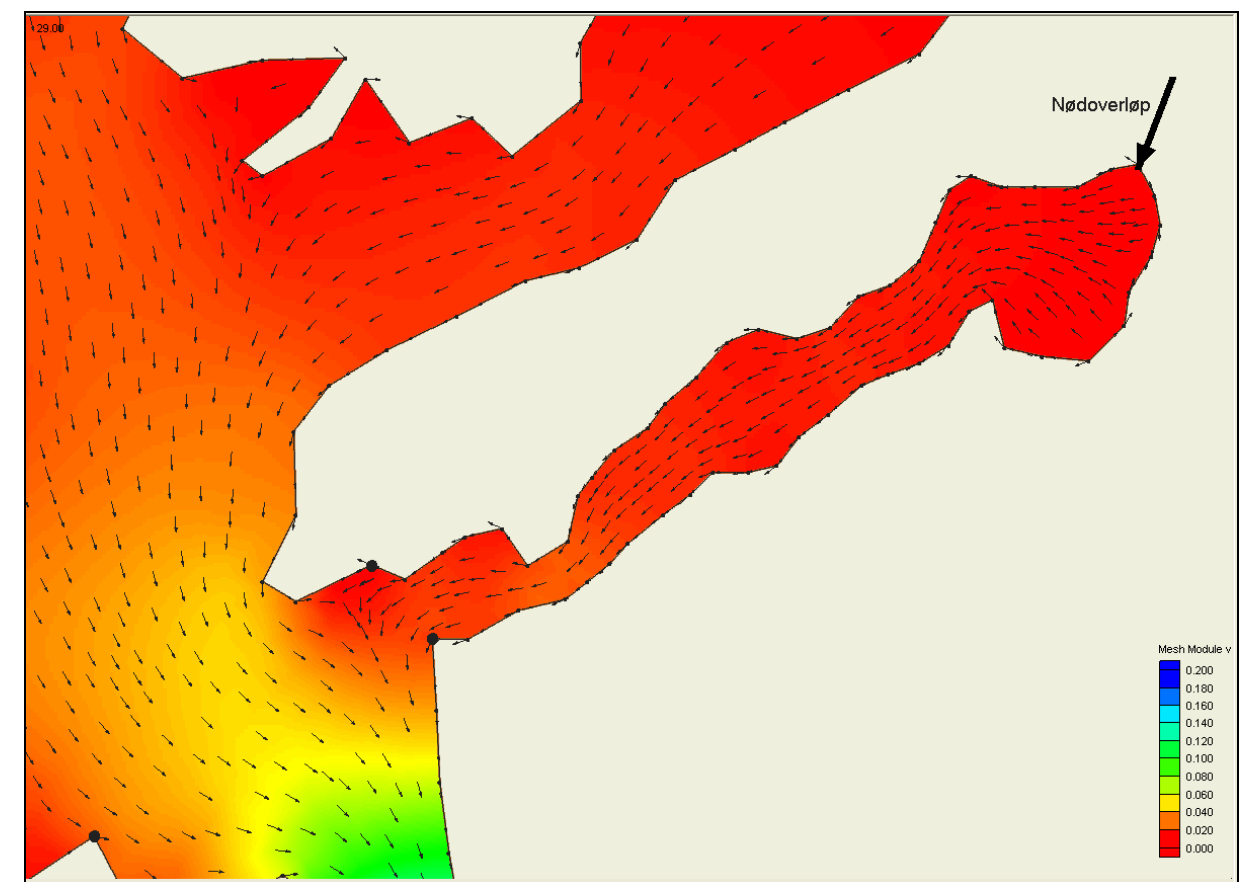




RAPPORT LNR 5023-2005

Hundesundet

Vurdering av effekter fra
nødoverløp



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

Midt-Norge

Postboks 1264 Pirsenteret
7462 Trondheim
Telefon (47) 73 87 10 34 / 44
Telefax (47) 73 87 10 10

