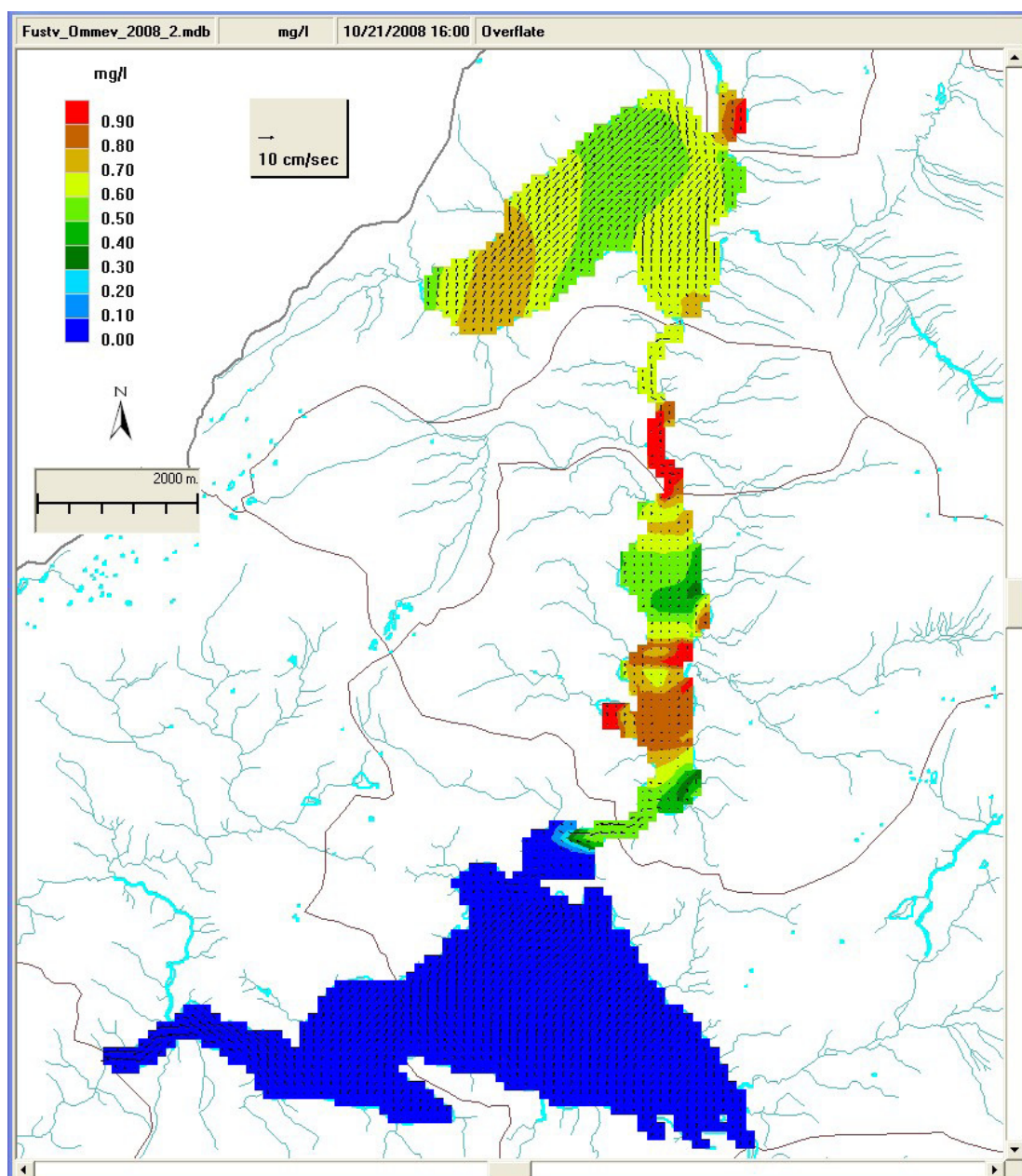


# Modellert rotenonbehandling av Ømmervatn, Mjåvatn og Fustvatn



Norsk institutt for vannforskning

# 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 Modellert rotenonbehandling av Ømmervatn, Mjåvatn og Fustvatn	Løpenr. (for bestilling) 6273-2011	Dato 22.12.2011
	Prosjektnr. Undernr. O-10456	Sider Pris 39
Forfatter(e) Torulv Tjomsland	Fagområde Miljøinformatikk	Distribusjon Fri
	Geografisk område Nordland	Trykket NIVA

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

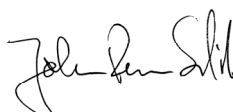
## Sammendrag

Hensikten med denne rapporten var å bedre grunnlaget for en vellykket behandling av Ømmervatn, Småvatn og Fustvatn med rotenon. I simuleringene oppnådde vi tilnærmet målsetningen om en jevn fordeling av dosert rotenon innen hver av innsjøene. I modellen ble det ble dosert i striper med 200 meters mellomrom, og fra overflate til bunn i slutten av oktober. Dosert rotenon forventes å bli redusert til 1/10 000 i løpet av fire måneder som følge av nedbrytning.

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



Torulv Tjomsland  
Prosjektleder



John Rune Selvik  
Forskningsleder



James Berg  
Direktør for teknologi og innovasjon

ISBN 978-82-577-6008-3

Modellert rotenonbehandling av  
Ømmervatn, Mjåvatn og Fustvatn

---

## Forord

Veterinærinstituttet jobber med en utredning om behandling av Ømmervatn, Småvatn og Fustvatnet i Nordland mot parasitten *Gyrodactylus salaris* (gyro) og ønsket i den forbindelse en modellering av fysiske forhold for å bedre grunnlaget for en effektiv behandling.

Helge Bardal har vært kontaktpersoner ved Veterinærinstituttet. Bardal, Pål Adolfsen ved Veterinærinstituttet og andre medarbeidere innen prosjektet, har bidratt med teknisk informasjon angående rotenon mm., og diskusjoner i løpet av arbeidperioden.

Oslo, 22. november 2011

*Torolv Tjomsland*

---

# Innhold

<b>Innhold</b>	<b>5</b>
<b>Sammendrag</b>	<b>6</b>
<b>Summary</b>	<b>8</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>9</b>
1.1 Mål	9
1.2 Beskrivelse av området	9
1.3 Modell	11
1.4 Data	13
<b>2. Simulert behandling</b>	<b>15</b>
2.1 Innledende simuleringer	15
2.1.1 Valg av tid på året	15
2.1.2 Horisontal blanding	19
2.1.3 Vertikal blanding	21
2.2 Simulert behandling	27
<b>3. Når blir innsjøene rene igjen</b>	<b>36</b>

# Sammendrag

## Sammendrag

### Mål

Hensikten med denne rapporten er å bedre grunnlaget for en vellykket behandling av Ømmervatn, Mjåvatn og Fustvatn med rotenon. Resultater fra modelleringen skal være veiledende i forhold til valg av tidspunkt på året for behandlingen samt doseringstetthet horisontalt og vertikalt.

### Metode

Vi benyttet den 3-dimensjonale modellen GEMSS som beregner strøm, temperatur, konsentrasjon av stoffer med ulike egenskaper ut fra kjent klima, vannføring, vanntemperatur og stoffkonsentrasjon i tilløp, vannføring i utløp. Modellen/modellpakken er utviklet av ERM's Surfacewater Modeling Group i Exton, Pennsylvania, USA.

Innsjøen ble delt inn i beregningsceller. I horisontalplanet var disse 100 m x 100 m og i dybderetningen 1 m. For hver celle ble resultatene beregnet skrittvis fremover i tid med periode på et par minutter. Vi utførte simuleringer med inngangsdata som i 2008. Det ble laget scenarier med ulike doseringsstrategier.

### Simulert behandling

Målet var å dosere slik at konsentrasjonen av denne væsken ble minst 0,7 mg/l i samtidig innen hver av innsjøene. Dvs. først 0,7 mg/l innen hele Ømmervatn, deretter det samme i Mjåvatn og til slutt i Fustvatn. 0,3 mg/l anses som dødelig konsentrasjon for fisk. 0,7 mg/l tilsvarer en konsentrasjon av ren rotenon på 35 ug/l. En jevn konsentrasjon på 0,7 mg/l utgjør 103 tonn, 9 tonn og 155 tonn av den rotenonholdige væsken i henholdsvis Ømmervatn, Mjåvatn og Fustvatn.

Resultatene viser at det er mest gunstig å foreta rotenonbehandling i slutten av oktober, eventuelt i begynnelsen av november. Det er det ustabile vannmasser i vertikal retning slik at stoffet da lettere blandes vertikalt. Temperaturen i vannet er mellom 4°C og 6°C hvilket gjør at rotenonet i liten grad får redusert virkning som funksjon av tid. Utover i november forventes den vertikale blandingen å være gunstig, men samtidig øker risikoen for islegging. Av praktiske grunner kan det være nødvendig å dosere overflatelaget (0 – 20/30 m) og dypere ned separat. I så fall bør dette skje mens det fortsatt er et sprangsjikt for å redusere vertikal blanding mellom disse to lagene.

I simuleringene oppnådde vi tilnærmet målsentningen på 0,7 mg/l i hver av innsjøene samtidig. Tettere dosering gir mindre konsentrasjonsforskjeller, hvilket reduserer nødvendig doseringsmengde.

Det ble dosert i striper med 200 meters mellomrom og fra overflate til bunn. Bekkene ble dosert slik at de fikk en konsentrasjon på 0,7 mg/l. Doseringen ble utført i løpet av tre dager. Første dag i Ømmervatn, andre dag i Mjåvatn og til slutt i Fustvatn.

### Når blir innsjøene rene igjen

I våre beregninger antok vi at halveringstiden økte fra ca. 2 døgn ved 20°C til 1 uke ved 6 °C og 2 uker ved 1 °C. Da scenariet startet, 20. oktober, var temperaturene mellom 4°C og 6°C. I de følgende månedene sank temperaturen ytterligere. Vi antar for enkelthets skyld en halveringstid på 10 dager. Dette gir en reduksjon til 1/10 i løpet av 1 måned. Dvs. en reduksjon til 1/100, 1/1000 og 1/10 000 i løpet av henholdsvis 2, 3 og 4 måneder, dvs i løpet av februar.

Dersom virkningen skulle holde seg dobbelt så lenge som i eksempelet over, vil reduksjonen blitt 1/100 i løpet av fire måneder. Det var liten forskjell mellom overflate og bunn. Fortynningen medvirket til reduksjon av tilført rotenon. Betydningen av svinn var dominerende.

## Summary

Title: Modelled rotenone treatment of Lake Ømmervatn, Lake Mjåvatn and Lake Fustvatn

Year: 2011

Author: Torulv Tjomsland

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-6008-3

The objective of this report was to improve the possibility of a successful rotenone treatment in Lake Ømmervatn, Lake Mjåvatn and Lake Fustvatn against *Gyrodactylus salaricus*. Various scenarios of dosing were simulated by the model GEMSS. The simulations yielded satisfactory concentrations in the lake. It was necessary to add rotenone in lines with distance less than 200 m, and from top to bottom. The best period for the treatment appears to be late October. The rotenone levels are expected to be reduced to 1/10 000 of the dose over a period of 4 months due to decay.



# 1. Innledning

De simuleringene som er gjort her bygger videre innledende beregninger som ble utført i 2010 for Fustvatn (Tjomsland 2010).

## 1.1 Mål

Hensikten med denne rapporten er å bedre grunnlaget for en vellykket behandling av Ømmervatn, Mjåvatn og Fustvatn med rotenon. Resultater fra modelleringen skal være veiledende i forhold til valg av tidspunkt på året for behandlingen, samt doseringstetthet horisontalt og vertikalt.

Målet var å dosere 5 % rotenonholdig væske slik at konsentrasjonen ble minst 0,7 mg/l i samtidig innen hver av innsjøene.

## 1.2 Beskrivelse av området

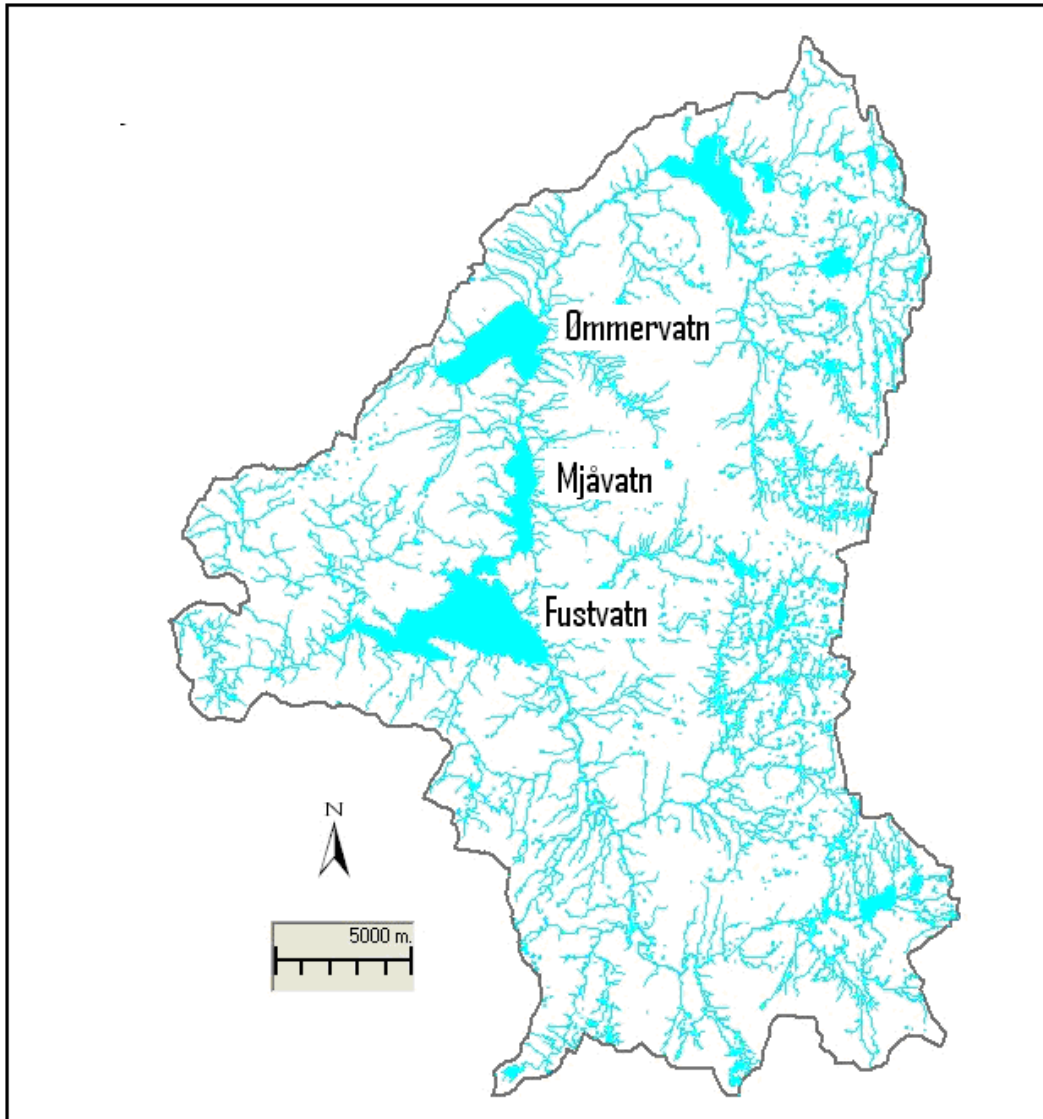
Nedbørfeltet til Fustvatn er 526 km<sup>2</sup>. De to største tilløpene er i nordøst (Mjåvatn, 220 km<sup>2</sup>, 42 %) og i sørvest (Herringelva, 198 km<sup>2</sup>, 38 %). Utløpselva, Fusta, drenerer til Vefsnfjorden nær Mosjøen i Nordland, **Figur 1**.

I følge NVE har Fustvatn et overflateareal på 10,6 km<sup>2</sup>. Midlere dybde er 21 meter. Volumet er 221 mill. m<sup>3</sup>. 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. halvdel av innsjøens volum finnes i de øverste 12 metre. Midlere vannføring 1960-1990 var 33 m<sup>3</sup>/s. Teoretisk oppholdstid (volum/middelvannføring) er 78 dager.

