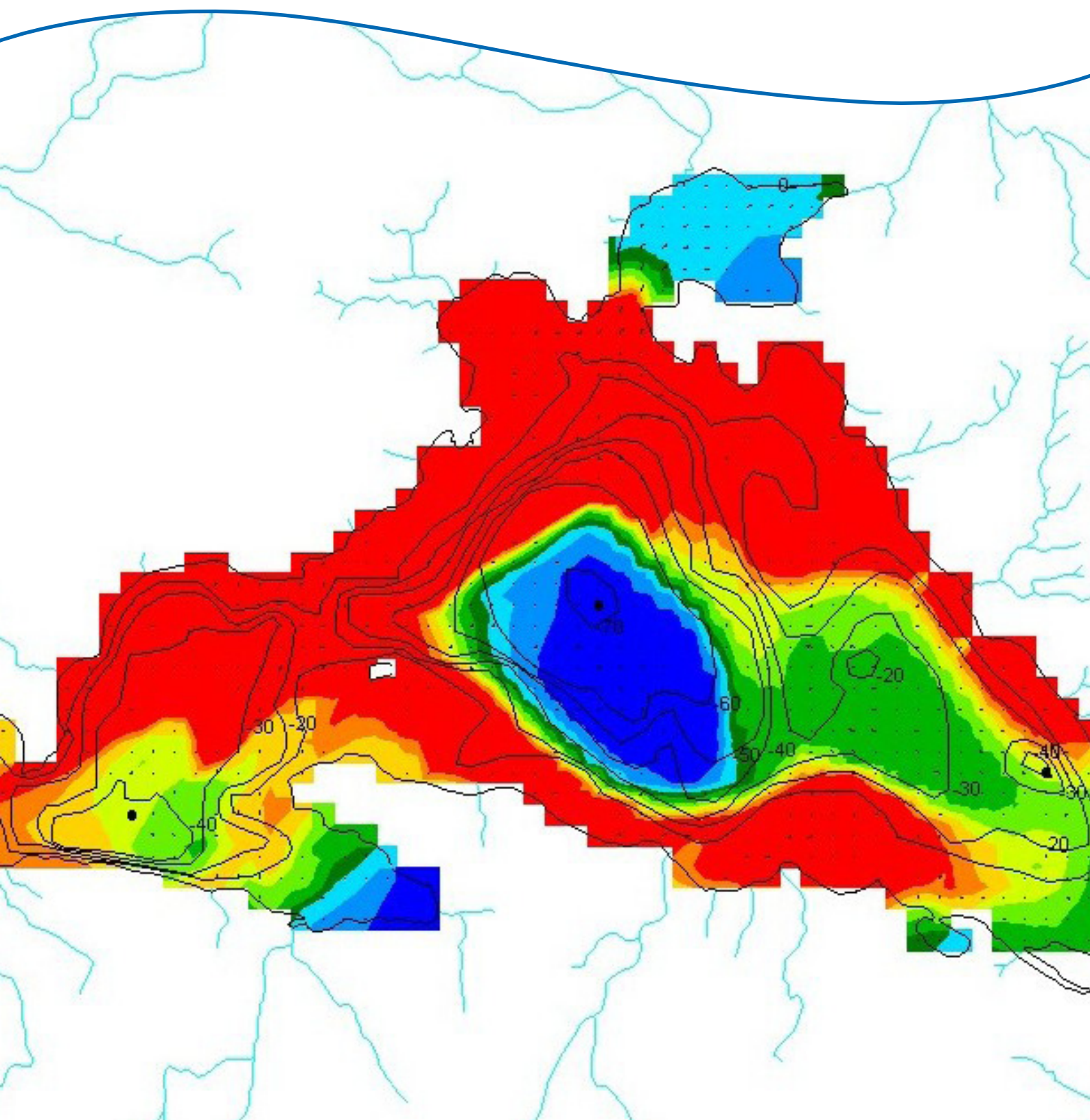


Modellert rotenon- behandling av Fustvatn



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 Fustvatn | Løpenr. (for bestilling) 6064-2010 | Dato 22.11.2010 |
| | Prosjektnr. Undemr. 10456 | Sider Pris 38 |
| Forfatter(e) Torulv Tjomsland | Fagområde Miljøinformatikk | Distribusjon Fri |
| | Geografisk område Nordland | Trykket CopyCat |

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

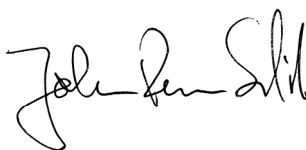
Sammendrag

Hensikten med denne rapporten var å bedre grunnlaget for en vellykket behandling av Fustvatn med rotenon. Fustvatn har et overflateareal på 10,6 km². Midlere og største dybde er henholdsvis 21 meter og 70 meter. Vi simulerte ulike måter å dosere på med modellen GEMSS. I følge simuleringene er det mulig å oppnå tilfredsstillende konsentrasjoner i hele innsjøen. Det er nødvendig å dosere i innsjøen fra båt, dette for spesielt å oppnå tilstrekkelig høye konsentrasjoner på dypt vann. Det kan være effektivt å kombinere dosering fra båt med dosering i tilløpsbekkene. En gunstig behandlingsperiode er første halvdel av oktober og begynnelsen av november.

| | |
|--|--|
| <p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Gyrodactylus salaris</i> 2. Hydrodynamikk 3. Modellering 4. Rotenonbehandling 5. Fustvatn | <p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Gyrodactylus salaris</i> 2. Hydrodynamics 3. Modelling 4. Rotenone treatment 5. Lake Fustvatn |
|--|--|



Torulv Tjomsland
Prosjektleder



John Rune Selvik
Forskningsleder



Bjørn Faafeng
Seniorrådgiver

Modellert rotenon behandling av
Fustvatn

Forord

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

Helge Bardal har vært kontaktperson ved veterinærinstituttet. Han har bidratt med teknisk informasjon angående rotenon mm., og diskusjoner i løpet av arbeidperioden.

Oslo, 22. november 2010

Torolv Tjomsland

Innhold

| | |
|---|-----------|
| Sammendrag | 5 |
| Summary | 7 |
| 1. Innledning | 8 |
| 1.1 Mål | 8 |
| 1.2 Områdebeskrivelse | 8 |
| 1.3 Modell | 11 |
| 1.4 Data | 11 |
| 2. Vertikale vannbevegelser i løpet av året | 13 |
| 3. Doserings scenarier | 18 |
| 3.1 Dosering kun på overflaten | 19 |
| 3.1.1 Dosering 15. oktober på overflaten | 19 |
| 3.1.2 Dosering 1. november på overflaten | 21 |
| 3.1.3 Dosering 15. november på overflaten | 23 |
| 3.2 Scenarier med dosering også på dypt vann | 25 |
| 3.2.1 Dosering 15. oktober på overflaten og på dypt vann i de sentrum av to største bassengene | 25 |
| 3.2.2 Dosering 15. oktober på overflaten og på dypt vann over de dypeste delene av innsjøen | 25 |
| 3.2.3 Dosering 1. september på overflaten og på dypt vann over de dypeste delene av innsjøen | 27 |
| 3.3 Dosering i tilløpsbekkene | 29 |
| 3.3.1 Scenarium: Dosering kun i tilløpsbekkene i perioden 1. september til 1. desember | 29 |
| 4. Diskusjon og konklusjoner | 36 |

Sammendrag

Vi benyttet den 3-dimensjonale modellen GEMSS som beregner strøm, temperatur, konsentrasjon av stoffer med ulike egenskaper mm. 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 x 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.

Vi utførte simuleringer med inngangsdata som i 2008. Det ble laget scenarier med ulike doseringsstrategier med hensyn til dosering i selve innsjøen med båt og i bekketilløpene.

I simuleringene benyttet vi en 5 % rotenonholdig væske. Målet var å dosere slik at konsentrasjonen av denne væsken ble minst 0,5 mg/l i hele innsjøen samtidig. Dette utgjør 120 tonn. Grenseverdien tilsvarer en konsentrasjon av ren rotenon på 25 µg/l.

Det var først i slutten av oktober at dosert væske i særlig grad ble vertikalt blandet. Etter islegging i andre halvdel av november ble den vertikale sirkulasjonen redusert. Islegging setter også begrensninger for hvor sent på året vi kan dosere fra båt.

I følge simuleringene er det mulig å oppnå tilfredsstillende konsentrasjoner av rotenon i hele innsjøen. Det er nødvendig å dosere fra båt, spesielt for å oppnå tilstrekkelig høye konsentrasjoner på dypt vann. I scenariene ble det dosert ca. 170 tonn rotenon i løpet av ett døgn. Vi oppnådde best resultat ca. en uke etter dosering 1. november. Det var på dette tidspunktet en markert vertikal sirkulasjon i vannmassene. Det ble også tilfredsstillende simulert behandling ved dosering 15. oktober. Det var da et svakere utviklet sprangsjikt.

Den horisontale blandingen er avhengig av vind og følgelig uforutsigbar. Der er gunstig med vind for å blande dosert stoff. Imidlertid kan vind føre til store vertikale forflytninger av vann og stoff, særlig langs land, og føre til store horisontale konsentrasjonsendringer i løpet av noen timer. Det betyr at en eksisterende stabil horisontal konsentrasjonsfordeling fort kan bli betydelig ujevn. For å motvirke at vedvarende sterke vinder forårsaker store horisontale konsentrasjonsforskjeller, er det gunstig å dosere samtidig fra overflate til bunn. Det vil også være gunstig å dosere hele innsjøen raskt.

Dosering ved et sterkere utviklet sprangsjikt krever en tettere kjørerute for det doserende fartøyet pga. lavere spredningshastigheter på dypt vann.

Det synes nødvendig å måle konsentrasjonene i innsjøen for evt. å gjøre supplerende doseringer, for eksempel dagen etter hoveddoseringen. Det vil være gunstig å benytte et sporstoff hvor konsentrasjonene enkelt lar seg måle i felt som mål for rotenon.

En supplerende strategi til å dosere i selve innsjøen fra båt er å dosere over lengre tid i tilløpselvene. Dosering av 90 tonn via elvene i 3 måneder fra 1. september førte til en jevn horisontal fordeling. Hovedandelen ble jevnt fordelt i overflatelaget (0-12 m), som utgjør ca. halvdelen av innsjøens volum. Vi kan oppnå temmelig forutsigbare konsentrasjoner der med denne metoden. Dermed har vi et godt utgangspunkt for en ekstra innsats med dosering i selve innsjøen på et egnet tidspunkt. Ved dosering fra båt vil det som nevnt være vanskeligere å oppnå en jevn fordeling over innsjøen.

Ved en slik dosering langvarig dosering via tilløpsbekkene kan vi ta hensyn til eksisterende konsentrasjoner når vi utfører dosering fra båt. Bekkedoseringen kan hovedsakelig dekke den øverste halvdelen av innsjøen og båtdoseringen resten.

Dersom konsentrasjonen av rotenon reduseres betydelig med tiden, blir langvarige dosering via bekketilløpene langt mindre effektiv. Vi er usikre på hvor raskt rotenon inngår i nedbrytende prosesser og anbefaler at dette blir undersøkt nærmere.

Ved en reell behandling vil Fustvatn ses i sammenheng med hele Fustvassdraget, inkludert tre andre innsjøer med betydelig størrelse. For eksempel vil tilførselene fra Mjåvatn påvirke Fustvatn. Vi har forutsatt at alle tilførselene har tilfredsstillende konsentrasjoner. Vi har følgelig sett bort i fra eventuelle problemer med lommer med rent vann i mindre tilsig og grunnvann.

Vi har her presentert en del scenarier. Det kan være vanskelig å fastslå en optimal strategi. Det er neppe formålstjenlig på det nåværende tidspunktet å lage nye scenarier med ulike kjøreruter i innsjøen og varierende doseringsmengder. Vi mener at scenariene gir innsikt i hvordan ulike behandlingsstrategier kan virke. Dette kan danne grunnlag for eksperter innen hydrologi, gyrobehandling, fisk, praktisk dosering mm. å ta en del beslutninger og eventuelt anbefale utfyllende scenarier.

Summary

Title: Modelled rotenone treatment of Lake Fustvatn

Year: 2010

Author: Torulv Tjomsland

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-5799-1

The objective of this report was to improve the possibility of a successful rotenone treatment of Lake Fustvatn against *Gyrodactylus salaricus*.

Lake Fustvatn has a surface area of 10.6 km². The mean depth is 21 m and maximum depth is 70 m. Various scenarios of dosing were simulated by the model GEMSS. The simulations obtained satisfactory concentrations in the lake. It was necessary to add rotenone "all over" the lake, this especially to obtain sufficiently high concentrations on deep water. It may be efficiently to combine dosing from boat by dosing in the tributaries. The best period for the treatment may be late October and first part of November.

1. Innledning

1.1 Mål

Hensikten med denne rapporten er å bedre grunnlaget for en vellykket behandling av Fustvatn med rotenon. De hydrofysiske forhold i Fustvatn skal modelleres gjennom året og studere effekten av ulike doseringer. Resultater fra modelleringen skal være veiledende i forhold til:

- valg av tidspunkt på året for behandlingen
- doseringsstrategi
- doseringsmengde

1.2 Områdebeskrivelse

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, **Tabell 1**. Ca halvdelen av innsjøens volum finnes i de øverste 12 metrene.

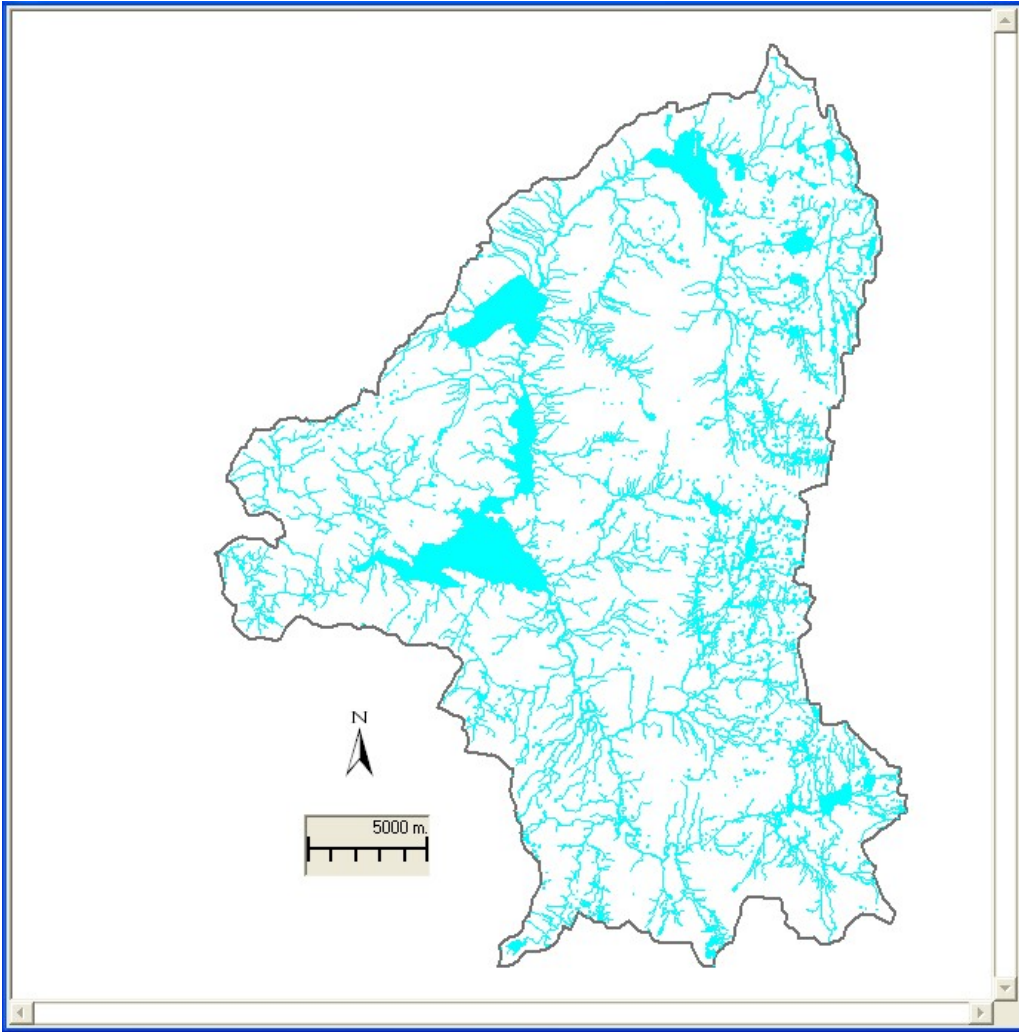
Det er et stort basseng med største dyp på 70 meter i de sentrale deler av innsjøen. I sørvest er det et noe mindre basseng med maksimum dyp på 40 meter. Et tredje og adskillig mindre basseng finnes i sørøst. Maksimum dyp er også der 40 meter, **Figur 2**.

Midlere vannføring 1960-1990 var 33 m³/s.