Tittel Hundesundet. Vurdering av effekter fra nødoverløp	Løpenr. (for bestilling) 5023-2005	Dato 8.6.2005
	Prosjektnr. Undernr. 25122	Sider Pris 20
Forfatter(e) Jan Magnusson og Jarle Molvær	Fagområde Eutrofi	Distribusjon Fri
	Geografisk område Akerhus	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Rambøll Norge AS	Oppdragsreferanse Geir Palmer Jacobsen
--------------------------------------	---

Sammendrag

Etter oppdrag fra Rambøll Norge AS har Norsk institutt for vannforskning (NIVA) vurdert effekten på vannkvaliteten i Hundesundet ved utslipp fra et nødoverløp av kommunalt avløpsvann innerst i Hundesundet. Vurdering er gjennomført for tre ulike scenarier for bruk av nødoverløpet og effekten av disse er beregnet for badevannskvalitet og overgjødning. Virkningen vil i stor grad variere med mengden avløpsvann, lysforholdene (tidspunkt på døgnet/året) og vannutskiftningen i det aktuelle tidsrommet. Man må regne med at alle tre scenarier kan medføre noen dager med uakseptabel – meget dårlig vannkvalitet i Hundesundet. Ved de største utslippene og ved rask vannutskiftning kan badevannskvaliteten utenfor Hundesundet også bli dårlig i 1-2 døgn. Avhengig av strømretning og hastighet kan påvirkningen da strekke seg ned mot Snarøysundet. Avløpsvannets næringsalter vil gi oppblomstring av hurtigvoksende grønnsalg på sommeren, som kan flyte opp til overflaten og ligge som et brun/grønt teppe i området. Varigheten av en slik tilsand kan strekke seg opp mot 14 dager.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Nødoverløp Kommunal kloakk Eutrofi Hundesundet 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Emergency outfall Municipal sewage Eutrophication Hundesund
--	---



Jan Magnusson
Prosjektleder



Dominique Durand
Forskningsleder



Øivind Sørensen
Ansvarlig

Hundesundet

Vurdering av effekter fra nødoverløp

Forord

I brev av den 2.3.2005 ba Rambøll Norge AS Norsk institutt for vannforskning å vurdere konsekvensen for Hundesundet (Fornebulandet) av et nødoverløp for kommunal kloakk ved driftstans på en pumpestasjon på Fornebu.

Rapporten er skrevet av Jan Magnusson og Jarle Molvær.

Oslo, 8.6.2005

Jan Magnusson

Innhold

Sammendrag	5
1. Innledning	7
2. Formål	8
3. Tilførsler og dagens tilstand	8
3.1 Generelt om Hundesundet og Bærumsbassenget.	8
4. Beregninger og resultater	11
4.1 Innlagring og primærfortynning av vann fra nødoverløpet	11
4.2 Spredning av fortynnet vann fra nødoverløpet – beregning av konsentrasjoner	12
4.2.1 Metodikk og data	12
4.2.2 Resultater	15
4.3 Beregning av økning i belastning av næringssalter på Hundesundet	18
5. Litteratur	20

Sammendrag

Rambøll Norge AS vurderer et nødoverløp til Hundesundet fra en pumpestasjon for kommunal kloakk på Fornebu. Utslippet til overløpet vil ligge innerst ved land i den nord-østre delen av Hundesundet. Det er gjennomført beregninger og vurderinger på hvilke effekter et nødoverløp vil ha på badevannskvalitet, samt effekten av ekstra tilførsel av urensset avløpsvann på området.

Det er tatt utgangspunkt i tre ulike scenarier for vurderingene.

- A: Overløpet er i bruk 1 time med maksimal belastning (3.6 m³/minutt).
- B: Overløpet er i bruk i 5 timer med middels belastning (1.35 m³/minutt).
- C: Overløpet er i bruk 10 minutter med maksimal belastning (3.6 m³/minutt).

Samtlige scenarier behandles i denne rapport som enkelthendelser i et år.