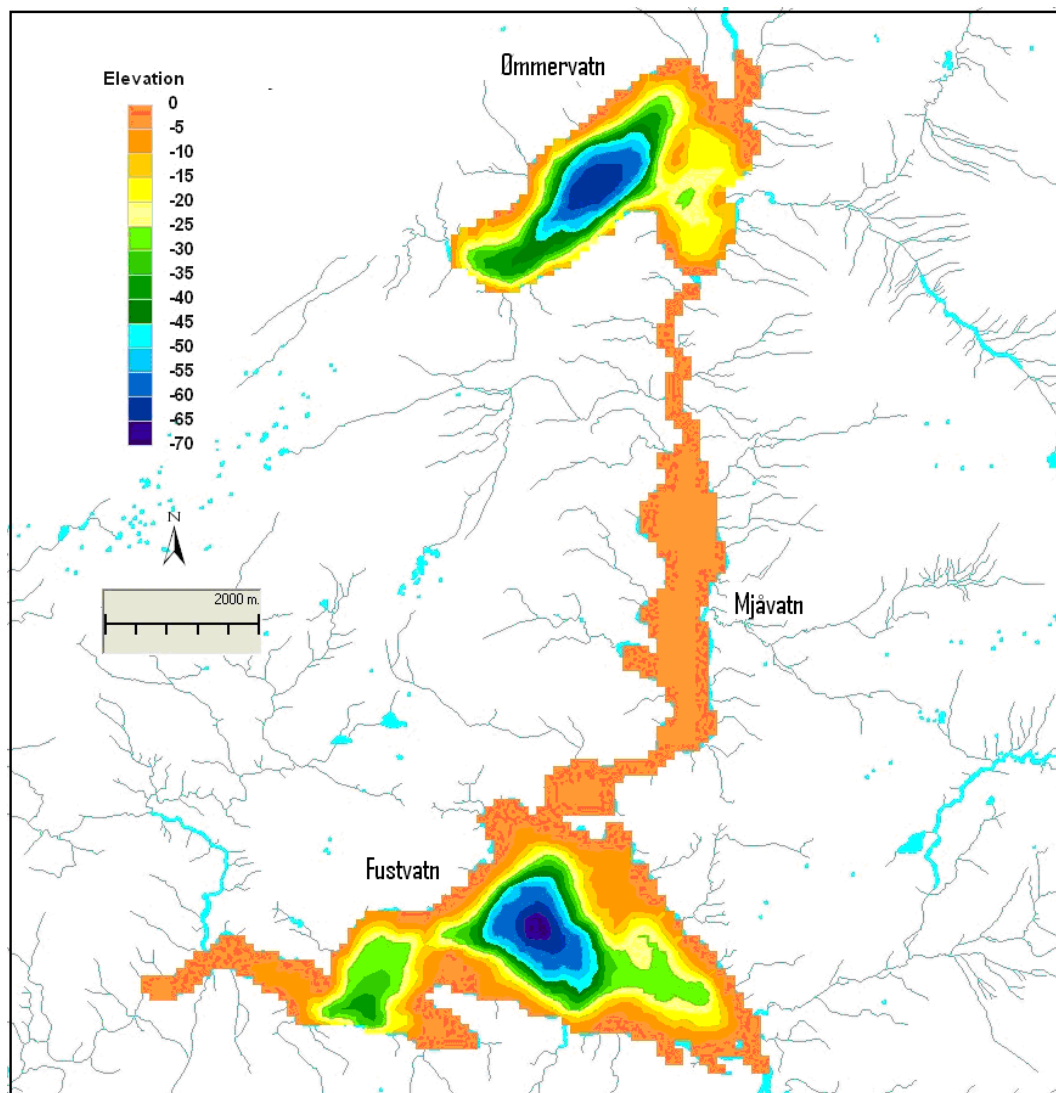
Det er et stort basseng med største dyp på 70 meter i de sentrale deler av innsjøen. I sørvest er det et noe mindre basseng med maksimum dyp på 40 meter. Et tredje og adskillig mindre basseng finnes i sørøst. Maksimum dyp er også der 40 meter, **Figur 2**.

Mjåvatn har samme høyde over havet som Fustvatn. Areal, midlere dyp og volum er henholdsvis 2,6 km<sup>2</sup>, 5 m og 13 mill. m<sup>3</sup>. Nedbørfeltet er 220 km<sup>2</sup>. Midlere vannføring 14,8 m<sup>3</sup>/s. Teoretisk oppholdstid er 1,3 dag.

Ømmervatn har et areal på 5,3 km<sup>2</sup>, midlere dyp lik 27 meter og et volum på 147 mill. m<sup>3</sup>. Det er et basseng i vest med dybder ned mot 70 meter. Nedbørfeltet er 180 km<sup>2</sup>. Midlere vannføring 12,3 m<sup>3</sup>/s. Teoretisk oppholdstid er 138 dager.



**Figur 1.** Nedbørfelt

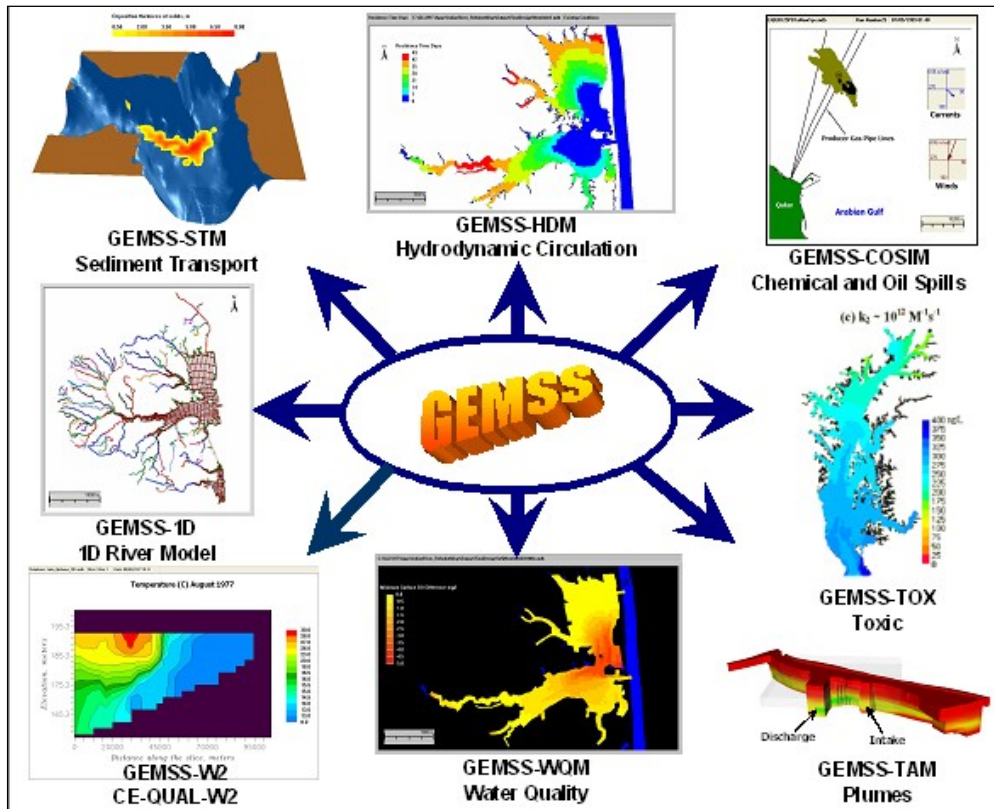


Figur 2. Ømmervatn, Mjåvatn og Fustvatn. Dybdekart

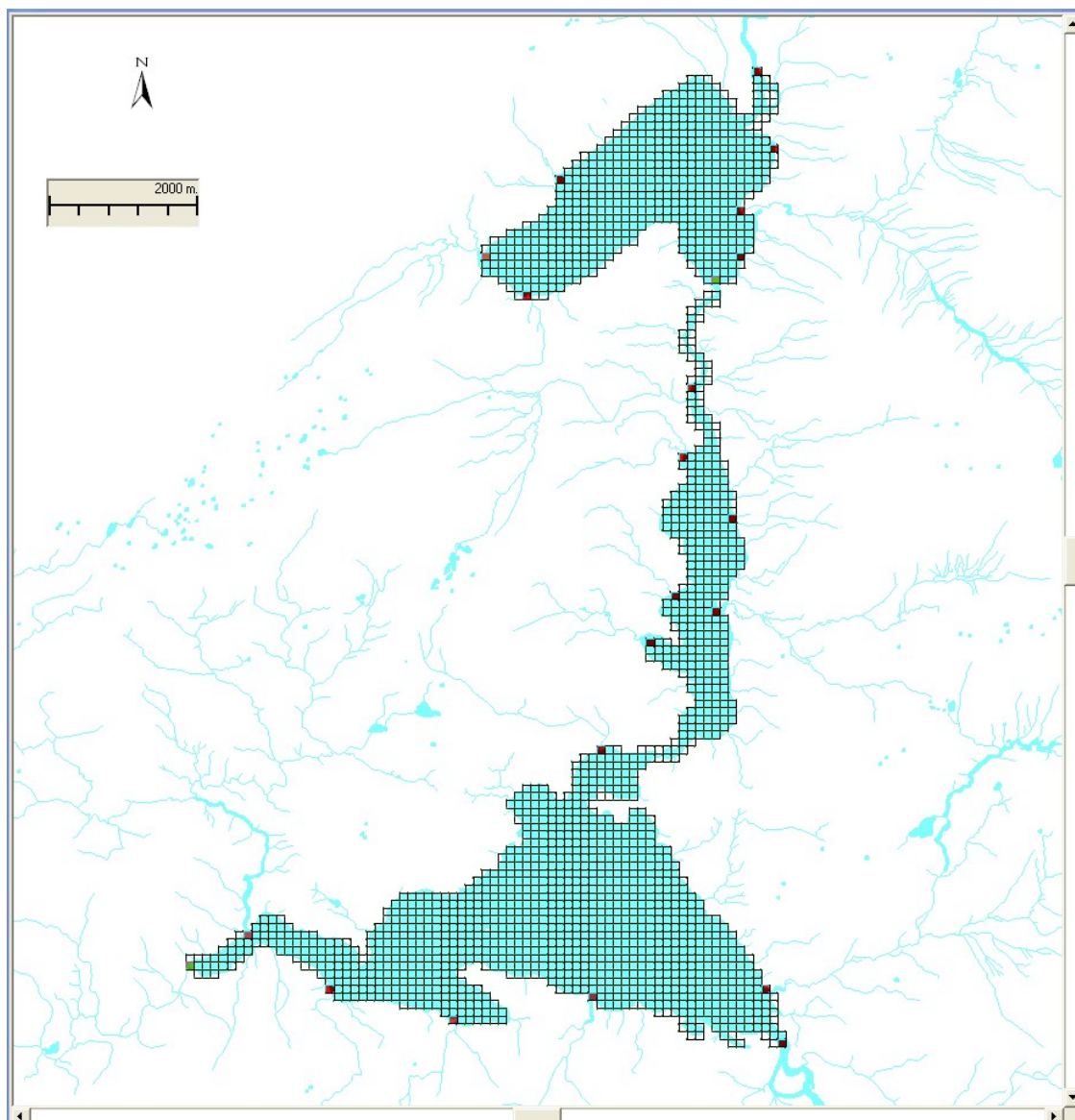
### 1.3 Modell

Vi benyttet den 3-dimensjonale modellen GEMSS. 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. I horisontalplanet var disse 100 m  $\times$  100 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 brukt 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.** Innsjøen ble delt inn i beregningsceller. I horisontalplanet var disse 100 m · 100 m og i dybderetningen 1 m. Vann og rotenon ble i modellen tilført via i de 20 største tilløpene.

## 1.4 Data

Vi simulerte strøm og temperatur for perioden 1. mai 2008 og ut året. I modellen ble det lest inn vannføringer i de 20 største tilløpene. Disse ble funnet ved arealbetraktninger i forhold til NVEs vannføringsstasjon 152.4 Fusta ved utløpet av Fustvatn.

Meteorologiske data (lufttemperatur, duggpunkttemperatur, vindstyrke, vindretning, skydekke og lufttrykk) fra Mosjøen ble hentet fra databasen til Meteorologiske institutt.

Temperaturen på vannet i tilløpselvene ble modellert ved å anta at denne temperaturen var i likevekt med klimaet på et hvert tidspunkt.

**Tabell 1.** Meteorologiske data i perioden ved simulerte scenarier 20.-26. oktober 2008

Ar	Måned	Dag	Time	Temp_luft oC	Temp_dugg oC	Temp_elv oC	Skydekke %	Vind_retning grad	Vind_fart m/s
2008	10	20	1	2.9	2.1	4.5	75	0	0
2008	10	20	7	5	1.7	4.4	100	198	3.3
2008	10	20	13	8.4	3.4	4.5	88	131	1.9
2008	10	20	19	6.7	3.9	4.5	100	0	0
2008	10	21	1	5.4	4.6	4.5	100	134	1.1
2008	10	21	7	6.4	4.1	4.4	88	173	5
2008	10	21	13	6	3.8	4.5	88	175	3.4
2008	10	21	19	5.8	2.9	4.4	75	186	3.5
2008	10	22	1	3.1	2.1	4.3	75	0	0
2008	10	22	7	4	0.4	4.2	100	190	6
2008	10	22	13	4.8	1.3	4.2	88	215	6.2
2008	10	22	19	5.8	-0.9	4.1	88	240	4.8
2008	10	23	1	4.1	1.1	4	88	180	2.9
2008	10	23	7	3.7	2.5	4	88	161	3.6
2008	10	23	13	4.1	2.3	4	100	181	3.7
2008	10	23	19	4.6	3	3.9	100	182	3.6
2008	10	24	1	3.5	2.7	3.8	100	323	0.5
2008	10	24	7	6	5	3.8	100	126	1.1
2008	10	24	13	6	4.3	3.9	75	193	1.6
2008	10	24	19	5.9	1.3	3.9	88	174	2.2
2008	10	25	1	3.7	2.1	3.8	88	191	1.8
2008	10	25	7	3.9	0.2	3.7	88	0	0
2008	10	25	13	4.4	2.3	3.7	88	170	3.9
2008	10	25	19	5.1	1.5	3.7	100	174	6.4
2008	10	26	1	5.4	3	3.6	100	198	6.7

Vi antok at den væsken som ble dosert besto av 5 % rotenon med en tetthet på 1,02 kg/l. Vi antok videre en reduksjon av virkningen med tiden tilsvarende en halvering på ca. 2 dager ved 20 °C. Ved 10 °C, 5 °C og 0 °C ble halveringstiden henholdsvis 4 dager, 8 dager og 16 dager.

Målet var å dosere slik at konsentrasjonen av denne væsken ble minst 0,7 mg/l i hele innsjøen samtidig. 0,3 mg/l anses som dødelig konsentrasjon for fisk. 0,7 mg/l tilsvarer en konsentrasjon av ren rotenon på 35 ug/l.

## 2. Simulert behandling

Vi gjorde først en del simuleringer for å finne egnet tidspunkt i løpet av året og for å finne gunstig doseringstetthet horisontalt og vertikalt. Til slutt ble det foretatt en simulert dosering av alle innsjøene.

### 2.1 Innledende simuleringer

#### 2.1.1 Valg av tid på året

Vi simulerte perioden 1. mai 2008 og ut året. Resultatene ble beregnet suksessivt fremover i tid med tidsskritt på et par minutter.

Det ble beregnet strøm (fart og retning), temperatur, isdekke og stoffkonsentrasjon.

Det ble dosert et konservativt (bestandig) stoff i hovedelvene. Dette ble gjort for å visualisere hvordan vannet fra elvene blandet seg med innsjøvannet. Konsentrasjonene som ble dosert i elvene var 0,5 mg/l.

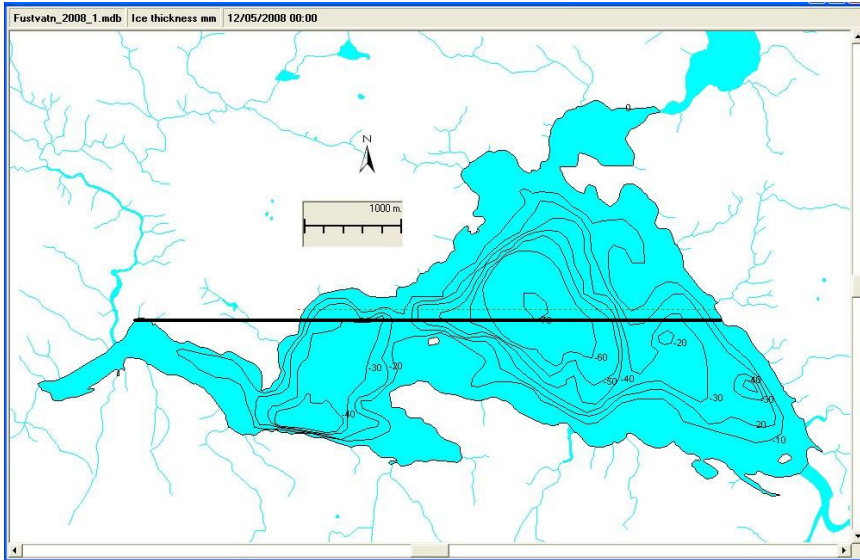
Resultatene er vist i et vest-øst gående tversnitt i Fustvatn lagt over innsjøen dypeste punkt, **Figur 5**. Resultatene av temperatur og stoffkonsentrasjon i simulingsperioden er vist i **Figur 6** (som strekker seg over flere sider).

I løpet av sommeren ble overflatevannet stadig varmere. Dette skapte en temperaturgradient, sprangsjikt, og stabile vertikale forhold. I de dypeste delene var temperaturen nær 4°C hvilket tilsvarer maksimum tetthet. Stoff som ble tilført via elvene passerte innsjøen i dette overflatelaget og trengte i liten grad lenger ned. Nedtrekking skjer fortrinnsvis som følge av kraftig vind. Vannet beveger seg i hovedtrekk noe til høyre for vindretningen. Der dette vannet staves opp mot land, blir vannstanden noe høyere, trykket øker og vi får en nedoverrettet bevegelse. I den motsatte enden av innsjøen, hvor vannet strømmer fra land, får vi en oppoverrettet kompensasjonsstrøm. Slike vindstrømmer kan i kortvarige perioder føre stoff fra overflaten til store dyp langs land. I Fustvatn ga det imidlertid ubetydelige stoffkonsentrasjoner i løpet av sommeren i de sentrale delene.

