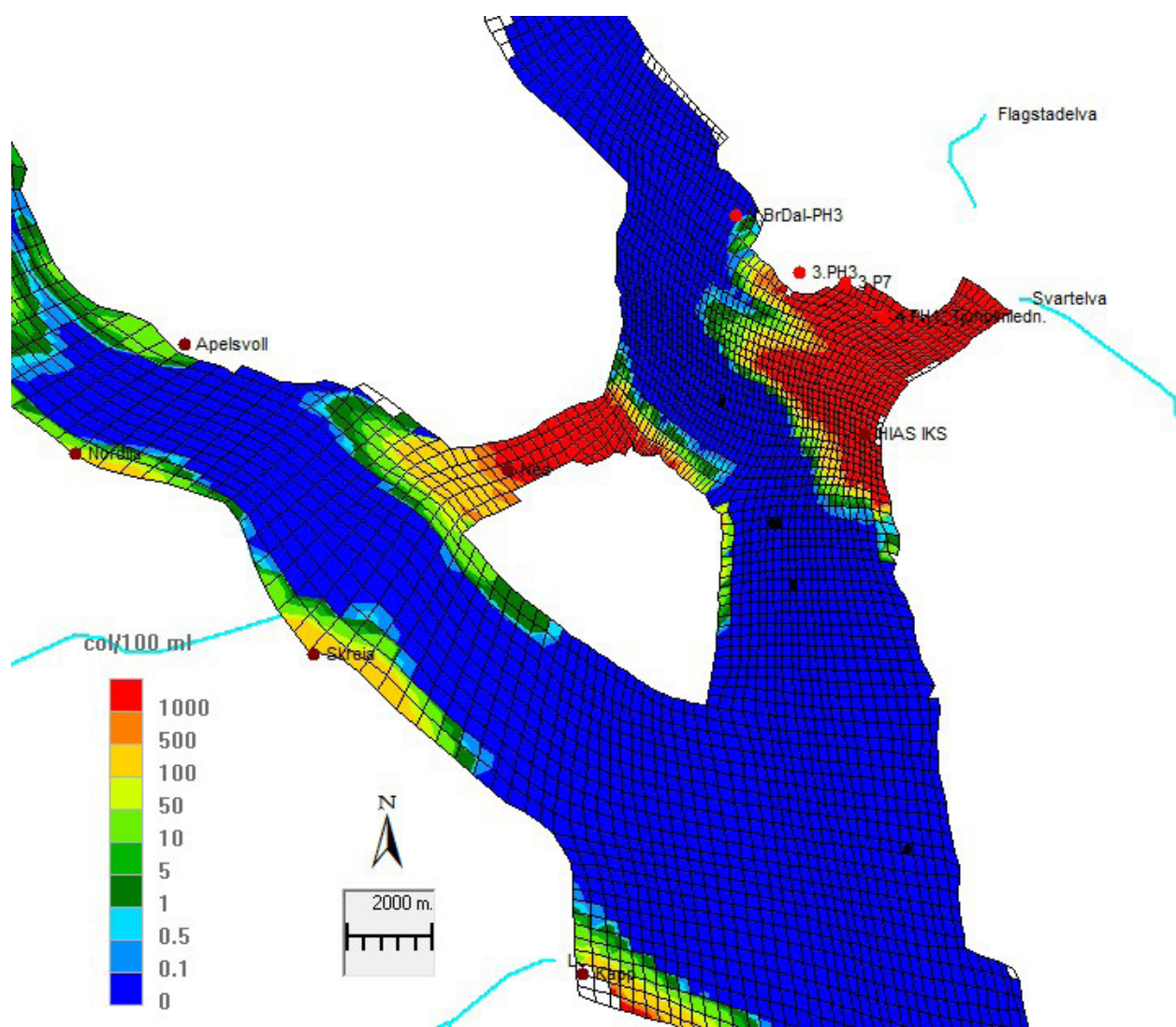


Sårbarhetsanalyse av vanninntakene til Hamar og Stange vannverk ved bruk av en matematisk strøm- og spredningsmodell



Norsk institutt for vannforskning

RAPPORT

Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

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

Østlandsavdelingen

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

Vestlandsavdelingen

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

NIVA Midt-Norge

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

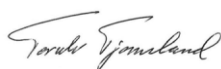
Tittel Sårbarhetsanalyse av vanninntakene til Hamar og Stange vannverk ved bruk av en matematisk strøm- og spredningsmodell	Løpenr. (for bestilling) 6322-2012	Dato 15.03.2012
	Prosjektnr. Undernr. 12037	Sider Pris 74
Forfatter(e) Torulv Tjomsland, Ingun Tryland, Magdalena Kempa og Jarl Eivind Løvik	Fagområde Miljøinformatikk	Distribusjon Fri
	Geografisk område Hedmark	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Hias IKS	Oppdragsreferanse Målfrid Storfjell
------------------------------	--

Sammendrag

Målet var å finne i hvilken grad forurensende utslipp kan påvirke drikkevannet til Hamar vannverk, Stange vannverk og fremtidig alternative vanninntak. Vi benyttet den 3-dimensjonale strøm- og spredningsmodellen GEMSS. Vanninntaket til Hamar vannverk var i perioder betydelig påvirket av *E. coli* fra HIAS og Nes renseanlegg. Flagstadelva og Svartelva bidro også med noe. Vanninntaket til Stange vannverk ble i modellberegningene ikke funnet å bli påvirket av *E. coli* fra noen av renseanleggene eller tilløpselvene. Patogener med lang overlevelse (enkelte virus, parasitter mm.) fra HIAS og Nes renseanlegg kan påvirke begge vanninntakene, men det trengs mer informasjon om forekomst og overlevelsessevne til ulike patogener, og om renseevnen på HIAS og Nes med hensyn på *Cryptosporidium* oocyster og andre patogener. «Verste-fall»-analyser indikerte at ved et utbrudd av parasitten *Cryptosporidium* i befolkningen tilknyttet HIAS, vil vannbehandling som gir henholdsvis 5 LOG-reduksjoner og 4 LOG-reduksjoner av parasitter være påkrevd på vannbehandlingsanleggene til Hamar og Stange. Ledningsbrudd eller svikt i renseanleggene som fører til at urensset kloakk slippes ut i Mjøsa over en kort periode, vil sannsynligvis påvirke vanninntakene mindre enn den kontinuerlige påvirkningen fra HIAS. Vi anser det for lite sannsynlig at et uhellsutslipp fra tog eller bil i Akersvika ved Hamar eller ved Tangen vil påvirke vannverksinntakene i nevneverdig grad. Ved å flytte vanninntaket fra Hamar vannverksinntak i retning av Stange vannverksinntak, vil kvaliteten på inntaksvannet forbedres.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Vannverk	1. Water work
2. Sårbarhetsanalyse	2. Water quality
3. Modellering	3. Modelling
4. Mjøsa	4. Lake Mjøsa



Torulv Tjomsland
Prosjektleder



John Rune Selvik
Forskningsleder



James Dedric Berg
Seniorrådgiver

ISBN 978-82-577-6057-1

Norsk institutt for vannforskning

Oslo

Sårbarhetsanalyse av vanninntakene til
Hamar og Stange vannverk
ved bruk av en
matematisk strøm- og spredningsmodell

Prosjektleder: Torulv Tjomsland
Medarbeidere: Ingun Tryland
Magdalena Kempa
Jarl Eivind Løvik

Forord

Oppdraget er utført av Norsk institutt for vannforskning (NIVA) etter oppdrag fra HIAS IKS.

Arbeidet er blitt justert underveis per E-post, telefon og arbeidsmøte med oppdragsgiver. Målfrid Storfjell har vært kontaktperson hos HIAS IKS.

Ingun Tryland har hatt ansvar for vurderinger av de hygieniske forhold. Torulv Tjomsland har hatt hovedansvaret for modelleringen med assistanse av Magdalena Kempa. Jarl Eivind Løvik har bidratt med innsamling og bearbeiding av data samt råd og veiledning.

Oslo 15. mars 2012

Torulv Tjomsland

Innhold

1. Innledning	10
1.1 Mål	10
1.2 Metode	10
1.3 Områdebeskrivelse	11
1.4 Fekale indikatorbakterier og patogener	13
2. Simulering av dagens forhold	15
2.1 Generelle hydrodynamiske forhold	15
2.2 Innlagring i Mjøsa av vann fra renseanlegg eller bruddsted	18
2.3 <i>E. coli</i>	19
2.4 Observert <i>E. coli</i> i råvannsinntakene til Hamar og Stange vannverk	24
2.5 «Patogener»	25
3. Brudd på overføringsledningene til HIAS	29
3.1 <i>E. coli</i> . Summen av alle bruddene	30
3.2 Scenarium 1. Overløp i pumpestasjonen i Brumunddal	32
3.3 Scenarium 2. Brudd mellom Brumunddal og PH3	37
3.4 Scenarium 3. Brudd før PH1	41
3.5 Scenarium 4. Brudd ved PH1 - Tjuvholmledningen.	45
4. Full stopp i de nærmeste renseanleggene	49
5. Uhellsutslipp fra tog og bil	58
5.1 Simulert spredning	58
5.2 Hva slags stoffer/væsker kan tenkes å tilføres ved et uhell	65
6. Diskusjon og konklusjoner	68
7. Referanser	70
Vedlegg A. Kvalitetskrav til drikkevann.	72

Sammen drag

Oppdraget er utført av Norsk institutt for vannforskning (NIVA) etter oppdrag fra HIAS IKS.

Målet var å finne i hvilken grad forurensende utslipp kan påvirke drikkevannet til Hamar vannverk, Stange vannverk og mulig nytt vanninntak. Dette gjaldt dagens tilførselskilder samt tilførsler som følge av uhell ved brudd på kloakkledningene til HIAS, driftsstans i nærliggende renseanlegg og uhells-utslipp av kjemikalier fra bil og tog. Det skulle legges vekt på spredning av bakterier, men også tas hensyn til stoffer med mer konservative egenskaper som kan representere patogene og toksiske stoffer.

Vi benyttet den 3-dimensjonale modellen GEMSS. Modellen beregner strøm, temperatur, konsentrasjon av stoffer med ulike egenskaper, inkludert bakterier. Modellen er utviklet av ERM's Surfacewater Modeling Group i Exton, Pennsylvania, USA.

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

Modellsimuleringene viste at vanninntaket ved Hamar vannverk i perioder var betydelig påvirket av *E. coli* fra HIAS og Nes renseanlegg. Flagstadelva og Svartelva bidro også med noe *E. coli*. I sum var påvirkningen under vårsirkulasjonen ca. 10 *E. coli* per 100 ml. De andre renseanleggene og tilløpselvene så ikke ut til å påvirke vanninntaket ved Hamar med målbare konsentrasjoner av *E. coli*.

Vanninntaket ved Stange vannverk ble i modellberegningene ikke funnet å bli påvirket av *E. coli* fra noen av renseanleggene eller tilløpselvene. Det observeres innimellom opptil 5 *E. coli* per 100 ml i råvannet ved Stange. Dette kan skyldes bakterier som festes til partikler og dermed transporteres til vanninntaket, et fenomen som ikke er tatt hensyn til i modellen. Eventuelt kan det skyldes forurensningskilder som ikke er tatt med i modellen, eller at *E. coli* i virkeligheten overlever lenger enn det som er antatt i modellen.

Parasittene *Giardia* og *Cryptosporidium* og indikatorbakterien *Clostridium perfringens* overlever lenger i vann enn *E. coli*. Ved å bruke *C. perfringens* som modellorganisme (og anta at det slippes ut 10000/100 ml fra alle renseanleggene, med halveringstid en måned) så ble vanninntaket ved Hamar påvirket med opptil 10 *C. perfringens* per 100 ml og vanninntaket ved Stange med opptil 1 *C. perfringens* per 100 ml. Dette stemmer bra med de observerte verdiene i råvannet. Mesteparten av påvirkningen ved begge vanninntakene (ca. 90%) kom fra HIAS, mens ca. 10% kom fra Nes renseanlegg. Renseanleggene Rambekk, Skreia og Kapp påvirker vanninntakene i langt mindre grad.

Et scenario kan være at det er utbrudd av parasitten *Cryptosporidium* i befolkningen tilknyttet HIAS slik at 100 000 *Cryptosporidium* oocyster per liter kontinuerlig slippes ut fra renseanlegget. Modellsimuleringene viste at i verste fall vil dette kunne gi opptil 80 per liter og 7 per liter av *Cryptosporidium* oocyster i vanninntakene ved henholdsvis Hamar og Stange. Dette ville satt stort press på drikkevannsbehandlingen. WHO (2004) har beregnet at innholdet av *Cryptosporidium* i ferdigbehandlet vann bør være mindre enn 0,00063 per liter for å oppnå akseptabel risiko. Vannbehandling som gir henholdsvis 5 LOG-reduksjoner og 4 LOG-reduksjoner av parasitter ville i så fall være påkrevd på vannbehandlingsanlegget ved Hamar og Stange.

Modellsimuleringene indikerer at vanninntaket ved Stange er betydelig mindre påvirket av *E. coli* og *C. perfringens* (mikrober med lang overlevelse) enn vanninntaket ved Hamar. Analyser av råvannet støtter dette, men forskjellen er noe mindre enn hva modellen indikerer. Både modellsimuleringene og råvannsanalysene indikerer at et vannbehandlingsanlegg med råvannsinntak ved Hamar må ha to aktive barrierer både mot både bakterier, parasitter og virus. Dette skyldes hovedsakelig påvirkningen fra HIAS.

Modellering av utslipp av kloakk som følge av ledningsbrudd og stopp i renseanleggene viste at dette kan ha betydning for badevannskvaliteten i nærområdet. Konsekvensen for vanninntakene ved Hamar og Stange vil avhenge av varigheten på hendelsen, lokaliseringen og ikke minst når på året det skjer. *E. coli* vil normalt dø ut relativt raskt, og på grunn av avstanden mellom aktuelle bruddsted og vanninntaket på Hamar og Stange, vil påvirkningen av vanninntakene med *E. coli* sannsynligvis være liten etter slike ledningsbrudd, spesielt dersom utslippene stoppes etter kort tid. Svikt i renseanlegget på HIAS og Nes i 10 dager vil kunne føre til moderat forhøyede *E. coli* konsentrasjoner ved vanninntaket på Hamar vannverk. Enkelte patogener (f.eks. parasittene *Cryptosporidium*) vil kunne overleve og transporteres lenger enn *E. coli*. Forekomst av patogener i kloakken (og i Mjøsa) vil være avhengig av at det er smittede individer i befolkningen. Dette kan endres fra en dag til neste. Ledningsbrudd eller svikt i renseanleggene som fører til at urensset kloakk slippes ut i Mjøsa over en kort periode, vil muligens påvirke vanninntakene mindre enn den kontinuerlige påvirkningen fra HIAS.

Vi anser det for lite sannsynlig at et uhellsutslipp med tog eller bil i Akersvika ved Hamar eller ved Tangen vil påvirke vannverksinntakene i nevneverdig grad.

Hamar vanninntak er mer utsatt for forurensende påvirkning enn Stange. Diverse kart av bakterier og patogener langs bunnen, gir et klart bilde av at forholdene blir bedre om inntaket blir flyttet i retning mot Stange vannverk langs de dypeste områdene mellom Helgøya og Hamar. De to alternative vanninntakene, inntak Nordsveodden og inntak Syd, vil forbedre vannkvaliteten i forhold til Hamar vanninntak. Inntak Syd vil være noe bedre enn inntak Nordsveodden. Området ved sørlig del av Helgøya vil forbedre forholdene ytterligere. Vannanalyser viser imidlertid at vanninntaket ved Stange også er noe påvirket av tarmbakterier. Selv om vannkvaliteten her er bedre enn ved vanninntaket til Hamar vannverk, er det tvilsomt om beliggenheten kan betraktes som en fullstendig hygienisk barriere. Følgelig er det tvilsomt om den nevnte flyttingen av Hamar vannverksinntak vil føre til oppnåelse av en fullstendig hygienisk barriere.

Summary

Title: Analyses of how pollution affects the water intakes of Hamar and Stange water works by use of a mathematical current and dispersion model.

Year: 2012

Author: Torulv Tjomsland, Ingun Tryland, Magdalena Kempa and Jarl Eivind Løvik.

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-6057-1

The objective was to find how pollution from different sources, mostly sewage outfalls and rivers, affected the water intake of Hamar and Stange water works. This was done by using the 3-dimensional mathematical current and dispersion model named GEMSS. First we ran the model for the current situation, and then we included scenarios with no sewage treatment, leakage in sewage pipelines and accidental discharges from trains or recreational vehicles.

The water intake at Hamar waterwork was in periods considerably affected by *E. coli* from the sewage discharged from the HIAS and Nes wastewater plants. In addition, there were some contributions from the rivers Flagstadelva and Svartelva. According to the simulations the intake of Stange waterwork did not receive any *E. coli*.

Pathogens, with longer survival time, may affect both waterworks. During an epidemic episode it may be necessary to treat water to achieve 5 LOG-reduction and 4 LOG-reduction of e. g. *Cryptosporidium* oocysts at the waterworks Hamar and Stange, respectively.

Periodic discharge of untreated Sewage owing to plant malfunction or leakage from broken influent pipelines to HIAS for a short period are expected to do less harm than regular outflow from HIAS and Nes today.

Accidental discharges from trains or vehicles in Akersvika by Hamar and Tangen south of Stange, will probably not affect the water intakes of the two water works noticeably.

The water quality of Stange water work is better than Hamar water work. Moving the intake of Hamar waterwork southward toward Stange waterwork to the southern part of Helgøya, will improve the water quality. However the improvement is not sufficient to be considered as a complete hygienic barrier in the water treatment process.

1. Innledning

1.1 Mål

Målet var å finne i hvilken grad forurensende utslipp kan påvirke drikkevannet til Hamar vannverk, Stange vannverk og mulig nytt vanninntak. Dette gjaldt dagens tilførselskilder samt tilførsler som følge av uhell ved brudd på kloakkledningene til HIAS, driftsstans i nærliggende rensanlegg og uhells-utslipp av kjemikalier fra bil og tog.

Det skulle legges vekt på spredning av bakterier, men også tas hensyn til stoffer med mer konservative egenskaper som kan representere patogene og toksiske stoffer.

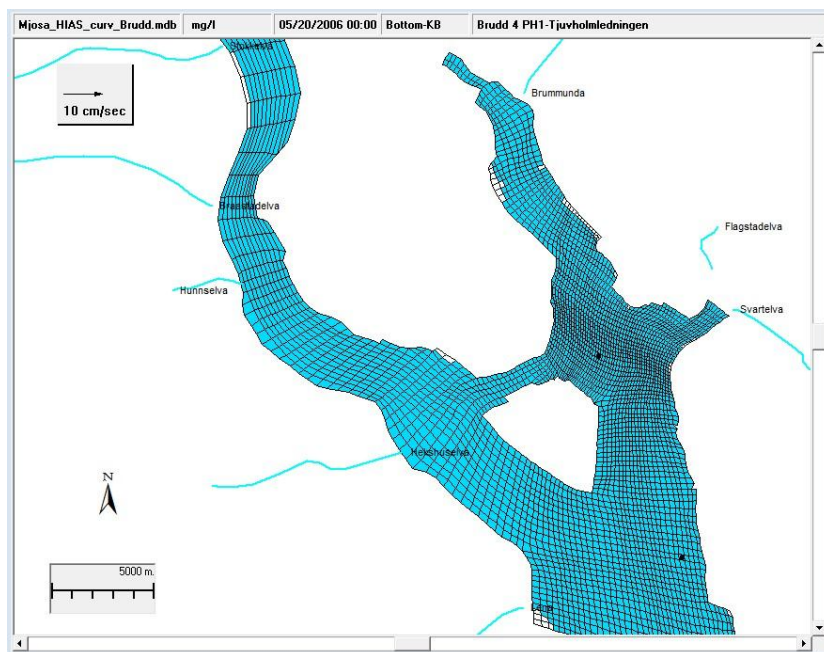
1.2 Metode

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 beregningsceller. I horisontalplanet var disse av variabel størrelse. I det aktuelle området nær Hamar var cellenes sider f.eks. 100 meter, mens de i endene av Mjøsa var noen kilometer. I dybderetningen var cellenes høyde 2 meter i de øverste 50 meterne av innsjøen, deretter var det 10 meter mellom lagene.

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

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

Plasseringen av aktuelle vannverk samt de viktigste renseanlegg og tilløpselver er vist på **Figur 2**. De aktuelle kommunale vannverkene var Hamar vannverk og Stange vannverk, To alternative nye vanninntak blir i denne rapporten kalt: Inntak Nordsveodden (60,7546°, 11,0347°) og inntak Syd (60,7363°, 11,0466°). Disse er plassert mellom inntakene til Hamar vannverk og Stange vannverk, **Tabell 1**.

Tabell 1. Karakteristiske data for Hamar vannverk og Stange vannverk

Vannverk	Øst_UTM m	Nord_UTM m	Sone:UTM	Øst grad	Nord grad	Inntaksdyp m	Vanninntak l/s
Hamar vannverk	608897	6739821	32	60.7789	10.9997	145	120
Stange vannverk	614643	6730104	32	60.6901	11.0995	180	80

Konsentrasjonen av *E. coli* i de viktigste tilførselselvene er vist i **Tabell 2**. Verdiene representerer gjennomsnittsverdier og er basert på sporadiske datainnsamlinger i noen av elvene av kommunale myndigheter og NIVA.

Karakteristiske data for de aktuelle kloakkrenseanleggene er vist i **Tabell 3**. Det er tatt hensyn til anlegg med midlere utslippsvannføring på over 1 l/s. Vi antok at konsentrasjonen av *E. coli* i utløpet av alle anleggene var 100 000 *E. coli* per 100 ml. Urenset avløp ble antatt å inneholde 10 mill. *E. coli* per 100 ml (Naturvårdsverket, 2002).

Tabell 2. Antatt konsentrasjon av *E. coli* i tilførselselvene

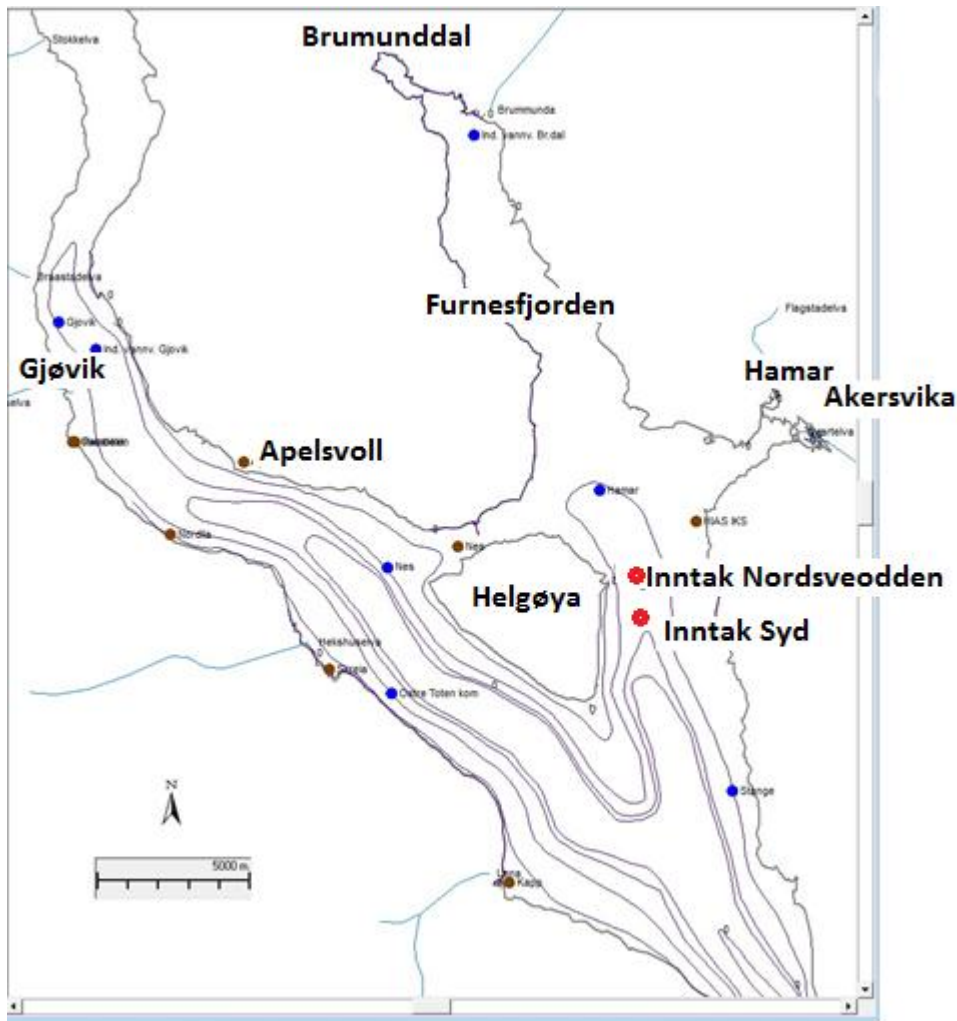
Elv	Kons. /100 ml
Mesna	200
Laagen	200
Rinda	200
Vismunda	200
Moelv	200
Stokkelva	200
Braastadelva	200
Hunnselva	2000
Hekshuselva	200
Lena	200
Flaggstadelva	1000
Svartelva	1000
Vikselva	200
Brummunda	200

Tabell 3. Aktuelle renseanlegg, karakteristiske data

Anlegg ID	Anlegg Navn	Kapasitet p.e.	Vannføring l/s	Dyp m	Anlegg UTM_Ø	UTM_N	Utslipp UTM_Ø	UTM_N	UTM_sone
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

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 beregnet som likevektstemperatur med de klimatiske forhold til en hver tid.



Figur 2. De viktigste elver, renseanlegg og vanninntak. Alternative fremtidige inntak er merket med rødt. Klimadata er fra Kise meteorologiske stasjon som ligger nær Apelsvoll renseanlegg som er vist på kartet.

1.4 Fekale indikatorbakterier og patogener

E. coli er en fekal indikatorbakterie som det finnes mye av i avføring fra mennesker og varmblodige dyr. Den er derfor en god indikator på fersk fekal forurensning. Dersom *E. coli* påvises, indikerer det at vannet er forurenset med kloakk eller avføring fra dyr eller fugler, og at det derfor er fare for at det også kan være sykdomsfremkallende mikroorganismer (patogener) i vannet. Intestinale enterokokker og *Clostridium perfringens* er også fekale indikatorbakterier som det alltid finnes mye av i kloakk. Sykdomsfremkallende bakterier, virus og parasitter (patogener) forekommer derimot bare i kloakk dersom det er smittede individer tilknyttet kloakkanlegget/i nedbørfeltet. Dersom det er et utbrudd av mage-tarm infeksjon i området, kan det være betydelige mengder av patogener i kloakken. Robertson m.fl. (2006) fant opptil 40 000 *Cryptosporidium* oocyster/L og opptil 50 000 *Giardia* cyster/L i utløpet fra norske kloakkrenseanlegg.

De forskjellige indikatorbakteriene og patogenene har ulik evne til å overleve i vann. Overlevelsesevnen påvirkes dessuten av en rekke ytre faktorer deriblant vanntemperatur, lysforhold, tilstedeværelse av beitere og hvorvidt mikroorganismene festes til partikler og sedimenterer. I modellberegningene benyttet vi en decay koeffisient/dødsrate for *E. coli* på 0,7 per døgn (ved 20 °C). Modellen tar hensyn til at overlevelsesevnen øker ved synkende temperatur, dvs. mens halveringstiden er ett døgn ved 20 °C, øker den til nær 5 døgn ved 4 °C. På grunn av den relativt raske utdøingshastigheten er konsentrasjonsfordelingen av *E. coli* på et gitt tidspunkt først og fremst et resultat av tilførselene siste uke. I modellberegningene vil overlevelsen av *E. coli* være beskrivende for en rekke patogene bakterier, som *Campylobacter* spp., *Salmonella* spp. og *E. coli* EHEC.

Enkelte virus og parasitter kan derimot overleve betydelig lenger i vann enn *E. coli* (Ngazoa m.fl. 2007; Espinosa m.fl. 2008; Robertson og Gjerde 2006, Peng m.fl. 2008). Det samme kan indikatorbakteriene intestinale enterokokker og spesielt *Clostridium perfringens*. I modellberegningene har vi valgt å bruke begrepet «patogener» som en samlebetegnelse for mikrober med spesielt god overlevelse. Vi har valgt å gi «patogener» en halveringstid på en måned for å illustrere hvordan patogener med meget lang overlevelse vil kunne spres i Mjøsa. For enkelhets skyld er denne halveringstiden satt konstant, dvs. at den ikke endrer seg med temperaturen. En halveringstid på 1 måned må karakteriseres som svært konservativ og tilsvarer 90 % reduksjon etter drøye 3 måneder, 99 % reduksjon etter ca. 7 måneder og 99,9 % reduksjon etter ca. 10 måneder. De fleste patogener vil dø ut betydelig raskere. Robertson og Gjerde (2006) rapporterte 99 % reduksjon i antall *Giardia* cyster etter ca. 1 måned og tilsvarende reduksjon i antall *Cryptosporidium* oocyster etter ca. 4,5 måneder ved norsk vintertemperatur. Halveringstid på en måned kan dermed være representativ som «verste fall» for *Cryptosporidium* oocyster.

I modellberegningene er konsentrasjon av «patogener» i utløpet fra kloakkrensningssystemene satt til 100 000 patogener/l, 10 ganger lavere enn konsentrasjonen som ble satt for *E. coli*. Dette kan representere en verste fall verdi med hensyn på parasitten *Cryptosporidium*, gitt at det er utbrudd av *Cryptosporidium* i området og at kloakkrensningssystemene ikke har UV-bestråling eller annen vannbehandling som effektivt inaktiverer/fjerner *Cryptosporidium* oocystene. Input-verdiene (dvs. egenskapene) vi har satt for «patogener» (dvs. 100 000 per liter tilført fra renseanlegg og halveringstid på 1 måned) kan også være representativt for indikatorbakterien *Clostridium perfringens*.

I scenariene der ubehandlet avløpsvann tilføres Mjøsa, er patogenkonsentrasjonen i det ubehandlede avløpsvannet også satt til 100 000 patogener per liter, det samme som i behandlet avløpsvann. Renseevnen med hensyn på patogener i avløpsrensningssystemer er usikker/varierer i litteraturen. 100 000 patogener per liter representerer et «verste fall» anslag med hensyn på parasittene *Cryptosporidium* og *Giardia* og er noenlunde representativt for tarmvirus. Forekomsten av enkelte virus (som Adenovirus og Norovirus) kan noen ganger være enda høyere i råkloakk, opptil 10^7 per liter (Hewitt m.fl. 2011; Nordgren m.fl. 2009), avhengig av smittesituasjonen i befolkningen.

Det vil også bli tilført noe patogener fra elvene, spesielt etter kraftig nedbør når kloakk går i overløp og avføring fra f.eks. beiteområder vaskes ut i tilløpsbakkene. Disse patogentilførselene er vanskelig å kvantifisere. Det antas at tilførselene av patogener fra elvene er langt lavere enn tilførselene fra kloakkrensningssystemene. Patogentilførsler fra elvene er derfor neglisjert i modellberegningene, dvs. patogenkonsentrasjonene i elvene er satt lik 0.