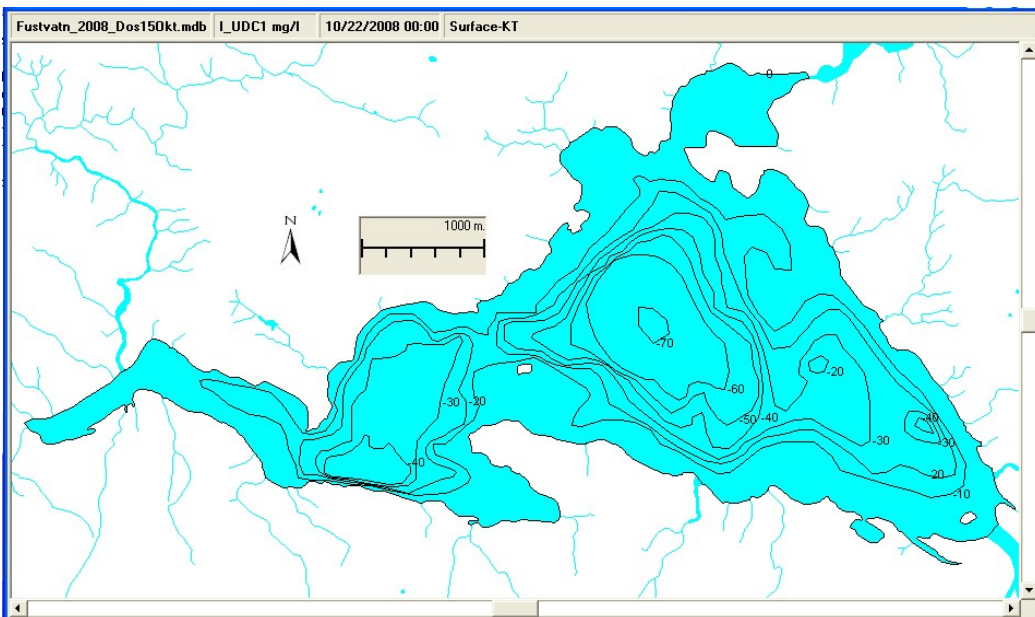
Tabell 1. Fustvatn, arealer og volumer som funksjon av dyp i følge den inndelingen i beregningselementer som er benyttet i simuleringene

| Dybde | Areal | Middel dyp | Bunn areal | Kommulativt Volum |
|-------|-------|------------|------------|-------------------|
| m | km2 | m | km2 | mill.m3 |
| 0 | 11.0 | 20.1 | 32.3 | 220.4 |
| 1 | 11.0 | 19.1 | 32.3 | 209.4 |
| 2 | 11.0 | 18.1 | 32.2 | 198.5 |
| 3 | 10.9 | 17.1 | 32.2 | 187.5 |
| 4 | 10.2 | 17.3 | 31.4 | 176.5 |
| 5 | 8.3 | 19.9 | 29.5 | 166.4 |
| 6 | 8.1 | 19.5 | 29.1 | 158.0 |
| 7 | 7.8 | 19.3 | 28.7 | 149.9 |
| 8 | 7.4 | 19.3 | 28.1 | 142.1 |
| 9 | 7.0 | 19.3 | 27.6 | 134.8 |
| 10 | 6.6 | 19.4 | 27.0 | 127.8 |
| 11 | 6.3 | 19.2 | 26.6 | 121.2 |
| 12 | 6.1 | 18.8 | 26.2 | 114.9 |
| 13 | 5.8 | 18.8 | 25.7 | 108.8 |
| 14 | 5.5 | 18.6 | 25.2 | 103.0 |
| 15 | 5.3 | 18.2 | 24.8 | 97.4 |
| 16 | 5.2 | 17.7 | 24.4 | 92.1 |
| 17 | 5.0 | 17.5 | 23.9 | 86.9 |
| 18 | 4.8 | 17.2 | 23.5 | 82.0 |
| 19 | 4.5 | 17.1 | 23.0 | 77.2 |
| 20 | 4.3 | 16.7 | 22.6 | 72.7 |
| 21 | 4.2 | 16.4 | 22.1 | 68.3 |
| 22 | 4.0 | 15.9 | 21.7 | 64.2 |
| 23 | 3.8 | 15.7 | 21.2 | 60.1 |
| 24 | 3.6 | 15.7 | 20.7 | 56.3 |
| 25 | 3.4 | 15.5 | 20.2 | 52.7 |
| 26 | 3.2 | 15.3 | 19.7 | 49.3 |
| 27 | 3.0 | 15.3 | 19.2 | 46.1 |
| 28 | 2.7 | 16.2 | 18.5 | 43.1 |
| 29 | 2.5 | 16.5 | 18.0 | 40.4 |
| 30 | 2.3 | 16.6 | 17.5 | 38.0 |
| 31 | 2.2 | 16.5 | 17.0 | 35.7 |
| 32 | 2.1 | 16.3 | 16.6 | 33.5 |
| 33 | 1.9 | 16.2 | 16.1 | 31.5 |
| 34 | 1.8 | 16.1 | 15.6 | 29.5 |
| 35 | 1.7 | 16.2 | 15.1 | 27.7 |

| Dybde | Areal | Middel dyp | Bunn areal | Kommulativt Volum |
|-------|-------|------------|------------|-------------------|
| m | km2 | m | km2 | mill.m3 |
| 36 | 1.6 | 15.8 | 14.7 | 26.0 |
| 37 | 1.6 | 15.3 | 14.3 | 24.3 |
| 38 | 1.6 | 14.5 | 13.9 | 22.7 |
| 39 | 1.5 | 14.4 | 13.4 | 21.2 |
| 40 | 1.4 | 13.7 | 13.0 | 19.7 |
| 41 | 1.4 | 13.4 | 12.5 | 18.3 |
| 42 | 1.3 | 12.7 | 12.1 | 16.9 |
| 43 | 1.3 | 12.0 | 11.7 | 15.6 |
| 44 | 1.2 | 11.5 | 11.2 | 14.3 |
| 45 | 1.2 | 11.0 | 10.8 | 13.0 |
| 46 | 1.1 | 10.4 | 10.3 | 11.8 |
| 47 | 1.1 | 10.0 | 9.9 | 10.7 |
| 48 | 1.0 | 9.4 | 9.4 | 9.6 |
| 49 | 1.0 | 8.8 | 9.0 | 8.6 |
| 50 | 0.9 | 8.2 | 8.5 | 7.6 |
| 51 | 0.9 | 7.7 | 8.1 | 6.7 |
| 52 | 0.8 | 7.2 | 7.6 | 5.8 |
| 53 | 0.8 | 6.6 | 7.2 | 5.0 |
| 54 | 0.7 | 6.5 | 6.6 | 4.3 |
| 55 | 0.6 | 5.6 | 6.2 | 3.6 |
| 56 | 0.6 | 5.1 | 5.7 | 3.0 |
| 57 | 0.5 | 5.2 | 5.2 | 2.4 |
| 58 | 0.4 | 4.5 | 4.8 | 1.9 |
| 59 | 0.4 | 4.0 | 4.3 | 1.5 |
| 60 | 0.3 | 3.9 | 3.8 | 1.1 |
| 61 | 0.2 | 3.5 | 3.3 | 0.8 |
| 62 | 0.2 | 2.8 | 2.8 | 0.6 |
| 63 | 0.2 | 2.5 | 2.3 | 0.4 |
| 64 | 0.1 | 2.1 | 1.9 | 0.2 |
| 65 | 0.1 | 1.3 | 1.4 | 0.1 |
| 66 | 0.0 | 1.0 | 0.9 | 0.0 |
| 67 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.0 |



Figur 1. Nedbørfelt.



Figur 2. 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 x 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.

1.4 Data

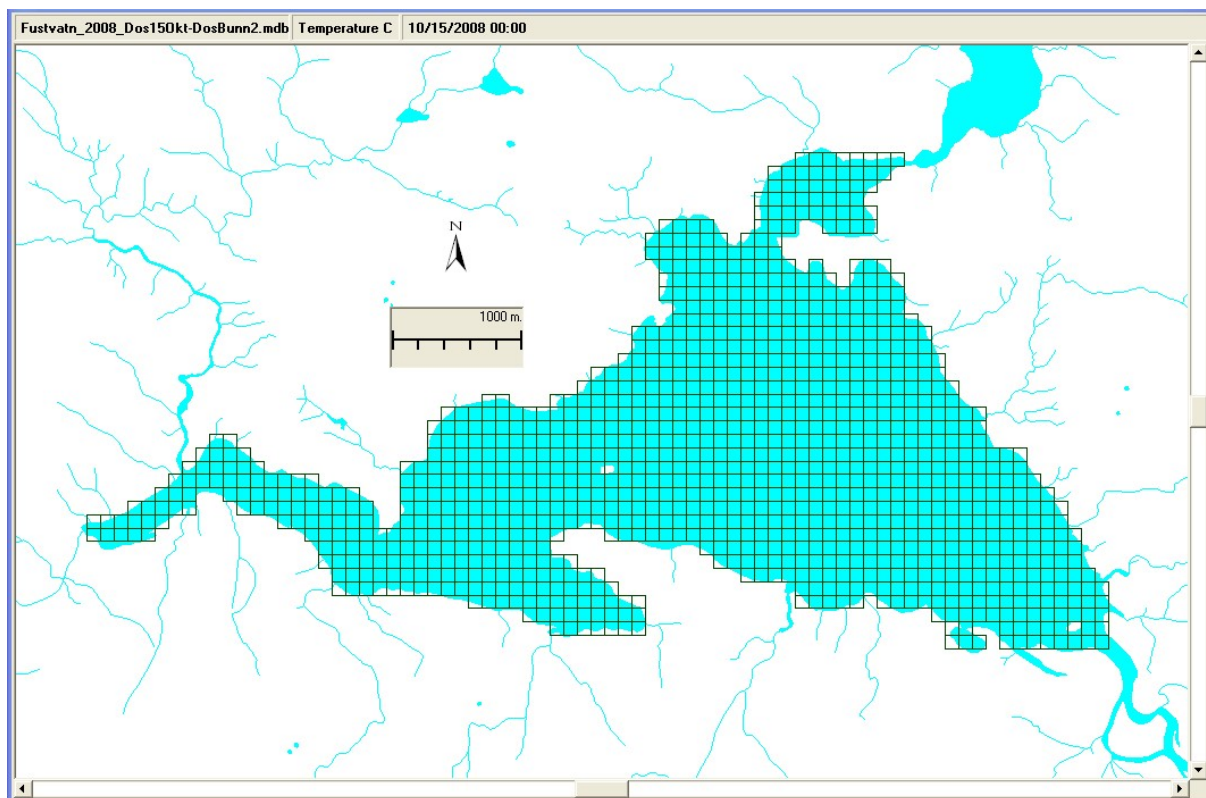
Vi simulerte strøm og temperatur for perioden 1. mai 2008 og ut året. I modellen ble det lest inn vannføringer i de 8 største elven. Disse ble funnet ved arealbetraktninger i forhold til NVEs vannføringsstasjon 152.4 Fusta ved utløpet av Fustvatn.

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.

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 med tiden tilsvarende en halvering på 1 måned ved 20 °C. Ved 4 °C ble denne halveringstiden ca. 4 måneder.

Målet var å dosere slik at konsentrasjonen av denne væsken ble minst 0,5 mg/l i hele innsjøen samtidig. Denne grenseverdien tilsvarer en konsentrasjon av ren rotenon på 25 ug/l.



Figur 3. Innsjøen ble delt inn i beregningsceller. I horisontalplanet var disse 100 m · 100 m og i dybderetningen 1 m.

2. Vertikale vannbevegelser i løpet av året

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

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

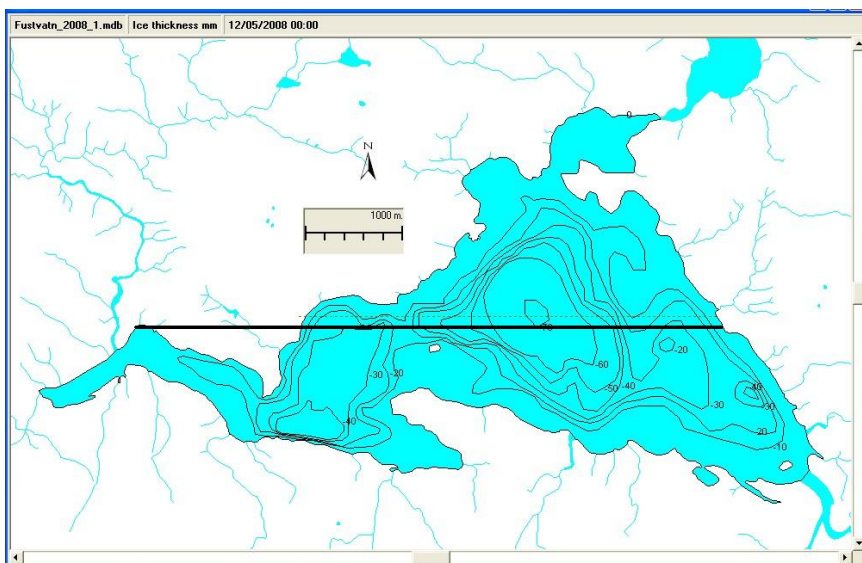
Det ble dosert et konservativt (bestandig) stoff i hovedelvene. Dette ble gjort for å visualisere hvordan vannet fra elvene blandet seg med innsjøvannet. Konsentrasjonene som ble dosert i elvene var 0,5 mg/l.

Resultatene er vist i et vest-øst gående tversnitt lagt over innsjøen dypeste punkt, **Figur 4**. Resultatene av temperatur og stoffkonsentrasjon i simuleringsperioden er vist i **Figur 5** (som strekker seg over flere sider).

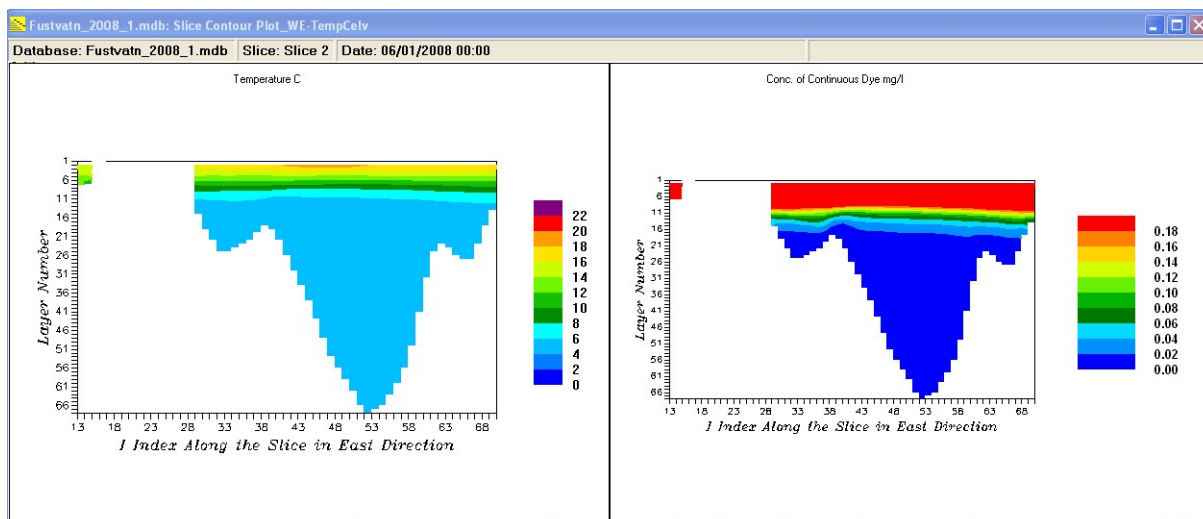
I løpet av sommeren ble spesielt overflatevannet stadig varmere. Dette skapte en temperaturgradient, sprangsjikt, og stabile vertikale forhold. I de dypeste delene var temperaturen nær 4°C hvilket tilsvarer maksimum tetthet. Stoff som ble tilført via elvene passerte innsjøen i dette overflatelaget og 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 stuves 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 dybdeprofilet. Vannmassene var da maksimalt ustabile med mulig sirkulasjon helt til bunnen. En moderat vind kunne da føre stoff raskt fra overflaten helt til bunnen.

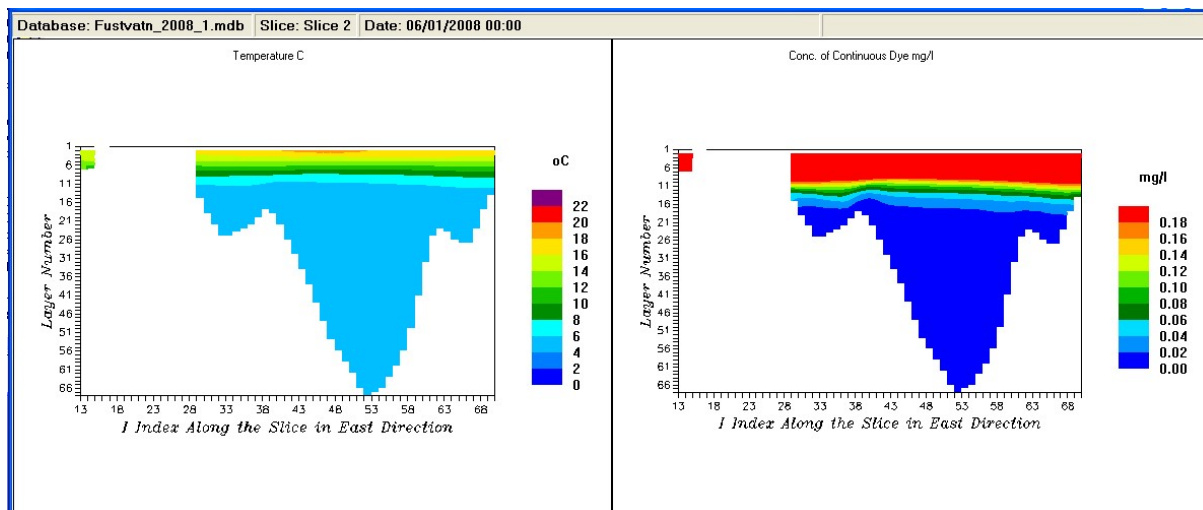
Ved ytterligere avkjøling av overflatelaget, dvs. til under 4°C, ble vannet lettere, ble liggende på overflaten og ble raskt nedkjølt til frysepunktet med påfølgende islegging. I følge modellen ble Fustvatn islagt 20. november. Vi fikk da et lettere overflatelag og redusert vertikal blanding.