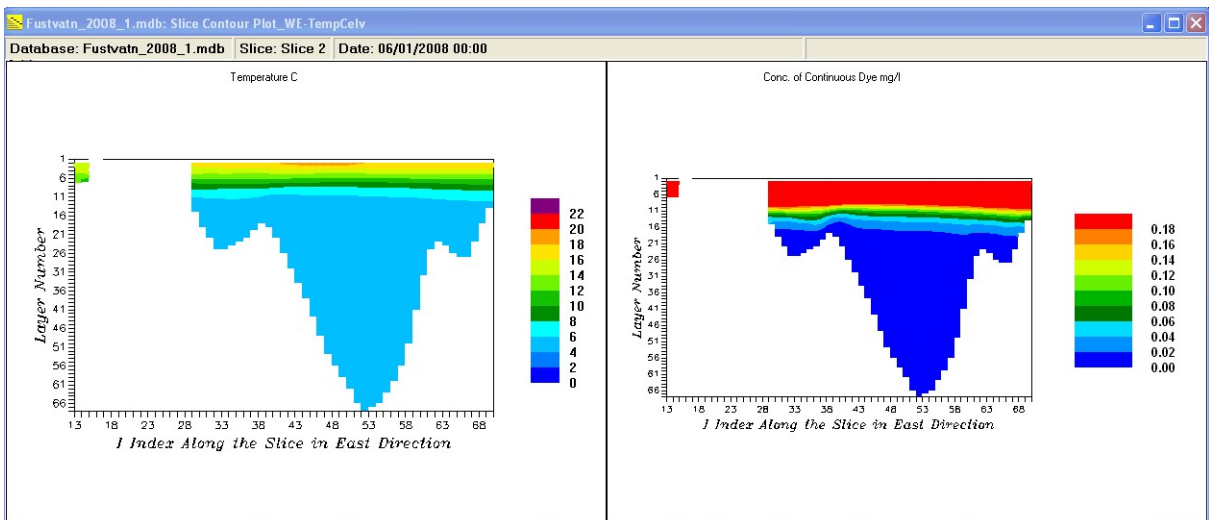
Utover høsten ble vannet avkjølt i overflaten med resulterende økt tetthet og nedsynking til et dyp med tilsvarende tetthet. Dette førte til en stadig dypere sirkulasjon i vannmassene. I midten av november var temperaturen nær 4°C i hele dybdeprofilen. Vannmassene var da maksimalt ustabile med mulig sirkulasjon helt til bunnen. En moderat vind kunne da føre stoff raskt fra overflaten helt til bunnen.

Ved ytterligere avkjøling av overflatelaget, dvs. til under 4°C, ble vannet lettere, ble liggende på overflaten og ble raskt nedkjølt til frysepunktet med påfølgende islegging. I følge modellen ble Fustvatn islagt 20. november. Vi fikk da et lettere overflatelag og redusert vertikal blanding.

Resultatene viser at det er mest gunstig å foreta rotenonbehandling i slutten av oktober, eventuelt i begynnelsen av november. Det er da ustabile vannmasser i vertikal retning slik at stoffet da lettere blandes vertikalt. Temperaturen i vannet er mellom 4°C og 6°C hvilket gjør at rotenonet i liten grad får redusert virkning som funksjon av tid. Utover i november forventes den vertikale blandingen å være gunstig, men samtidig øker risikoen for islegging.

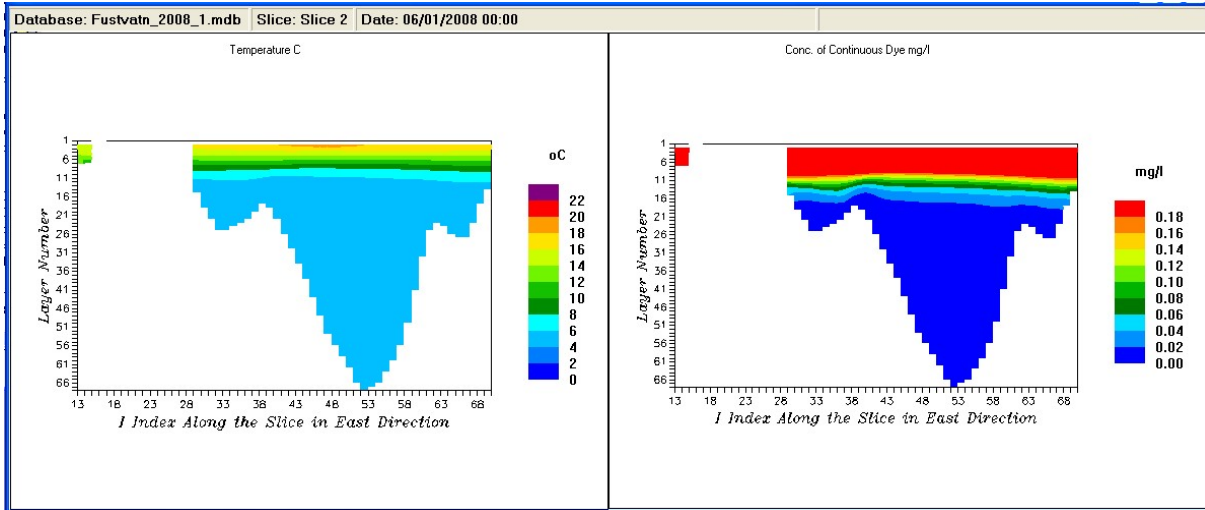


**Figur 5.** Markering av vest–øst dybdeprofil (xz-plan), jmf. etterfølgende figurer.

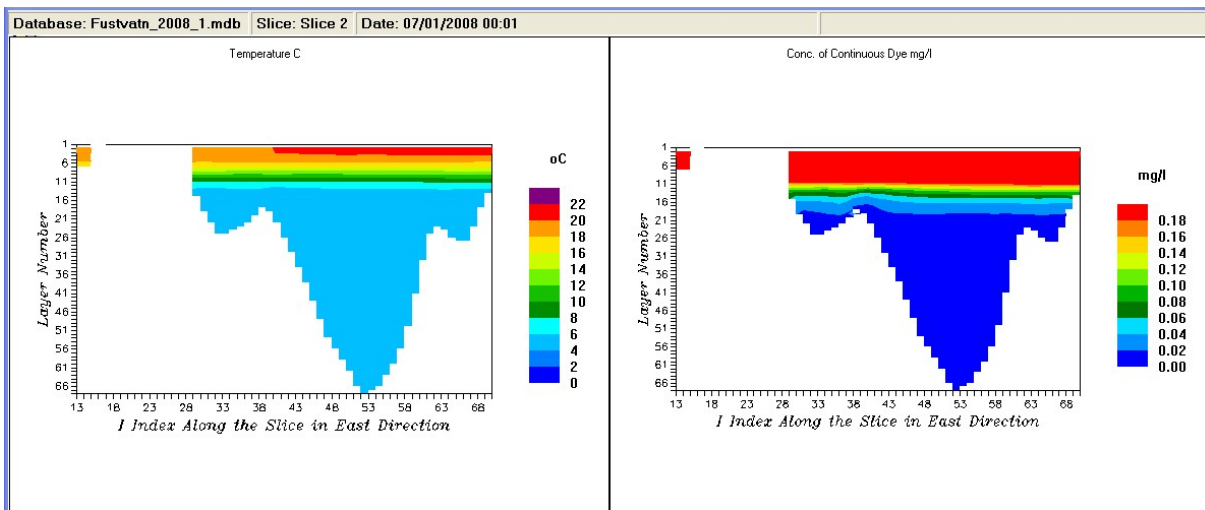


**Figur 6.** Dybdesnitt vest – øst over dypeste del av innsjøen. Temperatur og konsentrasjon av et kontinuerlig dosert konservativt stoff i de største tilløpselvene **1. mai 2008**. Overflatevannet ble varmet opp, ble lettere slik at ellevannet la seg nær overflaten.

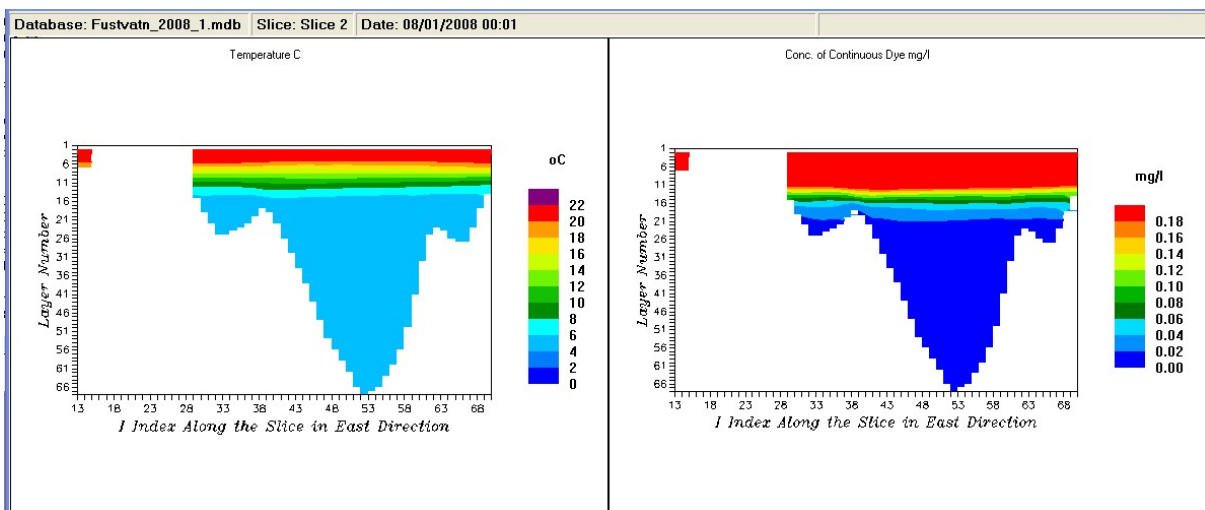




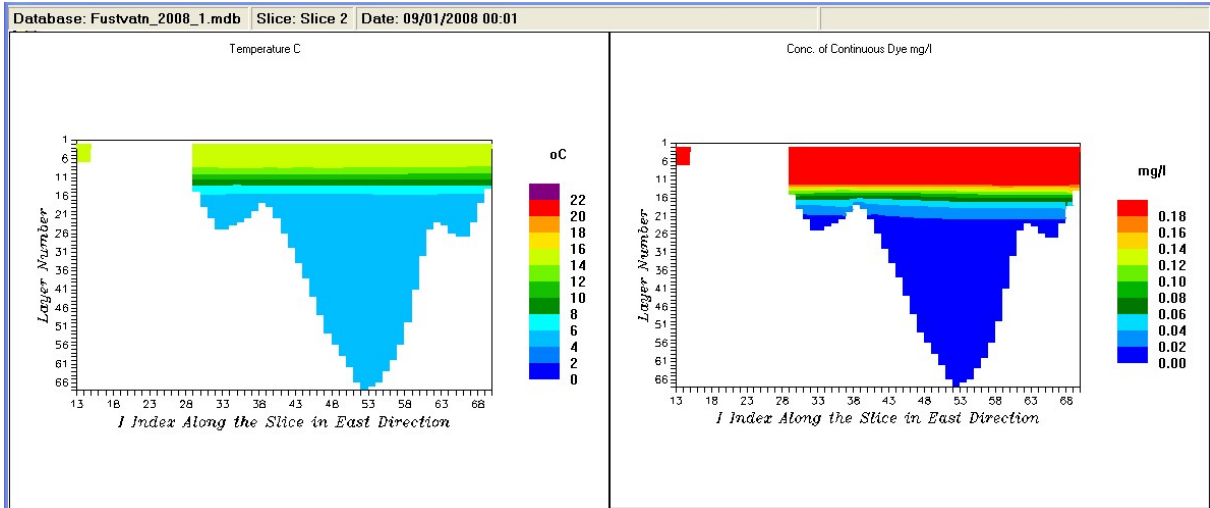
1. juni. 2008



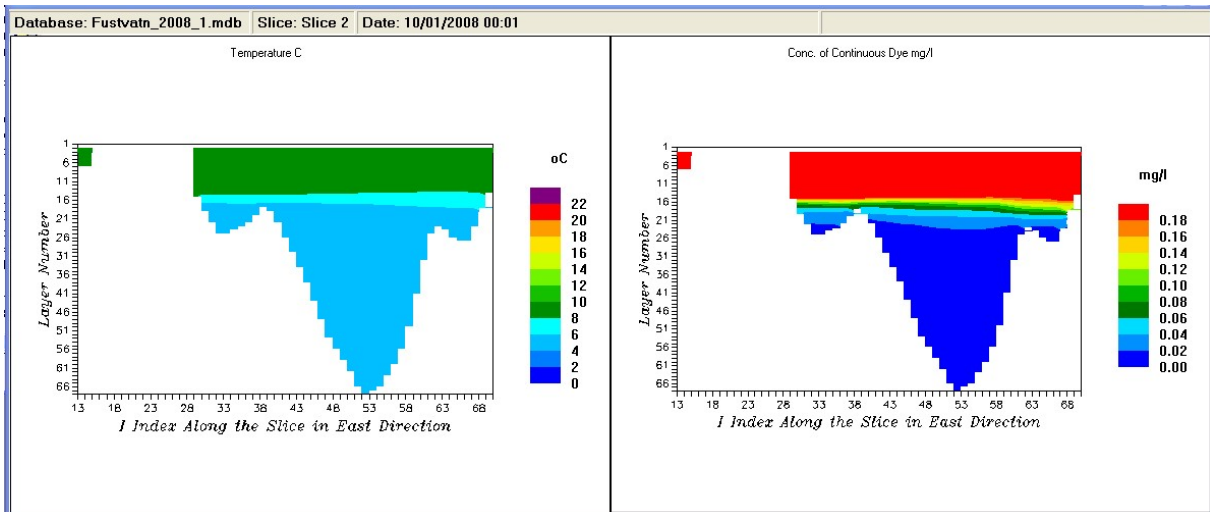
1. juli 2008



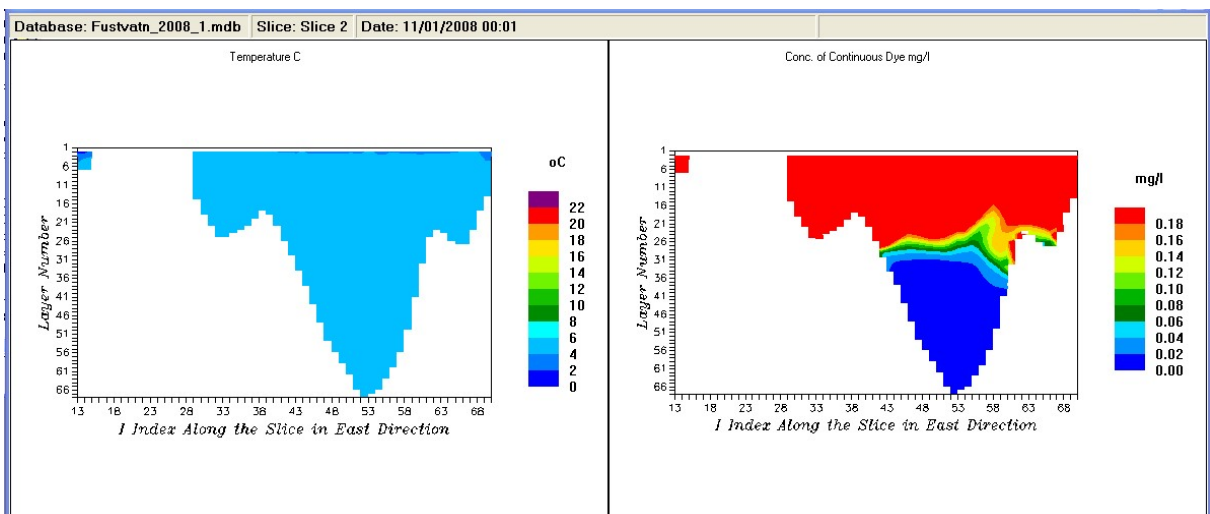
Figur 7. forts. 1.august 2008. Økt overflatetemperatur førte til økte vertikale tetthetsforskjeller (sprangsjikt) og høye stoffkonsentrasjoner på overflaten



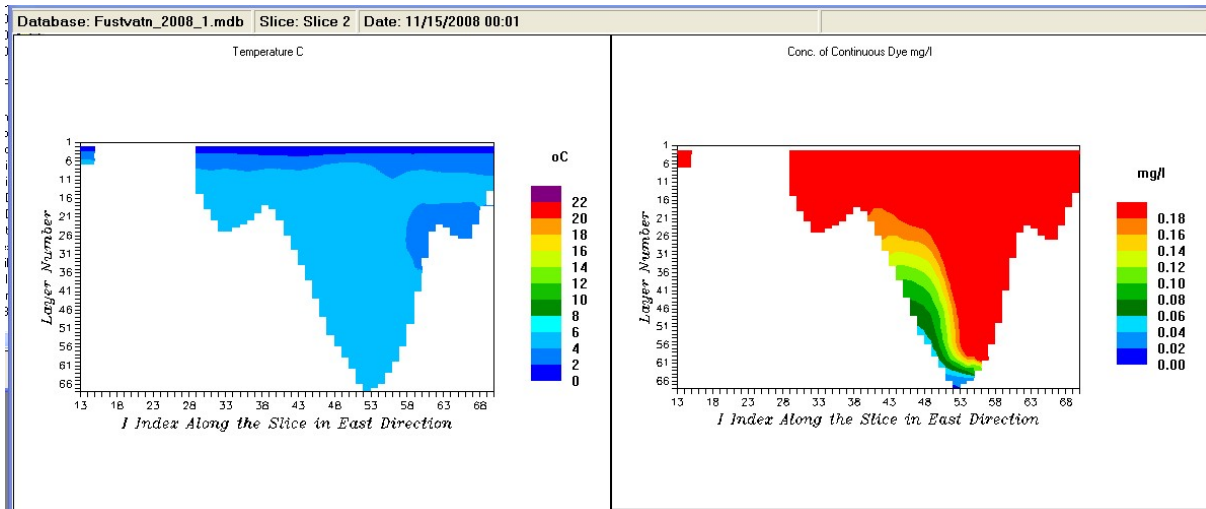
1. september 2008.