2. Simulering av dagens forhold

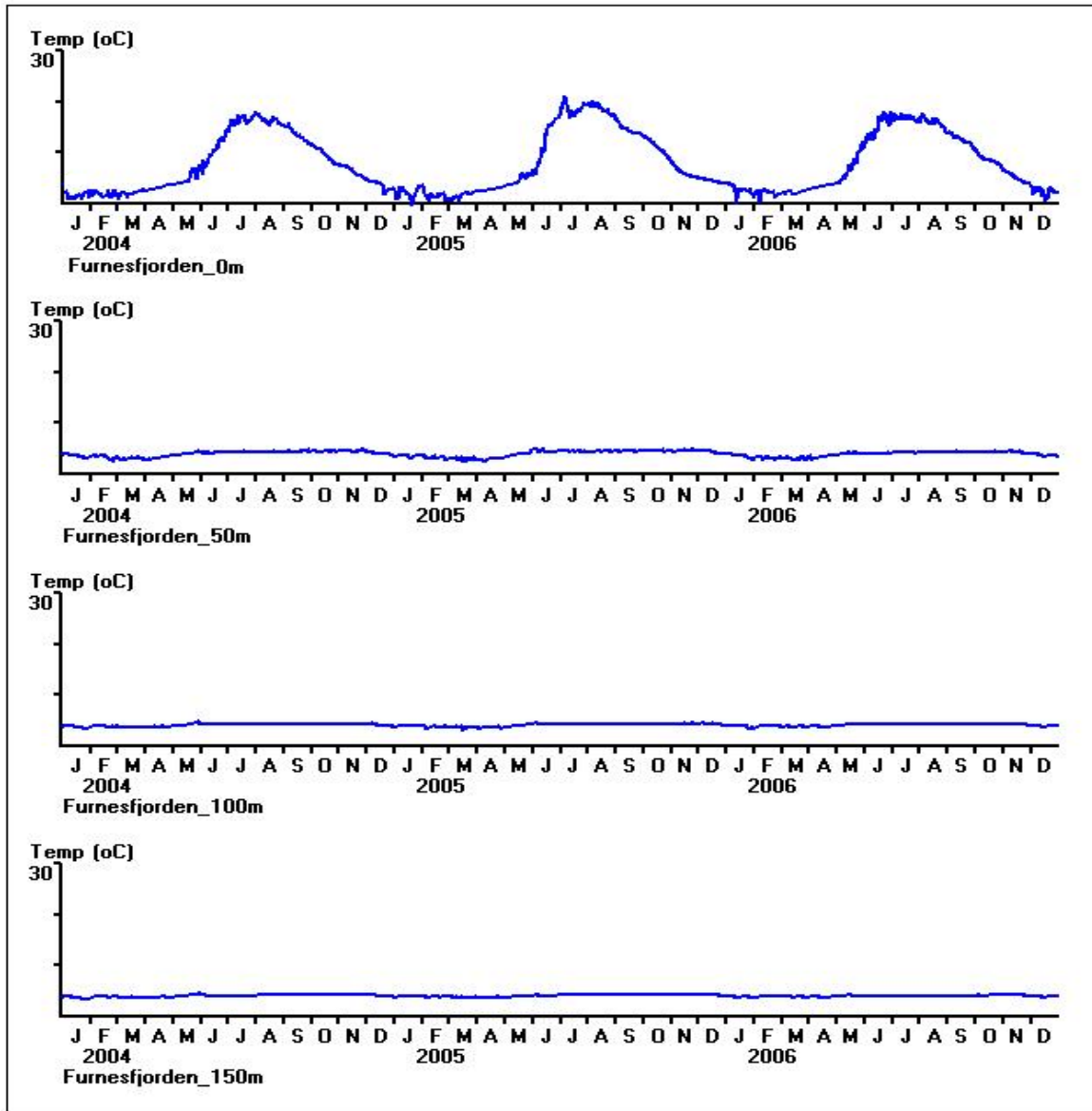
2.1 Generelle hydrodynamiske forhold

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

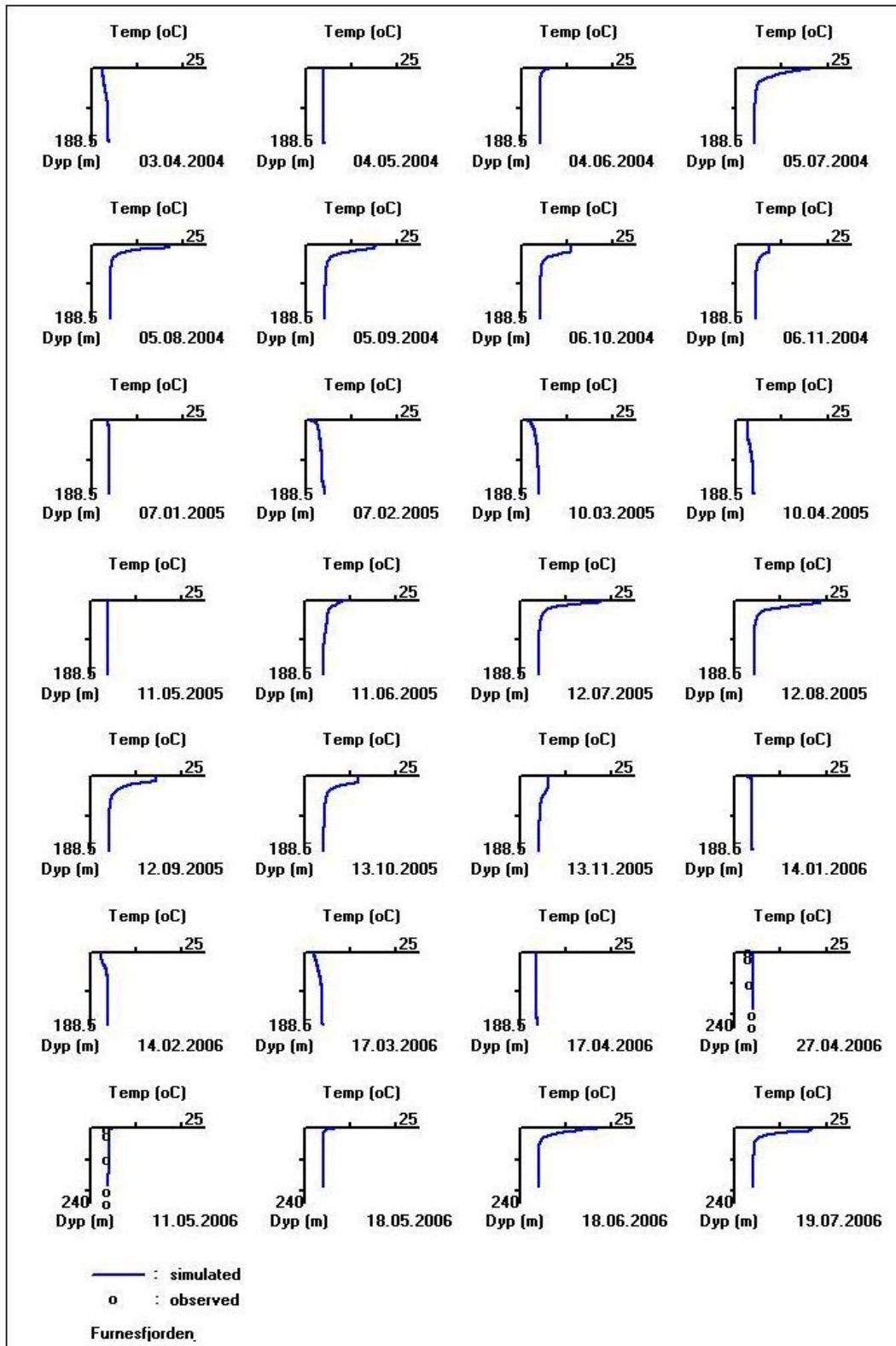
Det er karakteristisk med varmt overflatevann om sommeren, **Figur 3** og **Figur 4**. De store tetthetsforskjellene i sprangsjiktet motvirker vertikale bevegelser. Ved avkjøling utover høsten vil overflatevannet avkjøles, bli tyngre, synke nedover og bli byttet ut med varmere vann på større dyp. Dermed får vi en sirkulasjon som øker i dybde inntil hele vannsøylen oppnår maksimal tetthet ved 4 °C. Ved ytterligere avkjøling blir vannet lettere, legger seg på toppen og blir raskt avkjølt til frysepunktet med påfølgende islegging. 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.

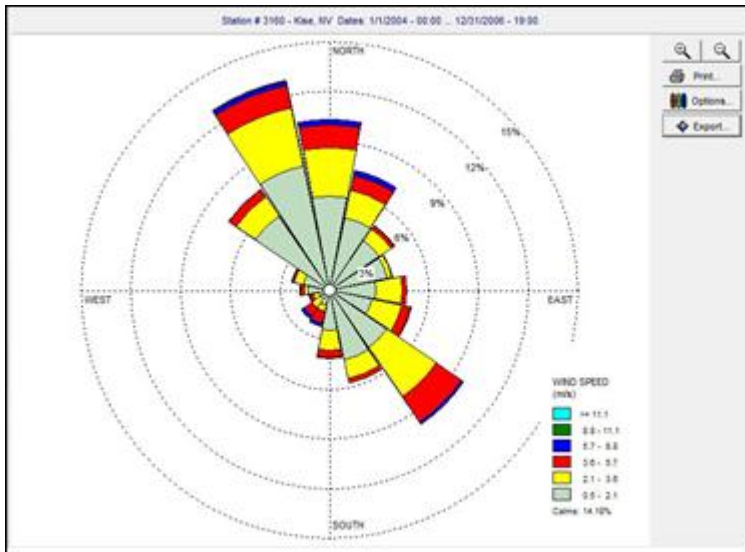
Vinden ved Mjøsa blåser oftest og sterkest fra nord og nordvest, **Figur 5**. Dette setter opp strømmer som i hovedsak går på langs av innsjøen. Dersom vannet i overflaten strømmer med en betydelig komponent mot land, vil vannet der dukke ned. Er det vertikalt lite stabile forhold kan forurensninger på overflaten da trenge ned til store dyp. Ved strøm utover fra land vil vannet langs land strømme oppover, dvs. at forurensninger på overflaten forblir der.



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 på ulike tidspunkter fra april 2004 til juli 2006



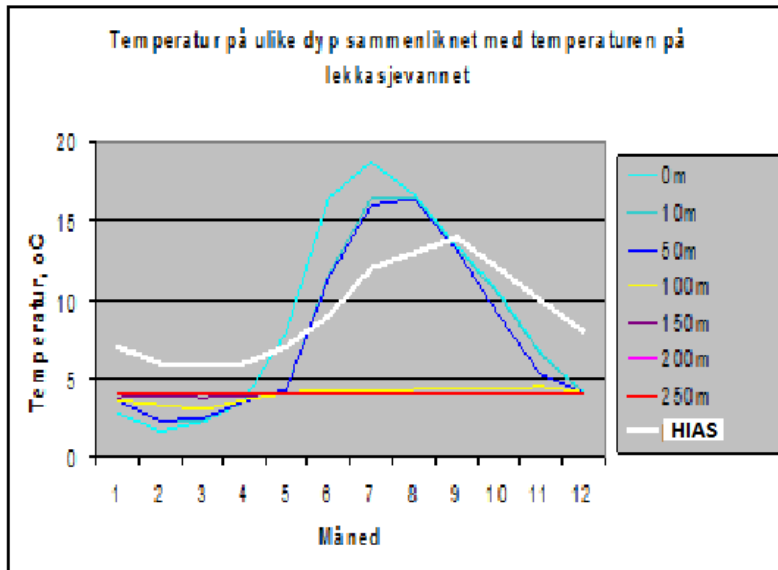
Figur 5. Vindrose fra den meteorologiske stasjonen Kise på Helgøya. Vinden blåser oftest sterkest fra nord og nordvest, dernest i motsatt retning.

2.2 Innlagring i Mjøsa av vann fra renseanlegg eller bruddsted

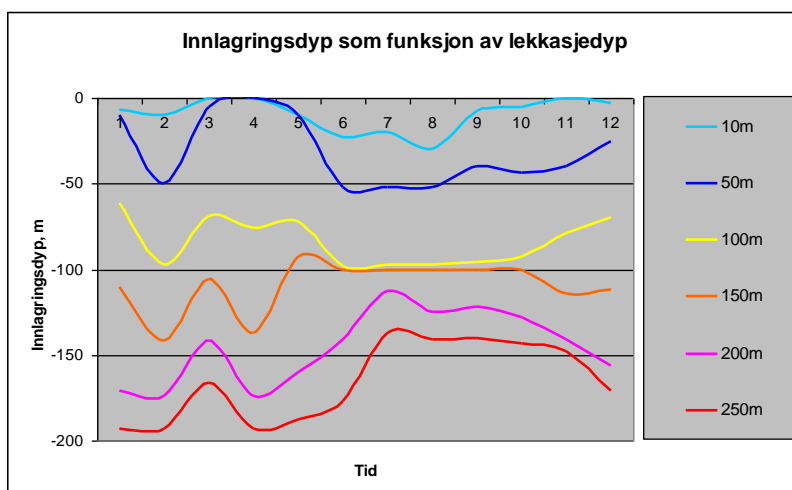
Avløpsvannet fra HIAS har temperatur mellom 6 °C og 14 °C, **Figur 6** og **Figur 7**. Ved utslipp fra en rørledning vil dette stige oppover eller synke nedover samtidig som det stadig blandes med vann fra Mjøsa inntil det lagres inn der tetthetsforholdene er tilsvarende. Lekkasje på større dyp enn 100 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.

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. Utslipp eller lekkasjevann i overflaten vil synke ned om sommeren, for øvrig vil det være fare for innlagring i overflatelagene.

Etter den første innlagringen vil avløpsvannet følge vannets bevegelser som i hovedsak er vindavhengig i overflatelagene. På store dyp får de storstilte vertikale bevegelsene, pga. klimaendringer gjennom året, økende betydning.



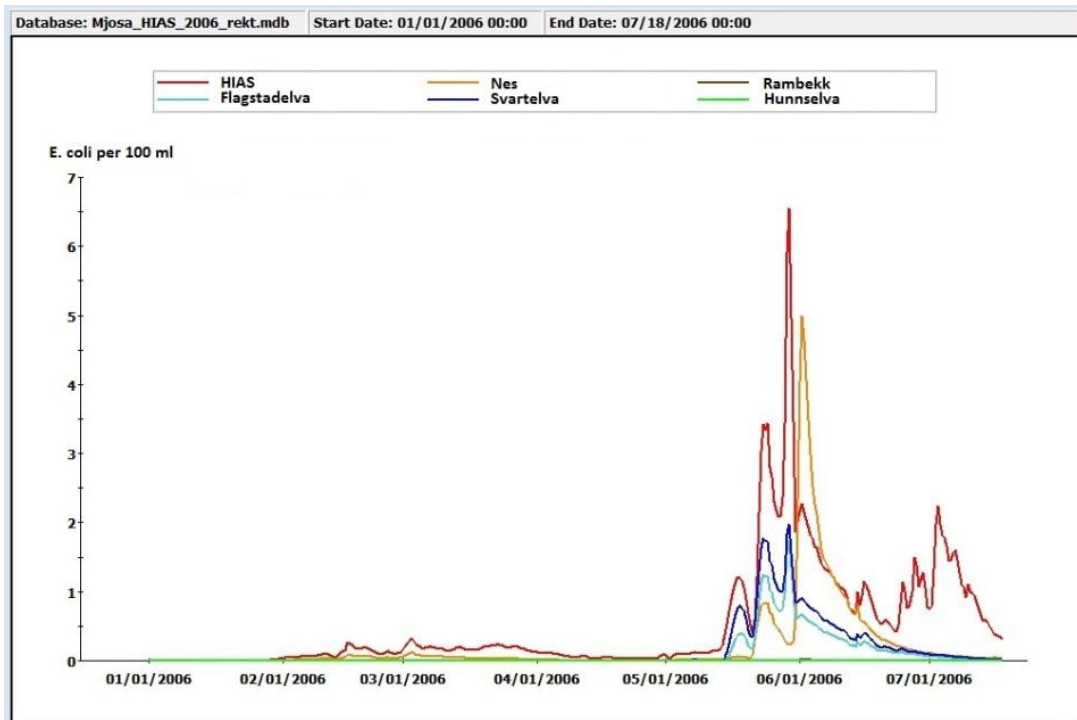
Figur 6. Temperatur i avløpsvannet fra HIAS rensanlegg sammenliknet med temperatur i ulike dyp i Mjøsa.



Figur 7. Innlagringsdyp i løpet av året av utslipp fra HIAS. Lekkasjevann i overflaten vil synke ned om sommeren, for øvrig vil det være fare for innlagring i overflatelagene.

2.3 *E. coli*

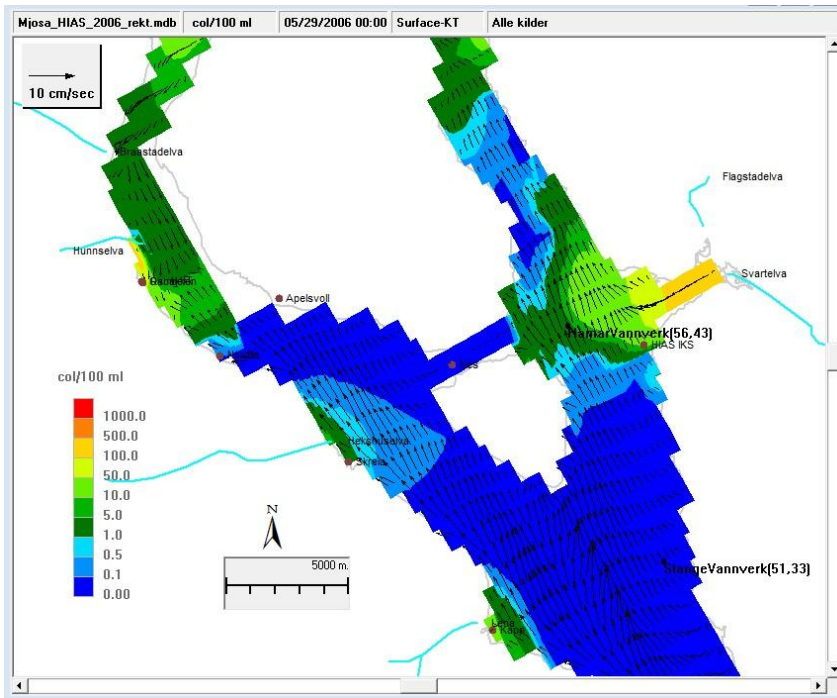
Tilførslene av *E.coli* fra rensanlegg og elver skjer nær overflaten. Bakteriene følger stort sett vannets bevegelser. Det vil si at vanninntakene som ligger på stort dyp er mest utsatt i perioder med vertikalt sirkulerende vannmasser. I følge simuleringene for 2006, kunne Hamar vannverksinntak bli påvirket hele året, men var mest utsatt under vårsirkulasjonen slik som vist på **Figur 8 - Figur 10**.



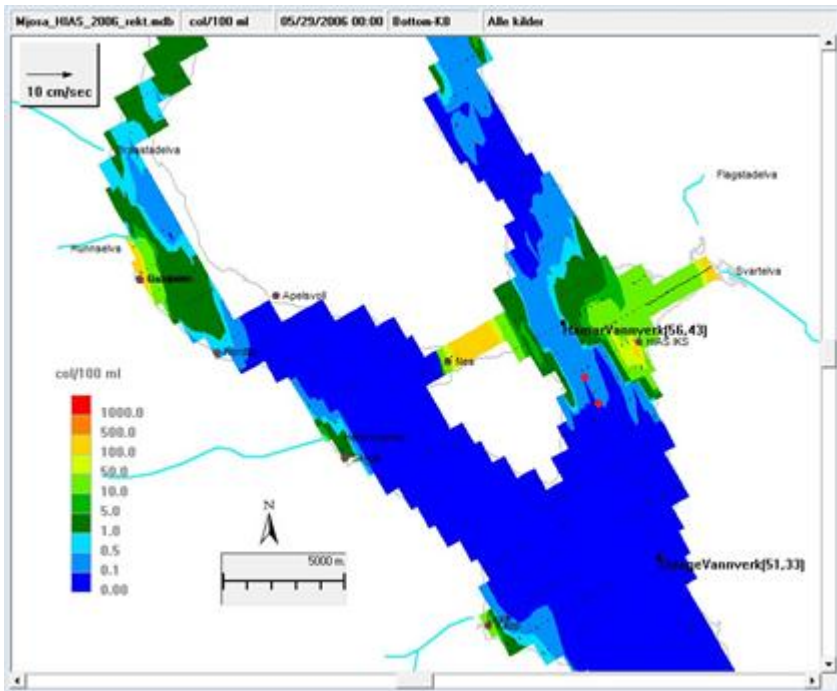
Figur 8. Påvirkning av Hamar vanninntak av *E. coli* fra ulike renseanlegg og elver. Inntaket er mest utsatt ved vertikalt sirkulerende vannmasser.

Tilsvarende forhold kan også finne sted i sirkulasjonsperioder utover høsten og vinteren. Selv om vanninntaket til Hamar vannverk ble påvirket av *E. coli*, var konsentrasjonene relativt lave. Modellsimuleringene indikerer imidlertid at tarmbakterier fra HIAS og Nes i perioder kan nå frem til vanninntaket i konsentrasjoner opptil 10 *E. coli* per 100 ml (i sum). Drikkevannsbehandlingen må derfor dimensjoneres deretter, med to hygieniske barrierer mot både bakterier, virus og parasitter (Ødegaard *et al.* 2009). *E. coli* fra Brumunda nådde ikke fram til vanninntakene.

De alternative fremtidige inntakene, inntak Nordsveodden og inntak Syd, ble også noe påvirket. Påvirkningen avtok retning av inntaket til Stange vannverk.



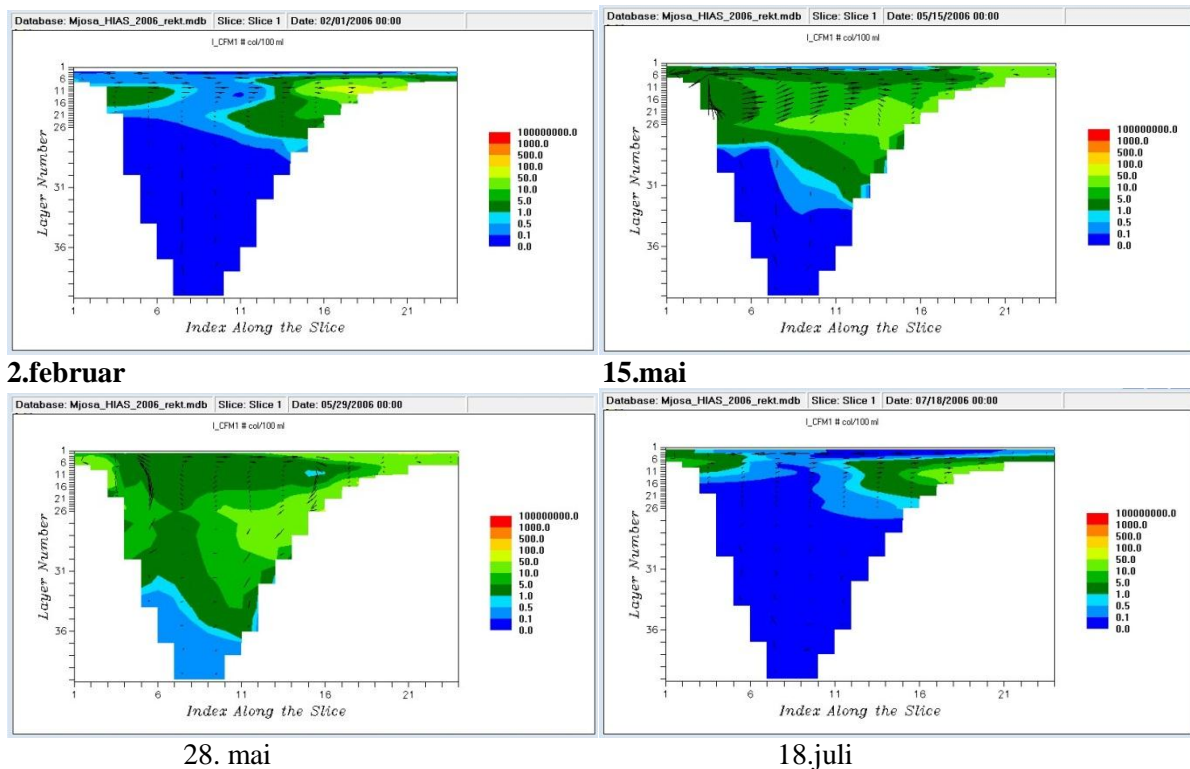
Overflate



Bunn

Figur 9. *E.coli* under vårsirkulasjonen 29. mai. Hamar vanninntak ble noe påvirket. De fremtidige alternative inntakene ble også noe påvirket.

(Merk at tid på figurene er på engelsk form **måned/dag/år**. Bunnen kan være 1 meter langs land og 400 meter i sentrale deler.)

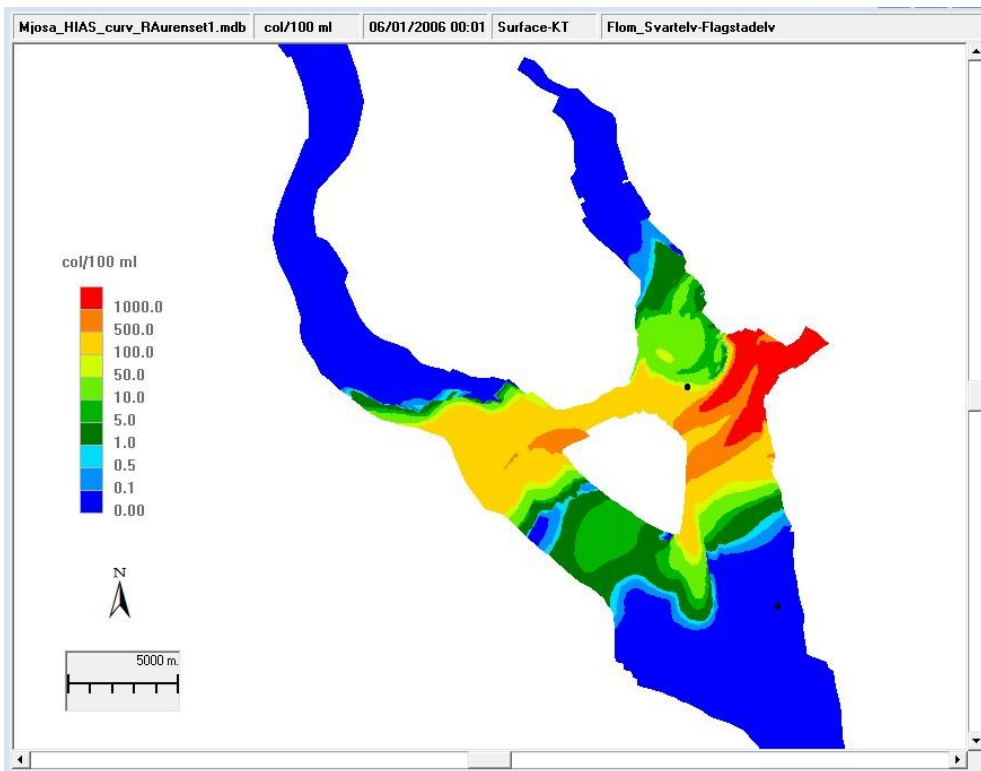


E.coli i et tverrsnitt fra Helgøya (venstre) gjennom Hamar vanninntak til Hamar (høyre).
Figur 10. Hamar vanninntak kan forventes å bli noe påvirket i sirkulasjonsperioder.

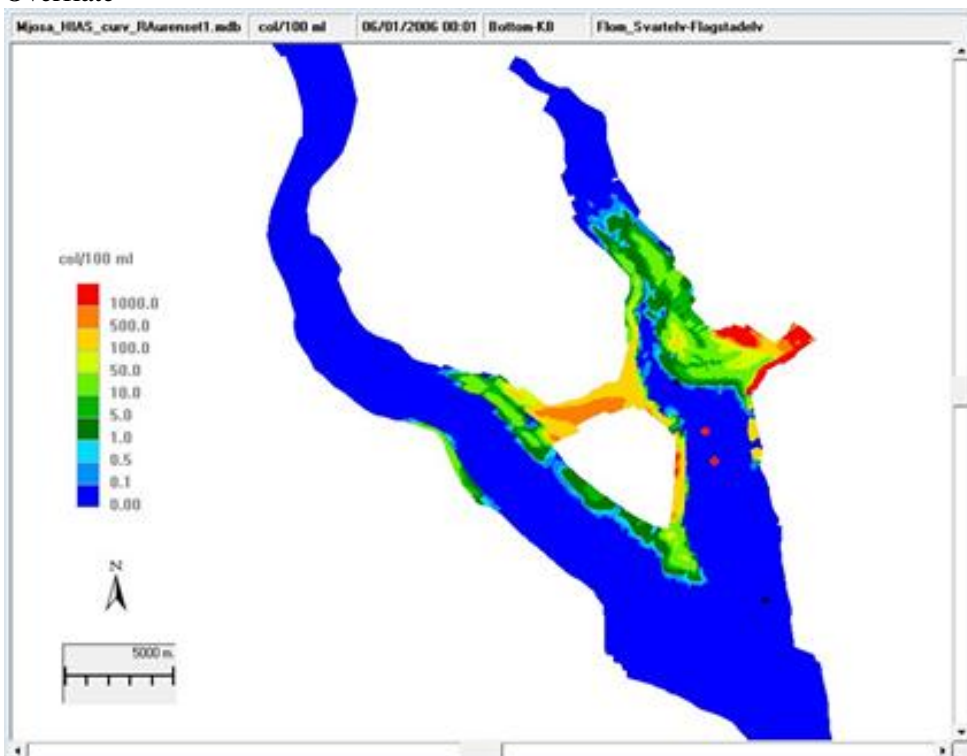
De mest sannsynlige kildene for påvirkning av inntaket til Hamar vannverk var HIAS og Nes renseanlegg, dernest Svartelva og Flagstadelva.

I følge simuleringene ble ikke vanninntaket til Stange vannverk påvirket.

Vi har nevnt at tilførselene av fekal forurensning fra elvene kan variere mye. For eksempel ble konsentrasjonene i Svartelva holdt konstant lik 2000 /100 ml under simuleringene. Maksimum observert konsentrasjon i 2006 var 24 000 /100 ml. Bakterier fra f.eks. beiter kan hope seg opp og bli skylt ut under episoder med regnvær, og ved kraftig regnvær går gjerne kloakk i overløp ut i elver. Det kan være vanskelig å ta prøver på riktig tidspunkt for å fange opp de verste tilfellene. For å studere mulig effekt av slike episoder lot vi både Flagstadelva og Svartelva få konsentrasjoner lik maksimum observert (24 000 /100 ml) kombinert med høy vannføring og sirkulerende vannmasser i Mjøsa. Resultatet etter 10 dager er vist i **Figur 11**. Overflatevannet fikk høye konsentrasjoner, dvs.. høyere enn 100 /100 ml. Også vanninntaket til Hamar vannverk ble noe påvirket. De fremtidige alternativene ble ikke påvirket.



Overflate



Bunn

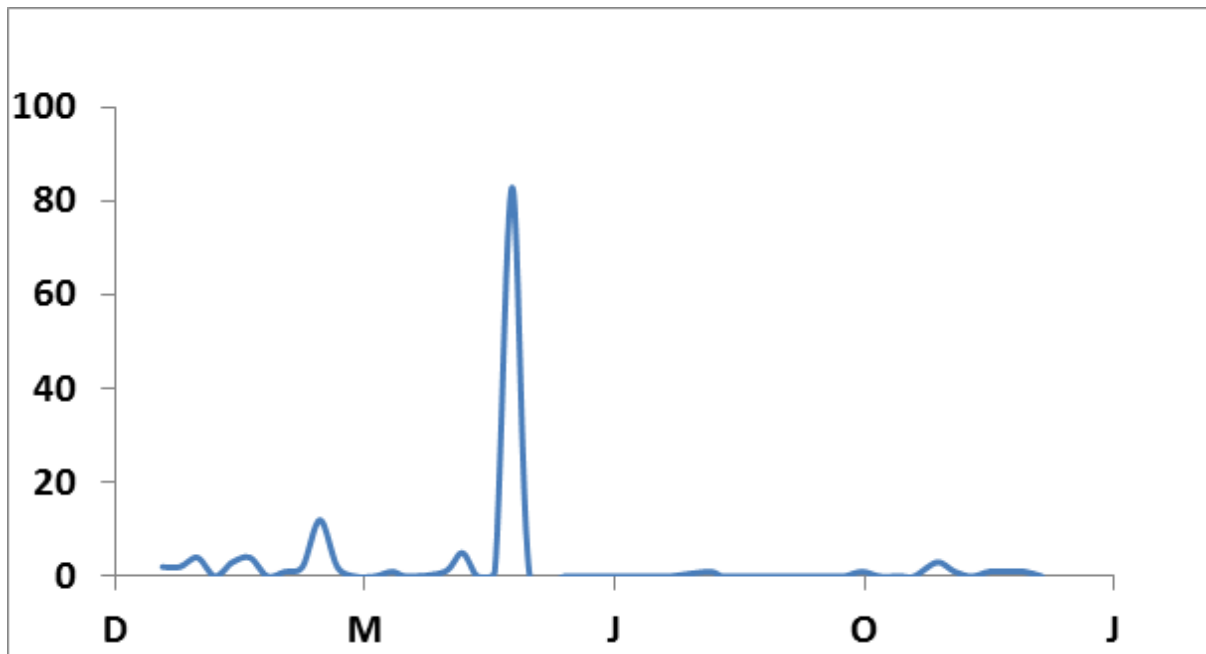
Figur 11. Høye konsentrasjoner i Flagstadelva og Svartelva. *E.coli* etter 10 døgn. Overflatevannet ble forurenset. Vanninntaket til Hamar vannverk ble noe påvirket. De fremtidige alternativene ble ikke påvirket.