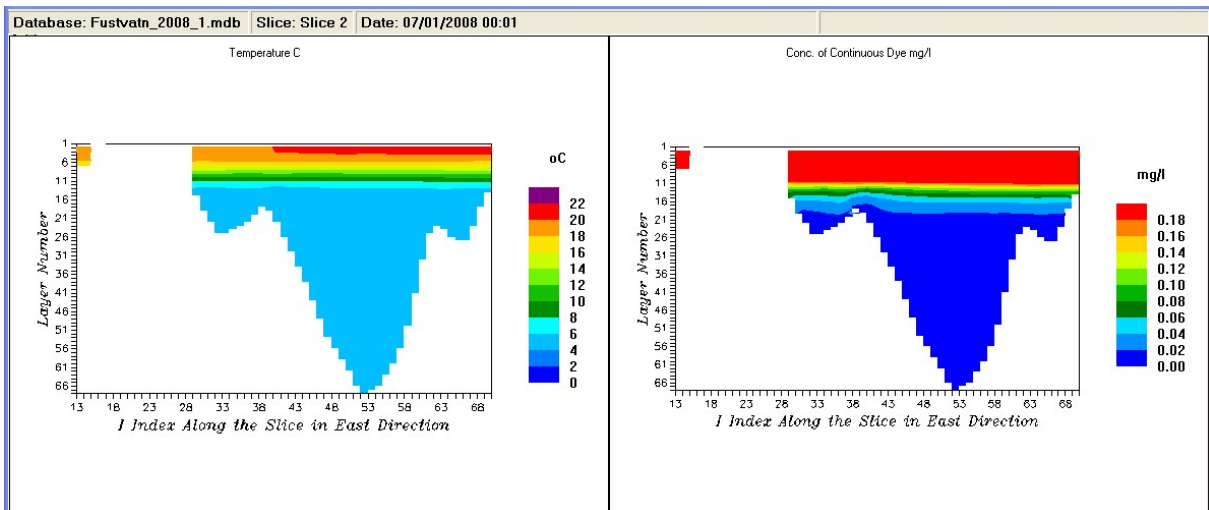
Figur 4. Markering av vest–øst dybdeprofil (xz-plan), jmf. etterfølgende figurer.



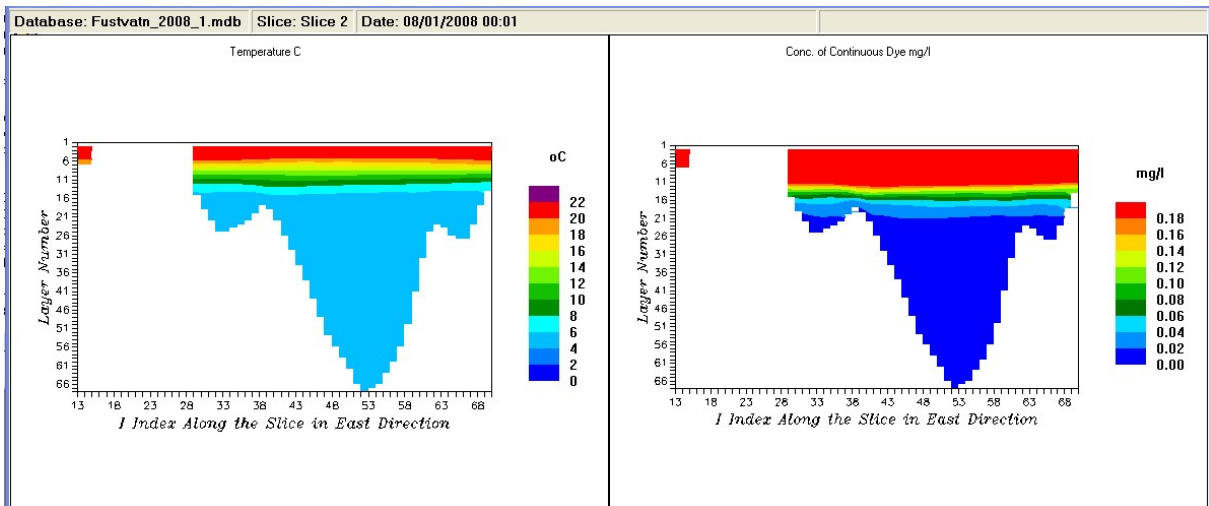
Figur 5. Dybdesnitt vest – øst over dypeste del av innsjøen. Temperatur og konsentrasjon av et kontinuerlig dosert konservativt stoff i de største tilløpselvene
1.mai 2008. Overflatevannet ble varmet opp, ble lettere slik at ellevannet la seg nær overflaten.



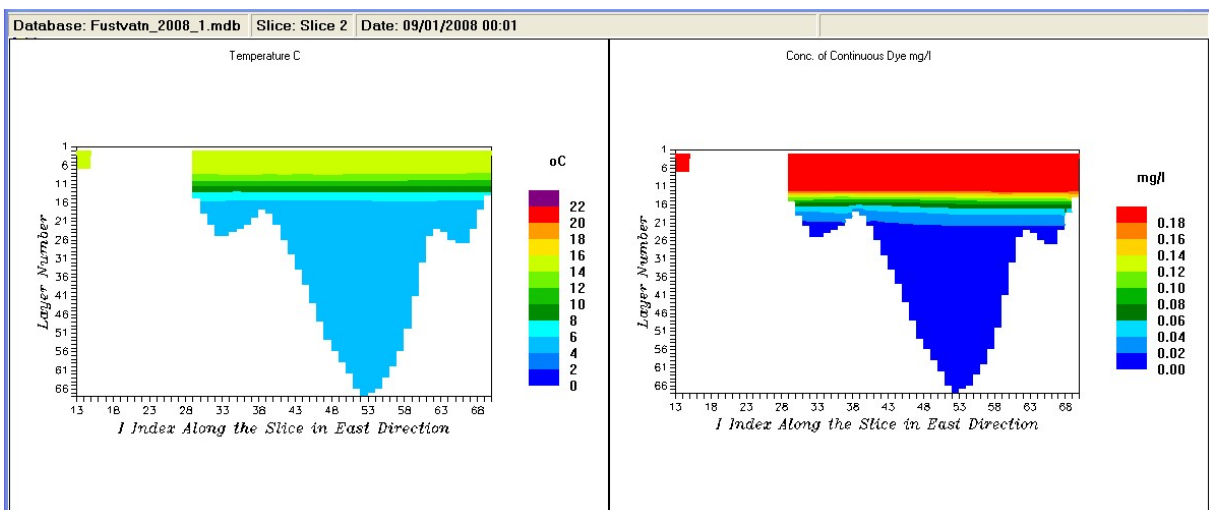
1. juni. 2008



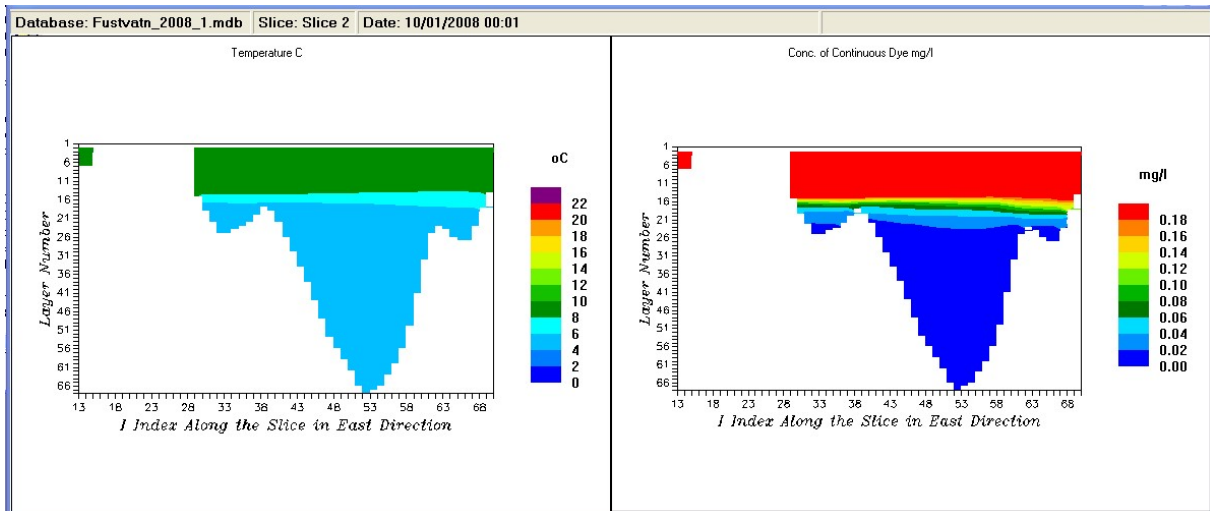
1. juli 2008



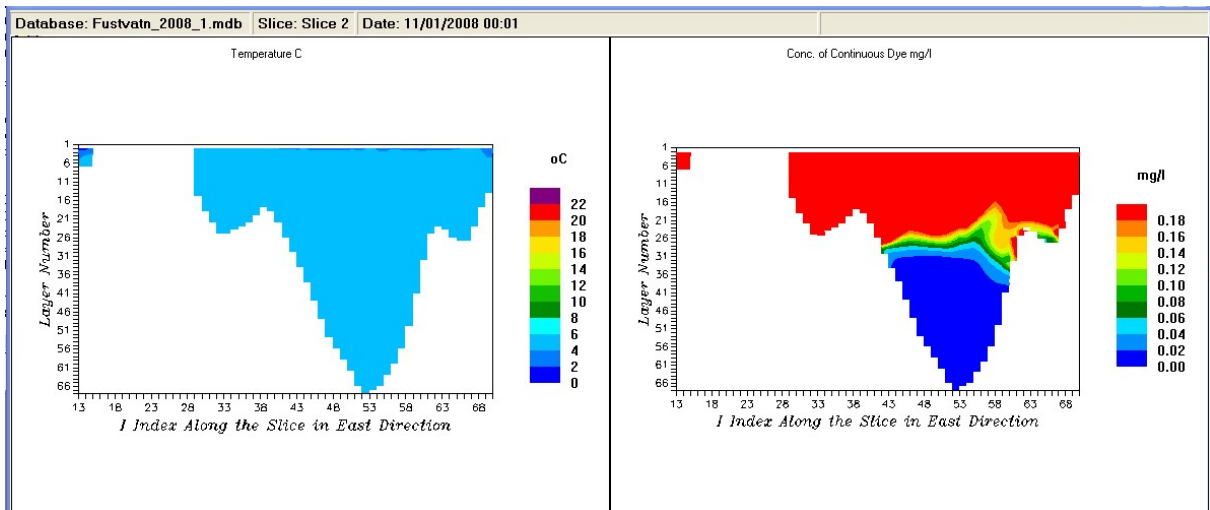
Figur 6. forts. 1.august 2008. Økt overflatetemperatur førte til økte vertikale tetthetsforskjeller (sprangsjikt) og høye stoffkonsentrasjoner på overflaten



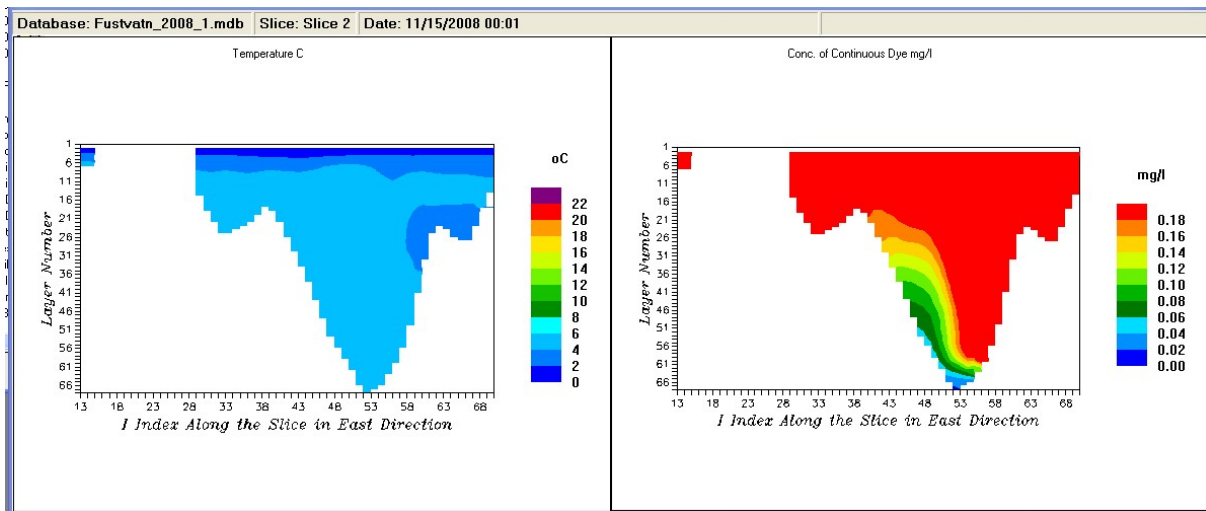
1. september 2008.



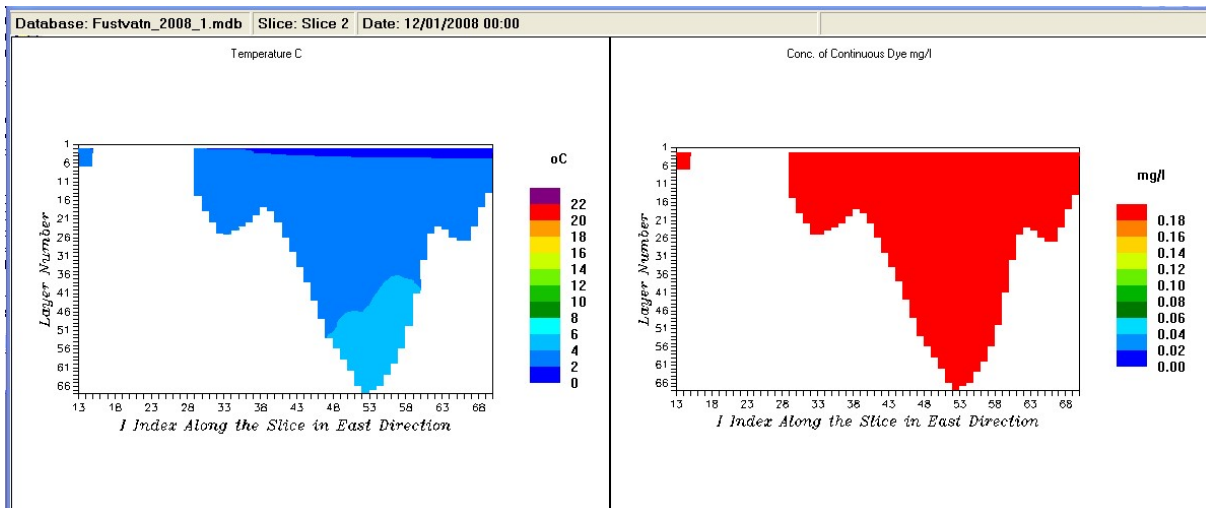
1.oktober 2008. Avtagende temperatur førte til redusert vertikal stabilitet og mer stoff dypere ned.



Figur 5. forts. 1. november 2008. Avtagene overflate temperatur til nær 4 oC 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.

3. Doserings scenarier

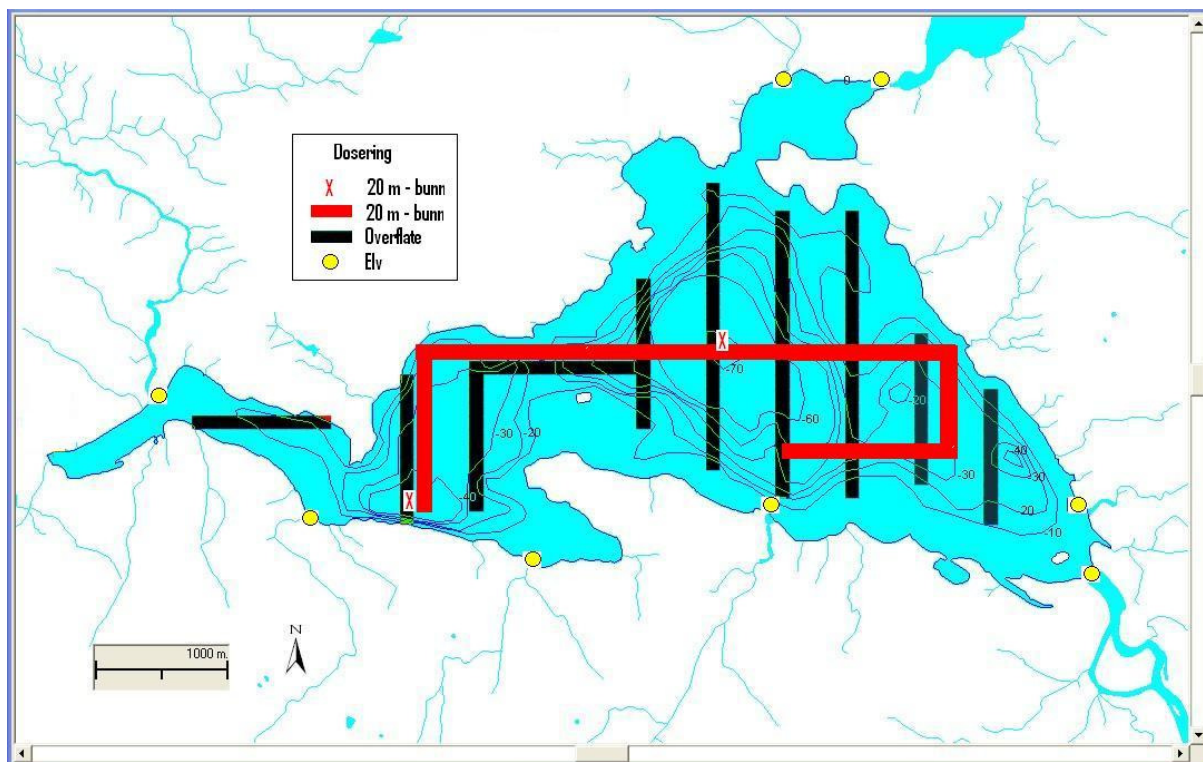
Det ble laget scenarier med ulike doseringstrategier. Ved alle scenariene ble det dosert 5 % rotenonholdig væske. Målet var å dosere slik at konsentrasjonen av denne væsken ble minst 0,5 mg/l i hele innsjøen samtidig. Denne grenseverdien tilsvarer en konsentrasjon av ren rotenon på 25 ug/l.

