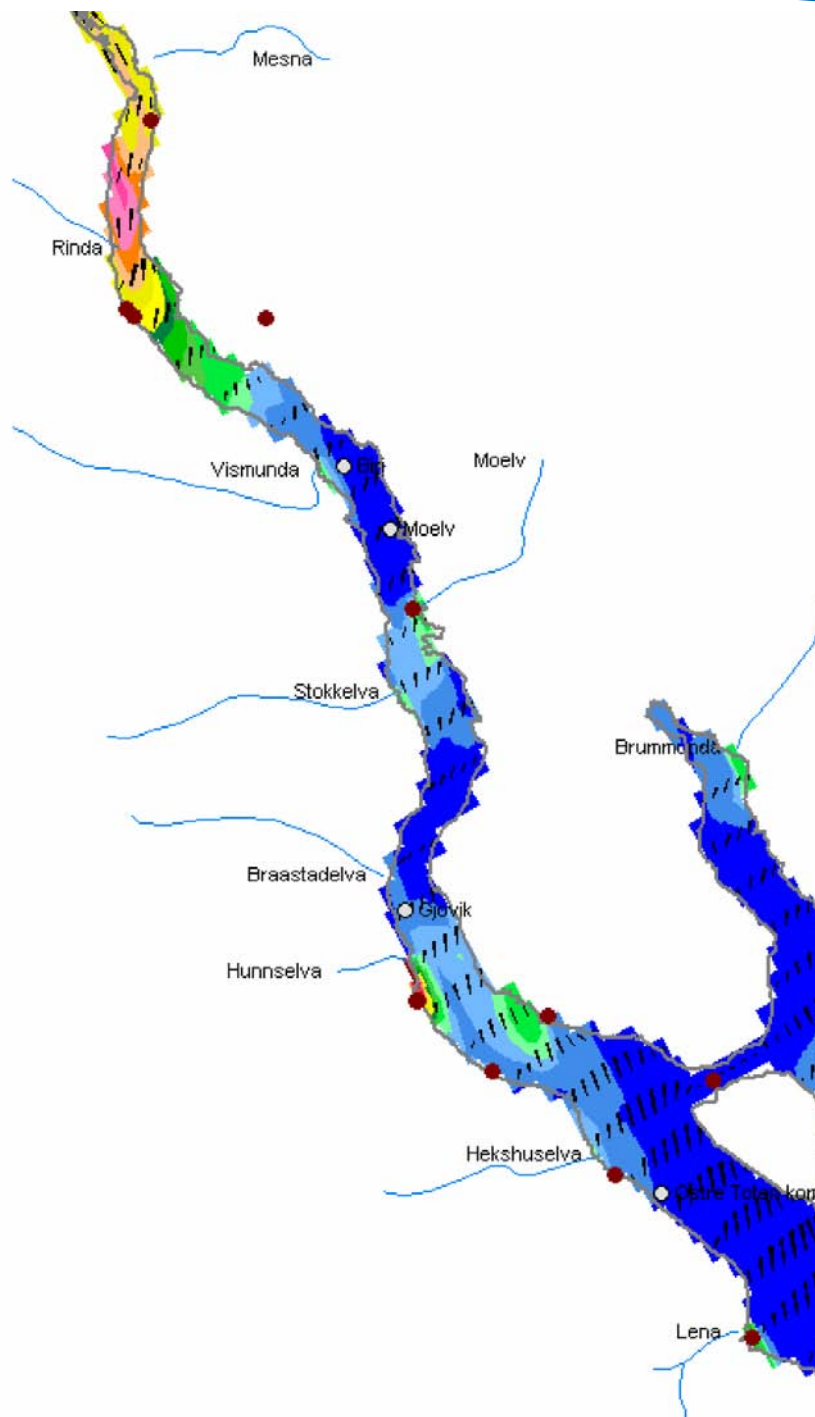


Sårbarhetsanalyse av vanninntakene til de kommunale vannverkene i Mjøsa: Biri, Moelv, Gjøvik og Østre Toten

Stimulering av bakteriologiske forhold ved bruk av strøm- og spredningsmodeller



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

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

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Postboks 2026
5817 Bergen
Telefon (47) 2218 51 00
Telefax (47) 55 23 24 95

NIVA Midt-Norge

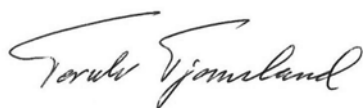
Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Sårbarhetsanalyse av vanninntakene til de kommunale vannverkene i Mjøsa: Biri, Moelv, Gjøvik og Østre Toten Simulering av bakteriologiske forhold ved bruk av strøm- og spredningsmodeller	Løpenr. (for bestilling) 5610-2008	Dato
	Prosjektnr. Undernr. 28058	Sider Pris 58
Forfatter(e) Torulv Tjomsland og Ingun Tryland	Fagområde Drikkevann	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Oppland	Trykket CopyCat

Oppdragsgiver(e) Gjøvik kommune og Østre Toten kommune	Oppdragsreferanse Svein Bakken
---	-----------------------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Målet var å vurdere i hvilken grad ulike forurensende utslipp, med vekt på bakterier, påvirket drikkevannet til følgende kommunale vannverk som har inntak i Mjøsa: Biri, Moelv, Gjøvik og Østre Toten. Dette ble gjort ved bruk den matematiske strøm- og spredningsmodellen GEMSS.</p> <p>For simuleringer av dagens situasjon ble samtlige inntak lite påvirket. Inntaket til Biri vannverk ble mest utsatt for påvirkning fra Vismunda, Moelv og Moelv renseanlegg. Inntaket til Moelv vannverk ble mest utsatt for påvirkning fra Vismunda, Moelv renseanlegg, Moelv og Stokkeva. Inntaket til Gjøvik vannverk ble mest utsatt for påvirkning fra Hunnselva, Rambekk renseanlegg, Moelv renseanlegg og Bråstadelva. Inntaket til Østre Toten vannverk ble mest utsatt for påvirkning fra Hunnselva, Svartelva og renseanleggene Nes, Rambekk, HIAS og Kapp.</p> <p>Brudd på avløpsledningen til Rambekk renseanlegg ved Bråstadelva førte til overløp ved diverse pumpestasjoner nordfor. Kun vanninntaket til Moelv vannverk kan forventes å bli merkbart påvirket. Ved brudd på avløpsledningen ved Hunnselva ble kun vanninntaket til Gjøvik påvirket. Selv om bakterieinnholdet (<i>E. coli</i>) mesteparten av tiden kan forventes å bli lite, er det risiko for at konsentrasjonene kan bli nær 100 per 100 ml.</p>

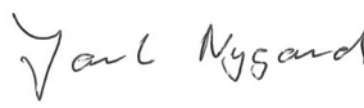
<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Vannverk Vannkvalitet Strøm- og spredningsmodeller Mjøsa 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Water work Water quality Current- and dispersion models Lake Mjøsa
--	--



Torulv Tjomsland
Prosjektleder



John Rune Selvik
Forskningsleder



Jarle Nygard
Fag- og markedsdirektør

Norsk institutt for vannforskning

Oslo

**Sårbarhetsanalyse av vanninntakene til
de kommunale vannverkene i Mjøsa:
Biri, Moelv, Gjøvik og Østre Toten**

Simulering av bakteriologiske forhold ved bruk av
strøm- og spredningsmodeller

Oslo, 30. april 2008

Prosjektleder: Torulv Tjomsland
Medarbeider: Ingun Tryland

Forord

Arbeidet er utført av Norsk institutt for vannforskning etter oppdrag for Gjøvik kommune og Østre Toten kommune.

Prosjektet har blitt justert underveis per telefon og arbeidsmøter med oppdragsgivere. Vi takker spesielt Svein Bakken, som har vært kontaktperson for oppdragsgiverne, for innsamling av data fra lokale instanser og for inspirerende og nyttig samarbeid.

Ingun Tryland har bidratt med en generell vurderinger av hygieniske forhold. Torulv Tjomsland har utført simuleringene. Hovedresultatene er presentert i denne rapporten. I tillegg er det laget en CD med en rekke animasjoner av ulike strøm- og spredningsforløp.

Oslo, 30. april 2008

Torulv Tjomsland

Innhold

Sammendrag	5
Innledning	5
Scenarium 2: Brudd på kloakkledningen ved Hunnselva	7
Scenarium 3: Partikkel transport fra Bråstadelva	7
1. Innledning	8
1.1 Mål	8
1.2 Metode	8
1.3 Områdebeskrivelse og data	9
2. Simuleringsresultater	12
2.1 Generelle hydrodynamiske- og bakteriologiske forhold Mjøsa	12
2.2 Hva kan avløpsvann inneholde av bakterier og mikroorganismer og hvor mye kan tolereres	15
Indikatorbakterier og sykdomsfremkallende mikroorganismer i avløpsvann	16
2.3 Simulering av dagens forhold	18
2.3.1 Simuleringer for august	18
2.3.2 Simuleringer for desember	19
2.3.3 Oppsummering	19
2.4 Hvor representative er simuleringene	20
3. Scenarier	42
3.1 Scenarium 1: Brudd på rørledningen ved Bråstad	42
3.2 Scenarium 2: Brudd på kloakkledningen ved P1, P2 og Hunnselva	49
3.3 Scenarium 3: Partikkel transport fra Bråstadelva	55
4. Referanser	57

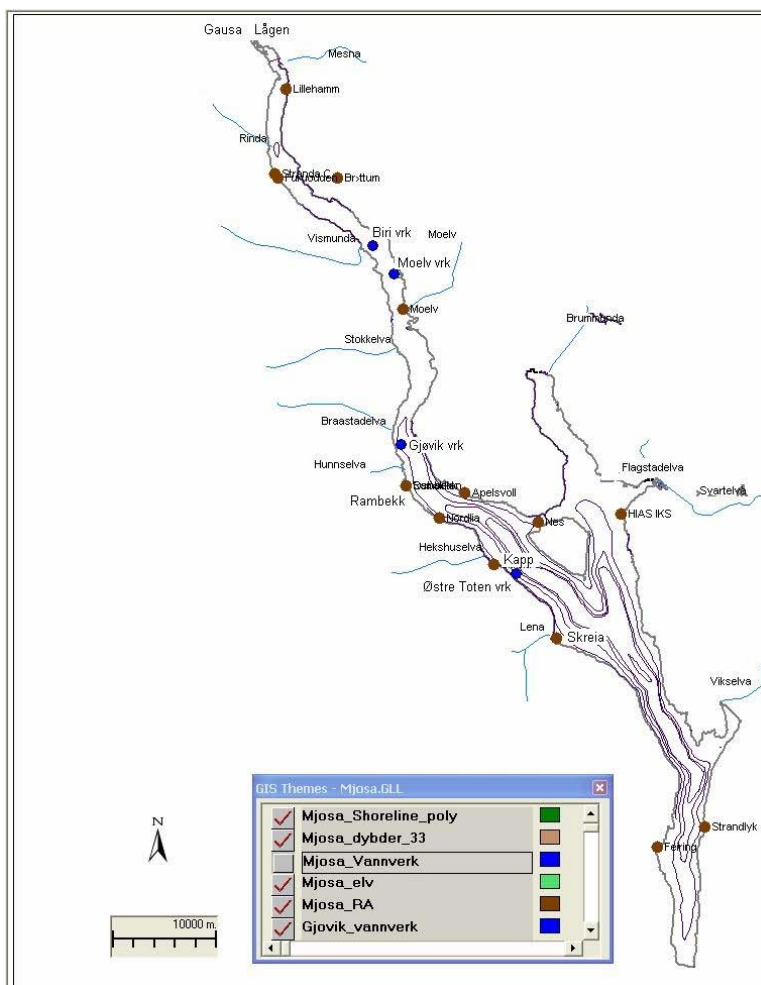
Sammendrag

Innledning

Målet var å vurdere i hvilken grad forurensende utslipp påvirket drikkevannet til følgende kommunale vannverk som har inntak i Mjøsa: Biri, Moelv, Gjøvik og Østre Toten. Det skulle gis en beskrivelse av mulig forurensning ved brudd på kloakkledningen til Rambekk renseanlegg. Det skulle legges vekt på spredning av bakterier, men også tas hensyn til stoffer med konservative egenskaper som kan representere patogener og toksiske stoffer. I tillegg var det spørsmål om mulig påvirkning av vanninntaket til Gjøvik vannverk av partikler fra Bråstadelva.

Vi benyttet den 3-dimensjonale modellen GEMSS. Modellen beregner strøm, temperatur og konsentrasjon av stoffer med ulike egenskaper, inkludert bakterier. Modellen beregner hva som skjer i Mjøsa ut fra kjent klima, vannføring, vanntemperatur og stoffkonsentrasjon i tilløp, vannføring i utløp og vanninntak. Resultatene ble beregnet skrittvis fremover i tid.

Modellen/modellpakken er utviklet av ERM's Surfacewater Modeling Group i Exton, Pennsylvania, USA.



Oversiktskart

Modellen ble først kjørt for ”dagens” forhold. Deretter ble det laget scenarier for mulige fremtidige utslipp. Desember representerer en periode med vertikal sirkulasjon i vannmassene pga. klimatisk avkjøling av overflatelaget til temperaturer nær 4 °C. Dette er følgelig en periode hvor den vertikale transporten er størst og vanninntakene nær bunnen er mest utsatt for påvirkning av forurensninger som blir tilført i overflatelagene. Simuleringene ble følgelig konsentrert om denne perioden.

Dagens forhold

Vi har forsøkt å gi en samlet fremstilling av alle simuleringresultatene i tabellen nedenfor. Tabellene viser maksimum påvirkning av vanninntakene av *E. coli* i desember 2006. Tabellene gir også informasjon om maksimum påvirkning fra hver enkelt kilde. Alle konsentrasjonene tilhørte vannkvalitetsklasse 1. Meget god. Kun Moelv vannverk ble jevnlig påvirket, og da med konsentrasjoner innen klasse 1 meget god. Kilden for denne jevnlige påvirkningen var Moelv renseanlegg.

Simulering gjennom flere år ville sikkert ha fått med flere spesielle forhold som ville gitt endrede resultater. Oppsummeringstabellene gir likevel rimeligvis riktig størrelsesorden. Dersom tilførselskildene øker eller avtar i størrelse, kan tabellen nyttes til å skalere effekten på aktuelle inntak. For eks. om Moelv renseanlegg var ute av drift slik at tilførselene økte 10 ganger, vil påvirkningen på hvert av anleggene også øke 10 ganger.

Resultatene gir detaljerte konsentrasjoner i hele innsjøen. Vi understreker at de simulerte verdiene ikke må betraktes som absolutt riktige, men at de representerer reelle forhold og bør være godt egnet til å ta beslutninger om mulige tiltak.

Maksimum forventet konsentrasjon av *E. coli* (/100 ml)

Vannverk	Maksimum til vannverk	Maksimum bidrag fra hver elv													
		Mesna	Laagen	Rinda	Vismunda	Moelv	Stokkelva	Braastadelv	Hunnselva	Hekshuse	Lena	Flaggstade	Svartelva	Vikselva	Brummund
Biri	6	0.03	0.42	0.04	5.27	1.59	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Moelv	8	0.00	0.01	0.00	3.45	2.45	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gjøvik	20	0.00	0.01	0.00	0.04	0.18	0.31	0.46	16.70	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Østre_Toten	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.05	0.03	0.17	0.37	0.00	0.05

Vannverk	Maksimum til vannverk	Maksimum bidrag fra hvert av renseanleggene										
		Lillehamm.	Brøttum	Moelv	Rambekk	HIAS IKS	Nes	Nordlia	Kapp	Skreia	Feiring	
Biri	6	0.30	0.20	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Moelv	8	0.01	0.05	2.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gjøvik	20	0.01	0.00	0.48	5.03	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Østre_Toten	3	0.00	0.00	0.00	0.46	0.41	0.66	0.01	0.47	0.05	0.00	0.00

Scenarium 1: Brudd på kloakkledningen ved Bråstadelva

Vi antok et brudd på kloakkledningen ved Bråstad. Kloakken fra og med Bråstad og nordover rant ut i Mjøsa ved pumpestasjonene

Vanninntaket ved Moelv ble i blant noe påvirket med verdier omkring 20 *E. coli* per 100 ml. De andre vanninntakene syntes ikke å bli påvirket. Dvs. at kun Moelv vanninntak, som normalt blir mest påvirket av utslipp fra Moelv renseanlegg, kan forventes å få merkbart verre forhold enn ved normale forhold.

Scenarium 2: Brudd på kloakkledningen ved Hunnselva

Lekkasjene skjer nær Hunnselvas utløp. Scenariet omfatter den delen av tilførselene til Rambekk renseanlegg som ikke inngikk i scenarieum 1, dvs. omfatter tilførselene sør for Bråstadelva.

Overflatevannet nær lekkasjepunktene ble ifølge simuleringene betydelige forurenset. Avhengig av vindretningen ble grensen for godt badevann (100 per 100 ml) overskredet i en avstand på nær 10 km. Utslippene trengte først og fremst mot dypere vannlag langs land nær utslippet. Ved transport utover støtte det mot land på østsiden og dukket nedover mot dypt vann der.

Mesteparten av tiden ble vanninntaket til Gjøvik lite påvirket, under 5 *E. coli* per 100 ml. De høyeste simulerte konsentrasjonene var 30 *E. coli* per 100 ml. De skarpe konsentrasjonsgradienten gjorde at det skulle små forskyvninger til for å komme opp i konsentrasjoner nær 100 *E. coli* per 100 ml.

Scenarium 3: Partikkel transport fra Bråstadelva

I følge scenariet vil vanninntaket til Gjøvik vannverk bli betydelig påvirket av siltholdig slam fra Bråstadelva.

Det ble ved en anledning observert høye partikkelkonsentrasjoner i vanninntaket til Gjøvik vannverk. I den samme perioden ble det utført gravearbeid ved utløpet av Bråstadelva slik at elva ble slamholdig. Vi har ikke nok opplysninger om mengde suspendert stoff, kornstørrelse osv. til gi konkrete utsagn om den omtalte episoden. Hensikten med scenariet er kun å si at det er sannsynlig at dette kan være tilfelle.

Scenariet gjaldt påvirkning fra Bråstadelva på drikkevannsinntaket til Gjøvik vannverk. Det samme forholdet gjelder rimeligvis også for stor partikkeltransport fra Hunnselva, og fra elver i nærheten av vannverk generelt.

1. Innledning

1.1 Mål

Målet var å vurdere i hvilken grad forurensende utslipp påvirket drikkevannet til følgende kommunale vannverk som har inntak i Mjøsa: Biri, Moelv, Gjøvik og Østre Toten. Videre skulle det gis en beskrivelse av mulig forurensning i Mjøsa ved brudd på kloakkledningen til Rambekk renseanlegg. Det skulle legges vekt på spredning av bakterier, men også tas hensyn til stoffer med konservative egenskaper som kan representere patogene og toksiske stoffer. I tillegg var det spørsmål om mulig påvirkning av Gjøvik vanninntak av partikler fra Bråstadelva.

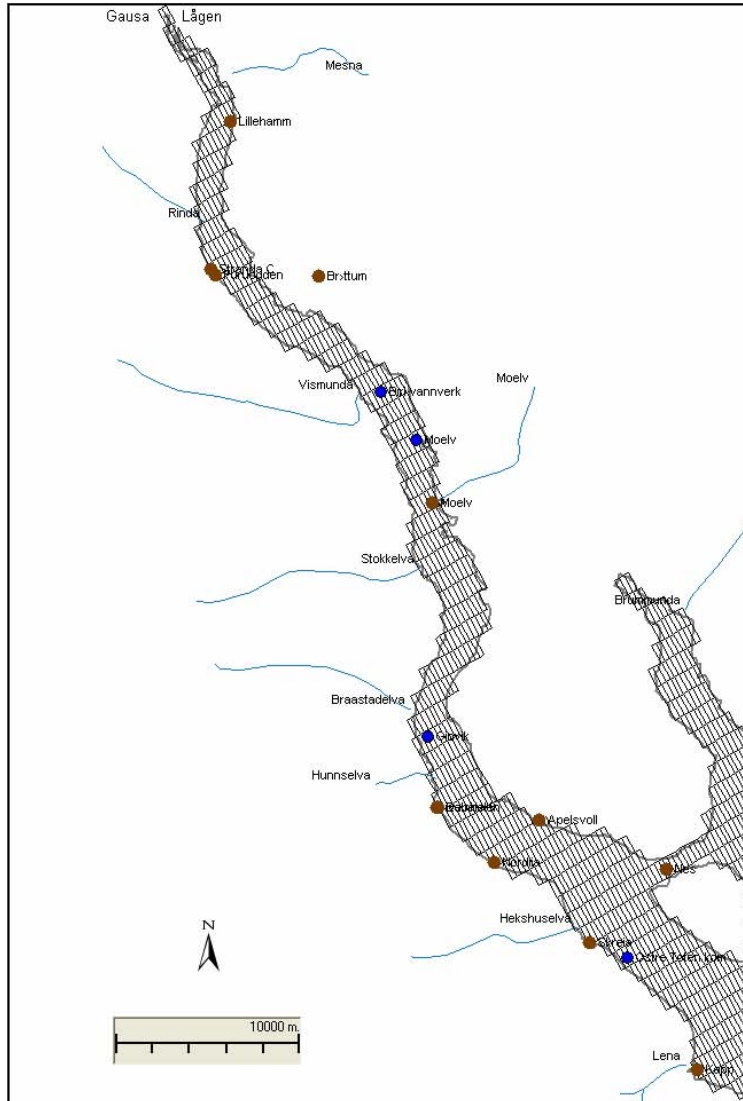
1.2 Metode

Vi benyttet den 3-dimensjonale modellen GEMSS. Modellen beregner strøm, temperatur, konsentrasjon av stoffer med ulike egenskaper, inkludert bakterier. Modellen beregner hva som skjer i Mjøsa ut fra kjent klima, vannføring, vanntemperatur og stoffkonsentrasjon i tilløp, vannføring i utløp og vanninntak. Resultatene ble beregnet skrittvis fremover i tid.

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.

Mjøsa ble delt inn i celler. I horisontalplanet var disse ca. 250 m x 1000 m, **Figur 1**, og i dybderetningen avgrenset av tenkte horisontale plan for hver meter i de øverste 30 meterne, deretter for hver 3. meter.

Modellen ble først kjørt for "dagens" forhold. Deretter ble det laget scenarier for mulige fremtidige utslipp.



Figur 1. Mjøsa ble delt inn i beregningsceller.

1.3 Områdebeskrivelse og data

Mjøsa har et overflateareal på 365 km². Utenfor Skreia er det dyp på 450 meter.

Plasseringen av aktuelle vannverk samt renseanlegg og tilløpselver som det ble tatt hensyn til er vist på **Figur 2**. De aktuelle kommunale vannverkene var Biri, Moelv, Gjøvik og Østre Toten, **Tabell 1**.

Konsentrasjon av *E. coli* i elvene som ble benyttet ved simuleringene er vist i **Tabell 2**. Verdiene er basert på sporadiske datainnsamlinger i noen av elvene av kommunale myndigheter og NIVA. De er valgt for å representere et høyt anslag/verste fall situasjon.

Karakteristiske data for de renseanleggene er vist i

Tabell 3. Aktuelle renseanlegg, karakteristiske data. Det er tatt hensyn til anlegg med midlere utslippsvannføring på over 1 l/s. Vi antok at utløpskonsentrasjonen for alle anleggene var 100 000 *E. coli* per 100 ml. Urenset avløp ble antatt å være 1 mill/100 ml. Dette er høye anslag innen normale verdier (Naturvårdsverket, 2002). Vi benyttet en decay koeffisient/dødsrate for *E. coli* på 0,7 per døgn. Dødsraten, som er avhengig av vanntemperaturen, fører til omtrent en halvering etter ett døgn og en reduksjon til 1/10 for hvert 5. døgn ved 20 °C. Ved 4 °C øker overlevelsessevnen til omtrent det dobbelte. Koeffisientene er ment å representere bakterier med gode overlevelsessegenskaper. For *E. coli* er konsentrasjonsfordelingen på et gitt tidspunkt først og fremst et resultat av tilførselene siste uke. Temperaturen på avløpsvannet i løpet av året har blitt registrert på HIAS. Disse temperaturene ble også benyttet for de andre renseanleggene.

Klimadata ble hentet fra den meteorologiske stasjonen på Kise på Neshalvøya nær renseanlegget Apelsvoll som er vist på kartet nedenfor. Vannføringer og vanntemperatur i Gudbrandsdalslågen kom fra NVEs databaser. Vanntemperaturene i de andre tilløpene ble funnet ved innledende simuleringer med modellen.