2.4 Observert *E. coli* i råvannsinntakene til Hamar og Stange vannverk

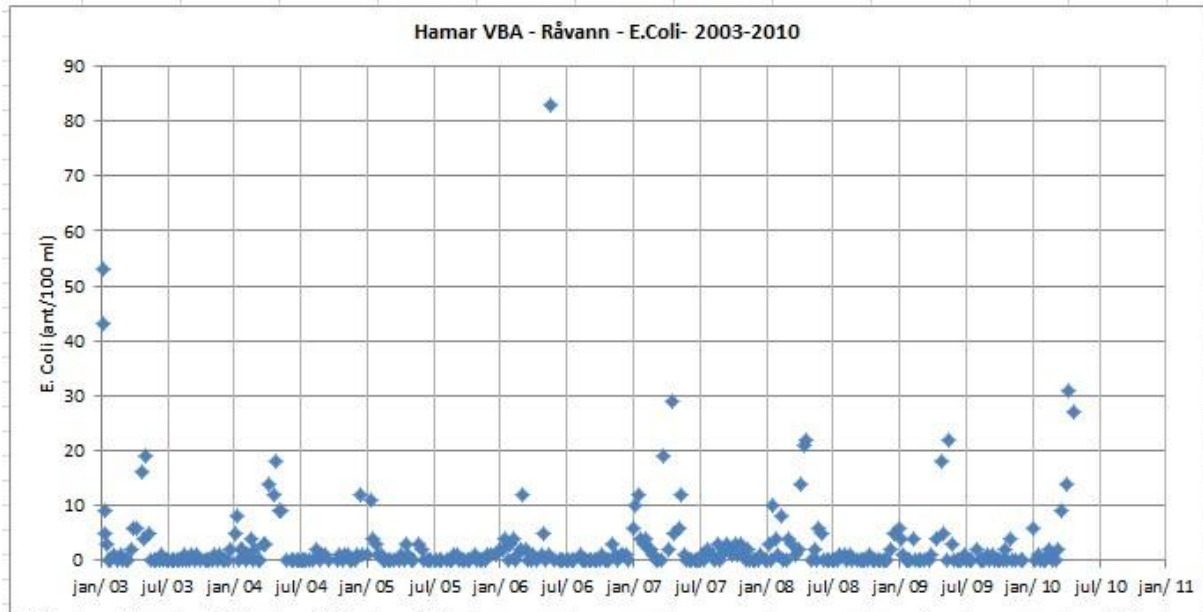
Råvannsinntakene til både Hamar vannverk og Stange vannverk ble i perioden 2003 – 2011 sporadisk påvirket av *E. coli*, **Figur 12 - Figur 14**. Påvirkningen var størst under vårsirkulasjonen i slutten av mai og begynnelsen av juni. I de fleste prøvene ble det ikke påvist *E. coli*. Maksimum og midlere konsentrasjon var henholdsvis 80/100 ml og 2,6 /100 ml. Stange vannverksinntak var langt mindre påvirket. Maksimum og midlere konsentrasjon var 5 /100 ml og 0,2 /100 ml.

I våre simuleringer ble resultatene for Hamar vanninntak av samme størrelse som observerte verdier, eventuelt noe mindre. For råvannet til Stange vannverk ble det ikke simulert noen påvirkning. I modellen har vi ikke tatt hensyn til at bakterier kan feste seg til partikler, sedimentere med dem, og på den måten få mulighet for å påvirke vanninntakene.

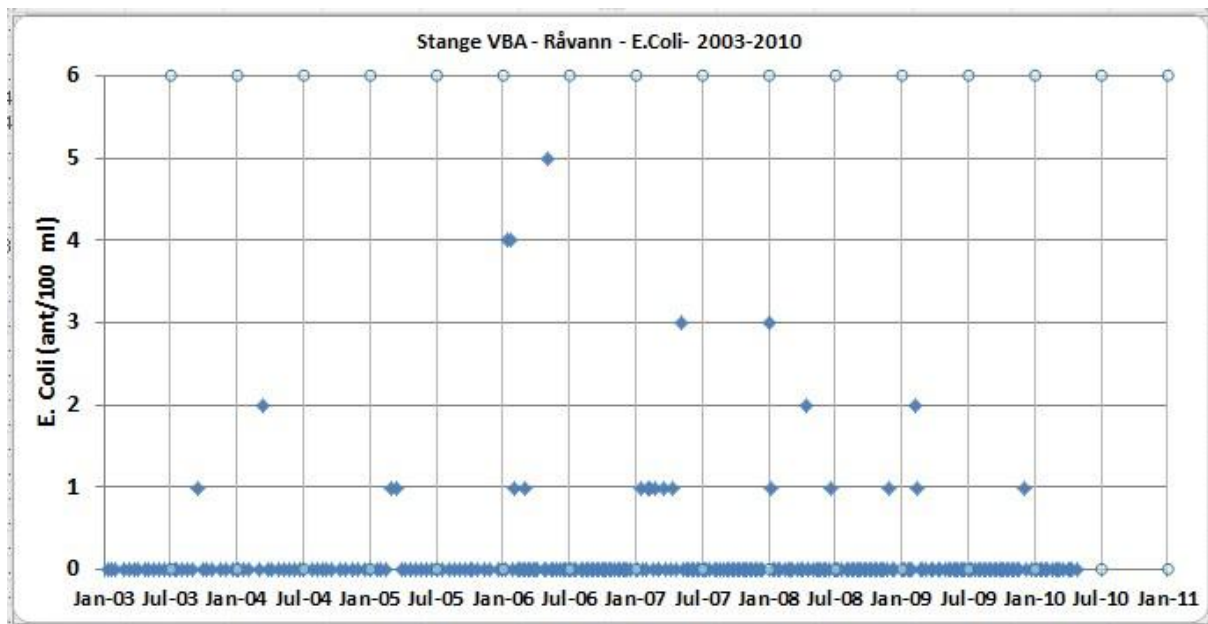
Som nevnt tidligere varierer tilførslene av bakterier, slik at vi ikke kan gjøre en dag til dag sammenlikning av simulerte og observerte konsentrasjoner. Vår konklusjon er at modellen simulerte påvirkningen av Hamar vannverksinntak på en tilfredsstillende måte. Det viser at modellen beregner de vertikale strømmene på en pålitelig måte. Selv om inntaket til Stange synes å gå fri for påvirkning i modellen, kan vi likevel ikke se bort i fra at inntaket likevel kan bli noe berørt, trolig pga. partikkelsedimentasjon. Det er heller ikke utenkelig at tilførslene av *E. coli* i områdene rundt Stange er større enn antatt i modellen, dvs. at det er > 100 000 *E. coli* per 100 ml i utslippet fra renseanleggene eller at det er tilførselspunkt (kloakkoverløp eller tilførselsbekker) som ikke er tatt med i modellen. Overlevelsen av *E. coli* kan i virkeligheten også være bedre enn antatt i modellen.



Figur 12. Observerte *E. coli* verdier i råvannsinntaket til Hamar vannverk 2006.



Figur 13. Observerte *E. coli* verdier i råvannsinntaket til Hamar vannverk 2003 – 2011. Vanninntaket ble sporadisk påvirket. Det var mest utsatt under vårsirkulasjonen.



Figur 14. Observerte *E. coli* verdier i råvannsinntaket til Stange vannverk 2003 – 2011. Vanninntaket ble sporadisk påvirket. Det var mest utsatt under vårsirkulasjonen.

2.5 «Patogener»

Simuleringene viste at både Hamar og Stanges vannverksinntak ble påvirket av «patogener», gitt at det var et kontinuerlig utslipp av 100 000 «patogener» per liter fra alle rensanleggene og at patogenene hadde ekstremt god overlevelse, dvs. halveringstid på 1 måned. Kildene var først og fremst HIAS og Nes rensanlegg, men også til en mindre grad rensanleggene Rambekk, Skreia og Kapp, **Figur 15**. Hamar vannverksinntak er mest påvirket av «patogener» fra HIAS og Nes rensanlegg

Begge vanninntakene ble jevnlig noe påvirket. Maksimum konsentrasjoner var nær 100 /l for Hamar vanninntak og 10 /l for Stange vanninntak. For de alternative fremtidige inntakene var konsentrasjonene 75 /l og 60 /l for henholdsvis inntak Nordsveodden og inntak Syd.

I råvannet til Hamar vannverk var det observert maksimum og midlere verdi av *Clostridium perfringens* henholdsvis 80 /l og 23 /l. For Stange var tilsvarende verdier 20 /l og 4 /l. Disse observasjonene stemmer godt overens med våre simuleringer der *Clostridium perfringens* = «patogener», **Figur 15**. Hamar vannverksinntak er mest påvirket av «patogener» fra HIAS og Nes renseanlegg

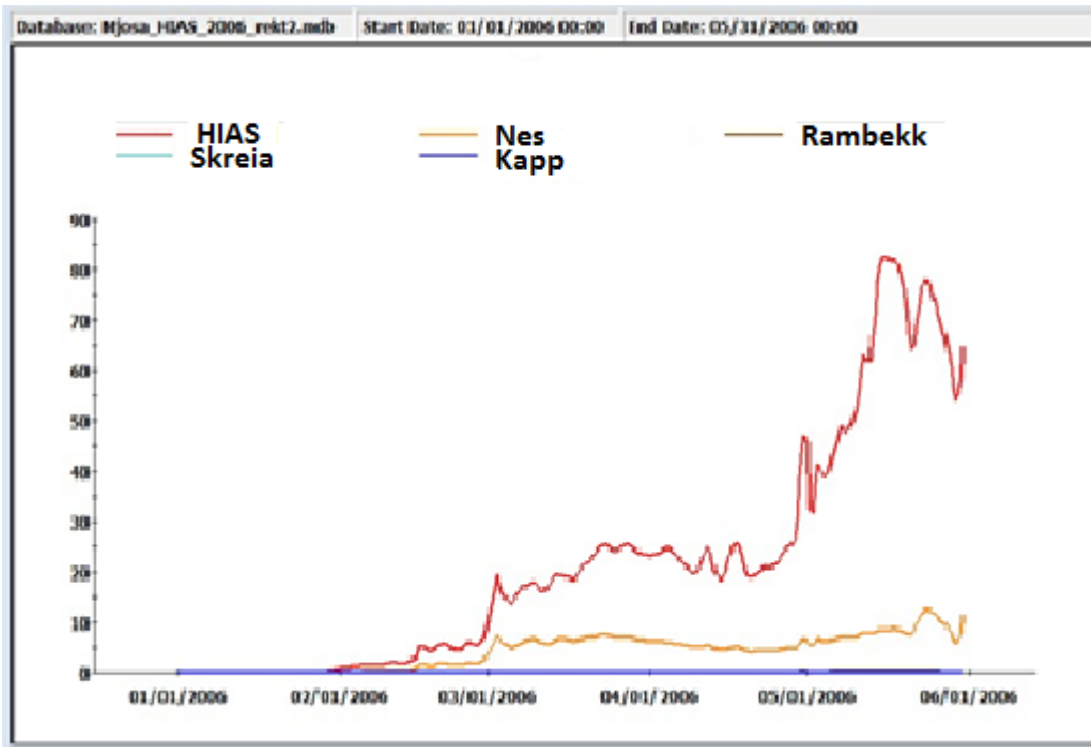
For *Intestinale enterokokker* ble det observert maksimum konsentrasjoner på 20/l i begge vanninntakene.

I likhet med *E. coli* varierer tilførselen av *Clostridium perfringens* mye slik at man ikke kan gjøre en fullgod sammenlikning mellom observerte og simulerte verdier. De simulerte konsentrasjonene var av samme størrelse som de observerte. Dette styrker troen på at modellen gir et realistisk bilde av virkeligheten og er egnet til å lage scenarier av ulike hendelser.

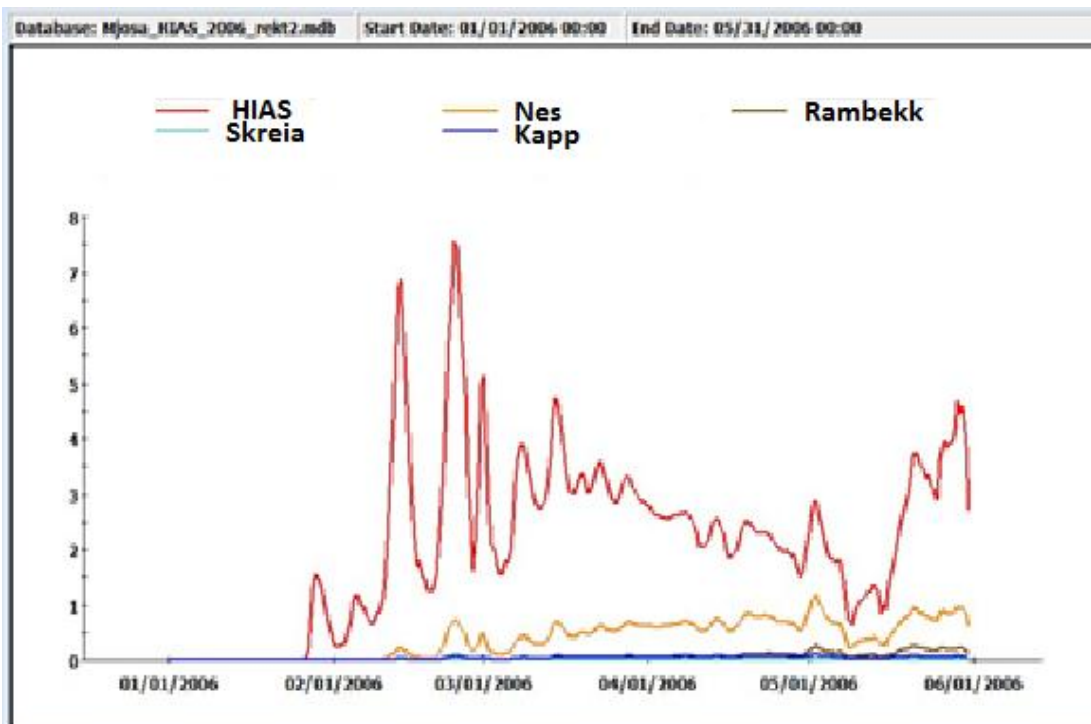
Et slikt scenarium kan være at det er utbrudd av parasitten *Cryptosporidium* i befolkningen tilknyttet HIAS. Antar man at det er ingen/minimal parasitt-reduksjon i vannbehandlingen på HIAS, kan man anta at 100 000 *Cryptosporidium* oocyster per liter kontinuerlig slippes ut fra renseanlegget. I verste fall vil dette kunne gi opptil 80 per liter og 7 per liter av *Cryptosporidium* oocyster i vanninntakene ved henholdsvis Hamar og Stange, **Figur 15 - Figur 17**. De fremtidige alternative inntakene ble påvirket med verdier på henholdsvis 65 per liter og 55 per liter for Nordsveodden og Inntak Syd

Dette ville satt stort press på drikkevannsbehandlingen. WHO (2004) har beregnet at innholdet av *Cryptosporidium* i ferdigbehandlet vann bør være mindre enn 0,00063 per liter for å oppnå akseptabel risiko (dvs. at mindre enn 1 per 1600 innbyggere blir syke per år). Vannbehandling som gir henholdsvis 5 LOG-reduksjoner og 4 LOG-reduksjoner av parasitter ville i så fall være påkrevd på vannbehandlingsanlegget ved Hamar/fremtidige alternativene, og Stange.

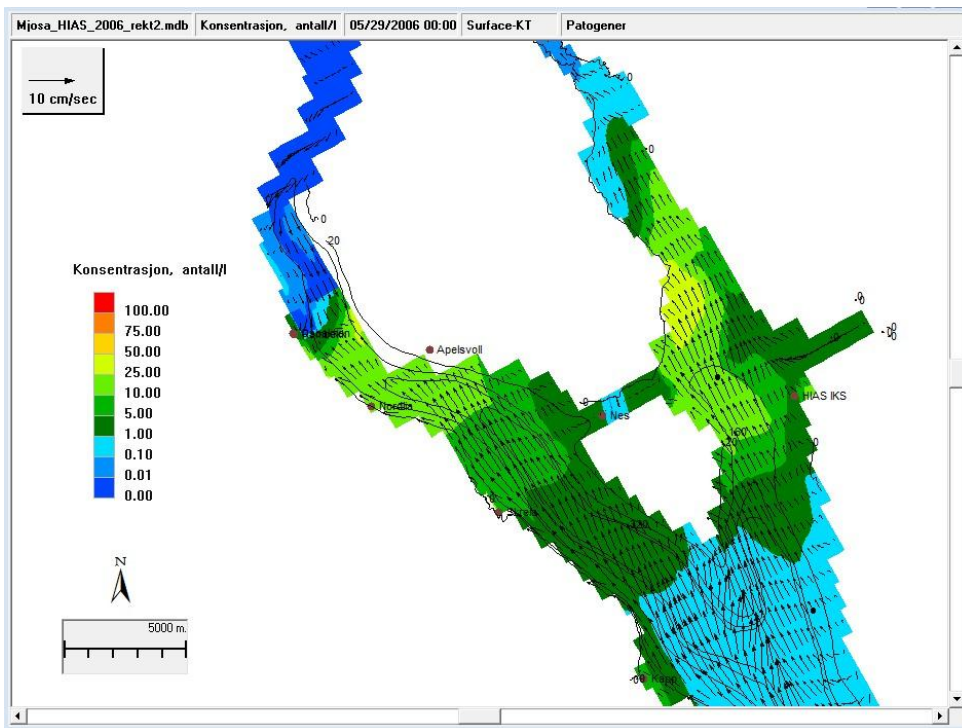
Det må bemerkes at i virkeligheten vil nok noe *Cryptosporidium* oocyster festes til partikler og fjernes ved sedimentasjon, og dermed ikke transporteres helt fram til vanninntaket. Dette er det ikke tatt hensyn til i modellen. Vi har dessuten gitt *Cryptosporidium* oocyster svært god overlevelse (halveringstid på en måned) i modellen. Muligens vil evnen til å skape infeksjoner mistes raskere, og dette vil kunne påvirke antall ineffektive parasitter (som kan skape infeksjoner) ved råvannsinntakene.



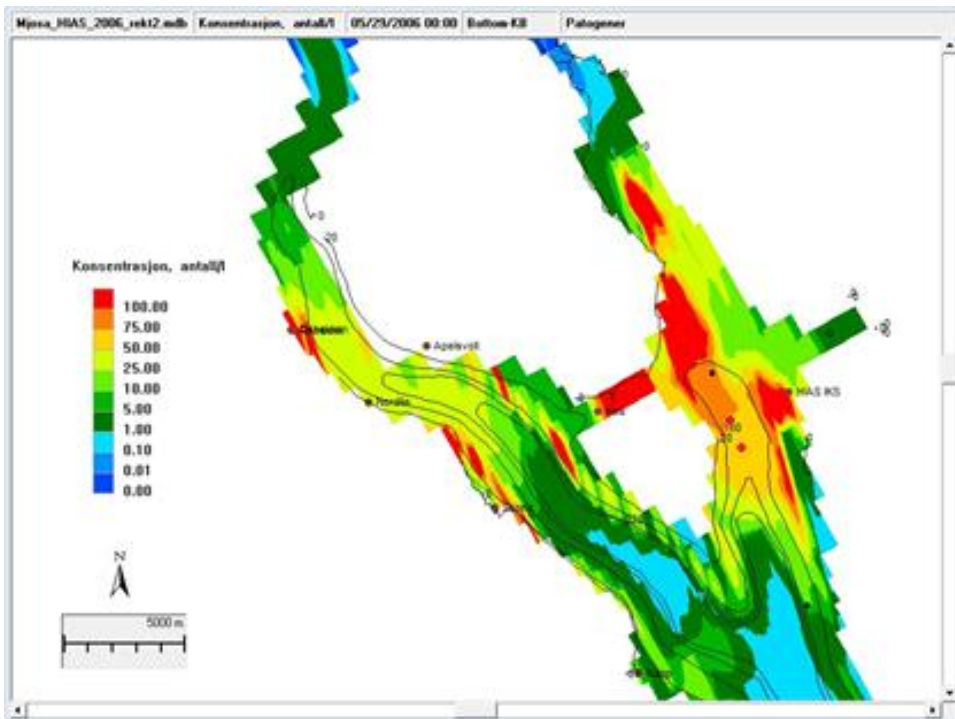
Figur 15. Hamar vannverksinntak er mest påvirket av «patogener» fra HIAS og Nes rensanlegg



Figur 16. Stange vannverksinntak er mest utsatt for påvirkning av «patogener» fra HIAS og Nes rensanlegg



Overflate



Bunn

Figur 17. Konsentrasjoner av patogener under vårsirkulasjonen. Både Hamar og Stanges vannverksinntak ble påvirket.

3. Brudd på overføringsledningene til HIAS

Det ble laget fire scenarier hvor det hadde oppstått brudd på kloakkledningen til HIAS. Bruddstedene er vist i **Figur 18**.

I scenariene ble det antatt at kloakken inneholdt 10^7 *E. coli* per 100 ml og 10^5 patogener per liter.

«Patogener» er gitt større overlevelse enn *E. coli*, henholdsvis halveringstid på 1 måned for «patogener» og 1-5 døgn (avhengig av temperatur) for *E. coli*. Patogenene får dermed større utbredelse. Det settes også strengere krav til akseptable konsentrasjoner for f.eks parasitter (der det analyseres 10 liter) enn for *E. coli* (der det analyseres 100 ml). Vi skal derfor studere hvert enkelt av de fire scenariene mer detaljert for patogener enn for *E. coli*.

Bruddene ble antatt funnet sted 20. mai og simulert i de følgende 10 dagene, dvs. i en periode med svak vertikal stabilitet og sirkulasjon i vannmassene.

Scenarium 1:

Overløp i pumpestasjonen i Brumunddal grunnet pumpestans/havari/styrt overløp hit grunnet brudd på ledning ved Hamar:

- Varighet: 3 døgn
- Overløpsmengde: 200 m³/time

Scenarium 2:

Brudd på overføringsledningen mellom Brumunddal og PH3 (Rosenlundvika) ved inntaksledningen til Hamar vannbehandlingsanlegg.

- Varighet: 6 timer
- Avløpstilførsel til Mjøsa: 200 m³/time

Scenarium 3:

Brudd på overføringsledningen rett før PH1 (Tjuvholmen).

- Varighet: 47 timer
- Overløp fra Hamar kommunes P7 i 120 m³/time
- Overløp fra PH3 258 m³/time (58 m³/h + 200m³/h fra Brumunddal)

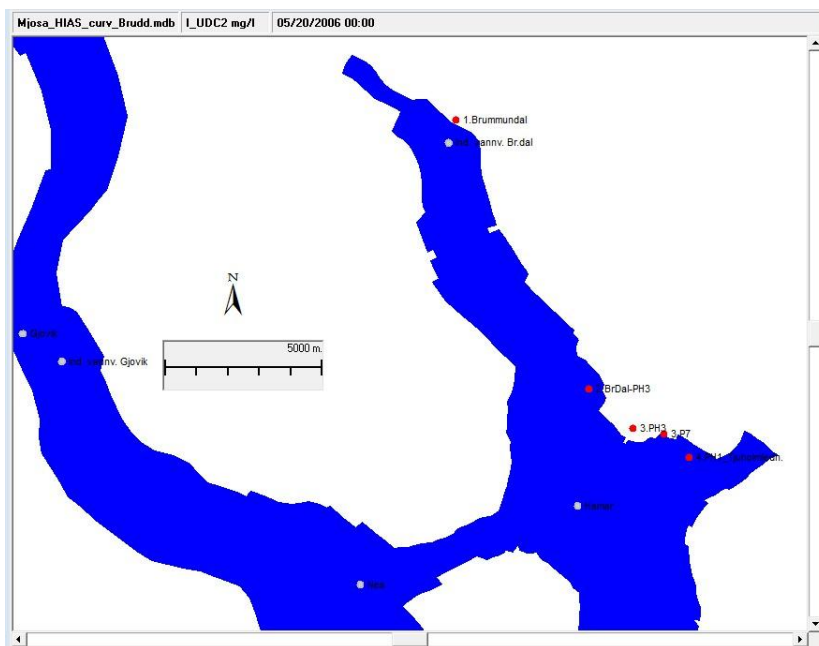
Scenarium 4:

Brudd på Tjuvholmenledningen, Ca 100-150 meter sør for PH1 (Tjuvholmen).

- Varighet: 47 timer
- Mengde som ble tilført Mjøsa: 540 m³/time

Tabell 4. Bruddsteder

Scenarium	Øst_sone32	Nord_sone32	Breddegrad	Lengdegrad
1. Brumunddal	604782	6750693	60.8775	10.9301
2. BrDal-PH3	609624	6742816	60.8055	11.0148
3. P7	612055	6741629	60.7942	11.0587
3. PH3	611074	6741725	60.7953	11.0408
4. PH1_Tjuholmledn.	612889	6740979	60.7881	11.0737

**Figur 18.** Bruddsteder

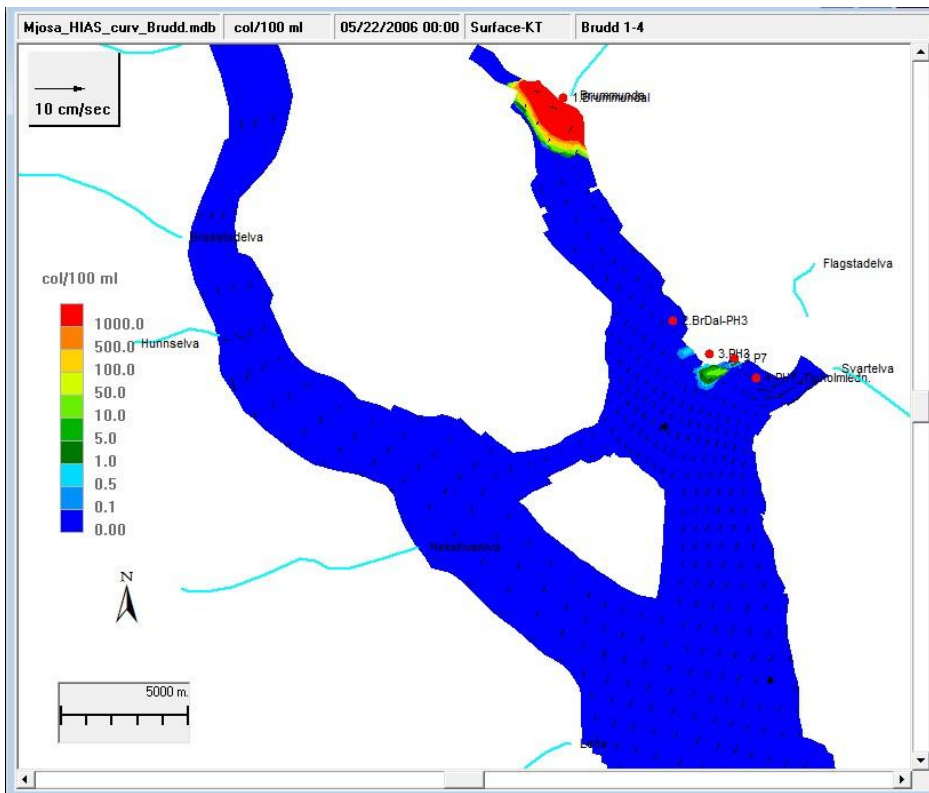
3.1 *E. coli*. Summen av alle bruddene

Resultatet etter 2 og 10 dager, hvor alle de fire bruddscenariene skjedde samtidig, er vist i **Figur 19** og **Figur 20**. Umiddelbart etter at lekkasjene skjedde, ble konsentrasjonene betydelige i selve utslippssonen. For eksempel vil det ikke være tilrådelig å bade der selv om temperaturforholdene skulle ligge til rette for det.

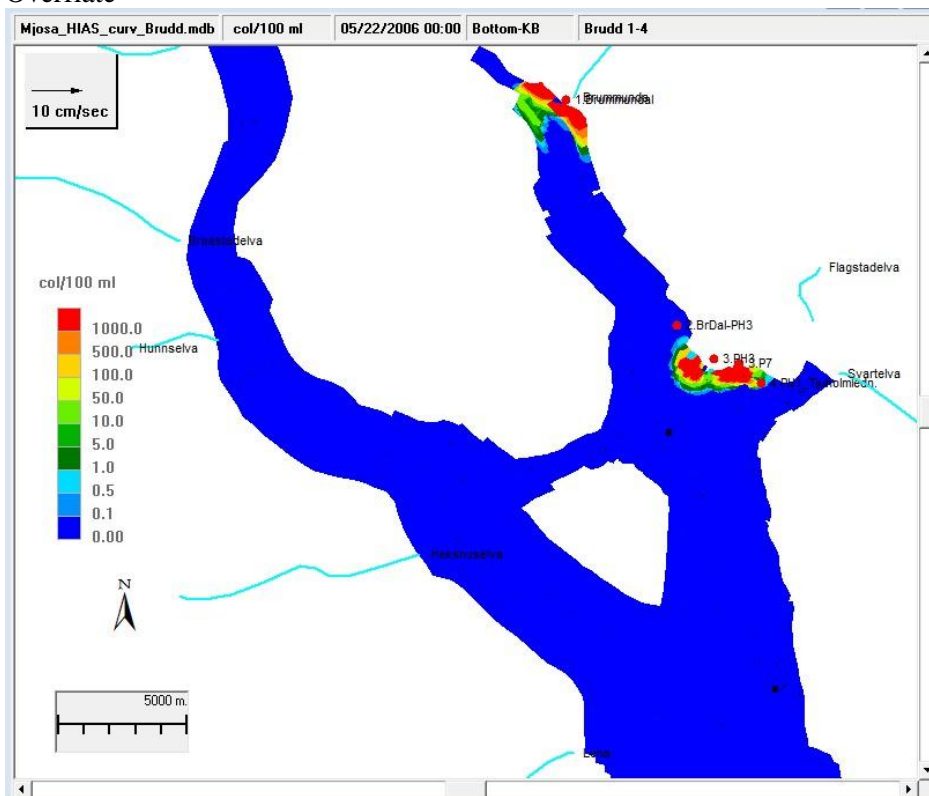
Lekkasjene var tidsbegrenset slik at bakteriene etter hvert både ble redusert som følge av utdøing og fortyning. I overflaten ble det meste av Furnesfjorden og arealene rundt Helgøya påvirket. Typiske konsentrasjoner var under 100 per 100 ml, dvs. god badevannskvalitet.

I følge simuleringene ble vannverksinntaket til Hamar vannverk ikke påvirket. På grunn av kort avstand fra vanninntaket til høyere konsentrasjoner kan vi ikke se bort i fra at dette likevel kan skje. De fremtidige alternativene og inntaket til Stange vannverk ble ikke påvirket.

Vi understreker at det er usannsynlig at alle lekkasjene skjer samtidig. Konsentrasjoner forventes å bli mindre enn vist på figuren.