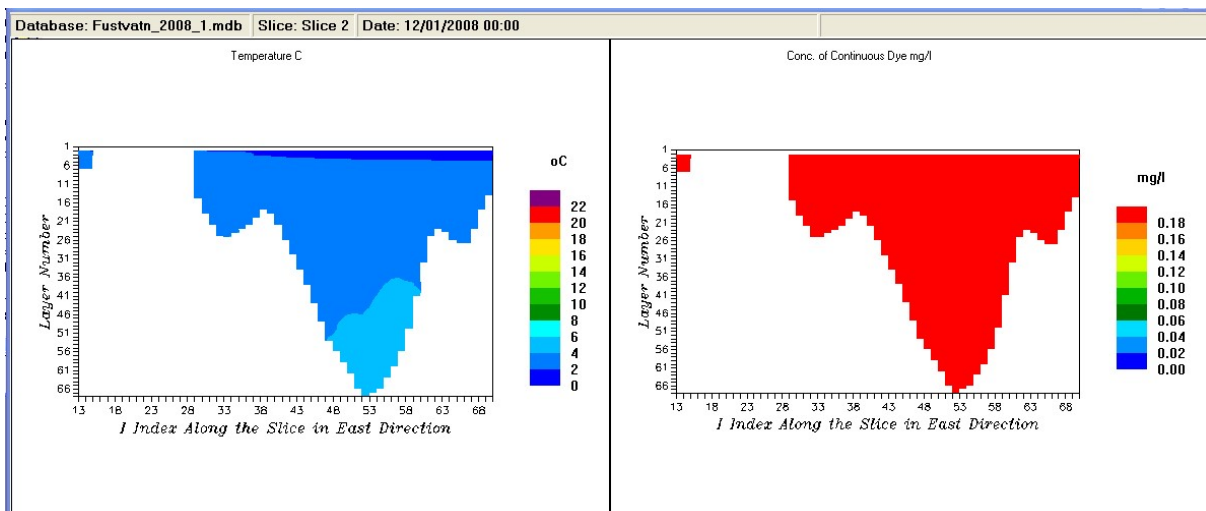
1.oktober 2008. Avtagende temperatur førte til redusert vertikal stabilitet og mer stoff dypere ned.



Figur 5. forts. 1. november 2008. Avtagene overflate temperatur til nær 4 °C førte til stadig dypere vertikal sirkulasjon med tilhørende høye konsentrasjoner på dypt vann.



**15. november 2008.** Avtagene overflate temperatur til nær 4 °C førte til vertikal sirkulasjon i omtrent hele vannsøylen.



**Figur 5. forts. 1. desember 2008.** Hele vannsøylen har høye konsentrasjoner.

**Figur 8.** Dybdesnitt vest – øst over dypeste del av innsjøen. Temperatur og konsentrasjon av et kontinuerlig dosert konservativt stoff i de største tilløpselvene

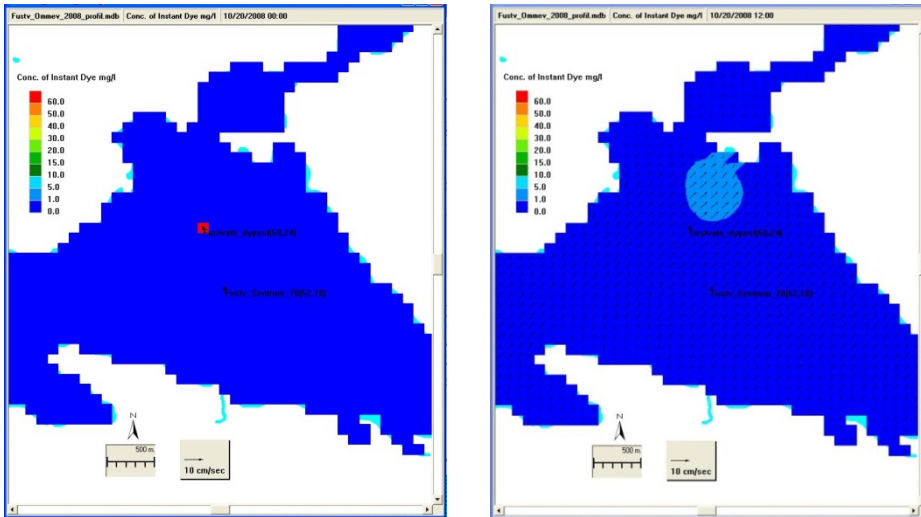
### 2.1.2 Horisontal blanding

Vi skal her vise noen eksempler på horisontal spredning av dosert stoff.

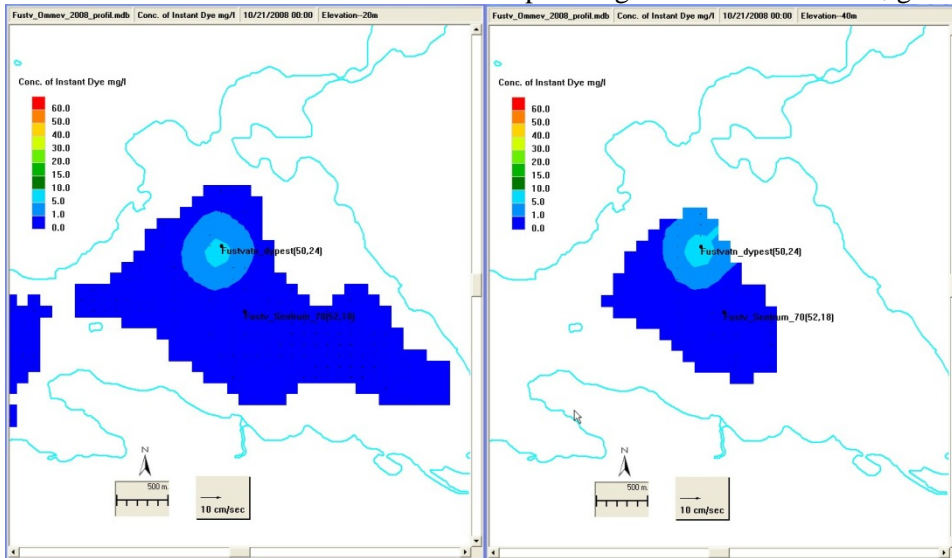
Vi doserte stoff i en søyle på 100 m · 100 m fra overflate til bunn. Konsentrasjonen var 100 mg/l. De meteorologiske forholdene var som 20. oktober 2008. Simulerte resultater er vist i **Figur 9.**

I overflaten ble stoffet spredt i vindretningen noen hundre meter i løpet av et halvt døgn. Etter ett døgn hadde stoffet blitt ytterligere fortennet samt støtt mot land og trengt ned under overflate slik at det ikke lenger fantes konsentrasjoner i overflaten med synlige konsentrasjoner i følge den benyttede konsentrasjonsskalaen, dvs. under 1 mg/l. Dypere ned gikk spredningen langsommere. Etter ett døgn ble stoffet godt blandet over et område med en diameter på omkring 500 meter i nivåene 20 og 40 meter. På bunnen, ca. 60 meter, var gradientene større hvilket betyr at spredningen var mindre.

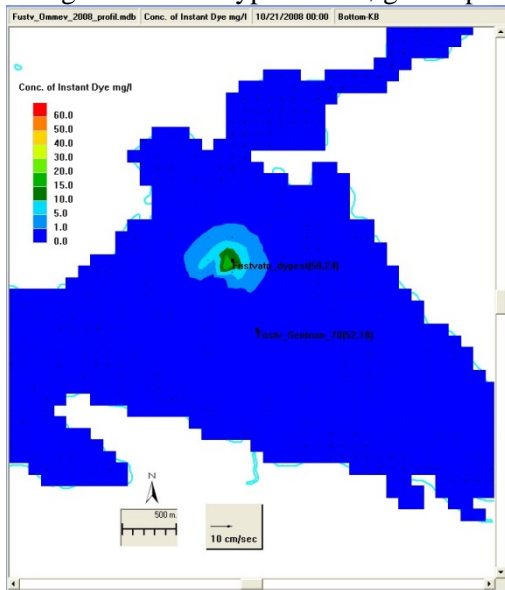




Start: Dosert stoff fra overflate til bunn      Spredning i overflaten etter ½ døg



Spredning i 20 meters dyp etter 1 døgn      Spredning i 40 meters dyp etter 1 døgn



Spredning langs bunnen (ca. 60 meters dyp) etter 1 døgn

**Figur 9.** Horisontal spredning av dosert stoff i en søyle på 100 m · 100 m fra overflate til bunn

Simuleringene tyder på at vi kan forvente en god horisontal blanding om vi doserer i striper med 200 meters mellomrom i horisontal retning. Man bør sikre seg at det blir dosert i de dypeste gropene. Tettere dosering vil resultere i ytterligere utjevning.

Spredningen skjer i størst grad i strømretningen. Det vil si at det er gunstig å dosere på tvers av denne for å oppnå en god spredning. Dominerende vind- og strømretning vil som oftest følge innsjøenes lengderetning. I Fustvatn vil det rimeligvis være gunstig å dosere nord-sør gående striper. I Ømmervatn i striper med mer øst-vestlig retning.

Vi tenker oss et kvadratisk rutenett lagt over innsjøene. Dersom sidene er 100 m · 100 m trengs det 7 kg per dybdemeter for å oppnå en midlere konsentrasjon på 0,7 mg/l i hele søylen fra overflate til bunn, **Tabell 2**. Øker rutenettets side til 200 meter øker dosert mengde til 28 kg per dybdemeter.

Den største innsjøen, Fustvatn, har et areal på 10,6 km<sup>2</sup>. Ved kjøring i striper med 200 meters mellomrom blir det en total kjørelengde på ca. 50 km. Kjører man 1 km/time skulle for eksempel 8 båter bruke drøye omkring 6 timer effektiv kjøring. Formodentlig vil lasting og doseringshastighet kunne bli begrensende.

**Tabell 2.** Mengde dosert stoff per dybdemeter som funksjon av doseringsavstand

Avstand_m	Dyp_m	C_mg/l	kg/m
100	1	0,7	7
200	1	0,7	28
300	1	0,7	63
400	1	0,7	112

### 2.1.3 Vertikal blanding

Vi laget et scenarium hvor det ble dosert et konservativt stoff i horisontale lag på en meter for hver 10. meter i alle innsjøene. Vi studerte vertikal spredning i løpet av to døgn.

Plassering av resultatprofiler er vist i **Figur 11**. Etter ett døgn var det fortsatt store konsentrasjonsforskjeller, og **Figur 11-Figur 13**. Etter to døgn ble det rimelig bra vertikal blanding. Blandingen gikk raskest nær land hvor vinden får størst virkning på vertikale strømmer.

Fralandstrømmer Fustvatn førte til at upåvirket vann strømmet opp langs land og påvirket overflatevannet i over ett døgn. Tilsvarende lommer opptrer også under overflaten, om enn i mindre grad pga. svakere vindinduserende opp- og nedstrømning langs land. Ved dosering kun i overflaten ble det oppstrømmende upåvirkede vannet ytterligere merkbart.

Scenariet viser at dosering med 10 meters mellomrom i vertikal retning krever et par døgn for å oppnå tilfresstillende blanding. Raskere blanding krever tettere vertikal dosering. Ved tettere vertikal dosering oppnår vi også å redusere lommer med nært upåvirket vann.

Ved dosering i overflatelaget (0-5 m) ble stoffet i løpet av 2 døgn spredt nedover til 10-20 meter i sentrum av innsjøene, **Figur 14**. Stoff dosert dypere enn 30 meter ble i liten grad spredt oppover i vertikal retning. Dvs at om det er kapasitetsproblemer med hensyn til dosering, kan det være mulig å dosere under 20-30 meter først, da dette trenger lengs tid for å spres, og deretter dosere i

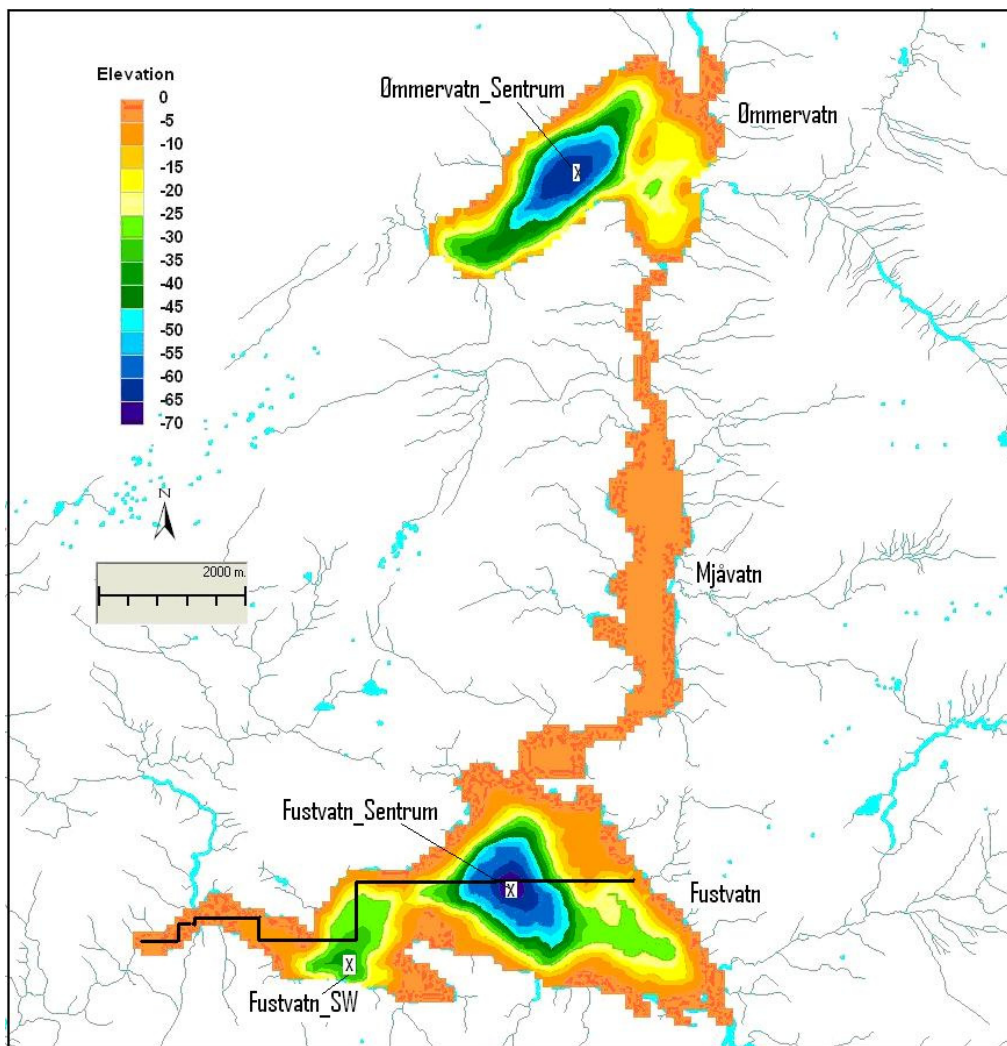
overflatelaget. I alle fall kan dette være et alternativ i sentrale dypområder. Nær land vil opp- og nedstrømninger pga vind ha større vertikal utstrekning og kunne føre til ”rent vanns lommer”.

En tettere vertikal dosering kan i praksis utføres ved bruk av en vertikalt hengende slange med mer enn en åpning i (diffusor).

