

Vurdering av effekter fra nødoverløp i Holtekilen



Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5005 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-niva

9296 Tromsø
Telefon (47) 77 75 03 00
Telefax (47) 77 75 03 01

| | | |
|--|----------------------------------|---------------------|
| Vurdering av effekter fra nødoverløp i Holtekilen | Løpenr. (for bestilling) 4912 | Dato 24.11.2004 |
| | Prosjektnr. Undernr. 24233 | Sider Pris 25 |
| Forfatter(e) Jan Magnusson Jarle Molvær | Fagområde MØ | Distribusjon Fri |
| | Geografisk område Akershus | Trykket NIVA |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Oppdragsgiver(e) Bærum kommune | Oppdragsreferanse Knut Bjarne Sætre |
|-----------------------------------|--|

Sammendrag
Etter oppdrag fra Bærum kommune har Norsk institutt for vannforskning (NIVA) vurdert effekten av urensset kommunal kloakk fra et nødoverløp til pumpestasjonen ved Oksenøya Bruk (Fornebu) på vannkvaliteten i Holtekilen. Fra kommunen er det oppgitt tre ulike scenarier ved bruk av nødoverløpet og effekten av disse er beregnet for badevannskvalitet og overgjødning.

| | |
|---|--|
| Fire norske emneord | Fire engelske emneord |
| 1. Nødoverløp 2. Kommunal kloakk 3. Eutrofi 4. Bærumsbassenget | 1. Emergency outfall 2. Municipal sewage 3. Eutrophication 4. Bærum basin |



Prosjektleder
Jan Magnusson



Dominique Durand
Forskningsleder
ISBN 82-577-4601-0



Forskningsdirektør

O-24233

Vurdering av effekter fra nødoverløp i Holtekilen

Forord

I brev av den 23.8.2004 ba Bærum Kommune Norsk institutt for vannforskning å vurdere konsekvensen for Holtekilen av et nødoverløp for kommunal kloakk ved driftstans på pumpestasjonen ved Oksenøya Bruk, Fornebu.

Rapporten er skrevet av Jan Magnusson og Jarle Molvær.

Oslo, 24.11.2004

Jan Magnusson

Innhold

| | |
|---|-----------|
| Sammendrag | 5 |
| 1. Innledning | 7 |
| 2. Formål | 7 |
| 3. Tilførsler | 7 |
| 3.1 Generelt om Bærumsbassenget og Holtekilen | 8 |
| 4. Beregninger og resultater | 12 |
| 4.1 Innlagring og fortykning av vann fra nødoverløpet | 12 |
| 4.1.1 Metodikk og data | 12 |
| 4.1.2 Resultater | 13 |
| 4.2 Spredning av fortynnet vann fra nødoverløpet – beregning av konsentrasjoner | 14 |
| 4.2.1 Metodikk og data | 14 |
| 4.2.2 Resultater | 17 |
| 4.3 Beregning av økning i belastning av næringsalter på Holtekilen. | 21 |
| 4.4 Sammenfattende vurderinger. | 23 |
| 5. Litteratur | 24 |
| Vedlegg A. Tabeller for klassifisering av vannkvalitet | 25 |

Sammendrag

Bærum kommune vurderer utslipp til Holtekilen fra et nødoverløp fra Oksenøya Bruks pumpe-stasjon av kommunalt avløpsvann. Overløpet vil ligge innerst i Holtekilen ca. 150 meter fra land og på ca. 3 meters dyp. NIVA har gjennomført beregninger og vurderinger av virkningene som nødoverløpet kan ha på badevannskvaliteten i området og effekten av økt belastning av næringssalter. Det er tatt utgangspunkt i tre ulike scenarier som Bærums kommune har ønsket å få vurdert.

- A: Overløpet er i bruk 1 time med maksimal belastning (4 m³/minutt)
- B: Overløpet er i bruk i 5 timer med middels belastning (1.5 m³/minutt).
- C: Overløpet er i bruk 10 minutter med maksimal belastning (4 m³/minutt).

Effekten på badevannskvaliteten:

For å beregne konsentrasjoner av bakterier i området ved de ulike scenariene er det brukt en enkel modell (Visual PLUMES). Resultatene viser at avløpsvannet raskt stiger mot overflaten og vil derfra spredes med de naturlige strømmene i kilen. Strømforhold og vannutskiftning i Holtekilen er ikke kjent, men man kan anta at ved vind fra vest vil avløpsvannet stues opp innerst i Holtekilen, mens vind fra øst vil føre det fortynnede avløpsvannet ut mot munningen av kilen. Hvor raskt avløpsvannet forsvinner fra Holtekilen vil i stor grad avhenge av vindretning og av vindstyrken. Normale strømhastigheter sommerstid med relativt beskjeden vind kan trolig ligge mellom 1-5 cm/s, men i enkelte tilfeller vil strømhastigheten kunne øke til 10-15 cm/s, spesielt ved østlige vinder. Disse er imidlertid relativt uvanlige sommerstid, hvor solgangsbrisen dominerer.

I modellberegningene for bakteriekonsentrasjoner er antatt at ca. 90% av bakteriene dør i løpet av 12 timer, noe som er vanlig sommerstid (mye lys). I vinterhalvåret dør bakteriene vesentlig langsommere og forurensningen varer lenger. I det etterfølgende er det badevannskvaliteten om sommeren som er vurdert.

Sammenlignet med Norsk Folkehelseinstituttets klassifisering av badevannskvalitet tyder beregningene i alle scenariene på at badevannskvaliteten i store deler av Holtekilen sommerstid kan bli dårlig (ikke akseptabel). Forskjellen mellom scenariene er størrelsen av berørte områder.

Ved scenario A vil området med overkonsentrasjoner og ikke akseptabelt badevann dekke en strekning på ca. 150 meter fra utslippet ved antatt middels strømhastighet (4 cm/s) når utslippet stoppes. Videre spredning vil føre til at ikke-akseptabelt badevann kan påtreffes i hele indre del av Holtekilen. Skyen vil bare langsomt fortynnes og spres videre utover, og bakteriekonsentrasjonen kan bli mindre god/ ikke akseptabel den tid det fortynnede avløpsvannet blir værende i Holtekilen, dvs. i kanskje 1-2 døgn.

Ved scenario B vil avløpsvannet berøre en strekning på ca. 600 meter innen utslippet stoppes. I praksis vil større deler av Holtekilen etter hvert få mindre god/ikke akseptabel badevannskvalitet. Avhengig av vannutskiftningen – ikke minst vindforholdene – kan dette vedvare i 1-2 døgn.

Ved scenario C vil avløpsvannet berøre et område innenfor 25 meter innen utslippet stoppes, men avløpsvannet spres videre utover i Holtekilens overflatelag. Det vil også her være bakteriekonsentrasjoner som gjør badevannskvaliteten ikke akseptabel, men området kan bli begrenset til den innerste delen av Holtekilen.

Skjer utslippet i et tidsrom med stor vannutskiftning skjer forbedringen mye raskere og tilstanden kan i alt vesentlig være gjenopprettet etter 0.5 -1 døgn.

Effekten fra utslipp av næringsalter

Utslipp av næringsalter gir økt planteplanktonmengde i perioden mars til oktober (når lysforholdene er tiltrekkelige for oppblomstring av planteplankton). Planteplanktonet vil gi et bidrag til den organiske belastningen som generelt overstiger den mengde organisk stoff som avløpsvannet inneholder (ca. 7 ggr.). I overflatelaget gir økt planteplanktonbiomasse dårligere siktedyp. I dypvann vil sedimenterende planteplankton føre til økt oksygenforbruk og dårligere oksygenforhold.

Mengden fosfor og nitrogen som tilføres i de tre scenariene vil ikke ha noen betydning for oksygenforholdene i Bærumsbassenget (maksimal økning i relasjon til dagens biomasse i bassenget er 3 %).

I Holtekilen er utslippet i de ulike scenariene sammenlignet med naturlig planteplankton-biomasse i selve området på sommerhalvåret. Etersom biomassen varierer vil effekten av utslippet variere.

Scenario A: Avhengig av naturlige variasjoner i planktonbiomassen sommerstid i Holtekilen vil biomassen kunne øke med 14-56 %. I ca. 40 % av tiden i en normal sommer vil et utslipp føre til en økning på omtrent 14 % og i ca. 20 % vil økningen bli over 50 %. Sammenlignet med Statens forurensningstilsyns kriterier for miljøkvalitet i fjorder vil endringene ligge innenfor samme tilstandsklasse som i dag. Varigheten av påvirkningen vil avhenge av vindforhold og kunne variere mellom 2-4 dager. Den lengre varigheten sammenlignet med "bakterieeffekten" skyldes at planteplanktonet har lengre overlevelsestid.

Scenario B: Avhengig av naturlige variasjoner i planteplanktonbiomassen sommerstid i Holtekilen vil biomassen kunne øke med 27-108 %. I ca. 40 % av tiden i en normal sommer vil et utslipp kunne føre til en økning på omtrent 30 % og i ca. 20 % vil økningen bli over 100 %. Sammenlignet med Statens forurensningstilsyns kriterier for miljøkvalitet i fjorder vil tilstandsklassen endres fra god til mindre god i 20 % av sommeren. I øvrige tilfeller vil tilstandsklassen ikke endres. Varigheten av påvirkningen vil avhenge av vindforhold og vil kunne variere mellom 2-4 dager.

Scenario C: Avhengig av naturlige variasjoner i planteplanktonbiomassen sommerstid i Holtekilen vil biomassen kunne øke med 2-9 %. Dette vill ikke ha noen påvirkning sett i relasjon til tilstandsklasse.

Hovedkonklusjonen for scenario A - C er at badevannskvaliteten blir ikke akseptabel i hele eller deler av Holtekilen i noen dager etter et utslipp, avhengig av vindforhold.