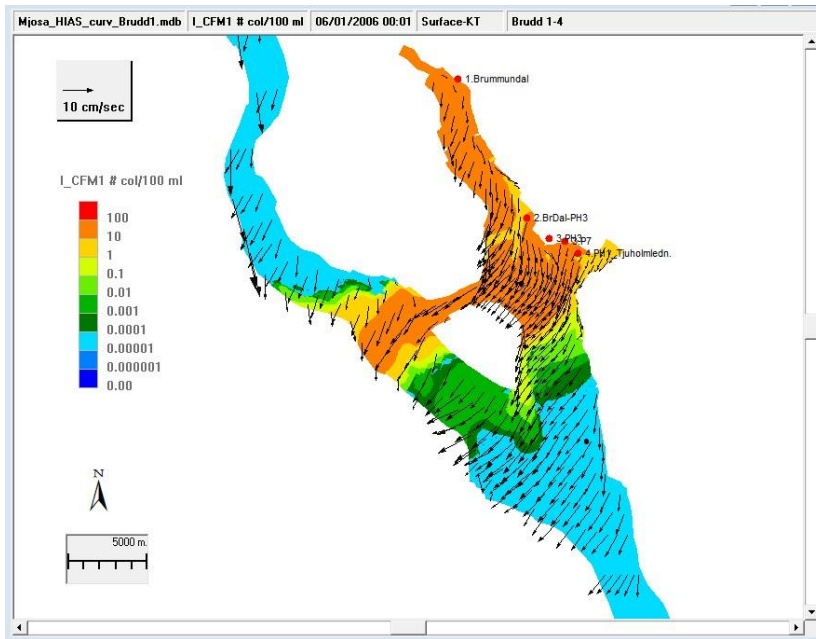


Overflate

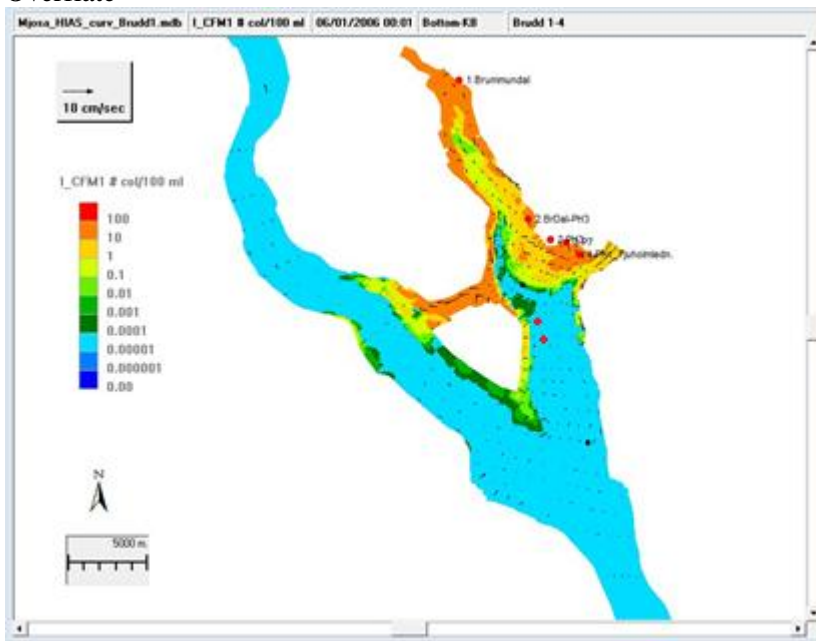


Bunn

Figure 19. *E. coli* etter 2 døgn. Summen av alle bruddene.



Overflate



Bunn

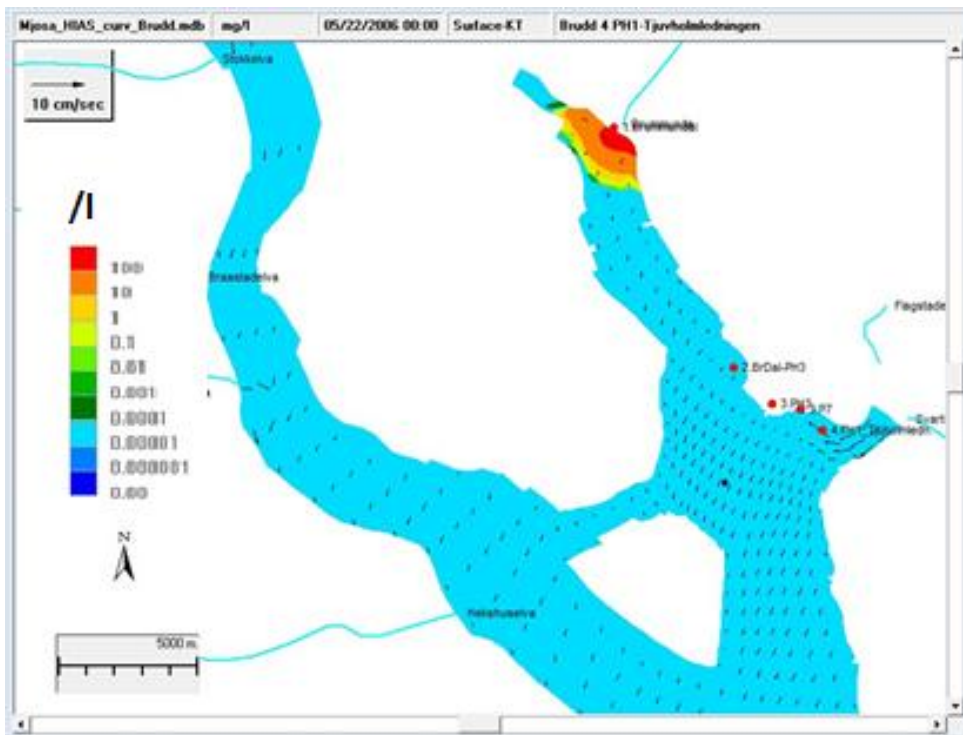
Figur 20. Konsentrasjon av *E. coli* etter 10 dager. Summen av alle bruddene.

3.2 Scenarium 1. Overløp i pumpestasjonen i Brumunddal

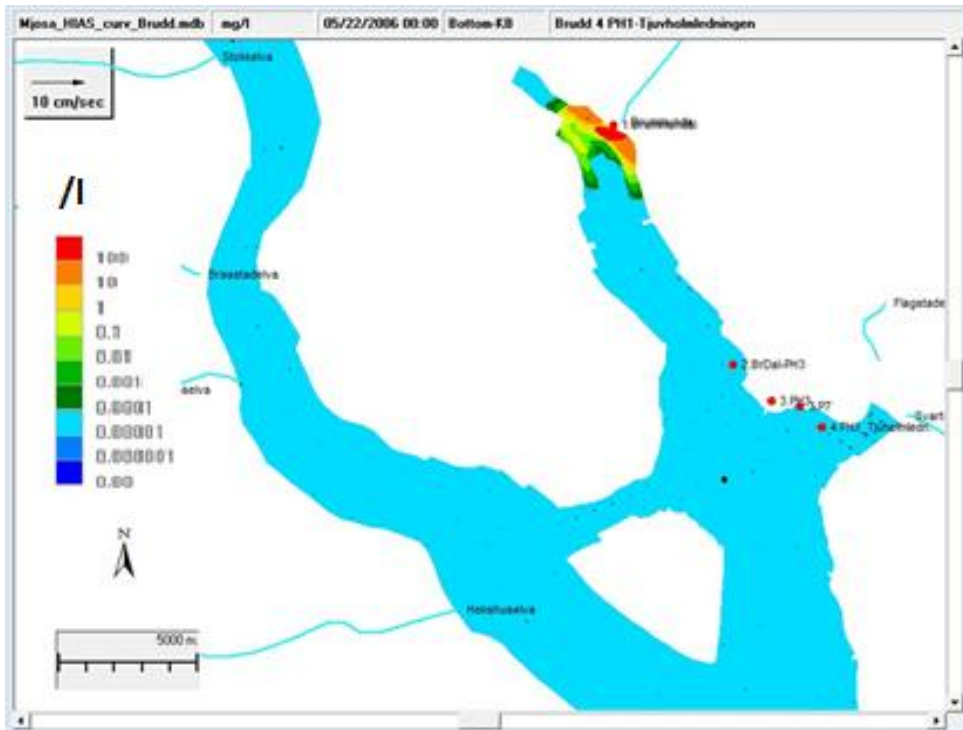
Overløp i pumpestasjonen i Brumunddal. Dette kan skyldes pumpestans eller styrt overløp ved brudd på ledningen ved Hamar. Varighet: 3 døgn. Overløpsmengde: 200 i m³/time.

Spredningsforløpet av patogener er vist i **Figur 21 - Figur 24**. De første par dagene ble patogenene spredt noen få kilometer fra bruddstedet. I løpet av 10 dager ble de spredt til hele Furnesfjorden og områdene nord for Helgøya. Ved andre vindretninger vil områdene vest for Helgøya også forventes å

bli påvirket. Vannverksinntakene, både eksisterende og de fremtidige alternativene, ble lite påvirket, mindre enn 10^{-4} patogen/l.

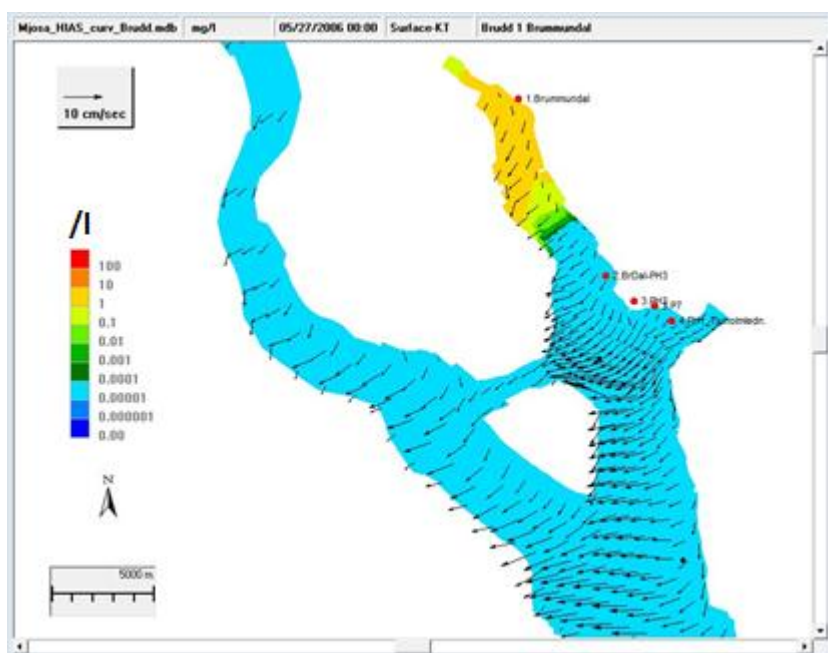


Overflate

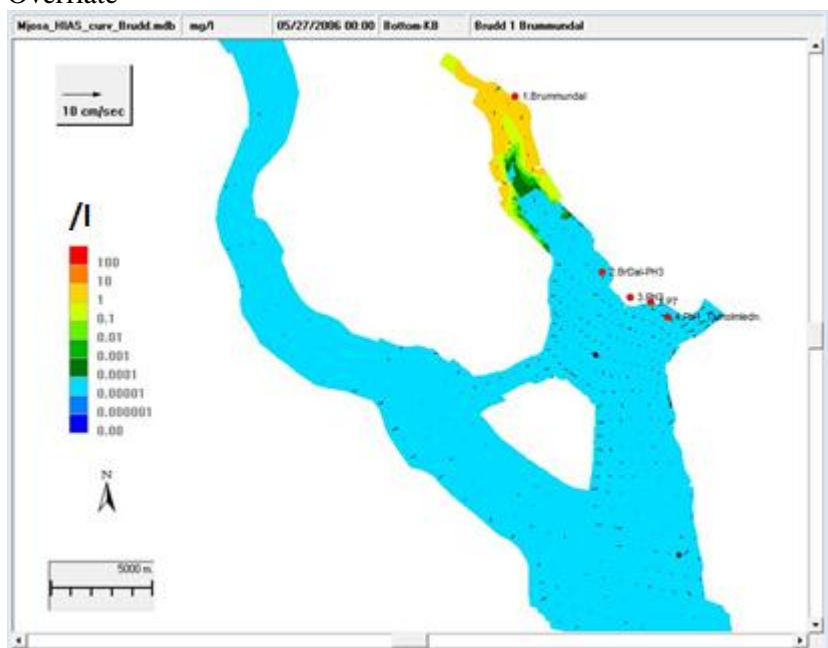


Bunn

Figur 21. Lekkasje/overløp ved Brumunddal. Patogener etter 2 dager

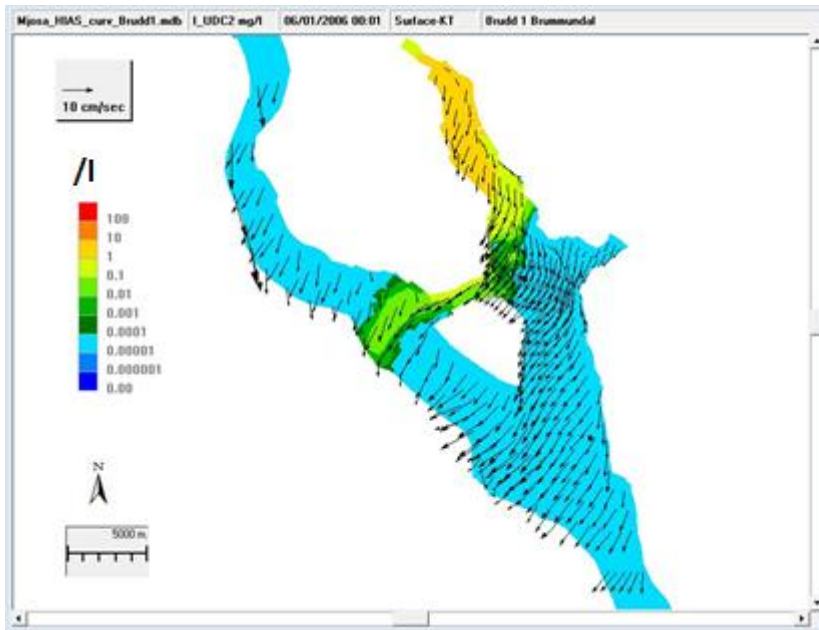


Overflate

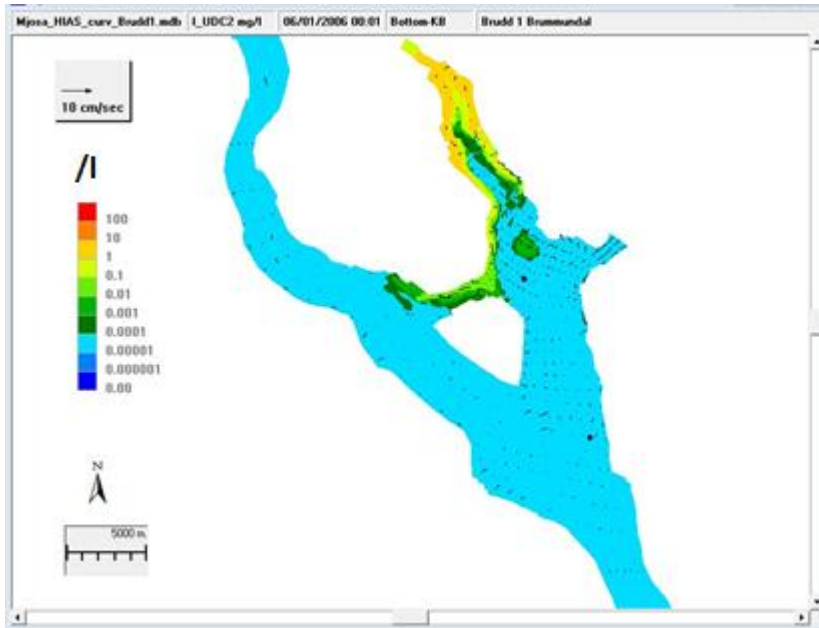


Bunn

Figur 22. Lekkasje/overløp ved Brumunddal. Patogener etter 7 dager

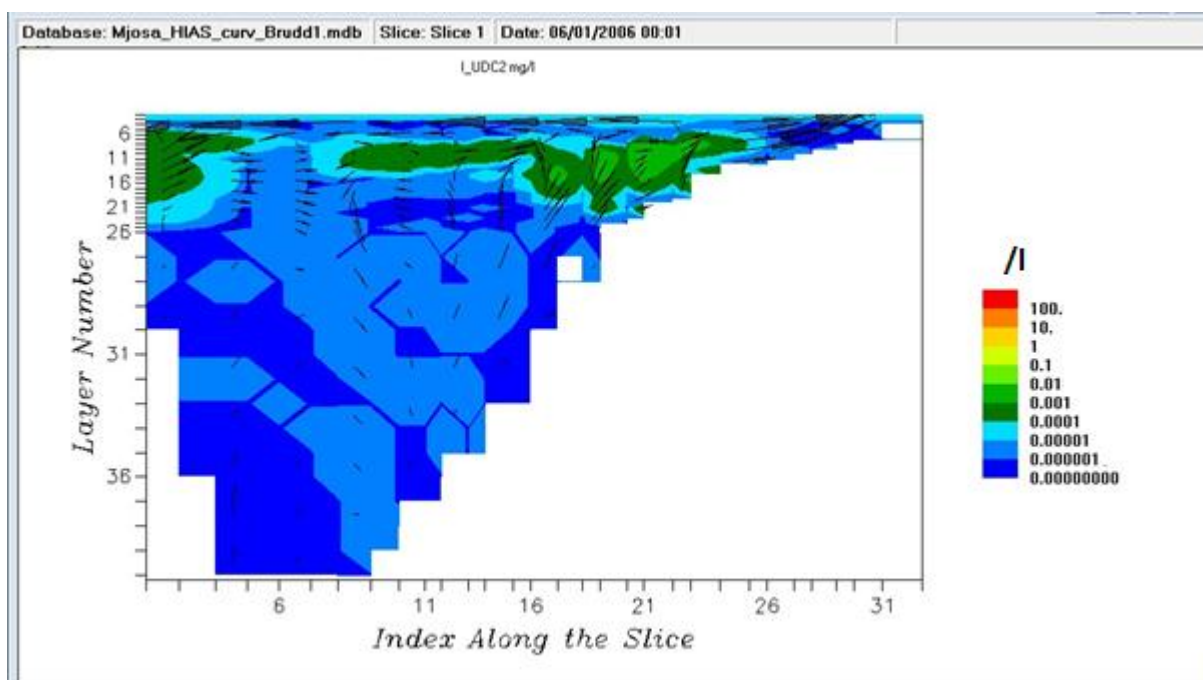


Overflate



Bunn

Figur 23. Lekkasje/overløp ved Brumunddal. Patogener etter 10 dager

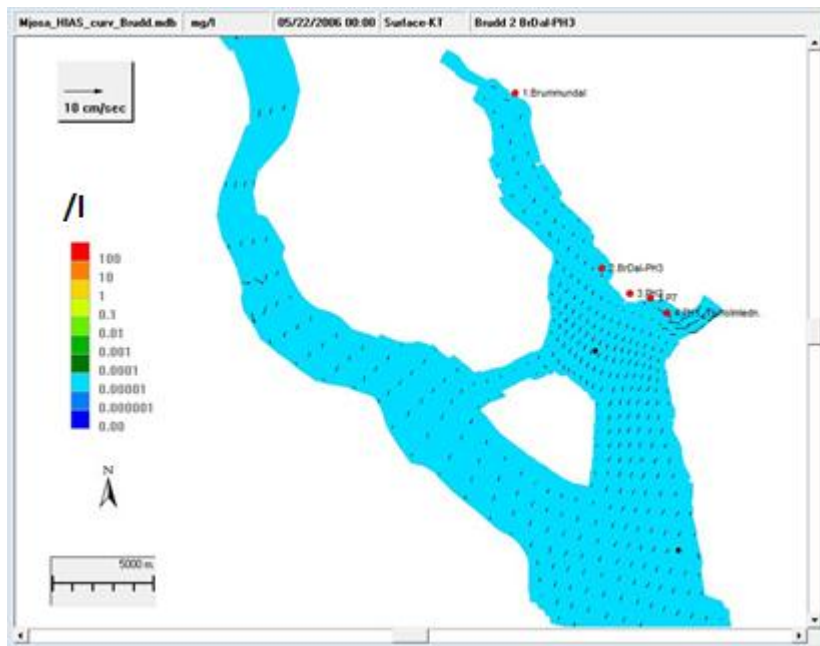


Patogener i et tverrsnitt fra Helgøya (venstre) gjennom Hamar vanninntak til Hamar (høyre).
Figur 24. Lekkasje ved Brumunddal. Patogener etter 10 dager

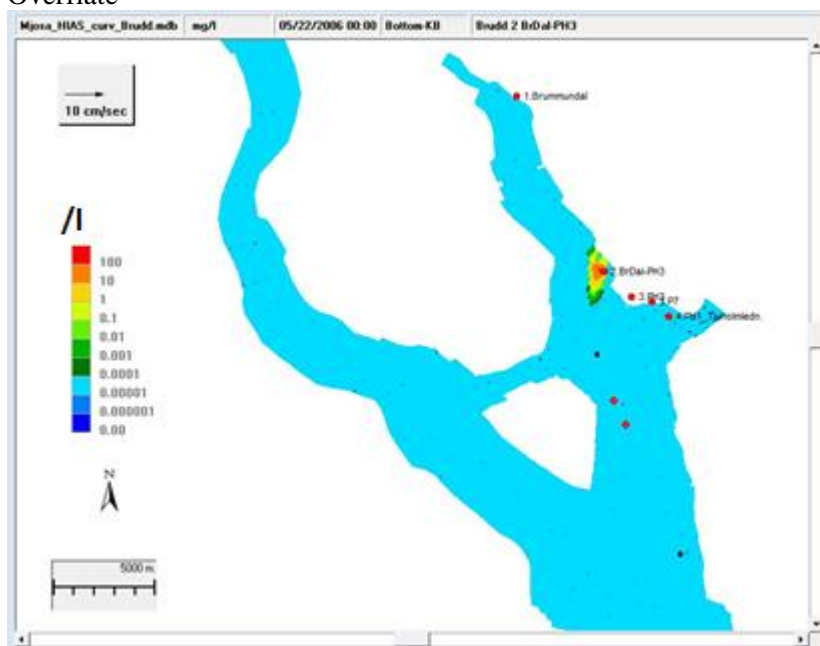
3.3 Scenarium 2. Brudd mellom Brumunddal og PH3

Brudd på overføringsledningen mellom Brumunddal og PH3 ved inntaksledningen til Hamar vannbehandlingsanlegg. Varighet: 6 time. Avløpstilførsel til Mjøsa: 200 m³/time

Spredningsforløpet er vist i **Figur 25 - Figur 28**. Etter 10 dager ble patogenene spredt innover i Furnesfjorden og nord for Helgøya. Ved andre vindretninger må vi forvente tilsvarende konsentrasjoner også på østsiden av Helgøya. Typiske konsentrasjoner var mindre enn 1 patogen per l i overflatevannet. I vanninntakene, både eksisterende og fremtidige alternativer, ble konsentrasjonene meget små, under 10⁻⁴ per l.

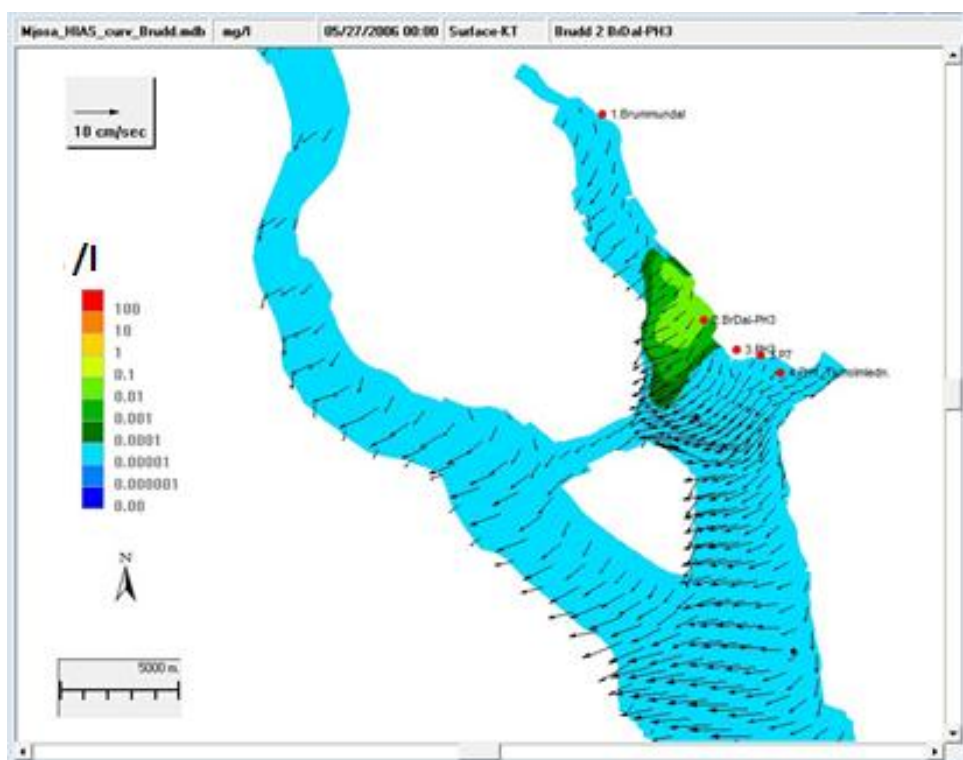


Overflate

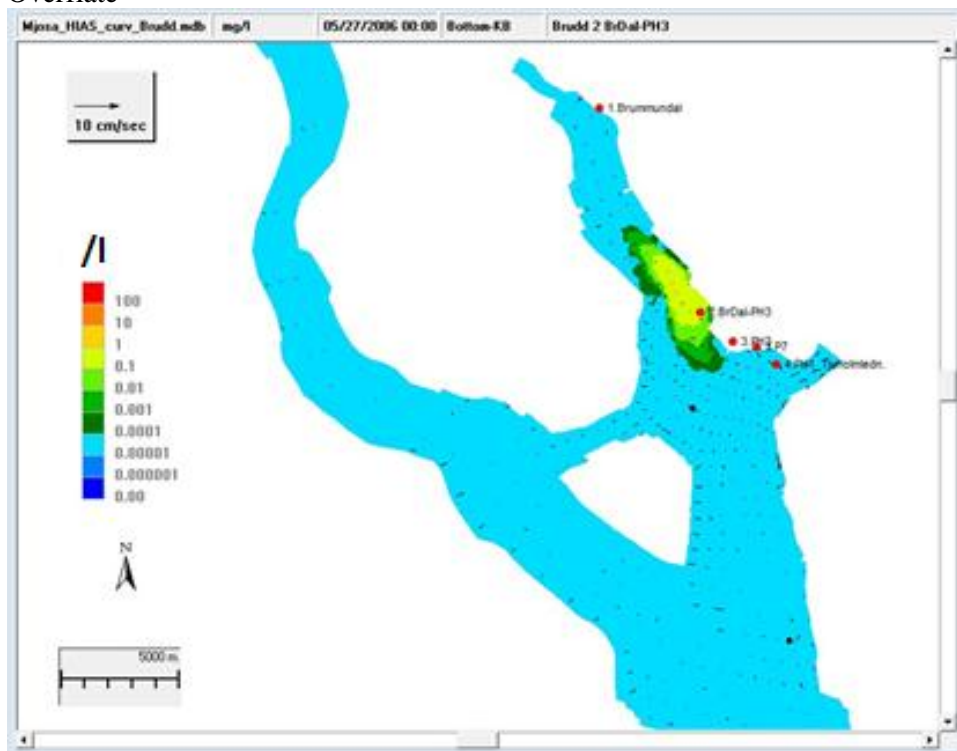


Bunn

Figur 25. Scenarium 2. Brudd mellom Brumunddal og PH3. Patogener etter 2 døgn

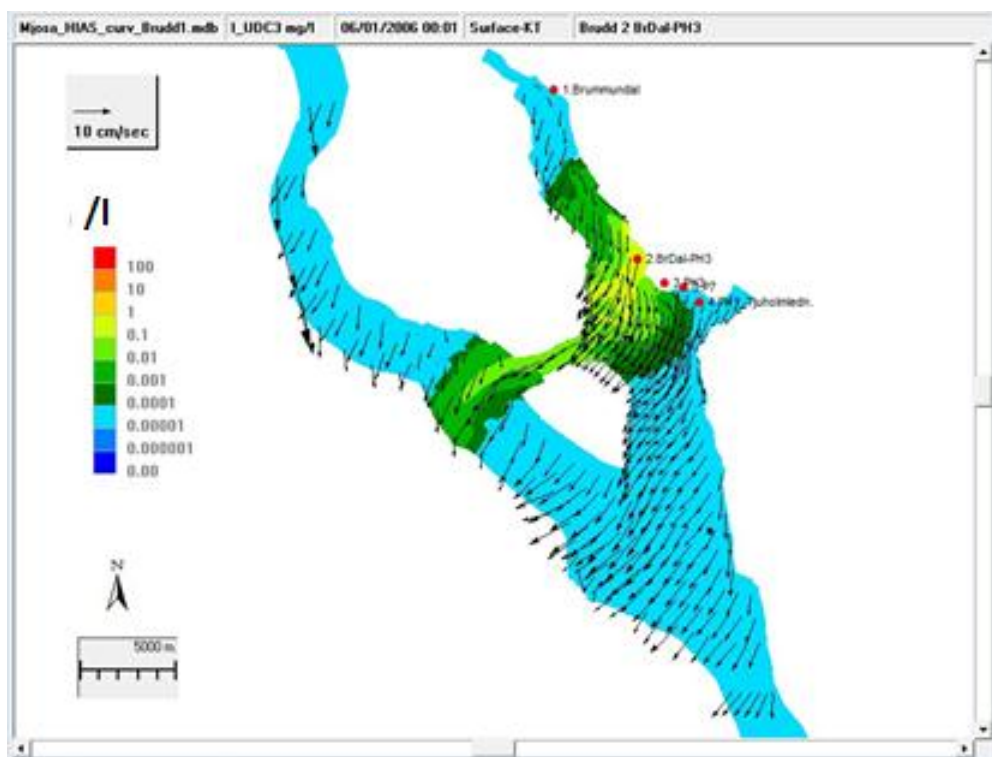


Overflate

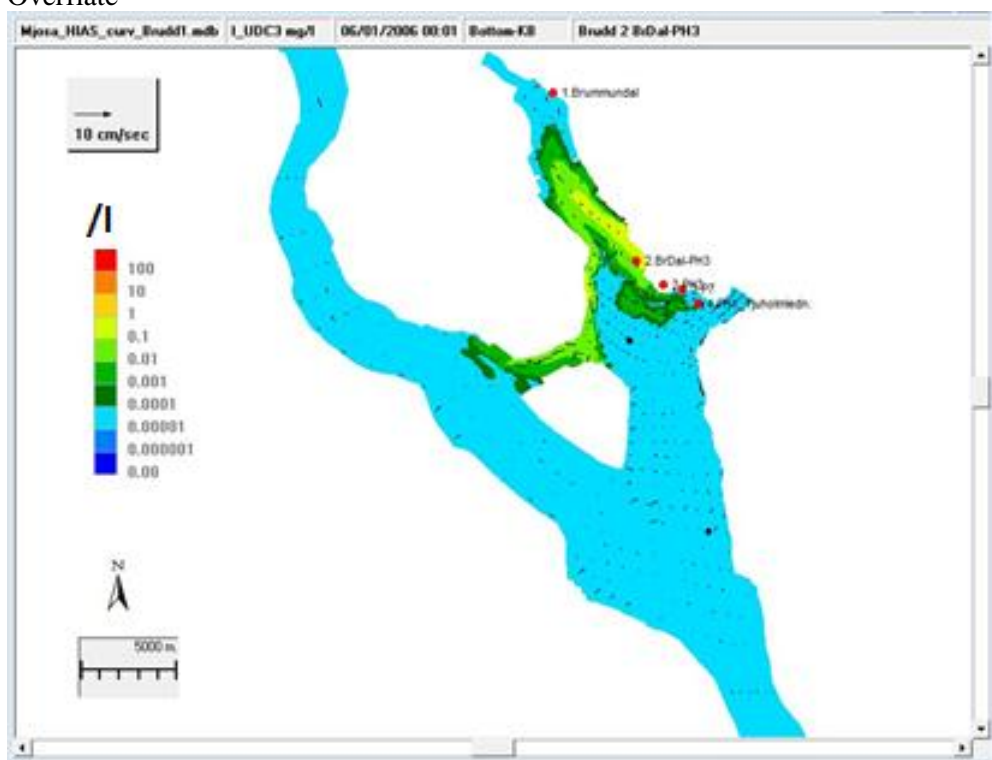


Bunn

Figur 26. Scenarium 2. Brudd mellom Brumunddal og PH3. Patogener etter 7 døgn

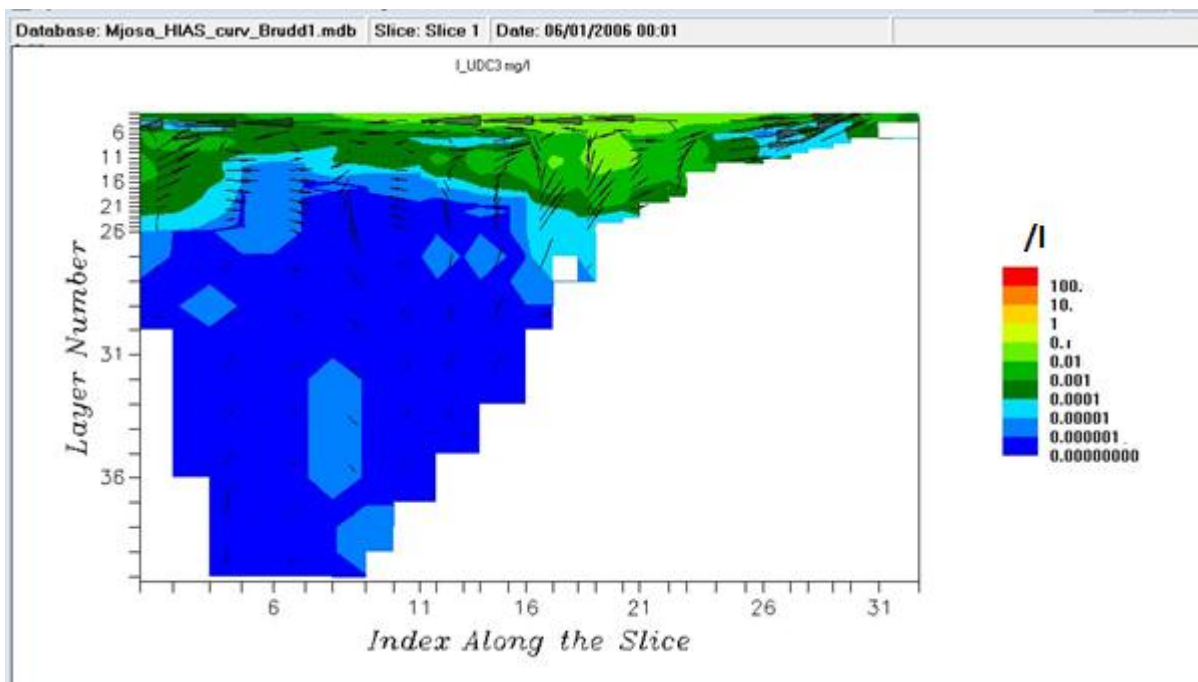


Overflate



Bunn

Figur 27. Scenarium 2. Brudd mellom Brumunddal og PH3. Patogener etter 10 døgn

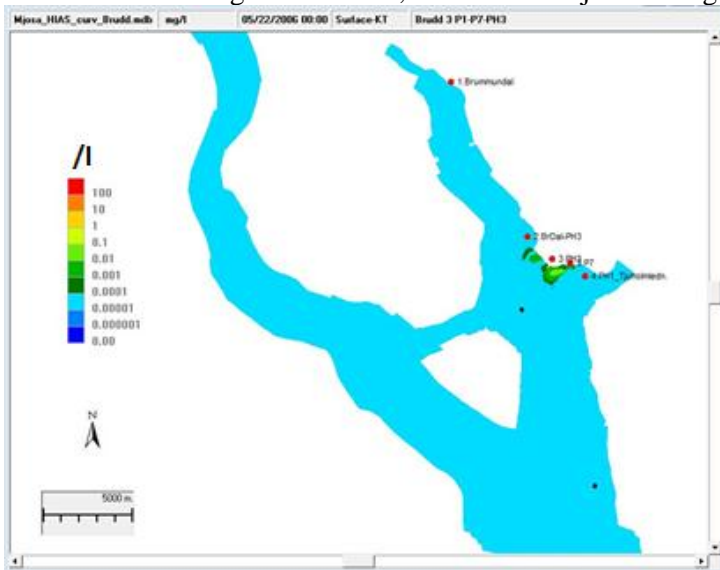


Patogener i et tverrsnitt fra Helgøya (venstre) gjennom Hamar vanninntak til Hamar (høyre).
Figur 28. Scenarium 2. Brudd mellom Brummunddal og PH3. Patogener etter 10 døgn