Klima, vannføring og startverdier for temperatur i innsjøen for de ulike scenariene var som ved de foregående simuleringene for 2008.

I elvene ble det dosert slik at konsentrasjonene ble lik grenseverdien på 0,5 mg/l. Denne konsentrasjonen ble opprettholdt i hele simuleringstiden, dvs. opp til 10 dager. I tillegg ble det dosert i innsjøen ved bruk av båt på ulike steder og dyp, **Figur 7**. Doseringen i innsjøen ble gjort i løpet av ett døgn. Dette tilsvarer en utpumping på 2 l/s av den 5 % rotenonholdige væsken.

Innsjøens volum er 221 mill.m³. En jevn konsentrasjon på 0,5 mg/l utgjør 110 tonn rotenonholdig væske.

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).



Figur 7. Det ble laget scenarier med dosering på overflaten og på dypt vann i innsjøen samt i tilløpselvene.

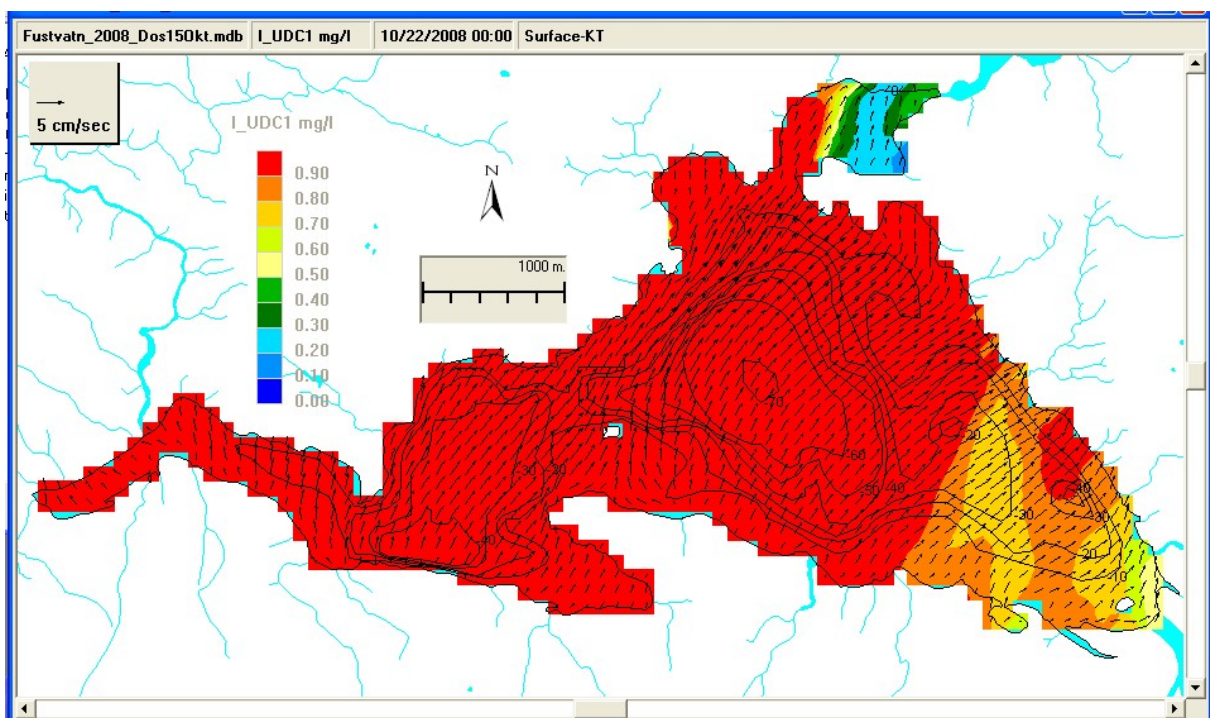
3.1 Dosering kun på overflaten

Det ble til sammen dosert 140 tonn 5 % rotenonholdig væske fra båt i løpet av ett døgn, svarte kolonner.

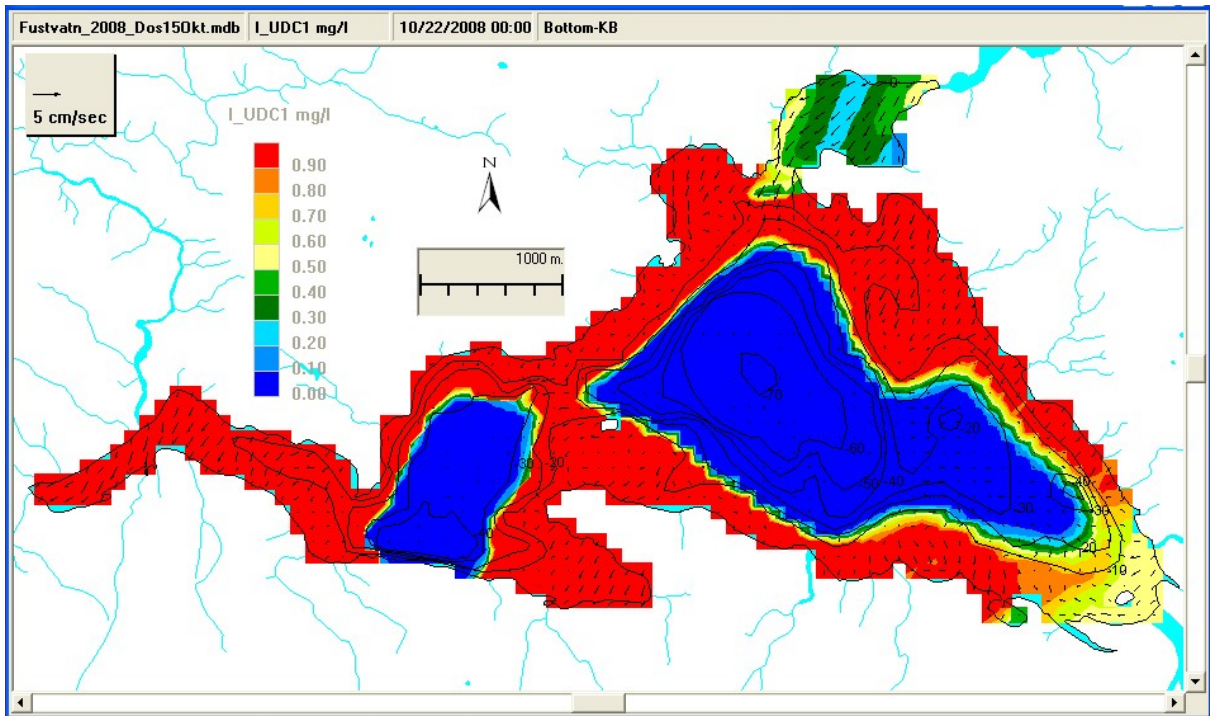
3.1.1 Dosering 15. oktober på overflaten

Etter en uke var konsentrasjonene tilfredsstillende på overflaten, eventuelt med unntak av ved innløpet fra Mjåvatn. Dypere enn ca. 25 meter var vannmassene nær upåvirket av doseringen, se **Figur 8.** og **Figur 9.**

15. oktober var det fortsatt en betydelig vertikal temperatur gradient som motvirket nedtrengning av stoff dosert på overflaten til større dyp enn 25 meter, **Figur 10** og **Figur 11.**

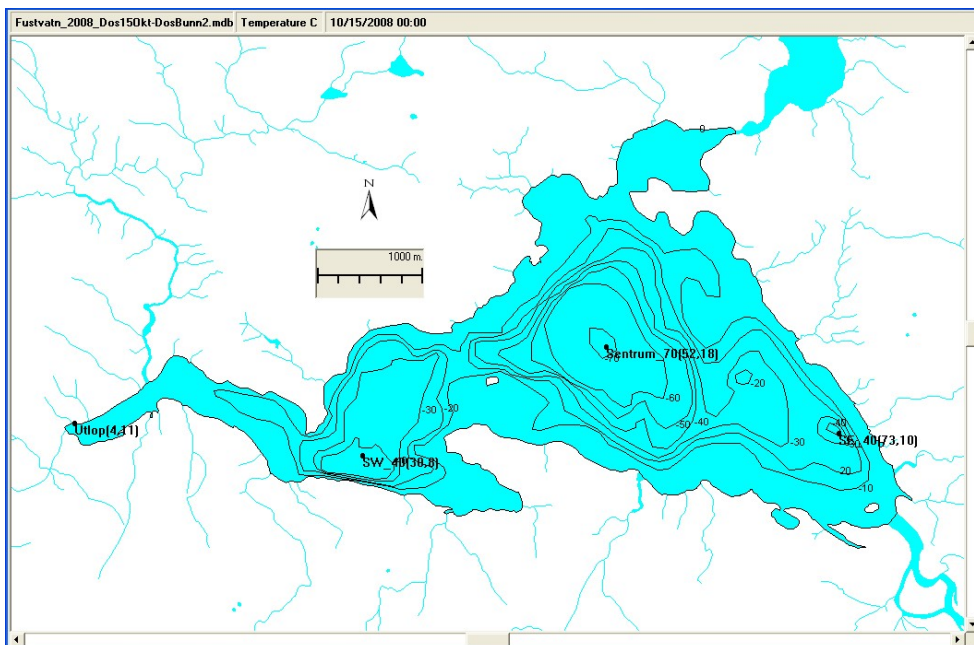


Figur 8. Dosert 15. oktober 2008 kun på overflaten. I overflaten ble konsentrasjonene tilfredsstillende høye.

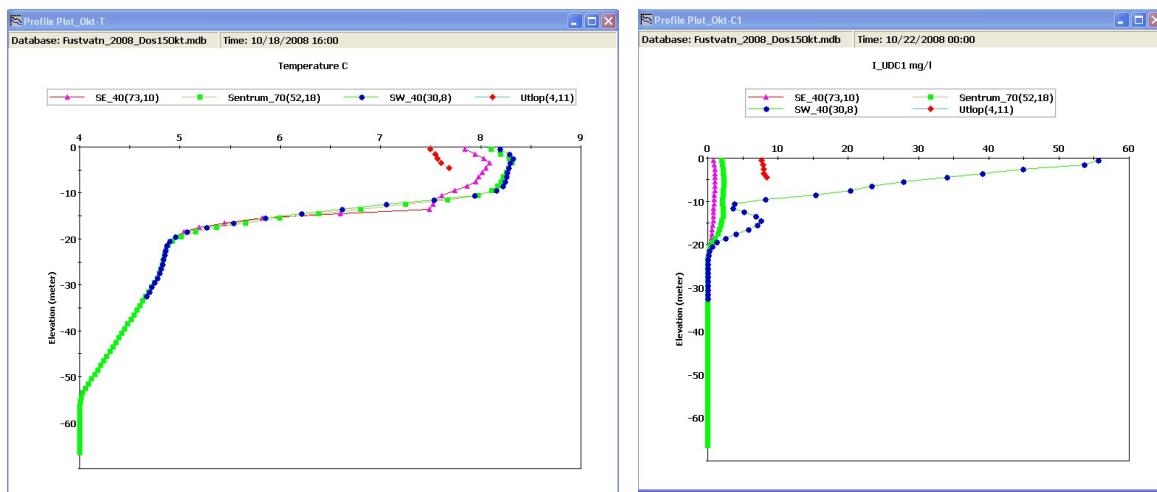


Figur 9. Dosert 15. oktober 2008 kun på overflaten. I de dypeste områdene ble konsentrasjonene for lave.

Obs! Figuren viser konsentrasjoner langs bunnen. Bunnen kan være 1 meter nær land og 70 meter på dypeste punkt.



Figur 10. Markering av dybdeprofiler som er vist i etterfølgende figurer.

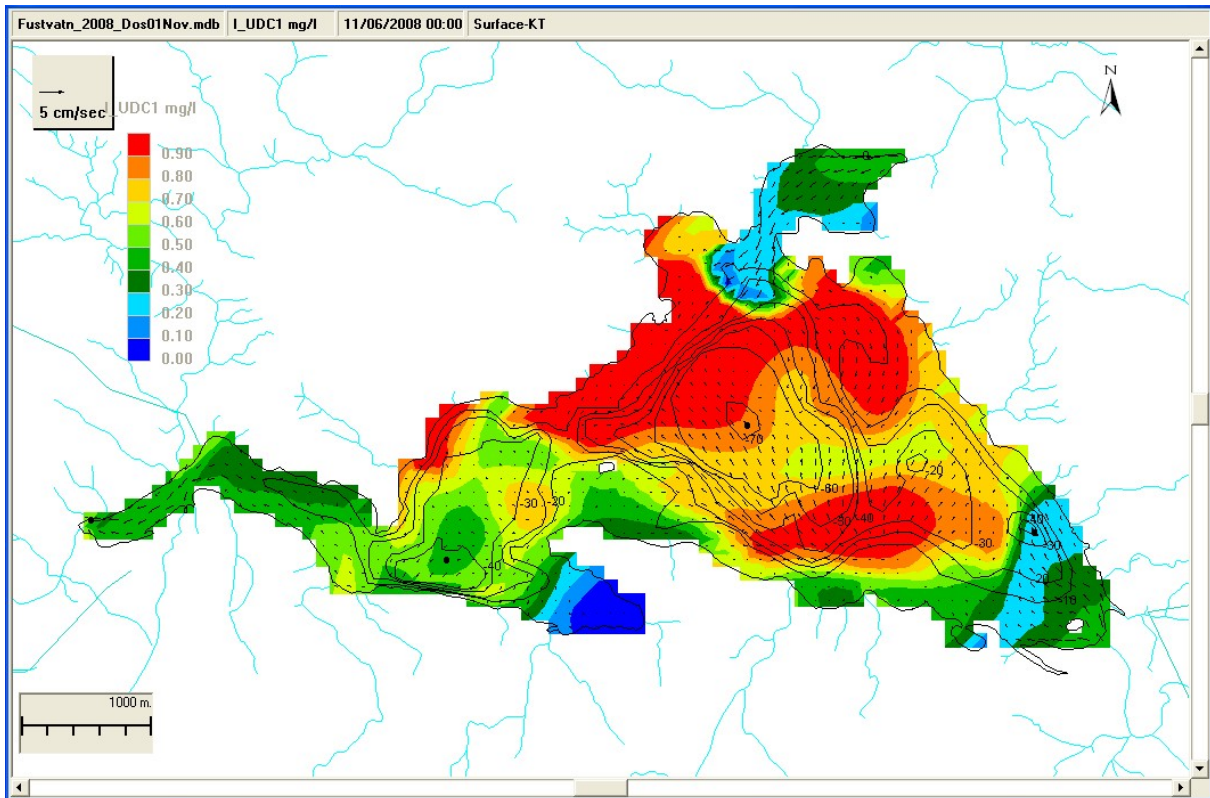


Figur 11. 15. oktober var det fortsatt en betydelig vertikal temperatur gradient som motvirket nedtrengning av stoff til større dyp enn 25 meter.