For næringsalter vil utslipp som i scenario B gi effekter i enkelte situasjoner, som kan opptre i ca. 20 - 30 % av en sommer når planteplanktonbiomassen er relativt lav i Holtekilen, og tilstanden kan endres fra god til mindre god. Varigheten av denne situasjonen er avhengig av hvor raskt vannet i Holtekilen å bli skiftet ut med vann fra øvrige deler av Bærumsbassenget. Dette bør normalt kunne skje i løpet av opp til et par dager, men ugunstige vindforhold kan øke tiden till opp mot en uke. F. ø. vil ikke utslipp av næringsalter ha noen betydelig effekt på tilstanden.

For oksygenforholdene i selve Bærumsbassenget vil ikke noe av scenariene være av betydning.

1. Innledning

Bærum kommune planlegger et nødoverløp i Holtekilen for pumpestasjon på Oksenøya Bruk. Nødoverløpet er tenkt å brukes bare i tilfelle av driftstans i pumpestasjonen på Oksenøya. Bruket av nødoverløpet er således begrenset til den tid det tar for kommunene at komme til pumpestasjonen å få gjort nødvendige tiltak.

I brev av 23.8.2004 har Bærum kommune bedt Norsk institutt for vannforskning om å vurdere konsekvensene for miljøforholdene i Holtekilen ved bruk av nødoverløpet.

2. Formål

Undersøkelsen går ut på å vurdere, i tre scenarier, konsekvensene for Holtekilen av bakterier og næringssalter (organisk stoff) på Holtekilen ved bruk av nødoverløp til pumpestasjonen ved Oksenøya Bruk:

- A. 1 time med maksimal belastning ($4 \text{ m}^3/\text{minutt}$ eller $240 \text{ m}^3/\text{time}$).
- B. 5 timers utslipp ved middel belastning ($1.5 \text{ m}^3/\text{minutt}$ eller $450 \text{ m}^3/5 \text{ timer}$)
- C. og eventuelt hvis A gir konsekvenser av betydning også 10 minutter med maksimal belastning ($4 \text{ m}^3/\text{minutt}$ eller $40 \text{ m}^3/10 \text{ minutter}$).

Det er altså scenario B som medfører størst belastning på Holtekilen. Ettersom sommerhalvåret er den mest følsomme perioden (bading og dårligere vannutskiftning enn på vinteren) vil sommersituasjoner bli brukt som de mest sensitive tilfellene.

3. Tilførsler

Vi er ikke kjent med at det er utført analyser på avløpsvannet som vil bli sluppet ut i nødoverløpet. Det er derfor regnet med at avløpsvannet har normale konsentrasjoner for urensset husholdningskloakk fra boligområder, og vi antar dermed følgende konsentrasjoner (jfr. Ødegaard, 1992):

Termotolerante koliforme bakterier: antatt 3 mill./100 ml

Total fosfor: 5 mgP/l

Total nitrogen: 30 mgN/l

For scenariene A-C blir utslippsmengdene som vist i **Tabell 1**

Tabell 1. Beregnede utslippsmengder

| Stoff | Scenario | | |
|----------|----------|---------|--------|
| | A | B | C |
| Fosfor | 1,2 kg | 2.3 kg | 0.2 kg |
| Nitrogen | 7,2 kg | 13.5 kg | 1.2 kg |

Pumpestasjonen vil bli utstyrt med skumskjerm og rist - kloakksøppel holdes tilbake.

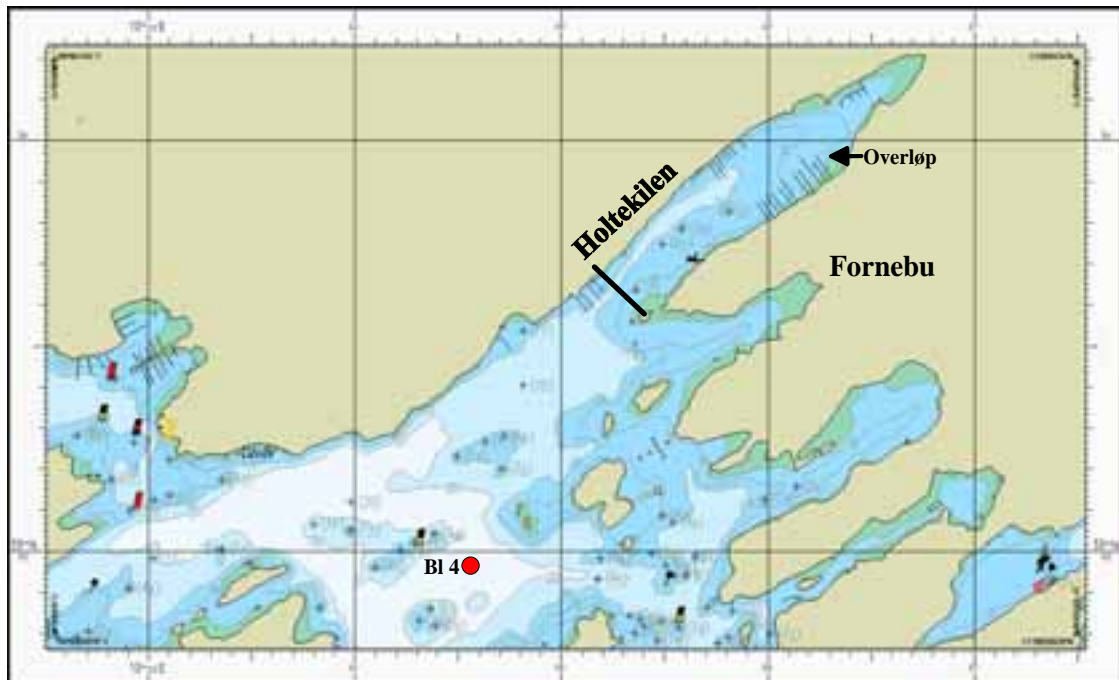
- Utslipet vil skje innerst i Holtekilen (**Figur 1**) ca 150 meter fra land og nær bunnen (kote -3).
- Diameter på røret er 500 mm.

3.1 Generelt om Bærumsbassenget og Holtekilen

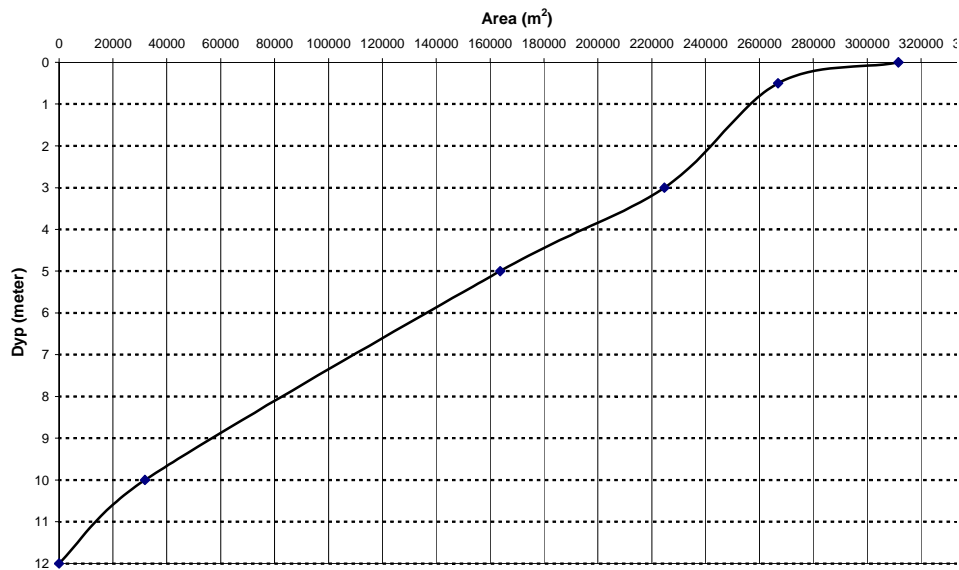
Holtekilen ligger i nordøstre innerste delen av Bærumsbassenget (**Figur 1**). Arealet er ca. 310 000 m² (**Figur 2**). Innerst tilføres området litt ferskvann fra en elv som renner gjennom et grunnvannsområde. Holtekilen er ca. 11 meter dyp, men den indre delen av kilen har dyp mellom 3 – 6 meter. Den grunne kilen skiller seg ut fra resten av bassenget ved at sedimenter lett eroderes ved bølger og båttrafikk og den er derfor generelt noe mer grumsete enn resten av Bærumsbassenget.

Bærumsbassenget er ca 30 meter dyp og avgrenset fra Vestfjorden med en rekke mindre grunne åpninger som begrenser vannutskiftningen i bassenget. Terskeldypet er ca. 15 meter og vannmassene under dette dyp i bassenget er stagnante store deler av året, men fornyes i bland når tyngre vann fra Vestfjorden trenger inn i bassenget og erstatter det gamle dypvannet (helt eller delvis). Lange perioder med stillestående bassengvann fører til at alt oksygenet i bassengets dypvann blir brukt opp og det dannes hydrogensulfidholdig vann. Hydrogensulfid er dødelig for de fleste marine arter. **Figur 3** viser oksygenforholdene i bassenget ved stasjon B14 (data fra overvåkingsprogrammet for indre Oslofjord). Det til tider lave oksygeninnholdet og forekomsten av hydrogensulfid har forårsaket fiskedød i området bl.a. innerst i Holtekilen (Kirkerud og Magnusson (1976)). Når nytt tungt vann strømmer inn over tersklene fra Vestfjorden løftes gammelt dypvann opp mot overflaten og kan strømme inn i for eksempel Holtekilen. Normalt unngår fisken slike vannmasser men kommer de hastig strømmende inn mot grunnområder som i Holtekilene har fisken ikke noe sted å flykte til.