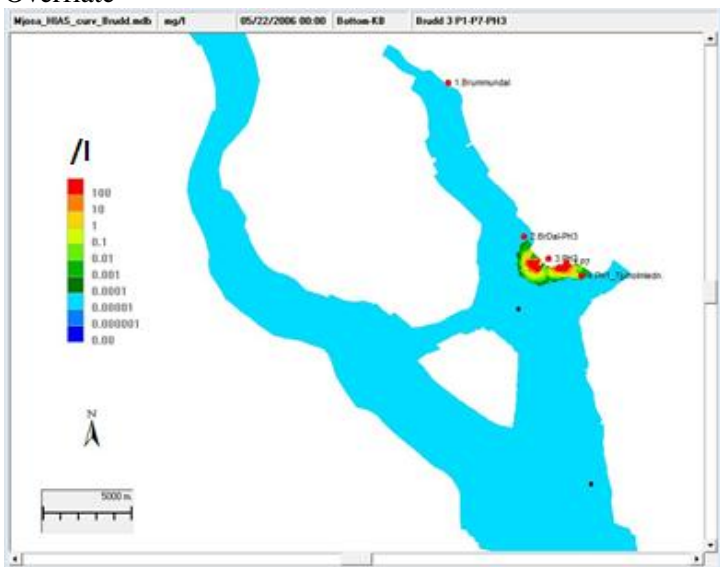
3.4 Scenarium 3. Brudd før PH1

1. Brudd på overføringsledningen rett før PH1. Varighet: 47 timer . Overløp fra Hamar kommunes P7 med $120 \text{ m}^3/\text{time}$
2. Overløp fra PH3 $258 \text{ m}^3/\text{time}$ ($58 \text{ m}^3/\text{h} + 200 \text{ m}^3/\text{h}$ fra Brumunddal)

Spredningsforløpet er vist i **Figur 29 - Figur 32**. Etter 10 dager ble patogenene spredt innover i Furnesfjorden og rundt Helgøyaøya og sørover mot Stange. Typiske konsentrasjoner var mindre enn 100 patogen/l i overflatevannet. Selv om det var betydelige mengder patogener i overflatevannet over vanninntaket ved Hamar (ca 1 per liter), så nådde ikke patogenene ned til selve vanninntaket i betydelig grad, selv om simuleringene ble gjort under vårsirkulasjonen. I vanninntakene. Eksisterende så vel som fremtidige alternativer, ble konsentrasjonene meget små, under 10^{-4} per l.

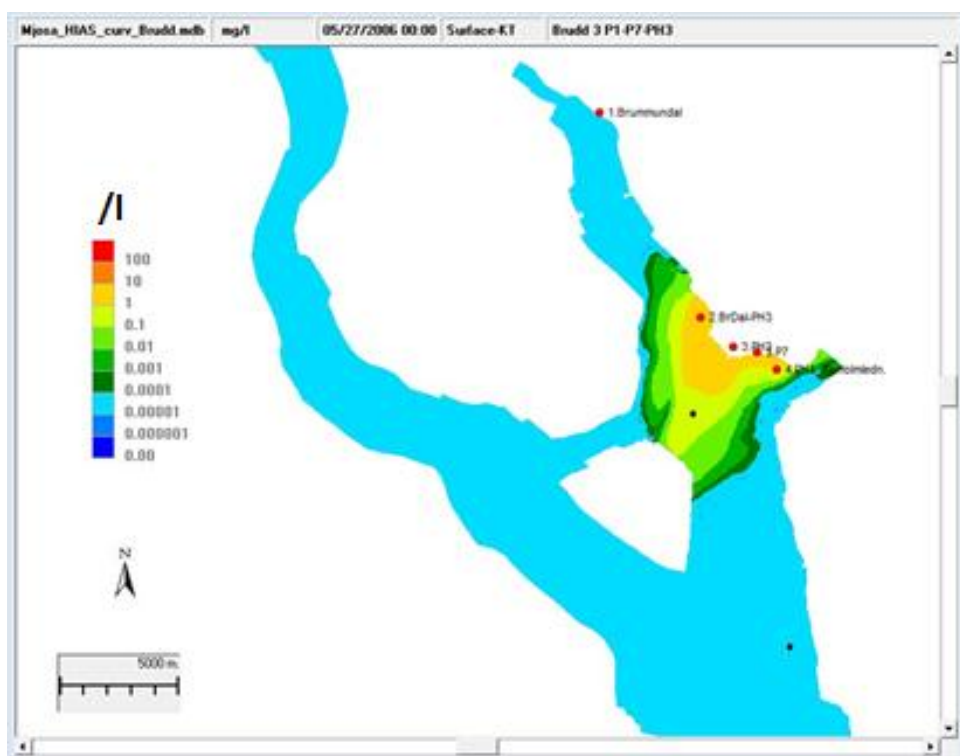


Overflate

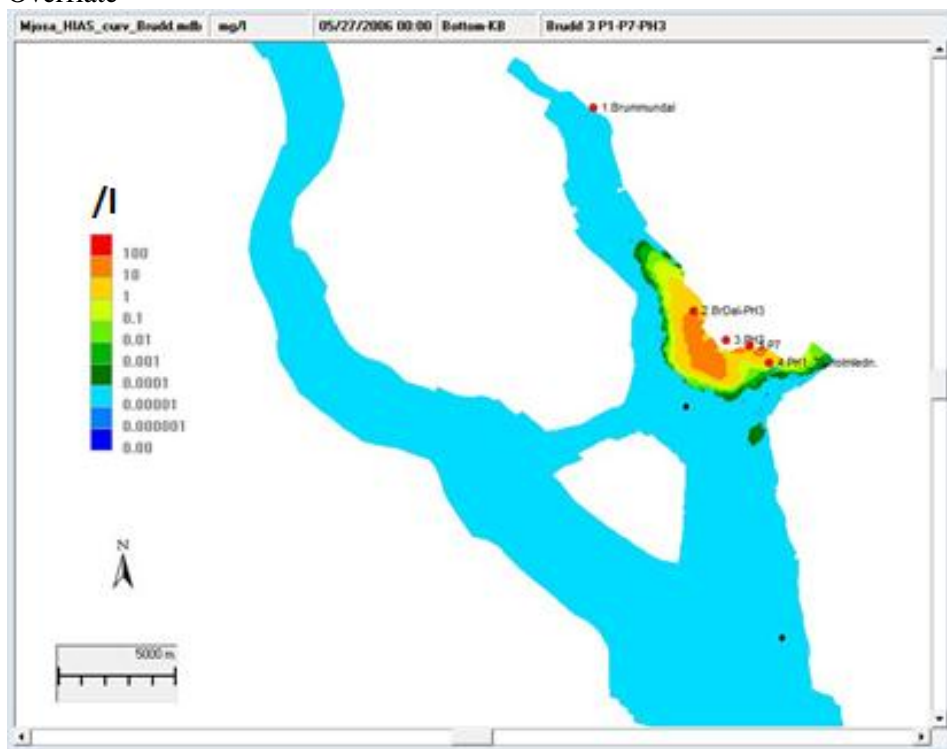


Bunn

Figur 29. Scenarium 3. Brudd før overføringsledning for PH1. Patogener etter 2 døgn.

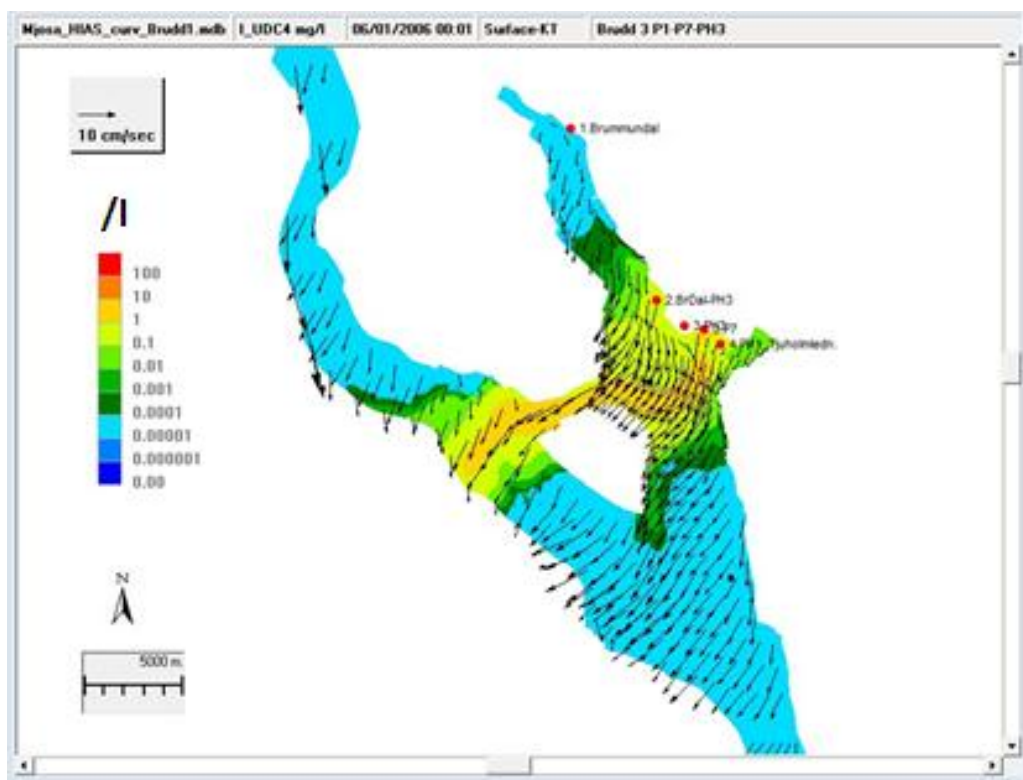


Overflate

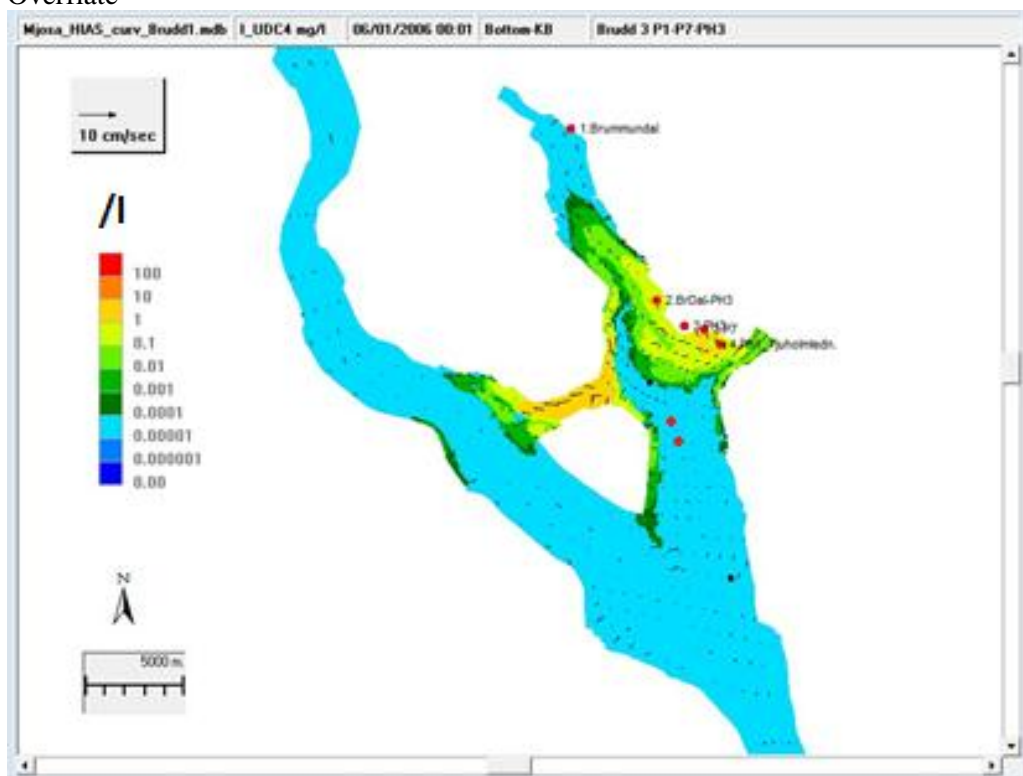


Bunn

Figur 30. Scenarium 3. Brudd før overføringsledning for PH1. Patogener etter 7 døgn.

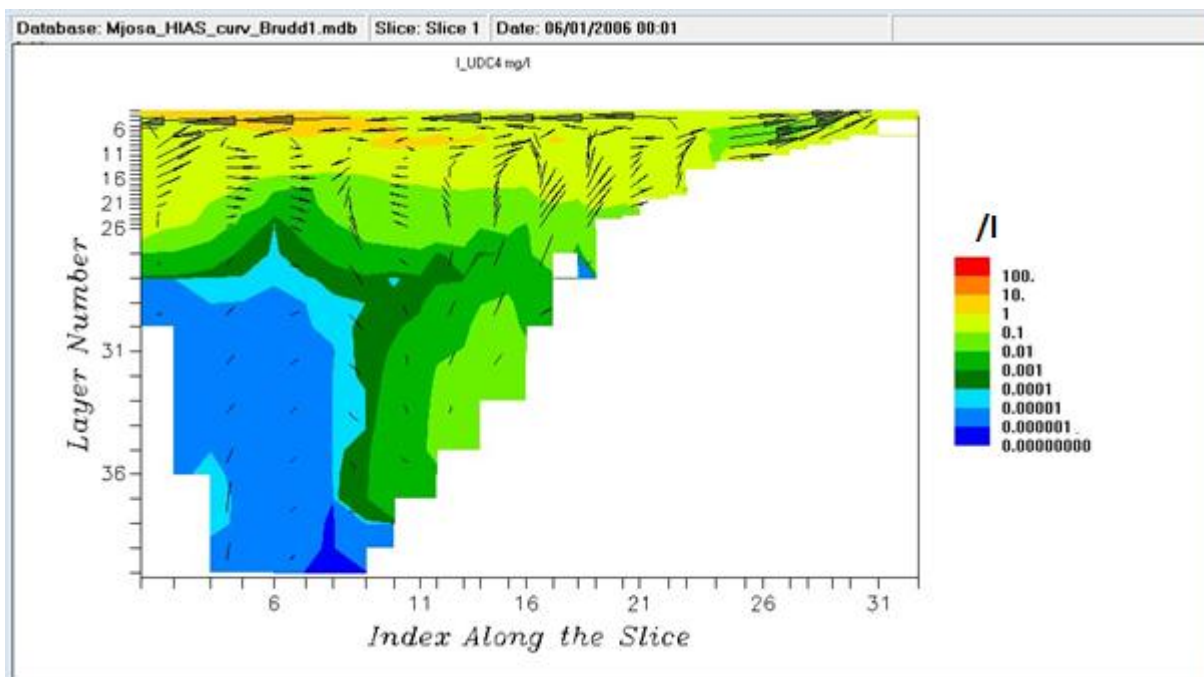


Overflate



Bunn

Figur 31. Scenarium 3. Brudd før overføringsledning for PH1. Patogener etter 10 døgn.

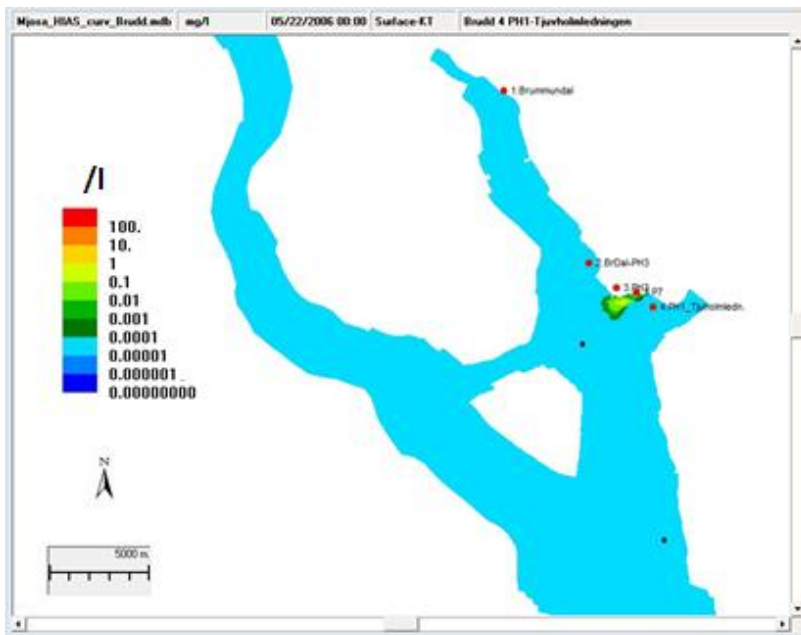


Patogener i et tverrsnitt fra Helgøya (venstre) gjennom Hamar vanninntak til Hamar (høyre).
Figur 32. Scenarium 3. Brudd før overføringsledning for PH1. Patogener etter 10 døgn.

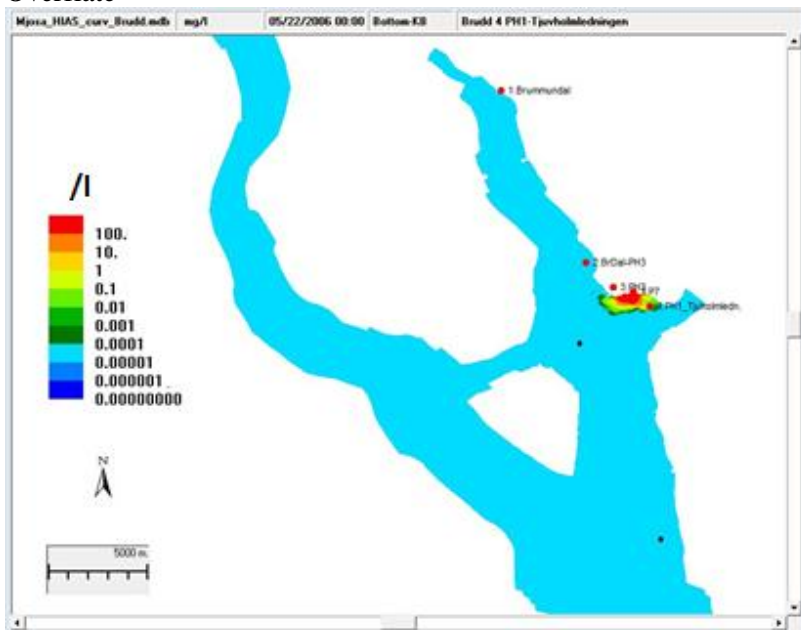
3.5 Scenarium 4. Brudd ved PH1 - Tjuvholmledningen.

Brudd på Tjuvholmenledningen, Ca 100-150 meter ut fra PH1. Varighet: 47 timer. Mengde som ble tilført Mjøsa: 540 m³/time.

Spredningsforløpet er vist **Figur 33 - Figur 36**. Etter 10 dager ble patogenene spredt innover i Furnesfjorden og rundt Helgøy og sørover mot Stange. Typiske konsentrasjoner var mindre enn 10 patogen/l i overflatevannet. I vanninntakene ble konsentrasjonene meget små, under 10⁻⁴ per l. Hamar vanninntak lå nærmest påvirkede vann, og vil følgelig være mest utsatt om påvirkningen skulle være større enn simuleringene viser.

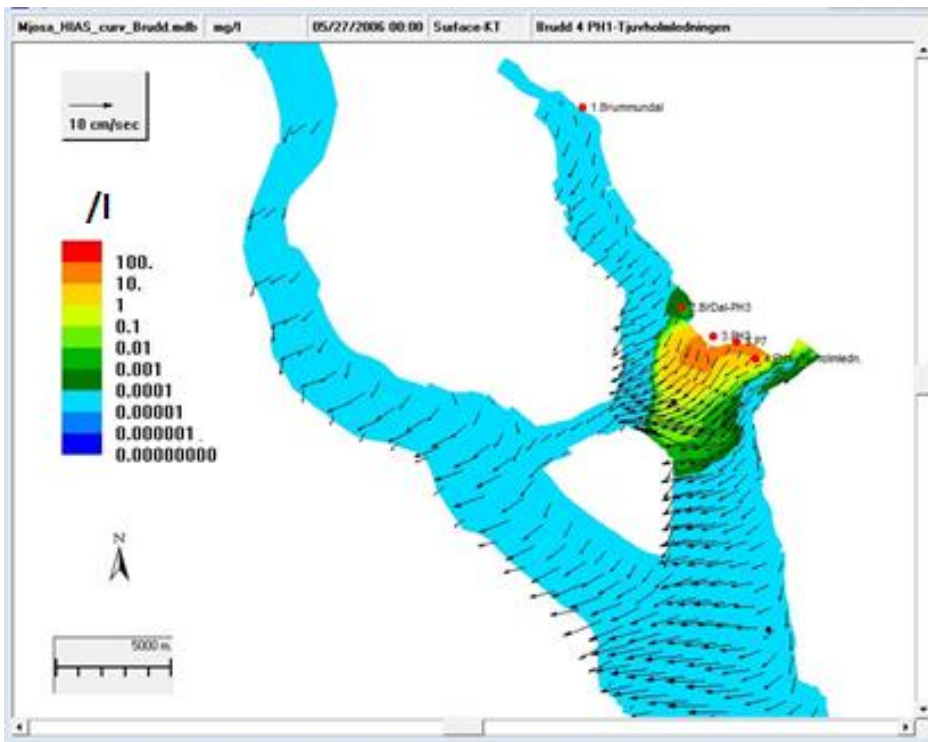


Overflate

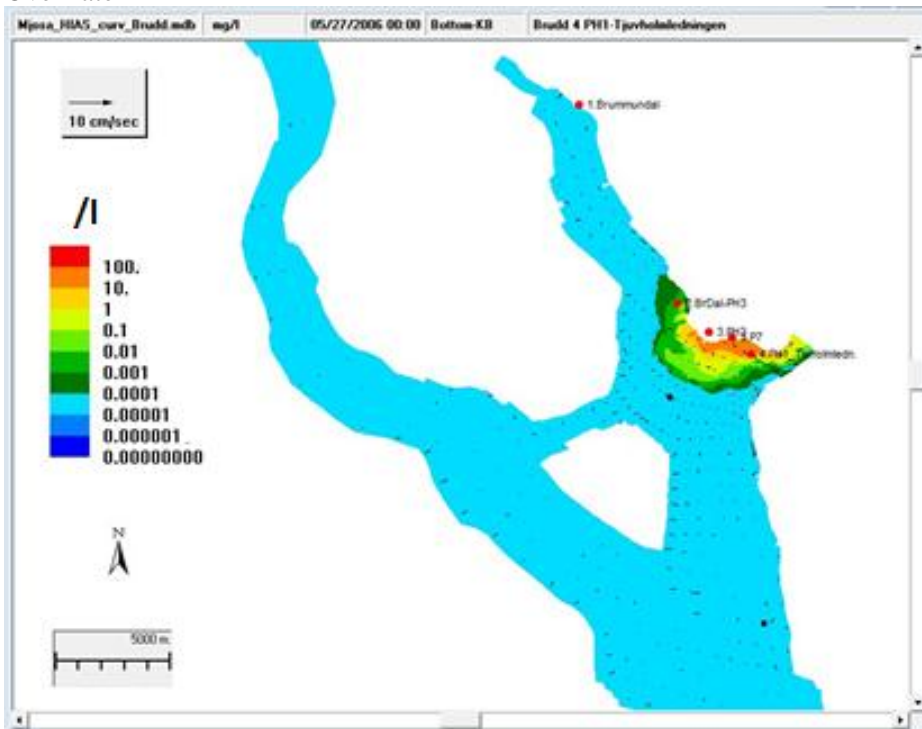


Bunn

Figur 33. Scenarium 4. Brudd ved PH1 - Tjuvholmledningen. Patogener etter 7 døgn.

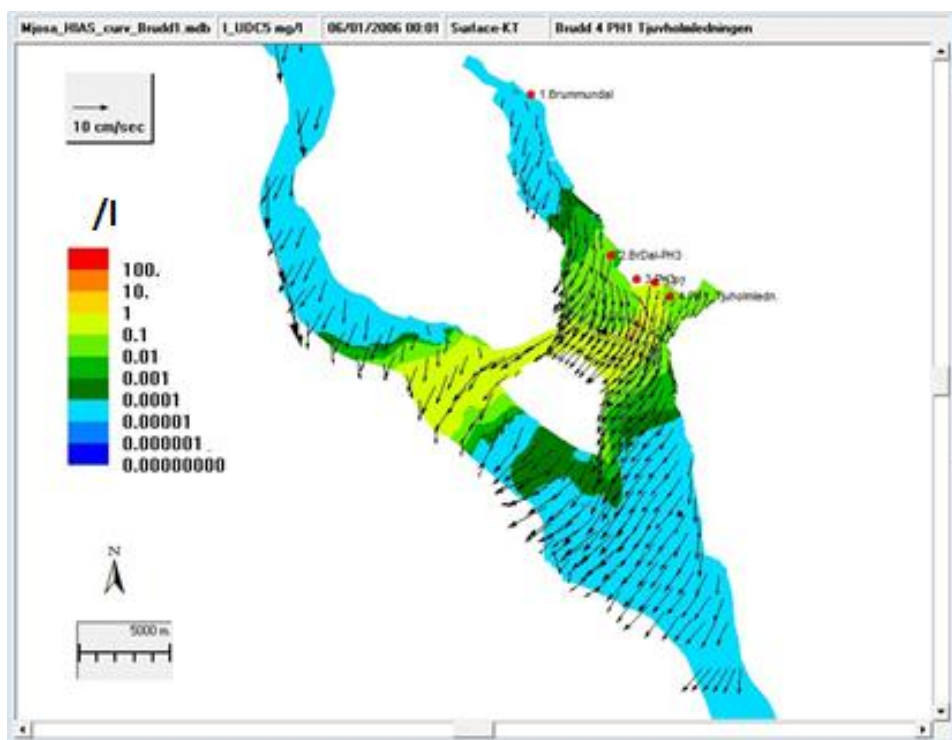


Overflate

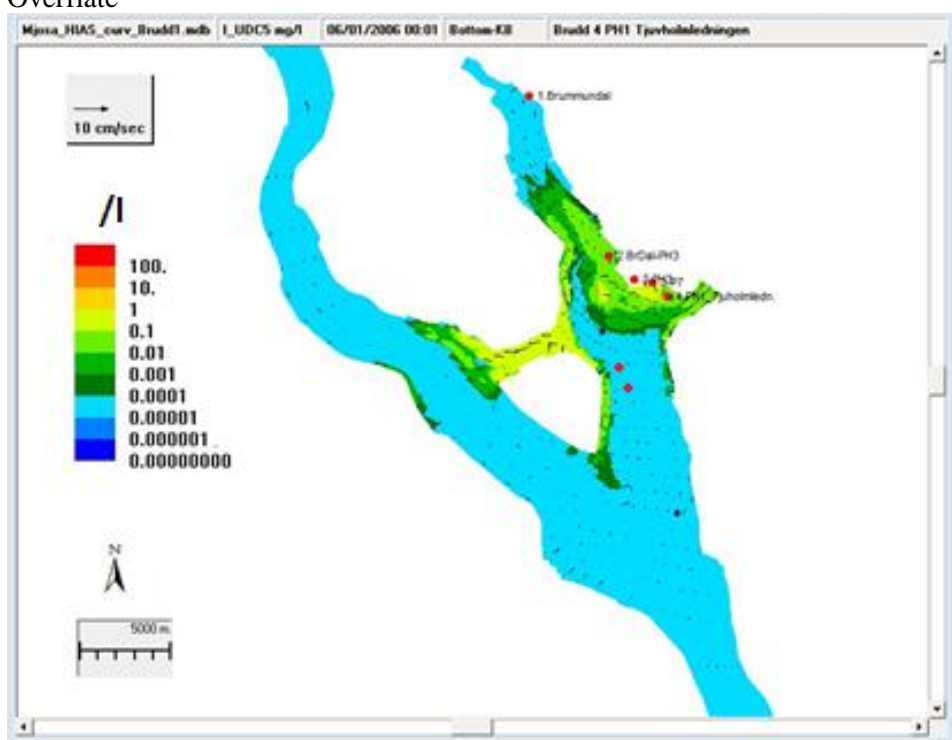


Bunn

Figur 34. Scenarium 4. Brudd ved PH1 - Tjuvholmledningen. Patogener etter 7 døgn.

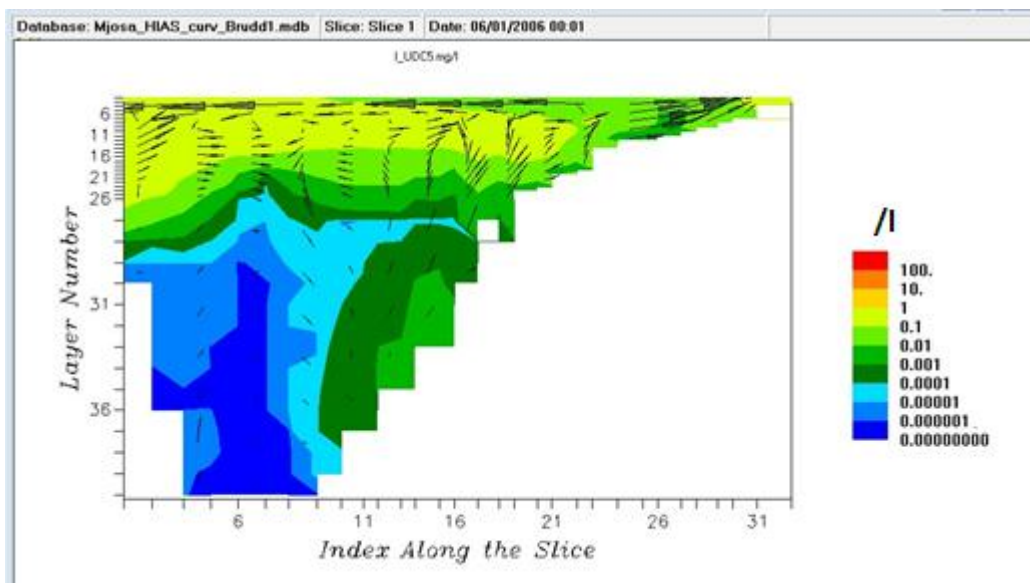


Overflate



Bunn

Figur 35. Scenarium 4. Brudd ved PH1 - Tjuvholmledningen. Patogener etter 10 døgn.