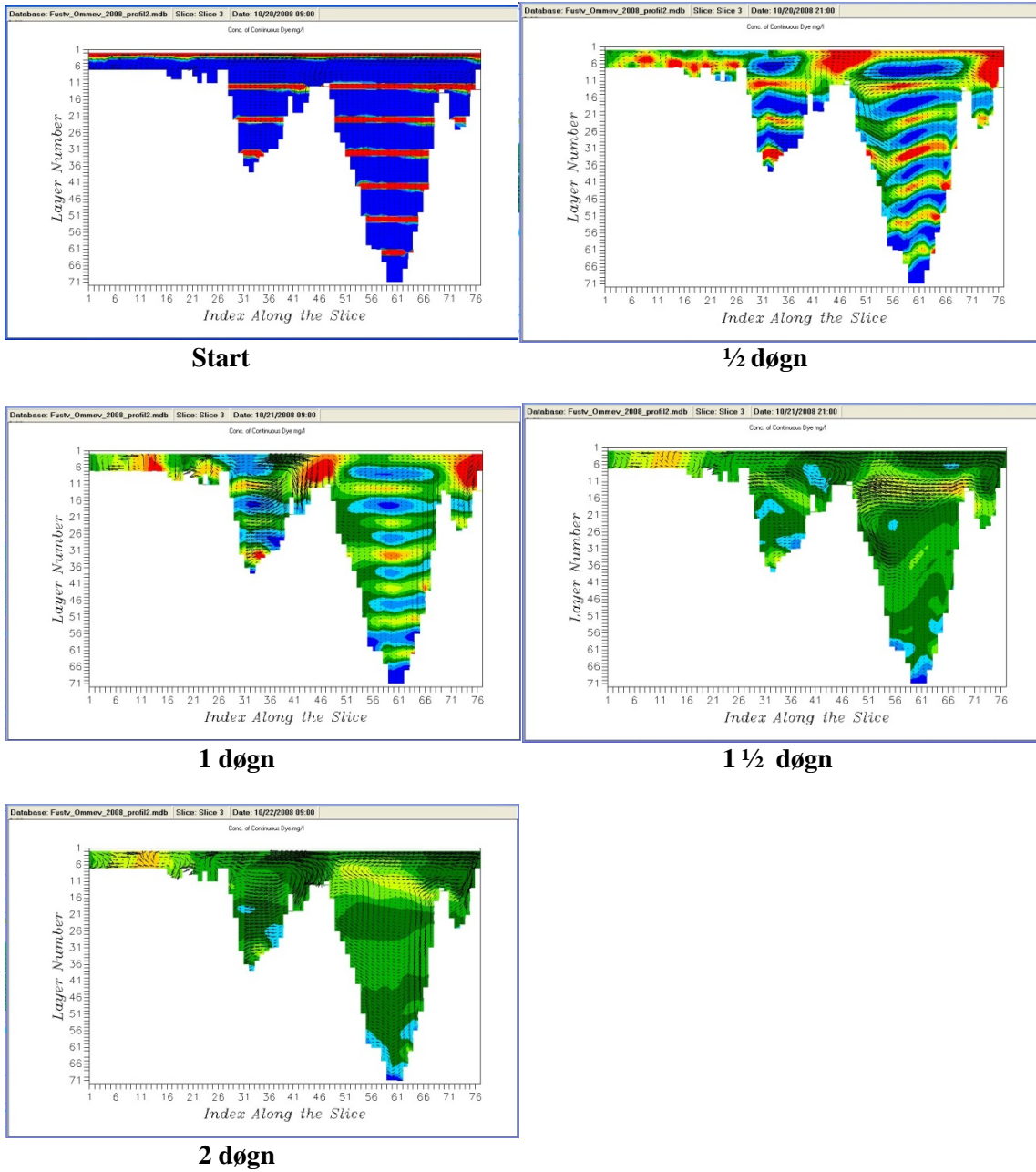
Vi merker oss at den vertikale spredningen var meget liten i de dypeste partiene. I følge simuleringene bør man legge vekt på å treffe disse dyphullene, samt å dosere helt ned til bunnen.

Det er små vertikale strømhastigheter. Typisk fart kan være 0,1 mm/s. En stabil strøm på 0,1 mm/s tilsvarer ca. 10 m/døgn, hvilket burde medvirke til en effektiv blanding. Dersom spredningen i virkeligheten skjer dobbelt så fort som simulert, burde stoffet bli tilsvarende vertikalt blandet i løpet av ett døgn i stedet for to. Vi er usikre på hvor nøyaktig modellen klarer å gjengi stoffspredning som følge av slike ytterst små strømhastigheter. Bruk av sporstoff vil være til hjelp for å avklare dette.

De vertikale strømmene blir påvirket av vind, og da særlig langs land. Ved overføring av de simulerte resultatene til en reell dosering vil dette være en usikkerhetsfaktor som det bør tas høyde for. Det sikreste er å dosere horisontale lag tettere enn 10 meter i vertikal retning.

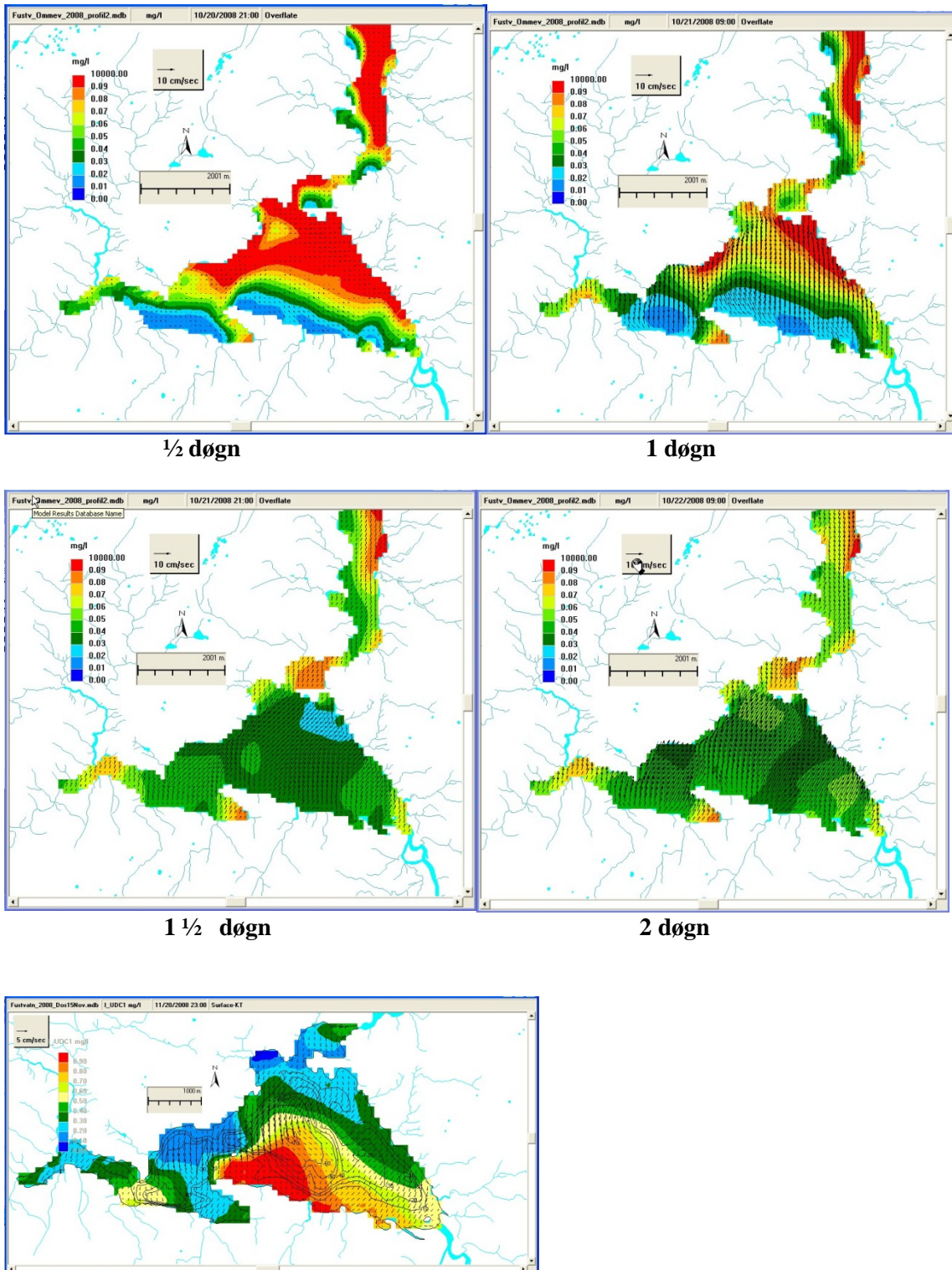


**Figur 10.** Lengde-dybdesnitt og profiler. Stedsangivelse for resultater vist i under.



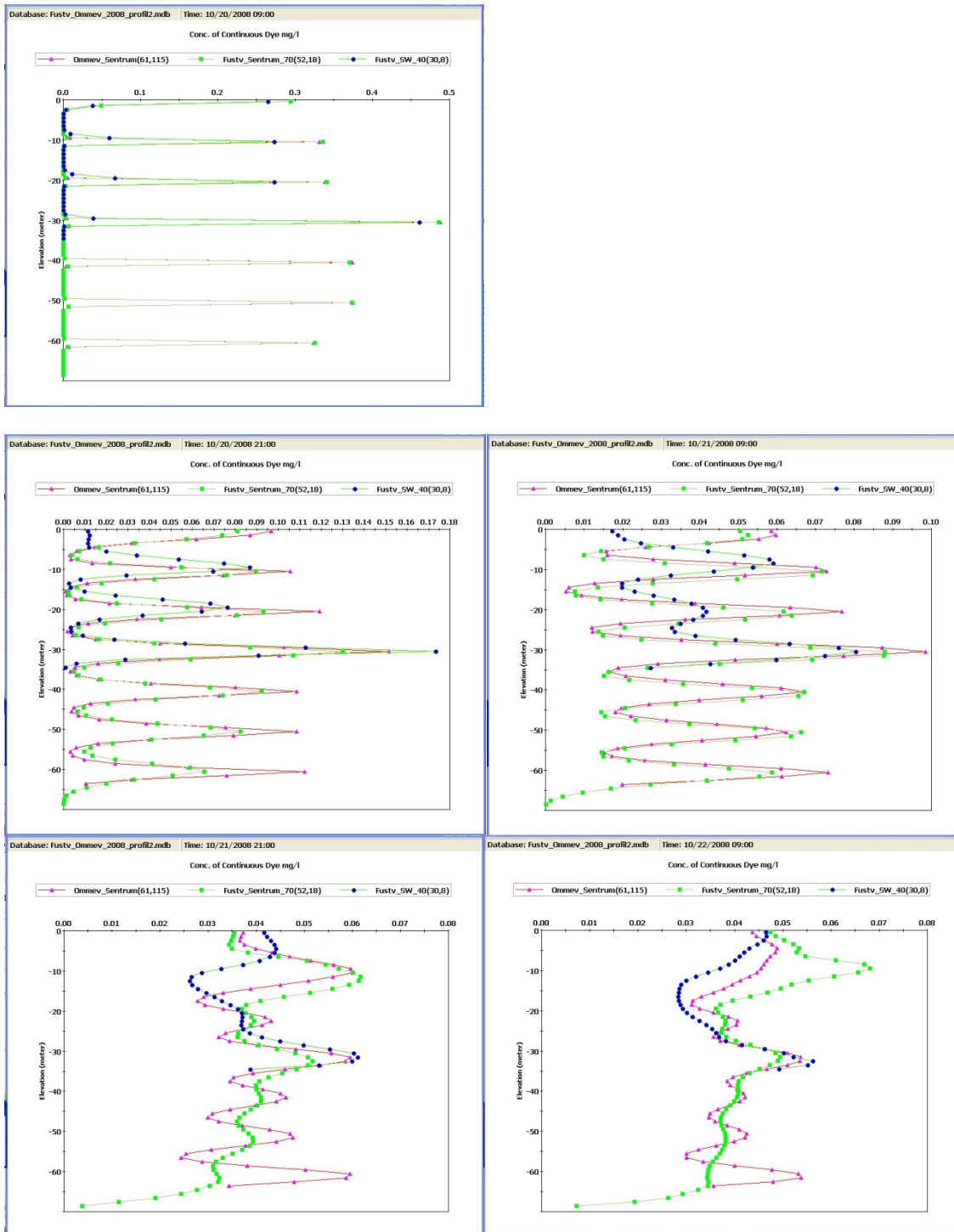
**Figur 11.** Dosert stoff i horisontale lag for hver hver 10. meter i alle innsjøene. Vertikal spredning i løpet av to døgn i et lengde-dybdesnitt i Fustvatn



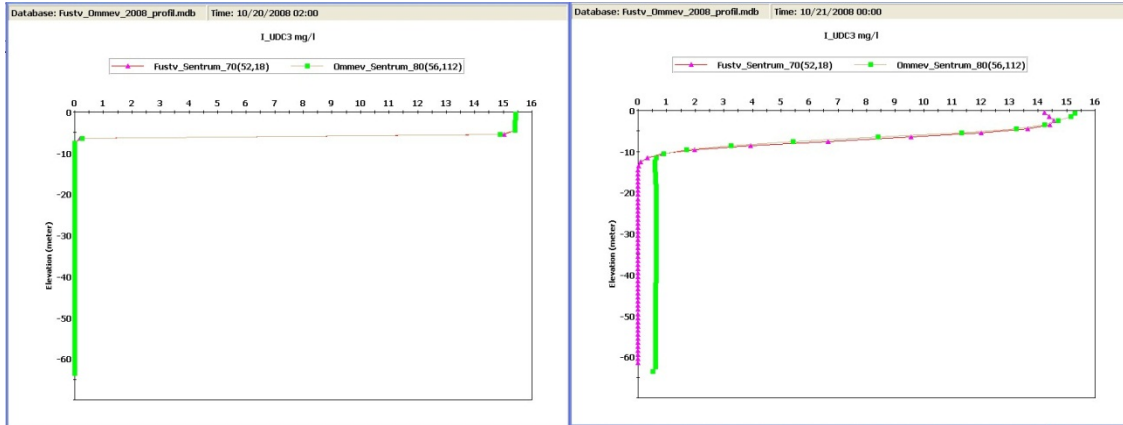


Dosering kun i overflate

**Figur 12.** Horisontal spredning i overflaten i løpet av to døgnet. Upåvirket vann strømmet opp langs land i sør og påvirket overflatevannet i over ett døgnet. Ved dosering kun i overflaten ble det oppstrømmende upåvirkede vannet ytterligere merkbart.

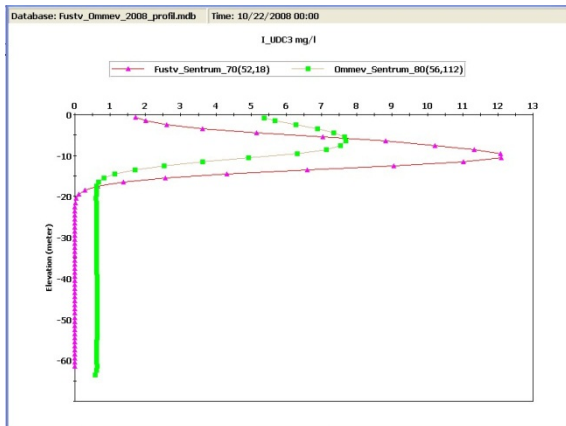


**Figur 13.** Dosert stoff i horisontale lag for hver hver 10. meter i alle innsjøene. Vertikal spredning i løpet av to døgn (0, ½, 1, 1½ og 2 døgn) i profiler dybdebasengene i Fustvatn og i Ømmervatn.

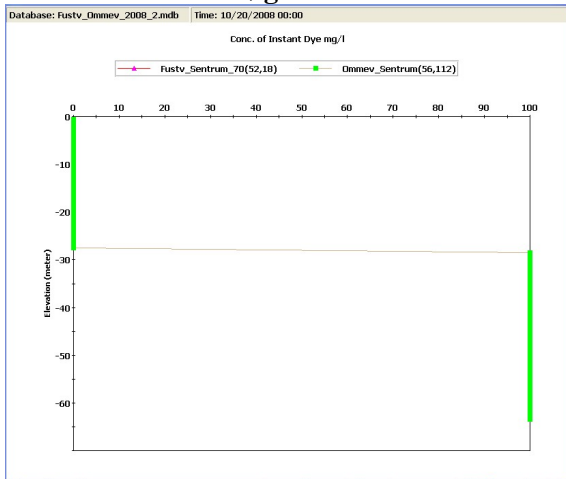


Start: Dosert 0-5 meter

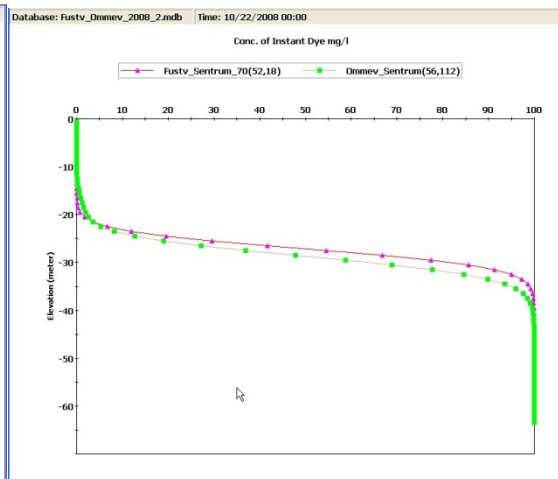
1 døgn



2 døgn



Start: Dosert 30 meter-bunn



2 døgn

**Figur 14.** Ved dosering på i overflatelaget (0-5 m) ble stoffet i løpet av 2 døgn spredt nedover til 10-20 meter i sentrum av innsjøene. Stoff dosert dypere enn 30 meter ble i mindre grad spredt i vertikal retning.