Tabell 1. Aktuelle vannverk, karakteristiske data

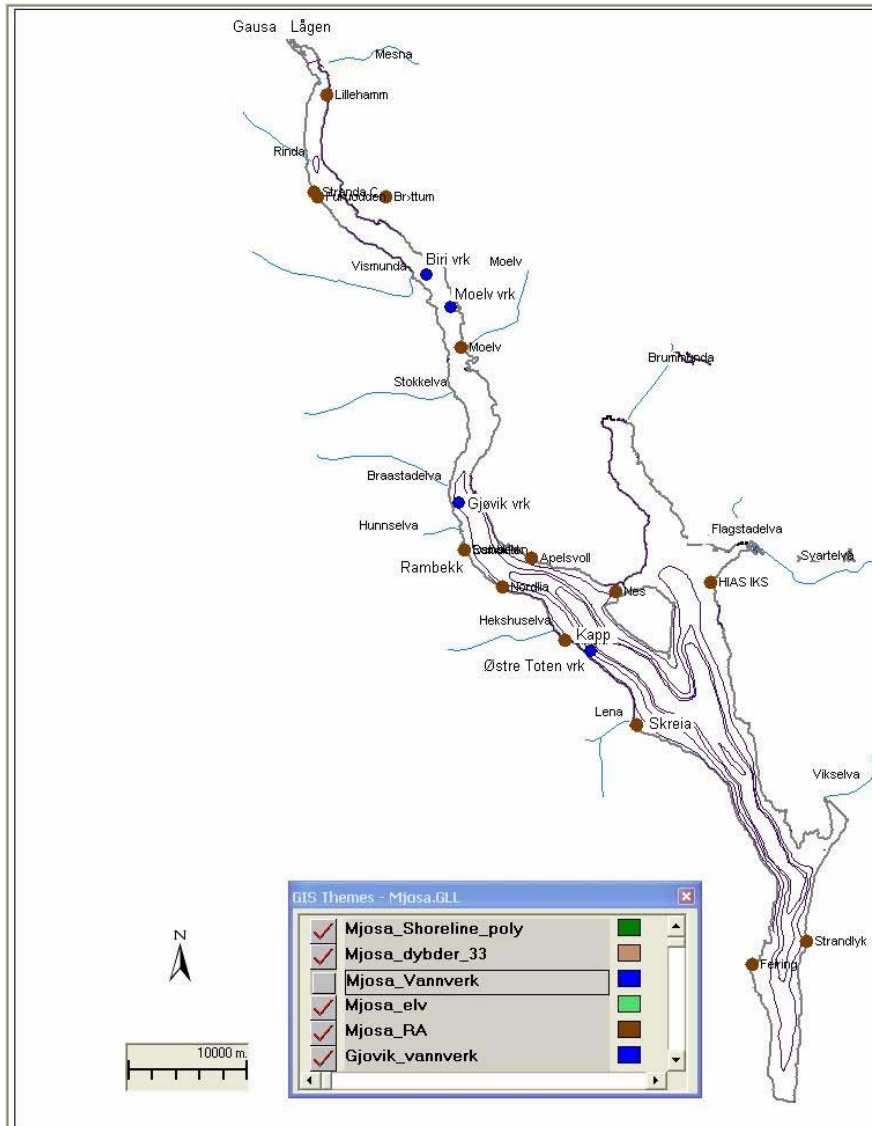
Vannverk	Inntaksdyp m	Vannf. l/s	Inntak_koordinater		
			UTM_E	UTM_N	UTM_sone
Biri vannverk	60	15	587912	6760828	32
Moelv	67	60	590000	6758253	32
Gjovik	195	150	592099	6742909	32
Ostre Toten kom	200	150	603655	6732194	32

Tabell 2. Antatt konsentrasjon i tilførselselvene

Elv	Kons. /100 ml
Mesna	200
Laagen	200
Rinda	200
Vismunda	200
Moelv	200
Stokkelva	200
Braastadelva	200
Hunnselva	2000
Hekshuselva	200
Lena	200
Flaggstadelva	1000
Svartelva	1000
Vikselva	200
Brummunda	200

Tabell 3. Aktuelle renseanlegg, karakteristiske data

Anlegg ID	Anlegg Navn	Kapasitet p.e.	Vannføring l/s	Dyp m	Anlegg		Utslipp		UTM_sone
					UTM_Ø	UTM_N	UTM_Ø	UTM_N	
0417AL04	HIAS IKS	75000	210	15	613216	6738581	612875	6738580	32
0501AL51	Lillehammer	70000	201	20	579000	6774400	578750	6774250	32
0502AL05	Rambekk	45000	163	7	592800	6739200	592900	6739200	32
0412AL20	Moelv	8500	30	20	591820	6755283	591851	6755427	32
0528AL71	Skreia	7500	14	5	607600	6726500	607800	6726620	32
0528AL48	Kapp	6200	6	18	601473	6732685	601605	6732775	32
0412AL42	Nes	5000	9	18	605084	6737630	605213	6737800	32
0528AL49	Nordlia	1500	4	5	596074	6736094	596246	6736614	32
0412AL41	Brøttum	750	2	18	584125	6766482	584125	6766668	32
0237AL80	Feiring	700	2	5	618700	6708400	618900	6708440	32



Figur 2. Det ble tatt hensyn til følgende vannverk, renseanlegg og elver.

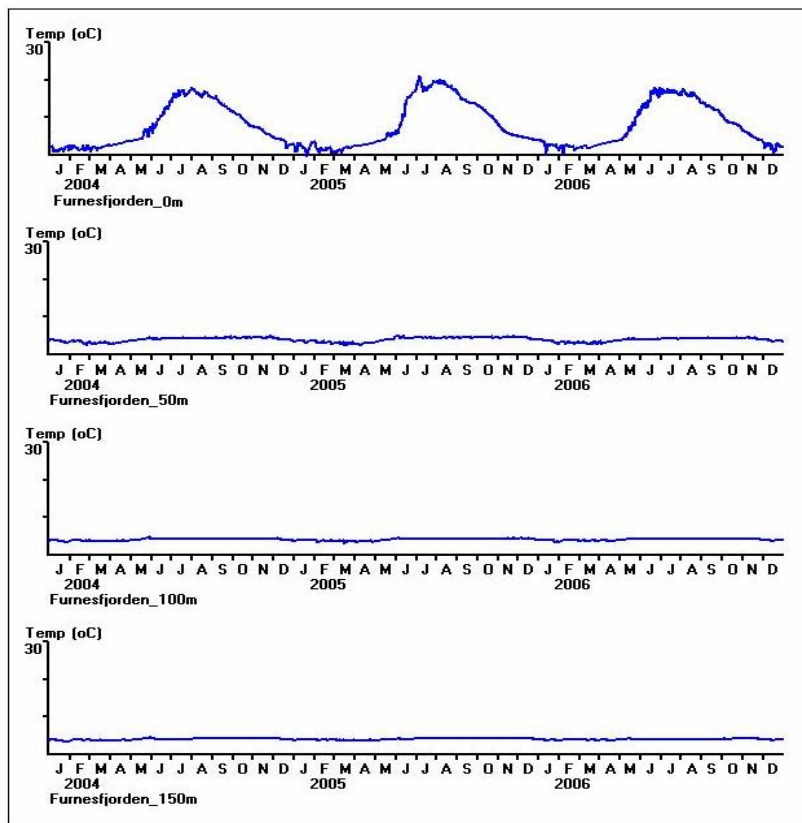
Klimadata er fra Kise meteorologiske stasjon som ligger nær Apelsvoll renseanlegg som er vist på kartet.

2. Simuleringsresultater

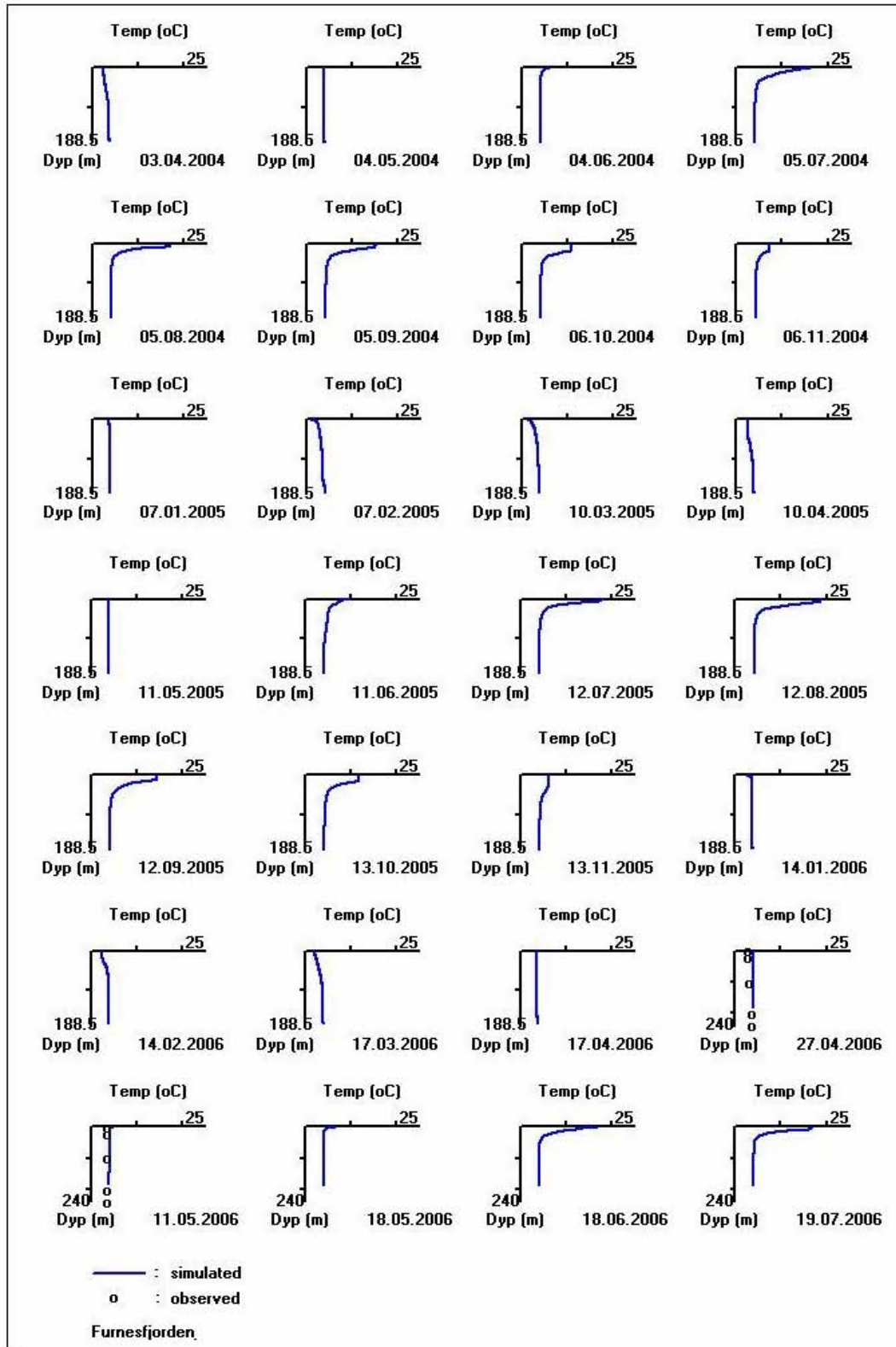
2.1 Generelle hydrodynamiske- og bakteriologiske forhold Mjøsa

Vi skal først studere simuleringsresultater som ble utført i forbindelse med strøm- og spredningssimuleringer i Mjøsa med vekt på Furnesfjorden (Tjomsland 2007).

Det er karakteristisk med varmt overflatevann om sommeren, **Figur 3** og **Figur 4**. De store tetthetsforskjellene i sprangsjiktet motvirker vertikale bevegelser. Ved avkjøling utover høsten vil overflatevannet avkjøles, bli tyngre, synke nedover og bli byttet ut med varmere vann på større dyp. Dermed får vi en sirkulasjon som øker i dybde inntil hele vannsøyle oppnår maksimal tetthet ved 4°C. Et svakere "sprangsjikt" finner sted om vinteren hvor kaldt vann danner et lettere overflatelag. Om våren øker lufttemperaturen, overflatevannet blir varmere og tyngre med påfølgende sirkulasjon inntil hele profilet igjen oppnår 4°C. Fortsatt oppvarming gir lettere vann og dannelse av et sprangsjikt. De sesongmessige vekslingene mellom sirkulasjon og stabile vannmasser er viktig bakgrunn for å forstå hvordan stoffer spres i innsjøen.

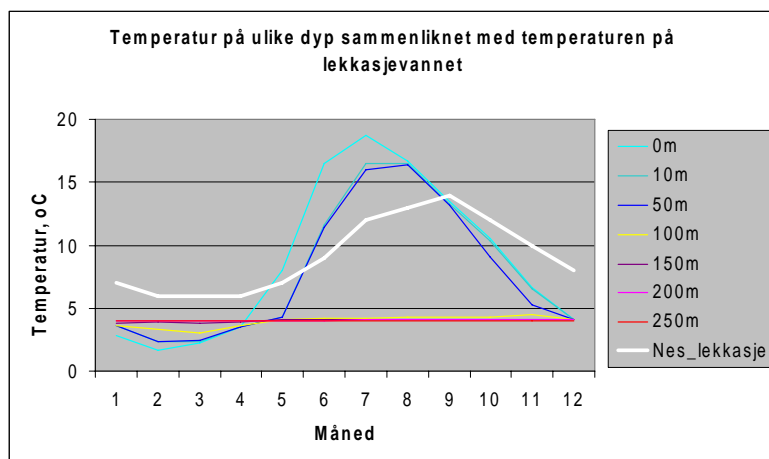


Figur 3. Simulert temperatur i Furnesfjorden ved Hamar. Temperaturen varierte i overflaten mellom 0 og 23 °C. Med økende dyp ble temperaturene hele året nær 4°C, som er den temperaturen hvor vannet har størst tetthet.

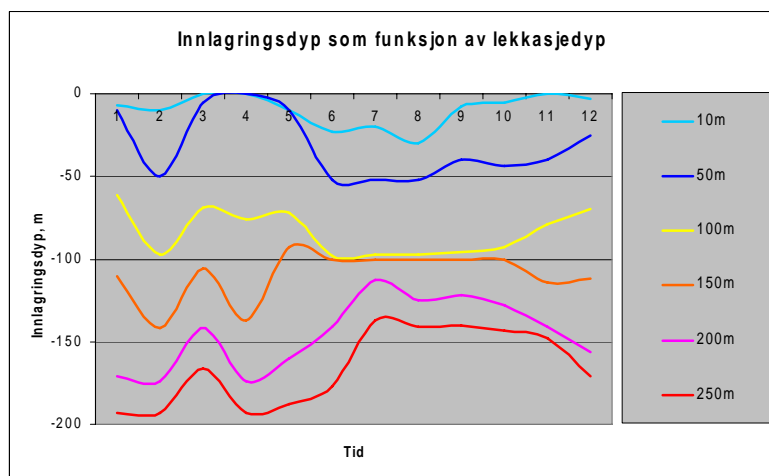


Figur 4. Simulert temperatur i Furnesfjorden ved Hamar.

Vannet i råvannet fra et renseanlegg ble antatt å ligge mellom 6 °C og 14 °C, **Figur 5** og **Figur 6**. Ved utslipp fra en rørledning vil dette stige oppover eller synke nedover samtidig som det stadig blandes med vann fra Mjøsa inntil det lagres inn der tetthetsforholdene er tilsvarende. Lekkasje på større dyp enn 100 m vil umiddelbart stige oppover hele året. For mindre dyp, hvilket er aktuelt for utslipp fra renseanlegg, vil lekkasjevannet i varierende grad synke nedover om sommeren og stige om vinteren.

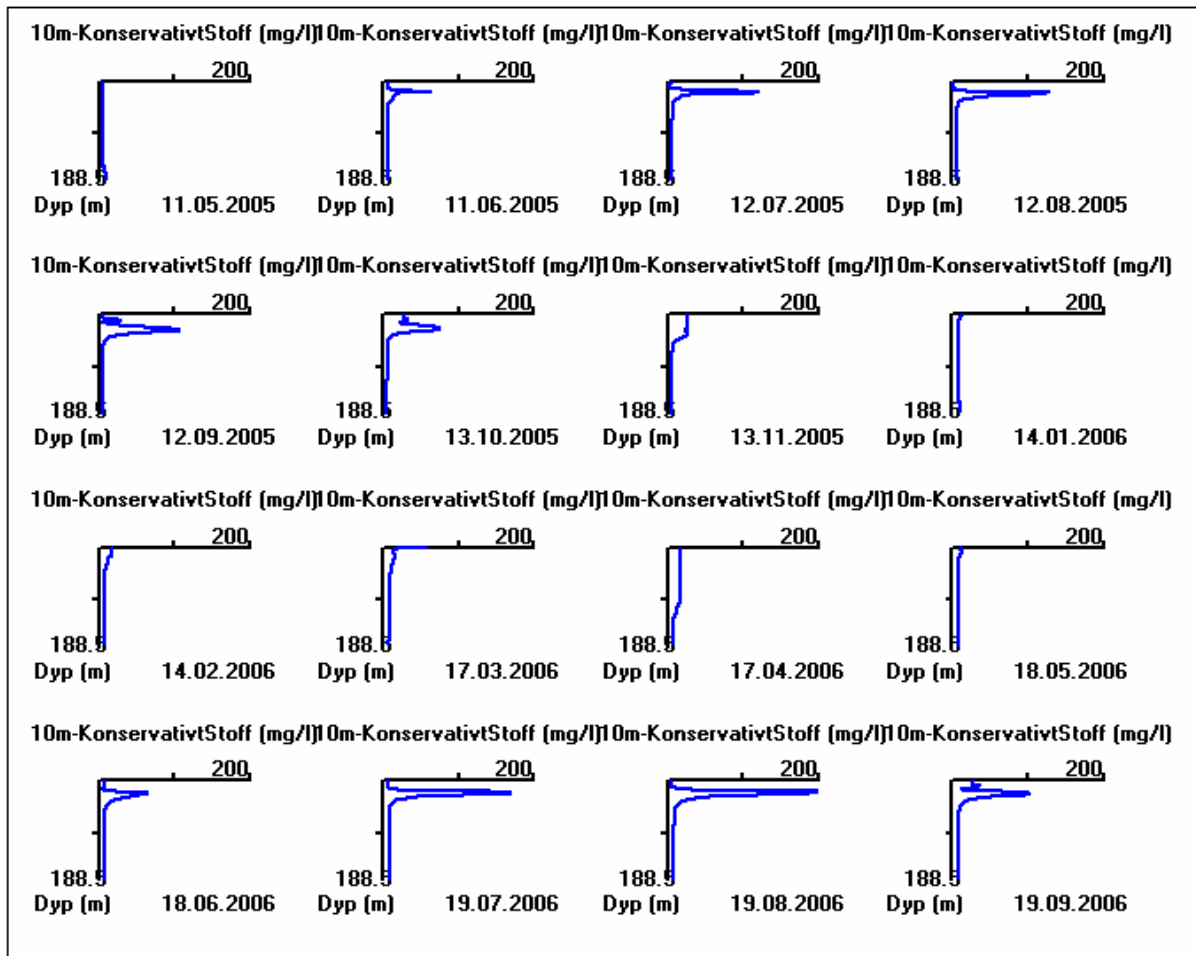


Figur 5. Temperatur i råvannet til HIAS renseanlegg sammenliknet med temperatur i ulike dyp i Mjøsa.



Figur 6. Innlagringsdyp i løpet av året av utslipp fra renseanlegg

En lekkasje på rørledningen vil praktisk talt umiddelbart lagres inn på et dyp, bestemt av strålens utforming og temperatur samt tetthetsforhold i innsjøen, før det spres videre med strømmene. **Figur 7** viser innlagringsdypet til utslippet ved ulike tenkte dyp. Kurvene er beregnet for en stråle ved å ta hensyn til temperaturkurvene i figuren ovenfor, vannføringen i rørledningen og rørledningens diameter. Lekkasjevann i overflaten vil synke ned om sommeren, for øvrig vil det være fare for innlagring i overflatelagene.



Figur 7. Simulerte konsentrasjoner av konservativt stoff i Furnesfjorden mellom Hamar og Nessundet ved utslipp fra renseanlegg på 10 meters dyp i samme område.

2.2 Hva kan avløpsvann inneholde av bakterier og andre mikroorganismer og hvor mye kan tolereres

Som bakgrunn for å vurdere simuleringresultatene gir vi her en oppsummering om bakterier og andre mikroorganismer i vann og toleransegrenser for ulik bruk av vannet. Selv om denne rapporten i hovedsak er rettet mot bakterier (*E. coli*) i tilknytning til drikkevann, vil vi også ta hensyn til andre mikroorganismer. I de senere årene er vi blitt klar over at norske drikkevannskilder kan inneholde parasitter som på grunn av lav infektiv dose representerer en betydelig risiko for vannbåren smitte dersom drikkevannet ikke har gjennomgått tilfredsstillende vannbehandling (parasittene inaktiveres ikke ved tradisjonell klorering, men UV-bestråling er effektivt). Utbruddet forårsaket av parasitten *Giardia* i Bergen i 2004, der over 1500 personer ble smittet, bekrefter dette. Vi har derfor også tatt med noen vurderinger rundt parasitter.

Indikatorbakterier og sykdomsfremkallende mikroorganismer i avløpsvann

Kommunalt avløpsvann inneholder mange ulike mikroorganismer (bakterier, virus og parasitter), både ufarlige mikroorganismer og mulig sykdomsfremkallende mikroorganismer. Ved overvåkning av drikkevann og badevann er det en umulig jobb å påvise alle typer sykdomsfremkallende mikroorganismer som potensielt kan være tilstede. I stedet analyserer man for ulike typer indikatororganismer. Dette er mikrober som finnes i store mengder i all avføring fra mennesker og dyr, og som har varierende overlevelsestid i vann. *Escherichia coli* (*E. coli*) har forholdsvis kort overlevelsestid i vann og indikerer fersk avføring, Intestinale enterokokker overlever noe lenger, mens *Clostridium perfringens* kan danne sporer som kan overleve meget lenge i resipientvann. Når man finner en indikatororganisme i vannet, er dette et tegn på at det også kan finnes sykdomsfremkallende organismer i det samme vannet. Mengden indikatorbakterier i urensset avløpsvann (cfu/100 ml) er typisk (Naturvårdsverket, 2002):

Koliforme bakterier	10^5 - 10^7
<i>E. coli</i>	10^5 - 10^7
Intestinale enterokokker	10^5 - 10^6
<i>Clostridium perfringens</i>	10^4

Sykdomsfremkallende mikroorganismer (såkalte patogener) tilføres avløpsvannet via infiserte personer som enten kan være syke eller kun bærere av sykdom. Innholdet av patogener i avløpsvannet vil derfor variere veldig og avhenge av forekomsten av smittsomme sykdommer blant de abonnentene som er tilknyttet. I tillegg vil avløp fra industrivirksomheter som slakterier, samt overvann med ekskrementer fra dyr og fugler kunne gi et bidrag (Norvar, 2004). Forekomsten av patogener og indikatorbakterier vil i tillegg til tilført mengde også være avhengig av fortynningsgraden i ledningsnettet og evnen til å overleve i avløpsvann.

De vanligste bakterielle smittestoffene fra avføring; *Campylobacter*, *Salmonella*, *Shigella* og *Yersinia enterocolitica*, har nær samme overlevelsessevne i resipientvann som *E. coli* (Folkehelseinstituttet 2004). Overlevelsen av virus er generelt lenger, og forekomst av Intestinale enterokokker brukes gjerne som indikator på mulig tilstedeværelse av virus. Blant virus er det norovirus, enterovirus og hepatitt A og E virus som har forårsaket flest utbrudd i Europa. Mengden virus i kommunalt avløpsvann varierer veldig, blant annet ble norovirus bare funnet i perioden november-februar, da med typisk nivå på ca 10^3 per liter (Ottoson, 2006). Enterovirus kan finnes i avløpsvann i typiske konsentrasjoner 10^2 - 10^5 per liter (Aulicino 1996; Ottoson 2006). Parasittene *Giardia* og *Cryptosporidium* kan overleve lenge i resipientvann i likhet med indikatorbakterien *Clostridium perfringens*. Ved analysing av innløpsvann til 40 norske avløpsrensaneanlegg ble det funnet *Giardia* cyster ved 93 % av anleggene og *Cryptosporidium* oocyster i 80 % av anleggene. Verdiene varierte fra 0 til > 20 000 parasitter per liter (Robertson *et al.* 2006). Tilsvarende har internasjonale undersøkelser vist konsentrasjoner av *Giardia* cyster i kloakk i størrelsesorden 10^3 - 10^4 per liter (Caccio 2003; Ottoson 2006). Robertson og Gjerde (2006) har nylig rapportert at det er liten sannsynlighet for infeksjoner av disse parasittene dersom de har ”overvintret” i norsk vannmiljø, det ble observert reduksjon til 1/100 av levende *Cryptosporidium* oocyster etter ca 20 uker og tilsvarende reduksjon i *Giardia* cyster etter ca 1 måned ved vintertemperatur.

Råvann for drikkevannsproduksjon

Drikkevannsforskriften krever to uavhengige hygieniske barrierer ved produksjon av drikkevann. Dersom kilden skal aksepteres som en hygienisk barriere (dvs. kun en hygienisk barriere i vannbehandlingen/enkel vannbehandling) skal det ikke påvises termotolerante koliforme bakterier (*E. coli*) i flesteparten av vannprøvene. Sporadiske funn av inntil 3 termotolerante koliforme bakterier (*E. coli*) per 100 ml kan aksepteres (hvor ofte avhenger av vannverkets størrelse). Likeledes kan sporadiske funn av parasitter av typen *Giardia* eller *Cryptosporidium* ≤ 1 pr 10 liter aksepteres. Analyser av parasitter skiller ikke mellom infektive (farlige) og ikke-infektive (ufarlige) varianter, så

resultater fra vanlige parasittanalyser bør tolkes som indikatorparametre. Dersom det er parasitter til stede "av den mest infektive/farlige typen" (som mest sannsynlig var tilfelle ved *Giardia*-epidemien i Bergen i 2004) kan lave konsentrasjoner representere en smitterisiko, dvs det kan teoretisk være nok å få i seg 1. Basert på dose-respons studier, rapporterte Haas *et al* (1996) at mengden *Cryptosporidium* i ferdigbehandlet drikkevann ikke bør være høyere enn 0.00003 oocyster/l for akseptabel risiko (dvs det aksepteres at 1 person blant 10 000 blir syke pr år). WHO (2006) opererer med akseptabelt nivå av *Cryptosporidium* i behandlet drikkevann på 0.0006 oocyster/l. Så lave konsentrasjoner er ikke mulig å måle med vanlige parasittanalyser (og som sagt skiller ikke vanlige parasittanalyser "infektive=farlige" fra "ufarlige" parasitter). Ved bruk av strøm- og spredningsmodeller kan man derimot få et inntrykk av nivået av mulig infektive parasitter ved beregninger etter ulike scenarier, f.eks at kloakk med avføring fra et smittet menneske slippes ut i en drikkevannskilde (se eksempel i kapittel 2.3).