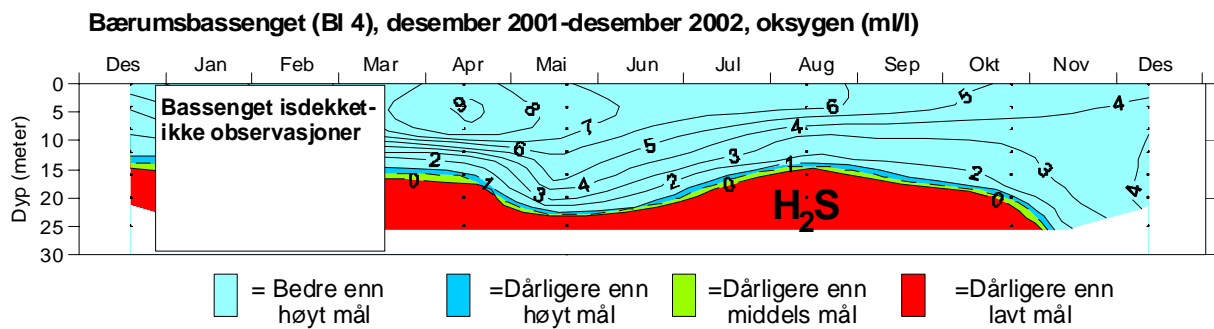
Fiskedød i Holtekilen er ikke vanlig, men kan således forekomme og skyldtes ikke lokale utslipp men det dårlige dypvannet i Bærumsbassenget.



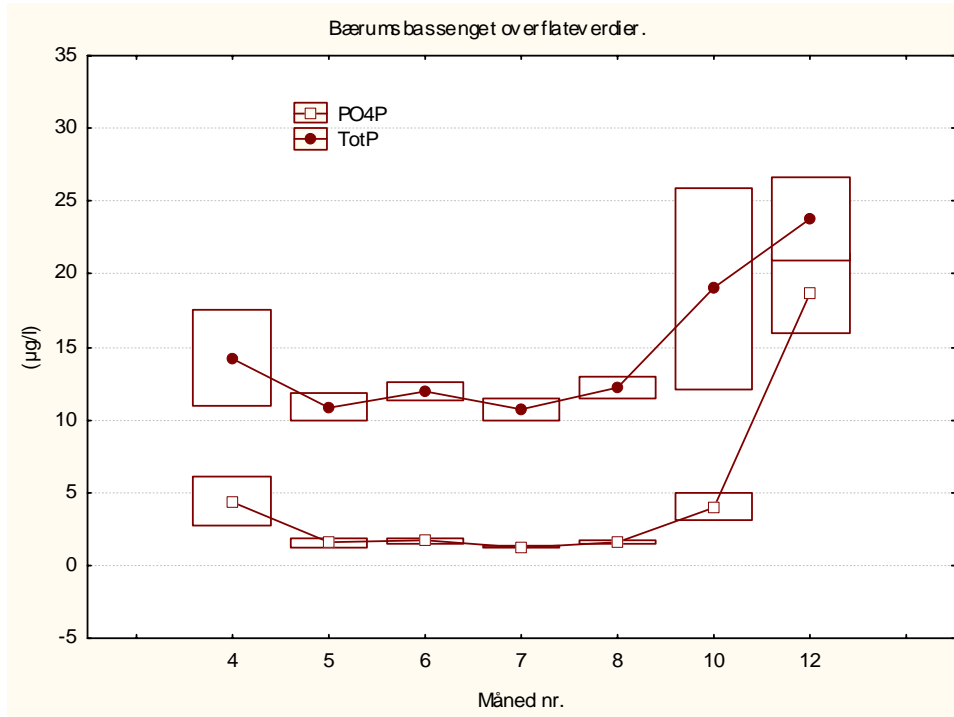
Figur 1. Kart over deler av Bærumsbassenget med Holtekilen. Stasjon B14 er hovedstasjon for vannkjemisk overvåking av Bærumsbassenget. Plasseringen av overløpet er vist med pil. Ytre grense for arealberegningen i Holtekilen er markert med en strek.



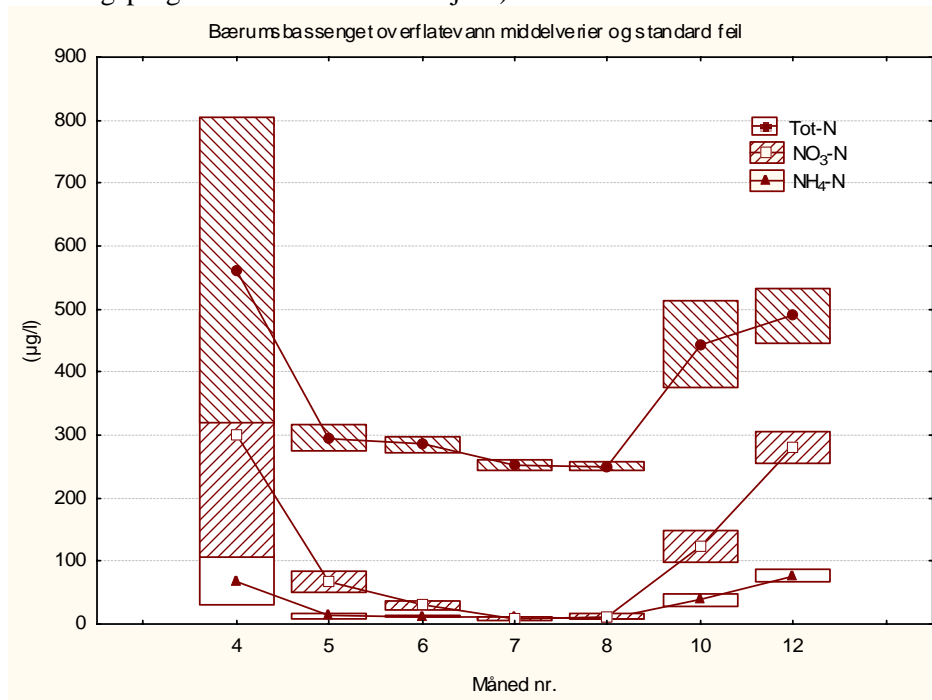
Figur 2. Arealer som funksjon av dyp i Holtekilen. Arealer er beregnet for Holtekilen innenfor et område markert i figur 2.



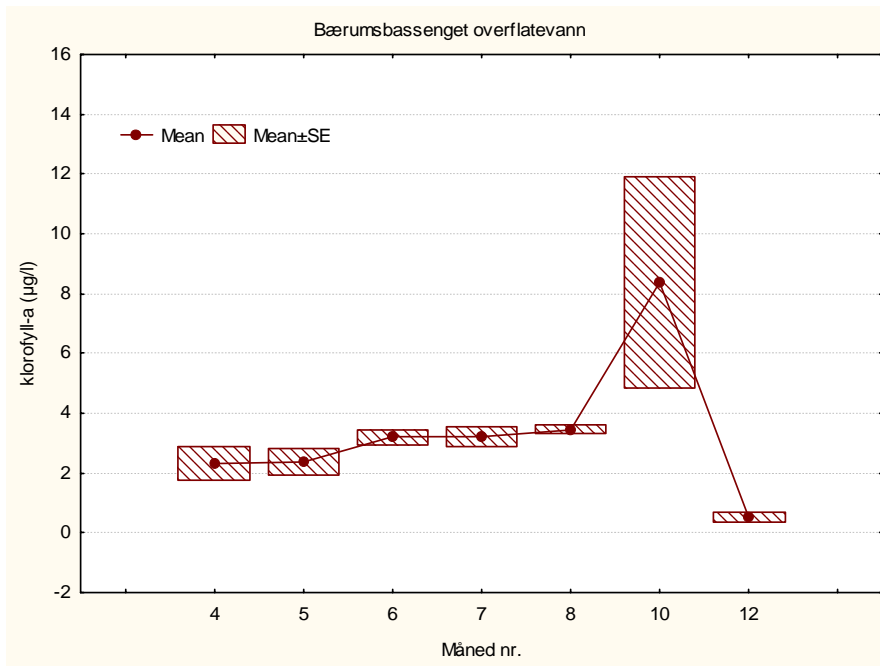
Figur 3. Oksygenforholdene i Bærumsbassenget (BI 4), sammenlignet med Statens forurensningstilsyns klassifiseringssystem for miljøkvalitet i fjorder (Molvær m.fl., 1997).



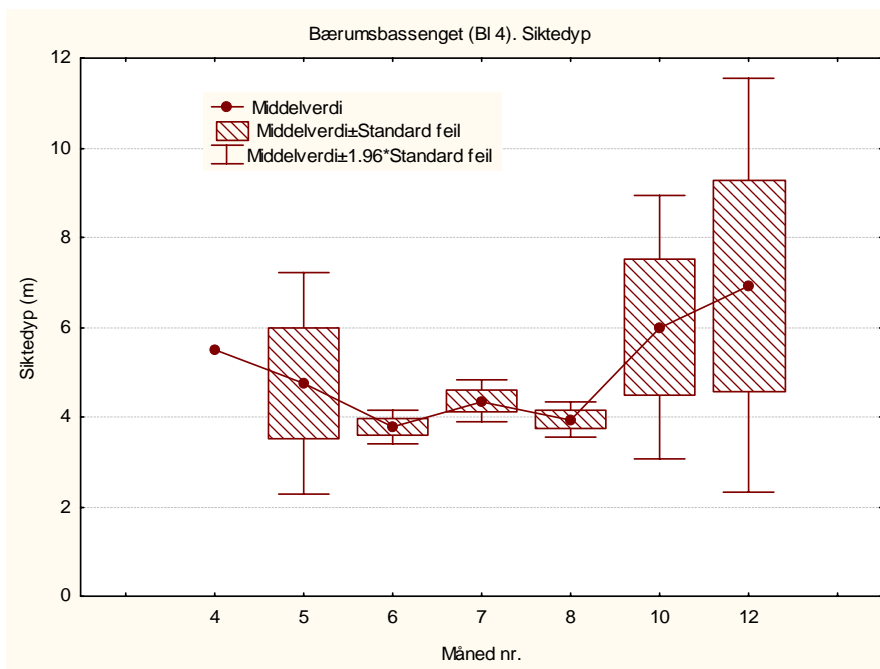
Figur 4. Tot-P og PO₄-P i Bærumssjøens (Bl 4) overflatevann. Observasjoner fra 1993-2001. (Data fra overvåkingsprogrammet for indre Oslofjord).