Hundesundet er en smal og grunn vik mellom Fornebu og Snarøya. Vannutskiftningen er meget begrenset i den innerste delen og skjer til stor del ved tidevannstransporter. Store deler av området består av bunnområder som helt eller delvis tørrelegges ved lavvann. Den har et maksimaldyp innerst på ca. 2 meter og derved vil bunnen ligge i fotosyntesesonen. Biomassen vil derfor kunne domineres av fastsittende alger. Det er observert tilfeller med høy produksjon av grønnalger i den indre delen, spesielt ved tidligere utslipp fra et overløp fra Fornebu flyplass, når dette ble tatt i bruk. Effekten var økt produksjon av grønnalger på bunn, som fløt opp og låg som et brun/grønt teppe på overflaten. Hundesundet er således en meget følsom resipient for tilførsler av avløpsvann.

Effekten på badevannskvaliteten:

For å beregne effekten av et nødoverløp er det brukt modeller for å beregne vannutskiftningen i Hundesundet og hvordan et nødoverløp kan påvirke den hygieniske vannkvaliteten. Avløpsvannet vil strømme ut fra ledningen ved land og ut i innerste del av Hundesundet som en liten bekk. Primærfortynningen vil være beskjeden mellom 2-4 ggr. i de først 100 meterne. Etter at det fortynnete avløpsvannet nådd ut i den innerste delen av Hundesundet vil det spres videre med de naturlige strømmene som domineres av tidevann, men hvor vindforhold kan ha svært stor betydning. Tidevannstrømmene fører vann ut- og inn i Hundesundet og typiske hastigheter er beregnet til 1- 2 cm/s, dvs. normalt meget svake strømhastigheter. Sterk vind kan dog vesentlig øke strømhastigheten, spesielt hvis vinden er omtrent parallell med Hundesundets lengdeakse.

Ved typiske strømhastigheter på 1-2 cm/s kan skyen med fortynnet avløpsvann redusere badevannskvaliteten til mindre egnet/uegnet (bedømt etter klassifiseringen til Norsk Folkehelseinstitutt) i opptil 2-3 døgn ved **scenario B og sannsynligvis også scenario A**. Ved sterk sol kan reduksjonen av bakteriekonsentrasjonen gå raskt og virkningen på vannkvaliteten i hovedsak være begrenset til sundets indre halvdel. Varigheten av perioden med dårlig vannkvalitet kan øke mye hvis lysforholdene er dårlige (vinterstid).

Ved sterk vind ut sundet vil vannfornyelsen øke og varigheten av påvirkningen av vannkvaliteten i Hundesundet reduseres med et døgn etter at utslippet er stoppet.

Ved scenario C er utslippsmengden betydelig mindre enn for A og B og virkningen i Hundesundet blir derfor mindre. Ved normale vindforhold vil effekten begrenses til den indre del av Hundesundet, mens vind som begunstiger rask uttransport vil også gi påvirkning av større deler av Hundesundet, samtidig som varigheten av denne tilstanden avtar.

Områdene nærmest utenfor Hundesundet vil også kunne bli berørte, men variere med strømforholdene og de ulike scenariene. Når vannutskiftningen er liten i Hundesundet vil badevannskvaliteten bli uakseptabel i indre del og etter hvert mindre god (i hele sundet) ettersom avløpsvannet brer seg vestover mot munningen. Utenfor Hundesundet vil vannkvaliteten bli forholdsvis lite berørt (mindre god), som følge av den lengre oppholdstiden inne i Hundesundet.

Avstanden fra utløpet av Hundesundet og sørsiden av Snarøysundet er ca. 700 m. Forutsettes at sørgående strøm beveger seg med 5-10 cm/s, tilbakelegges denne distansen på 2-4 timer, dvs. dette kan foregå i løpet av fallende tidevann. I tilfeller da fortynnet avløpsvann raskt strømmer ut av Hundesundet (særlig ved scenario B) kan det være risiko for at vann med høy bakteriekonsentrasjon bli transportert sørover og i en relativt kort tid (0,5-1 døgn) medfører mindre god badevannskvalitet ved Snarøysundet.

Ved scenario C er utslippmengden betydelig mindre enn for A og B og risikoen for påvirkning av vannkvaliteten utenfor Hundesundet blir også mindre. Ved lav-moderat strømhastighet forventes ikke noen effekt på vannkvaliteten utenfor Hundesundet.