Norge har i mange år praktisert prinsippet at det er bedre å sikre et hygienisk trygt vann ved å unngå forurensning av kilden, enn å introdusere vannbehandling senere for å fjerne forurensninger. Der vannkildene ikke er tilstrekkelig sikre må dette kompenseres for ved å bygge inn minimum to hygieniske barrierer i vannbehandlingen (Mattilsynet, 2005).

Vann som brukes til jordvanning i Norge viser stor variasjon med hensyn på mikrobiologisk vannkvalitet. Det er ikke uvanlig at overflatevann som brukes til dette formålet inneholder over 100 *E. coli* pr 100 ml (Johannessen 2007).

I følge miljømålene for Mjøsa skal vannet være egnet som drikkevannskilde og badevann. Antall *E.coli* skal ikke overstige 50 bakt. per 100 ml i strandkanten og være under 2 bakt. per 100 ml i råvannet (Løvik 2008).

De følgende tabellene beskriver toleransegrenser for bakterier i vann til forskjellige anvendelser. Disse grensene vil være til hjelp for å vurdere simuleringresultatene.

Tabell 4. Klassifisering av tilstand med hensyn til termotolerante koliforme bakterier, SFT 1997. (Termotolerante koliforme bakterier \approx *E. coli*)

Parameter	1. Meget god	2. God	3. Mindre god	4. Dårlig	5. Meget dårlig
Termotolerante koliforme bakterier, ant./100 ml	5	5 -50	50 -200	200 - 1000	>1000

Tabell 5. Krav til bakterieinnhold i vann som nyttes til bading og rekreasjon (Folkehelseinstituttet, 1994)

Parameter	God	Mindre god	Ikke akseptabel
Termotolerante koliforme bakterier/100 ml (<i>E. coli</i>)	< 100	100-1000	> 1000
Fekale streptokokker/100 ml (Intestinale enterokokker)	< 100	100-1000	> 1000

Tabell 6. Krav til bakterieinnhold i vann som nyttes til drikkevann og jordbruksvanning (SFT, 1997)

Parameter	Godt egnet	Egnet	Mindre Egnet	Ikke Egnet
Termotolerante koliforme bakterier/100 ml (<i>E. coli</i>)	< 2	20-Feb	20-100	>100
Koliforme bakterier/100 ml	<20	20-200	200-1000	>1000

2.3 Simulering av dagens forhold

Det ble utført simuleringer for august og desember 2006. Simuleringene i august representerer en periode med et velutviklet sprangsjikt. Tetthetsforskjellene fører til stabile forhold som motvirker vertikal transport. Desember representerer en periode med vertikal sirkulasjon i vannmassene pga. klimatisk avkjøling av overflatelaget til temperaturer nær 4 °C. Dette er følgelig en periode hvor den vertikale transporten er størst og vanninntakene nær bunnen er mest utsatt for påvirkning av forurensninger som blir tilført i overflatelagene.

2.3.1 Simuleringer for august

Eksempler på simuleringresultater for august er vist i **Figur 8 - Figur 11**. Overflatevannet ble fortrinnsvis påvirket i nord som følge av elvetilførsler og Lillehammer renseanlegg, og nær utløpet av Hunnselva og Rambekk renseanlegg. Konsentrasjonene langs bunnen ble betydelig lavere eller fraværende ved dyp over 50 meter. Vi merker oss at Moelv vannverk med inntak på bunnen ble noe påvirket mens overflatevannet der ikke ble det. Utslippet fra Moelv renseanlegg ble innlagret under overflaten og påvirket dermed i noen grad også vanninntaket til Moelv vannverk.

Vannet fra elvene ble i stor grad spredt i overflaten dvs. over sprangsjiktet, mens utslippet fra renseanleggene ble spredt i underkant av sprangsjiktet. Ved fralandsstrøm kan det likevel bli oppover rettede strømmer langs land slik at bakteriene kan nå overflaten.

Vi har antatt at bakteriene dør med en halveringstid på omkring ett til to døgn. Dersom tilførslene hadde vært konservative/bestandige ville konsentrasjonene ha blitt betydelig høyere både med hensyn til horisontal og vertikal spredning. Selv om vi har valgt å simulere bakterier med stor overlevelsessevne kan det forekomme enkelte typer med lengre overlevelse. Det finnes også patogene individer som kan leve svært lenge. Konservative stoffer ble i følge simuleringene bli spredt til et

betydelig større område både horisontalt og vertikalt. Kartene gir eksempler på øvre grense for forurensende konsentrasjoner tilført fra renseanlegg og elver.

2.3.2 Simuleringer for desember

Pga. vertikal sirkulasjon i vannmassene i desember ble tilførselene spredt i vertikal retning i større grad enn ellers. Perioden representerer den tiden av året hvor vanninntakene på dypt vann er mest utsatt for forurensninger fra overflatelagene. Vi har derfor valgt å legge spesiell vekt på å presentere daglige simuleringsresultatene for desember da dette representerer en ”verste fall situasjon” for drikkevannsforsyningen.

Daglige overflatekonsentrasjonene av *E. coli* er vist i **Figur 12 - Figur 18**. Tilsvarende verdier langs bunnen er vist i **Figur 19 - Figur 25**. Det var merkbare konsentrasjoner ved alle elver og utslipp fra renseanlegg. Verdier over 200 /100 ml (klasse 3 dårlig) fant jevnlig sted i nordenden av Mjøsa som følge av Lillehammer renseanlegg og elvetilløpene der, og i området ved utløpet av Hunnselva og Rambekk renseanlegg. Konsentrasjonene langs bunnen var jevnlig over 50 /100 ml (klasse 3 mindre god) i nordenden av Mjøsa og ved Rambekk renseanlegg/Hunnselva i de øverste hundre 100 meterene. Kun Moelv vannverk ble jevnlig påvirket, og da med konsentrasjoner innen klasse 1 meget god.

Figur 26 - Figur 27 viser tverrprofiler ved Moelv og Rambekk. Ved Moelv ble bakteriene fra renseanlegget i variabel grad spredt både oppover til overflaten og nedover til bunnen. Høye konsentrasjoner på overflaten skyldes fortrinnsvis transport fra andre kilder nordenfor. Ved Rambekk trengte bakteriene i variabel grad nedover langs bunnen til omkring 200 meter, dvs. med muligheter for horisontal transport til vanninntakene til Gjøvik og Østre Toten. Sammenlikninger med profilene for august viser hvordan bakteriene i betydelig større grad ble spredt vertikalt i desember.

Figur 28 - Figur 29 viser konsentrasjoner om tilførselene hadde vært konservative. Dette kan indikere påvirkning av bakterier eller mikroorganismer med særlig stor overlevelse. Konsentrasjonene var høyere enn for bakterier og representerer en øvre grense angående overlevelsessevne av organismer. Vanninntakene ble i liten grad ytterligere påvirket i forhold til ved simuleringene av bakterier.

Vanninntaket til Østre Toten ble påvirket av Hunnselva, samt renseanleggene Rambekk, Kapp, HIAS og Nes i omtrent like stor grad. Fra HIAS ble bakteriene spredt med overflatenvannet på begge sider av Nesøya og ført nedover langs land nær vanninntaket. Vind mot vest og deretter i nord og sørlig retning vil være mest ugunstig. Vi antar at slike forhold vil være mer sjeldne hendelser enn påvirkning fra kilder på vestsiden av Mjøsa.

2.3.3 Oppsummering

Vi har forsøkt å gi en samlet fremstilling av alle simuleringsresultatene i

Tabell 7 - Tabell 8. Tabellene viser maksimum påvirkning av vanninntakene av *E. coli* for august og desember 2006. Tabellene gir også informasjon om maksimum påvirkning fra hver enkelt kilde. Vi ser at påvirkningen var størst i desember hvor vannmassene sirkulerte. Alle konsentrasjonene tilhørte vannkvalitetsklasse 1, Meget god. I august, med stabile vannmasser, ble Moelv vanninntak mest påvirket. Kilden for jevne påvirkningen var Moelv renseanlegg.

Ved endrede forutsetninger med hensyn til konsentrasjoner og utslipp fra de enkelte kildene kan resultatene skaleres tilsvarende.

Tabellene kan nyttes til å si noe om påvirkningen av parasitter. Et sykt menneske antas å skille ut 10^{10} oocyster/cyster (*Cryptosporidium/Giardia*) per døgn (Robertson *et al.*, 2006). Fortynner vi for eksempel dette i avløpsvann fra Rambekk (163 l/s) blir midlere konsentrasjon ca. 10^3 parasitter/l eller 10^2 per 100 ml. Normalt vil noen parasitter fjernes i avløpsrenseanlegget, 0-50% mhp *Cryptosporidium* og 0-95% mhp *Giardia* (Robertson *et al.*, 2006), men i dette eksempelet ser vi på urensset kloakk. Dette er en konsentrasjon på 1/1000 av hva vi antok med hensyn til bakterier i

avløpsvannet. Resultatene i tabellene kan skaleres tilsvarende (her har vi ikke tatt hensyn til at parasittene forventes å overleve lenger enn *E. coli*). Maksimum påvirkningen av inntaksvannet til Gjøvik vannverk vil følgelig være 0,005 parasitter/100 ml eller 0,05 parasitter/l. Dette er for eksempel ca. 10 ganger høyere konsentrasjon enn hva WHO mener ferdigbehandlet drikkevann bør inneholde av parasitten *Cryptosporidium* (WHO, 2006). UV-behandling av drikkevannet ved vannverket vil redusere parasitkonsentrasjonen til akseptabelt nivå.

Tabell 7. Maksimum bakteriepåvirkning av vanninntakene fra ulike kilder i august 2006

Vannverk	Maksimum til vannverk	Maksimum bidrag fra hver elv													
		Mesna	Laagen	Rinda	Vismunda	Moelv	Stokkelva	Braastadelv	Hunnselva	Hekshuse	Lena	Flaggstade	Svartelva	Vikselva	Brummund
Biri	0	0.00	0.00	0.00	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Moelv	9	0.00	0.00	0.00	0.02	0.15	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gjøvik	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Østre_Toten	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Vannverk	Maksimum til vannverk	Maksimum bidrag fra hvert av renseanleggene									
		Lillehamm.	Brøttum	Moelv	Rambekk	HIAS IKS	Nes	Nordlia	Kapp	Skreia	Feiring
Biri	0	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Moelv	9	0.00	0.01	8.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gjøvik	0	0.00	0.00	0.04	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Østre_Toten	1	0.00	0.00	0.00	0.60	0.17	0.00	0.01	0.11	0.02	0.00

Tabell 8. Maksimum bakteriepåvirkning av vanninntakene fra ulike kilder i desember

Vannverk	Maksimum til vannverk	Maksimum bidrag fra hver elv													
		Mesna	Laagen	Rinda	Vismunda	Moelv	Stokkelva	Braastadelv	Hunnselva	Hekshuse	Lena	Flaggstade	Svartelva	Vikselva	Brummund
Biri	6	0.03	0.42	0.04	5.27	1.59	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Moelv	8	0.00	0.01	0.00	3.45	2.45	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gjøvik	20	0.00	0.01	0.00	0.04	0.18	0.31	0.46	16.70	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Østre_Toten	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.05	0.03	0.17	0.37	0.00	0.05

Vannverk	Maksimum til vannverk	Maksimum bidrag fra hvert av renseanleggene									
		Lillehamm.	Brøttum	Moelv	Rambekk	HIAS IKS	Nes	Nordlia	Kapp	Skreia	Feiring
Biri	6	0.30	0.20	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Moelv	8	0.01	0.05	2.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gjøvik	20	0.01	0.00	0.48	5.03	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
Østre_Toten	3	0.00	0.00	0.00	0.46	0.41	0.66	0.01	0.47	0.05	0.00

2.4 Hvor representative er simuleringene

Simulerte verdiene i vannverksinntakene var av samme størrelsesorden som reelle verdier i følge vannverkens rutineovervåking (upubliserte data fra Gjøvik kommune). Eventuelt var simulerte sommerverdier noe lavere. Dette kan skyldes at ulike bakterietyper kan ha svært ulik overlevelsessevne. Enkelte typer kan i overlevende i svært lang tid i likhet med alger (Vogelsang 2007). Muligens kan bakteriene feste seg til overflaten av partikler og sedimentere med dem og dermed påvirke vanninntakene på dypt vann. Vi har valgt høye anslag for bakterietilførsler og valgt konstante avløpsvannføring fra renseanleggene. I virkeligheten vil dette avløpet variere i tid og i blant også gå i overløp. Det kan også forekomme andre kilder som vi ikke har tatt hensyn til, for eksempel i tilknytning til jordbruk.

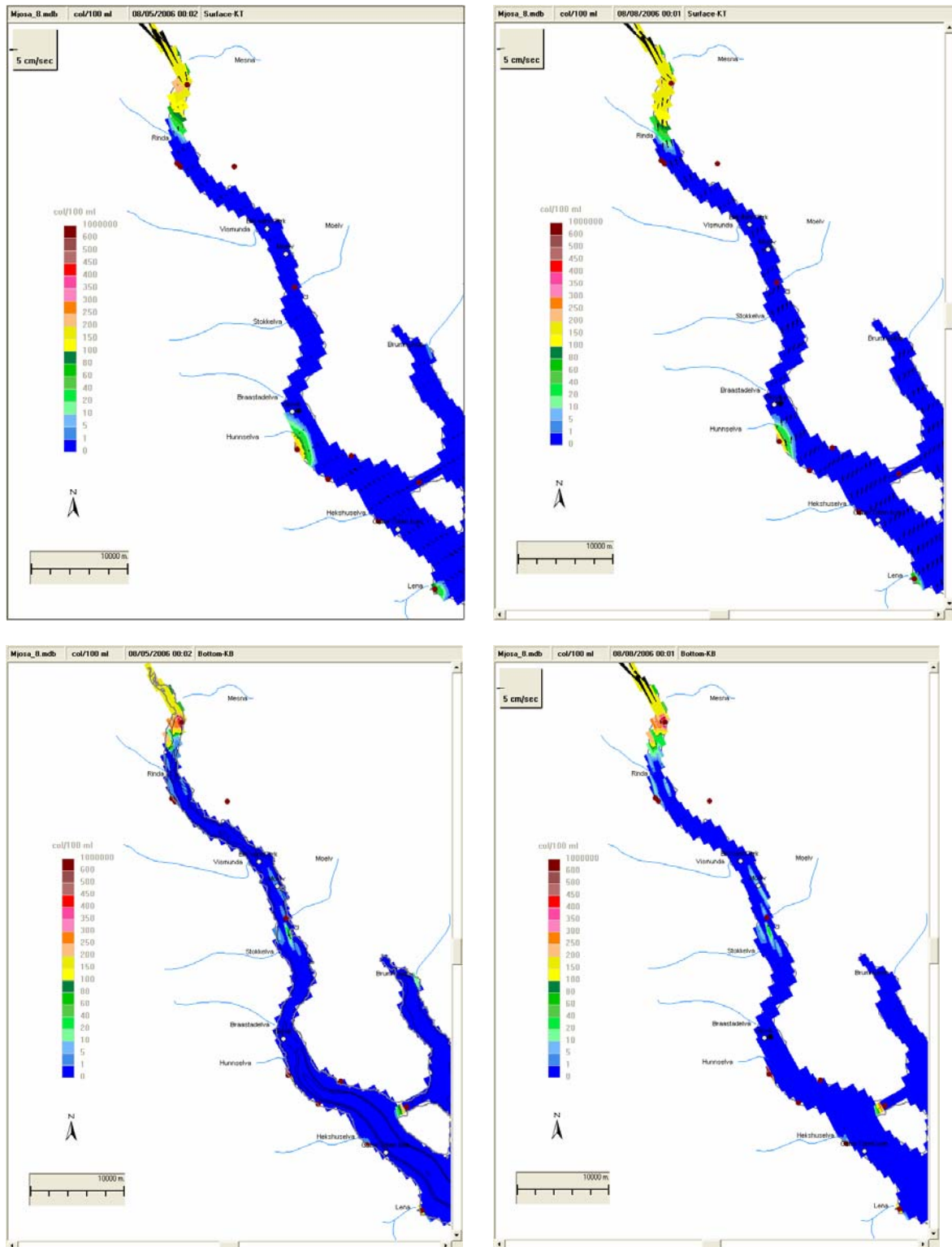
Vi har presentert en mengde figurer som viser konsentrasjonsfordelingen i Mjøsa. I tillegg er det laget en CD med diverse videoer med spredningsanimasjoner. Dette gir et godt inntrykk av av hydrodynamikk og spredningsforhold og en naturlig følelse for hvor langt man kan bruke resultatene. For eksempel hvis vanninntaket ligger i ytterkant av et område med store konsentrasjonsgradienter, så kan generell beregningsusikkerhet eller reelle endringer i

tilførsler, vind osv. gjøre at vanninntaket likevel ikke bør betraktes fullstendig utenfor fare. Inndeling i celler gir skarpe kanter. Dette fører i blant til noe ujevne konsentrasjoner (parallelle striper) langs land.

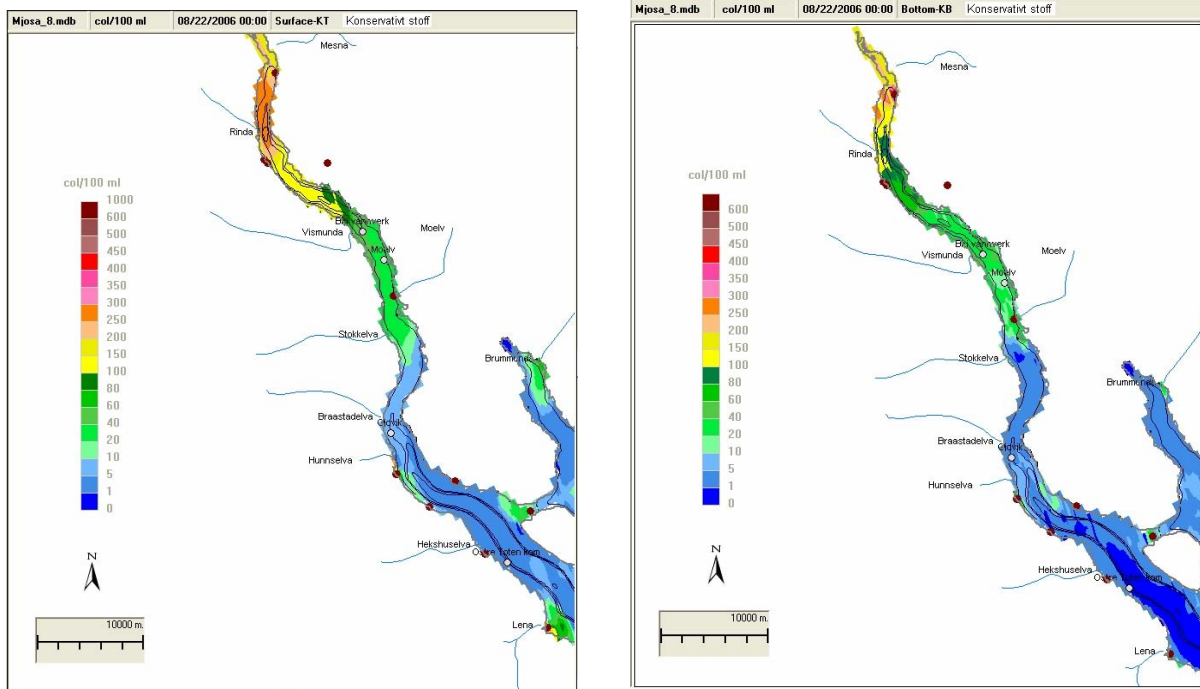
Resultatene fra desember representerer den tiden av året hvor det er vertikal sirkulasjon i vannmassene og slik at vanninntakene i størst grad er utsatt for påvirkning av forurensninger i overflatelagene. Denne sirkulasjonen (høstsirkulasjonen) øker utover høsten og varer til isen legger seg. Etter at isen smelter får vi en ny sirkulasjonsperiode inntil hele vannsøylen har nådd 4 °C (vårsirkulasjonen). Denne vårsirkulasjonen er relativt kort. Dersom ikke isen legger seg, kan sirkulasjonen fortsette hele vinteren. Tiden det tar å avkjøle vannmassene er avhengig av dybden. Områdene ved Biri og Moelv, hvor dybdene er under 60 meter, vil islegges tidligere dermed ha kortere sirkulasjonsperiode enn i dypbassenget hvor de to andre vanninntakene ligger.

Simulering gjennom flere år ville sikkert ha fått med flere spesielle forhold som ville gitt endrede resultater. Oppsummeringstabellene gir likevel riktig størrelsesorden. Videre gir tabellen nyttig kunnskap om den relative påvirkningen fra de ulike kildene på hvert enkelt vannverksinntak. Dersom tilførselskildene øker eller avtar i størrelse, kan tabellen nyttes til å skalere effekten på aktuelle inntaksvann. For eks. om Moelv renseanlegg var ute av drift slik at tilførslene økte 10 ganger, vil påvirkningen på hvert av anleggene også øke 10 ganger.

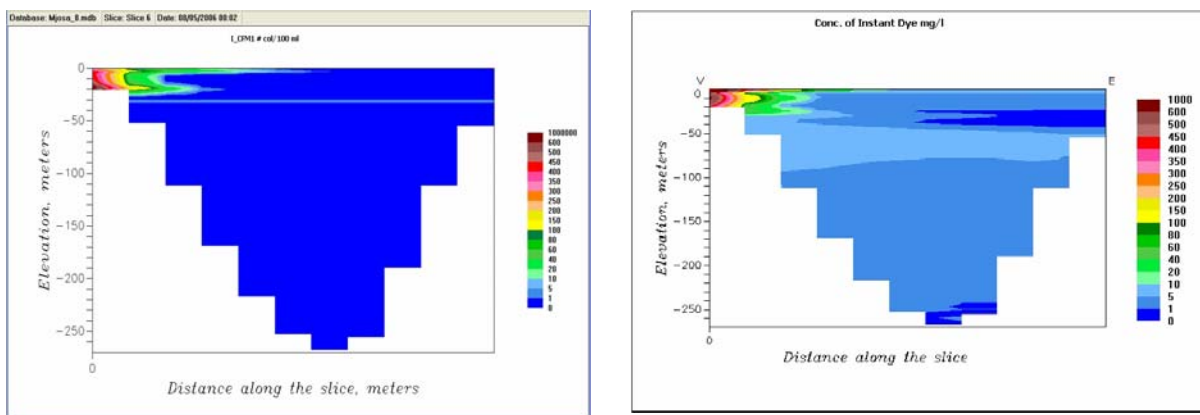
Resultatene gir detaljerte konsentrasjoner i hele innsjøen. Vi understreker at de simulerte verdiene ikke må betraktes som absolutt riktige, men at de representerer reelle forhold og bør være godt egnet til å ta beslutninger om eventuelle tiltak.



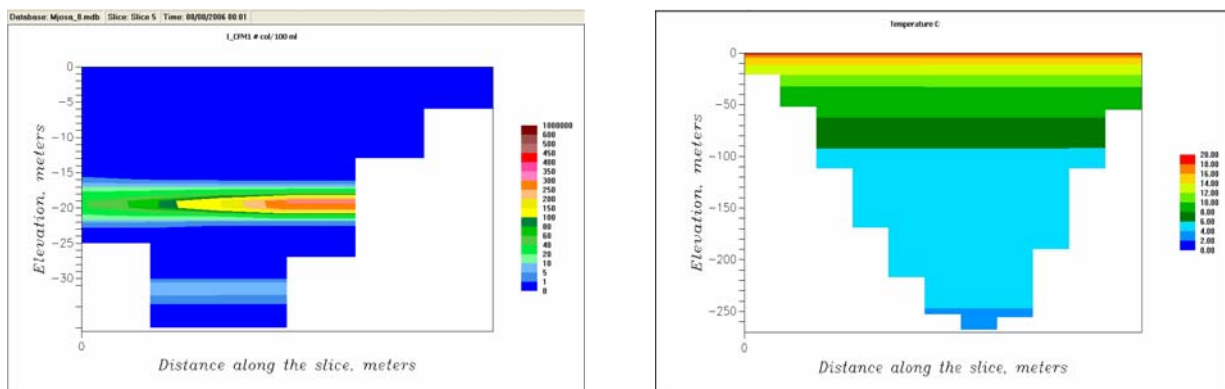
Figur 8. *E. coli* i overflaten (øverst) og langs bunnen 5. og 6. august 2006.