Figur 5. Nitrogenforbindelser i Bærumssjøens (Bl 4) overflatevann. Observasjoner fra 1993-2001. (Data fra overvåkingsprogrammet for indre Oslofjord).



Figur 6. Klorofyll-a i Bærumsbassengets (BI 4) overflatevann. Observasjoner fra 1993-2001. (Data fra overvåkingsprogrammet for indre Oslofjord).



Figur 7. Siktedyp i Bærumsbassenget (BI 4). Observasjoner fra 1993-2001. (Data fra overvåkingsprogrammet for indre Oslofjord).

4. Beregninger og resultater

4.1 Innlagring og fortynning av vann fra nødoverløpet

4.1.1 Metodikk og data

Avløpsvannet består av ferskvann og er dermed lettere enn sjøvann. Når det slippes ut gjennom en ledning på ca. 3 m dyp vil avløpsvannet derfor begynne å stige opp mot overflaten samtidig som det blander seg med det omkringliggende sjøvannet. Når sjøvannet har en stabil sjiktning (egenvekten øker mot dypet) fører dette til at egenvekten til blandingen av avløpsvann+sjøvann øker samtidig som egenvekten til det omkringliggende sjøvannet avtar og i et gitt dyp kan dermed blandingsvannmassen få samme egenvekt som sjøvannet omkring. Da har ikke blandingsvannmassen lenger noen ”positiv oppdrift” og innlagres i vannmassen. Ved utslipp på grunt vann eller når den vertikale sjiktningen er svak, vil avløpsvannet oftest trenge helt opp til overflata. Denne prosessen kalles primærfortynning.

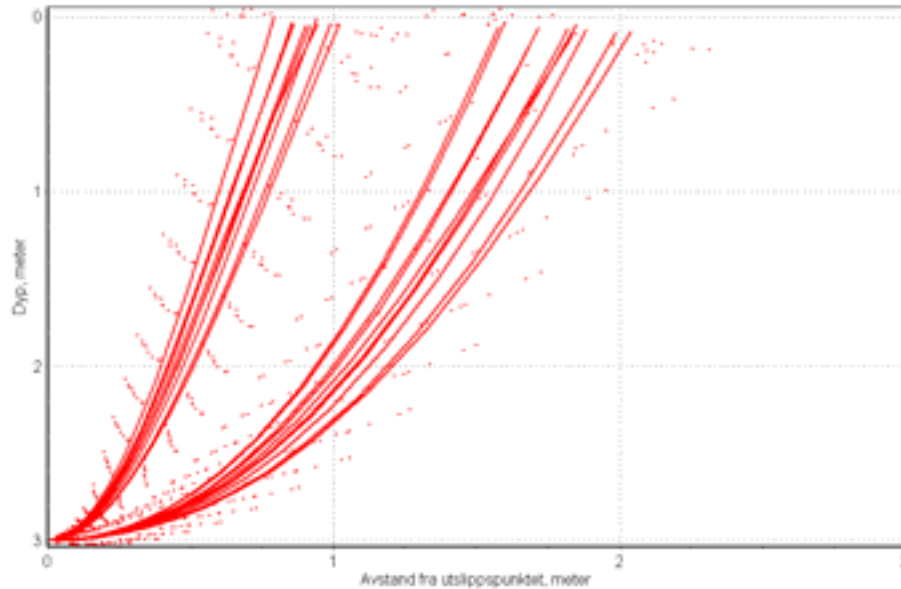
For beregning av innlagringsdyp og fortynning bruker vi den numeriske modellen Visual PLUMES utviklet av U.S. EPA (Frick et. al. 2001). Nødvendige opplysninger om utslippet er vannmengde, dyp, diameter for utslippsrøret og konsentrasjon av fosfor, nitrogen og termotolerante koliforme bakterier (TKB).

Som data-input til beregningene har vi brukt opplysningene om utslippet gitt i Kapittel 3, samt 11 vertikalprofiler for temperatur og saltholdighet i 0-4 m dyp målt på stasjon B1 4 i Bærumsbassenget (**Figur 1**). Disse profilene er gjennomsnittsverdier for hver måned (unntatt mars hvor det mangler observasjoner). Antall observasjoner bak en gjennomsnittsverdi varierer mellom 1 (januar) og 25 (oktober), noe som betyr at der er mindre usikkerhet i beregninger som gjelder sommermånedene enn vinter. Der er ingen observasjoner mellom overflata og 4 m dyp og vi har derfor forutsatt at temperatur og saltholdighet endres lineært mellom disse to dypene.

Beregningene er gjort for tre strømhastigheter: 1 cm/s (lav), 4 cm/s (antatt omkring middels) og 10 cm/s (relativt sterk strøm). I løpet av 1 time vil da skyen med fortynnet avløpsvann ha nådd en utstrekning på hhv. 36 m, 144 m og 350 m. For 5 timer vil tilsvarende avstander være 144 m, 720 m og 1440 m. Avstanden mellom utslippspunktet og munningen av Holtekilen (se **Figur 1**) er 1100-1200 m som betyr at ved en gjennomsnittlig forflytning på 10 cm/s kan avløpsvannet i løpet av 3-3.5 timer nå ut i selve Bærumsbassenget. – avhengig av vindforholdene.

4.1.2 Resultater

Resultatene fra beregningene av avløpsvannets bane fra utslippsdypet til en eventuell innlagring er vist i **Figur 8**. Den viser at avløpsvannet vil stige direkte til overflata og at den etterfølgende spredning og fortynning vil skje der.



Figur 8. Beregning av avløpsvannets bane fra utslipp i 3 m dyp. Avløpsvannet stiger direkte til overflata. Beregningen er gjort for vannmengdene 1.5 m³/minutt (knippet av stråler til venstre på figuren) og vannmengden 4 m³/minutt (knippet av stråler til høyre på figuren) og ved en strømhastighet på 4 cm/s.

4.2 Spredning av fortynnet vann fra nødoverløpet – beregning av konsentrasjoner

Vi tar utgangspunkt i resultatene i det foregående kapitlet som viste at avløpsvannet steg opp til overflaten. Med grunnlag i konsentrasjoner i avløpsvann og i sjøvannet samt antatte strømhastigheter vil vi beregne og vurdere hvordan utslippet kan påvirke vannkvaliteten og de biologiske forholdene i Holtekilen og Bærumsbassenget. Vurderingene av vannkvaliteten vil i stor grad støtte seg på resultatene fra bruk av to matematiske modeller: PLUMES (se ovenfor) og SMS.

4.2.1 Metodikk og data

Bruk av modellen PLUMES - Spredning fra et punktutslipp

For å beskrive konsentrasjonene av fosfor og nitrogen i overflatelaget i Holtekilen brukes data fra stasjon Bl 4 i Bærumsbassenget (**Tabell 2**), se også **Figur 4** og **Figur 5**.

Tabell 2. Typiske konsentrasjoner ($\mu\text{g/l}$) av total fosfor og total nitrogen i overflatelaget i Bærumsbassenget.

| Stoff | Sommer | Vinter |
|----------|--------|--------|
| Fosfor | 12 | 20 |
| Nitrogen | 270 | 500 |

Avløpsvannet vil bli blandet inn i den øverste 1-2 m av vannsøyle. Regner vi med 0-2 m og et volum på ca. 530 000 m^3 , vil den vannmassen sommerstid typisk inneholde ca. 6.4 kg fosfor og 143 kg nitrogen. Til sammenligning kan Holtekilen ved scenario B bli tilført i størrelsesorden 2.3 kg fosfor og 13.5 kg nitrogen.

Avløpsvannet vil også inneholde betydelige mengder bakterier. Etter at avløpsvannet er innlagret/nådd overflata vil konsentrasjonen av TKB avta pga. fortynning og desimering¹. Den beregnede fortynningen vil variere med størrelsen av koeffisienten for turbulent blanding. Denne størrelsen varierer fra sted til sted og med tiden. Vi velger å følge EPAs anbefaling for litt innelukkede farvann og bruker koeffisienten 0.0003 $\text{m}^{2/3}/\text{s}$. Desimering av bakteriene vil blant annet avhenge av mengden sollys som de blir utsatt for, beiting på bakteriene, noe dødelighet pga. virkning av sjøvann og utsynkning av partikler som bakteriene sitter på. Sollysets virkning varierer med tiden på døgnet og lyset i det dypet der avløpsvannet befinner seg. Vi vil forutsette at avløpsvannet fordeler seg i overflata. For å beskrive desimeringen er størrelsen $T90^2$ mye brukt, og for vintermånedene desember-januar har vi brukt $T90=30$ timer og gradvis økt desimeringen til $T90=12$ timer i sommermånedene når lyset er sterkt.

For klassifisering av den hygieniske vannkvaliteten er kriteriene utgitt av det Norske Folkehelseinstituttet (instituttets webside), se **Tabell 3** og **Tabell 4**.

Tabell 3. Klassifisering av den hygieniske vannkvaliteten (jfr. Norsk Folkehelseinstitutt)

| Parameter | God | Mindre god | Ikke akseptabel |
|---|-------|------------|-----------------|
| Termotolerante koliforme bakterier/100 ml | < 100 | 100-1000 | > 1000 |

¹ En samlebetegnelse som i hovedsak beskriver reduksjonen i bakteriekonsentrasjon pga. dødelighet og av utsynkning til dypere vannmasser.

² Tiden fram til bakteriekonsentrasjonen er redusert med 90%.