Effekten av utslipp av næringssalter:

Ekstra tilførsel av næringssalter gir økt primærproduksjon i perioden mars til oktober (når lysforholdene ikke er begrensende for planteplanktonoppblomstringer). Mengden fosfor og nitrogen som blir tilført ved de tre scenariene er ikke tilstrekkelige for å ha effekter på Bærumsbassenget. Det er i Hundesundet som en kan forvente effekter.

I det grunne området betyr ekstra tilførsler av næringssalter økt planteplanktonproduksjon samt også økt produksjon av hurtigvoksende grønnalger. Oppblomstring av grønnalger er begrenset til sommersesongen. I biomasse vil grønnalgene gi betydelig mer karbon pr. mengde fosfor enn planteplankton. Produksjonen kan bli så stor at grønnalgene vil kunne danne flytende tepper i overflaten i de indre deler av Hundesundet.

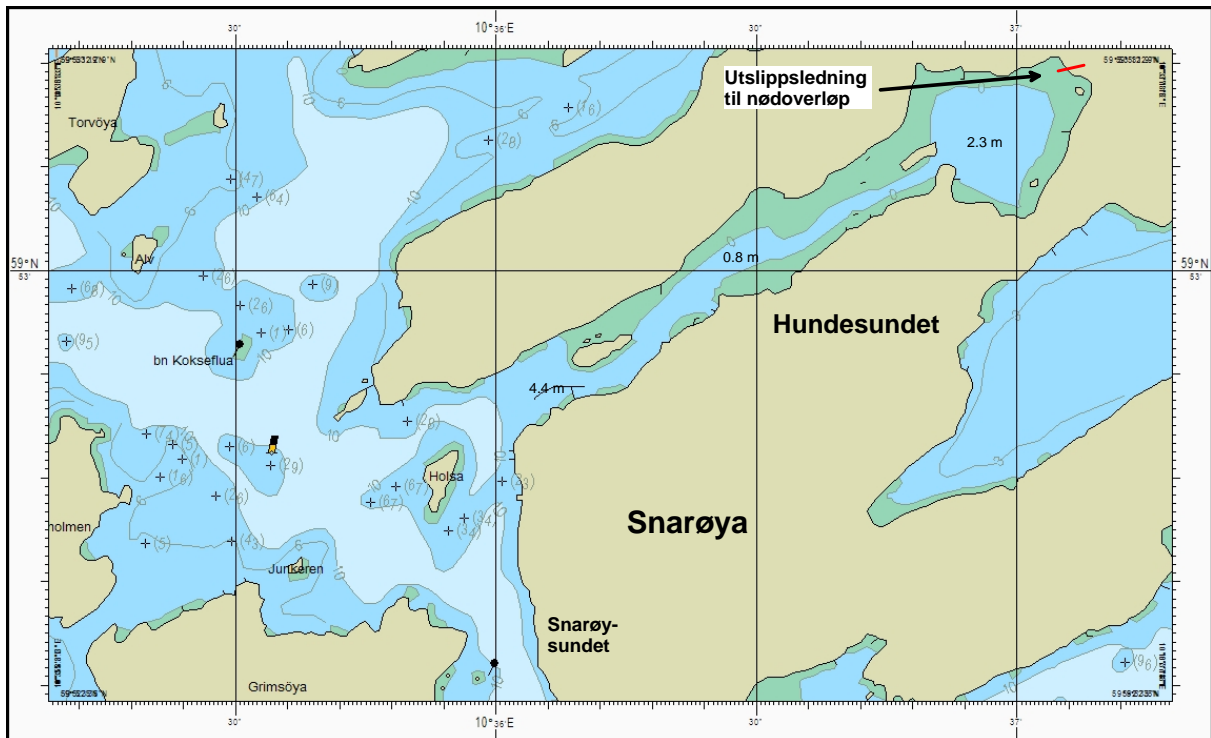
Scenario A og B: Oppblomstring av betydelige mengder planteplankton i perioden mars til oktober, men spesielt oppblomstring av fastsittende grønnalger (grønske) om sommeren. Sannsynligvis blir produksjonen av grønnalger så stor at de vil flyte opp til overflaten og danne et flytende teppe over store deler av indre Hundesundet. Denne situasjonen kan vare til ca. 14 dager etter utslippet.