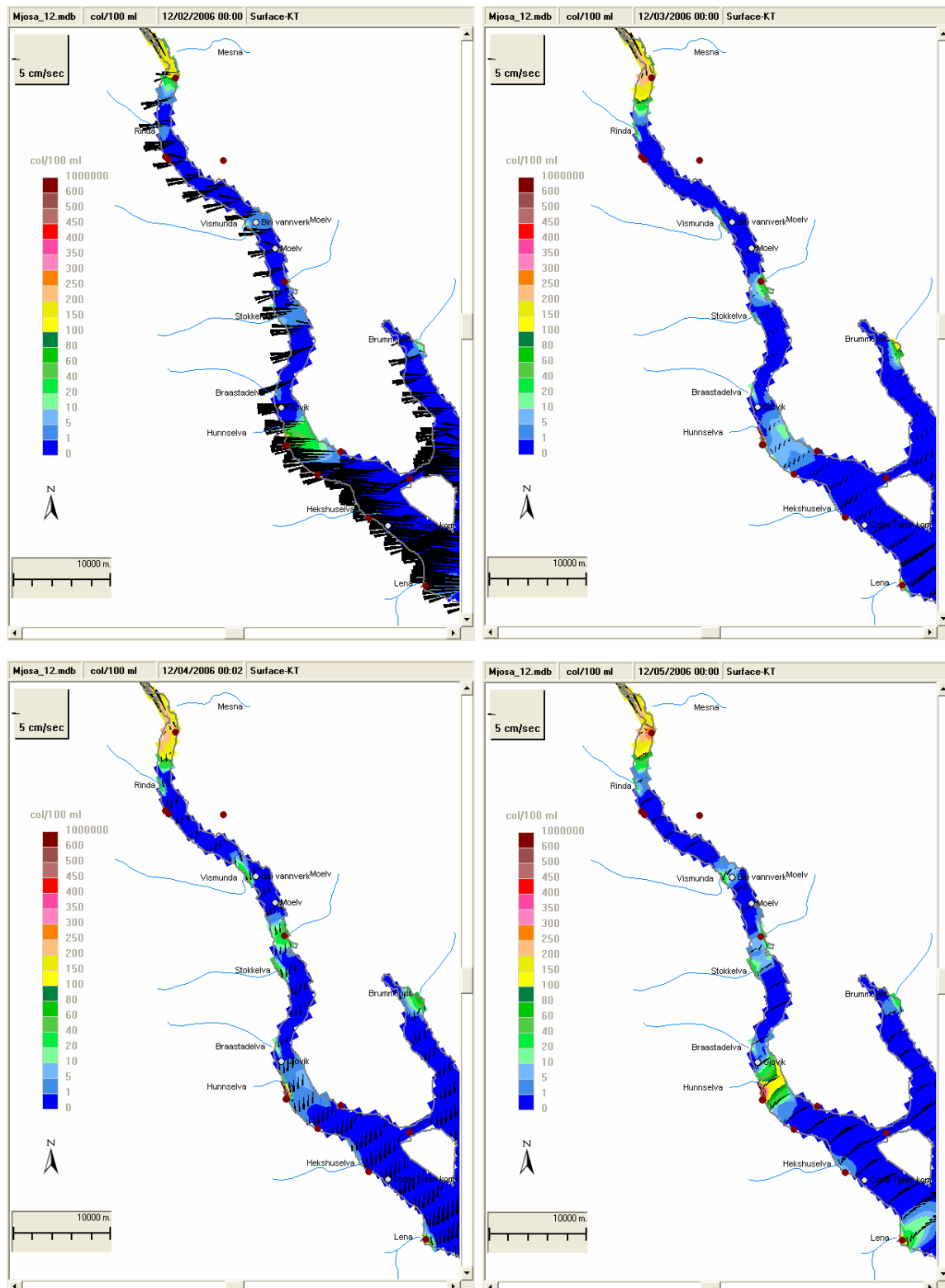
Figur 9. Et konservativt stoff spred over et større område enn *E. coli*.



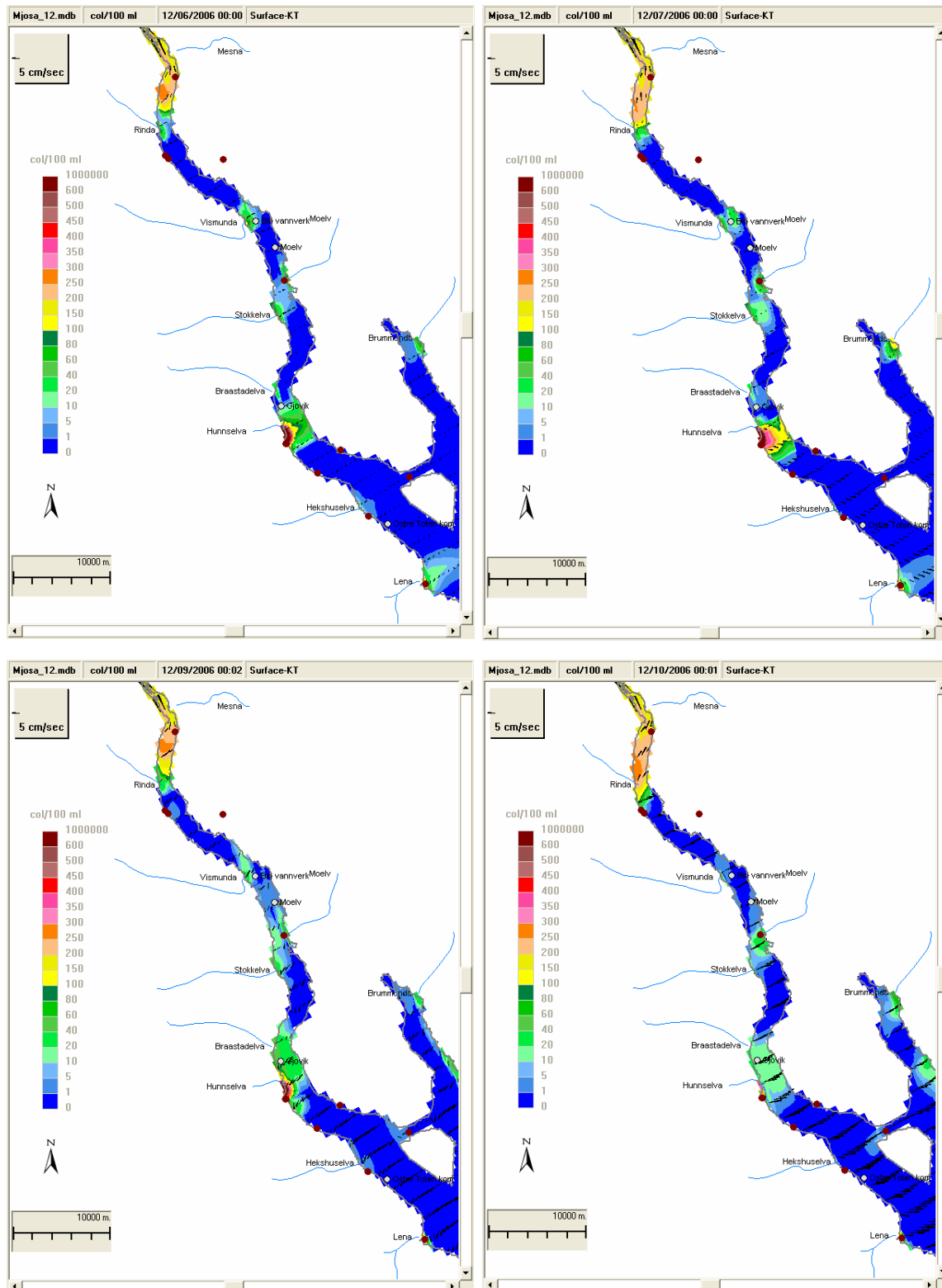
Figur 10. Vest-øst tverrsnitt ved fra Rambekk rensanlegg av bakterier (v) og konservativt stoff (h).



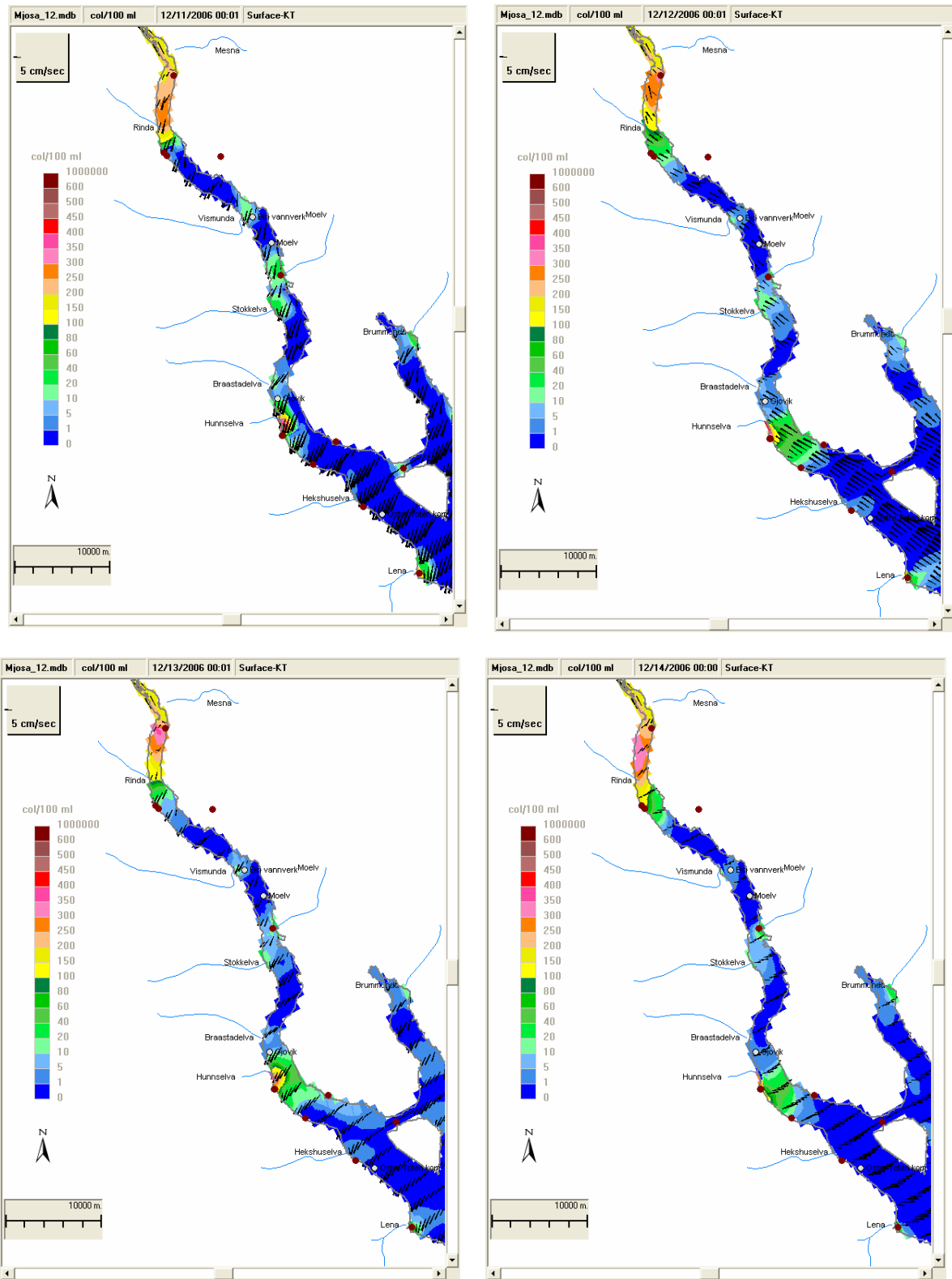
Figur 11. Vest-øst tverrsnitt av bakterier ved Moelv rensanlegg og temperatur ved fra Rambekk rensanlegg



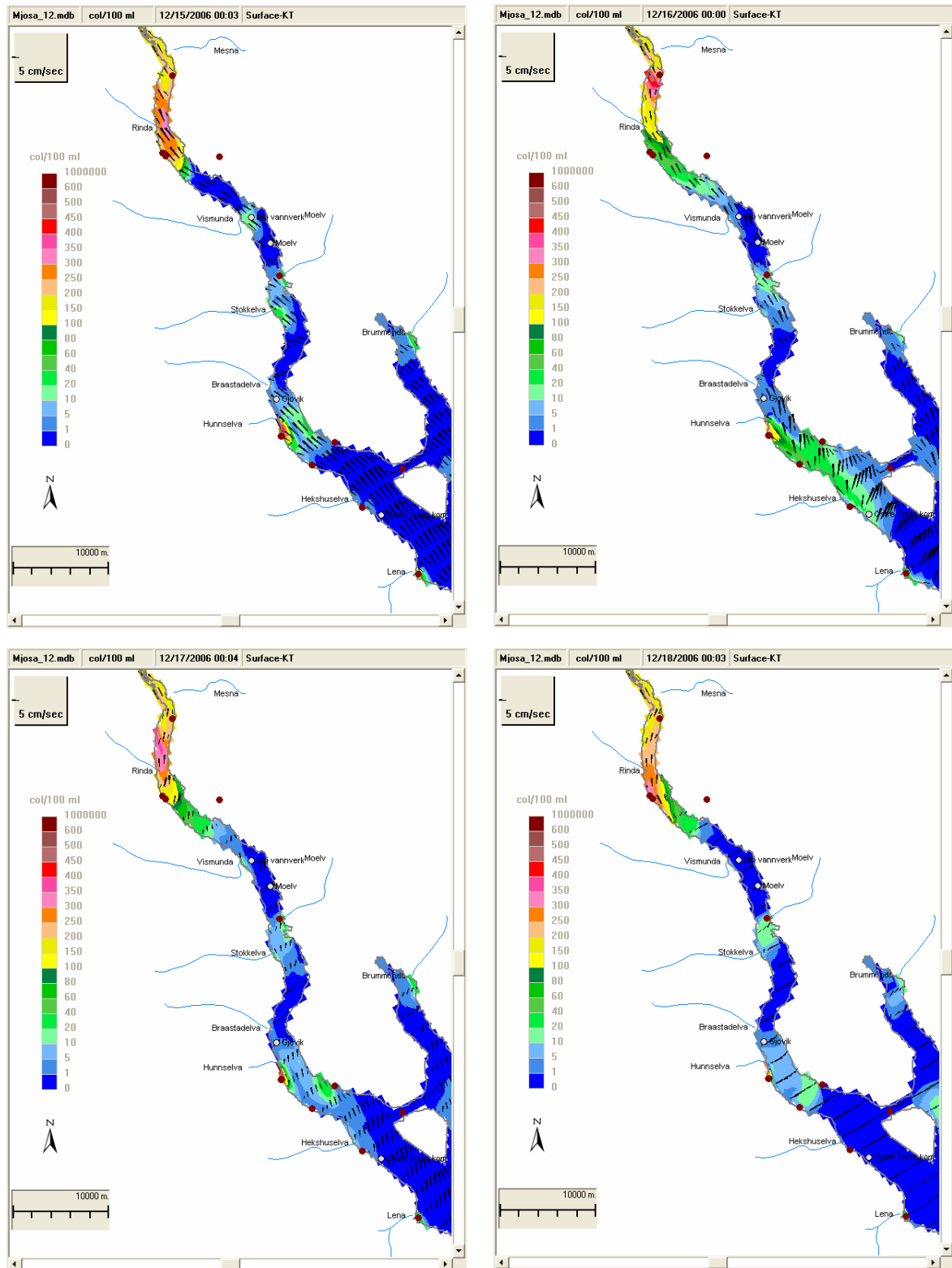
Figur 12. *E. coli*, overflate konsentrasjoner 2.- 5. desember 2006



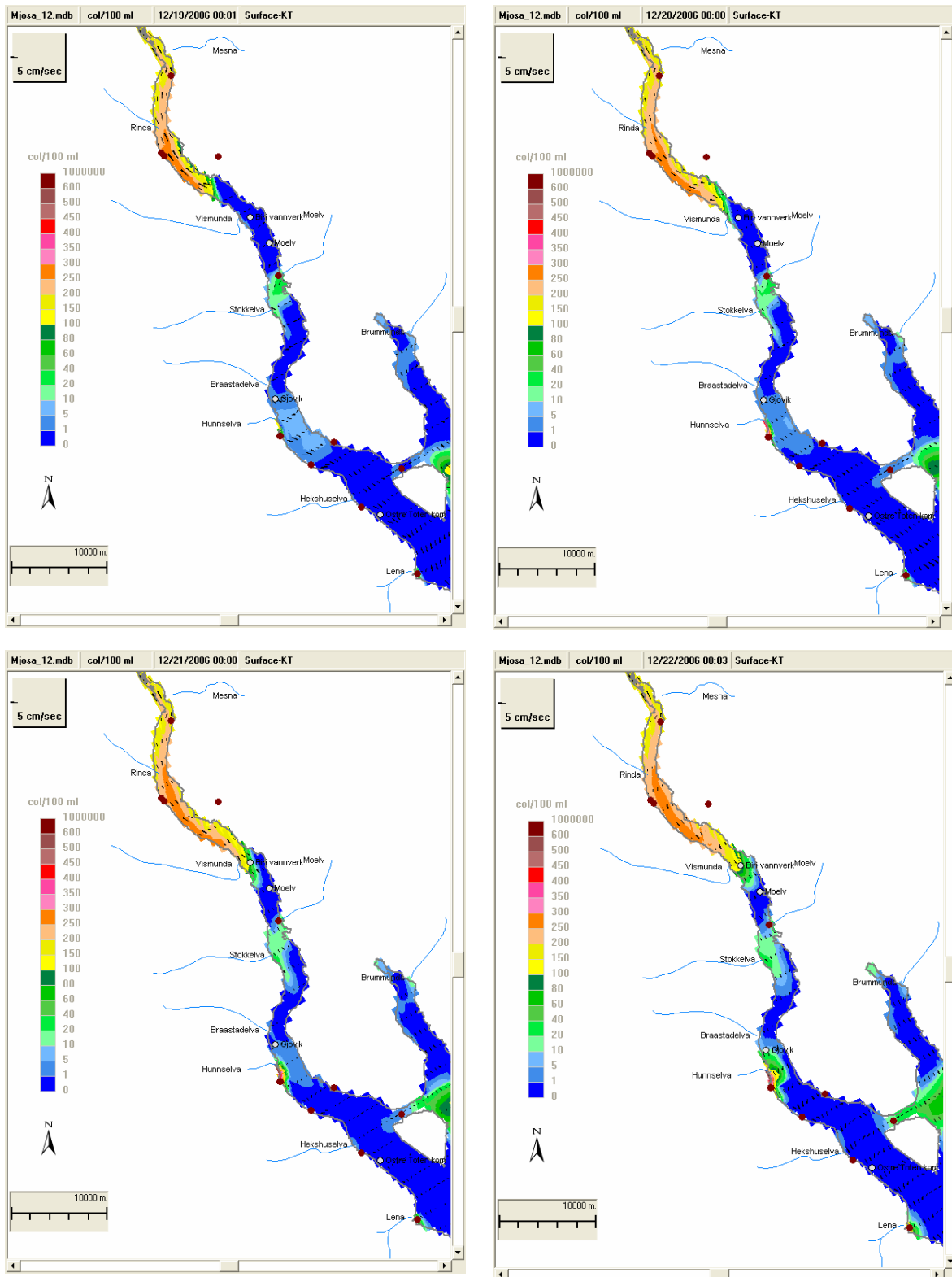
Figur 13. *E. coli*, overflate konsentrasjoner 6.- 10. desember 2006



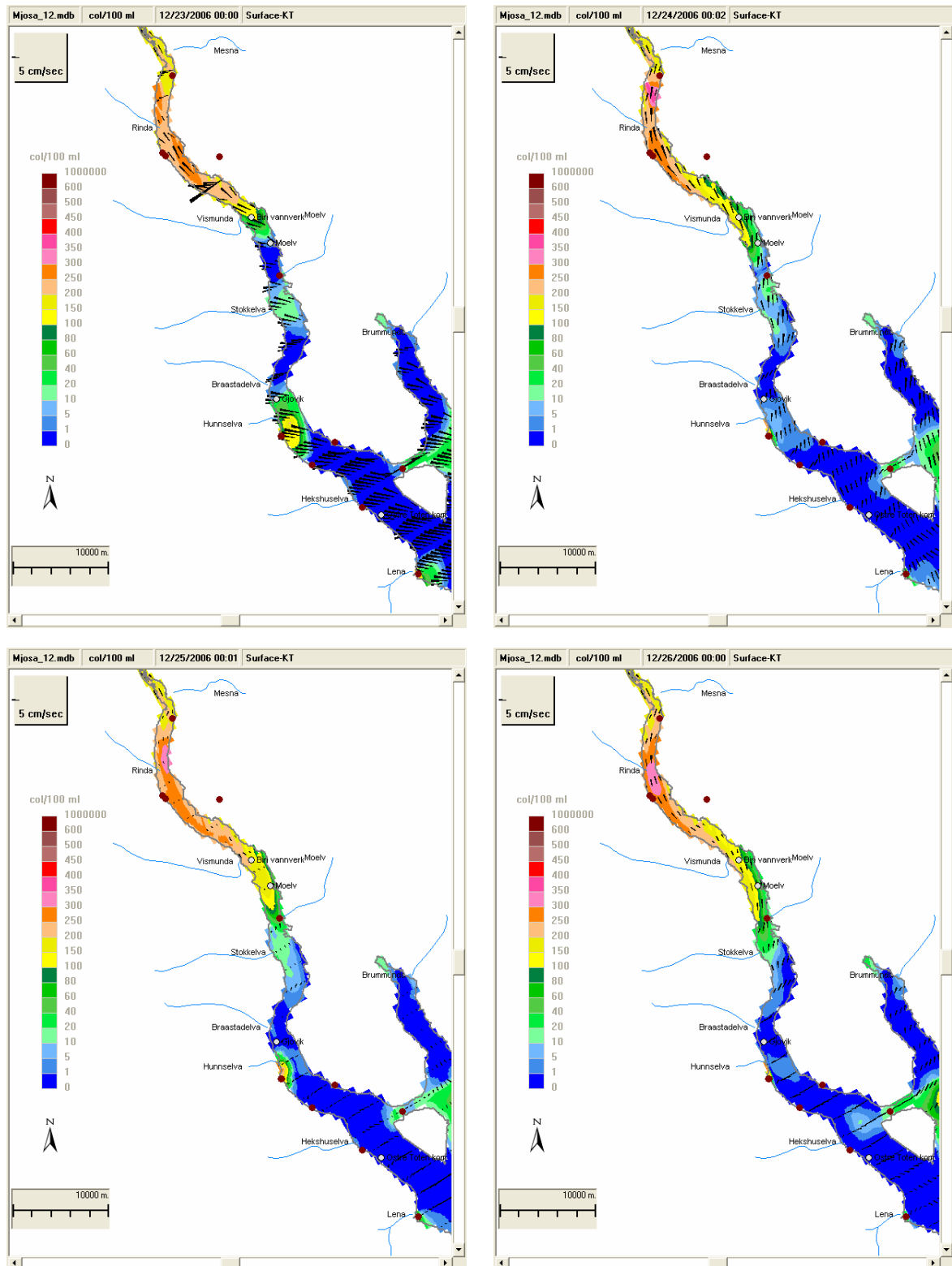
Figur 14. *E. coli*, overflate konsentrasjoner 11.- 14. desember 2006



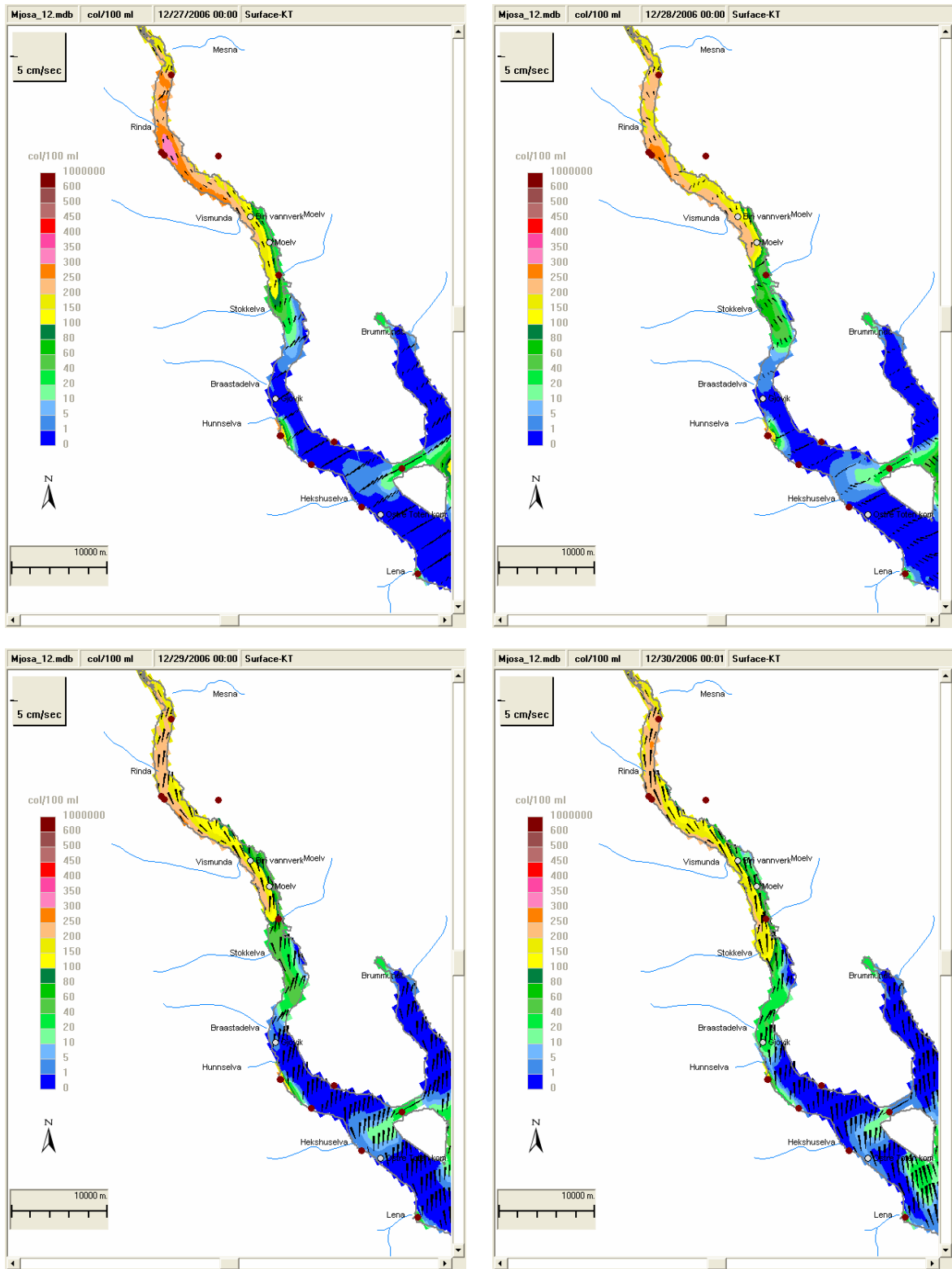
Figur 15. *E. coli*, overflate konsentrasjoner 15.- 18. desember 2006