Tabell 4. Metode for vurderingen av resultatene (jfr. Norsk Folkehelsinstitutt)

| Resultat av vannprøvene | Bedømmelse av badeplassens bakteriologiske standard |
|--|---|
| >90% av prøvene ligger < 100 TKB/100 ml og inntil 10% av prøvene ligger i kategorien Mindre god | God |
| > 90% av prøvene ligger i kategorien God eller Mindre god og inntil 10% av prøvene ligger i kategorien Ikke akseptabel | Mindre god |
| > 10% av prøvene i kategorien Ikke akseptabel | Ikke egnet for bading |

Bruk av modellen SMS – simulering av spredning og konsentrasjon av bakterier

For å simulere sirkulasjonen i overflatelaget (0-3 m dyp) bruker vi modellen SMS/RMA-2. Forkortelsen SMS står for "Surface Water Modelling System", som inneholder den numeriske modellen RMA-2. SMS er laget ved Brigham Young University i samarbeid med U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station og U.S. Federal Highway Administration. RMA-2 er en dynamisk, todimensjonal, dybde-integrert numerisk modell med fri overflate. Modellen beregner løsninger ved hjelp av endelig-element metoden.

Ligninger:

Gruntvannsligningene i RMA-2 er Navier-Stokes ligninger for bevarelse av bevegelsesmengde og volum (volumkonservering).

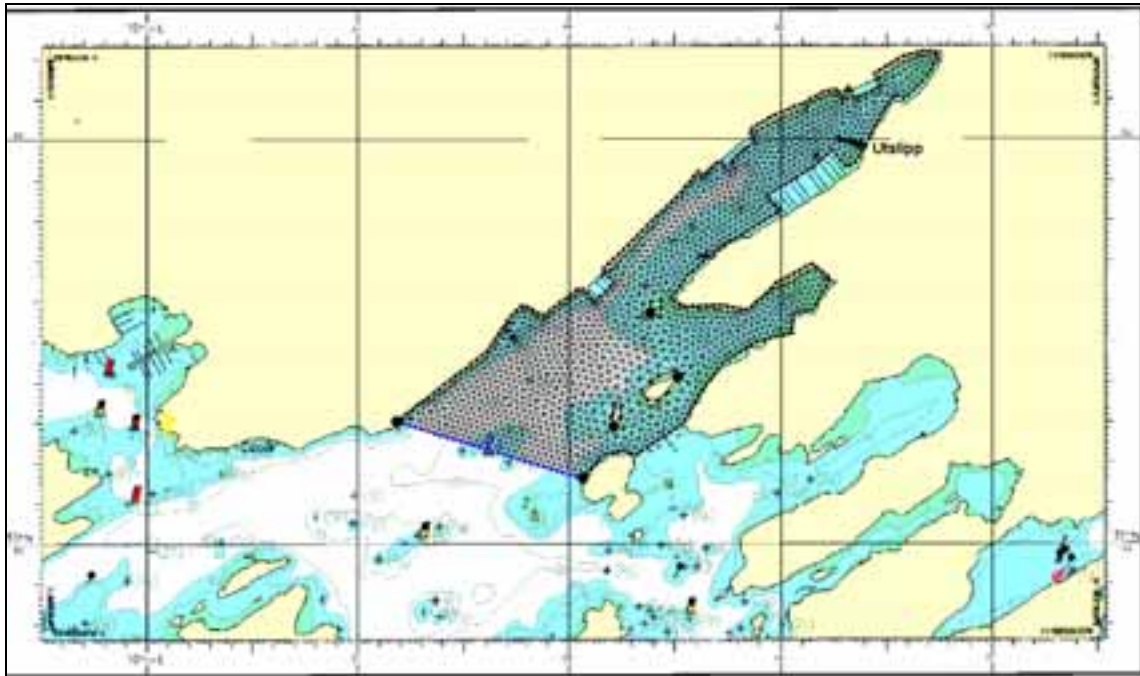
$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial a_0}{\partial x} \right) + fv - \frac{\epsilon_{xx} \partial^2 u}{\rho \partial x^2} - \frac{\epsilon_{xy} \partial^2 u}{\rho \partial y^2} + \frac{gu}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \left(\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial a_0}{\partial y} \right) - fu - \frac{\epsilon_{yx} \partial^2 v}{\rho \partial x^2} - \frac{\epsilon_{yy} \partial^2 v}{\rho \partial y^2} + \frac{gv}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0$$

- x = Distanse i x-retning (positiv mot øst)
- y = Distanse i y-retning (positiv mot nord)
- u = Horisontal strømningshastighet i x-retning
- v = Horisontal strømningshastighet i y-retning
- t = Tid
- g = Tyngdens akselerasjon
- h= Vannndyp
- ρ= Væskens tetthet
- ε_{xx}= Normal turbulent utvekslingskoeffisient i x-retning
- ε_{xy}= Tangensial turbulent utvekslingskoeffisient i x-retning
- ε_{yx}= Tangensial turbulent utvekslingskoeffisient i y-retning
- ε_{yy}= Normal turbulent utvekslingskoeffisient i y-retning
- C= Chezy ruhetskoeffisient (Beregnet ut fra Mannings n)
- f= Coriolis parameter

Modelleringen begynner med konstruksjon av et nettverk (grid) med diskrete punkter (dvs. data over posisjon og dyp for punktene i et nettverk, som siden interpoleres til et grid i SMS). **Figur 9** viser nettverket som ble benyttet for beregningene.



Figur 9. Nettverket eller gridet i RMA2-modellen for simulering av sirkulasjon .

Man må tilegne nettverket en initialtilstand. Dette gjøres ved å legge en horisontal, plan overflate over hele nettverket. Modellen trenger så en del tid ("spin up") på å finne representative løsninger.

Ved hjelp av de topografiske dataene, grenseflatebetingelsene og initialbetingelsene beregner RMA-2 løsninger for hvert tidssteg. Modellen beregner verdier for fart, retning og vannstand i hvert av punktene i gridet der det er lagt inn posisjon og dyp.

En slik type modell egner seg til å beskrive sirkulasjonen i et overflatelag når man betrakter dette som en vertikal homogen vannmasse over en horisontal, flat bunn. Spesielt vil modellen framheve områder med bakevjer og svak strøm. Videre vil beregningene gi grunnlag for å sammenligne strømstyrke og bakevjedannelse før og etter en utbygging av betongkai. Derimot må man være forsiktig med å tolke strømhastighetene absolutt, noe som i så fall ville forutsette en inngående kalibrering av modellen.

Modellen må gis verdier for de turbulente utvekslingskoeffisientene og for bunnfriksjons-koeffisienten Mannings n . Turbulens og friksjon varierer med strøm- og bunnforholdene, og er samtidig en egenskap ved selve bevegelsen. De er følgelig svært vanskelige å bestemme nøyaktig. Oppgitte størrelser på koeffisientene varierer med flere størrelsesordener, uten at beregningsresultatene endrer seg tilsvarende mye. Bunnfriksjonen (Mannings n) er satt lik 0.025 (tilsvarer middels "friksjon" mot dypvannet og sider).

Strømforholdene i overflatelaget vil oftest være bestemt av tidevann, vind og den topografiske utformingen kaier og strandsone. Ifølge Tidevannstabeller fra Norges Sjøkartverk er gjennomsnittlig forskjellen mellom høyvann og lavvann i Oslo havn ca. 0.24 m. Tidevannet er halvdaglig. I

beregningene har vi brukt en tidevannsforskjell på 0.3m og har valgt å simulere sirkulasjonen i et ca. 3 m dypt overflatelag.

Etter kjøring har vi brukt modellen RMA4 som kan beskrive hvordan et utslipp påvirker vannkvaliteten ved at den bruker resultatene fra RMA2 sammen med opplysninger om utslippets posisjon og størrelse. Utslippets posisjon er vist i **Figur 9** og vi har forutsatt at avløpsvannet spres og fortynnes i overflatelaget (jfr. pkt. 4.1.2 ovenfor).

4.2.2 Resultater

Beregning av vannkvalitet med modellen PLUMES

Vi har antatt at 4 cm/s er en forholdsvis vanlig strømhastighet i Holtekilen, unntatt for situasjoner der virkningen av vind ”skyver” overflatelaget utover eller innover i kilen. **Figur 10** viser konsentrasjonen av bakterier ved økende avstand fra utslippet – ved utslipp av 67l/s (4 m³/minutt) og av 25l/s (1.5 m³/minutt), strømhastighet 4 cm/s og ved både konstant og ved økende turbulent blandingskoeffisient. Beregningene er gjort for en **sommersituasjon** med relativt stor dødelighet av bakterier (T90=12 timer). **Tabell 5** gir en mer detaljert oversikt over scenariene.

Til sammenligning kan man merke seg at avstanden fra utslippet til yttergrensen for Holtekilen er 1100-1200 m, og

1. For scenario A og 4 cm/s forflytter avløpsvannet seg ca. 150 m i løpet av 1 time før utslippet stoppes, mens avløpsvannet stadig fortynnes
2. For scenario B og 4 cm/s forflytter avløpsvannet seg ca. 600 m i løpet av 4 timer før utslippet stoppes, mens avløpsvannet stadig fortynnes
3. For scenario C og 4 cm/s forflytter avløpsvannet seg ca. 25 m i løpet av 10 minutter før utslippet stoppes.

Der er ikke stor forskjell i fortynning og konsentrasjon mellom scenariene. Valg av turbulent blandingskoeffisient er imidlertid vesentlig for resultatet. Ved konstant koeffisient får skyen med fortynnet avløpsvann en bredde på 20-30 m ved utløpet av Holtekilen, dvs. en relativt smal sky som bare omfatter en liten del av vannmassen. Ved økende koeffisient blir bredden ca. 500-600 m, dvs. at skyen vil omfatte hele tverrsnittet av Holtekilen etter å ha forflyttet seg 700-800 m. Fortynningen blir langt større og konsentrasjonen tilsvarende lavere.