Scenario C ventes å få beregnet effekt innerst i Hundesundet, men også den gir oppblomstring av fastsittende grønnalger.

1. Innledning

Rambøll Norge As planlegger et nødoverløp i Hundesundet for en pumpestasjon på Fornebu (**Figur 1**). Nødoverløpet er tenkt å brukes bare i tilfelle av driftstans i pumpestasjonen. Bruket av nødoverløpet er således begrenset til den tid det tar for å komme til pumpestasjonen å få gjort nødvendige tiltak.

Norsk institutt for vannforskning er bedt om å vurdere konsekvensene for miljøforholdene i Hundesundet og omgivelsene utenfor ved bruk av nødoverløpet.



Figur 1. Kart over Hundesundet med sannsynlig plassering av nødoverløpet.

2. Formål

Undersøkelsen går ut på å vurdere, i tre scenarier, konsekvensene for Hundesundet av bakterier og næringssalter (organisk stoff) på Hundesundet ved bruk av nødoverløp til en pumpestasjon på Fornebu.

- A. 1 time med maksimal belastning ($3.6 \text{ m}^3/\text{minutt}$ eller $216 \text{ m}^3/\text{time}$).
- B. 5 timers utslipp ved middel belastning ($1.35 \text{ m}^3/\text{minutt}$ eller $405 \text{ m}^3/5 \text{ timer}$)
- C. og eventuelt hvis A gir konsekvenser av betydning også 10 minutter med maksimal belastning ($3.6 \text{ m}^3/\text{minutt}$ eller $36 \text{ m}^3/10 \text{ minutter}$).

Det er altså scenario B som medfører størst belastning på Hundesundet. 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 og dagens tilstand

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 som typisk konsentrasjon. Det er imidlertid ikke usannsynlig at konsentrasjonen i tørrværsperioder kan bli betydelig høyere (5-6 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 av fosfor og nitrogen..

Stoff	Scenario		
	A	B	C
Fosfor	1.1 kg	2.0 kg	0.18 kg
Nitrogen	6.5 kg	12.2 kg	1.1 kg

Pumpestasjonen vil bli utstyrt med skumskjerm og rist, dvs. at kloakksjøppel holdes tilbake.

- Utslipet vil skje innerst i den nord-østre delen av Hundesundet (**Figur 1**).
- Diameter på ledningen i åpningen er oppgitt til 1000 mm (bruk av gammel overløpsledning)

3.1 Generelt om Hundesundet og Bærumsbassenget.

Hundesundet ligger ved sør-vestre delen av Fornebulandet (**Figur 1** og **Figur 2**). Det er i et grunt og innestengt område innerst i Hundesundet nødoverløpet vil etableres. Forbindelsen med Bærumsbassenget er trang. Ved lavvann ca. 15 meter bred. Hundesundets innerste del har et maksimaldyp på ca. 2.3 meter. Hundesundet er således et grunt område med smal åpning, noe som begrenser vannutskiftningen med Bærumsbassenget. Vannutskiftningen begrenses ytterligere av flytebygger i området.