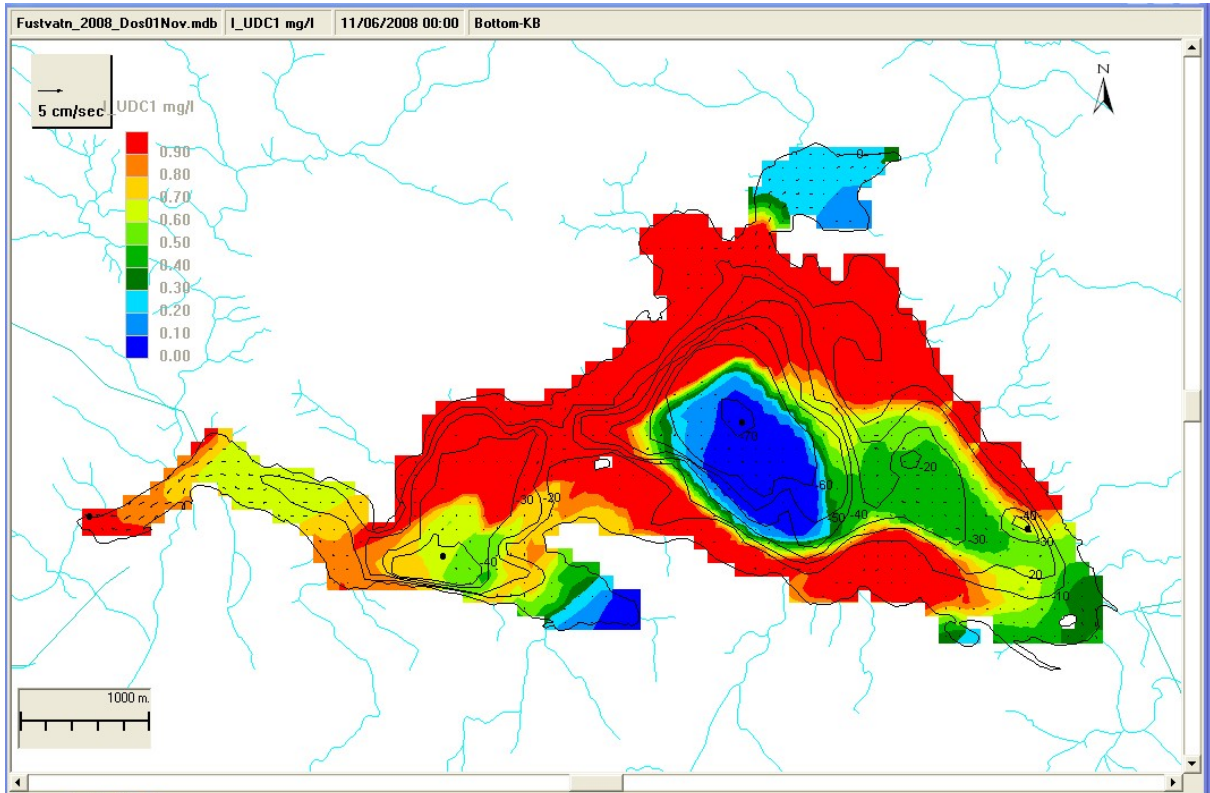
3.1.2 Dosering 1. november på overflaten

Etter fem dager var konsentrasjonene på overflaten stort sett tilfredsstillende. Det var imidlertid noen unntak. Begge de to største tilløpselvene i øst, i bukten og nær utløpet hadde lavere konsentrasjoner enn ønskelig. Det ble også for lave konsentrasjoner på større dyp enn 40-50 meter i det sentrale dypbassenget, **Figur 12** og **Figur 13**.

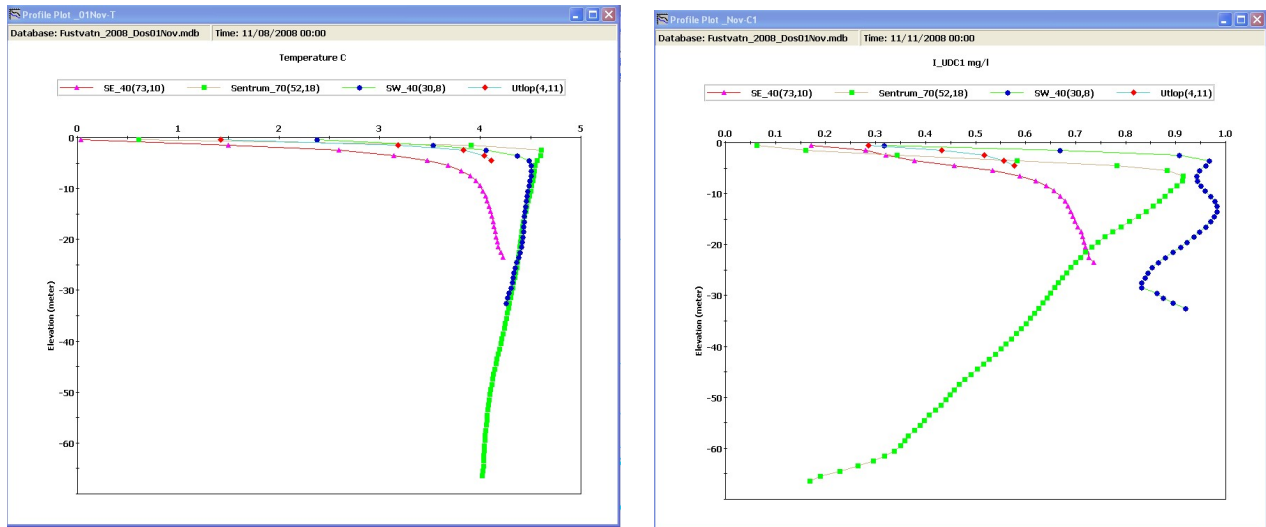
Temperaturprofilet ble etter hvert nær 4 °C, hvilket resulterte i svekket vertikal stabilitet og større nedtrengning av stoff i forhold til scenariet 15. oktober, **Figur 14**. En sterk vind 3. november førte til spesiell stor nedtrengning. Økt nedtrengning førte tilsvarende mengde med upåvirket vann opp fra dypt slik at konsentrasjonene der ble lavere enn for 15. oktober scenariet.



Figur 12. Dosert 1. november 2008 kun på overflaten. I overflaten ble konsentrasjonene med enkelte unntak tilfredsstillende høye.



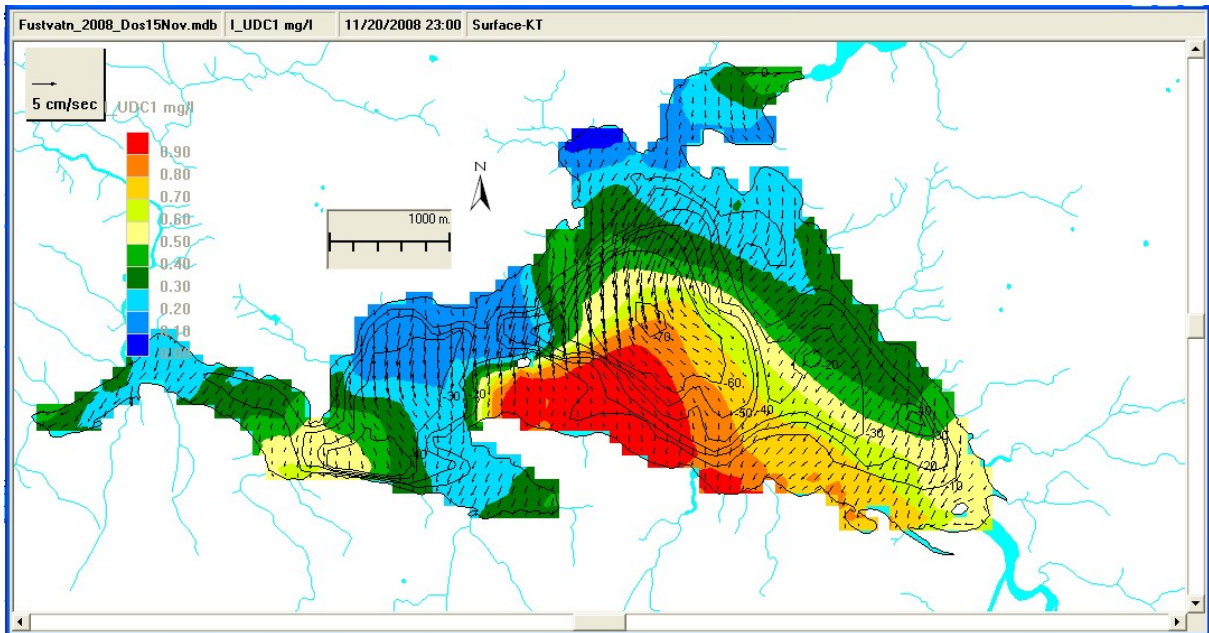
Figur 13. Dosert 1. november kun på overflaten. I det dypeste bassenget (70-meters dyp) ble konsentrasjonene for lave under ca. 40 meter.



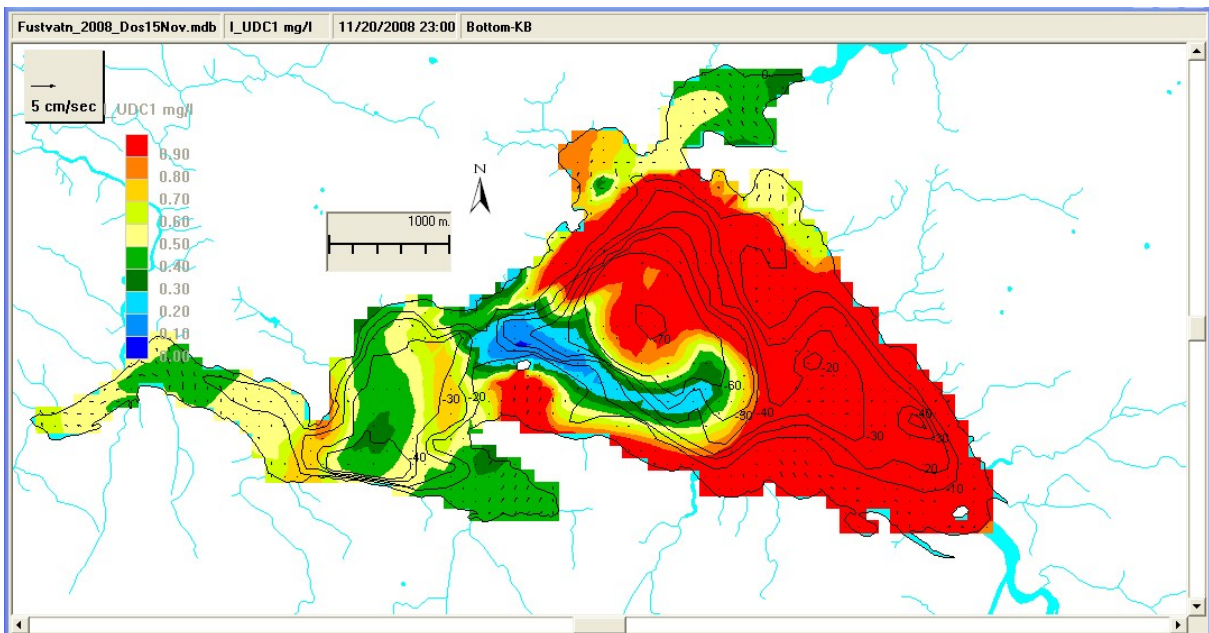
Figur 14. Det var liten vertikal temperaturgradient og en betydelig nedtrengning av stoff til omkring 40 meters dyp.

3.1.3 Dosering 15. november på overflaten

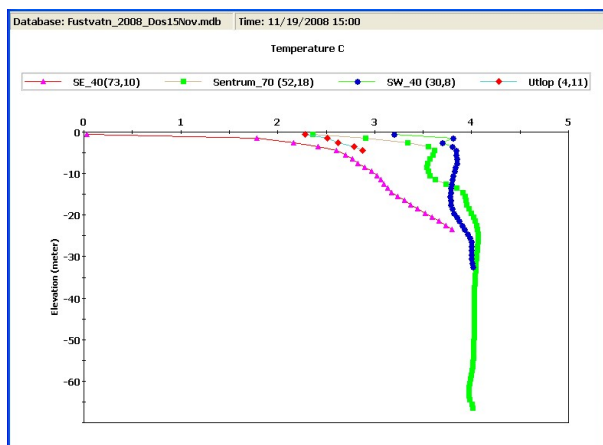
Det ble større nedtrengning i forhold til de foregående scenariene. Liten vertikal temperaturgradient førte til størstedelen av dypområdene fikk tilfredsstillende konsentrasjoner. Imidlertid ble konsentrasjonene i overflaten lavere, **Figur 15** og **Error! Reference source not found.Figur 16**. I slutten av perioden ble innsjøen islagt. Dvs. at temperaturen i overflaten nådde frysepunktet, ble lettere og motvirket vertikal blanding, **Figur 17**. Stoff som allerede hadde trengt ned til større dyp, ble i stor grad værende der og tilsvarende for upåvirket vann som hadde kommet fra større dyp. Isen bidro førte til at vindens ikke bidro til vertikal blanding.



Figur 15. Dosert 15. november 2008 kun på overflaten. Store områder av vannet på overflaten fikk for lave konsentrasjoner.



Figur 16. Dosert 15. november 2008 kun på overflaten. Konsentrasjonene var overveiende tilfredsstillende i de dypeste områdene.



Figur 17. Temperaturene var nær 4 oC under doseringen, hvilket førte til ustabile vertikale forhold og vertikalt sirkulerende vannmasser. I overflaten sank temperaturen etter hvert til frysepunktet, dette lettere vannet la seg på toppen og motvirke vertikal blanding.

3.2 Scenarier med dosering også på dypt vann

I de foregående simuleringene ga dosering kun i overflaten 1. november best resultat. I praksis kan det være vanskelig på forhånd å velge det optimale tidspunktet. Dette gjelder temperaturutvikling og ikke minst vind. Vi tar derfor utgangspunkt i dosering 15. oktober og prøver ulike måter å dosere på denne dagen.

3.2.1 Dosering 15. oktober på overflaten og på dypt vann i de sentrum av to største bassengene

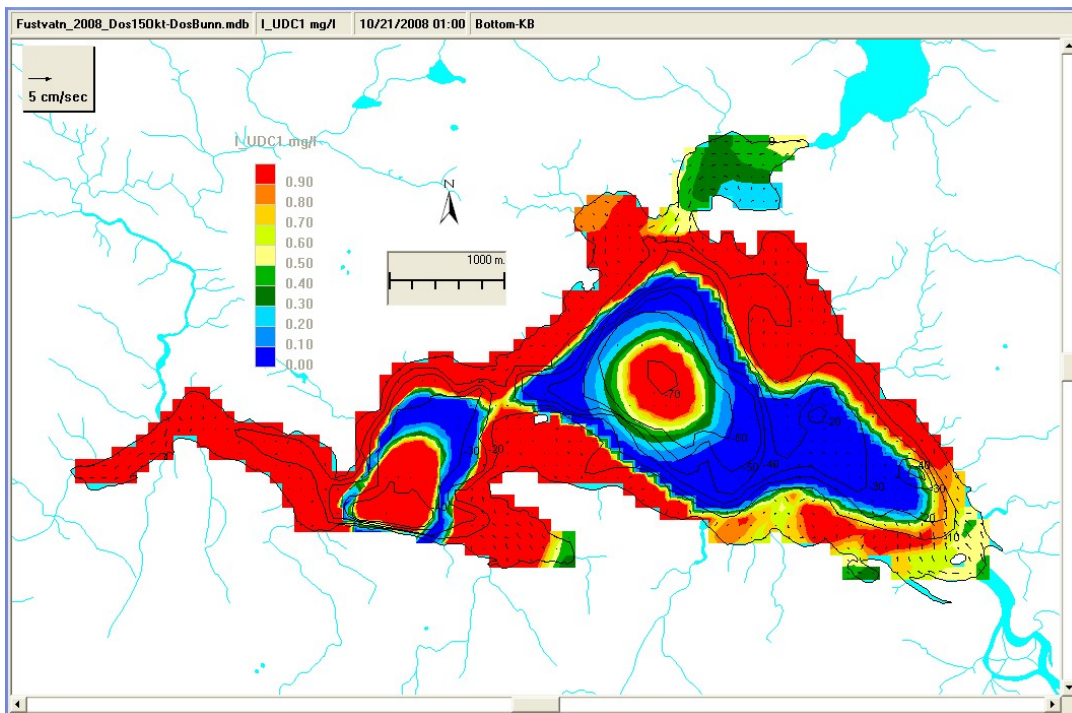
I tillegg til dosering på overflaten som tidligere, ble det dosert 7 tonn i sentrum av hvert av to største bassengene mellom 20 meter og bunn.

Den doserte mengden i dypbassengene spredte seg ikke tilstrekkelig til å fylle disse tilfredsstillende, **Figur 18**. Formodentlig ville det gått bra om vi hadde dosert tilsvarende 1. november.

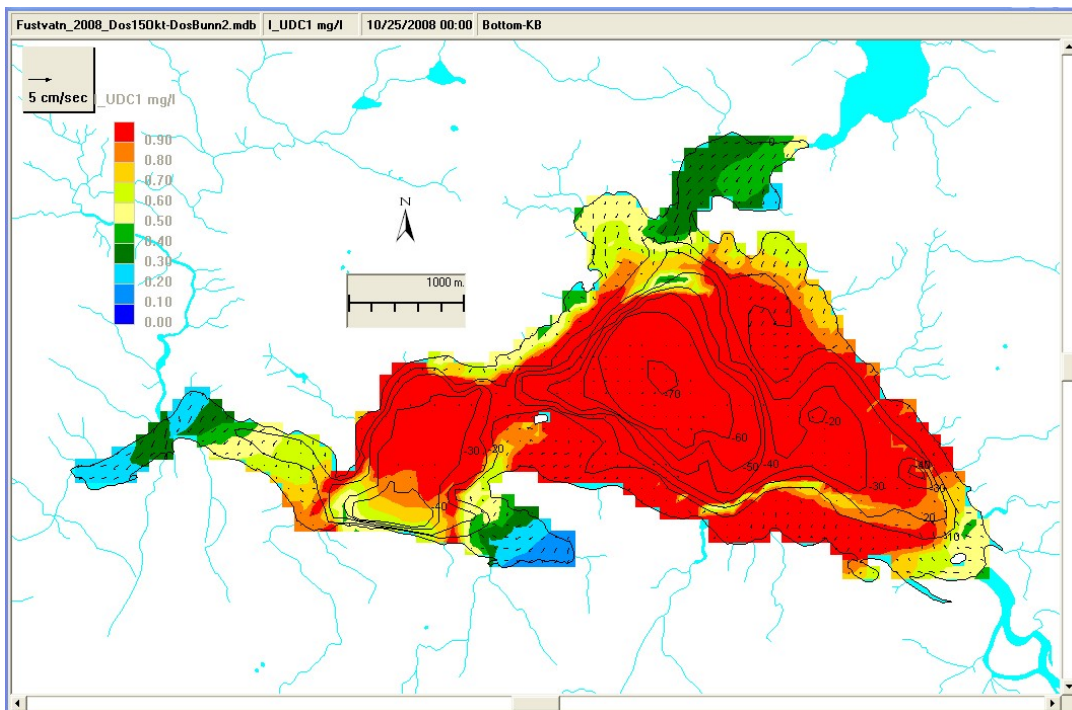
3.2.2 Dosering 15. oktober på overflaten og på dypt vann over de dypeste delene av innsjøen

Vi doserte på overflaten som tidligere, unntatt lengst vest nær utløpet. I tillegg ble det dosert mellom 20 meter og bunn i de dypeste delene av innsjøen. Det ble til sammen dosert 170 tonn jevnt fordelt langs kjøreruten, **Figur 7**.