## 2.2 Simulert behandling

Det ble det dosert 5 % rotenonholdig væske. Målet var å dosere slik at konsentrasjonen av denne væsken ble minst 0,7 mg/l samtidig innen hver av innsjøene. Dvs. først 0,7 mg/l innen hele Ømmervatn, deretter det samme i Mjåvatn og til slutt i Fustvatn. Denne grenseverdien tilsvarer en konsentrasjon av ren rotenon på 35 ug/l. 0,3 mg/l av 5 % rotenonholdig væske anses som dødelig for fisk.

Klima, vannføring og startverdier for temperatur i innsjøen var som ved de foregående simuleringene med start 20. oktober 2008. Temperaturene i innsjøene avtok fra ca. 6 °C i overflaten til 4 °C på omkring 50 meters dyp. Vannføringene var omtrent det dobbelte av midlere vannføring.

I elvene ble det dosert slik at konsentrasjonene var 0,7 mg/l. Denne konsentrasjonen ble opprettholdt i hele simuleringperioden, dvs. opp til 5 dager. Hovedmengden ble dosert i innsjøen ved bruk av båt. Denne doseringen ble foretatt i striper med 200 meters mellomrom og jevnt fordelt fra overflaten til bunn. Doseringen ble gjort i løpet av tre døgn. Den første dagen i Ømmervatn, deretter Mjåvatn og siste dag i Fustvatn.

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.

Resultatene er vist **Figur 15 - Figur 21**. I hver av innsjøene ble konsentrasjonene tilfredsstillende høye. Konsentrasjonene ble nær 0,7 mg/l i alle deler av innsjøene, i alle fall om vi ikke legger avgjørende vekt på samtidig oppnåelse innen hver av innsjøene.

For samtidig oppnåelse ble konsentrasjonene i enkelte deler av innsjøene mellom 0,5 mg/ og 0,7 mg/l. I simuleringene ble det dosert slik at en fullstendig blanding ville 0,7 mg/l. Dvs. at vi måtte øke doseringen ca. 20 % for å oppnå målet om samtidighet innen hver innsjø. I Mjåvatn og i noen grad også i Fustvatn, kom dosert stoff høyere opp til nytte slik at denne ekstra doseringen kan reduseres noe. Ved å dosere tettere enn i striper på 200 meter vil konsentrasjonsforskjellene forventes å bli redusert. Dermed kan kan doseringsmengden over teoretisk minimum reduseres.

**Obs!** En del av figurene viser konsentrasjoner langs bunnen. Bunnen kan være 1 meter nær land og 70 meter på dypeste punkt. Merk også at datoangivelsen på figurene er på formen måned, dag (engelsk).

I de øverste 10-20 meterene ble konsentrasjonene rimelig bra utjevnet i løpet av et halvt døgn, dette pga større vannbevegelse som følge av høstsirkulasjon og vindeffekt. Et eventuelt problem i dette laget vil kunne være oppadrettede strømmer langs land der vinden blåser fra, og raske overflatestrømmer som kan forårsake midlertidige lommer med nær upåvirket vann. På dypt vann skjedde blandingen langsommere, men mer systematisk. Konsentrasjonsforskjellene ble gradvis utjevnet i de følgende døgnene.

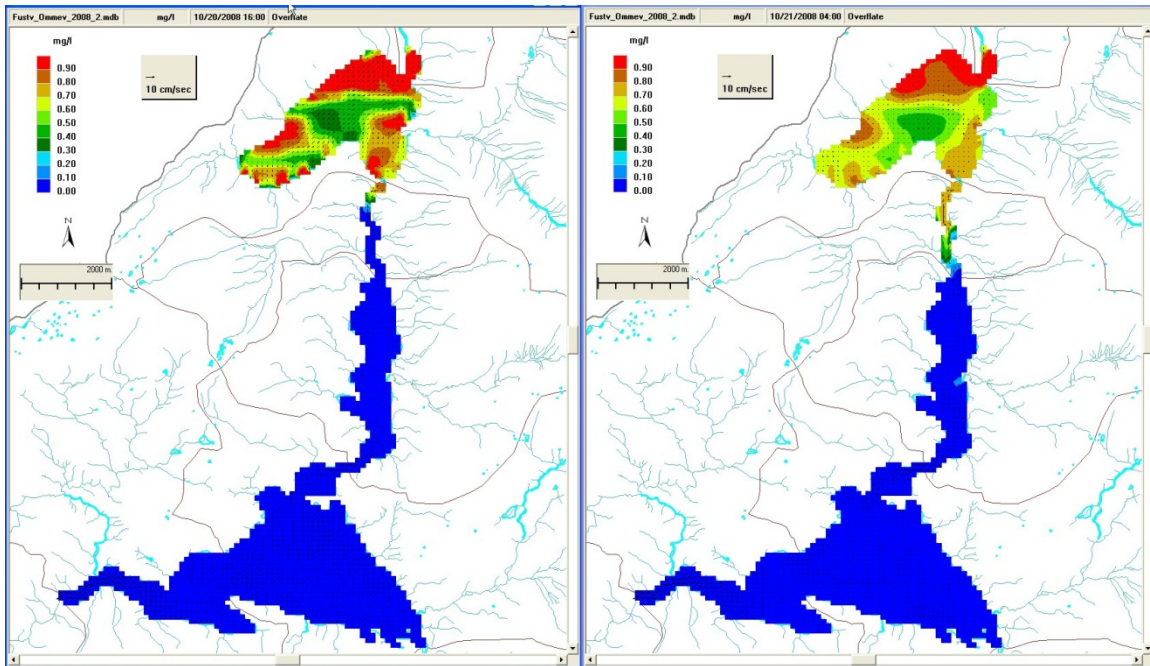
Ved simuleringene ble stoffet spredt i striper med hundre meters bredde tilsvarende beregningcellenes bredde. I praksis vil stripene ha en mindre bredde. Dermed vil den horisontale spredningen kunne ta noe lengre tid enn simuleringene antyder.

I modellen ble stoffet fordelt jevnt fra overflate til bunn. I praksis kan dette bli vanskelig å gjennomføre. De innledende simuleringene indikerte at det vil være gunstig å dosere tettere enn ti meter i vertikal utstrekning.

Når doseringen er slutt i Ømmervatn vil stoffet der få redusert virkning som følge av svinn. Ved temperaturer omkring 5 °C vil effekten kunne halveres i løpet av 8 dager. Dvs at konsentrasjonene i Ømmervatn kan forventes å bli noe redusert på et tidspunkt da Fustvatn har en optimal blanding.

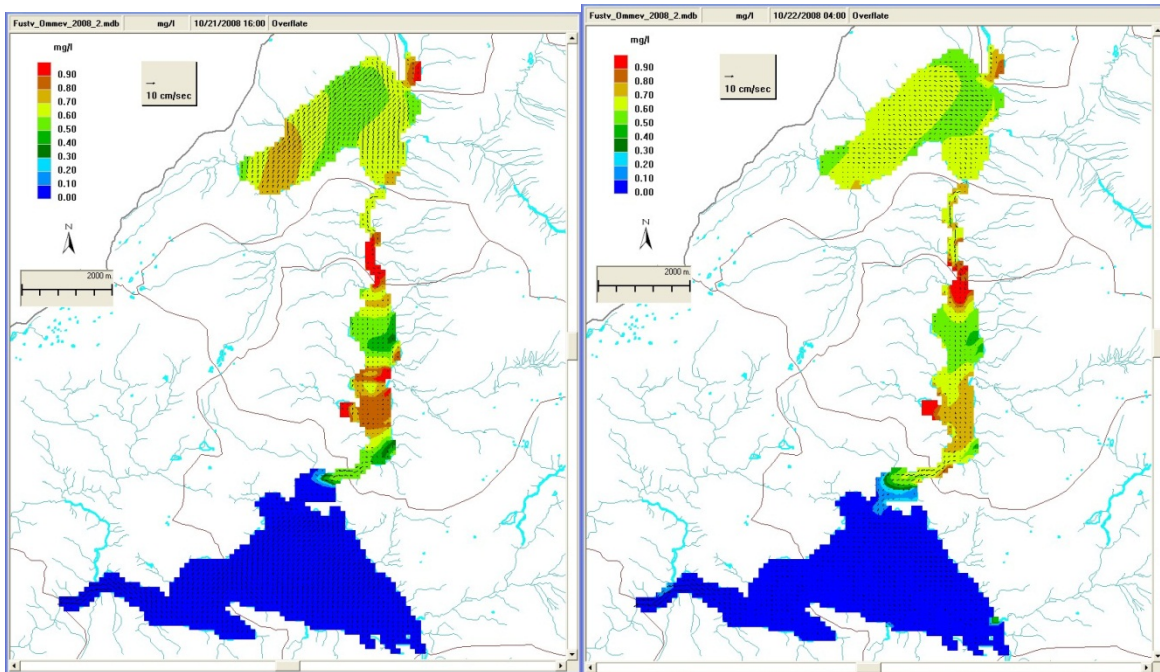
Tiden på året er meget gunstig med hensyn til å bevare virkningen. Etter endt dosering vil konsentrasjonene fortsatt være dødelige i mange dager. For eksempel bør det ikke være noe problem å utsette behandlingen i Mjåvatn og Fustvatn en dag om dette skulle bli nødvendig pga dårlig vær eller annet. Mjåvatn ville i stor utstrekning bli behandlet av vann fra Ømmervatn i løpet av et par dager med vannføringer omkring årlig middelvannføring ( $33 \text{ m}^3/\text{s}$  ved utløpet av Fustvatn).

Målet var å oppnå konsentrasjoner som dreper fisken nærmest momentant. Langtidspåvirkning av lavere konsentrasjoner kan også virke effektivt. For å utnytte denne muligheten kan det være gunstig å fortsette doseringen i tilløpene for å unngå permanente lommer med rent vann.



Overflate 20.okt.kl.16. Dosering Ømmervatn kl.08-16

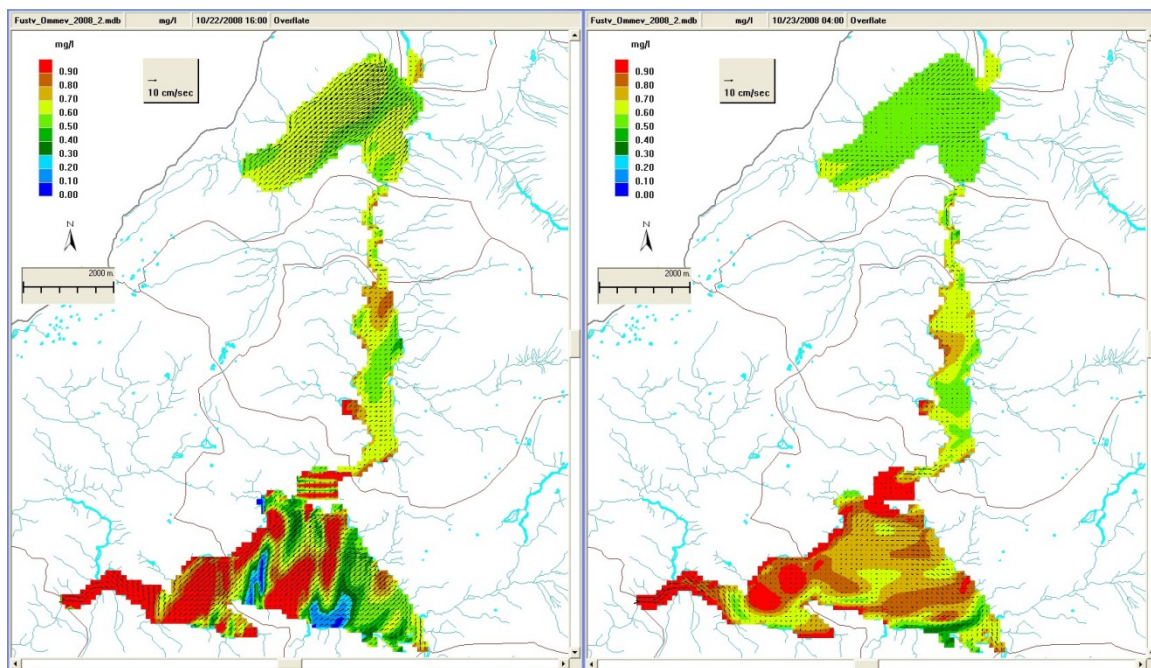
Overflate 21.okt. kl 04



Overflate 21.okt. kl.16. Dosering Mjåvatn kl.8-16

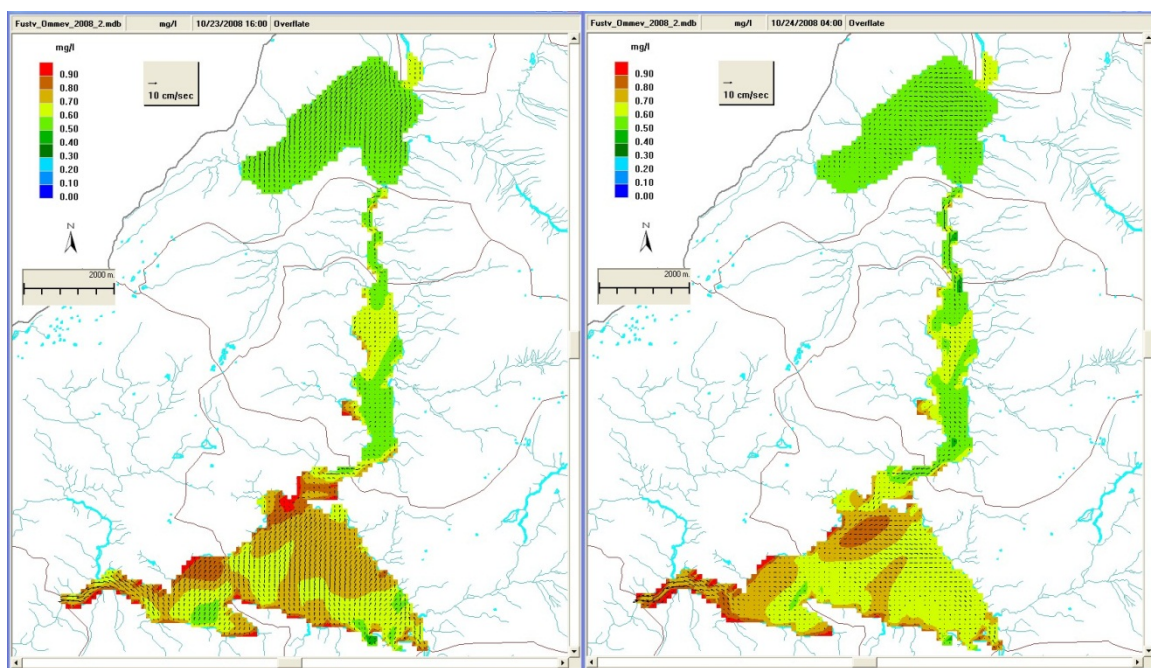
Overflate 22.okt. kl 04

**Figur 15.** Konsentrasjoner i overflaten. Dosering i striper med 200 meters mellomrom jevnt fordelt fra overflaten og til bunn.



Overflate 22.okt. kl 16. Dosering Fustvatn kl. 08-16

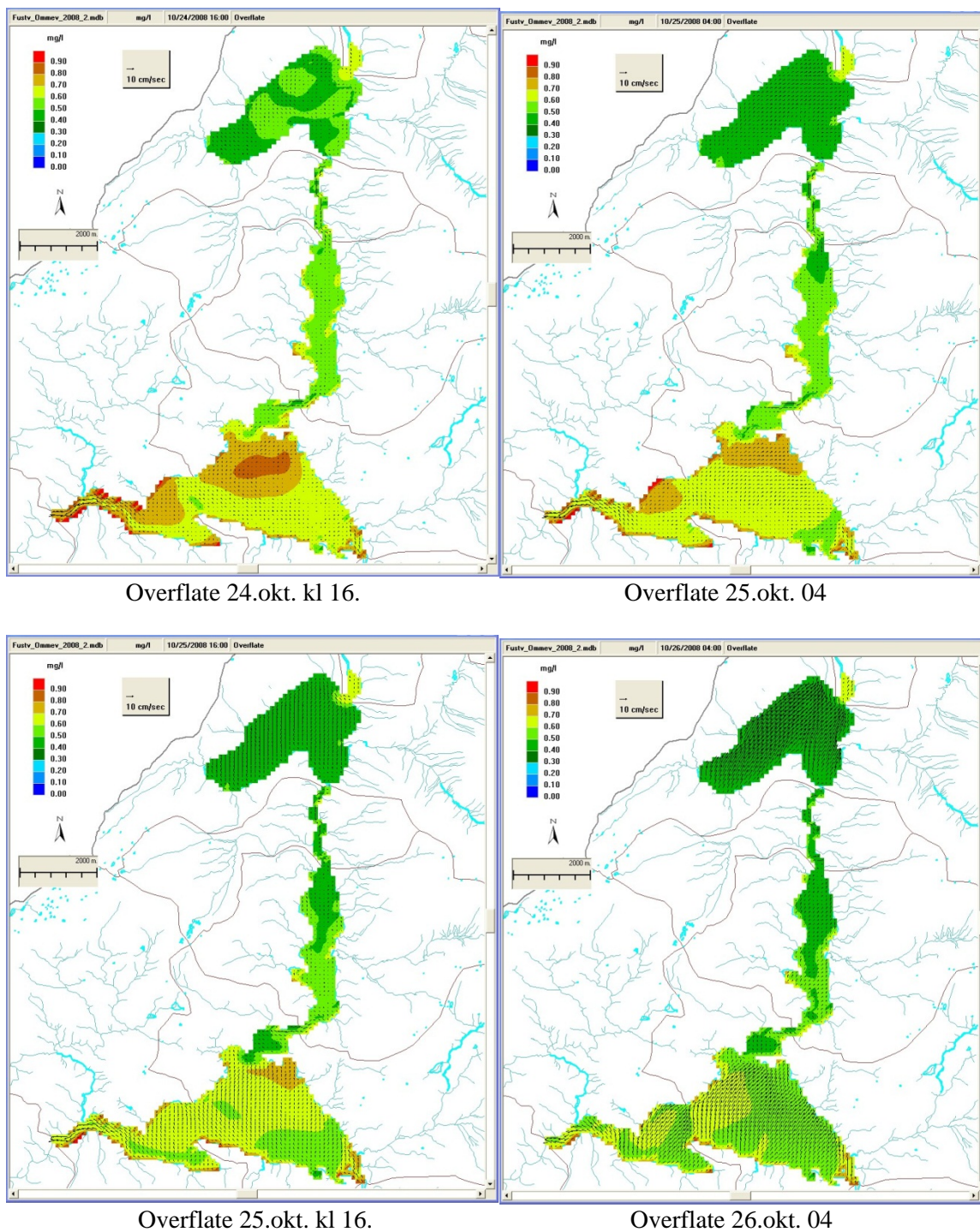
Overflate 23.okt. 04



Overflate 23.okt. kl 16.