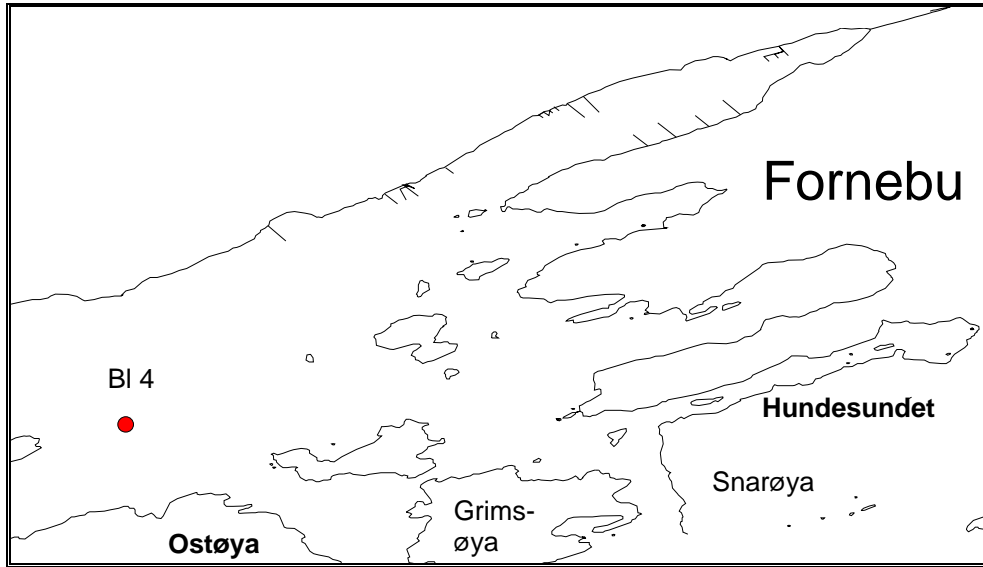
Arealet av Hundesundet er ca. 175 000 m², men da er tidevannssonen også medregnet. Arealet ved lavvann er ca. 80000 m². Den innerste delen av Hundesundet, altså det område som ledningen fra nødoverløpet vil munne ut i, har et volum på mellom 35000 m³ (antatt 1.5 meters middeldyp) ved laveste lavvann og 64000 m³ ved høyvann. Det er således relativt store bunnområder som mer eller mindre tørrlegges ved lavt vannstand. På sjøkart (nummer 401) kan det se ut som det ligger et grunnområde på 0.8 meter omtrent halvveis ut til munningen av Hundesundet, men sett ut fra et vannutskiftnings synspunkt vil en slik "terskel" neppe ha noen større betydning.

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 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 i tidsrommet 1962-2004. 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 strømmes 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 har fisken ikke noe sted å flykte til.

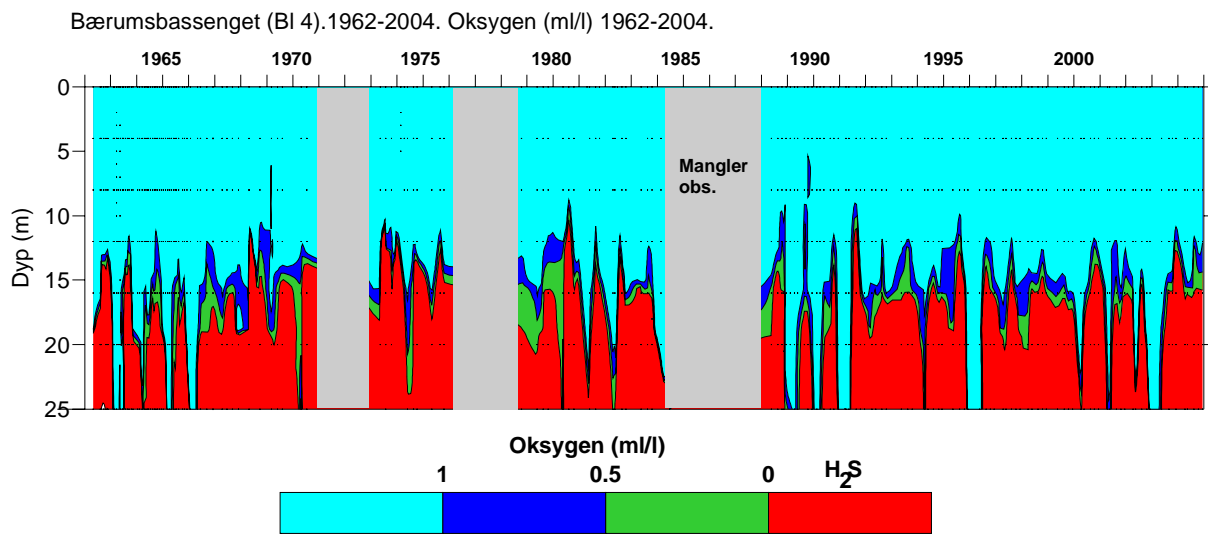
Fiskedød i bassenget er ikke vanlig, men kan således forekomme og skyldtes ikke lokale utslipp men det dårlige dypvannet i Bærumsbassenget. Det er ikke rapportert fiskedød i Hundesundet.