Resultatet ble at alle de dypeste områdene fikk tilfredsstillende konsentrasjoner, **Figur 19**. Det ville vært behov for ekstra dosering ved de to største tilløpene samt i bukta i sør. Det synes også som at det er behov for å dosere i den vestlige utløpssonen.



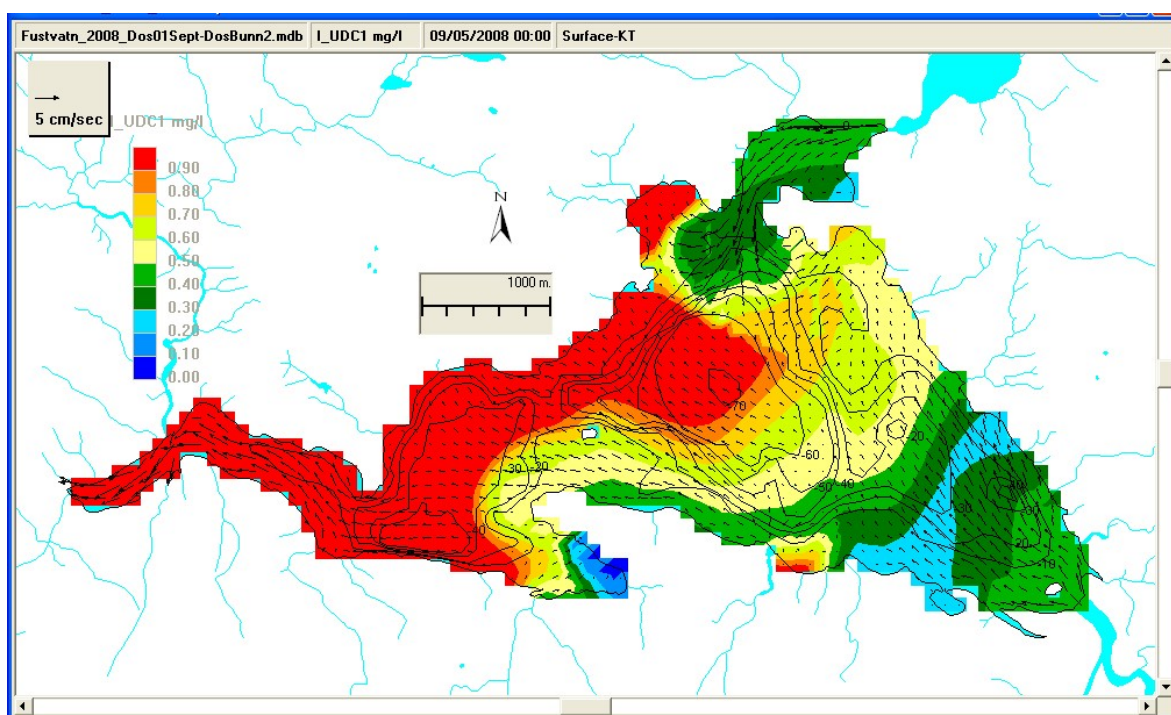
Figur 18. Konsentrasjoner langs bunnen. Dosert 15. oktober. Ekstra dosering mellom 20 m og bunnen over de dypeste punktene i 70-meters basenget i sentrum og 40-meters basenget i sørvest var ikke tilstrekkelig til å dekke hele bunnen med tilfredsstillende konsentrasjoner.



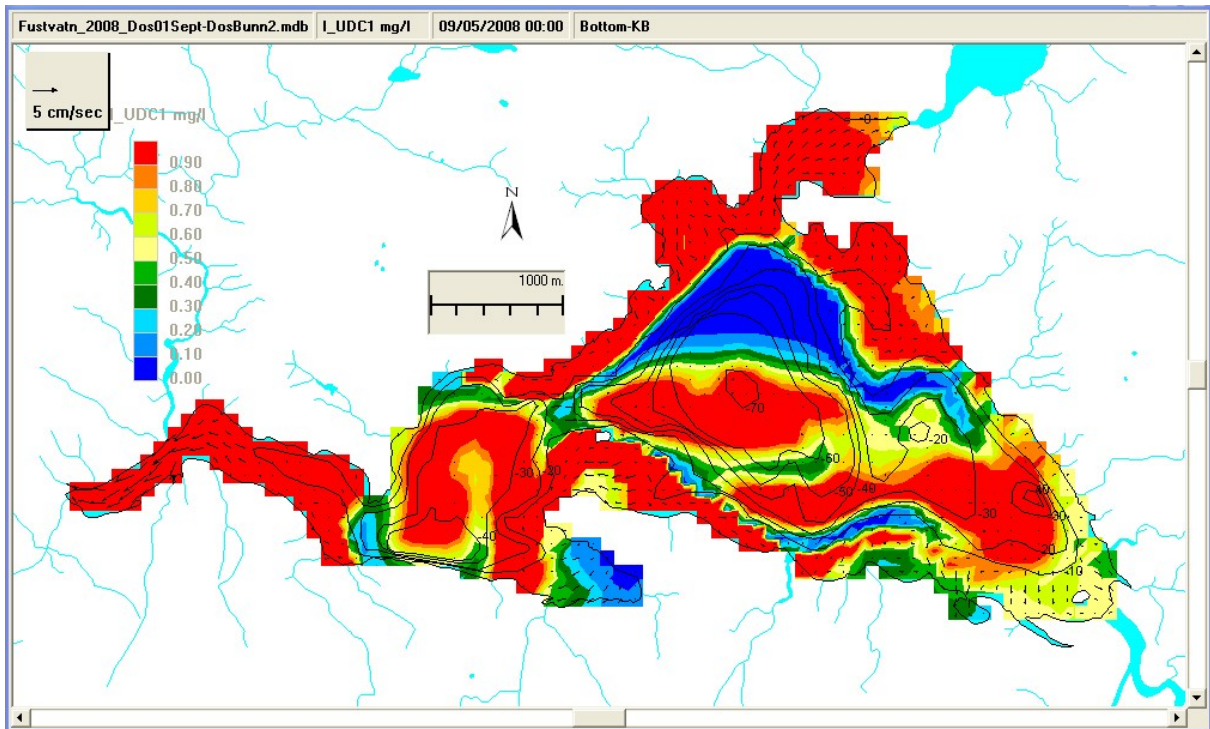
Figur 19. Konsentrasjoner langs bunnen. Dosert 15. oktober. Ekstra dosering mellom 20 m og bunnen fordelt over de dypeste delene av innsjøen resulterte i at alle de dypeste områdene fikk tilfredsstillende konsentrasjoner.

3.2.3 Dosering 1. september på overflaten og på dypt vann over de dypeste delene av innsjøen

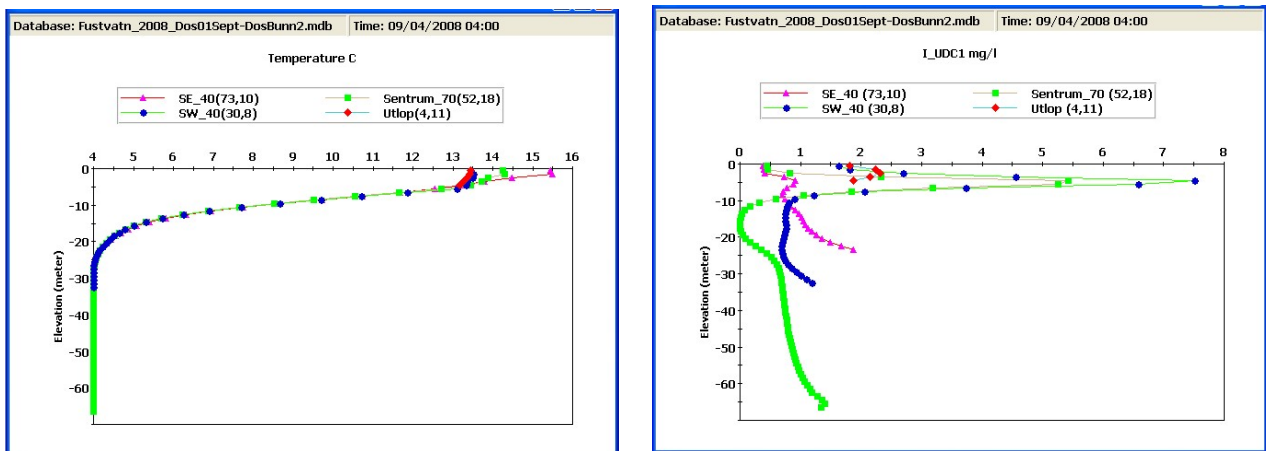
Resultatet av samme dosering 1. september er vist i **Figur 20 - Figur 22**. På dypt vann i bassengene ble det enkelte soner som fikk for lave konsentrasjoner. Det var liten bevegelse i disse vannlagene slik at spredningen gikk for langsomt. Resultatene der ville rimeligvis bli tilfredsstillende med en tettere kjørerute under doseringen i disse områdene. På overflaten var spredningen betydelig raskere. Strøm som følge av vind forårsaket utveksling av vann og stoff langs strendene. Ved vind fra øst mot vest strømmet vann med lave konsentrasjoner oppover langs de østlige strendene. I de vestlige delene ble det en opphoping av stoff i overflaten. Varmt og lett overflatevann motvirket vertikal utjevning igjen etter at vinden opphørte. En forbedret strategi, for å oppnå tilfredsstillende konsentrasjoner i overflaten samtidig med dyplagene, vil være å dosere i overflaten i etterkant av doseringen i dypet og helst i flere omganger, for eksempel en dags mellomrom.



Figur 20. Konsentrasjoner på overflaten. Dosert 1. september. Ekstra dosering mellom 20 m og bunnen over de dypeste delene av innsjøen. Størstedelen av overflatelaget fikk tilfredsstillende konsentrasjoner. I områdene nær de to største elvene ble det noe lave konsentrasjoner.



Figur 21. Konsentrasjoner langs bunnen. Dosert 1. september. Ekstra dosering mellom 20 m og bunnen over de dypeste delene av innsjøen resulterte i at det meste av de dypeste områdene fikk tilfredsstillende konsentrasjoner.



Figur 22. Det var stor vertikal temperaturgradient. Det var liten transport gjennom sprangsjiktet.

3.3 Dosering i tilløpsbekkene

Midlere vannføring i utløpselven Fusta er 33 m³/s. De største vannføringene finner sted under snøsmeltingen. Utover høsten er det vanlig med vannføringer mellom 10 og 20 m³/s. For å holde konsentrasjonene i alle tilløpene lik 0,5 mg/l trengs det dermed en daglig dosering mellom 0,5 – 1 tonn/døgn av 5 % rotenonholdig væske, **Tabell 2**. En teoretisk utskiftning av vannet i hele innsjøen vil bli mellom 2 – 4 måneder. I praksis vil overflatelaget bli skiftet ut oftere og dypvannet sjeldnere. Det betyr at tilførselene via tilløpsbekkene kun vil utgjøre en mindre del av den totale doseringsmengden (over 120 tonn) som er nødvendig for å oppnå målsetningen med en behandlingsperiode på et par uker. Det vil da være nødvendig med dosering i selve innsjøen. Dosering via tilførselsbekkene vil være spesielt effektiv for overflatelaget i perioder uten full sirkulasjon.

Tabell 2. Teoretisk oppholdstid og doserings fluks for å holde 5 mg/l i tilløpene som funksjon av vannføring.

| Vannføring m ³ /s | Oppholdstid dager | Fluks tonn/døgn |
|---------------------------------|----------------------|--------------------|
| 1 | 1400 | 0.043 |
| 5 | 280 | 0.216 |
| 10 | 140 | 0.432 |
| 15 | 93 | 0.648 |
| 20 | 70 | 0.864 |
| 25 | 56 | 1.080 |
| 30 | 47 | 1.296 |
| 40 | 35 | 1.728 |
| 50 | 28 | 2.160 |
| 60 | 23 | 2.592 |
| 70 | 20 | 3.024 |
| 80 | 18 | 3.456 |
| 90 | 16 | 3.888 |
| 100 | 14 | 4.320 |

3.3.1 Scenarium: Dosering kun i tilløpsbekkene i perioden 1. september til 1. desember

Vi doserte i tilløpsbekkene med 5 % rotenonholdig væske slik at konsentrasjonen ble 0,5 mg/l. Dette utgjorde ca. 30 tonn per måned.

Vi laget to alternativer med hensyn til svinn. I det første alternativet antok vi at væsken var konservativ, dvs. ingen nedbrytning, kun fortykning. I det andre tilfellet brukte vi i likhet med de foregående simuleringene en svintrate tilsvarende en halvering på 1 måned ved 20 °C og fire måneder ved 4 °C.

Simuleringen startet 1. september. Etter en måned ble hele innsjøen jevnt påvirket i de øverste 30 metrene med konsentrasjoner noe under halvdelen av utgangskonsentrasjonene. Konsentrasjonene økte i løpet av den neste måneden selv om dette ikke ga store utslag på konsentrasjonskartet, **Figur 23**. - **Figur 26**. I november førte en effektiv vertikal sirkulasjon stoff ned til større dyp. Denne utviklingen fortsatte ut november, **Figur 27**. - **Figur 30**.

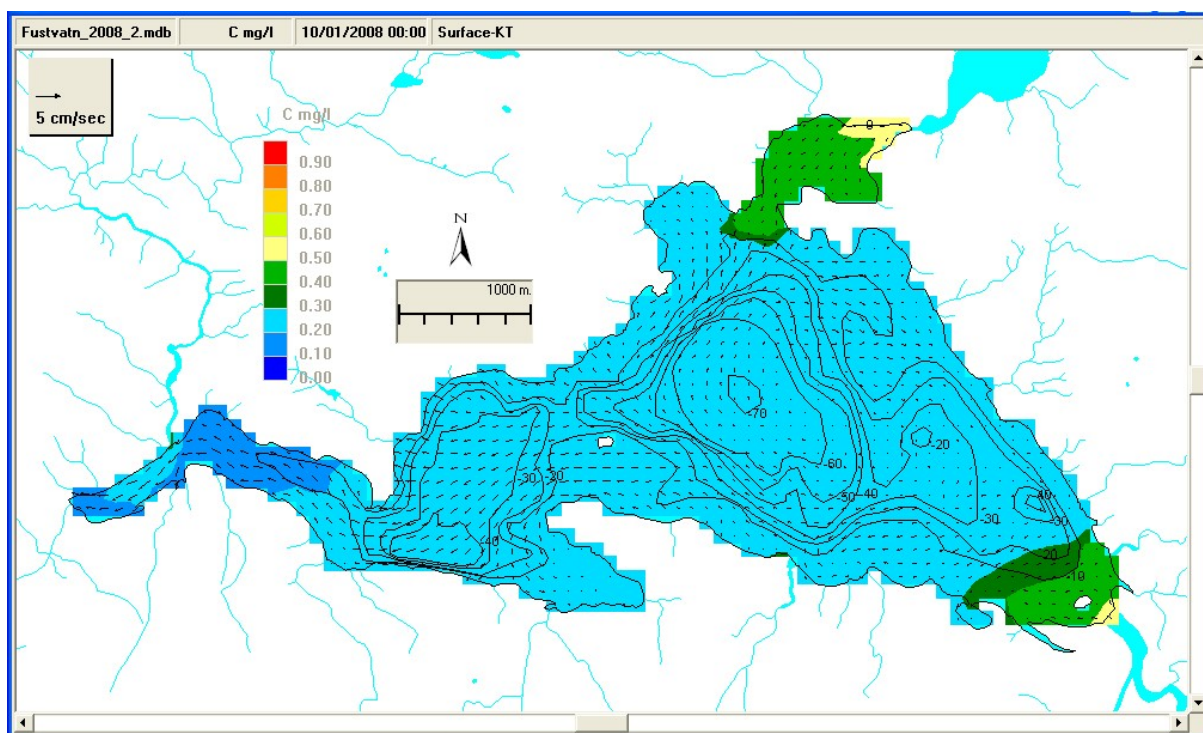
Vi oppnådde et godt resultat 15. november. Overflatekonsentrasjonene var omtrent de samme som i elvene i hele nesten innsjøen i overflaten. Også på dypt vann var det en jevn fordeling. Hvis vi hadde dosert dobbelt så mye stoff i elvene ville konsentrasjonene i innsjøen økt tilsvarende. Dersom målet

var å oppnå en konsentrasjon på 0,5 mg/l ville dette blitt oppfylt med unntak av i det dypeste bassenget. Vi ser imidlertid at i slutten av november var det enkelte områder i overflaten som fikk lave konsentrasjoner. Dette hadde sammenheng med vind. Kraftig vind brakte vann fra dypet med lave konsentrasjoner til overflaten. Dette er et fenomen som kan forstyrre et planlagt doseringsforløp.