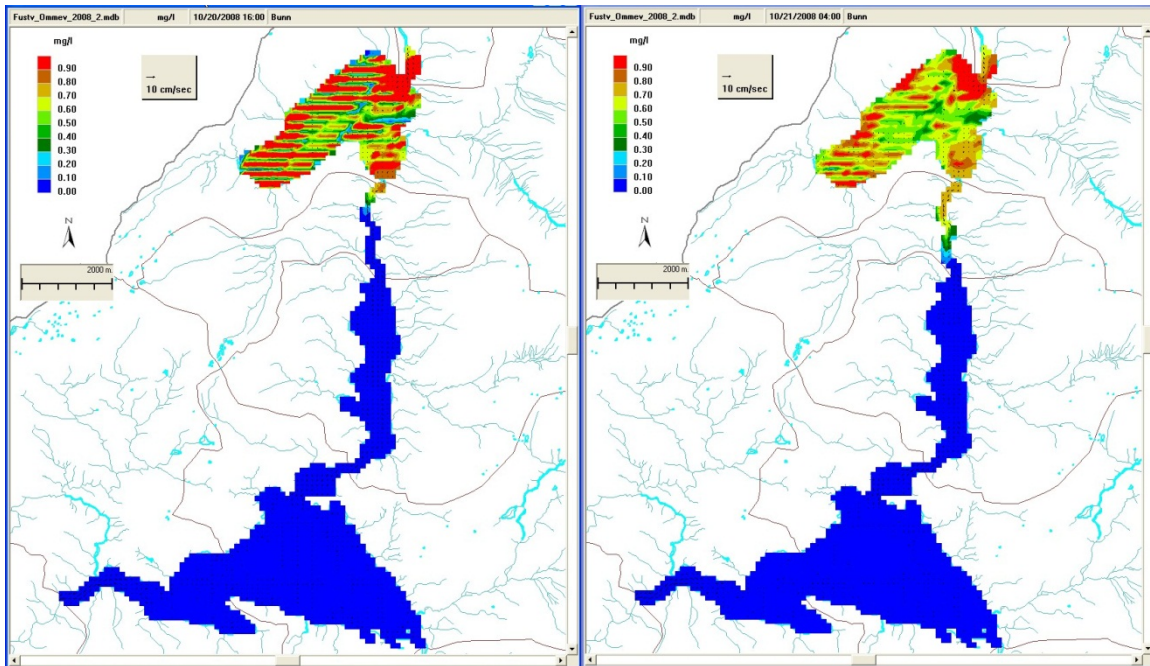
Overflate 24.okt. 04

**Figur 16 forts.** Konsentrasjoner i overflaten. Dosering i striper med 200 meters mellomrom jevnt fordelt fra overflaten og til bunn.



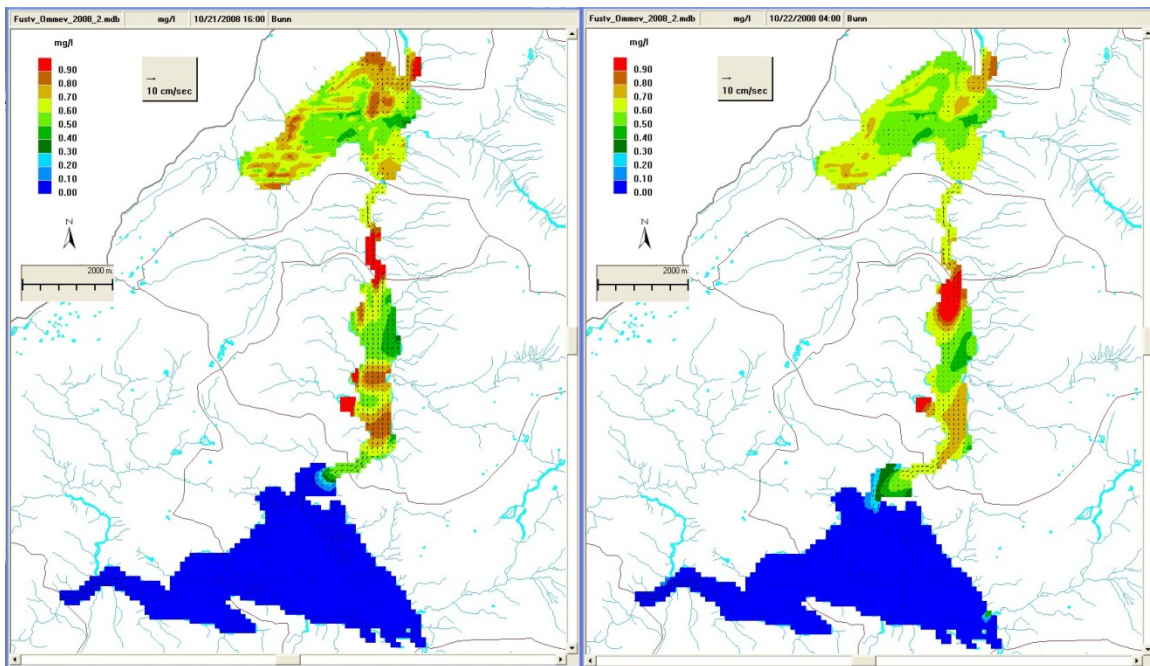
**Figur 17 forts.** Konsentrasjoner i overflaten. Dosering i striper med 200 meters mellomrom jevnt fordelt fra overflaten og til bunn. I hver av innsjøene ble konsentrasjonene tilfredsstillende.





Bunn 20.okt.kl.16. Dosering Ømmervatn kl.08-16

Bunn 21.okt. kl 04

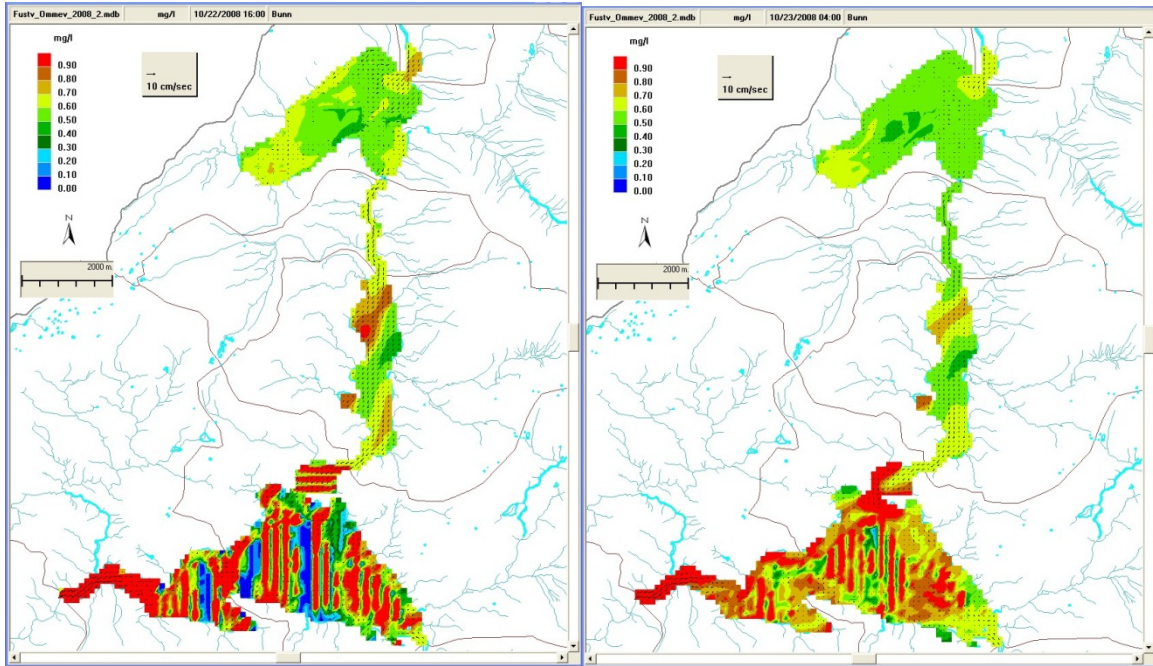


Bunn 21.okt.kl.16. Dosering Mjåvatn kl.08-16

Bunn 22.okt. kl 04

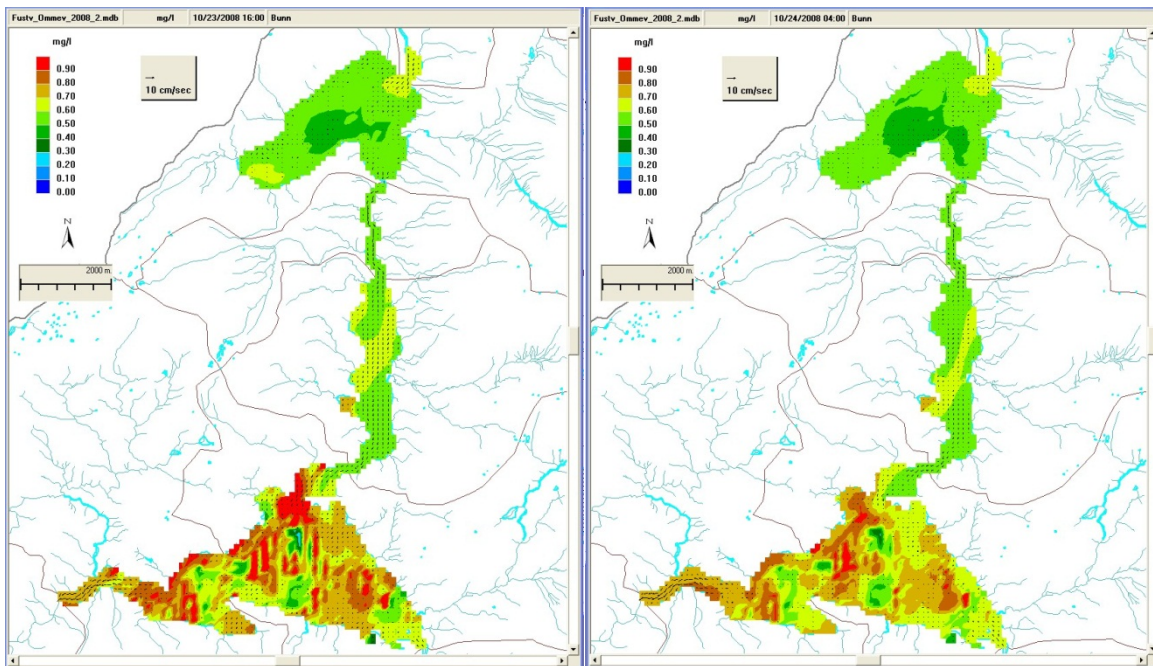
**Figur 18.** Konsentrasjoner langs bunnen. Dosering i striper med 200 meters mellomrom jevnt fordelt fra overflaten og til bunn.

(Obs! Bunnen kan være 1 meter nær land og 70 meter på dypeste punkt.)



Bunn 22.okt.kl.16. Dosering Fustvatn kl.08-16

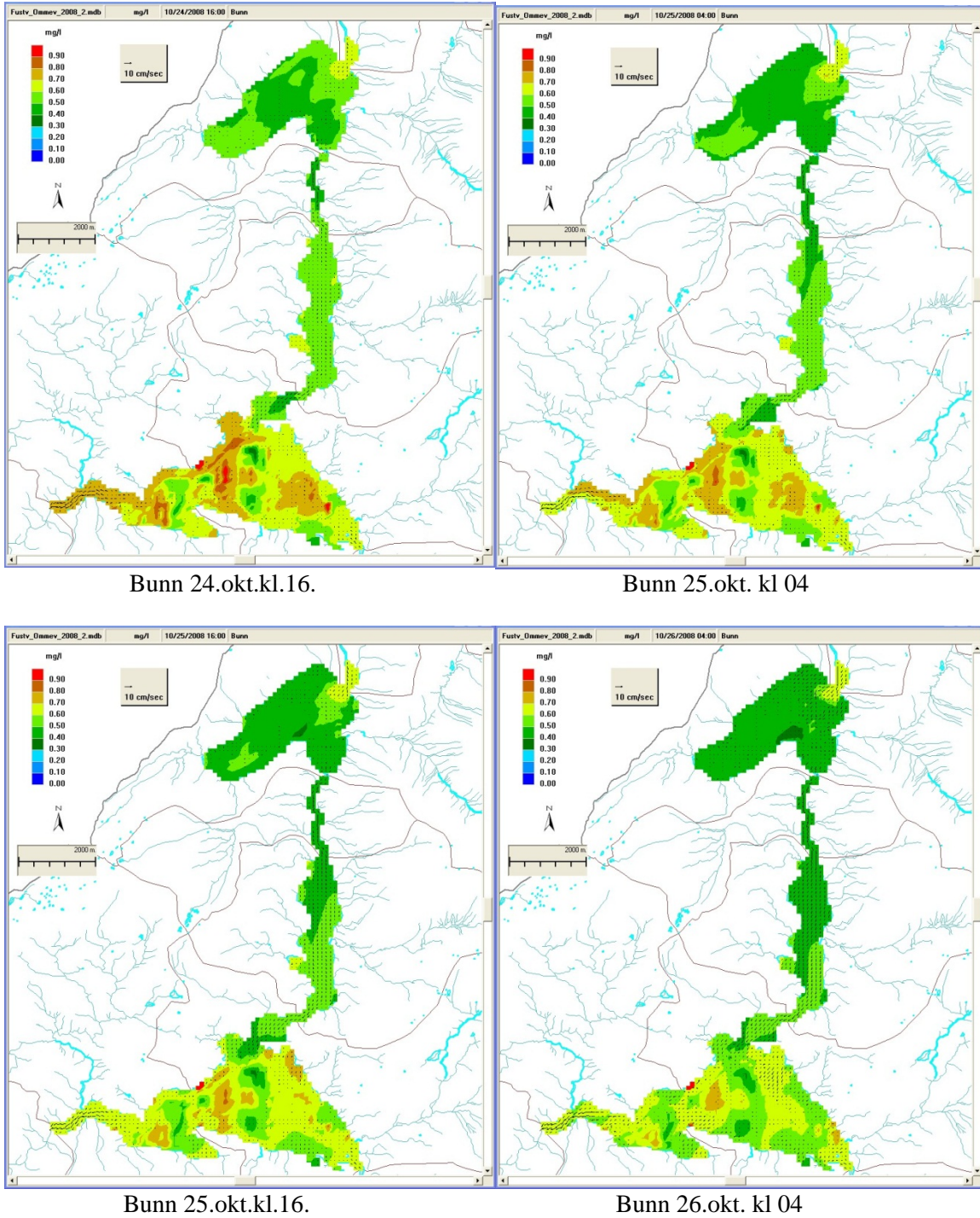
Bunn 23.okt. kl 04



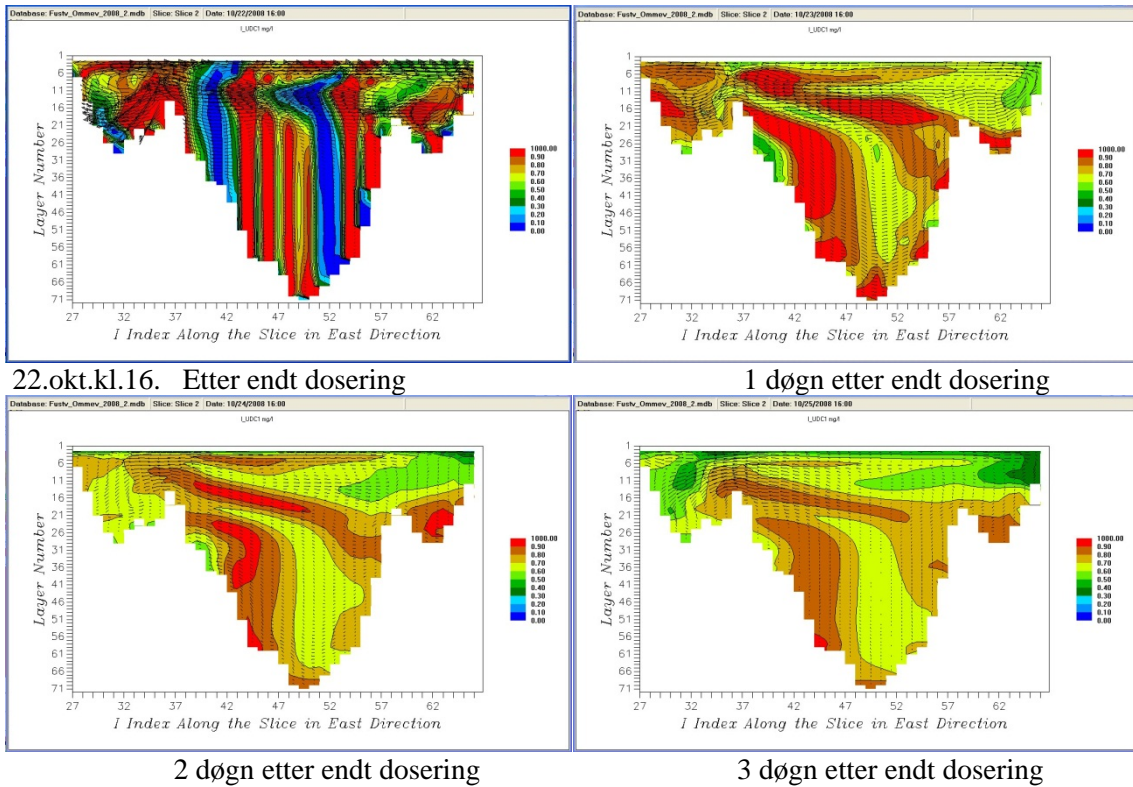
Bunn 23.okt.kl.16.