De generelle miljøforholdene har blitt bedre i Bærumsbassenget etter at det kommunale avløpsvannet har blitt rensert. Dette gjelder hele indre Oslofjord men forbedringen har hatt spesielt stor effekt i bl.a. Bærumsbassenget. Økende siktedyp og mindre planteplanktonbiomasse har forbedret levekårene for av fastsittende alger og ålegress, hvilket er grunnleggende for bedre forhold for fisk og andre organismer i grunnvannsområdene.

Hundesundet er spesielt følsomt for forurensninger som følge av et begrenset innelukket vannvolum. Området er kjent for å ha fått kraftig oppblomstring av grønnealger som sommerstid kan ligge som et teppe innerst i området. Dette ble registrert når utslipp fra et overløp fra den gamle flyplassen ble tatt i bruk.



Figur 2. Deler av Bærumsbassenget med Hundesundet. Hydrografiske og hydrokjemiske observasjoner er fra stasjon BI 4.



Figur 3. Oksygenforholdene i Bærumsbassenget (BI 4) 1962-2004. Bare konsentrasjoner lavere enn 1 ml/l er markerte (Observasjoner fra NIVA og Fagrådets overvåkingsprogram i indre Oslofjord).

4. Beregninger og resultater

4.1 Innlagring og primærfortynning av vann fra nødoverløpet

Avløpsvannet består av ferskvann og er dermed lettere enn sjøvann. Når det slippes ut gjennom en ledning fra land vil det strømme ut som en liten bekk i overflaten og blandes med omliggende sjøvann. Denne blandingsprosessen kalles primærfortynning. Det fortynnete avløpsvannet vil etterhånd bli blandet inn i hele det grunne området både gjennom horisontal blanding og entrainment (innblanding) fra de litt dypere vannmassene. Vind- og strømforholdene i området vil avgjøre hvor raskt denne blandningen vil skje.

For beregning av 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).

Vi mangler opplysninger om den vertikale sjiktningen i vannmassen i indre del av Hundesundet, men i det grunne området er det lite sannsynlig at det finnes en sjiktning som vil kunne påvirke fortynningsberegninger. Resultatet av tilsvarende beregninger for et utslipp av lignende størrelse på ca. 3 meters dyp i Holtekilen (Magnusson og Molvær, 2004) viser at avløpsvannet vil stige rett til overflaten og med en relativt beskjeden primærfortynning. I Hundesundet vil primærfortynningen ved et utslipp inne ved land bli mindre, men når det fortynnete avløpsvannet etter hvert fordeler seg i det innerste bassenget vil en kunne forvente en fortynning som omtrent tilsvarer et utslipp på bunn i området (ca. 2 meters dyp), dvs. en kan forvente en fortynning på mellom 3-5 ggr. ca. 50 -100 meter fra utslippet. ved avløpsvannsmengder mellom 3.5 - 1.35m³/minutt. Den etterfølgende spredning og fortynning av avløpsvannet vil foregå i overflatelaget og avhenge mye av vind- og strømforholdene.