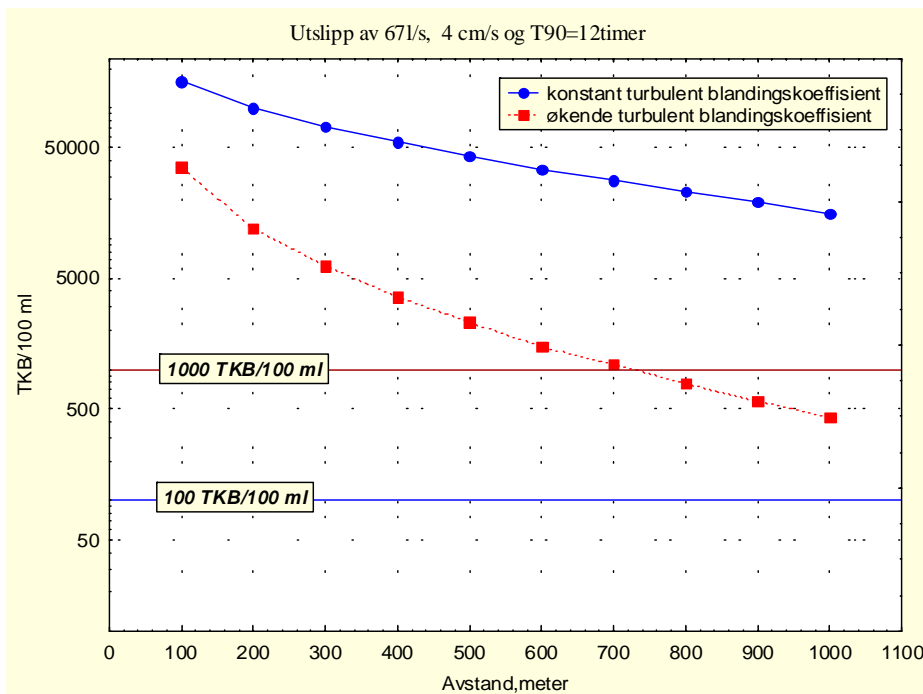
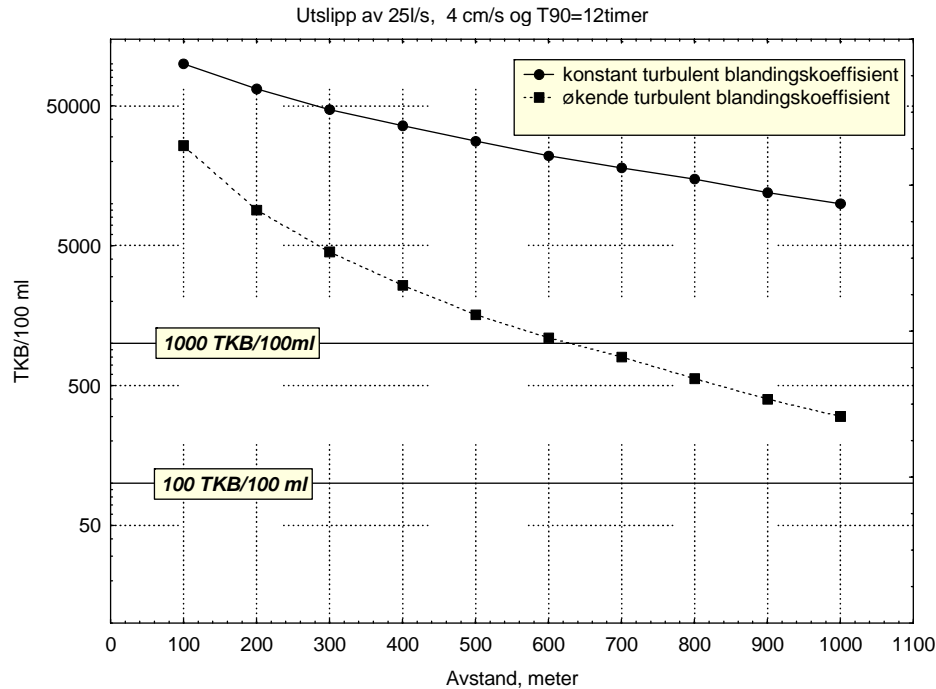
Vi kjenner ikke størrelsen av blandingskoeffisienten i Holtekilen, men for et såpass innelukket område er det sannsynlig at en konstant koeffisient beskriver virkeligheten bedre enn en økende.

Vannutskiftningen eller vannmassenes oppholdstid i Holtekilen er avgjørende for hvor raskt forholdene vil normaliseres etter et nødoverløp. Denne er ukjent, men vi gjør noen overslagsberegninger for å illustrere hvilke situasjoner som kan oppstå. For strømhastighet på 1, 4 og 10 cm/s vil skyen av avløpsvann trenge hhv. ca. 30, 7-8 og 3 timer for å forflytte seg fra utslippspunktet og til grensa mot selve Bærumsbassenget. Det er naturlig å anta at det halvdaglige tidevannet (12.5 timers periode) er den viktigste utskiftningsmekanismen, og det betyr at i gjennomsnitt vil vannet vekselvis strømme inn og ut av kilen i perioder på 5-6 timer og at fortynnet avløpsvann etter hvert kan bre seg over det meste av kilens overflatelag. Dette viser at

- Ved en typisk strømhastighet på 1-4 cm/s kan skyen med fortynnet avløpsvann påvirke vannkvaliteten i Holtekilen i minst 1-2 døgn.
- Ved en høy strømhastighet på 10 cm/s kan skyen med fortynnet avløpsvann påvirke vannkvaliteten i Holtekilen i 0.5-1 døgn.

I disse tidsrommene kan bakteriekonsentrasjonen i store deler av Holtekilen det meste av tiden tilsvare badevannskvalitet Mindre god/Ikke akseptabel.

Vurderingene ovenfor gjelder i hovedsak sommerhalvåret. I vinterhalvåret er virkningen av sollys mindre, dødeligheten (T90-størrelsen) mindre og konsentrasjonen avtar langsommere.



Figur 10. Beregning av gjennomsnittlig konsentrasjon av TKB i skyen med fortennet avløpsvann ved strømhastighet 4 cm/s, ved en dødelighet av bakterier som tilsvarer T90=12 timer og ved konstant og ved økende turbulent blandingskoeffisient. Klassifiseringsgrensene 100 TKB/100 ml og 1000 TKB/100 ml er vist. Øverst: utslipp av 25 l/s (1.5 m³/min). Nederst: utslipp av 67 l/s (4 m³/min).

Tabell 5. Beregnet avstand til der den gjennomsnittlige konsentrasjonen av termotolerante koliforme bakterier er 1000 TKB/100ml ved konstant og ved økende blandingskoeffisient, utslipp av 240 m³/1time og 450 m³/5 timer - og ved strømhastigheter 1, 4 og 10 cm/s.

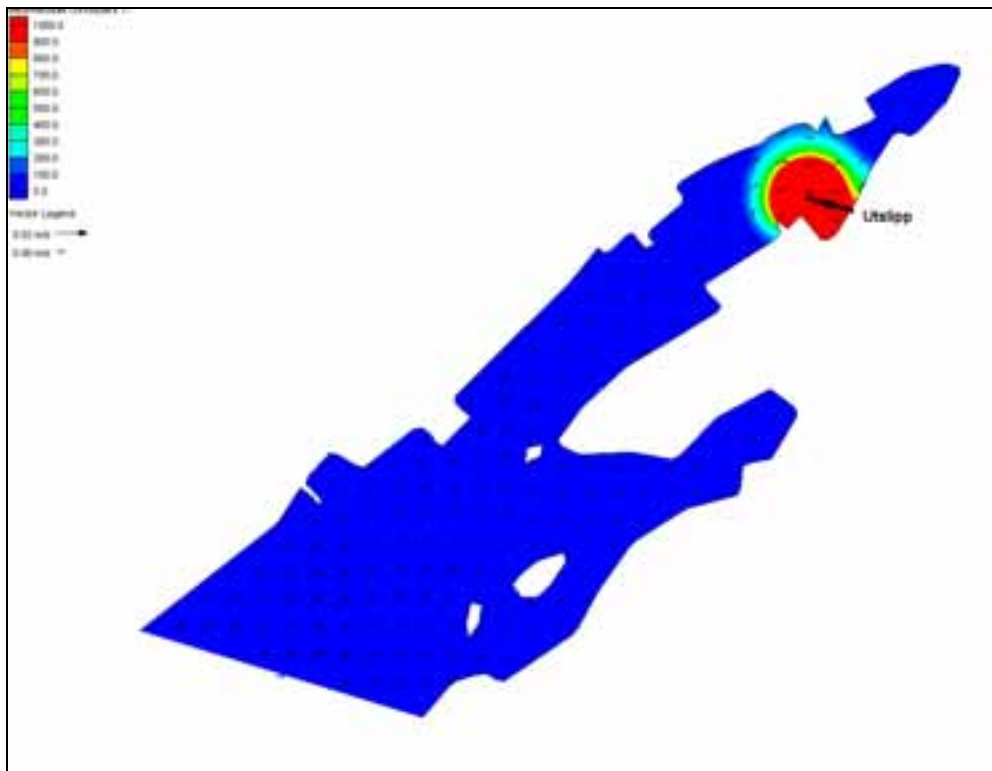
| Turbulent diff. koeffisient | Hastighet | 240 m ³ /time | 450 m ³ /5 timer |
|-----------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------------|
| Konstant | 1 cm/s | 700m/19t | 600m/16t |
| | 4 cm/s | >1000m/6.9t | >1000m/2.7t |
| | 10 cm/s | >1000m/2.7t | >1000m/2.7t |
| Økende | 1 cm/s | 200m/5.5t | 150m/4t |
| | 4 cm/s | 800m/5.5t | 650 m4.5t |
| | 10 cm/s | >1000m/2.7t | >1000m/2.7t |