Patogener i et tverrsnitt fra Helgøya (venstre) gjennom Hamar vanninntak til Hamar (høyre).
Figur 36. Scenarium 4. Brudd ved PH1 - Tjuvholmledningen. Patogener etter 10 døgn.

4. Full stopp i de nærmeste renseanleggene

De nærmeste renseanleggene er HIAS, Nes, Rambekk, Skreia og Kapp. Vi ønsket å studere hvordan utslipp av urensset vann fra disse anleggene kan tenkes å påvirke vannverksinntakene og områdene omkring. I vårt scenarium studerte vi situasjonen etter 10 dager med urensset utslipp med hensyn til *E. coli* ($10^7/100$ ml) og patogener ($10^5/l$ som er samme verdi som ved rensset kloakk). Hendelsen fant sted 20. mai, dvs. i en periode med vertikalt lite stabile forhold hvor vannverksinntakene forventes å være mest utsatt.

Vanninntaket til Hamar vannverk ble moderat påvirket av *E. coli* fra HIAS og til dels også Nes. De øvrige renseanleggene, Rambekk, Skreia og Kapp (ikke figur), bidro ikke med målbare konsentrasjoner, **Figur 37 - Figur 40**. Selv med andre vindretninger er det lite sannsynlig at driftsstans i disse renseanleggene vil føre til økte *E. coli* konsentrasjoner ved Hamar vanninntak. Driftsstans ved HIAS og delvis også Nes vil derimot kunne føre til økte *E. coli* konsentrasjoner ved Hamar vanninntak, men vannverket bør allerede være bygget med hygieniske barrierer for å takle *E. coli* tilførsler fra de kontinuerlige utslippene av rensset kloakk fra HIAS og Nes og fra tilløpselvene.

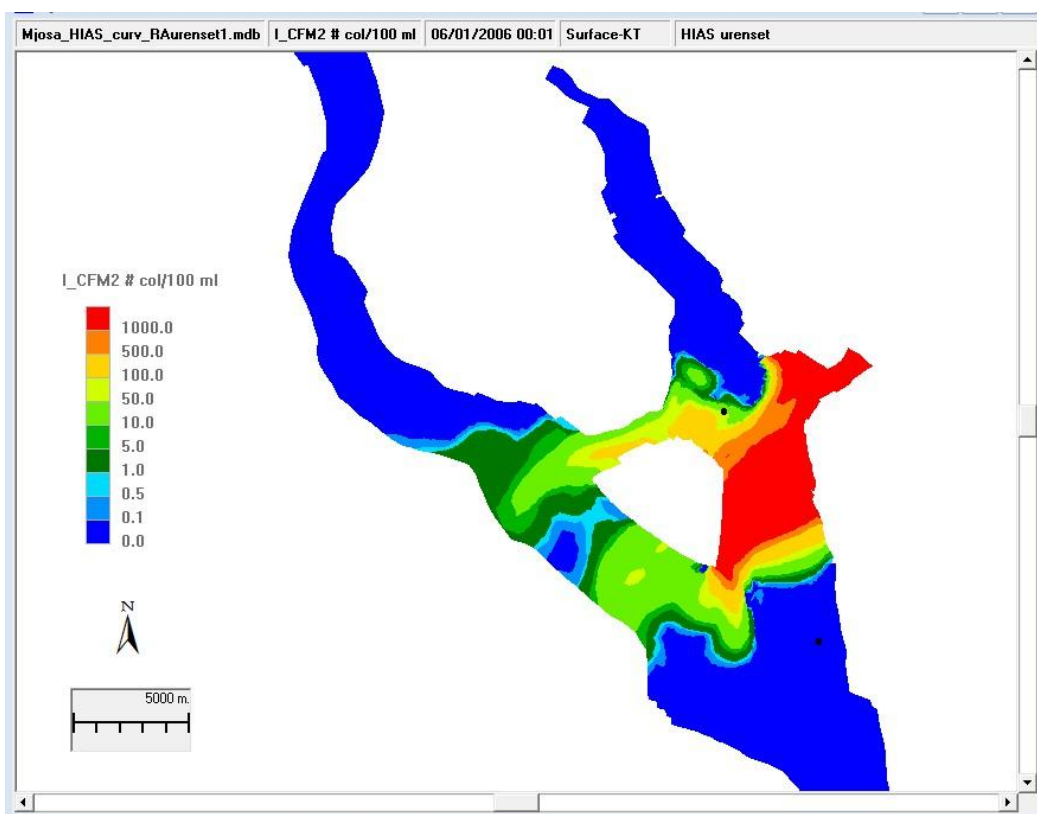
I overflaten kan hele området mellom Gjøvik og Hamar og sørover mot Stange få konsentrasjoner som overstiger kriteriet om godt badevann, dvs. $> 100 E. coli/100$ ml. Et betydelig område vil også få uakseptabel badevannskvalitet, dvs. $> 1000 E. coli/100$ ml (FHI, 1994).

De fremtidige alternative inntakene ble ikke påvirket. Inntaket Nordsveodden lå imidlertid meget nær påvirkning av tilførsler fra Nes renseanlegg.

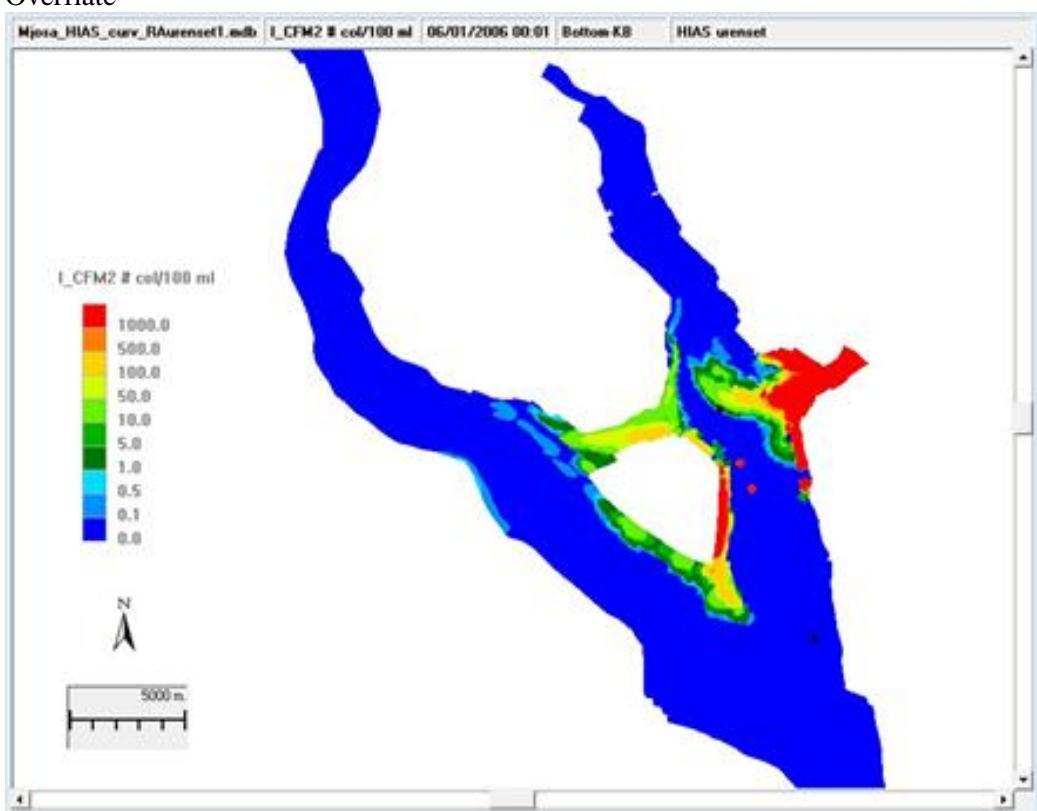
Patogener har lengre overlevelsestid og har dermed større mulighet for å påvirke inntakene. Vi antok som nevnt over at konsentrasjonene i utslippene fra renseanlegget av patogener var den samme med og uten rensing. Det vil si at et scenarium med varighet på kun 10 dager er en forbedring av normale forhold. Scenariet gir informasjon om forskjellene i påvirkning fra de aktuelle renseanleggene.

Tilførsler fra HIAS kunne føre til over 1 patogen/l i vanninntaket til Hamar vannverk, der parasitten *Cryptosporidium* kan være en aktuell patogen. Også Nes renseanlegg kunne bidra med verdier av denne størrelse. De øvrige renseanleggene bidro med verdier under $10^{-4}/l$ eller 1 per 10 000 l, **Figur 41 - Figur 44**. Inntak Nordsveodden ble påvirket med konsentrasjoner i størrelse 0,01 /l. Kilden var Nes renseanlegg. Inntak Syd og Stange vannverksinntak ble lite påvirket, under $10^{-4}/l$.

For eksempel gir scenariet informasjon om at utslipp via Nes renseanlegg og HIAS kan gi 10 000 ganger høyere konsentrasjoner i inntaket til Hamar vannverk enn renseanlegg på vestsiden av Mjøsa.

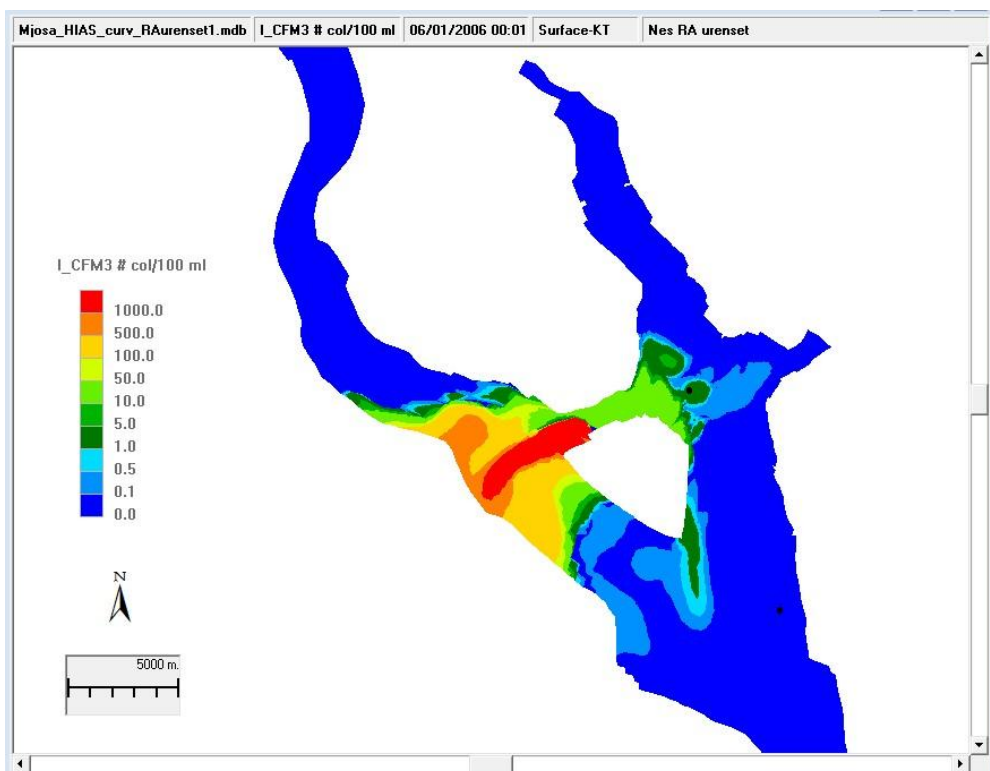


Overflate

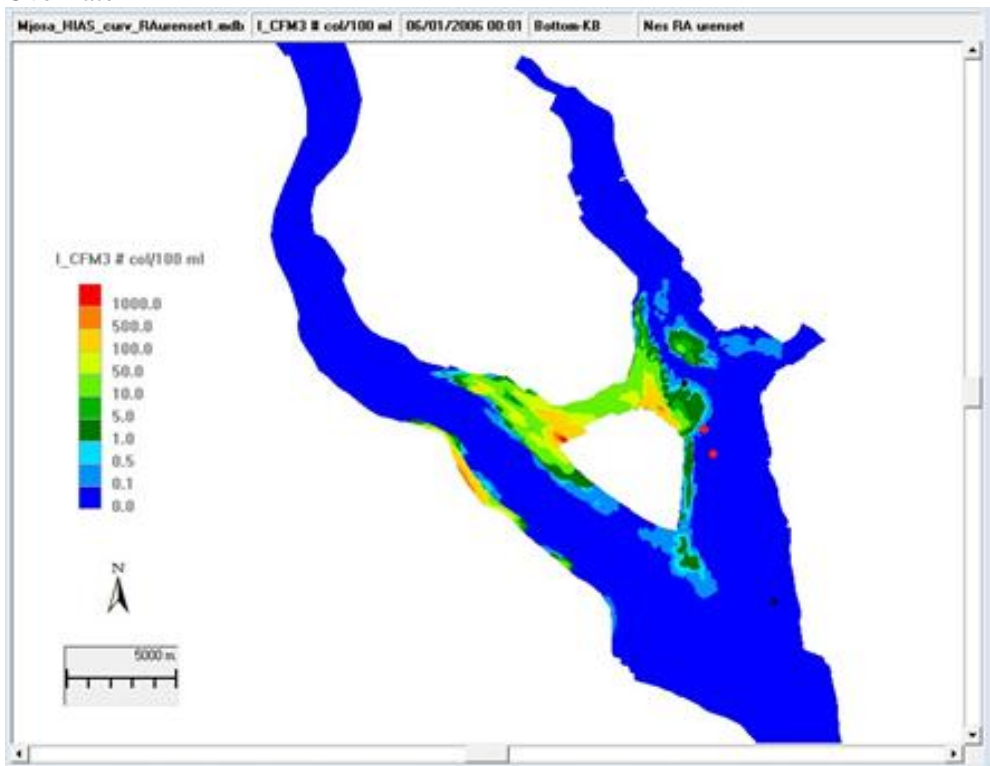


Bunn

Figur 37. Urenset utslipp fra HIAS. Konsentrasjon av *E.coli* etter 10 døgn.

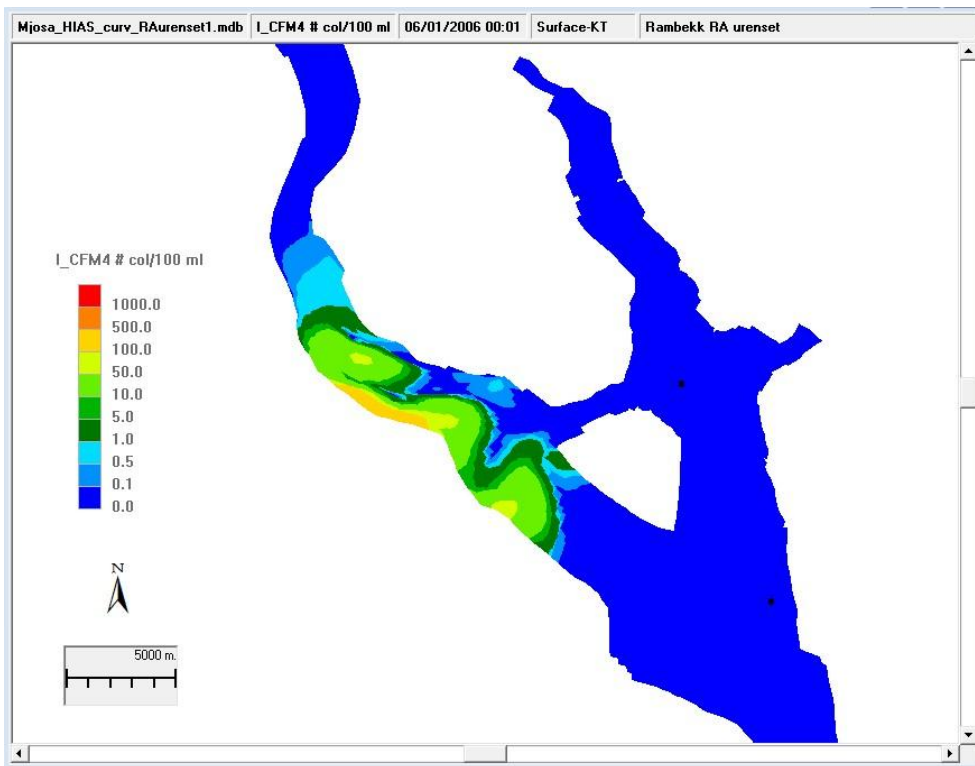


Overflate

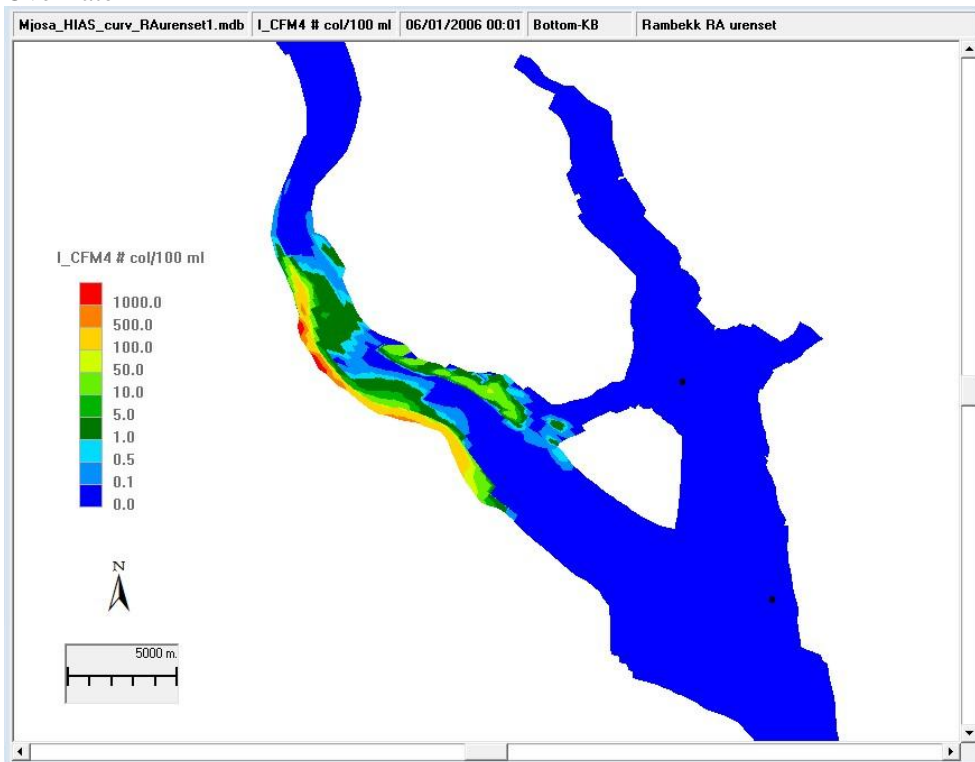


Bunn

Figur 38. Urenset utslipp fra Nes. Konsentrasjon av *E.coli* etter 10 døgn.

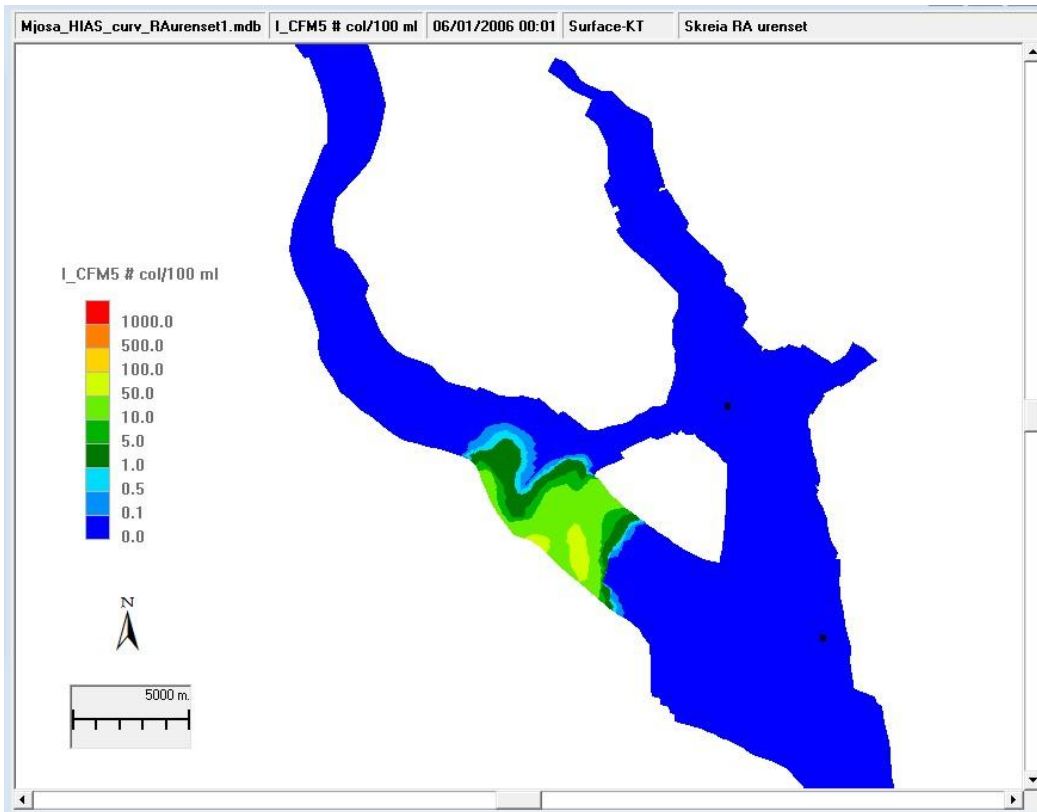


Overflate

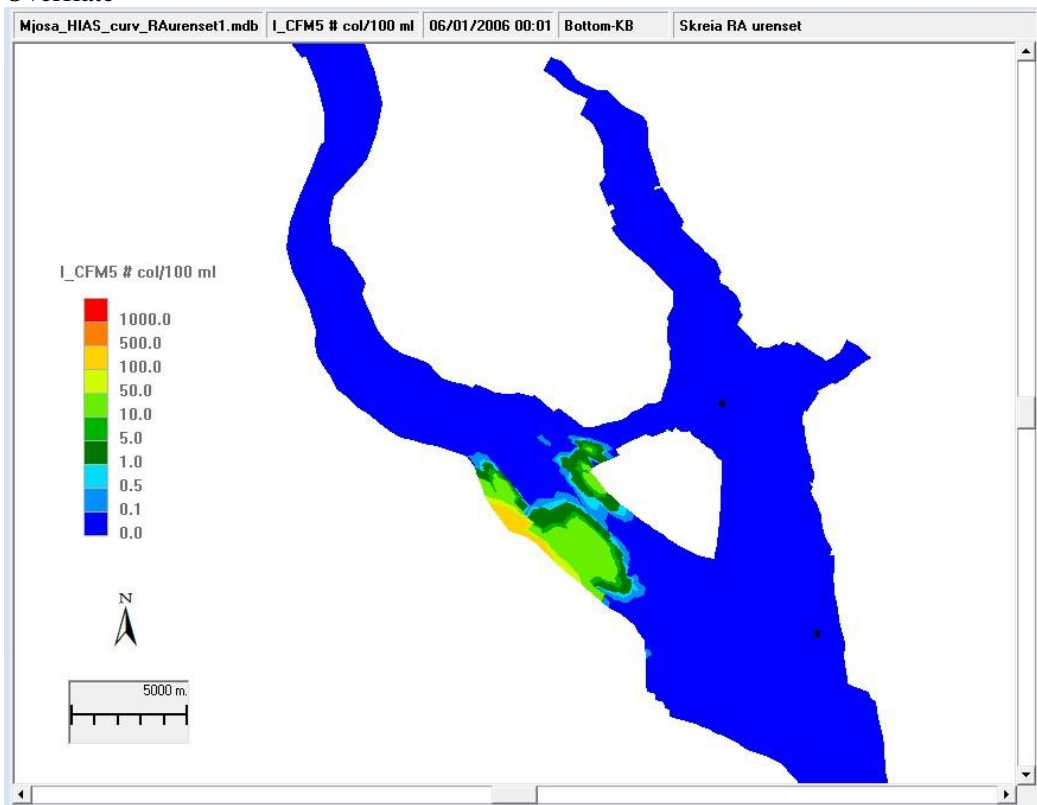


Bunn

Figur 39. Urenset utslipp fra Rambekk. Konsentrasjon av *E.coli* etter 10 døgn

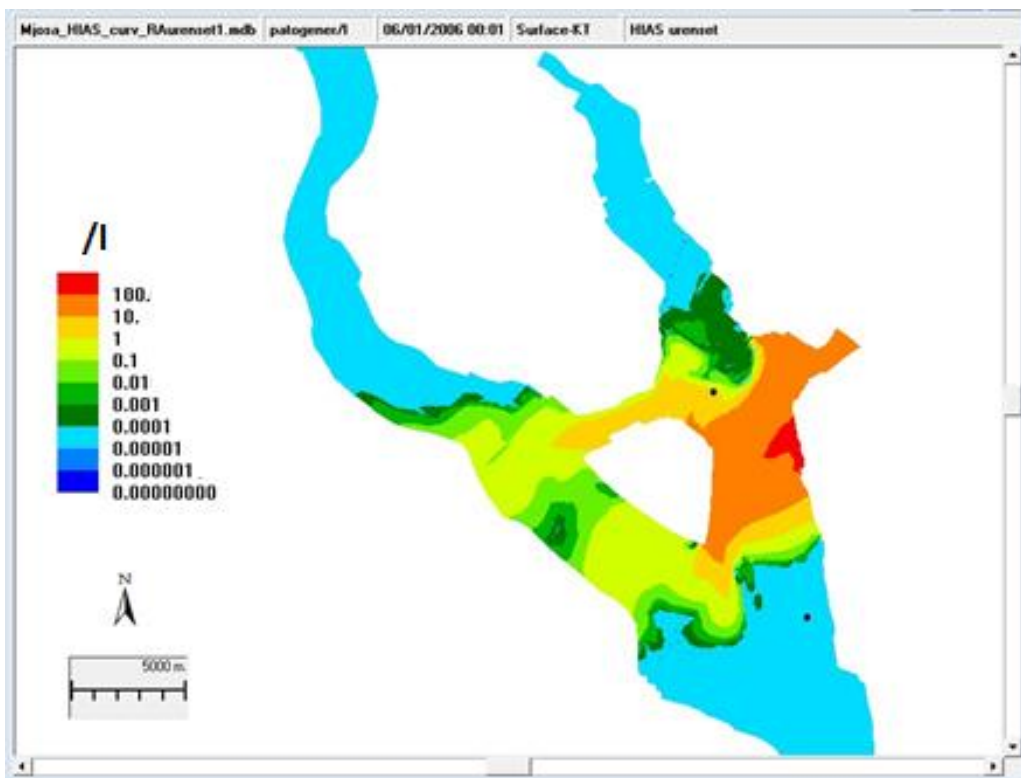


Overflate

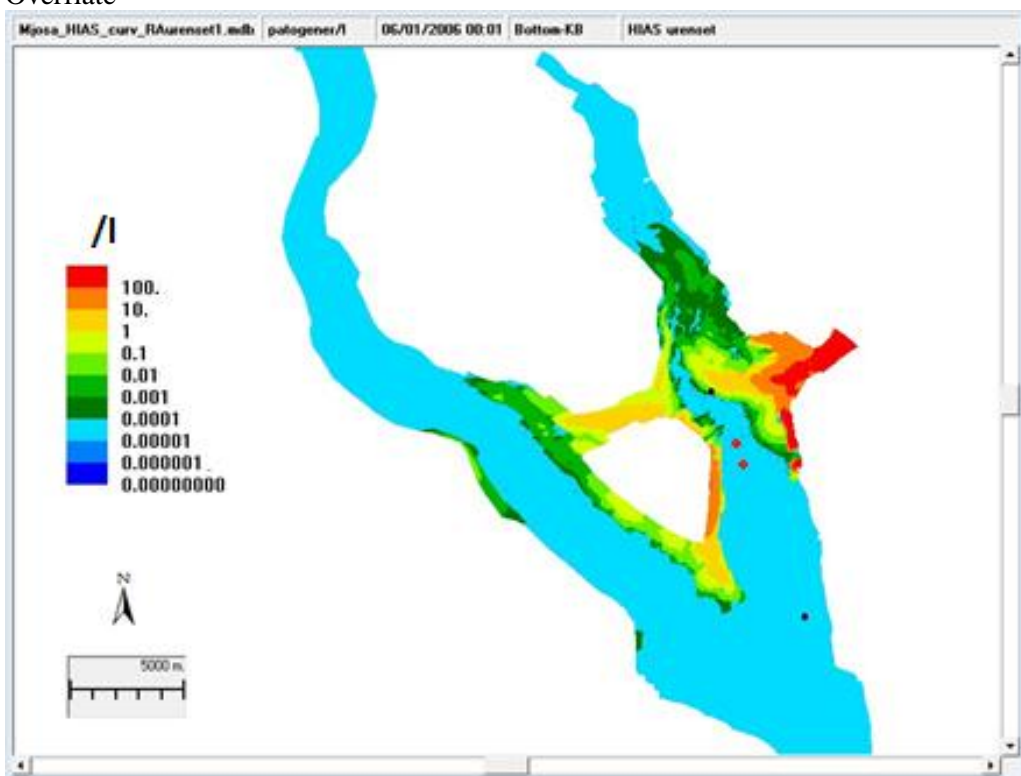


Bunn

Figur 40. Urenset utslipp fra Skreia. Konsentrasjon av *E.coli* etter 10 døgn

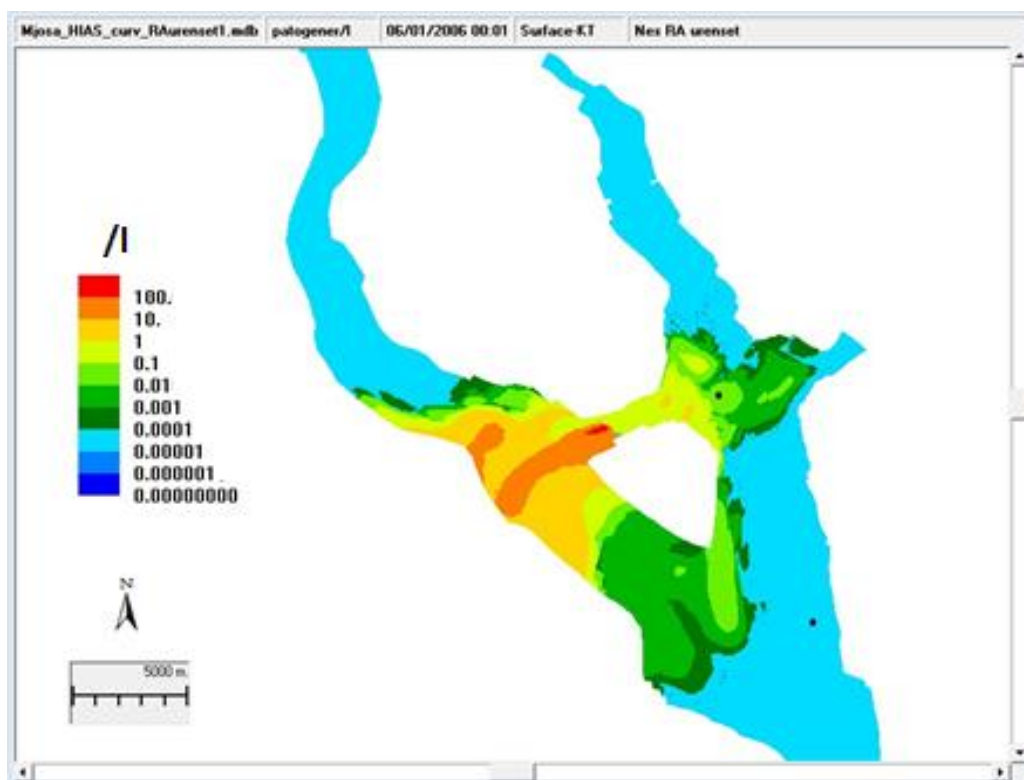


Overflate

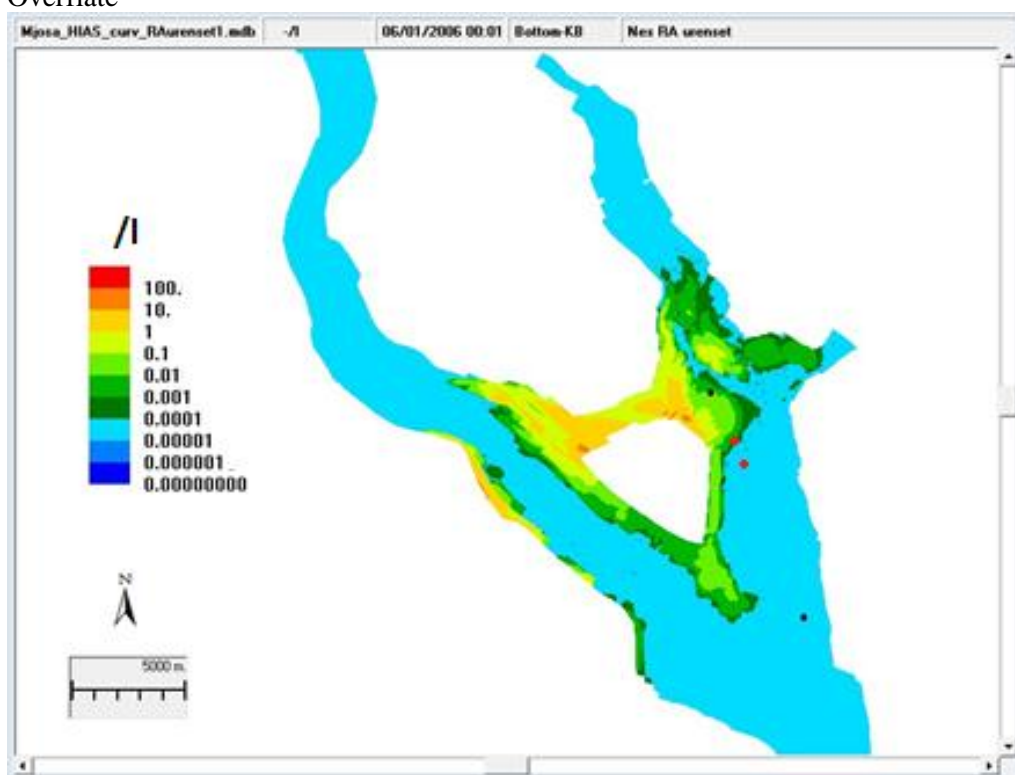


Bunn

Figur 41. Urenset utslipp fra HIAS. Konsentrasjon av *patogener* etter 10 døgn.