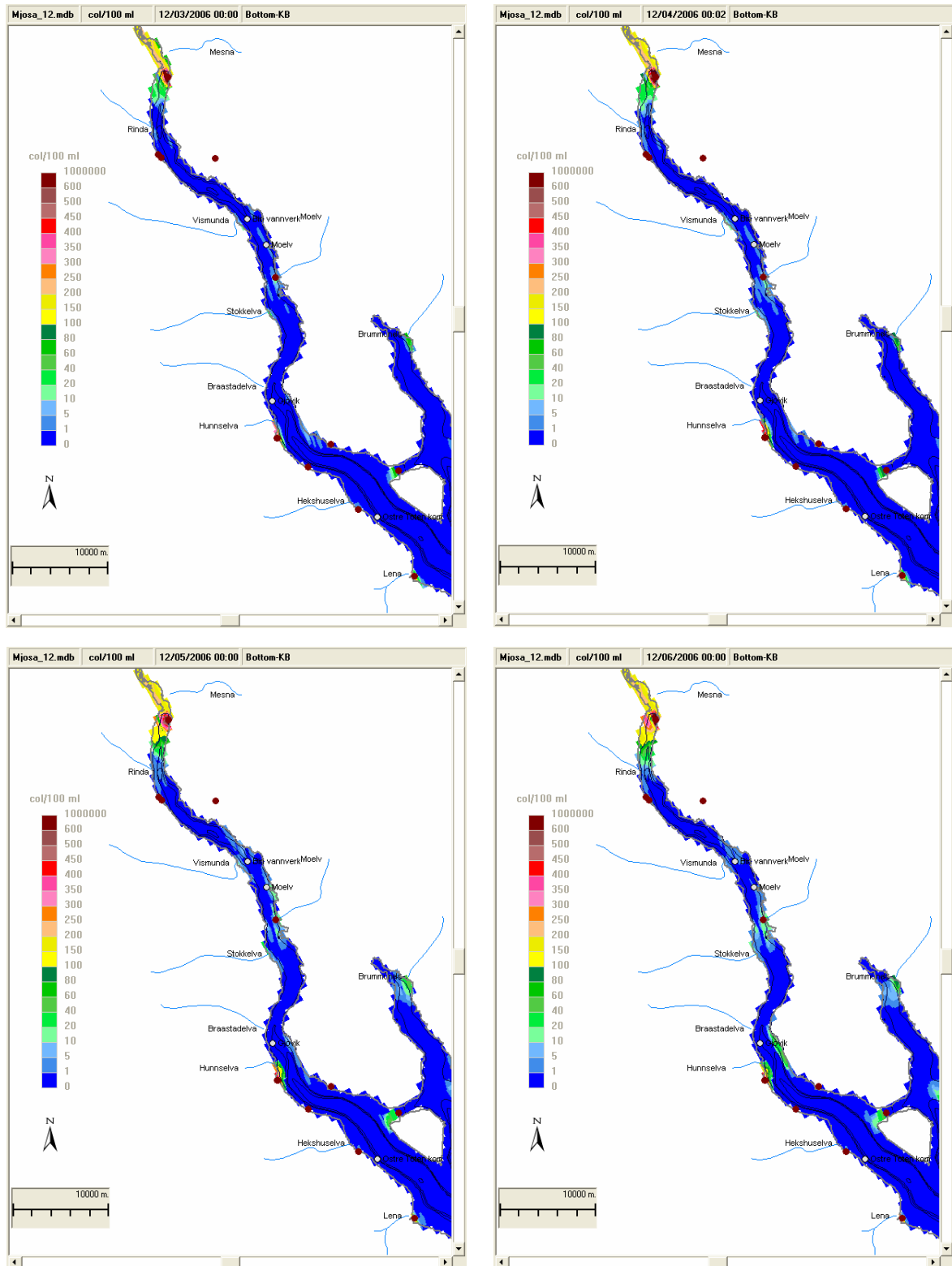
Figur 16. *E. coli*, overflate konsentrasjoner 19.- 22. desember 2006



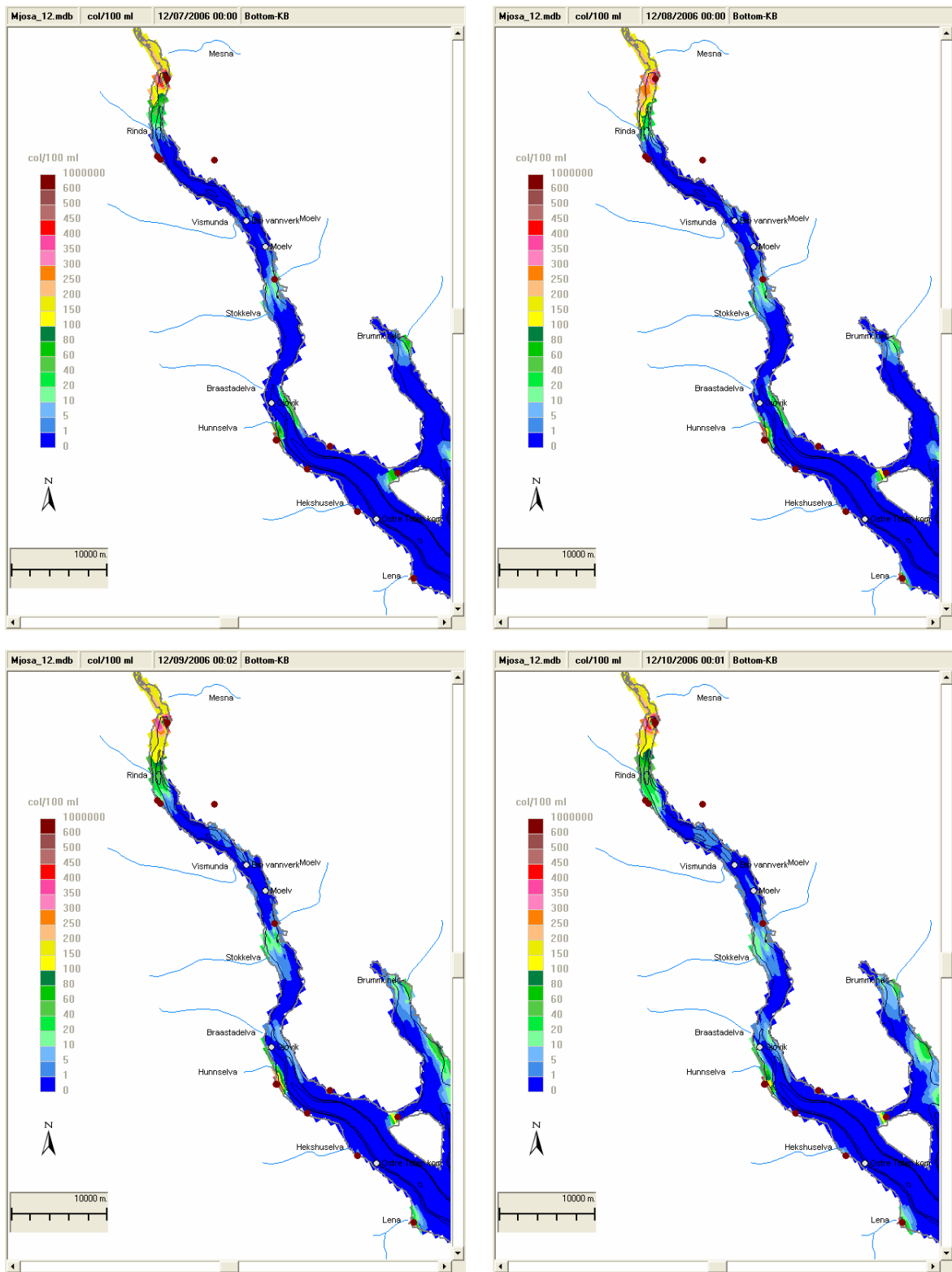
Figur 17. *E. coli*, overflate konsentrasjoner 23.- 26. desember 2006



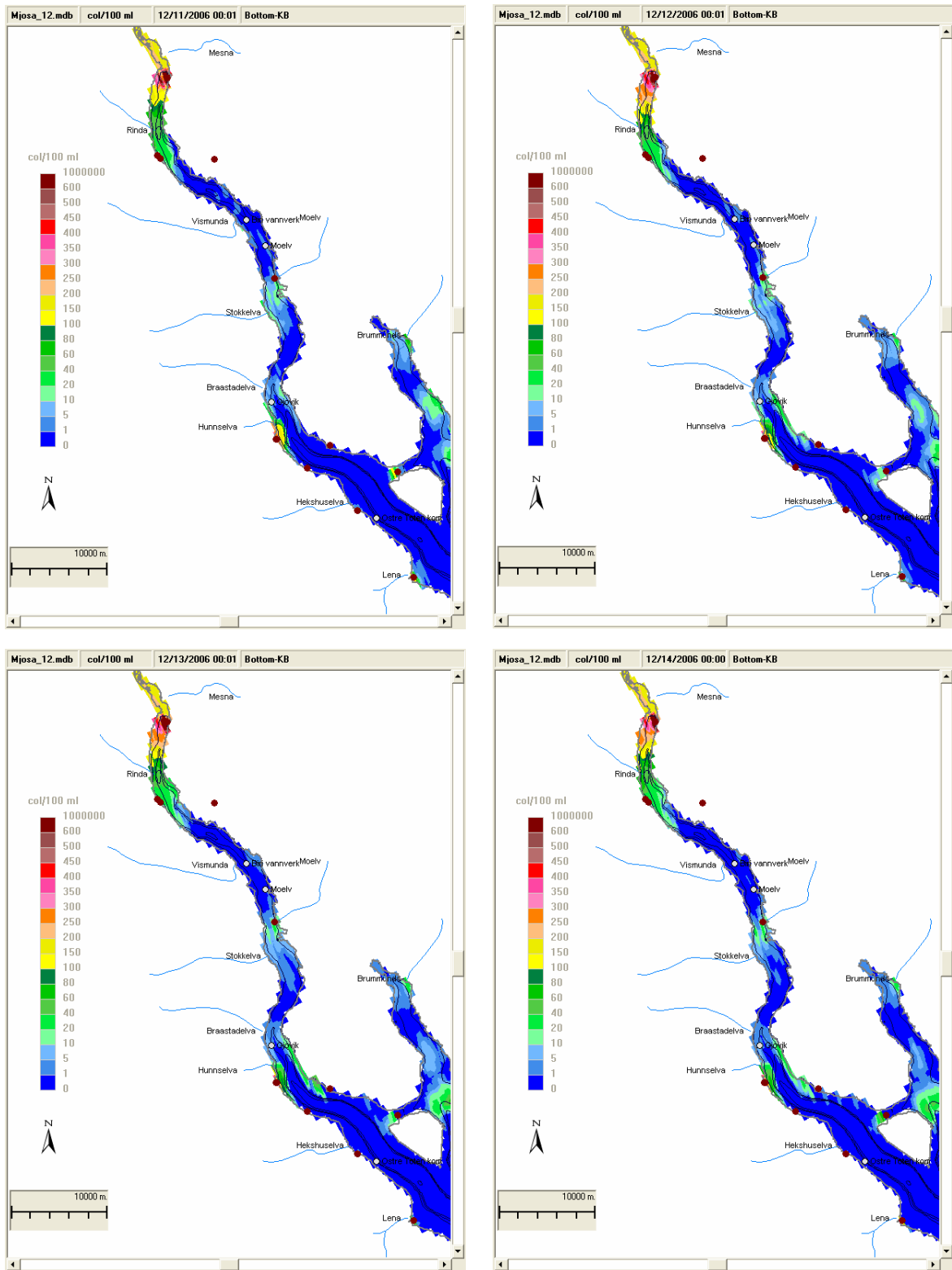
Figur 18. *E. coli*, overflate konsentrasjoner 27.- 30. desember 2006



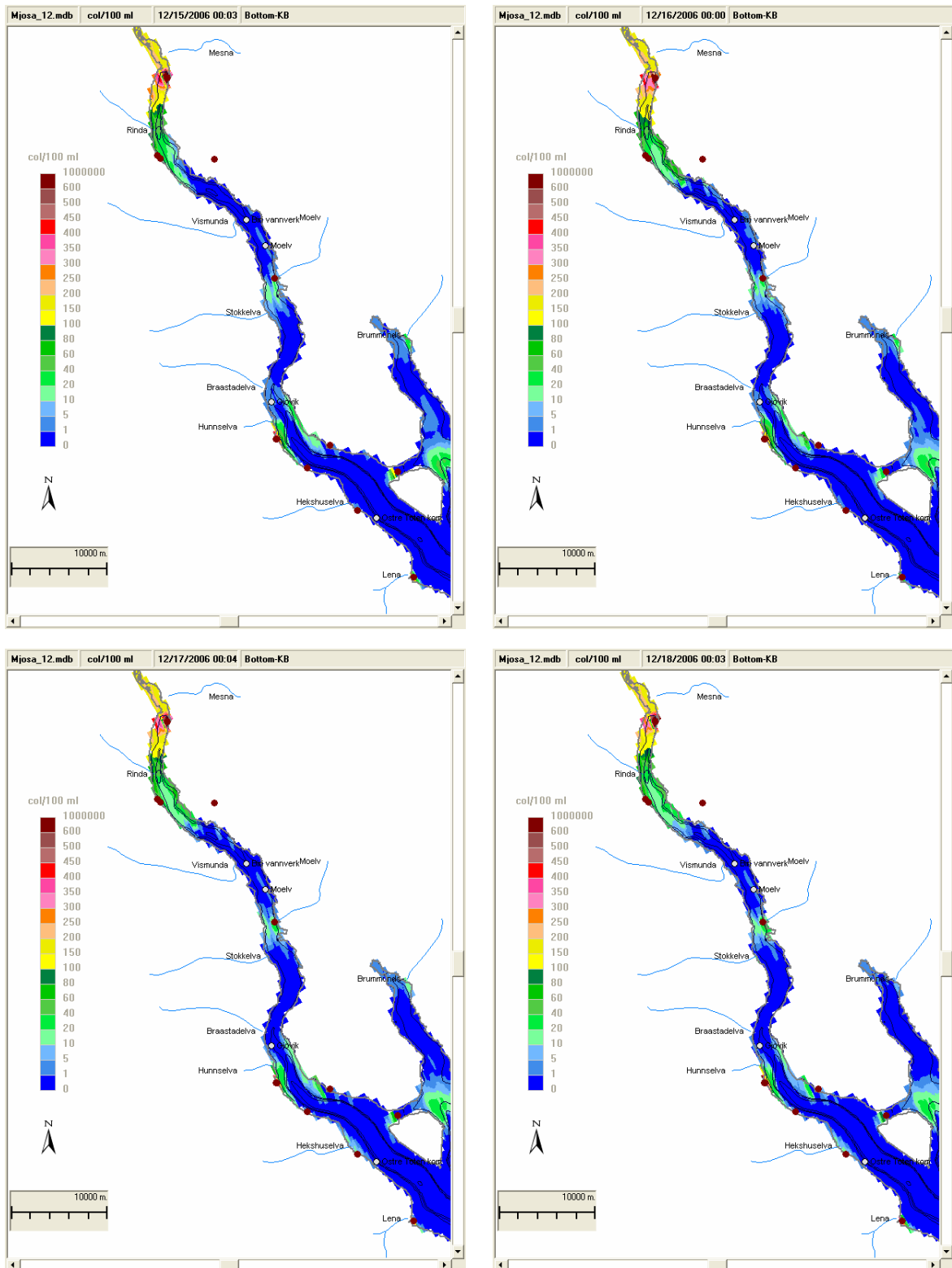
Figur 19. *E. coli*, konsentrasjoner langs bunnen 3.- 6. desember 2006



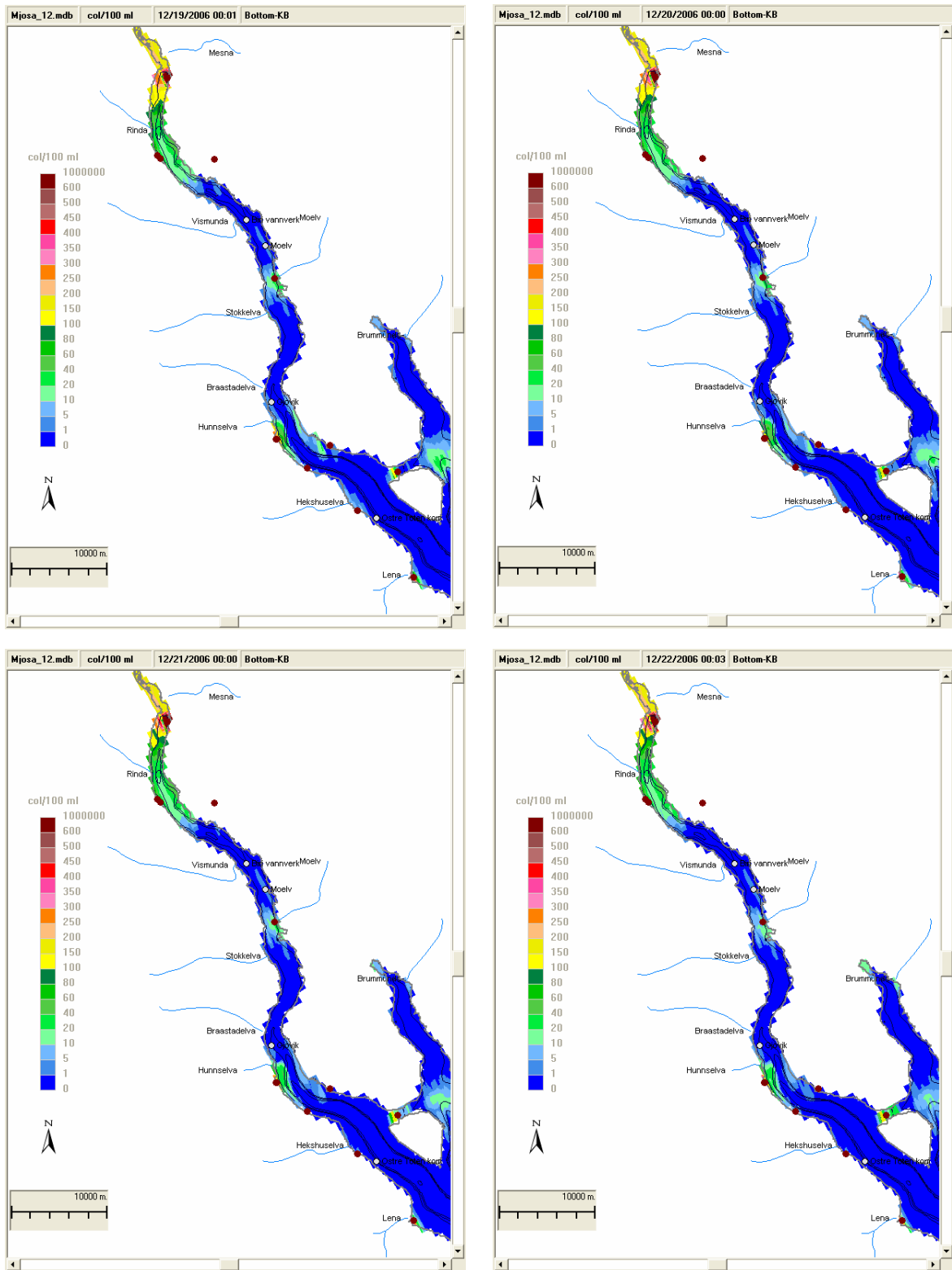
Figur 20. *E. coli*, konsentrasjoner langs bunnen 7.- 10. desember 2006



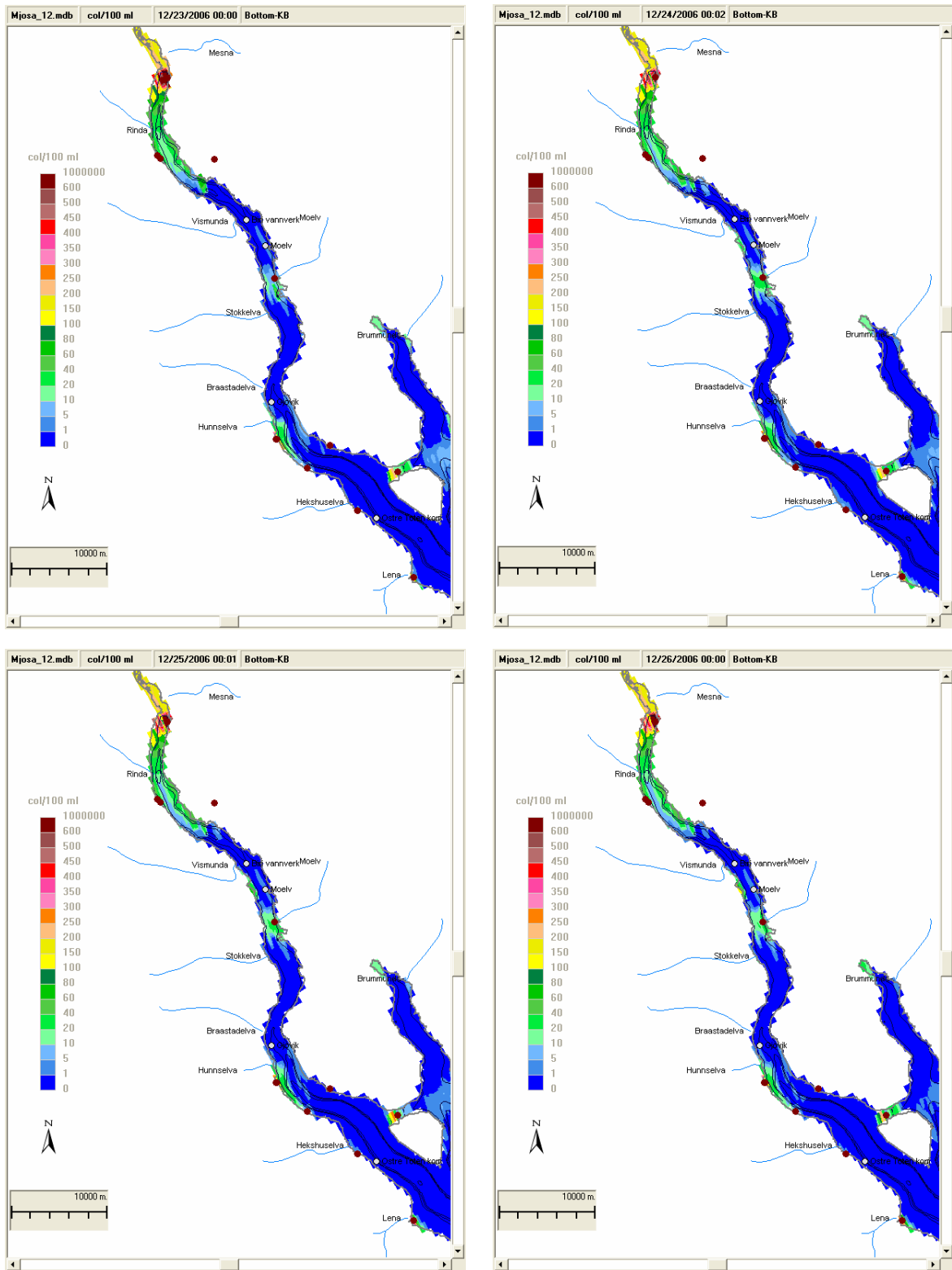
Figur 21. *E. coli*, konsentrasjoner langs bunnen 11.- 14. desember 2006