Beregning av vannkvaliteten ved modellen RMA4 – Scenario B

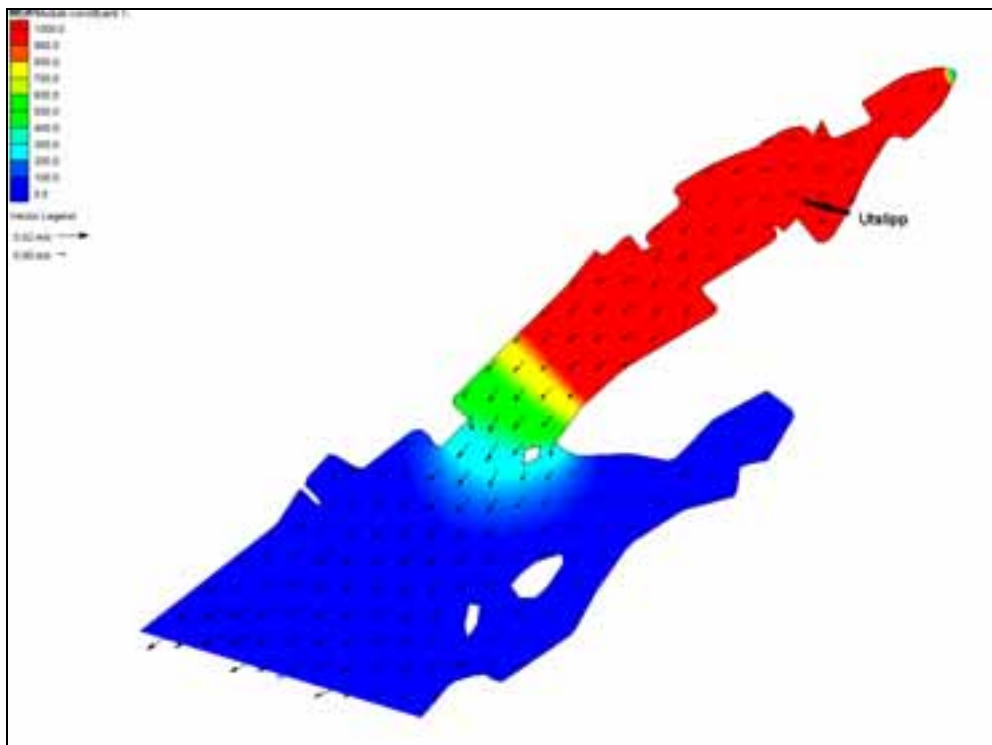
Modellen er kjørt med tidsskritt på 15 minutter og utslippet ble startet etter 12 timer, under svak ($\leq 2\text{cm/s}$) inngående tidevannsstrøm. **Figur 12** illustrerer resultater for et overløp som har vart i bruk i 1 time. Vi minner om at det er gjort flere antakelser og forutsetninger mht. strømhastigheter, strømreretning og blandingskoeffisienter, men resultatene illustrerer at det umiddelbart vil bli et område med uakseptabel hygienisk vannkvalitet omkring utslippet.

Utslippet varer i 5 timer og modellen er kjørt med tidevann i 48 timer. **Figur 12** viser situasjonen etter 45 timer, dvs. ca. 28 timer etter at utslippet er stoppet. I praktisk talt hele Holtekilen har overflatelaget en bakteriekonsentrasjon over 1000 TKB/100 ml. Dette stemmer med hva beregningene med PLUMES har vist ovenfor: hele Holtekilen kan få en bakteriekonsentrasjon som er så høy at bading må frarådes.

Beregningene inkluderer ikke virkningen av vind, og vind fra vest-sørvest kan bidra til å holde det forurensede overflatelaget tilbake i kilen. Motsatt kan vind fra øst bidra til å føre overflatevannet raskere ut i selve Bærumsbassenget. Virkningen av sollys er ikke inkludert i beregningene. Som nevnt ovenfor vil sollys bidra til å redusere konsentrasjonen etter at utslippet er stoppet. Sommerstid kan virkningen være betydelig, spesielt hvis utslippet skjer i godt vær og i den lyse tiden av døgnet. Vinterstid (kortere tid med dagslys, sol som står lavere på himmelen) vil denne virkningen være langt mindre.



Figur 11. Simulering av konsentrasjonen av TKB i overflatelaget etter overløp i 1 time (merk skalaen i figurens øvre venstre hjørne). Det er svak inngående strøm (tidevann). Omkring utslippet er konsentrasjonen (vesentlig) høyere enn 1000 TKB/100 ml.



Figur 12. Simulering av konsentrasjonen av TKB i overflatelaget etter 45 timer, dvs. ca. 40 timer etter at overløpet stoppet. Hele Holtekilen har konsentrasjon høyere enn 1000 TKB/100 ml.

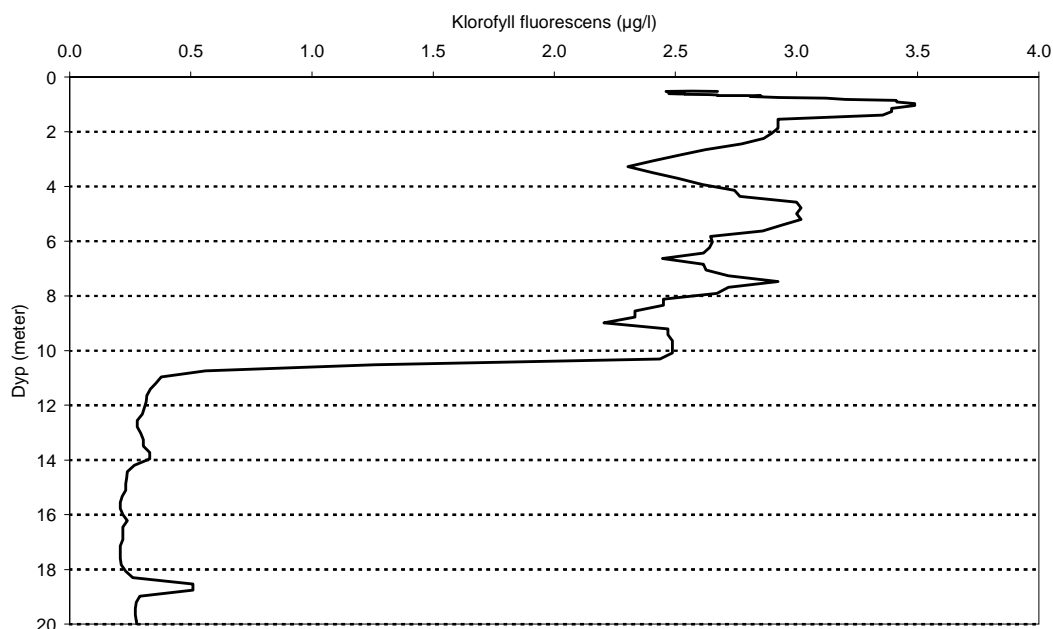
4.3 Beregning av økning i belastning av næringsalter på Holtekilen.

Nødoverløpet vil tilføre Holtekilen næringsalter og organisk stoff i tillegg til bakterier. Tilførsler av næringsalter vil gi økt planteplanktonproduksjon, hvilket kan gi dårligere siktedyp samt økt organisk belastning på dypvann og bunn, noe som fører til økt oksygenforbruk og dårligere levevilkor for fisk og andre organismer i området. Effekten vil bli størst sommerstid når det er tilstrekkelig med lys for produksjonen, mens lysbegrensningen vinterstid vil begrense produksjonen av planteplankton, dvs. i perioden november til mars. Således er sommerhalvåret den mest følsomme perioden for ekstra tilførsler av næringsalter.

For å beregne effekten av nødoverløpet som potensiell planteplanktonbiomasse er klorofyll-a omregnet til karbon. Imidlertid varierer karbon/klorofyll-a forholdet etter planktonart og vekstrate. Strickland (1960) foreslår et forhold på 30, men i nitratfattig vann kan forholdet øke til 60. Her vil vi i utgangspunktet bruke et karbon/klorofyll-a forhold på 30.

Stående biomasse i Bærumsbassenget ved stasjon Bl 4 varierer mellom 2-4 $\mu\text{g/l}$ i sommermånedene. **Figur 13** viser at hele vannmassen mellom 0 til vel 10 meters dyp er produktiv, dvs. vi antar at den fotosyntetiske sonen strekker seg omtrent til 10 meters dyp. Det betyr at omregnet til karbon vil mengden planteplankton i Holtekilen kunne variere mellom 100-400 kg. Dette skulle beskrive dagens forhold, ved bruk av observasjoner fra Bl 4 (**Figur 1**).

For å beregne den potensielle mengden planteplankton som nødoverløpet kan produsere er fosfor og nitrogen omregnet til karbon. Her er det antatt både nitrogen og fosfor som begrensende næringsalter og omregnet til karbon etter Redfield-forholdet (47:7:1, C:N:P) som er gjennomsnittlig forhold mellom karbon, nitrogen og fosfor i planteplankton. Her er det forutsatt at alt fosfor og nitrogen er biotilgjengelig.



Figur 13. Vertikalprofil av planteplanktonbiomasse målt som fluorescens.