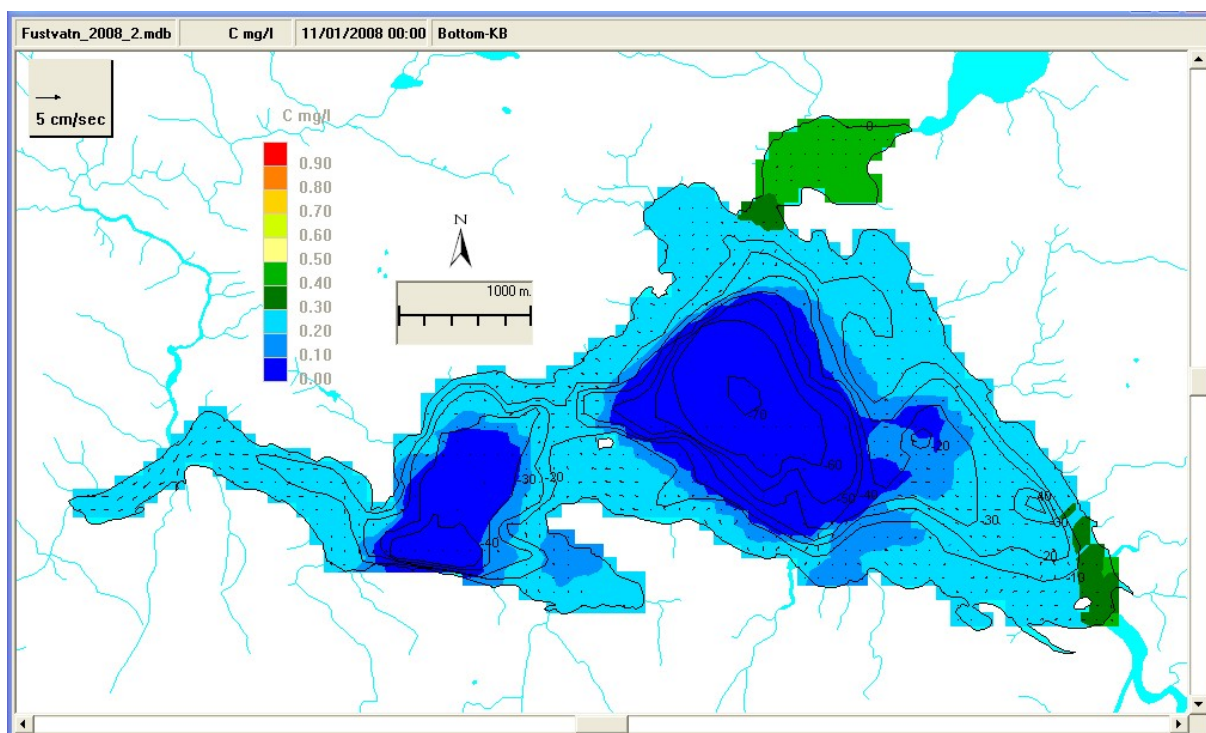
En langvarig dosering via elvene førte til en jevn fordeling selv om overflatelagene fikk de høyeste konsentrasjonene. Vi kan oppnå mer forutsigbare konsentrasjoner. Dermed har vi et godt utgangspunkt for en ekstra innsats med dosering i selve innsjøen på et egnet tidspunkt. Ved dosering fra båt vil det være vanskelig å oppnå en jevn fordeling over innsjøen. Dermed får vi områder med for høye konsentrasjoner og andre steder med for lave konsentrasjoner.

Dersom vi antar at rotenon reduseres med tiden som skissert over, ble denne langvarige doseringsmetoden betydelig mindre effektiv, **Figur 31** og **Figur 32**. Vi er usikre på i hvilken grad rotenon inngår i nedbrytende prosesser. Det betyr at det er viktig å undersøke dette nærmere.

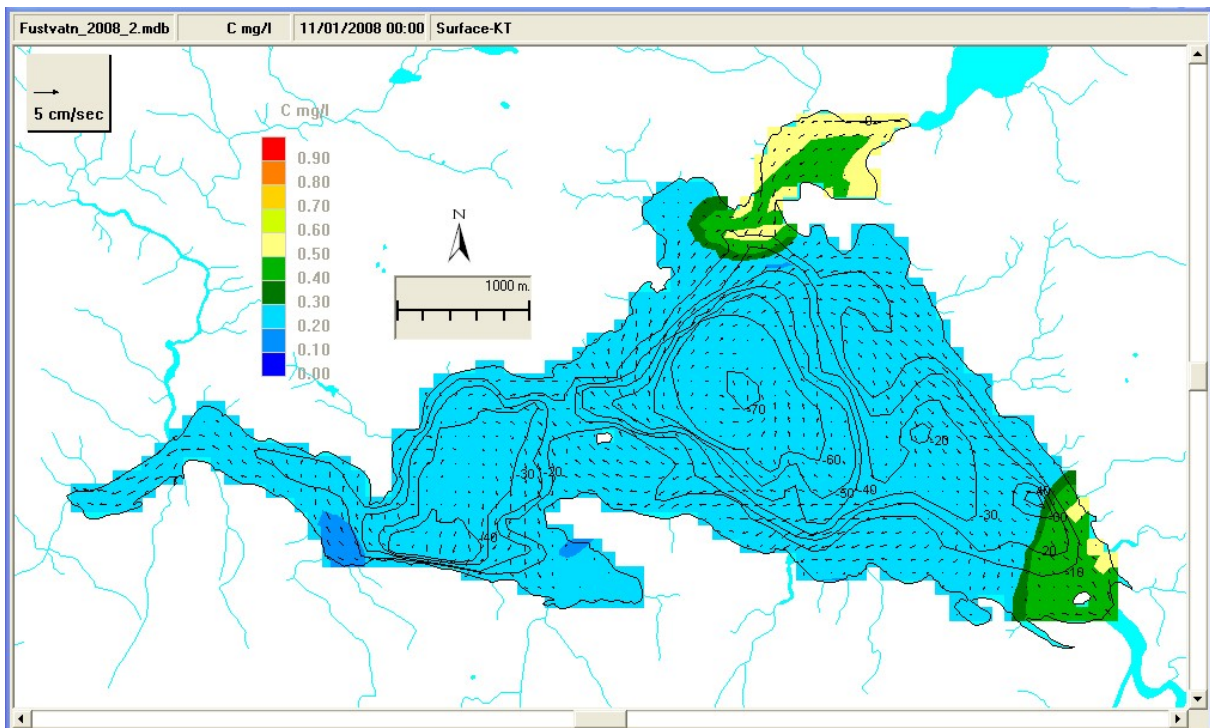
Simuleringen gjennom året viste at stoff fra bekkene fordelte seg jevnt over hele innsjøen i løpet av november, **Figur 5**. Det må imidlertid være tilstrekkelig med stoff til stede. Doseringen måtte derfor settes i gang i god tid før sirkulasjonen og med tilstrekkelig høye konsentrasjoner. En del stoff gikk igjennom innsjøen slik at den totale mengde ville bli større enn ved en kortvarig dosering. Ulempen med en kortvarig dosering er å ha kontroll på drift som følge av vind. Det synes nødvendig å kunne måle konsentrasjonene i innsjøen for å gjøre supplerende doseringer. Det vil være gunstig å benytte et sporstoff hvor konsentrasjonene enkelt lar seg måle i felt som mål for rotenon.



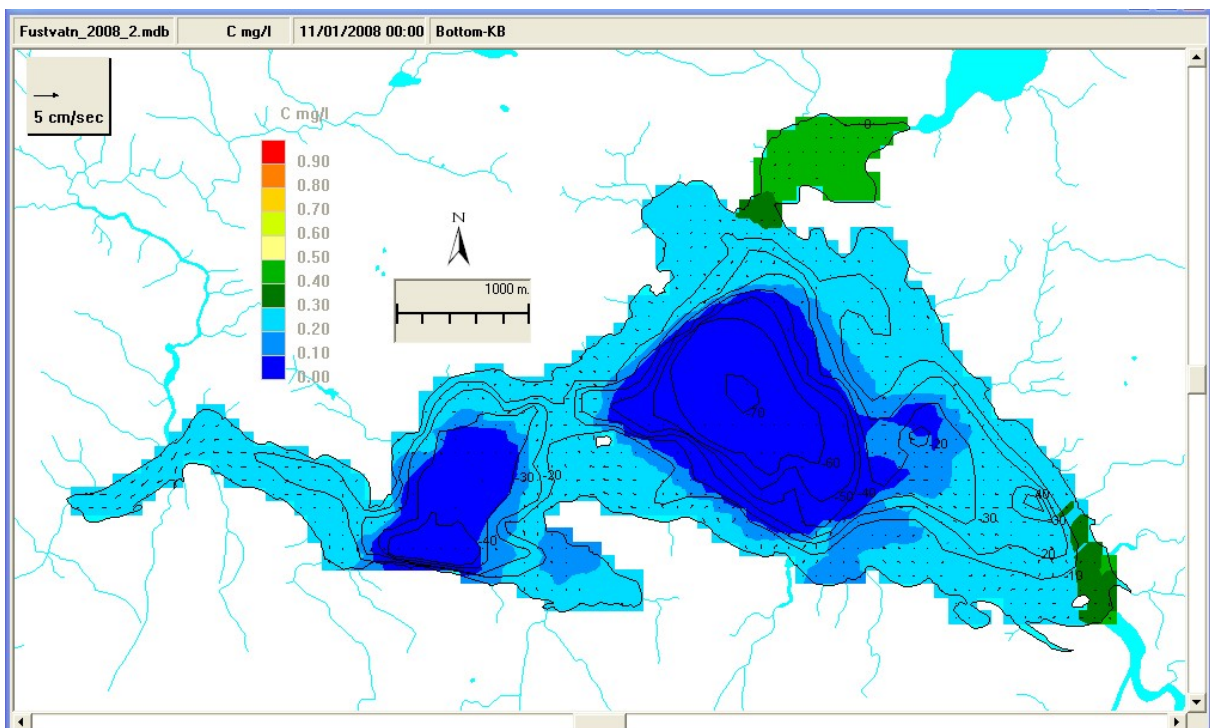
Figur 23. 1. oktober. Konsentrasjoner på overflaten. Kontinuerlig dosering i bekketilløpene fra 1. september av et konservativt stoff.



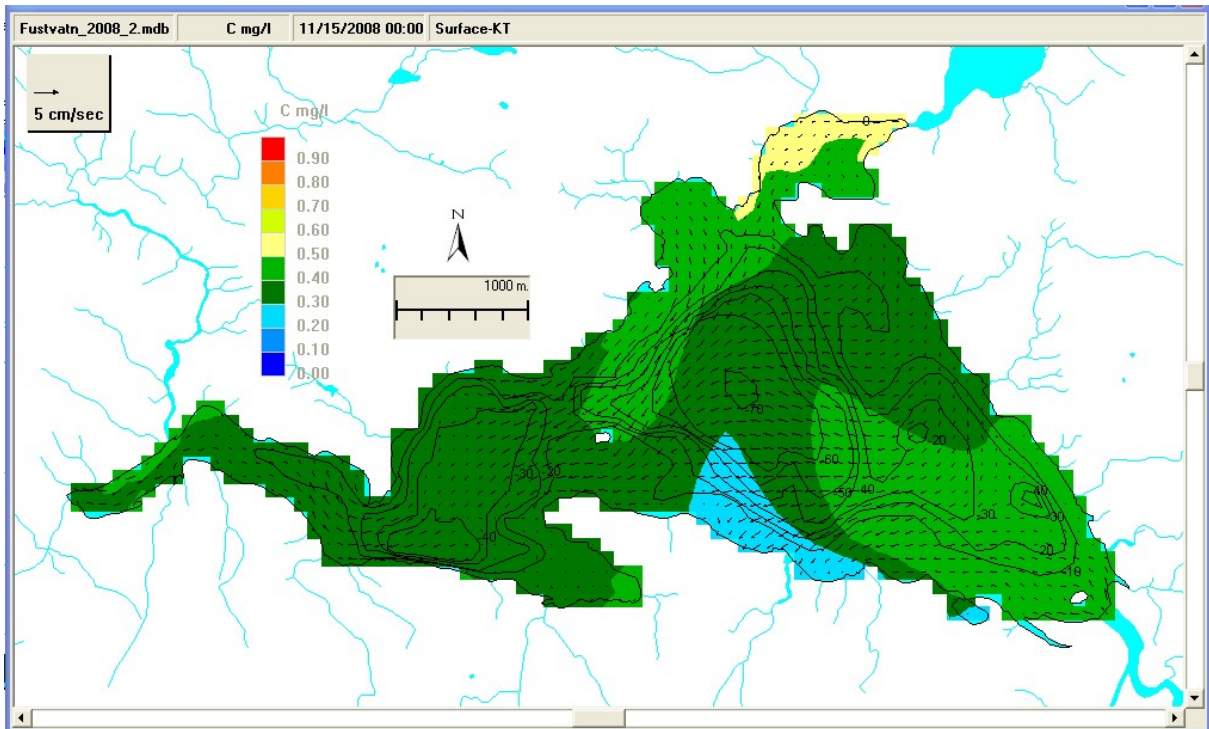
Figur 24. 1. oktober. Konsentrasjoner på bunnen.
Kontinuerlig dosering i bekketilløpene fra 1. september av et konservativt stoff.



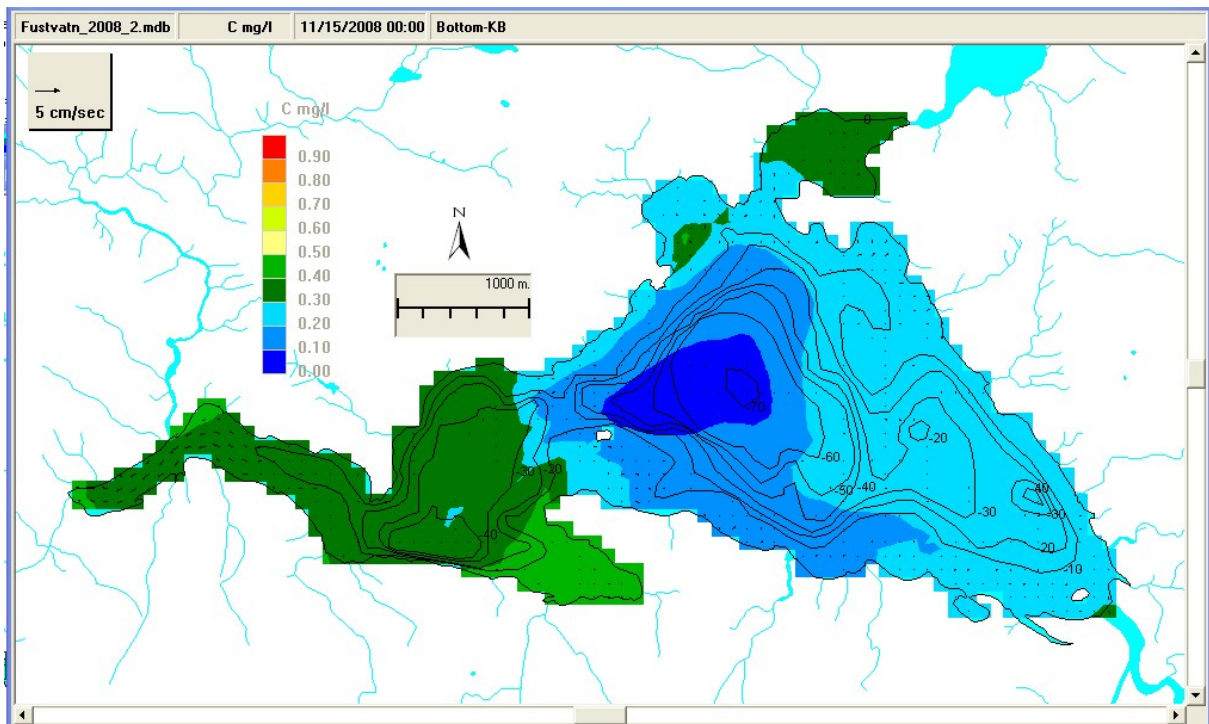
Figur 25. . 1. desember. Konsentrasjoner på overflaten.
Kontinuerlig dosering i bekketilløpene fra 1. september av et konservativt stoff.