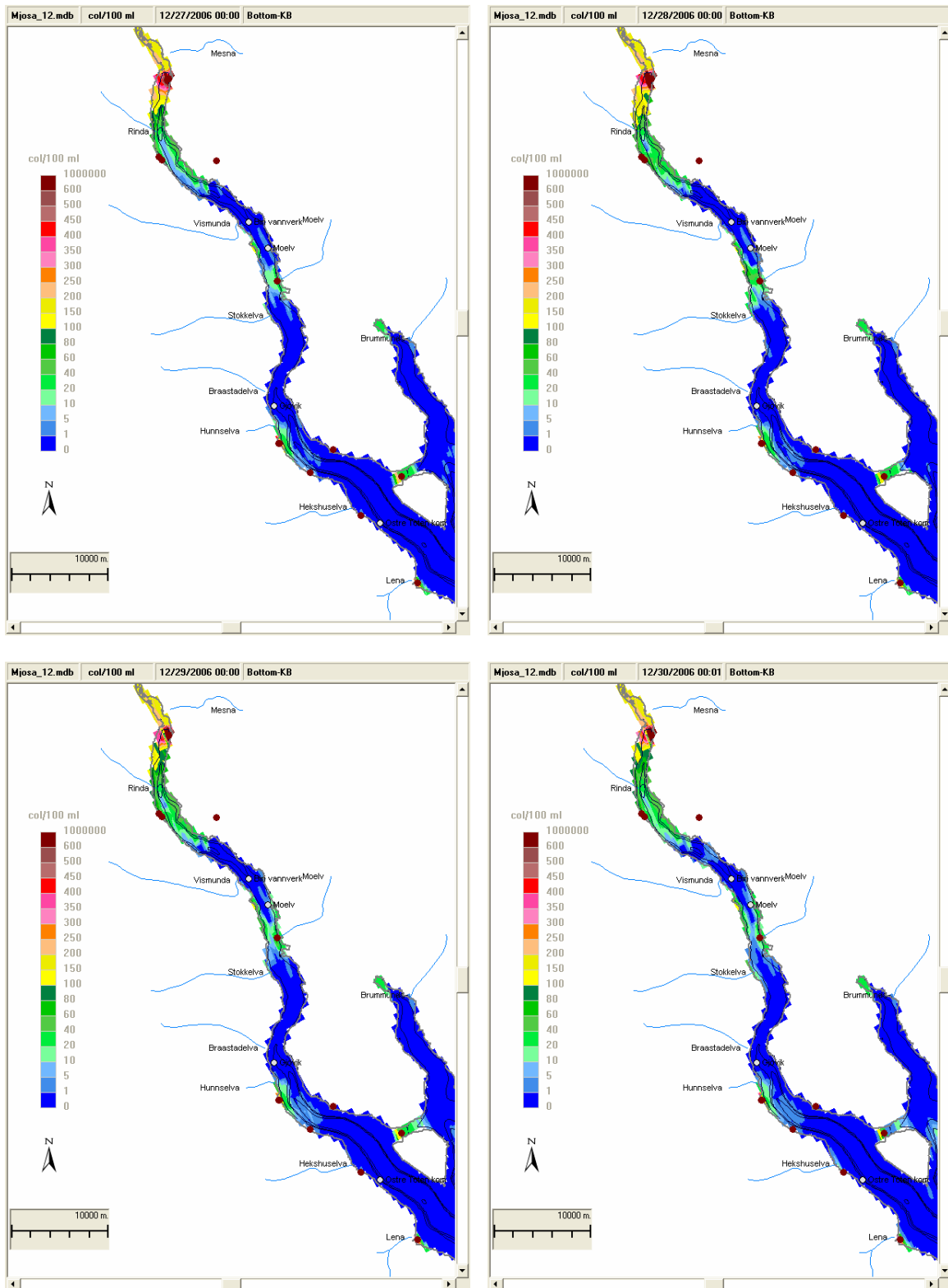
Figur 22. *E. coli*, konsentrasjoner langs bunnen 15.-18. desember 2006



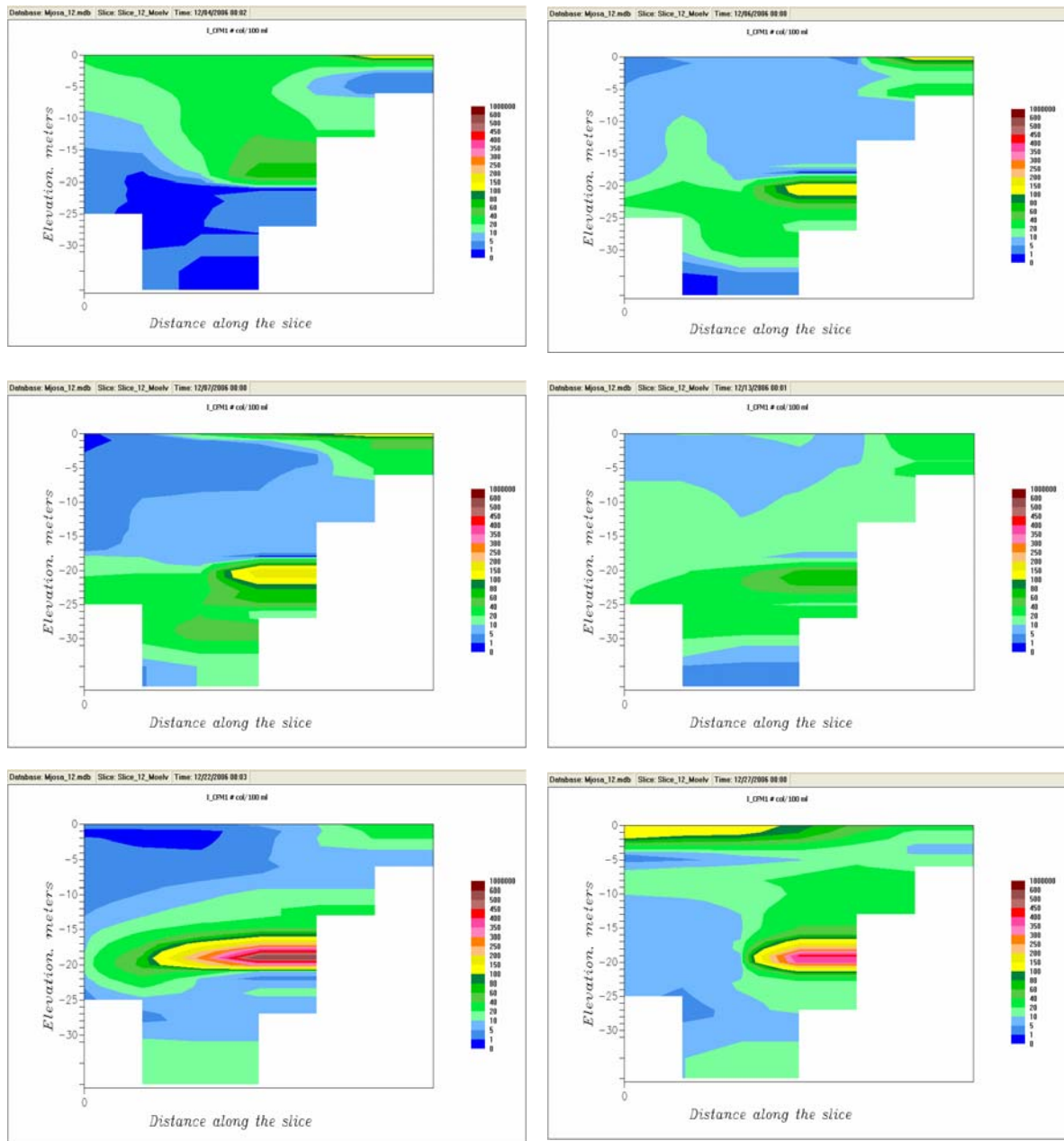
Figur 23. *E. coli*, konsentrasjoner langs bunnen 19.- 22. desember 2006



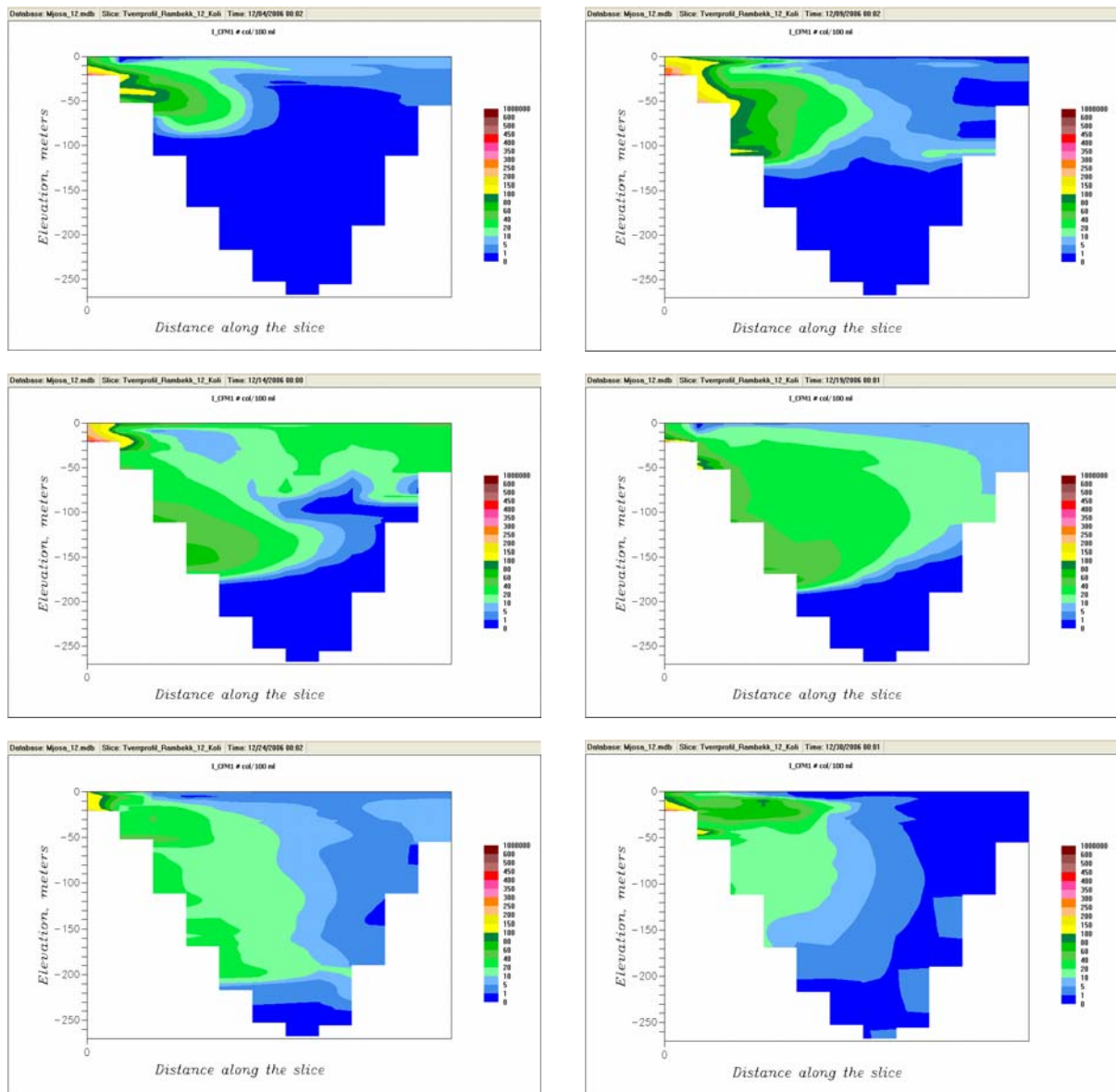
Figur 24. *E. coli*, konsentrasjoner langs bunnen 23.- 26. desember 2006



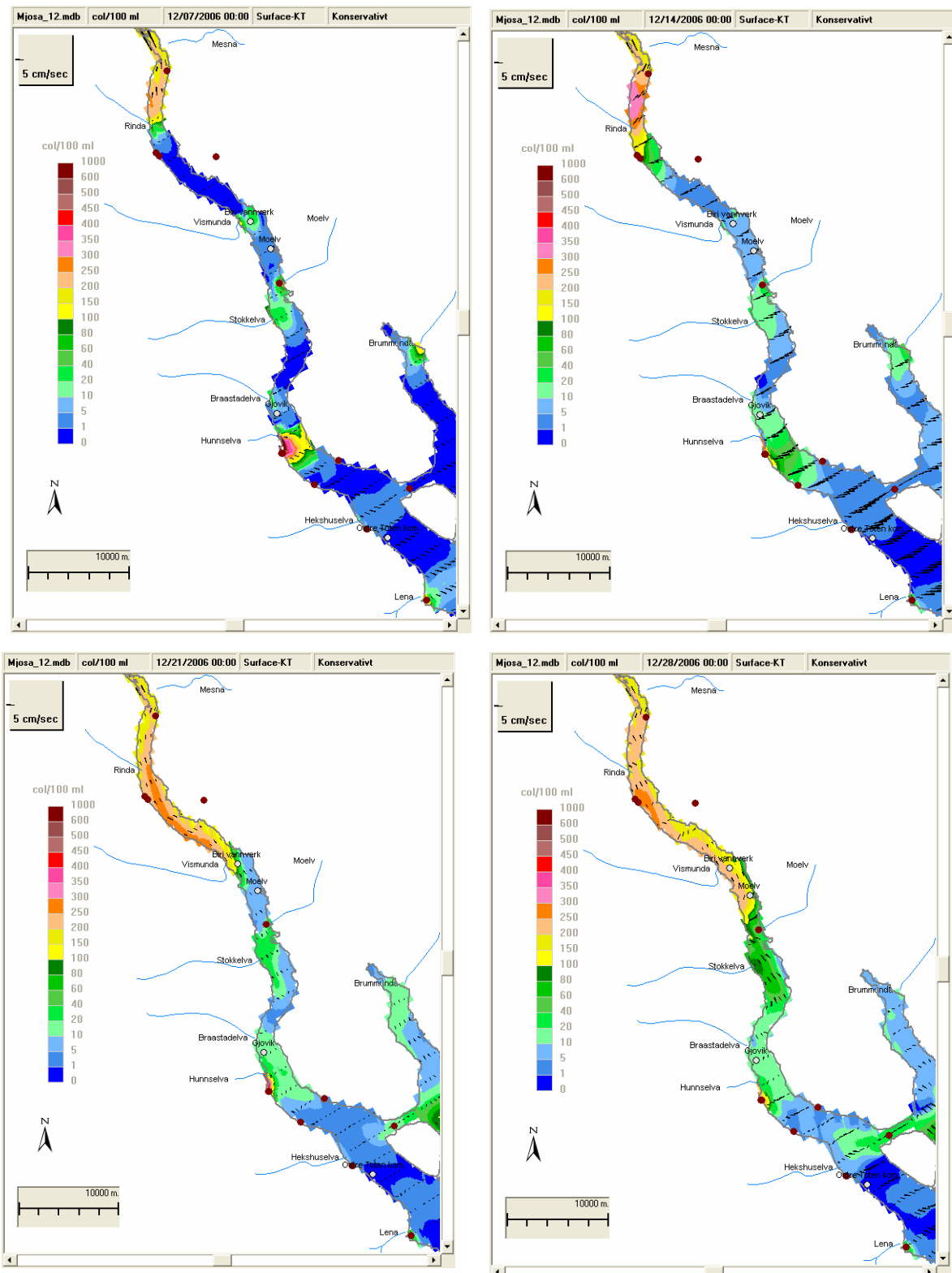
Figur 25. *E. coli*, konsentrasjoner langs bunnen 27.- 30. desember 2006



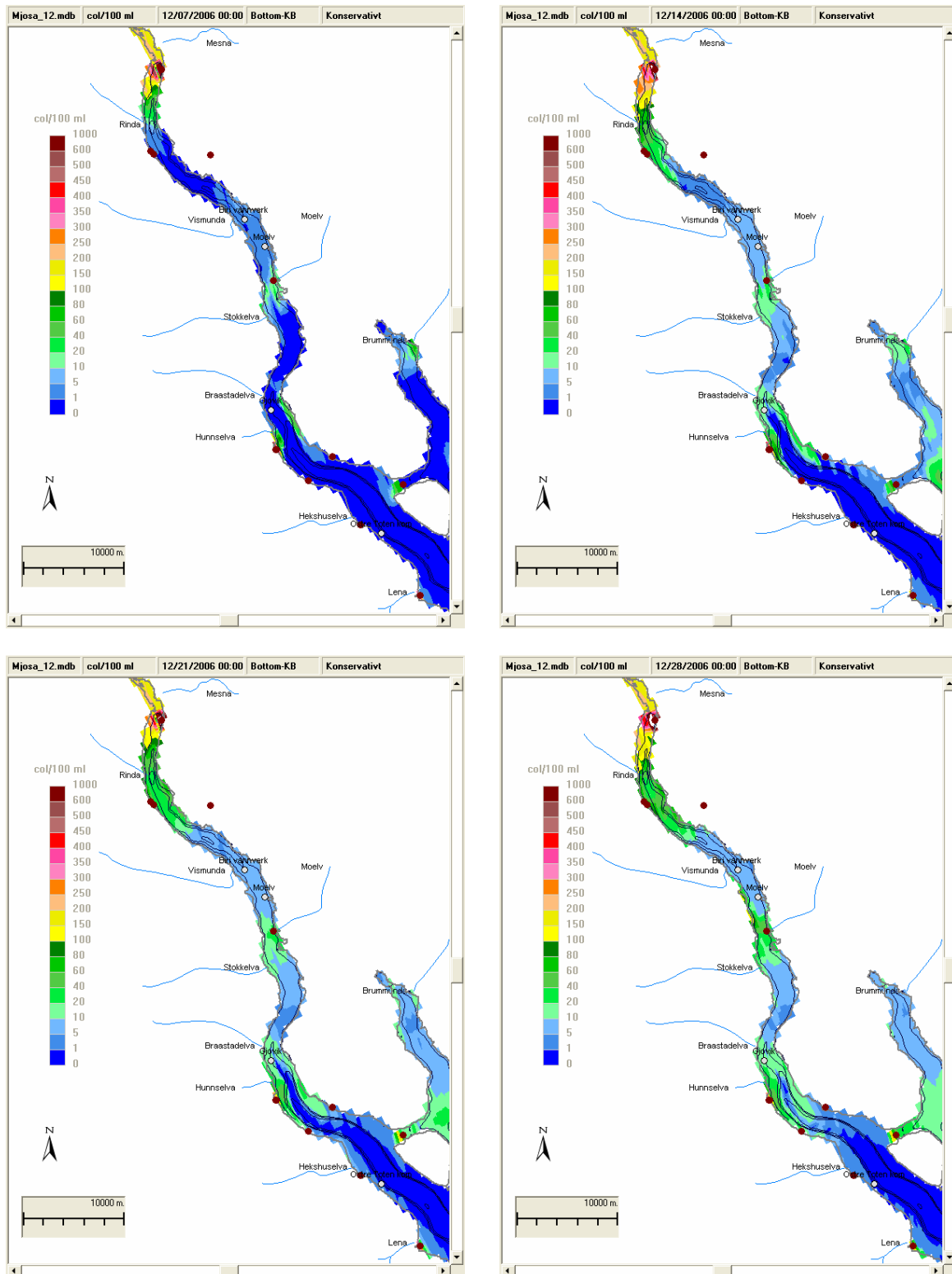
Figur 26. Vest-øst tverrprofiler ved Moelv renseanlegg. Tilførslene av *E. coli* ble noen grad spredt fra overflaten til bunn. Høye konsentrasjoner på overflaten skyldes fortrinnsvis transport fra andre kilder nordenfor.



Figur 27. Vest-øst tverrprofiler ved Rambekk rensesanlegg. Tilførselene av *E. coli* ble enkelte dager spredt fra overflaten til nær bunnen.



Figur 28. Konservativt stoff i overflaten 7., 14., 21. og 28. februar 2006.



Figur 29. Konservativt stoff langs bunnen 7., 14., 21. og 28. februar 2006. Konsentrasjonene var høyere enn for bakterier og representerer en øvre grense angående overlevelsessevne av organismer. Vanninntakene ble i liten grad ytterligere påvirket i forhold til ved simuleringene av bakterier.

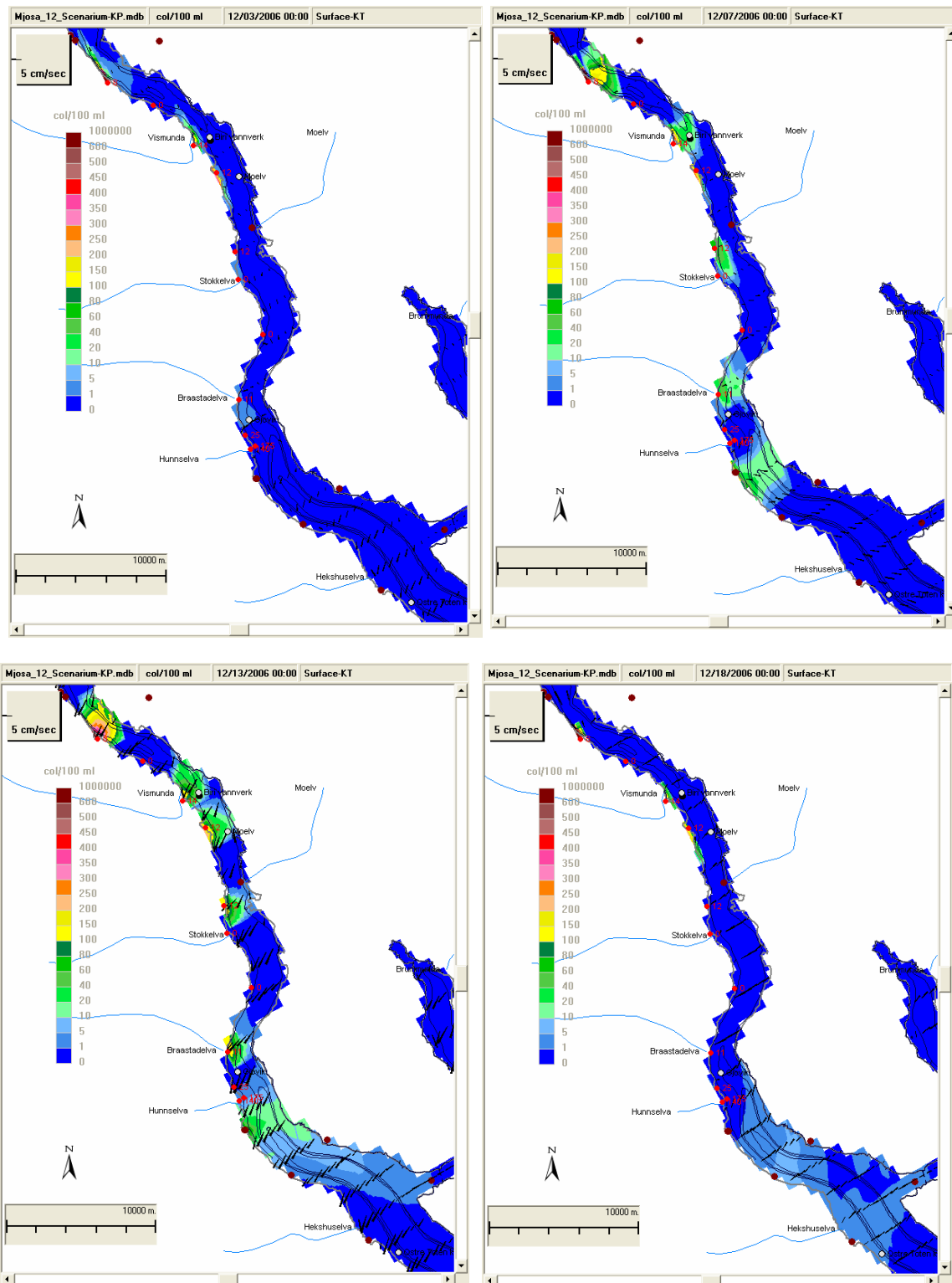
3. Scenarier

Vi har kjørt tre scenarier. De to første gjaldt brudd på dagens rørledninger og det siste spredning av partikler fra Bråstadelva.