Bunn 24.okt. kl 04

**Figur 19 forts.** Konsentrasjoner langs bunnen. Dosering i striper med 200 meters mellomrom jevnt fordelt fra overflaten og til bunn. I hver av innsjøene ble konsentrasjonene tilfredsstillende høye.



**Figur 20 forts.** Konsentrasjoner langs bunnen. Dosering i striper med 200 meters mellomrom jevnt fordelt fra overflaten og til bunn. I hver av innsjøene ble konsentrasjonene tilfredsstillende høye.



**Figur 21.** Lengde-dyp profil i Fustvatn fra utløp mot vest. Konsentrasjoner av dosert stoff ble godt blandet ett døgn etter endt dosering. Særlig under overflatelaget fortsatte blandingen i betydelig grad de neste to døgnene.

### 3. Når blir innsjøene rene igjen

Etter doseringens slutt reduseres virkningen med tiden. I tillegg blir det en fortykning som følge av tilførsler av rent vann samt transport ut av innsjøene.

I hvilken grad virkningen reduseres med tiden er sterkt avhengig av temperaturen:

$$T_{1/2}(T) = T_{1/2}(20^{\circ}\text{C}) * \text{Koeff}^{(20-T_{\text{C}})}$$

Hvor  $T_{1/2}$  er halveringstiden ved ved temperaturen  $T$

I våre beregninger antok vi at halveringstiden økte fra ca. 2 døgn ved  $20^{\circ}\text{C}$  til 1 uke ved  $6^{\circ}\text{C}$  og 2 uker ved  $1^{\circ}\text{C}$ . Da scenariet startet, 20. oktober, var temperaturene mellom  $4^{\circ}\text{C}$  og  $6^{\circ}\text{C}$ . I de følgende månedene sank temperaturen ytterligere. Vi antar for enkelthets skyld en halveringstid på 10 dager tilsvarende en temperatur på  $3^{\circ}\text{C}$ . Dette gir en reduksjon til 1/10 i løpet av 1 måned. Dvs. en reduksjon til 1/100, 1/1000 og 1/10 000 i løpet av henholdsvis 2, 3 og 4 måneder, dvs i løpet av februar.

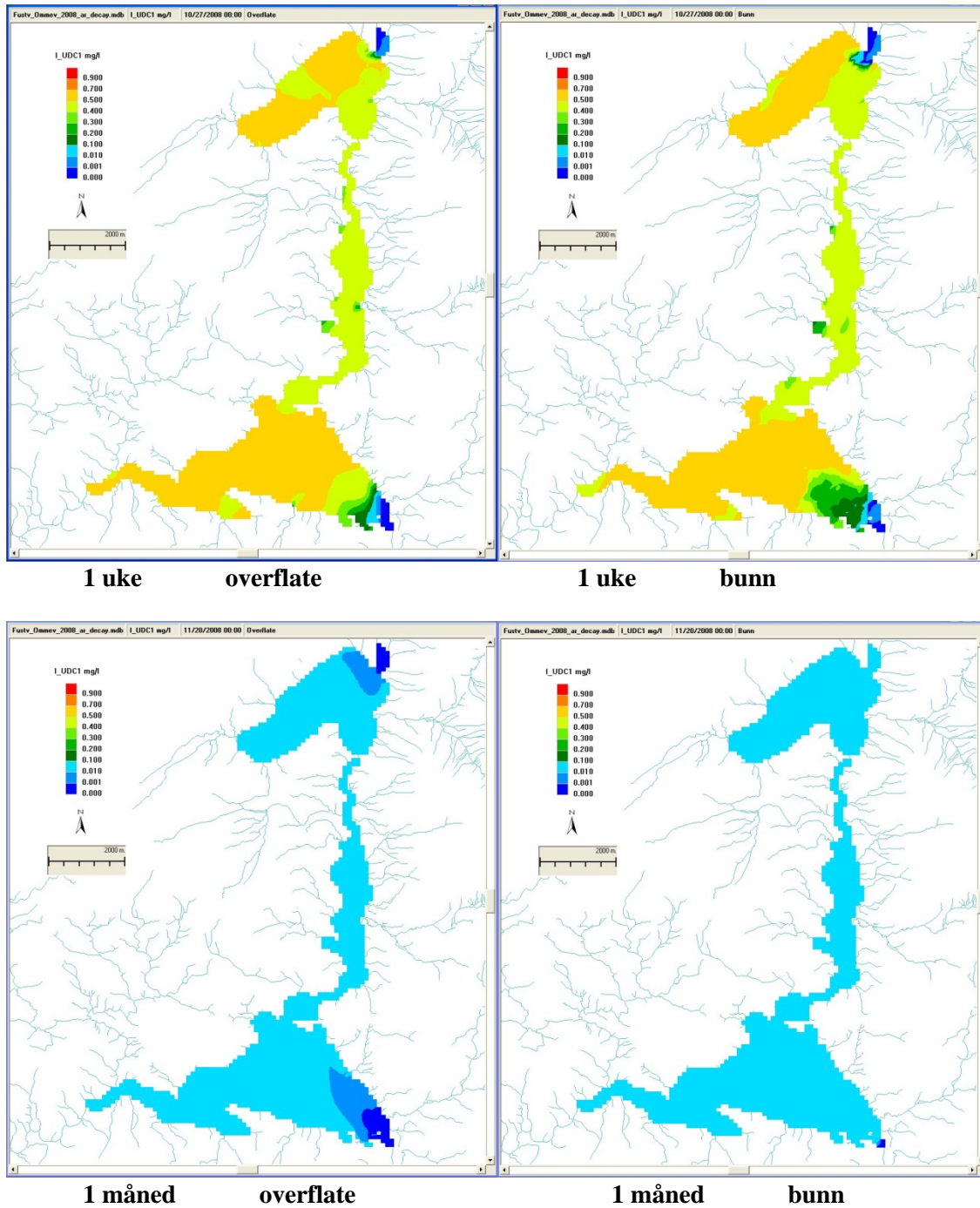
Dersom virkningen skulle holde seg dobbelt så lenge som i eksempelet over, vil reduksjonen blitt 1/100 i løpet av fire måneder.

Vi laget et scenarium for å studere hvordan svinn og fortykning påvirket tilført stoff. Vi antok at alle innsjøene i utgangspunktet hadde en konsentrasjon på 1 mg/l. En uke etter endt dosering var virkningen/konsentrasjonene av den rotenonholdige væsken redusert til omkring halvparten, **Figur 23**. I løpet av 2 måneder ble konsentrasjonene redusert til under 1 prosent. Det var liten forskjell mellom overflate og bunn.

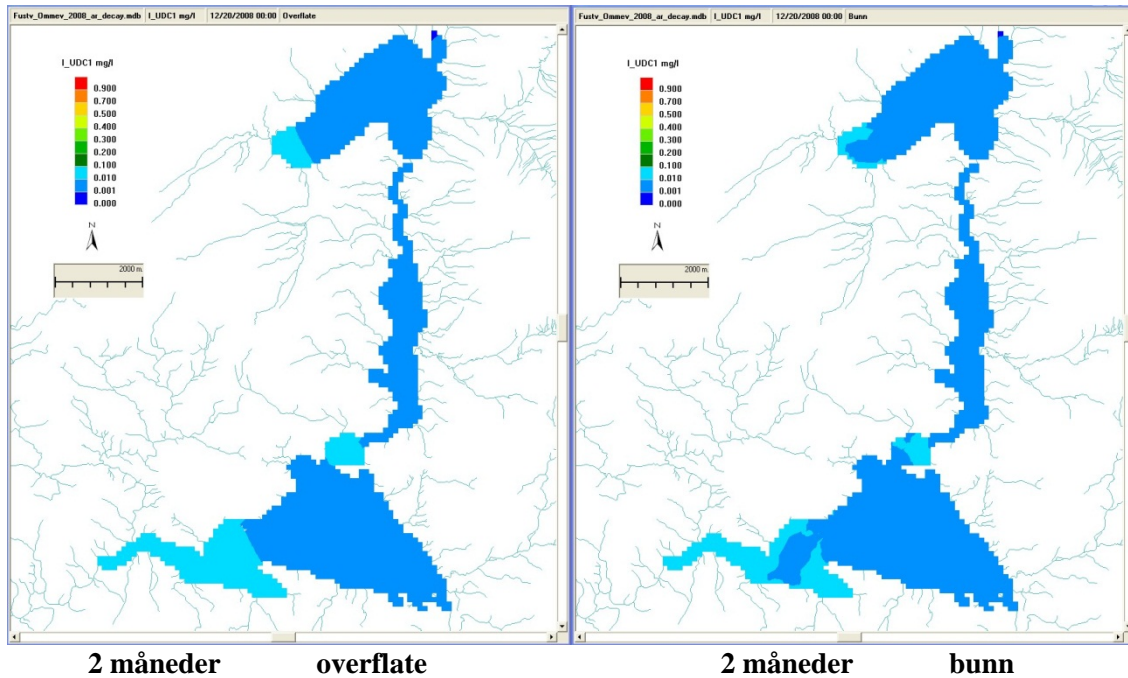
Det ble også dosert tilsvarende mengde konservativt stoff. Dette for å studere fortykningseffekter fra upåvirket vann via tilførslerne samt transport nedstrøms. Omkring halvparten av vannet i Mjåvatn ble fornyet av upåvirkede tilførsler i løpet av 2 måneder, **Figur 24**. I Ømmervatn og Fustvatn var vannutskiftningen betydelig mindre. Fornyingen var størst nær overflaten. I følge modellen ble innsjøene islagt omkring 20. november. Det vil si at det før islegging var full vertikal sirkulasjon i vannmassene. Dette førte til fornying av vannmassene i de dypeste områdene i betydelig større grad enn i resten av året.

Den første måneden av scenarieperioden var vannføringen høyere enn middelvannføringen,  $33 \text{ m}^3/\text{s}$  ved utløpet av Fustvatn, deretter lavere, **Figur 25**. Teoretisk oppholdstid for Fustvatn er 78 dager. Dette er et gjennomsnittlig anslag for fornying av vannet i hele innsjøen. I realiteten blir overflatevannet skiftet flere ganger i løpet av denne tiden, mens det kan ta mange år å skifte ut vannet i de dypeste områdene. Utskiftningen der skjer først og fremst i perioder med full vertikal sirkulasjon. I følge scenariet var konsentrasjonene i de absolutt dypeste delene av Fustvatn fortsatt 0,8 mg/l etter ett år, dvs. omtrent det samme som etter 2 måneder.

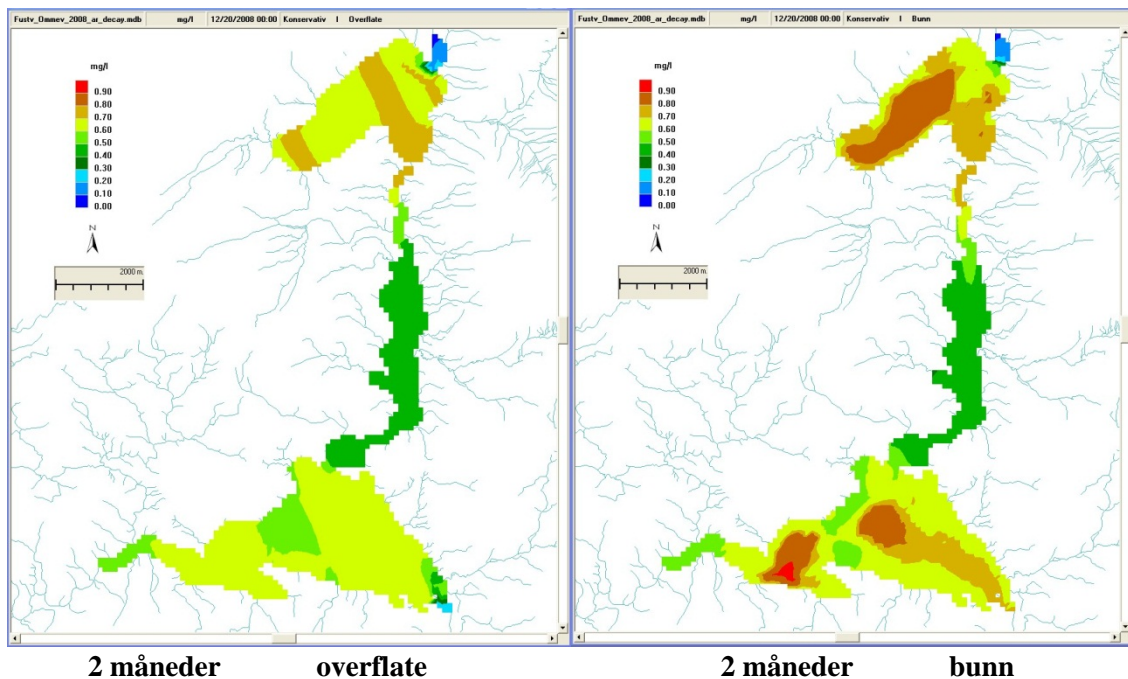
Fortynningen medvirker til reduksjon av tilført rotenon. Betydningen av svinn er dominerende.



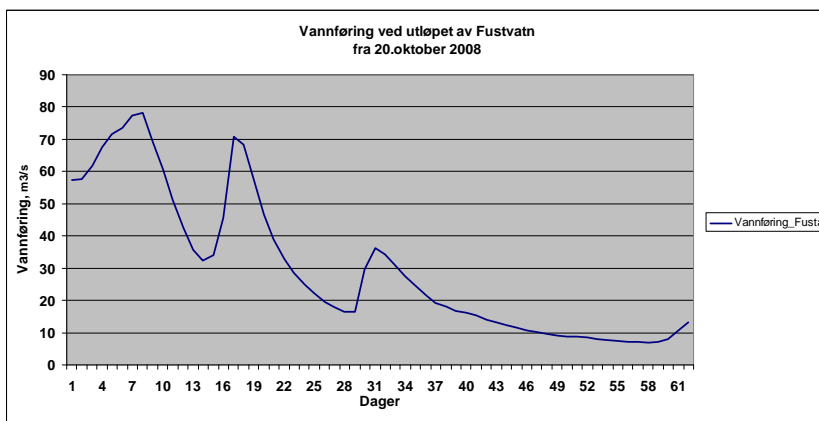
**Figur 22.** Start: 1 mg/l rotenon i alle innsjøene. I løpet av 2 måneder ble konsentrasjonene redusert til under 1 prosent. Det var liten forskjell mellom overflate og bunn



**Figur 23 forts.** Start: 1 mg/l rotenon i alle innsjøene. I løpet av 2 måneder ble konsentrasjonene redusert til under 1 prosent. Det var liten forskjell mellom overflate og bunn



**Figur 24.** Start 20.oktober: 1 mg/l konservativt stoff i alle innsjøene. Omkring halvparten av vannet i Mjåvatn ble fornyet av upåvirkede tilførsler i løpet av 2 måneder. I Ømmervatn og Fustvatn var vannutskiftningen mindre. Fornyingen var størst nær overflaten.



**Figur 25.** Den første måned av scenarieperioden var vannføringen høyere enn middelvannføringen, 33 m<sup>3</sup>/s, deretter lavere.

## 4. Referanser

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

Tjomsland T. 2010. Modellert rotenonbehandling av Fustvatn. 38 sider. Bestillingsnr 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](http://www.niva.no) • [post@niva.no](mailto:post@niva.no)