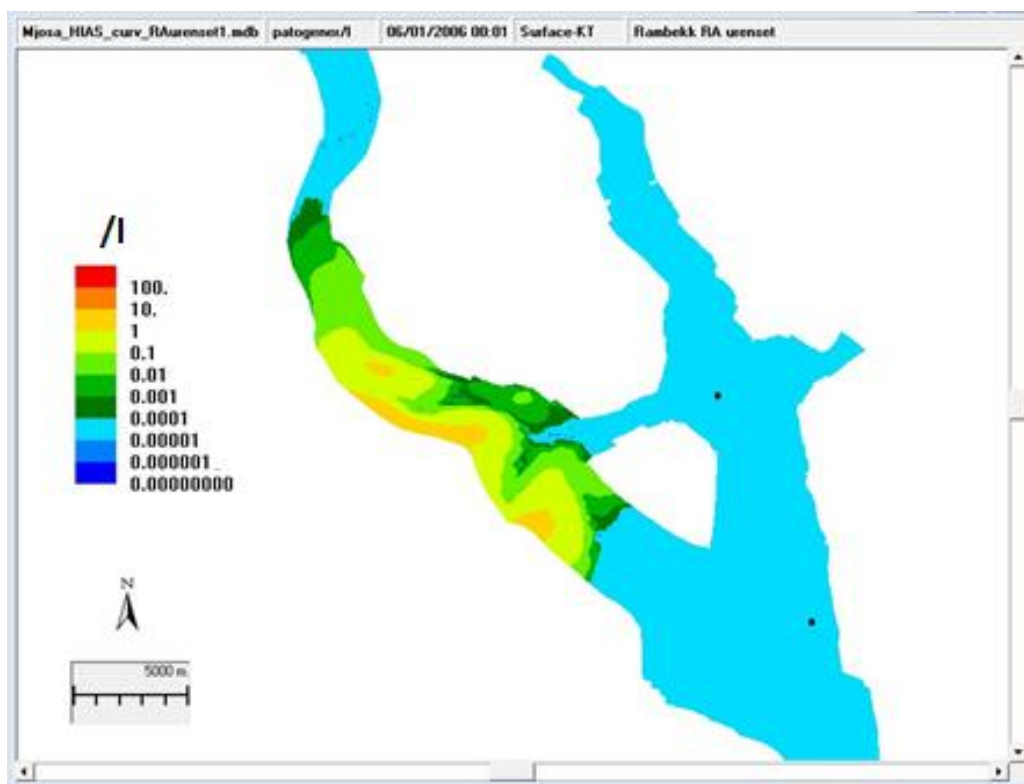


Overflate

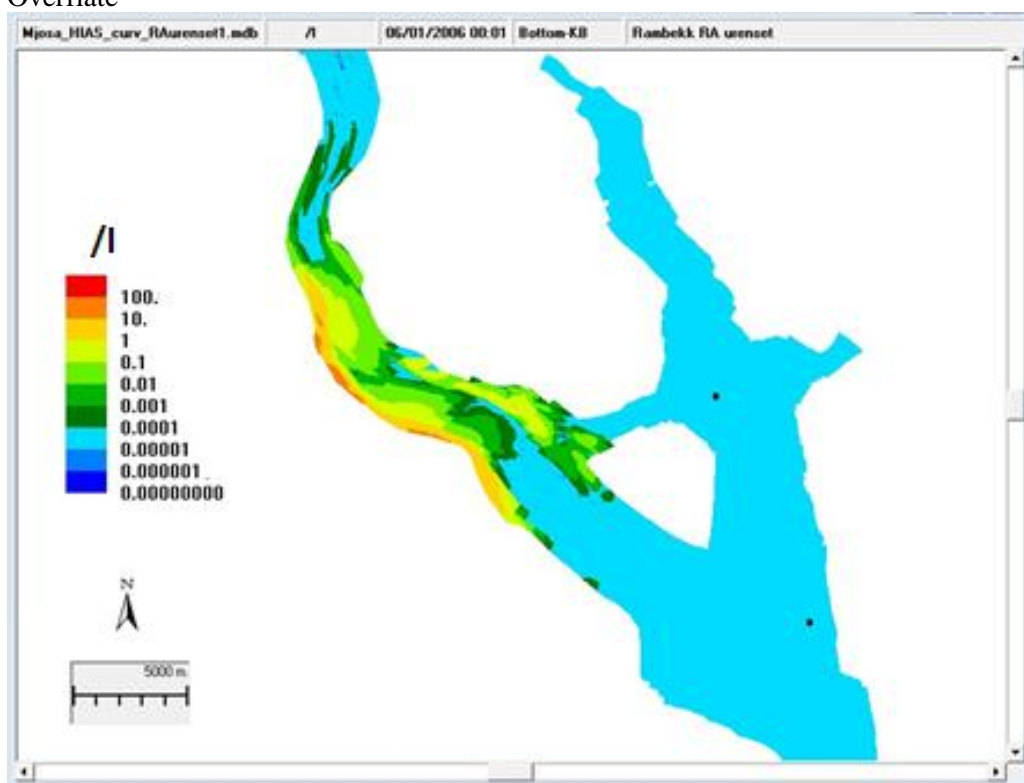


Bunn

Figur 42. Urenset utslipp fra Nes. Konsentrasjon av *patogener* etter 10 døgn.

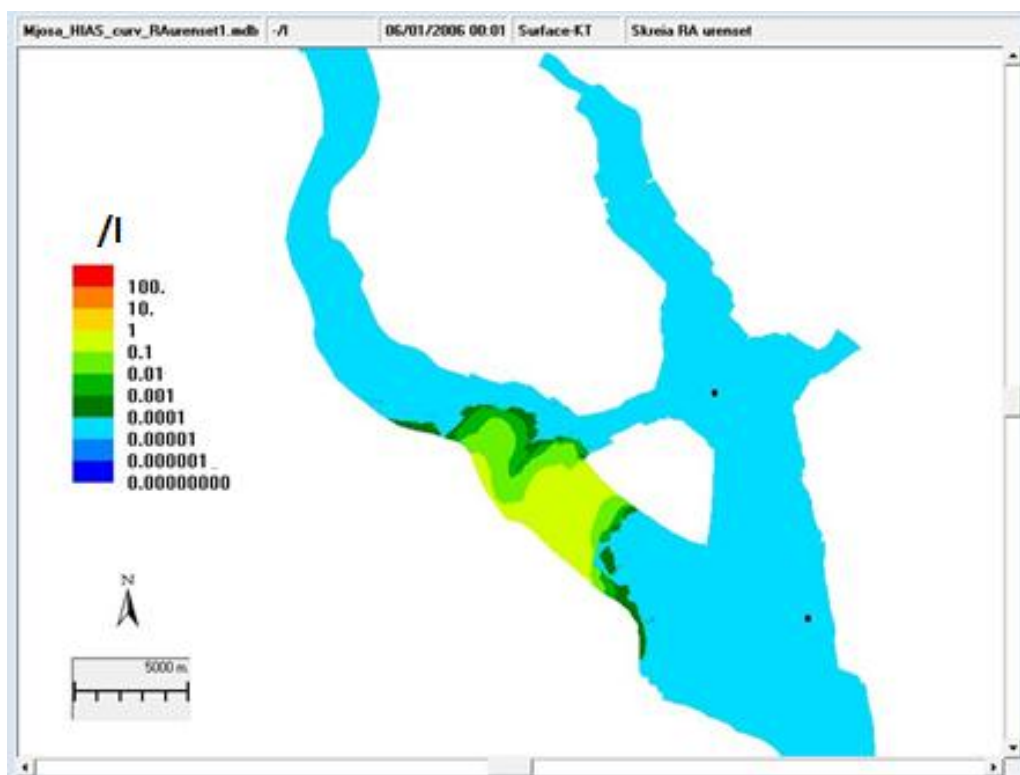


Overflate

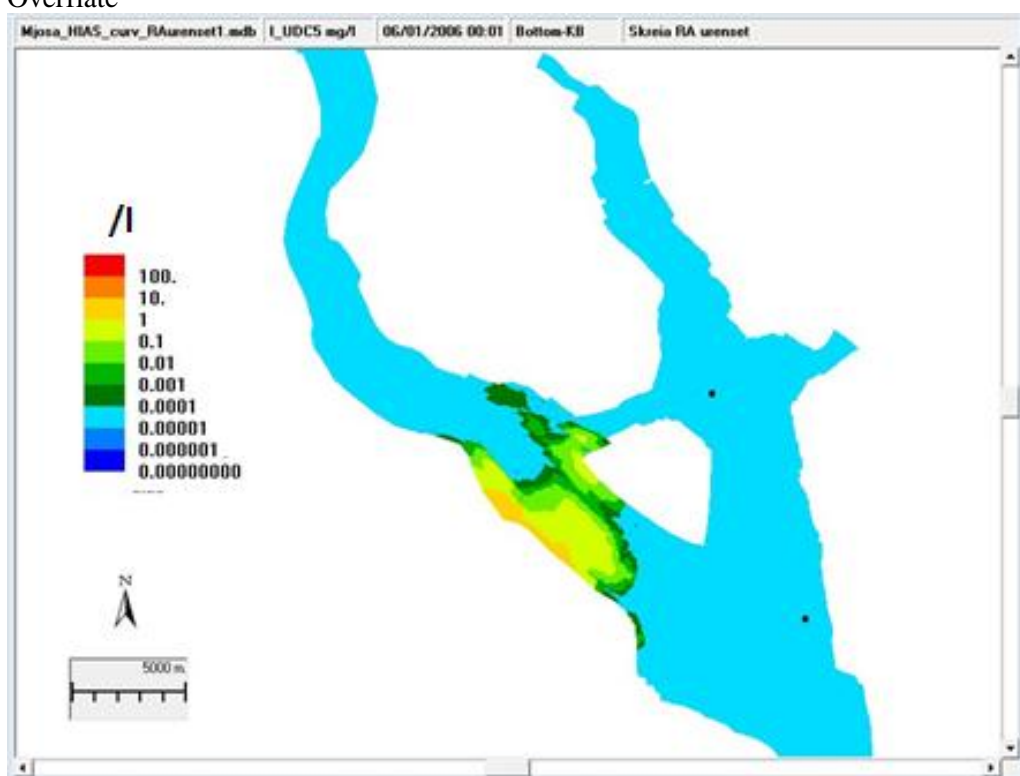


Bunn

Figur 43. Urenset utslipp fra Rambekk. Konsentrasjon av *patogener* etter 10 døgn.



Overflate



Bunn

Figur 44. Urenset utslipp fra Skreia. Konsentrasjon av *patogener* etter 10 døgn.

5. Uhellsutslipp fra tog og bil

5.1 Simulert spredning

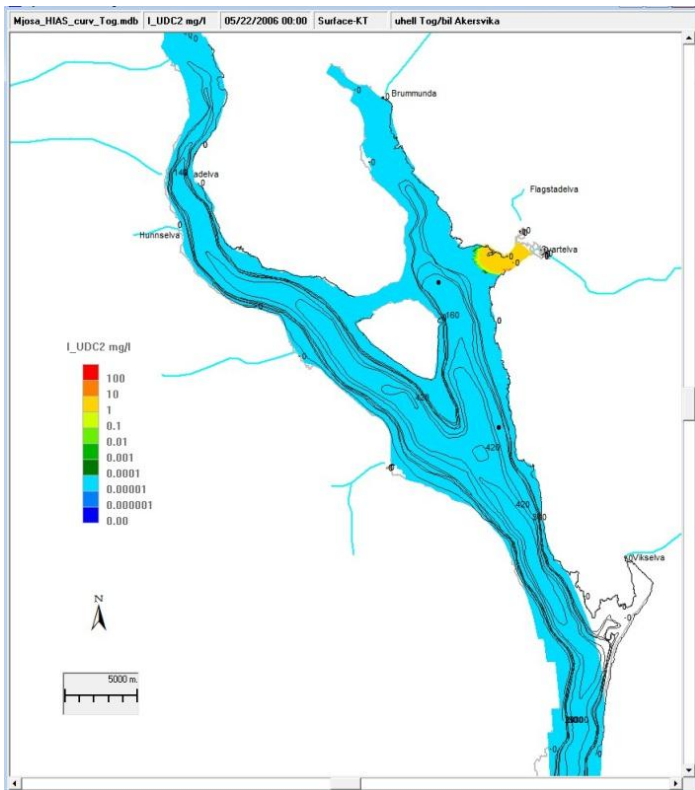
I uhellscenariet antok at det kom ut 100 tonn væske i Mjøsa i Akersvika ved Hamar og ved Tangen. Uhellene kunne tenkes å skje ved uhell med tog eller tankbiler. Stoffet ble antatt å være konservativt. Dvs. at stoffet ikke inngår i nedbrytende prosesser, men kun blir fortynnet ved spredning i Mjøsa. Stoffet antas også å bli fullstendig blandet med vannet i innsjøen og følger dets bevegelser. Fortsatt ble stoffet spredt i slutten av mai under vertikalt ustabile forhold i innsjøen.

Vi har lagt vekt på å simulere verste fall situasjon med hensyn til vannverksinntakene både med hensyn til vertikal transport og mengde væske som ble tilført.

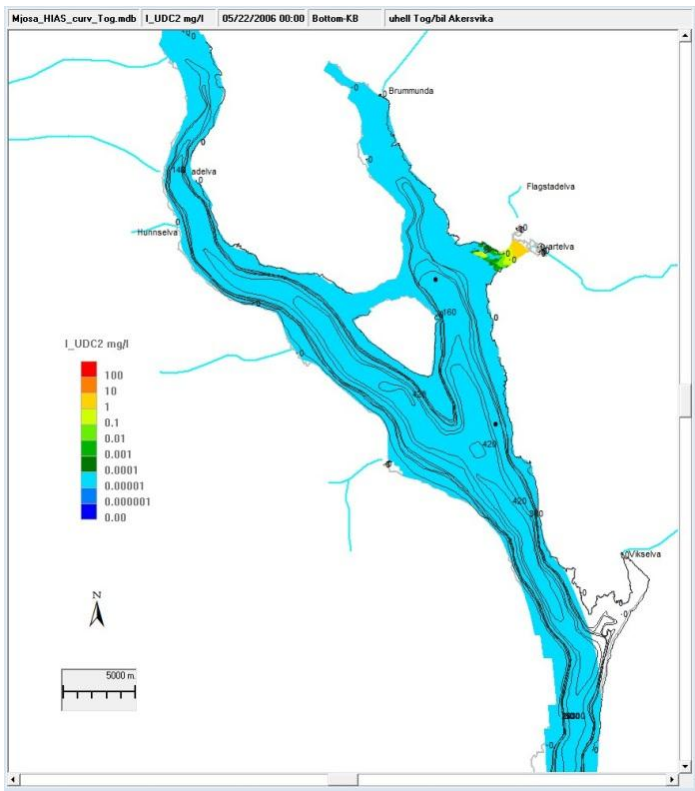
Ved utslipp i Akersvika ble stoffet i løpet av de første to dagene spredt innen selve Akersvika, **Figur 45**. Konsentrasjoner over 1-10 mg/l var vanlige. I løpet av en uke spredte stoffet seg i overflaten over mesteparten av Mjøsa øst for Helgøya, **Figur 46**. Hamar vanninntak ble ikke påvirket. Etter 2 uker spredte stoffet seg videre vest for Helgøya, **Figur 47**. I løpet av en måned spredte stoffet seg til store deler av Mjøsa. Vanninntakene ble påvirket med konsentrasjoner under 0,1 µg/l, **Figur 48**.

Ved uhell ved Tangen ble stoffet spredt i overflaten mest mot sør, **Figur 49**. Etter som tiden gikk fant man også mindre mengder nordover omkring Gjøvik og Hamar, omkring 0,1 µg/l, **Figur 50**. I vanninntakene ble konsentrasjonene under 0,01 µg/l.

Spredningen er avhengig av vindens retning og fart. I simuleringsperioden var det varierende vind i ulike retninger som gir et representativt spredningsforløp. Vi kan imidlertid tenke oss spredninger i andre retninger under spesielle vindforhold.