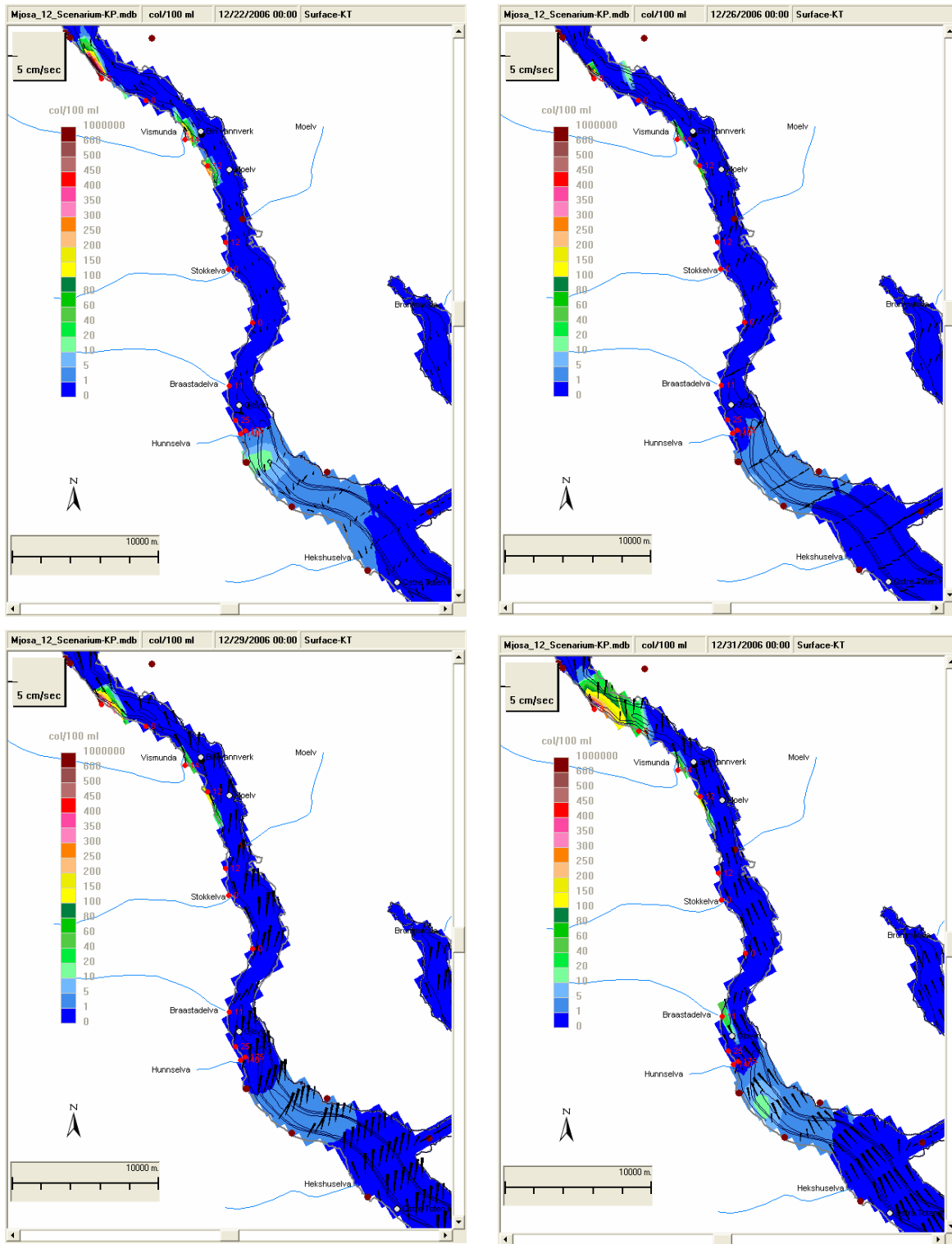
3.1 Scenarium 1: Brudd på rørledningen ved Bråstad

Vi antok et brudd på kloakkledningen ved Bråstad. Kloakken fra og med Bråstad og nordover rant ut i Mjøsa ved pumpestasjonene. Vi antok at tilførslene på hver av pumpestasjonene var lik øvre kapasitet, til sammen 57 l/s. Innholdet av rørledningen rant ut ved Bråstad i løpet av fem dager. Resultatene er vist i **Figur 30 - Figur 35**. Plasseringen av pumpestasjonene og lekkasjene størrelse, hvor benevnningen er l/s, er vist på de to første figurene. Vi antok at utslippene hadde en konsentrasjon på 1 mill. *E. coli* per 100 ml, dvs. 10 ganger høyere enn i rensed avløpsvann. Hensikten var å gi et høyt anslag for tilførslene både med hensyn til vannmengde og til dels også konsentrasjon.

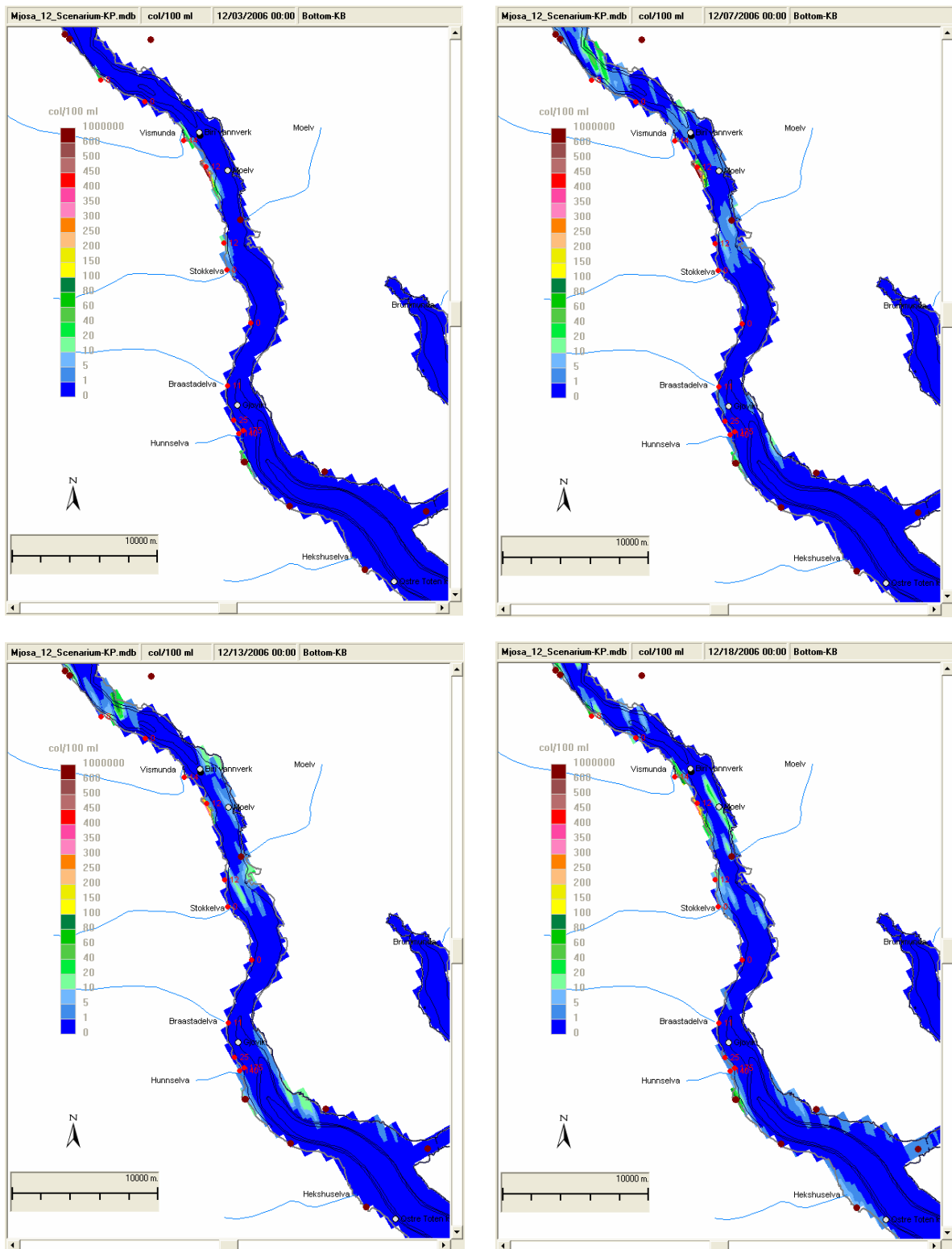
Vanninntaket ved Moelv ble i blant noe påvirket med verdier omkring 20 per 100 ml. De andre vanninntakene syntes ikke å bli påvirket. Dvs. at kun Moelv vanninntak, som normalt blir mest påvirket av utslipp fra Moelv renseanlegg, kan forventes å få merkbart verre forhold enn ved normale forhold.



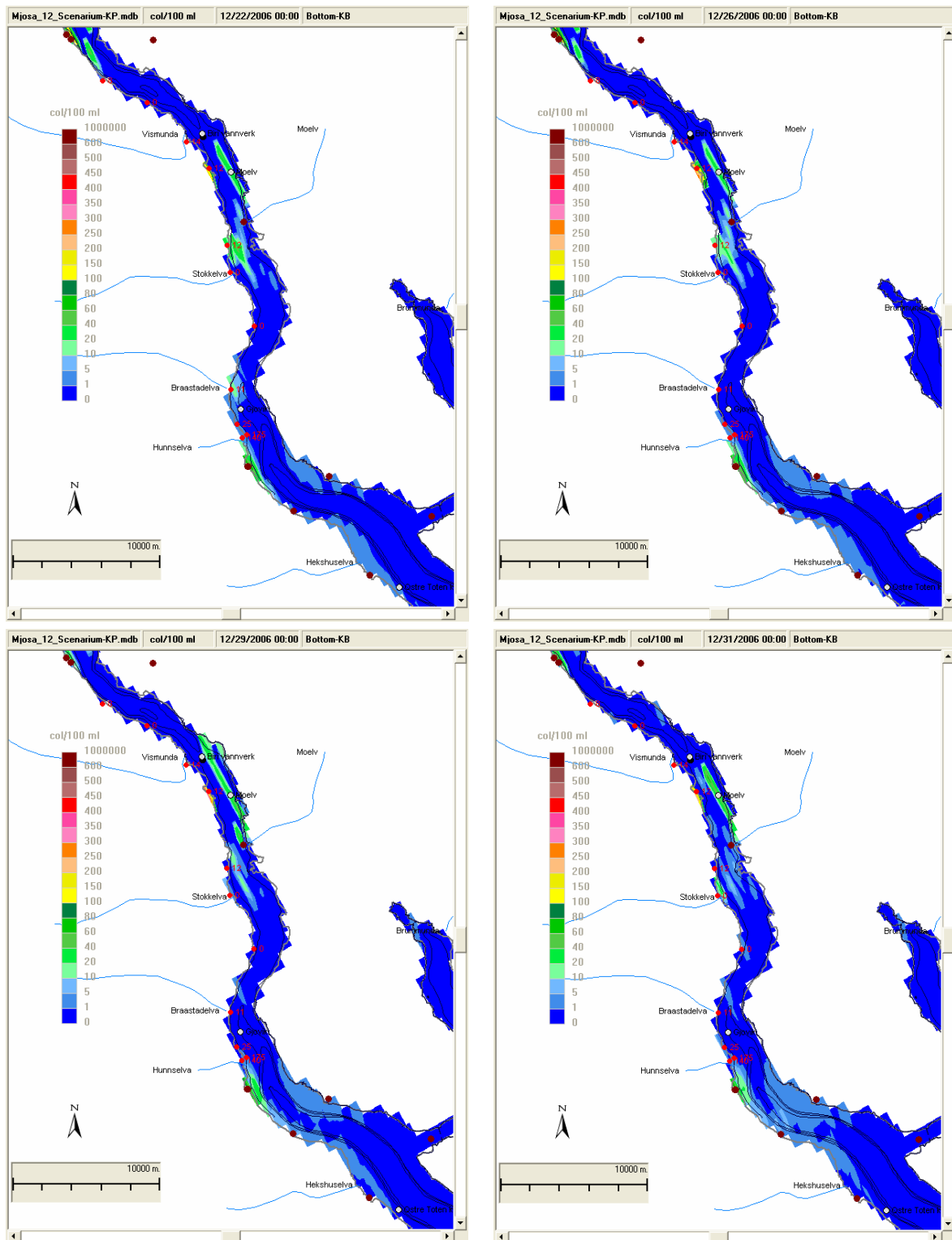
Figur 30. Scenarium 1: Lekkasje ved pumpestasjonene nord for Bråstadelva. *E. coli* i overflaten 3., 7., 13. og 18. desember 2006.



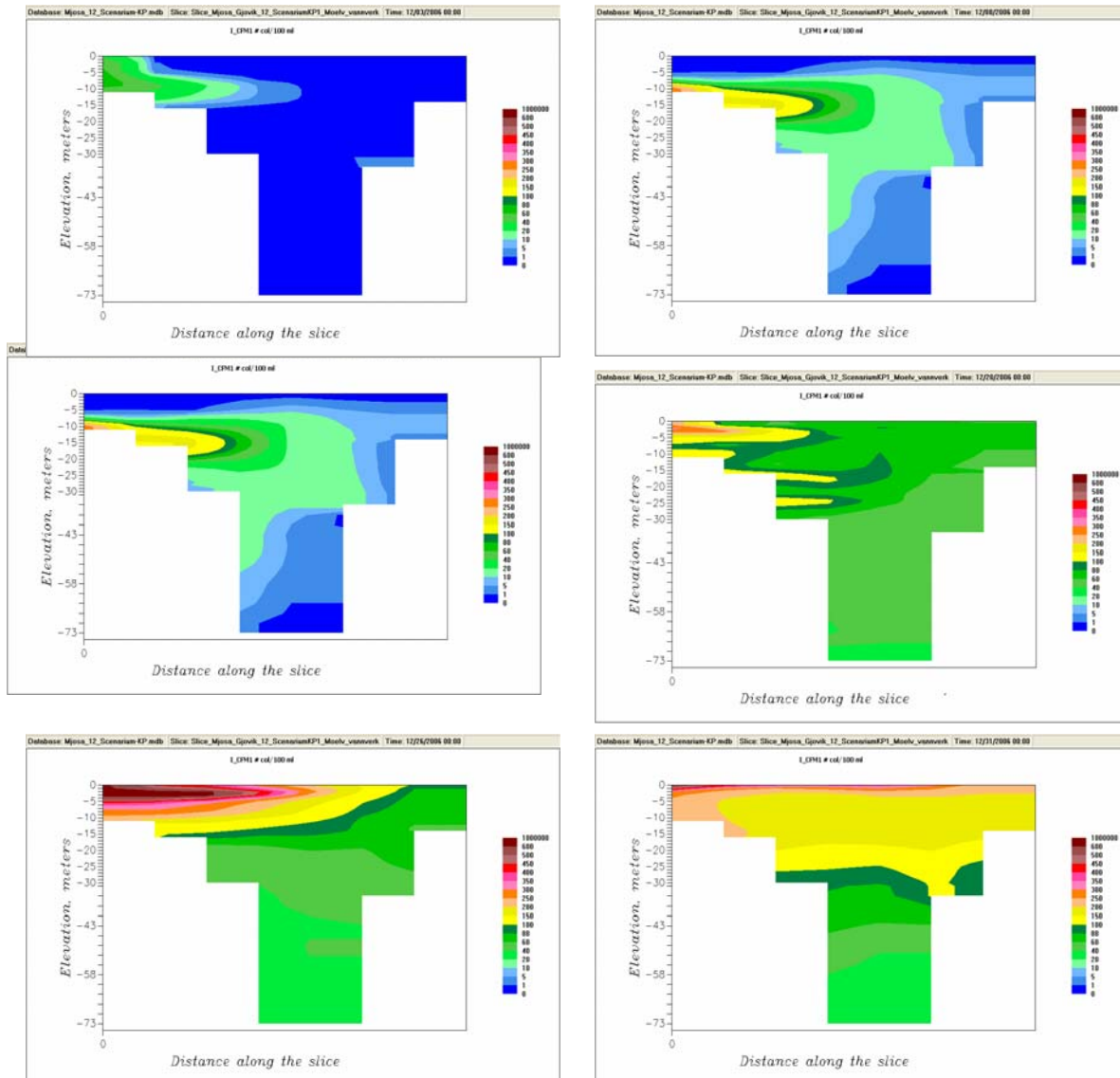
Figur 31. Scenarium 1: Lekkasje ved pumpestasjonene nord for Bråstadelva. *E. coli* i overflaten 22., 26., 29. og 31. desember 2006.



Figur 32. Scenarium 1: Lekkasje ved pumpestasjonene nord for Bråstadelva. *E. coli* langs bunnen 3., 7., 13. og 31. desember 2006. Vanninntaket ved Moelv ble moderat påvirket.

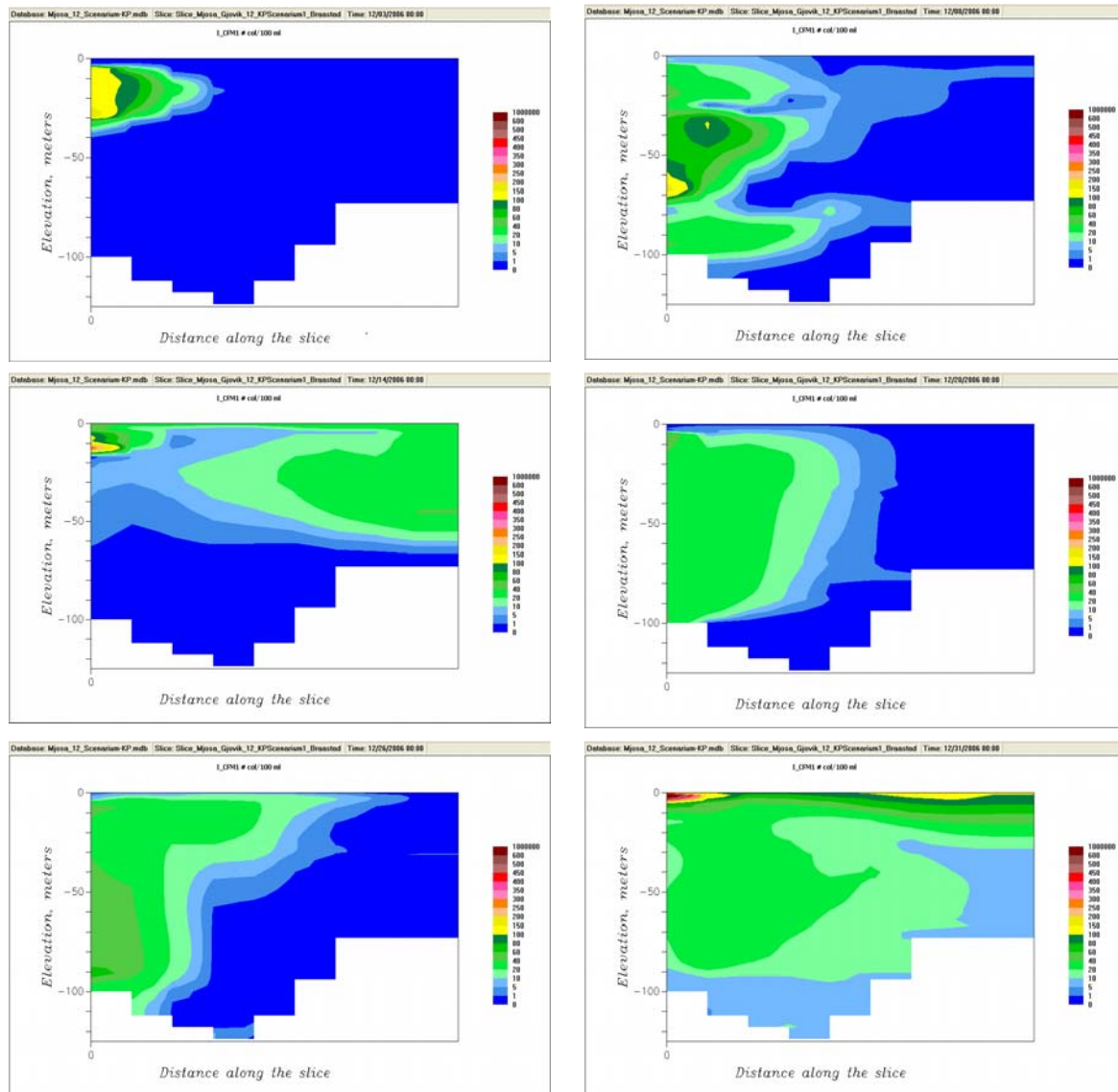


Figur 33. Scenarium 1: Lekkasje ved pumpestasjonene nord for Bråstadelva. *E. coli* langs bunnen 22., 26., 29. og 31. desember 2006. Vanninntaket ved Moelv ble moderat påvirket.



Figur 34. Scenarium 1: Lekkasje ved pumpestasjonene nord for Bråstadelva.

E. coli i vest-øst tvversnitt ved Moelv vannverk. Bakteriene ble vanligvis innlagret i overflaten eller like under denne. Vanninntaket på bunnen ble ved enkelte anledninger moderat påvirket.



Figur 35. Scenarium 1: Lekkasje ved pumpestasjonene nord for Bråstadelva. *E. coli* i vest-øst tverrsnitt ved Moelv vannverk. Bakteriene ble vanligvis innlagret i overflaten eller like under denne. Vanninntaket på bunnen ble i liten grad påvirket.

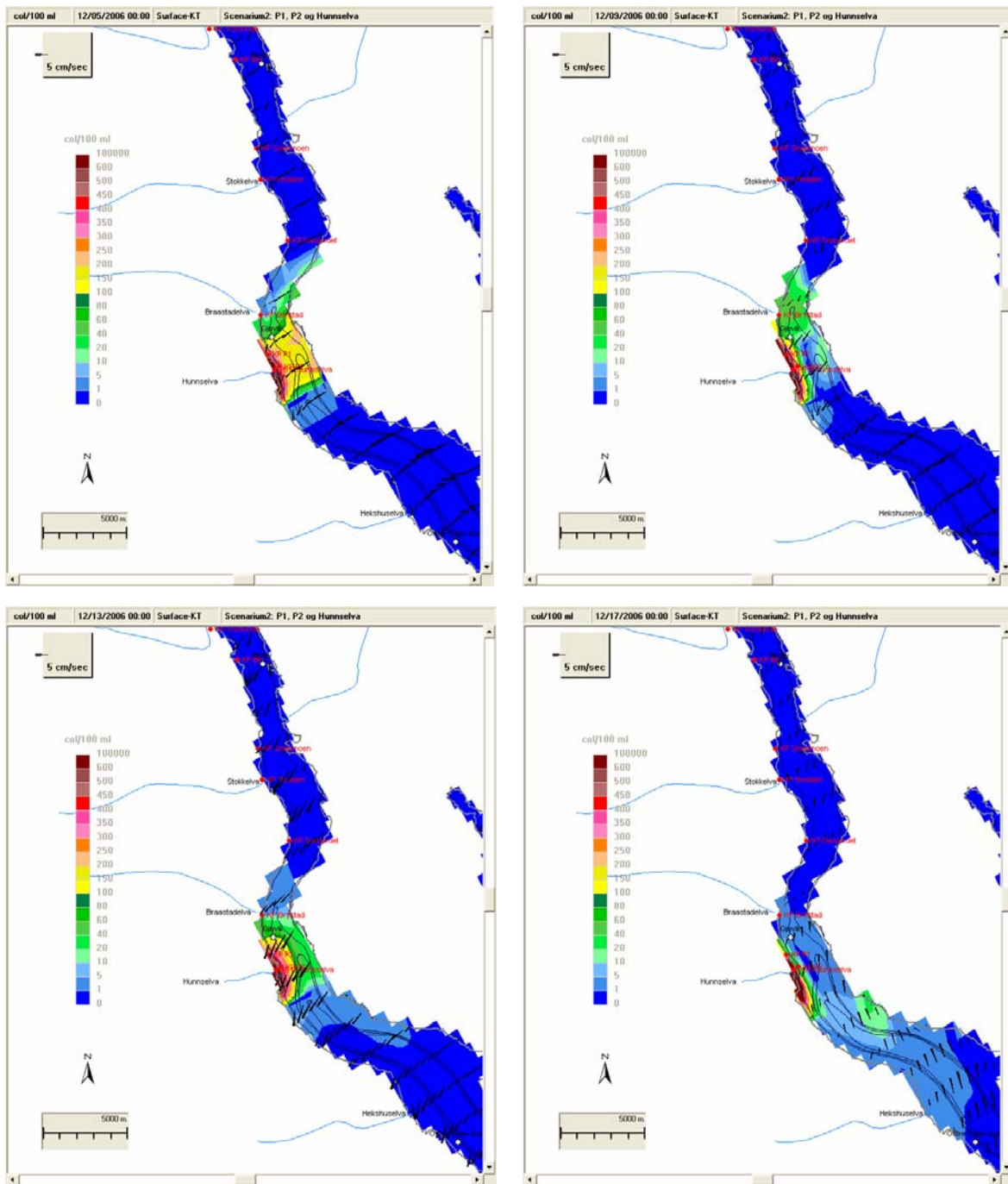
3.2 Scenarium 2: Brudd på kloakkledningen ved P1, P2 og Hunnselva

Resultatet av simuleringene er vist i **Figur 36 - Figur 40**. I de første figurene med horisontale kart er plasseringen av lekkasjene tegnet inn. Lekkasjepunktene skjer nær Hunnselvas utløp. Vannføringene ble satt lik 100 l/s, noe som tilsvarer vannføringen gjennom Rambekk renseanlegg minus tilløpet oppstrøms Bråstadelva. Konsentrasjonene av *E. coli* ble antatt å være 1 mill./100 ml. Lekkasjene varte en måned, desember 2006, med forhold hvor vanninntakene var mest utsatt for påvirkning.