Tabell 6. Utslippsmengder ved ulike scenarier samt beregning av mengden planteplankton som karbon.

| Stoff | Scenario | | |
|---|----------|-----------|---------|
| | A | B | C |
| Fosfor | 1,2 kg | 2.3 kg | 0.2 kg |
| Nitrogen | 7,2 kg | 13.5 kg | 1.2 kg |
| Karbon (beregnet ut fra mengden fosfor) | 56 kg | 108 kg | 9.5 kg |
| Karbon (beregnet ut fra mengden nitrogen) | 50 kg | 95 kg | 8 kg |
| Karbon(utslipp)/karbon 0-10 m (%) | 14-56 % | 27- 108 % | 2 – 9 % |

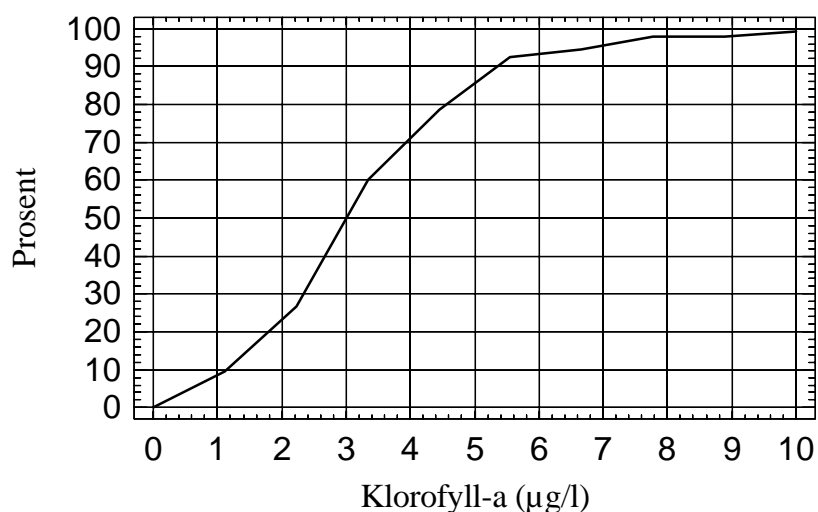
For hele Bærumsbassenget vil belastningen for scenario B bety maksimalt ca. 3 % av karbonet i 0-10 meters dyp.

Sett ut fra disse beregninger vil nødoverløpet tatt i bruk en gang pr. sommer (hvor effektene vil bli størst) ikke ha noen betydning for Bærumsbassenget som helhet. I Holtekilen vil det ikke bli noen effekt av korte utslipp på 10 minutter. Ved maksimalt utslipp i 1 time vil i verste tilfelle karbonmengden øke med ca. 50 % ved de tider det er lite planteplankton i området, men bare med ca. 15 % når planteplanktonkonsentrasjonen er stor. I scenario B, vil imidlertid det være sannsynlig med en lokal påvirkning fordi planteplanktonbiomassen i enkelte situasjoner kan bli fordoblet.

Konsekvensene av økte tilførsler av næringssalter fra bruk av nødoverløp i 10 minutter med maksimal belastning ($4\text{m}^3/\text{s}$) vil således bli små. Ved bruk av nødoverløp i 1 time ved maksimal belastning vil effekten kunne variere med de naturlige variasjonene i Holtekilen.

Figur 14 viser relativ kumulativ fordeling av klorofyll-a (planteplanktonbiomassen) i Bærumsbassenget (BL 4) i sommer halvåret. Sannsynligvis er biomassen i Holtekilen sommerstid noe større (relativt grunt område). Figuren viser at i ca. 80 % av sommerhalvåret vil klorofyllkonsentrasjonen være større enn $2\ \mu\text{g}/\text{l}$ og i 30 % av tiden over $4\ \mu\text{g}/\text{l}$.

Bærumsbassenget (Bl 4) 1993-2001



Figur 14. Relativ kumulativ frekvensfordeling av klorofyll-a ($\mu\text{g}/\text{l}$) i Bærumsbassenget (Bl 4) i sommer halvåret. (145 observasjoner fra perioden 1993-2001. Data fra overvåkingsprogrammet for indre Oslofjord).

Det er scenarie B som i noen tilfeller kan gi en kortvarig effekt (effekten blir begrenset til den tid det vil ta og fornye vannet i Holtekilen etter et utslipp). Effekten vil bli merkbar i de tilfeller klorofyllkonsentrasjonen er omkring 2 µg/l, dvs. i ca. 20 – 30 % av sommerhalvåret. Effekten vil bli dårligere siktedyp, eventuelt missfarging av vannet (avhengig av planteplanktonart). Som følge av at omtrent hele vannmassen i Holtekilen ligger i fotosyntesesonen regnes det ikke med oksygenproblemer i Holtekilen. Den økte biomassen vil prege deler av Holtekilen til dess vannet er utskiftet med vann fra de åpne deler av Bærumsbassenget. Vannutskiftningen er avhengig av vindretningen og gunstig vindretning kan skifte ut overflatevannet i Holtekilen på under et døgn, mens mindre gunstige vindforhold kan holde vannet kvar i flere døgn.

4.4 Sammenfattende vurderinger.

Ved bruk av nødutslippet i Holtekilen vil de største konsekvensene bli for badevannskvaliteten i sommerhalvåret. Den vil bli mindre god/ikke akseptabel opp til et par døgn etter utslippet, hvorav det største utslippet med 5 timers varighet og middels belastning vil føre til at hele Holtekilen kan bli berørt, men et 10 minutters utslipp vil primært berøre indre deler av Holtekilen.

Utslipp av næringssalter vil ikke ha noen effekter på oksygenforholdene i Holtekilen eller Bærumsbassenget. Andre effekter som kan oppstå blir kortvarige (maksimalt opp til en uke ved ugunstige vindforhold). Dette gjelder økt mengde planteplankton som blir følgene av den økte næringssaltstilførselen. Imidlertid er det bare ved scenarie B som dette vil ha noen betydelig effekt. I de tilfeller (ca. 30 % av tiden i sommerhalvåret) når den naturlige planteplanktonbiomassen er liten vil et utslipp som scenarie B kunne gi en fordobling av planteplanktonbiomassen, noe som kan føre til en midlertidig endring av vannkvaliteten (fra god til mindre god). Varigheten av tilstanden kan bli noen dager, men ved ugunstige vindforhold det kunne gå opp mot en uke innen vannmassen blir skiftet ut.

5. Litteratur

ECGL 1995: Surface water modeling system, Reference manual. Brigham Young University. Engineering Computer Graphics Laboratory. 368B CB, Provo, Utah, USA. 170 sider.

Frick, W.E., Roberts, P.J.W., Davis, L.R., Keyes, J, Baumgartner, D.J. and George, K.P., 2001. Dilution Models for Effluent Discharges, 4th Edition (Visual Plumes). Environmental Research Division, U.S. Environmental Protection Agency, Athens Georgia, USA.

Kirkerud og Magnusson (1976). Undersøkelse av de hydrografiske og biologiske forhold i Indre Oslofjord. Overvåkingsprogram. Toktrapport V. Fiskedød i Holtekilen. NIVA-rapport nr. 866.-

Molvær, J, Knutzen, J, Magnusson, J, Rygg, B og Sørensen, J, 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystvann. Statens forurensningstilsyn. Veiledning 97:03.

Ødegaard, H., 1992. Norwegian experiences with chemical treatment of raw wastewater. Wat. Sci. Tech. Vol 25, No. 12, pp. 255-264, 1992.

Vedlegg A. Tabeller for klassifisering av vannkvalitet

Tabell A1. Klassifisering av tilstand for næringssalter, klorofyll *a* og siktedyp i overflatelaget, samt oksygen i dypvannet. Oksygenmetningen er beregnet for saltholdighet 33 og temperatur 6°C (utdrag fra SFTs veileder 97:03).

| | Parametre | Tilstandsklasser | | | | |
|--|----------------------------------|------------------|-----------|-------------------|--------------|-------------------|
| | | I Meget god | II God | III Mindre god | IV Dårlig | V Meget dårlig |
| Overflatelag Sommer (Juni-august) | Total fosfor (µg P/l)* | <12 | 12-16 | 16-29 | 29-60 | >60 |
| | Fosfat-fosfor (µg P/l)* | <4 | 4-7 | 7-16 | 16-50 | >50 |
| | Total nitrogen (µg N/l)* | <250 | 250-330 | 330-500 | 500-800 | >800 |
| | Nitrat-nitrogen (µg N/l)* | <12 | 12-23 | 23-65 | 65-250 | >250 |
| | Ammonium-nitrogen (µg N/l)* | <19 | 19-50 | 50-200 | 200-325 | >325 |
| | Klorofyll <i>a</i> (µg/l) | <2 | 2-3.5 | 3.5-7 | 7-20 | >20 |
| Overflatelag Vinter (desember- februar) | Total fosfor (µg P/l)* | <21 | 21-25 | 25-42 | 42-60 | >60 |
| | Fosfat-fosfor (µg P/l)* | <16 | 16-21 | 21-34 | 34-50 | >50 |
| | Total nitrogen (µg N/l)* | <295 | 295-380 | 380-560 | 560-800 | >800 |
| | Nitrat-nitrogen (µg N/l)* | <90 | 90-125 | 125-225 | 225-350 | >350 |
| | Ammonium-nitrogen (µg N/l)* | <33 | 33-75 | 75-155 | 155-325 | >325 |
| Dypvann | Oksygen (ml O ₂ /l)** | >4.5 | 4.5-3.5 | 3.5-2.5 | 2.5-1.5 | <1.5 |
| | Oksygen metning (%) | >65 | 65-50 | 50-35 | 35-20 | <20 |

* Omregningsfaktoren fra µg/l til µg-at/l er 1/31 for fosfor og 1/14 for nitrogen.

** Omregningsfaktoren fra mlO₂/l til mgO₂/l er 1.42

Tabell A2. Vurderingsgrunnlaget for vannkvaliteten ved friluftsbad (fra Norsk Folkehelseinstitutt sin web-side)

| Parameter | God | Mindre god | Ikke akseptabel | Anbefalt prøvetakingshyppighet, minimum * |
|---|-------|------------|-----------------|---|
| Termotolerante koliforme bakterier/100 ml | < 100 | 100-1000 | > 1000 | en gang pr. uke |
| Fekale streptokokker/100 ml | < 100 | 100-1000 | > 1000 | en gang pr. uke |
| Siktedyp, m | > 2 | 1-2 | < 1 | to ganger pr. mnd. |

*Prøvetakingshyppigheten kan reduseres dersom det er en lite besøkt badestrand, eller at prøveserier tatt over minst to år har vist at vannkvaliteten ligger godt innenfor "God" vannkvalitet.

** Tydelig fargeendring fra normaltstanden skal medføre undersøkelser for å fastslå årsaken.

*** Økt fare for Cercarier dermatitt v/temp. >20 C, i lokaliteter med forekomst av andefugler og ferskvannssnegl.