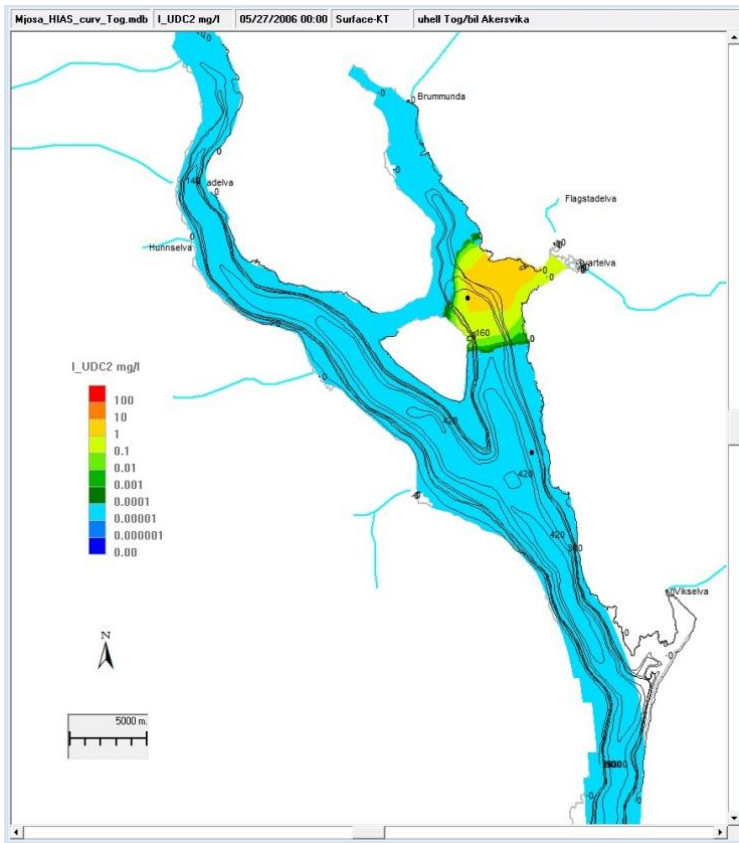


Overflate

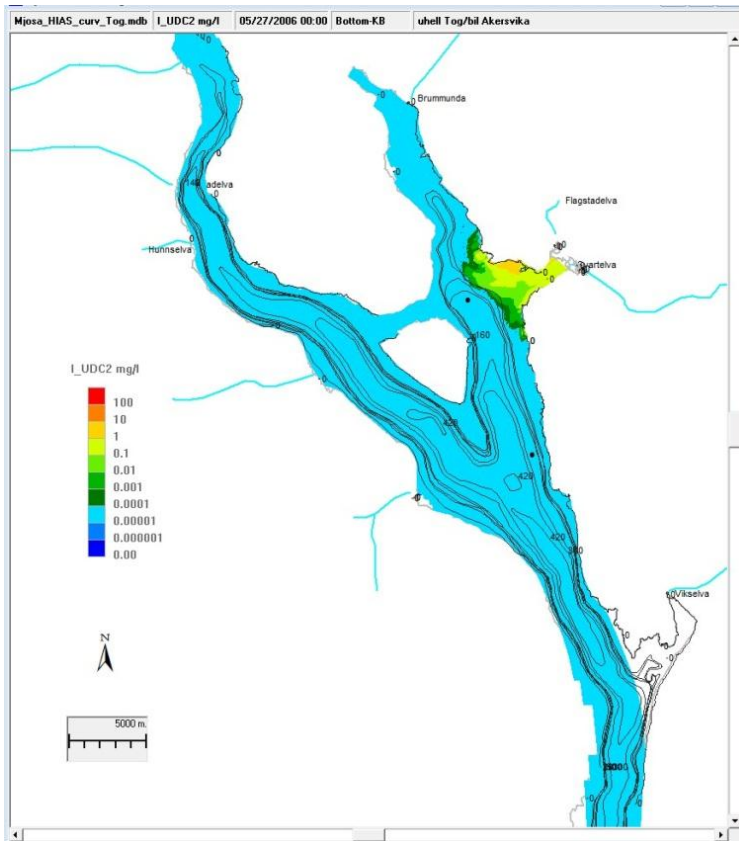


Bunn

Figur 45. Utslipp Akersvika 100 tonn. Konservativt stoff etter 2 dager

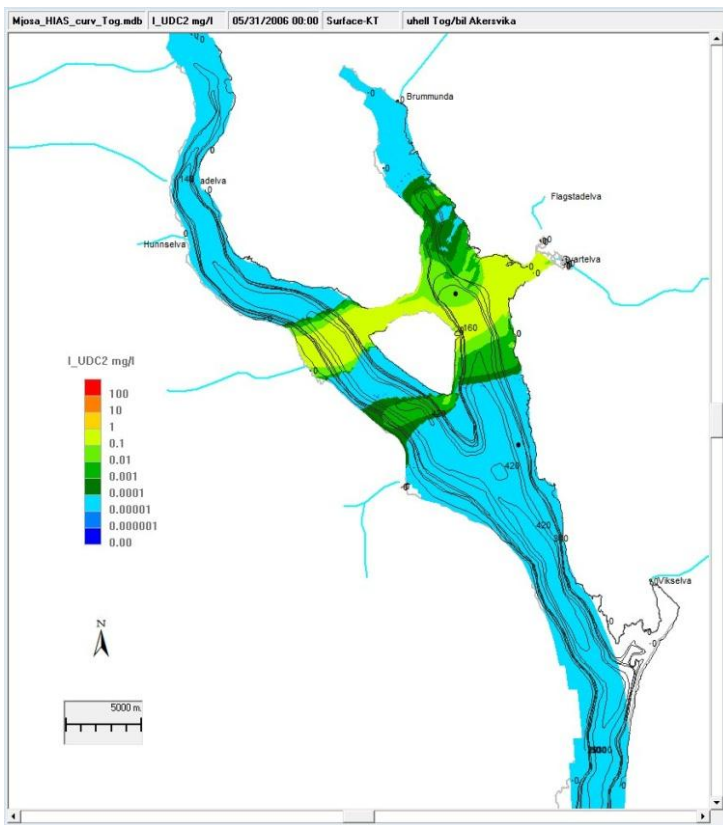


Overflate

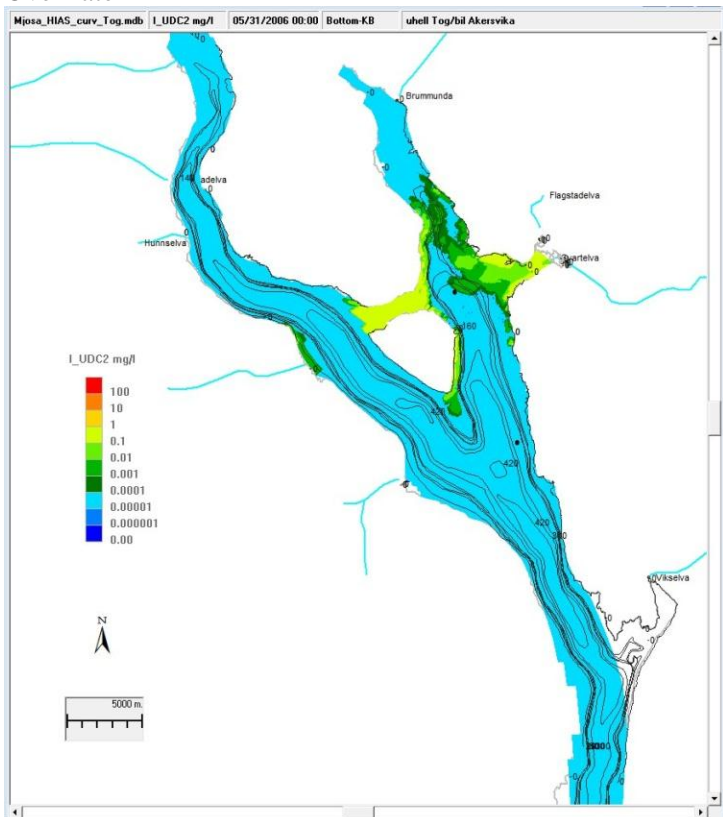


Bunn

Figur 46. Utslipp Akersvika 100 tonn. Konservativt stoff etter 1 uke

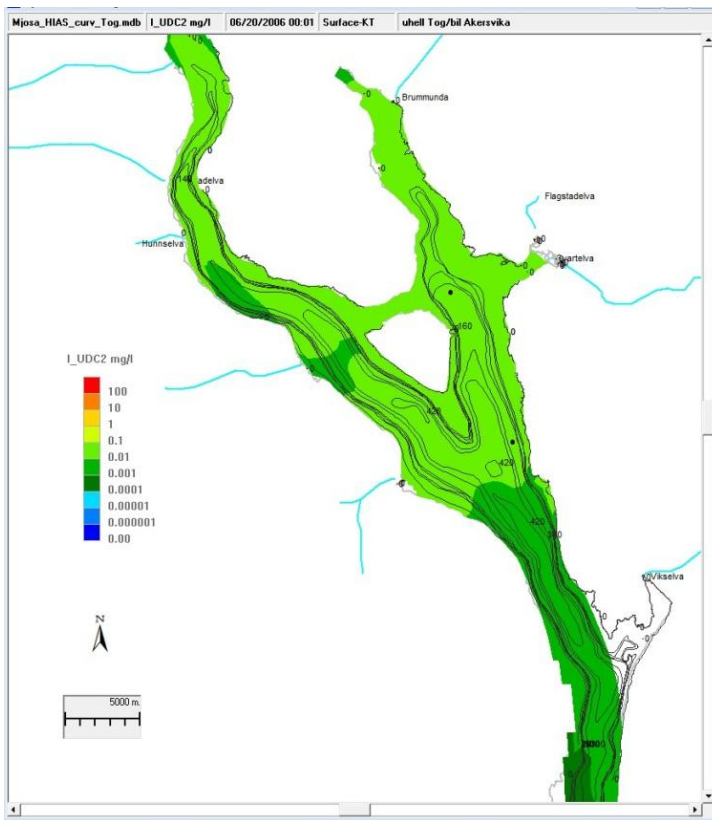


Overflate

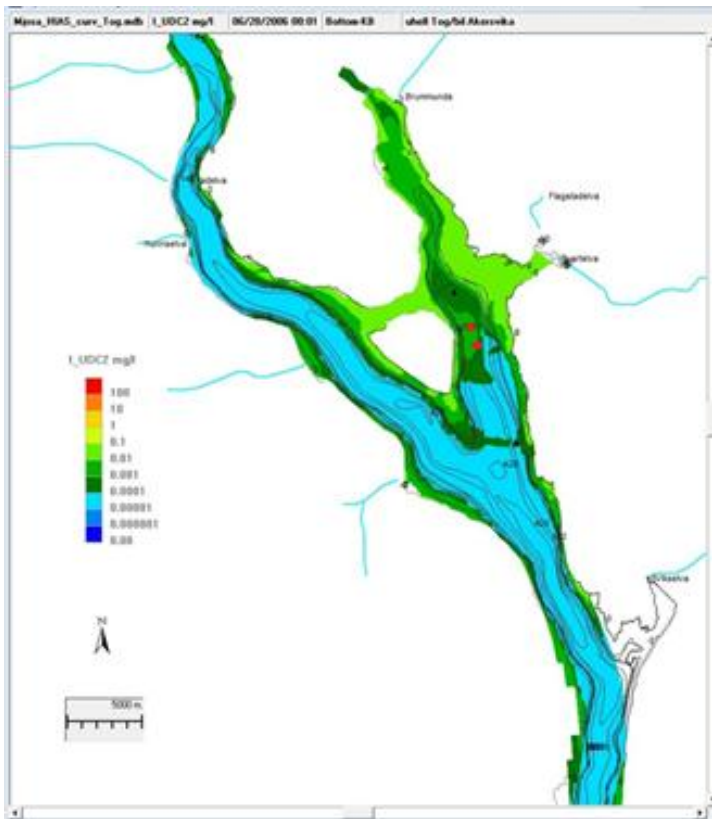


Bunn

Figur 47. Utslipp Akersvika 100 tonn. Konservativt stoff etter 2 uker

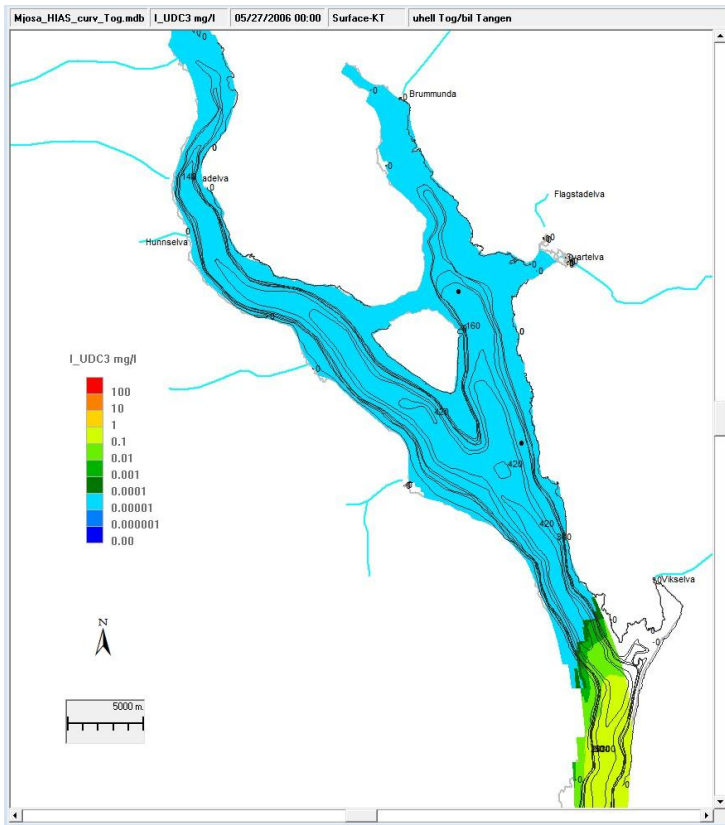


Overflate

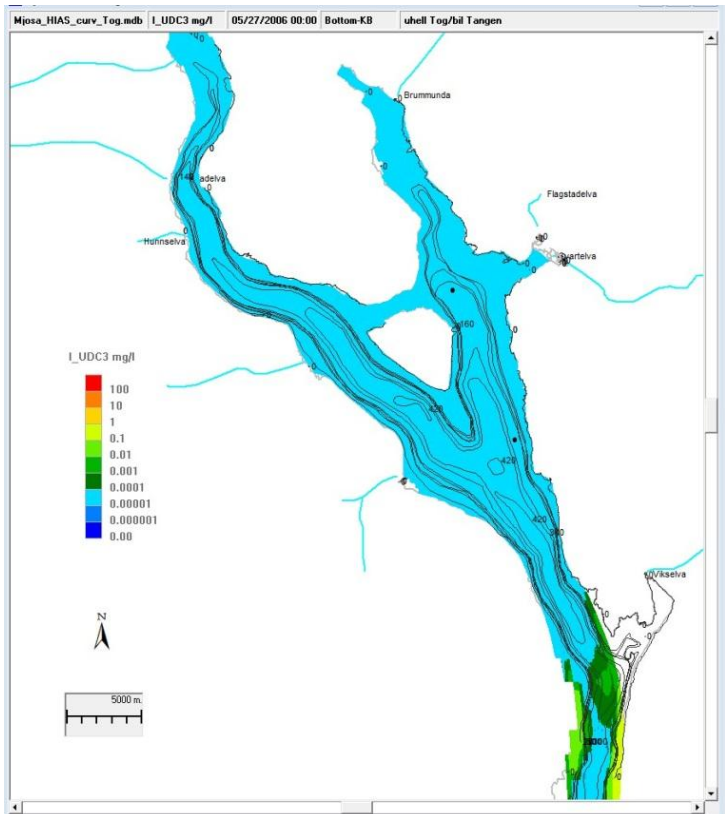


Bunn

Figur 48. Utslipp Akersvika 100 tonn. Konservativt stoff etter 1 måned

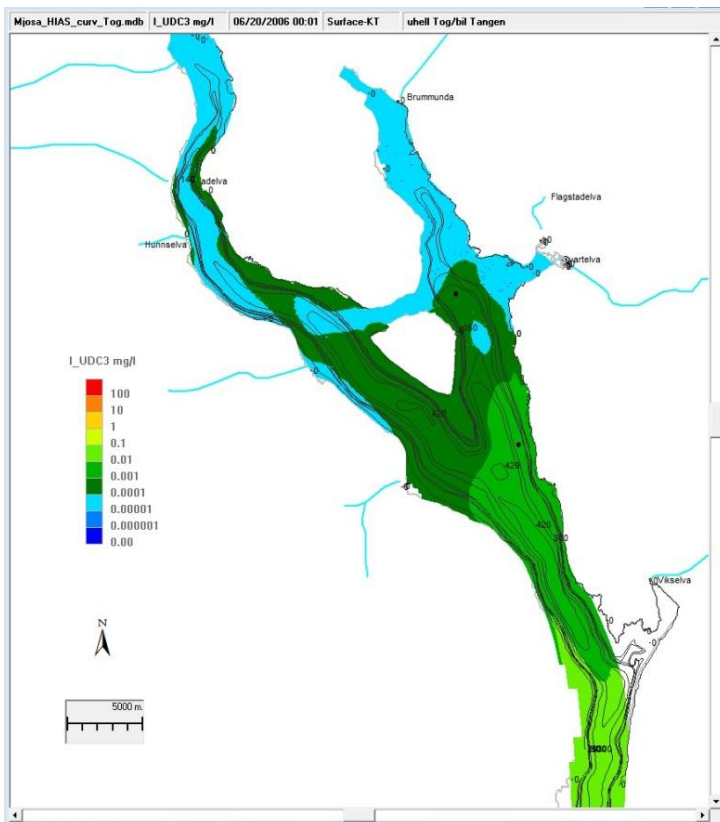


Overflate

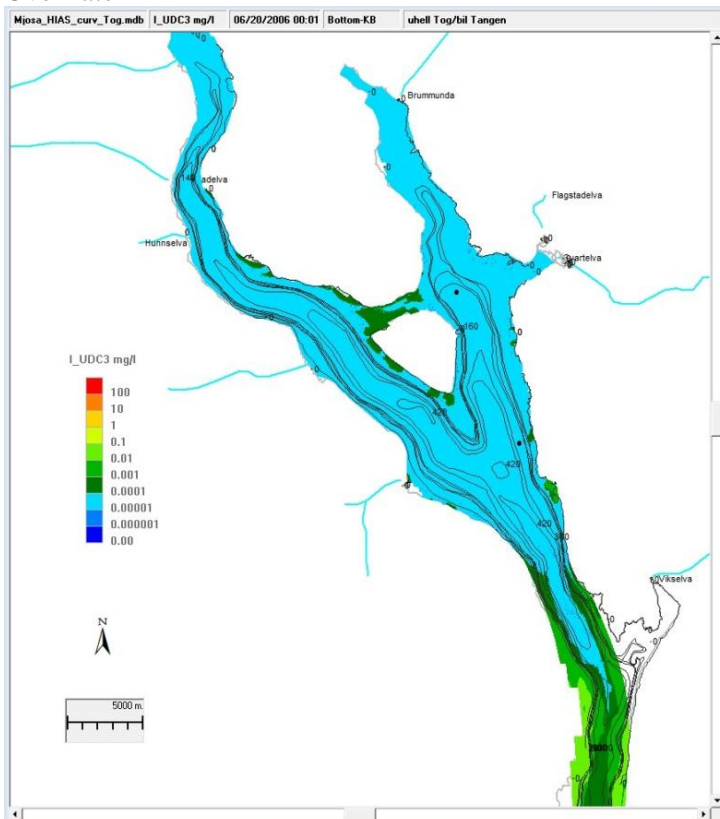


Bunn

Figur 49. Utslipp Tangen 100 tonn. Konservativt stoff etter 1 uke



Overflate



Bunn

Figur 50. Utslipp ved Tangen 100 tonn. Konservativt stoff etter 1 måned

5.2 Hva slags stoffer/væsker kan tenkes å tilføres ved et uhell

Ved å ta hensyn til usikkerhet og forenkle uhells-simuleringene, kan vi oppsummere at dersom 100 tonn stoff (100 m^3 væske) tilføres i Akersvika kan vanninntakene til Hamar og Stange bli påvirket med konsentrasjoner på $1 \mu\text{g/l}$. Ved tilførsler ved Tangen reduseres påvirkningen til 1/10 av ved Akersvika, dvs. $0,1 \mu\text{g/l}$. Er utslippet på 10 tonn (10 m^3), tilsvarende en liten tankbil, reduseres påvirkningen med 1/10. Hva slags stoff/væsker kan tenkes å få uheldige virkning?

Dersom man kjenner hva slags væske som utslippet består av og vet hvilke konsentrasjoner som kan tolereres, har man mulighet for å gjøre en rask vurdering av om det er grunn til å gjøre tiltak eller ikke. Krav til drikkevann for en del væsker er vist i Vedlegg A. Toleransekravene gjelder for konstante forhold, dvs. varige konsentrasjoner. Ved et uhellsutslipp vil konsentrasjonene avta etter noen uker, i alle fall i sirkulasjonsperiodene da vanninntaket er mest utsatt for påvirkning. Vi ser imidlertid bort i fra dette og bruker toleransekravene også for kortere varighet.

Tungmetaller/miljøgifter

Imidlertid vil et utslipp allerede være sterk fortynnet, eller tilførslene mindre enn tilsvarende et fullt billass. Dersom de mest giftige tungmetaller: arsen, bly, kvikksølv, kadmium, krom og nikkel tilføres vannet, vil grenseverdiene muligens kunne overskrides. Imidlertid kjenner vi ikke til transportformer av slikt materiale i slike mengder.

Plantevernmidler

Grenseverdi for sum plantevernmidler er satt lik $0,5 \mu\text{g/l}$. Det vil si at utslipp av 10 m^3 kan medføre overskridelse. Plantevernmidler fraktes normalt i bærbar kanner. Ved uhell vil formodentlig ikke væsken fra alle kannene renne ut. Imidlertid kan det tenkes at store mengder væske som lagres kan tilføres innsjøen, for eksempel ved brann.

Fenol

Vi kjenner til at det har forekommet uhell ved at fenol fra tankbil er lekket til vassdrag. Benytter vi amerikanske forskrifter, ser vi at det ikke skulle være noen fare for drikkevannet om det lekket ut ren fenol. Imidlertid er enkelte fenol forbindelser langt mer giftige og kan tenkes å overskride akseptable grenseverdier.

Syre

La oss anta at utslippet besto av syre. Som eksempel benytter vi 37 % konsentrert saltsyre. Syren vil føre til en betydelig senkning av pH, dvs. til nær pH 2, pH 3 og pH 4 ved fortyninger til henholdsvis 1/1000, 1/10 000 og 1/100 000. Dette tilsvarer 1000, 100 og 10 mg/l. Plankton og fisk vil kunne bli drept momentant ved verdier under pH 3, dvs. i sentrum av flaket i utslippssonen. Også pH 4 anses som meget skadelig. Ved fortykning til 1/milliondel, dvs. til 1 mg/l, blir påvirkningen liten eller ubetydelig. Virkningen på drikkevannet vil ikke bli merkbar.

Olje

På bakgrunn av simulert oljespredning (Tjomsland og Tryland 2009) og litteraturstudie forventer vi at vanninntakene ikke vil bli påvirket av uhellsutslipp av olje.

Olje som slippes ut i vann forandrer sine kjemiske og fysiske egenskaper i løpet av noen timer. Ved utslipp til rolig vann legger oljen seg på vannoverflaten med en tykkelse på under omkring $0,1 \text{ mm}$. En del av dette sprer seg som et ultra tynt lag "blåskimmer" med en tykkelse på under $0,001 \text{ mm}$. I denne fasen er fordampningen stor. For bensin fordamper nær 100 % i løpet av noen timer, Karakteristisk

verdi for dieselolje kan 30 % i løpet av et par døgn, **Figur 51**. Ved transport vil en del av oljen feste seg til strendene.

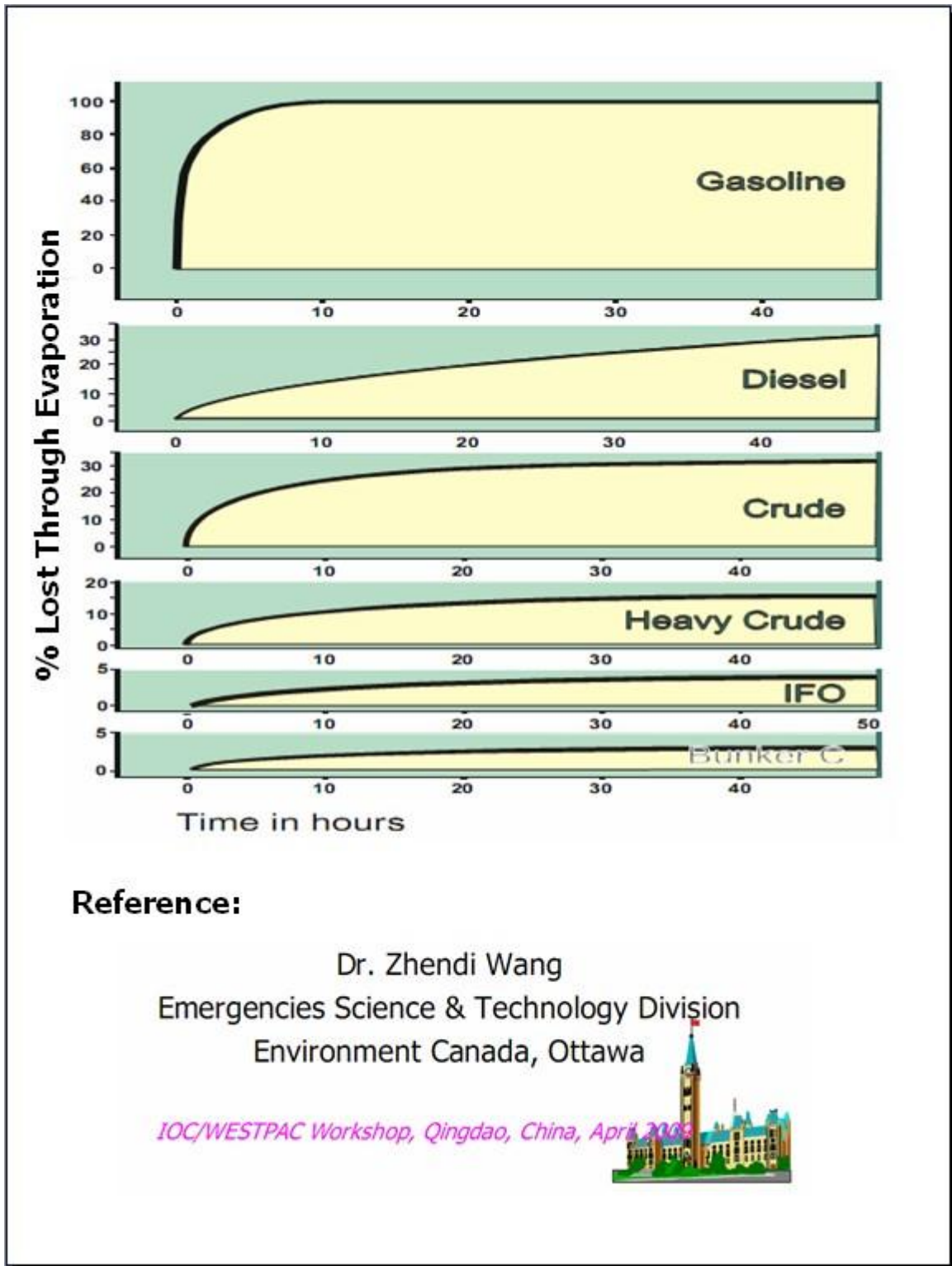
Etter hvert blandes oljen med vannet og danner en ”olje og vann” emulsjon med tykkelse på 1 mm til noen cm. Blandingen skjer raskere ved økt vind og bølger. Denne blandingen av olje, vann og luft danner en masse som i liten grad fordampes. En del av det spres nedover i vannmassen til dyp som kan være noen ganger større enn bølgehøyden. I denne blandingen er vann og olje kun blandet, oljen er ikke oppløst i vannet, slik at massen er lettere enn vann og blir i overflatelagene. Oljemolekyler som fester seg til partikler kan sedimentere. Denne ”olje og vann” delen er langt større for råolje enn for bensin.

En liten del av oljen blir oppløst i vannet. I litteraturen blir den gjerne omtalt som WSF delen. Laboratorieundersøkelser og observasjoner fra råoljeutslipp angir en oppløst del på ca. 0,1 %. Denne delen av oljen følger vannets bevegelser inntil den brytes ned biologisk. Oppløst olje har fått stor oppmerksomhet pga. at den kan ha stor skadelig effekt på miljøet. Den er også viktig i denne sammenheng da det er den vannløselige delen som i særlig grad har mulighet for å transporteres til dypt vann og dermed forurenses drikkevannet.

Drikkevannsforskriftens grenseverdi for hydrokarboner er 10 µg/l. Luktgrensen er ansett for å være 1 µg/l. Følgelig forventer vi ikke at drikkevannet blir påvirket av oljeutslipp.

Forsøk i laboratorier med vannløselig del av raffinert olje i sjøvann viser karakteristisk skadeverdi for høyere liv i hav er satt til 40 ppm-timer. (ppm-timer tilsvarende konsentrasjon (ppm) * timer, f.eks. 40 ppm-timer tilsvarende 40 timers påvirkning av en konsentrasjon på 1 ppm eller 1 mg/l). For fisk kan en karakteristisk skadeverdi være 1000 ppm-timer. I følge simuleringene kan dette teoretisk kun finne sted nær selve utslippsstedet.

For å begrense skader av oljeprodukter er det viktig å raskt legge ut lenser. I desember 1999 ble det ved et uhell sluppet ut oljeprodukter fra en tankbil til Gjersjøen. Utenfor lensene ble det ikke påvist olje i vannprøvene.



Figur 51. Fordampnings av ulike typer olje

6. Diskusjon og konklusjoner

Modellsimuleringene viste at vanninntaket ved Hamar vannverk, særlig under vårsirkulasjonen, var betydelig påvirket av *E. coli* fra HIAS og Nes renseanlegg. Flagstadelva og Svartelva bidro også med noe *E. coli*. I sum var påvirkningen under vårsirkulasjonen ca. 10 *E. coli* per 100 ml. De andre renseanleggene og tilløpselvene så ikke ut til å påvirke vanninntaket ved Hamar med målbare konsentrasjoner av *E. coli*.

Vanninntaket ved Stange vannverk ble i modellberegningene ikke funnet å bli påvirket av *E. coli* fra noen av renseanleggene eller tilløpselvene. Det observeres innimellom opptil 5 *E. coli* per 100 ml i råvannet ved Stange. Dette kan skyldes bakterier som festes til partikler og dermed transporteres til vanninntaket, et fenomen som ikke er tatt hensyn til i modellen. Eventuelt kan det skyldes forurensningskilder som ikke er tatt med i modellen, eller at *E. coli* i virkeligheten overlever lenger enn det som er antatt i modellen.

Parasittene *Giardia* og *Cryptosporidium* og indikatorbakterien *Clostridium perfringens* overlever lenger i vann enn *E. coli*. Ved å bruke *C. perfringens* som modellorganisme (og anta at det slippes ut 10000/100 ml fra alle renseanleggene, med halveringstid en måned) så ble vanninntaket ved Hamar påvirket med opptil 10 *C. perfringens* per 100 ml og vanninntaket ved Stange med opptil 1 *C. perfringens* per 100 ml. Dette stemmer bra med de observerte verdiene i råvannet. Mesteparten av påvirkningen ved begge vanninntakene (ca. 90 %) kom fra HIAS, mens ca. 10 % kom fra Nes renseanlegg. Renseanleggene Rambekk, Skreia og Kapp påvirket vanninntakene i langt mindre grad.

Et scenario kan være at det er utbrudd av parasitten *Cryptosporidium* i befolkningen tilknyttet HIAS slik at 100 000 *Cryptosporidium* oocyster per liter kontinuerlig slippes ut fra renseanlegget. Modellsimuleringene viste at i verste fall vil dette kunne gi opptil 80 per liter og 7 per liter av *Cryptosporidium* oocyster i vanninntakene ved henholdsvis Hamar og Stange. Dette ville satt stort press på drikkevannsbehandlingen. WHO (2004) har beregnet at innholdet av *Cryptosporidium* i ferdigbehandlet vann bør være mindre enn 0,00063 per liter for å oppnå akseptabel risiko. Vannbehandling som gir henholdsvis 5 LOG-reduksjoner og 4 LOG-reduksjoner av parasitter ville i så fall være påkrevd på vannbehandlingsanlegget ved Hamar og Stange.

Scenariene tyder på at selv om inntaket til Hamar vannverk blir mest påvirket, vil store utslipp av patogener med lang overlevelse (f.eks et utbrudd av *Cryptosporidium* i befolkningen tilknyttet HIAS) også forventes å innvirke på vanninntaket til Stange.

Modellsimuleringene indikerer at vanninntaket ved Stange er betydelig mindre påvirket av *E. coli* og *C. perfringens* (mikrober med lang overlevelse) enn vanninntaket ved Hamar. Analyser av råvannet støtter dette, men forskjellen er noe mindre enn hva modellen indikerer. Både modellsimuleringene og råvannsanalysene indikerer at et vannbehandlingsanlegg med råvannsinntak ved Hamar må ha to aktive barrierer både mot både bakterier, parasitter og virus. Dette skyldes hovedsakelig påvirkningen fra HIAS.

Modellering av utslipp av kloakk som følge av ledningsbrudd og stopp i renseanleggene viste at dette kan ha betydning for badevannskvaliteten i nærområdet. Konsekvensen for vanninntakene ved Hamar og Stange vil avhenge av varigheten på hendelsen, lokaliseringen og ikke minst når på året det skjedde. *E. coli* vil normalt dø ut relativt raskt, og på grunn av avstanden mellom aktuelle bruddsted og vanninntaket på Hamar og Stange, vil påvirkningen av vanninntakene med *E. coli* sannsynligvis være liten etter slike ledningsbrudd, spesielt dersom de stoppes etter kort tid. Svikt i renseanlegget på HIAS og Nes i 10 dager vil kunne føre til moderat forhøyede *E. coli* konsentrasjoner ved vanninntaket

på Hamar vannverk. Enkelte patogener (f.eks parasittene *Cryptosporidium*) vil kunne overleve og transporteres lenger enn *E. coli*. Forekomst av patogener i kloakken (og i Mjøsa) vil være avhengig av at det er smittede individer i befolkningen. Dette kan endres fra en dag til neste. For å bedre kunne estimere påvirkning av Mjøsa med *Cryptosporidium*, gitt et utbrudd i befolkningen tilknyttet HIAS, så trengs det mere informasjon om rensevnen på HIAS med hensyn til *Cryptosporidium* oocyster (og andre aktuelle patogener). Ledningsbrudd eller svikt i renseanleggene som fører til at urensset kloakk slippes ut i Mjøsa over en kort periode, vil sannsynligvis påvirke vanninntakene mindre enn den kontinuerlige påvirkningen fra HIAS.

Vi anser det for lite sannsynlig at et uhellsutslipp med tog eller bil i Akersvika ved Hamar eller ved Tangen vil påvirke vannverksinntakene i nevneverdig grad.

Hamar vanninntak er mer utsatt for forurensende påvirkning enn Stange. Diverse kart av bakterier og patogener langs bunnen, gir et klart bilde av at forholdene blir bedre om inntaket blir flyttet i retning mot Stange vannverk langs de dypeste områdene mellom Helgøya og Hamar. De to alternative vanninntakene, inntak Nordsveodden og inntak Syd, vil forbedre vannkvaliteten i forhold til Hamar vanninntak. Inntak Syd vil være noe bedre enn inntak Nordsveodden. Området ved sørlig del av Helgøya vil forbedre forholdene ytterligere. Vannanalyser viser imidlertid at vanninntaket ved Stange også er noe påvirket av tarmbakterier. Selv om vannkvaliteten her er bedre enn ved vanninntaket til Hamar vannverk, er det tvilsomt om beliggenheten kan betraktes som en fullstendig hygienisk barriere. Følgelig er det tvilsomt om den nevnte flyttingen av Hamar vannverksinntak vil føre til oppnåelse av en fullstendig hygienisk barriere.

7. Referanser

Espinosa AC, Mazari-Hiriart M, Espinosa R, Maruri-Avidal L, Mendez E, Arias, CF. (2008). Infectivity and genome persistence of rotavirus and astrovirus in groundwater and surface water. *Water Research*. 42, 2618-2828.

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

Hrwitt, J., Leonard, M., Greening, G.E. and Lewis, G.D. (2011). Influence of wastewater treatment process and the population size on human virus profiles in wastewater. *Water Research*. 45, 6267-6276.

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

Ngazoa, E.S., Fliss, I. and Jean, J. (2007). Quantitative study of persistence of human norovirus genome in water using Taqman real-time RT-PCR. *Journal of Applied Microbiology*. 104, 707-715.

Nordgren, J., Matussek, A., Mattson, A., Svensson, L. and Lindgren, P-E. (2009). Prevalence of norovirus and factors influencing virus concentrations during one year in a full-scale wastewater treatment plant. *Water Research*. 43, 1117-1125.

Peng X, Murphy T, Holden NM. (2008). Evaluation of the effect of temperature on the die-off rates for *Cryptosporidium parvum* oocysts in water, soils and feces. *Applied and Environmental Microbiology*. 74, 7101-7107.

Robertson LJ, Hermansen L, Gjerde B. (2006). Occurrence of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in sewage in Norway. *Applied and Environmental Microbiology*. 72, 5297-5303.

Robertson, LJ and Gjerde B. (2006). Fate of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in the Norwegian aquatic environment over winter. *Microbial Ecology*. 52, 597-602.

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

Torulv Tjomsland, Ingun Tryland og Venkat Kolluru 2010. Birkelandsvann som ny drikkevannskilde. Plassering av vanninntak og vurdering av forurensningspåvirkninger ved bruk av matematisk strøm- og spredningsmodell. Rapportnr. 6028-2010. Norsk institutt for vannforskning, Oslo.

WHO (2004). Guidelines for Drinking-water quality, 3. Edition. Volume 1. Recommendations. Chapter 7. Microbial aspects.

Ødegaard H, Østerhus S, Melin E. (2009). Optimal desinfeksjonspraksis fase 2. Norsk Vann Rapportnr 169-2009. ISBN: 978-82-414-0306-4, 121 s.

Vedlegg A. Kvalitetskrav til drikkevann.

Tabeller over kjemiske og fysiske parametere. Hentet fra Forskrift om vannforsyning og drikkevann.

Tabell 3.1 Parametere som måles

Nr.	Parameter	Enhet	Grense- verdi	Tiltaks- type	Merknader
17	1,2-dikloroetan	Mikrogram/l	3,0	B	
18	Aluminium	Milligram/l Al	0,2	C	
19	Ammonium	Milligram/l N	0,50	C	
20	Antimon	Mikrogram/l Sb	5,0	B	
21	Arsen	Mikrogram/l As	10	B	
22	Benzen	Mikrogram/l C ₆ H ₆	1,0	B	
23	Benzo(a)pyren	Mikrogram/l	0,010	B	
24	Bly	Mikrogram/l Pb	10	B	Prøven skal tas slik at den gir et representativt bilde av et ukentlig gjennomsnitt for det vann som konsumeres/ anvendes.
25	Bor	Milligram/l B	1,0	B	
26	Bromat	Mikrogram/l BrO ₃ ⁻	5	B	Trenger bare måles dersom vannet ozoneres, eller dersom kjemikalier som benyttes, inneholder bromid eller bromat.
27	Cyanid	Mikrogram/l CN	10	B	
28	Fluorid	Milligram/l F	1,5	B	
29	Glykoler	Mikrogram/l C	10	B	Trenger bare måles ved mistanke om forurensning fra slike produkter.
30	Hydrokarboner, mineraloljer	Mikrogram/l C	10	B	Trenger bare måles ved mistanke om forurensning fra slike produkter.
31	Jern	Milligram/l Fe	0,2	C	
32	Kadmium	Mikrogram/l Cd	5,0	B	Prøven skal tas slik at den gir et representativt bilde av et ukentlig gjennomsnitt for det vann som konsumeres/ anvendes.
33	Kjemisk oksygenforbruk, COD-Mn (KMnO ₄)	Milligram/l O	5,0	C	Denne parameteren trenger ikke måles hvis parameteren TOC måles.
34	Klorid	Milligram/l Cl	200	C	Vannet skal ikke være korrosivt.
35	Konduktivitet	Millisiemens/m (mS/m) ved 25°C	250	C	Vannet skal ikke være korrosivt.
36	Kopper	Milligram/l Cu	0,1	B	Ut fra behandlingsanlegget.
			1,0	B	Hos abonnent. Prøven skal tas slik at den gir et representativt bilde av et ukentlig gjennomsnitt for det vann som konsumeres/ anvendes.

Nr.	Parameter	Enhet	Grense-verdi	Tiltaks-type	Merknader
37	Krom	Mikrogram/l Cr	50	B	Prøven skal tas slik at den gir et representativt bilde av et ukentlig gjennomsnitt for det vann som konsumeres/brukes.
38	Kvikksølv	Mikrogram/l Hg	0,5	B	
39	Mangan	Milligram/l Mn	0,05	C	
40	Natrium	Milligram/l Na	200	C	
41	Nikkel	Mikrogram/l Ni	20	B	Prøven skal tas slik at den gir et representativt bilde av et ukentlig gjennomsnitt for det vann som konsumeres/brukes.
42	Nitrat (NO ₃ -N)	Milligram/l N	10	B	
43	Nitritt (NO ₂ -N)	Milligram/l N	0,05	B	
44	pH (Surhetsgrad)		6,5 – 9,5	C	Vannet skal ikke være korrosivt. For ikke kullsyreholdig vann i flasker eller annen emballasje med henblikk på frambud er grenseverdiene $4,5 \leq \text{pH} \leq 9,5$. For vann i flasker eller annen emballasje med henblikk på frambud som: a) naturlig har, eller b) blir kunstig anrikt av karbondioksid, kan minimumsverdien være lavere enn 4,5.
45	Plantevernmidler – enkeltvis	Mikrogram/l	0,10	B	Grenseverdien gjelder for hvert enkelt plantevernmidde ¹ . For aldrin, dieldrin, heptaklor og heptaklorepoxyd er grenseverdien 0,030 mikrogram/l. Det er bare nødvendig å kontrollere de plantevernmidler som med en viss sannsynlighet kan være til stede i den aktuelle vannforsyning.
46	Plantevernmidler – total	Mikrogram/l	0,50	B	Plantevernmidler – total er lik summen av de enkelte plantevernmidlene som undersøkes og kvantifiseres i måleprogrammet, jf. merknader for plantevernmidler - enkeltvis.
47	Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH)	Mikrogram/l	0,10	B	Gjelder summen av konsentrasjoner av følgende komponenter: -benzo(b)fluoranten -benzo(k)fluoranten -benzo(ghi)perylene -indeno(1,2,3-cd)pyren
48	Radon	Bequerel/l (Bq/l)	100	C	Trenger ikke måles dersom det er dokumentert at verdiene er vesentlig under grenseverdien. Dersom radonkonsentrasjonen i vann fra enkelthusholdningers vannforsyning overskrider 500 Bq/l, bør det iverksettes tiltak.
49	Selen	Mikrogram/l Se	10	B	
50	Sulfat	Milligram/l SO ₄ ²⁻	100	C	Vannet skal ikke være korrosivt.
51	Tetrakloreten og trikloreten	Mikrogram/l	10	B	Summen av konsentrasjoner av de angitte parametere.

Nr.	Parameter	Enhet	Grense-verdi	Tiltaks-type	Merknader
52	Total indikativ dose	Millisievert/år (mSv/år)	0,10	C	Omfatter ikke tritium, kalium-40, radon og radons datterprodukter. Trenger ikke måles dersom det er dokumentert at verdiene er vesentlig under grenseverdien.
53	Totalt organisk karbon (TOC)	Milligram/l C	5,0	C	Det er ikke nødvendig å måle denne parameteren for forsyninger på mindre enn 10 000 m ³ pr døgn.
54	Trihalometaner – total	Mikrogram/l	50	B	Gjelder summen av konsentrasjoner av følgende komponenter: - kloroform - bromoform - dibromklormetan - bromdiklormetan
55	Tritium	Bequerel/l (Bq/l)	100	C	Trenger ikke måles dersom det er dokumentert at verdiene er vesentlig under grenseverdien.

- 1) Med plantevernmidler menes: organiske insektmidler, organiske ugressmidler, organiske soppmidler, organiske nematodemidler, organiske middmidler, organiske algemidler, organisk rottegift, organiske slimmidler, lignende produkter (bl.a. vekstregulatorer) og deres relevante metabolitter og nedbrytnings- og reaksjonsprodukter.

Tabell 3.2 Parametere som beregnes

Nr.	Parameter	Enhet	Grense-verdi	Tiltaks-type	Merknader
56	Akrylamid	Mikrogram/l	0,10	Se merknad	Parameteren trenger ikke analyseres i vannet, men kun beregnes. Ved bruk som kjemisk produkt til behandling av drikkevann refererer verdien seg til restkonsentrasjonen av monomer i vann, beregnet ut fra maksimalt innhold av monomer i polymerløsningen og doseringsmengde. Dersom beregninger viser at verdiene overskride små doseringen reduseres. Ved bruk i materialer i kontakt med vann refererer verdien seg til restkonsentrasjonen av monomer i vann, beregnet i henhold til spesifikasjoner av maksimum utløsning fra tilsvarende polymer i kontakt med vann (gjelder epoxybelegg, -tettmasser og -ionebyttmasser).
57	Epiklorhydrin	Mikrogram/l	0,10	Se merknad	Samme merknad som for akrylamid.
58	Vinylklorid	Mikrogram/l	0,50	B	Parameteren trenger ikke analyseres i vannet, men kun beregnes. Verdien refererer seg til restkonsentrasjonen av monomer i vann, beregnet i henhold til spesifikasjoner av maksimum utløsning fra tilsvarende polymer i kontakt med vann (gjelder PVC-materialer).

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