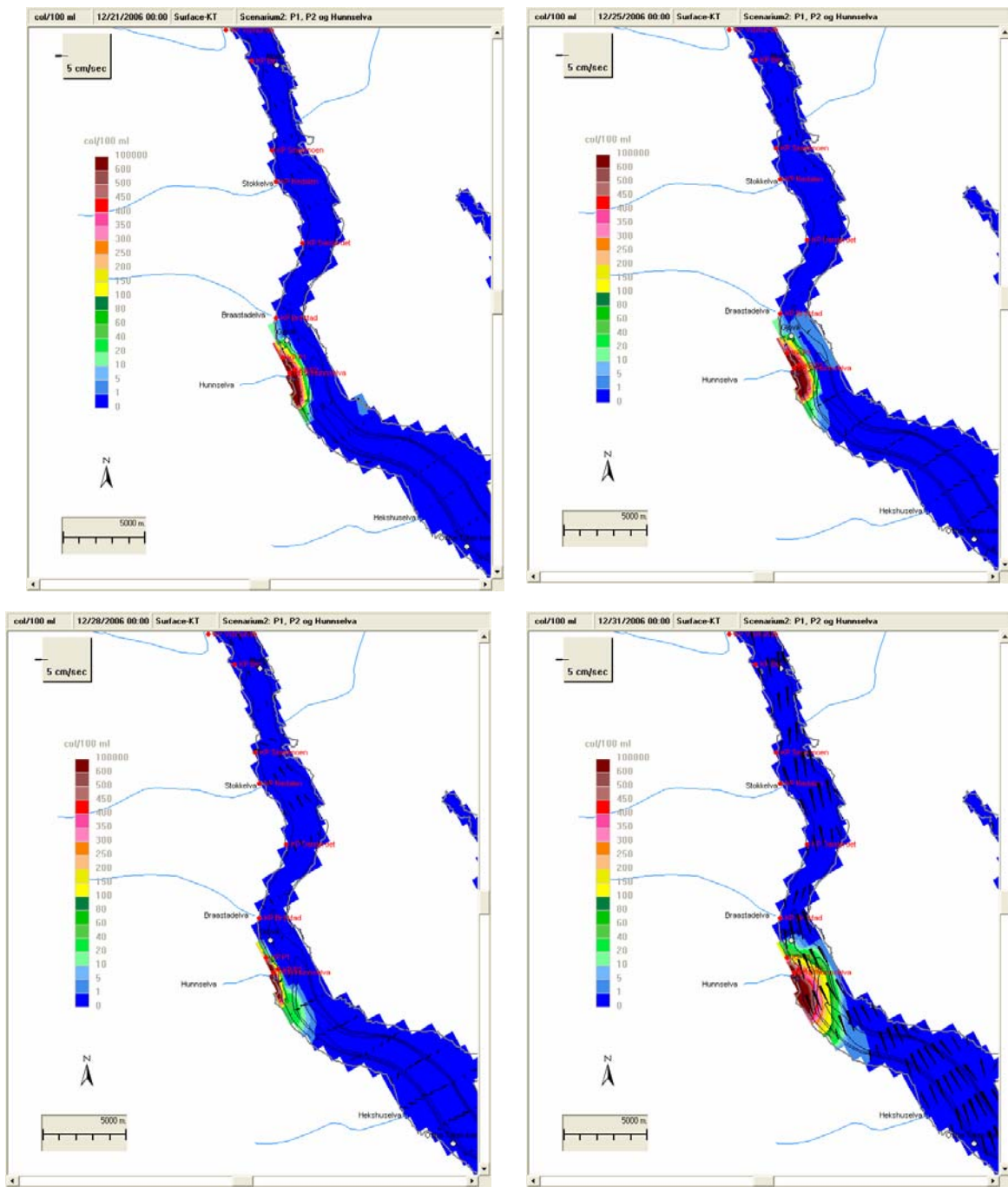
Overflatevannet nær lekkasjepunktene ble ifølge simuleringene betydelige. Avhengig av vindretningen ble grensen for godt badevann overskredet i en avstand på nær 10 km. Utslippene trengte først og fremst nedover langs land nær utslippet. Ved transport utover støtte det mot land på østsiden og dukket nedover der.

Mesteparten av tiden ble vanninntaket til Gjøvik lite påvirket, under 5 /100 ml. De høyeste simulerte konsentrasjonene var 30 /100 ml. De skarpe gradienten gjorde at det skulle små forskyvninger til for å komme opp i konsentrasjoner nær 100/100 ml.

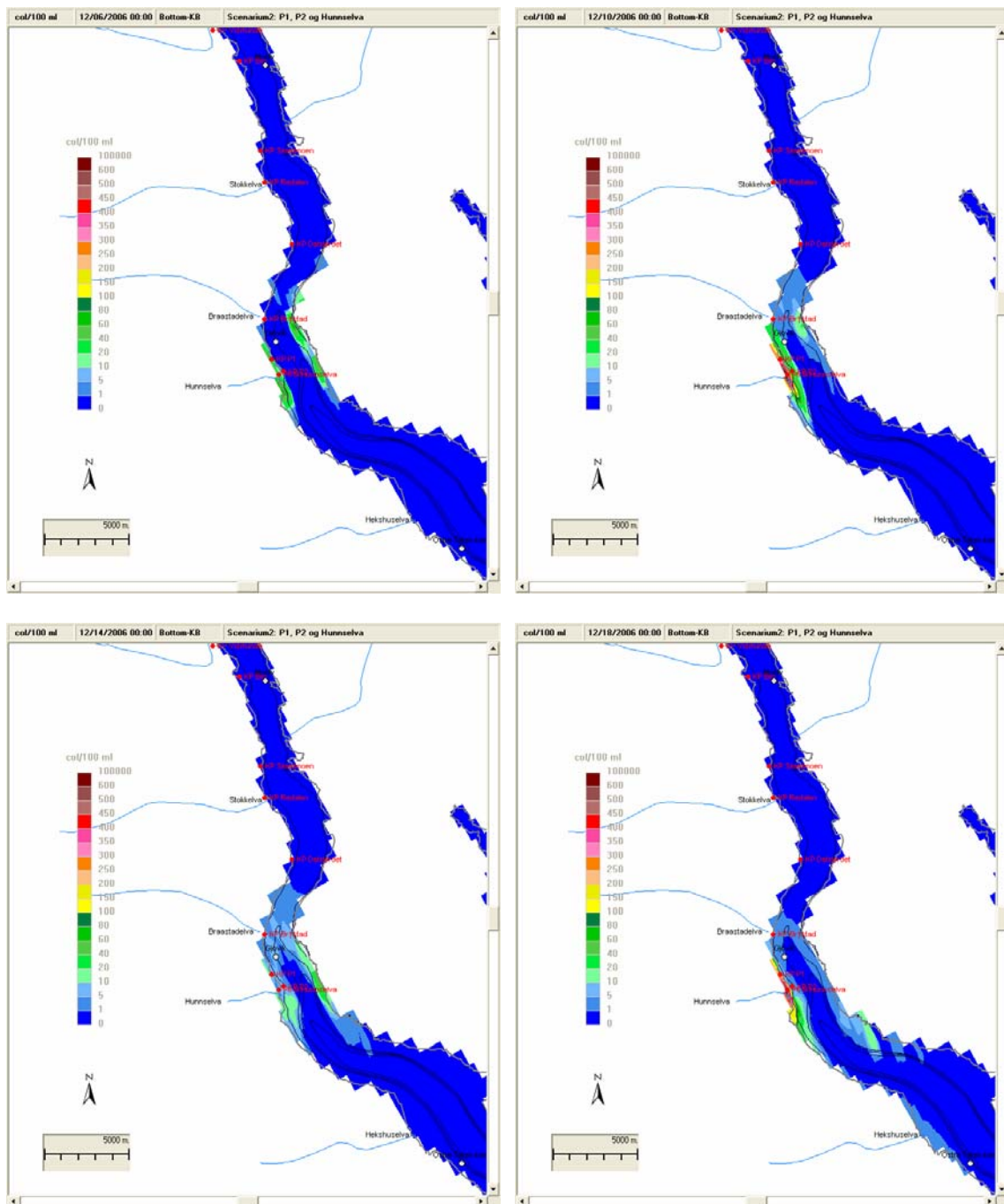
Hvor lang tid det tar å transportere bakterier fra bruddstedet til vanninntaket til Gjøvik vannverk er avhengig av vindretning med mer. Vi skal her gi et "verste fall" overslag. Den horisontale avstanden mellom utslipp og vanninntaket er 1,5 km. Med en overflatehastighet på 5 - 10 cm/s kan bakteriene bli transportert til det aktuelle området i løpet av noen timer. De vertikale hastighetene var i følge simuleringene meget sjelden over 1 mm/s. Bruker vi den farten i regneeksemplet, tar det et par døgn å transportere bakteriene ned til et vanninntaket som er plassert på omkring 200 meters dyp. Stort sett var de vertikale hastighetene omkring 0,1 mm/s eller lavere og ikke konstant nedover rettet i hele profilet slik at transporttiden normalt burde bli over et par uker.



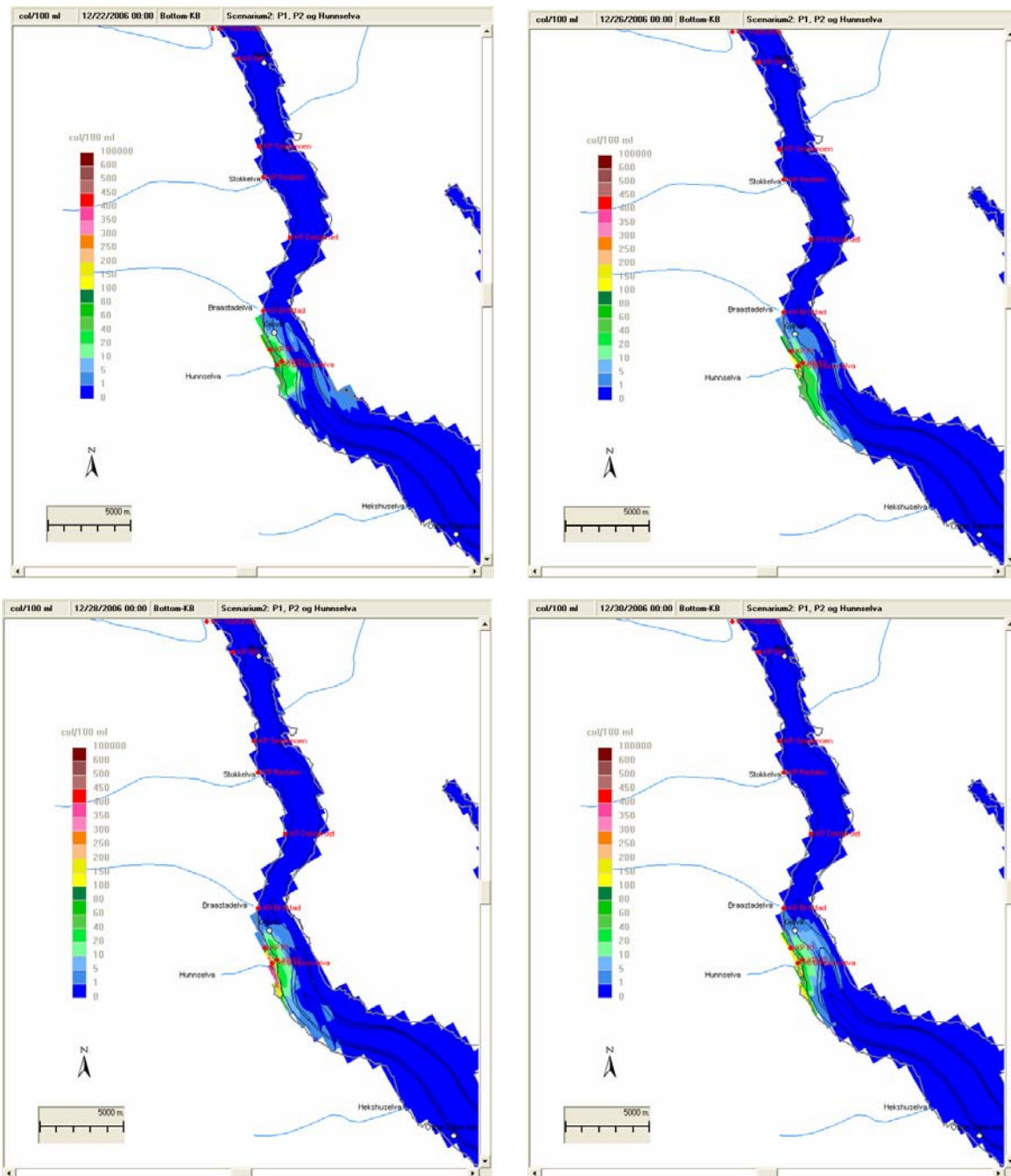
Figur 36. Scenarium 2: Brudd på kloakkledningen ved stasjon P1, P2 og Hunnselva. *E. coli* på overflaten 5., 9., 13., og 17. desember 2006.



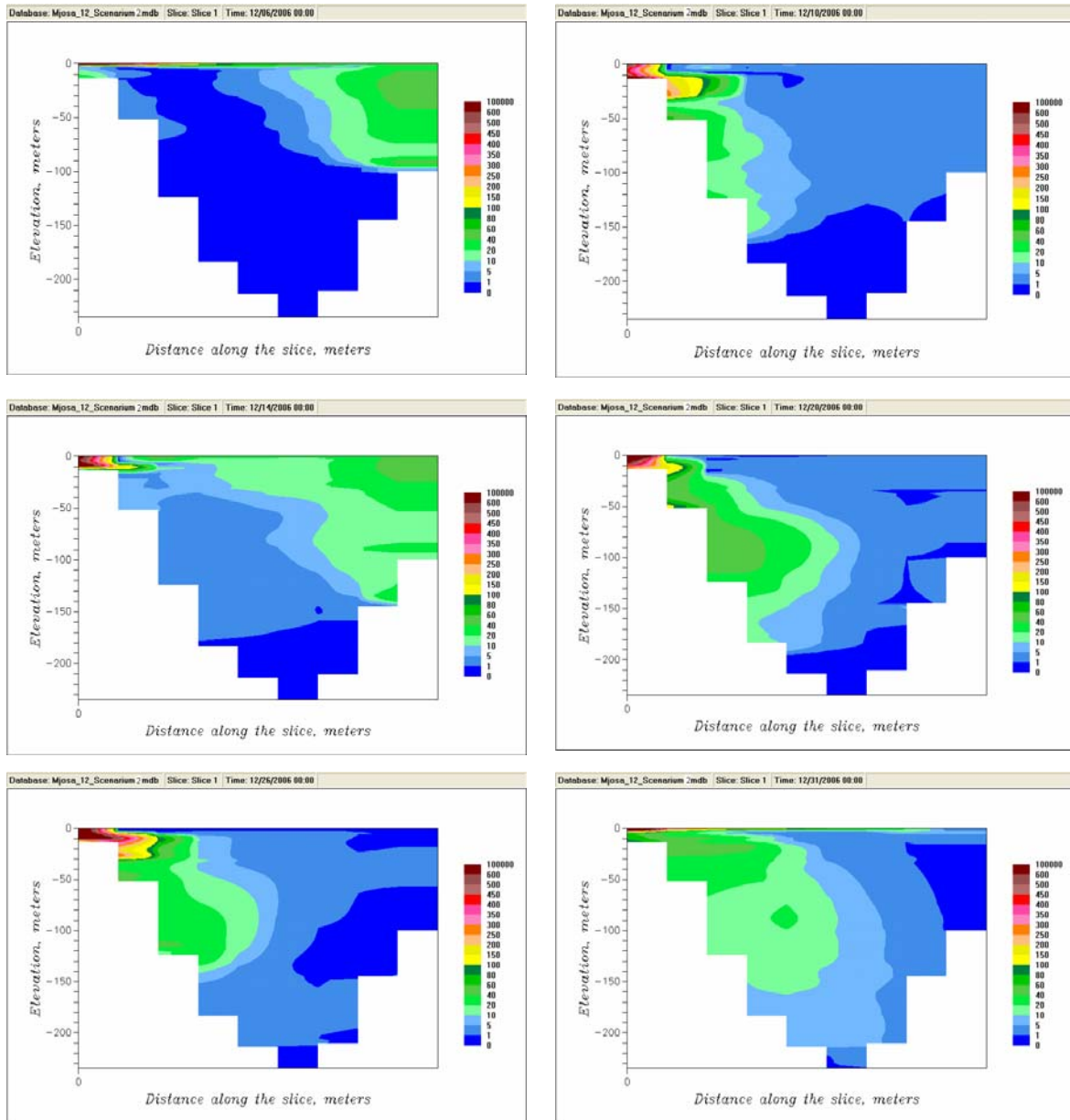
Figur 37. Scenario 2: Brudd på kloakkledningen ved stasjon P1, P2 og Hunnsetelva. *E. coli* på overflaten 21., 25., 28., og 31. desember 2006.



Figur 38. Scenario 2: Brudd på kloakkledningen ved stasjon P1, P2 og Hunnselva. *E. coli* langs bunnen på overflaten 6., 10., 14., og 18. desember 2006.



Figur 39. Scenario 2: Brudd på kloakkledningen ved stasjon P1, P2 og Hunnselva. *E. coli* langs bunnen på overflaten 22., 26., 28., og 30. desember 2006.



Figur 40. Scenarium 2: Brudd på kloakkledningen ved stasjon P1, P2 og Hunnselva. *E. coli* i vest – øst tversnitt fra Hunnselva.

3.3 Scenarium 3: Partikkel transport fra Bråstadelva

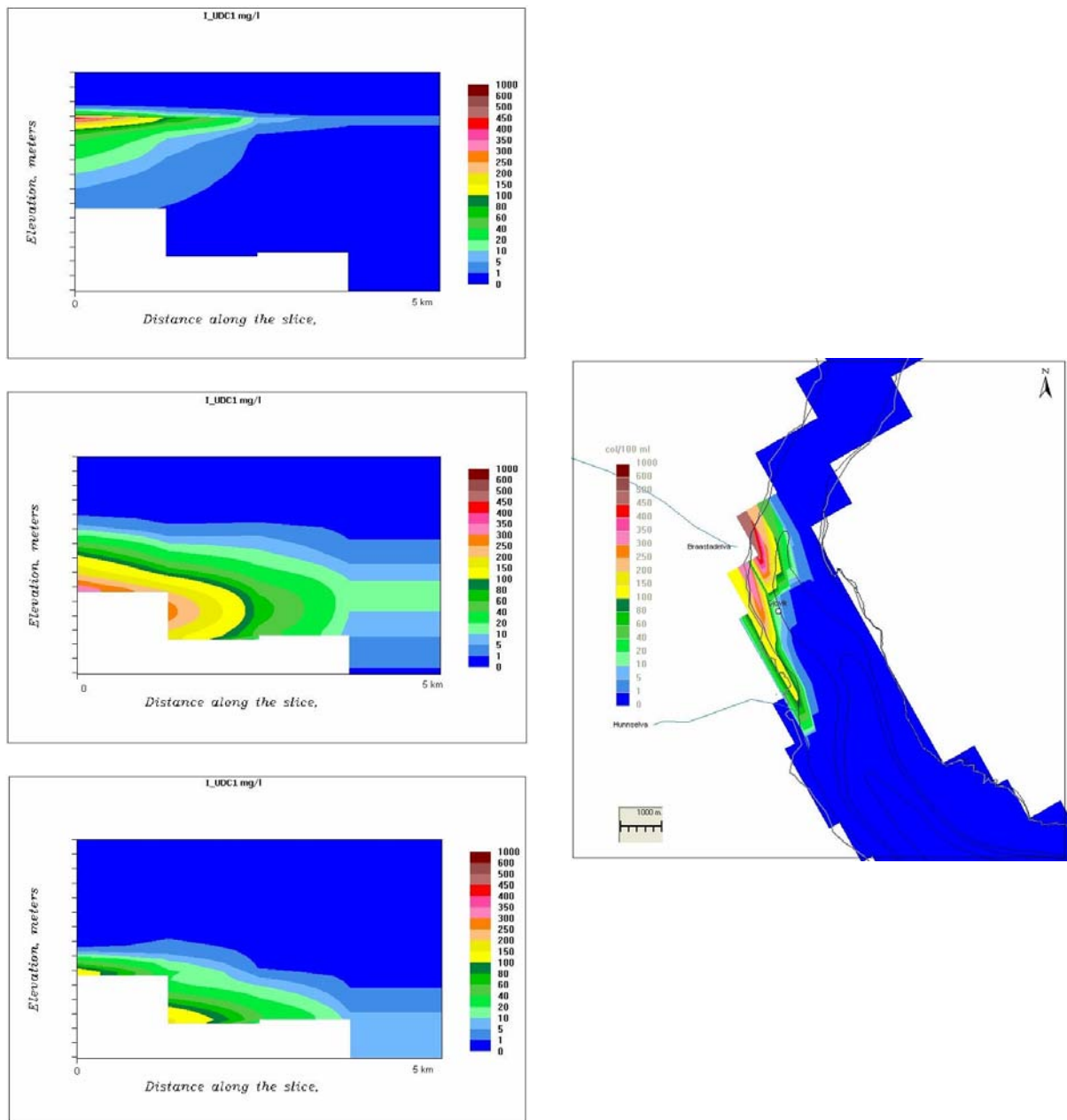
Det ble ved en anledning observert høye partikkelkonsentrasjoner vanninntaket til Gjøvik vannverk. I den samme perioden ble det utført gravearbeid ved utløpet av Bråstadelva slik at elva ble slamholdig. Vi utførte et scenarium for å se om det er sannsynlig at partikler fra Bråstadelva kan påvirke vanninntaket.

Vi antok at forholdene var som i den første uken av desember 2006 med hensyn til vannføring og meteorologiske forhold. Vi laget et eksempel hvor vi antok partikler med synkehastighet på 20 m/døgn. Dette tilsvarer middels silt med kornstørrelsesdiameter på ca. 0,02 mm. Vi antok partikkelkonsentrasjonen i Bråstadelva var konstant lik 1000 mg/l.

Figur 41 viser eksempler på konsentrasjoner etter noen dagers spredning. Scenariet viser at vanninntaket til Gjøvik vannverk ble betydelig påvirkning. Vi har ikke detaljerte opplysninger om mengde suspendert stoff, kornstørrelse osv. til gi konkrete utsagn om den omtalte episoden. Hensikten med scenariet er kun å si at det er sannsynlig at dette kan være tilfelle. Leirholdig materiale (diameter < 0,002 mm) vil praktisk talt følge vannets bevegelser uten å sedimentere og dermed oppføre seg som et konservativt stoff. Noen dagers tilførsler av leirpartikler vil følgelig i liten grad påvirke vanninntaket. Sand og grovere materiale, med sedimentasjonshastighet på over 1 km/døgn, vil hovedsakelig sedimentere før det når vanninntaket.

Scenariet gjaldt påvirkning fra Bråstadelva på drikkavvannsinntaket til Gjøvik vannverk. Det samme forholdet gjelder rimeligvis også for stor transport av siltholdig materiale fra Hunnselva, og fra elver i nærheten av vannverk generelt.

Dersom det blir utført arbeid som sterkt påvirker innholdet av finpartiklet materiale kan det være gunstig at kommunen varsles. Dette vil gjøre det enklere å overvåke inntaksvannet nøyer og sette i gang eventuelle tiltak.



Figur 41. Partikkelkonsentrasjoner av middels silt (0,02 mm) i et nord – sør profil fra Bråstadelva. Eksempler på partikkelkonsentrasjoner etter 2, 4 og 6 dager med kontinuerlig utslipp fra Bråstadelva på 1000 mg/l. Figuren til høyre viser konsentrasjoner langs bunnen. Gjøvik vanninntak, som ligger 1,5 km fra Bråstadelvas utløp, ble betydelig påvirket.

4. Referanser

Aulicino FA, Mastrantonio A, Orsini P, Bellucci C, Muscillo M, Larosa G (1996). Enteric viruses in a wastewater treatment plant in Rome. WATER AIR AND SOIL POLLUTION 91 (3-4): 327-334.

CACCIO SM (2003) Giardia cysts in wastewater treatment plants in Italy
APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY 69 : 3393.

Folkehelseinstituttet (1994). Vannkvalitetsnormer for friluftsbad.
http://www.fhi.no/eway/default.aspx?pid=233&trg=MainLeft_5583&MainArea_5661=5583:0:15,1363:1:0:0:::0:0&MainLeft_5583=5603:41607::1:5585:1:::0:0

Folkehelseinstituttet (2004). Vannforsyningens ABC. Kapittel B-Vannkvalitet.
<http://www.fhi.no/dav/698ca28d35.pdf>

Haas, C.N., Crockett, C.S., Rose, J.B., Gerba, C.P. and Fazil, A.M. (1996). Assessing the risk posed by oocysts in drinking water. Journal AWWA. Sept 1996: 131-136.

Johannessen, Gro (2007). Veterinærinstituttet. Personlig meddelelse.

Løvik , J.E. 2008. Tiltaksorientert Forurensningssituasjonen i Mjøsa og tiløpselver 2007. Rapport nr. 5559-2008, Norsk institutt for vannforskning, Oslo og Vassdragsforbundet for Mjøsa med tilløpselver, Lillehammer

Mattilsynet (2005). Veileder til drikkevannsforskriften. Versjon 2. September 2005.
http://www.mattilsynet.no/mattilsynet/multimedia/archive/00017/Drikkevannsforskrift_17819a.pdf

Naturvårdsverket (2002). Risiker for smittspredning via avloppsslam.
<http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-5215-2.pdf>

NORVAR (2004) Faktaark A2/2002: Smittestoffer i avløpsvann.
http://www.norvar.no/norvar_site/forside/informasjon_om_va/faktaark/a2_2002_smittestoffer_i_avl_psvann

Ottoson J, Hansen A, Westrell T, et al. (2006). Removal of noro- and enteroviruses, Giardia cysts, Cryptosporidium oocysts, and fecal indicators at four secondary wastewater treatment plants in Sweden

Robertson LJ, Hermansen L, Gjerde BK (2006). Occurrence of Cryptosporidium oocysts and Giardia cysts in sewage in Norway . APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY 72 (8): 5297-5303.

Robertson LJ, Gjerde BK (2006). Fate of Cryptosporidium oocysts and Giardia cysts in the norwegian aquatic environment over winter . MICROBIAL ECOLOGY 52 (4): 597-602.

SFT 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. Veiledning 97:04. ISBN nr. 82-7655-368-0, TA-nummer 1468/1997, Statens forurensningstilsyn, Oslo.

Tjomsland, T. og Tryland, I 2007. Valg av trasé for avløpsledningover Furnesfjorden i Mjøsa. Sårbarhetsanalyse ved bruk av strøm- og spredningsmodeller. 67 s, løpenr. 5466-2007, Norsk institutt for vannforskning, Oslo

Vogelsang C. 2007. Høye koliforme bakterier i vanninntaket skyldes vekst I vannkilden? Sluttrapport fra undersøkelser i Maridalsvannet sommeren 2007. 20 s, løpenr. 5522-2007, Norsk institutt for vannforskning, Oslo

WHO (2006). Guidelines for Drinking Water Quality (2006).
http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq0506.pdf

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