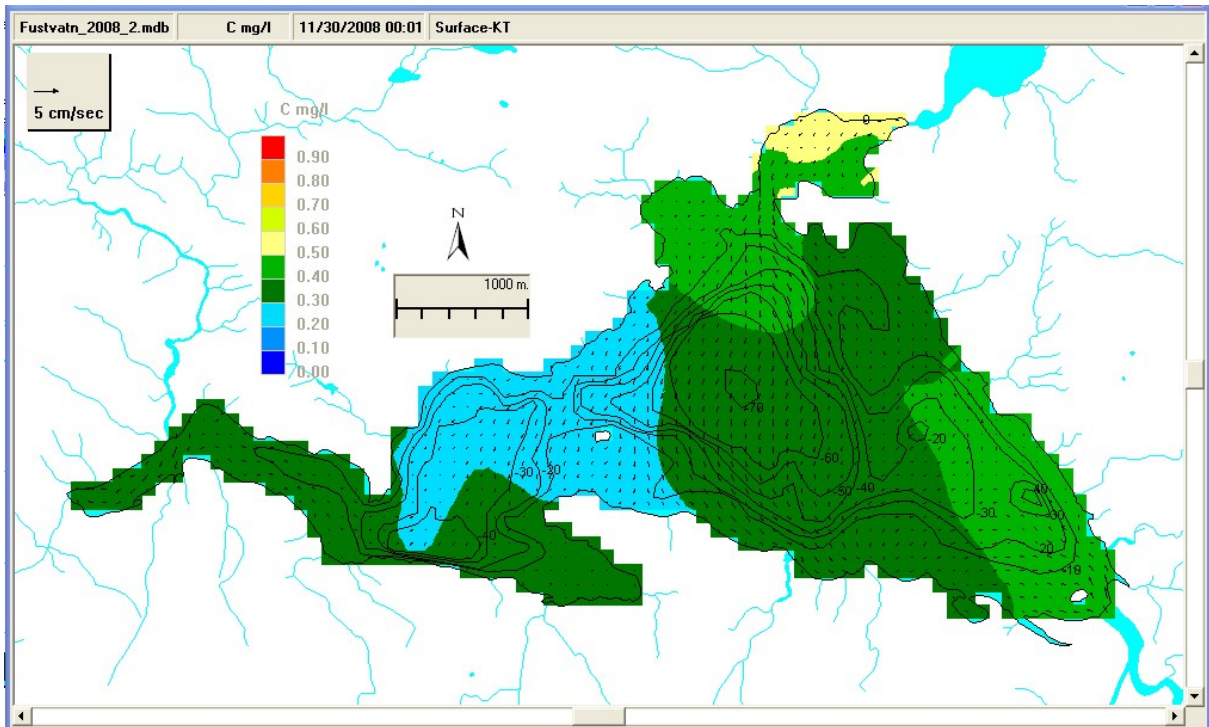
Figur 26. 1. november. Konsentrasjoner på bunnen.
Kontinuerlig dosering i bekketilløpene fra 1. september av et konservativt stoff.



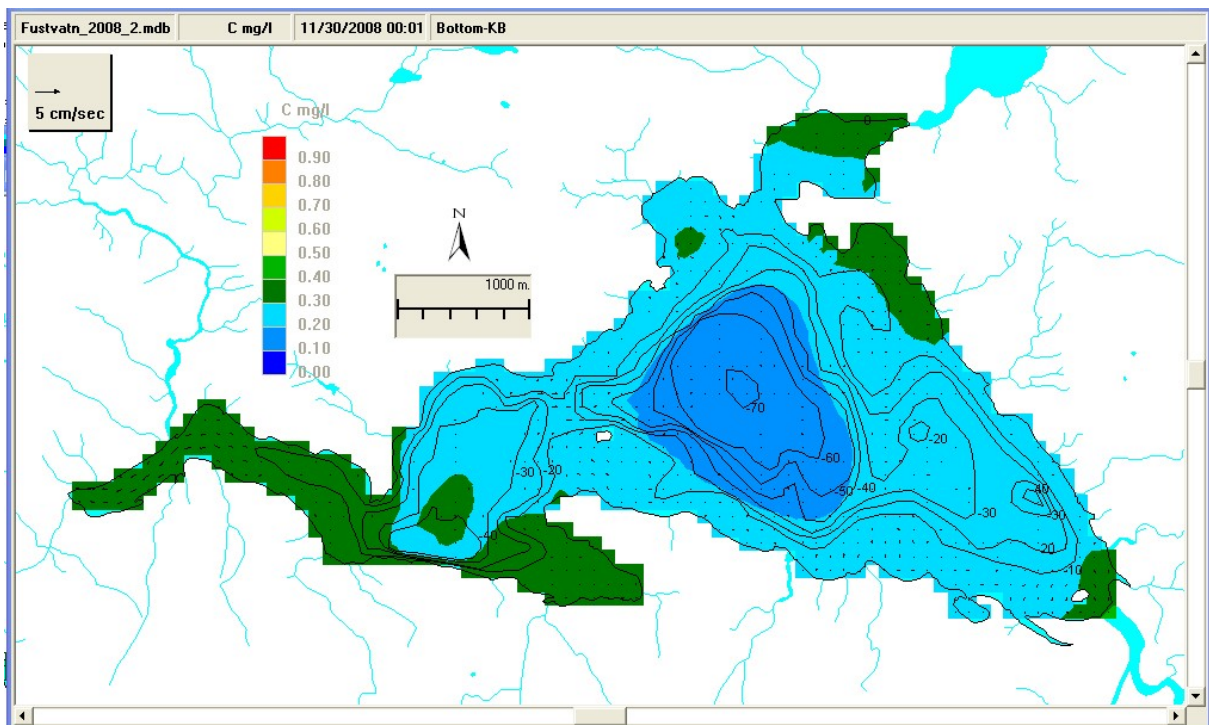
Figur 27. 15. november. Konsentrasjoner på overflaten.
Kontinuerlig dosering i bekketilløpene fra 1. september av et konservativt stoff.



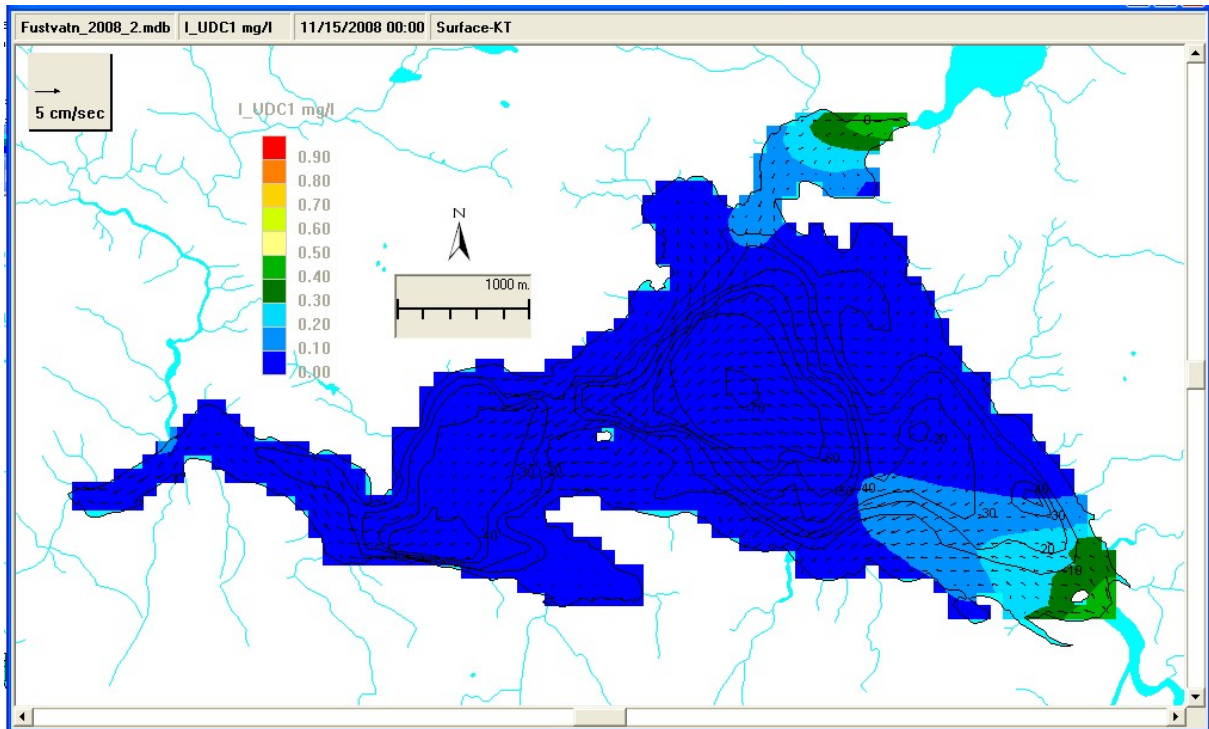
Figur 28. 15. november. Konsentrasjoner på bunnen.
Kontinuerlig dosering i bekketilløpene fra 1. september av et konservativt stoff.



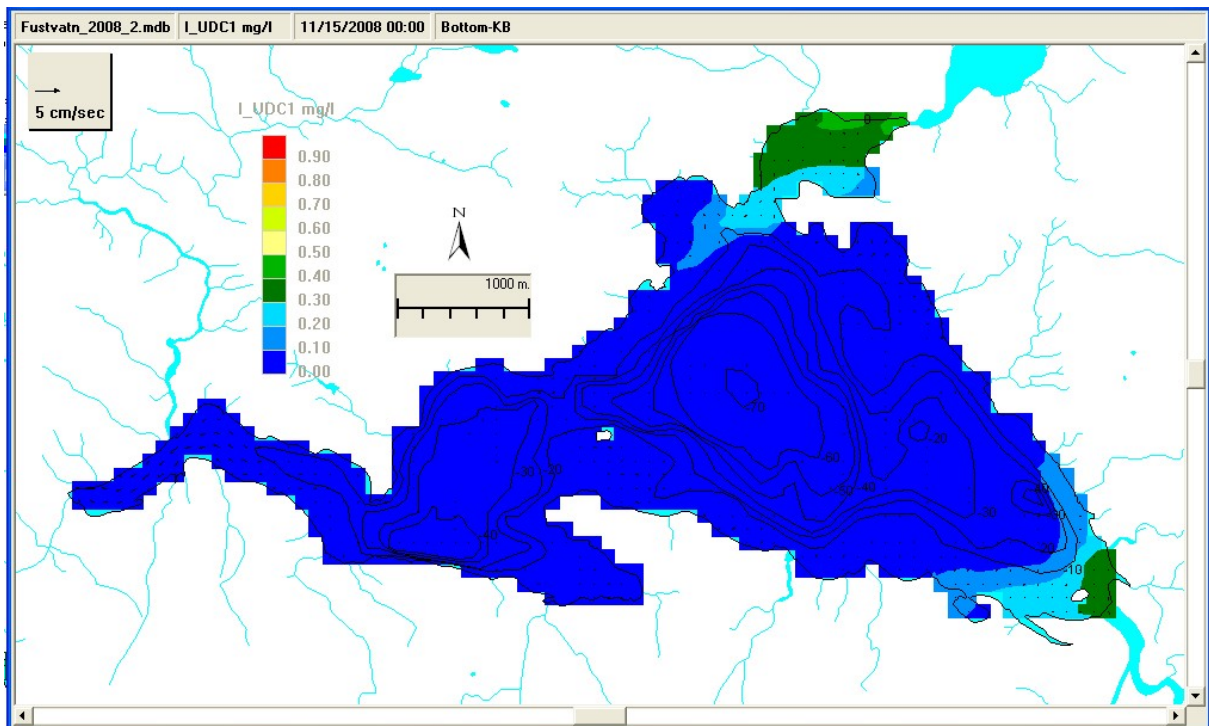
Figur 29. 30. november. Konsentrasjoner på overflaten.
Kontinuerlig dosering i bekketilløpene fra 1. september av et konservativt stoff.



Figur 30. 30. november. Konsentrasjoner på bunnen.
Kontinuerlig dosering i bekketilløpene fra 1. september av et konservativt stoff.



Figur 31. 15. november. Konsentrasjoner på overflaten.
Kontinuerlig dosering i bekketilløpene fra 1. september av 5 % rotenonholdig væske med svintrate.



Figur 32. 15. november. Konsentrasjoner på bunnen.
Kontinuerlig dosering i bekketilløpene fra 1. september av 5 % rotenonholdig væske svintrate.

4. Diskusjon og konklusjoner

I simuleringene benyttet vi en 5 % rotenonholdig væske. Målet var å dosere slik at konsentrasjonen av denne væsken ble minst 0,5 mg/l i hele innsjøen samtidig. Dette utgjør 120 tonn. Grenseverdien tilsvarer en konsentrasjon av ren rotenon på 25 ug/l.

I løpet av sommeren utviklet det seg et sprangsjikt som motvirker vertikal blanding. Utover høsten ble det vertikal sirkulasjon i vannmassene til stadig større dyp. I første halvdel av november var det full sirkulasjon mellom overflate og bunn. Det var først i slutten av oktober at dosert væske i særlig grad ble vertikalt blandet. Etter islegging i andre halvdel av november reduserte denne vertikale sirkulasjonen. Islegging setter også begrensninger for hvor sent på året vi kan dosere fra båt.

Det er nødvendig å dosere i fra båt. Dette for spesielt å oppnå tilstrekkelig høye konsentrasjoner på dypt vann. I scenariene ble det dosert ca. 170 tonn i løpet av ett døgn.

I følge simuleringene var dosering 1. desember meget gunstig pga. god vertikal sirkulasjon og god horisontal blanding. I praksis vil det være vanskelig å treffe det optimale tidspunktet med hensyn til sirkulerende vannmasser. Den horisontale blandingen er vindavhengig og følgelig uforutsigbar. Dosering 15. oktober var mindre gunstig, fortrinnsvis pga. vind. Der er gunstig med vind for å blande dosert stoff. Imidlertid kan føre til store vertikale forflytninger av vann og stoff, særlig langs land, og føre til store horisontale konsentrasjonsendringer i løpet av noen timer. Dvs. at en eksisterende horisontal konstant konsentrasjonsfordeling kan fort bli betydelig ujevn. Vi oppnådde tilfredsstillende konsentrasjonsfordeling ved dosering 15. oktober. Det var da svakt utviklet sprangsjikt. Dosering ved et mer sterkt utviklet sprangsjikt som 1. september krever en tettere kjørerute for det doserende fartøyet pga. lavere spredningshastigheter på dypt vann.

Den hydrologisk best egnede perioden synes å være siste halvdel av oktober og første del av november. I annen halvdel av november kan man forvente islegging. Dette fører til redusert vertikal blanding og praktiske problemer med å dosere fra båt.

For å motvirke at vedvarende sterke vinder forårsaker store horisontale konsentrasjonsforskjeller, er det gunstig å dosere samtidig fra overflate til bunn. Det vil også være gunstig å dosere hele innsjøen raskt.

Det synes nødvendig å kunne måle konsentrasjonene i innsjøen for å gjøre supplerende doseringer, for eksempel dagen etter hoveddoseringen. Det vil være gunstig å benytte et sporstoff hvor konsentrasjonene enkelt lar seg måle i felt som mål for rotenon.

En supplerende strategi til å dosere i selve innsjøen fra båt er å dosere over lengre tid i tilløpselvene. Dosering av 90 tonn via elvene i 3 måneder fra 1. september førte til en jevn horisontal fordeling. Hovedandelen ble jevnt fordelt i overflatelaget (0-12 m), som utgjør ca. halvdel av innsjøens volum. Vi kan oppnå temmelig forutsigbare konsentrasjoner der med denne metoden. Dermed har vi et godt utgangspunkt for en ekstra innsats med dosering i selve innsjøen på et egnet tidspunkt. Ved dosering fra båt vil det som nevnt være vanskelig å oppnå en jevn fordeling over innsjøen. Dermed får vi i større grad områder med for høye konsentrasjoner og andre steder med for lave konsentrasjoner.

Ved en slik langvarig dosering via tilløpsbekkene kan vi ta hensyn til eksisterende konsentrasjoner når vi utfører dosering fra båt. Bekkedoseringen kan hovedsakelig dekke den øverste halvdel av innsjøen og båtdoseringen resten.

Dersom rotenon reduseres betydelig med tiden, blir langvarige dosering via bekketilløpene betydelig mindre effektiv. Vi er usikre på i hvilken grad rotenon inngår i nedbrytende prosesser. Det betyr at det er viktig å undersøke dette nærmere.

Vi har utført en del scenarier for behandling av Fustvatn. Ved en reell behandling vil Fustvatn ses i sammenheng med hele Fustvassdraget, inkludert tre andre innsjøer med betydelig størrelse. For eksempel vil tilførselene fra Mjåvatn påvirke Fustvatn.

Vi har her presentert en del scenarier. Det kan være vanskelig å fastslå en optimal strategi. Det er neppe formålstjenlig på det nåværende tidspunktet å lage nye scenarier med ulike kjøreruter i innsjøen og varierende doseringsmengder. Vi mener at scenariene gir innsikt i hvordan ulike behandlingsstrategier kan virke. Dette kan danne grunnlag for eksperter med innen hydrologi, gyrobehandling, fisk, praktisk dosering mm. å anbefale en behandlingsstrategi og eventuelt iverksette arbeid med å gjøre utfyllende scenarier.

Konklusjoner

I følge simuleringene er det mulig å oppnå tilfredsstillende konsentrasjoner i hele innsjøen.

Det er nødvendig å dosere i fra båt, dette for spesielt å oppnå tilstrekkelig høye konsentrasjoner på dypt vann. Det kan være gunstig å kombinere dosering fra båt med dosering i bekketilløpene over lang tid. Dette er avhengig av hvor raskt rotenon nedbrytes i innsjøen.

Vi oppnådde best resultat ca. en uke etter dosering 1. november. Det var en solid vertikal sirkulasjon i vannmassene. Det ble også tilfredsstillende simulert behandling ved dosering 15. oktober. Det var da et et svakt utviklet sprangsjikt. Dosering i andre halvdel av november kan bli problematisk pga. islegging.

I scenariene ble det dosert ca. 170 tonn i løpet av ett døgn.

Vi har forutsatt at alle tilførsler hadde tilfredsstillende konsentrasjon. Vi har dermed sett bort i fra eventuelle problemer med lommer av rent vann som følge av små tilsig og grunnvann.

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 samfunsliv.



Norsk institutt for vannforskning

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