4.2 Spredning av fortynnet vann fra nødoverløpet – beregning av konsentrasjoner

Vi tar utgangspunkt i resultatene i det foregående kapitlet, dvs. at avløpsvannet nådd ut i den innerste delen av Hundesundet. 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 Hundesundet 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

Avløpsvannet vil inneholde betydelige mengder bakterier. Etter at avløpsvannet har nådd overflata vil konsentrasjonen av TKB avta pga. fortykning og desimering¹. Den beregnede fortykningen vil variere med størrelsen av koeffisienten for turbulent blanding som varierer fra sted til sted og med tiden. Vi velger å følge EPAs anbefaling for innelukkede farvann og bruker en konstant koeffisient som $0.0003 \text{ m}^{2/3}/\text{s}$. 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 T_{90}^2 mye brukt, og for vinterhalvåret (her regnet som oktober-mars) har vi brukt $T_{90}=18$ timer og $T_{90}=12$ timer i sommerhalvåret (her regnet som april-september) når lyset er sterkere.

For klassifisering av den hygieniske vannkvaliteten brukes kriteriene utgitt av det Norske Folkehelseinstituttet (instituttets webside), se **Tabell 2** og **Tabell 3**.

Tabell 2. Klassifisering av den hygieniske vannkvaliteten (jfr. Norsk Folkehelseinstitutt)

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

Tabell 3. Metode for vurderingen av resultatene (jfr. Norsk Folkehelseinstitutt)

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

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%.

Bruk av modellen SMS – simulering av sirkulasjon og vannutskiftning

For å simulere sirkulasjonen i overflatelaget (0-2 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.

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

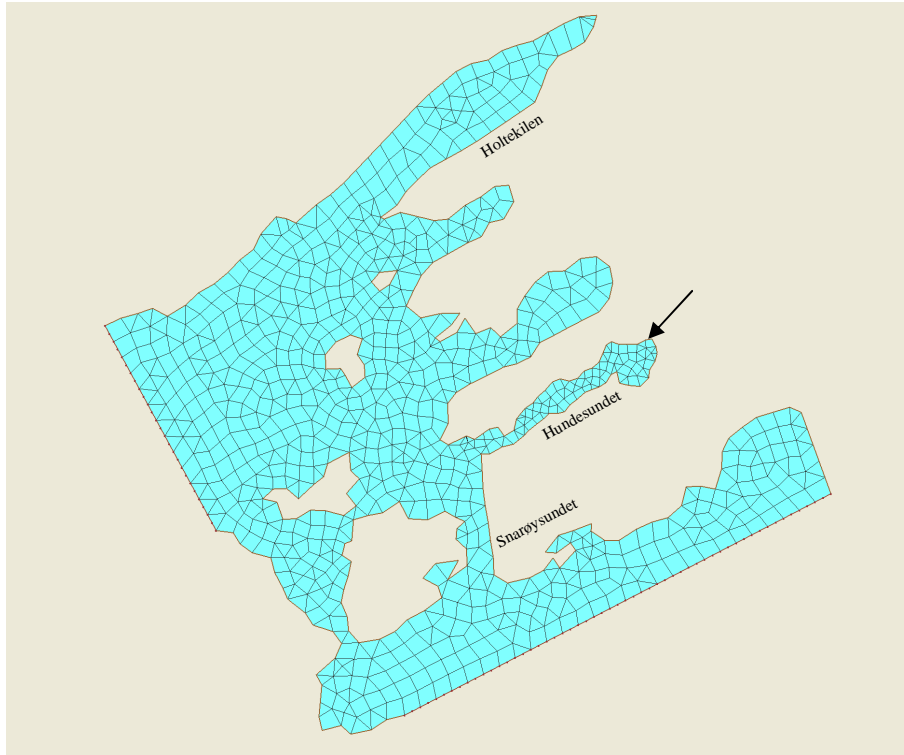
$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0$$

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

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

- 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 = Vanddyb
- 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 4** viser nettverket som ble benyttet for beregningene. Merk at gridet ikke inkluderer vestre delen av Bærumbassenget og bare et mindre fjordareal sør for Snarøysundet.



Figur 4. Nettverket eller gridet i RMA2-modellen for simulering av sirkulasjon. For hver trekant eller kvadrat er det gjort beregninger av vannstand, strømhastighet og strømrretning i 6-8 punkt. Nødverløpet er vist med en pil.

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. Derimot må man være forsiktig med å tolke strømhastighetene absolutt, noe som i så fall ville forutsette en inngående kalibrering av modellen.

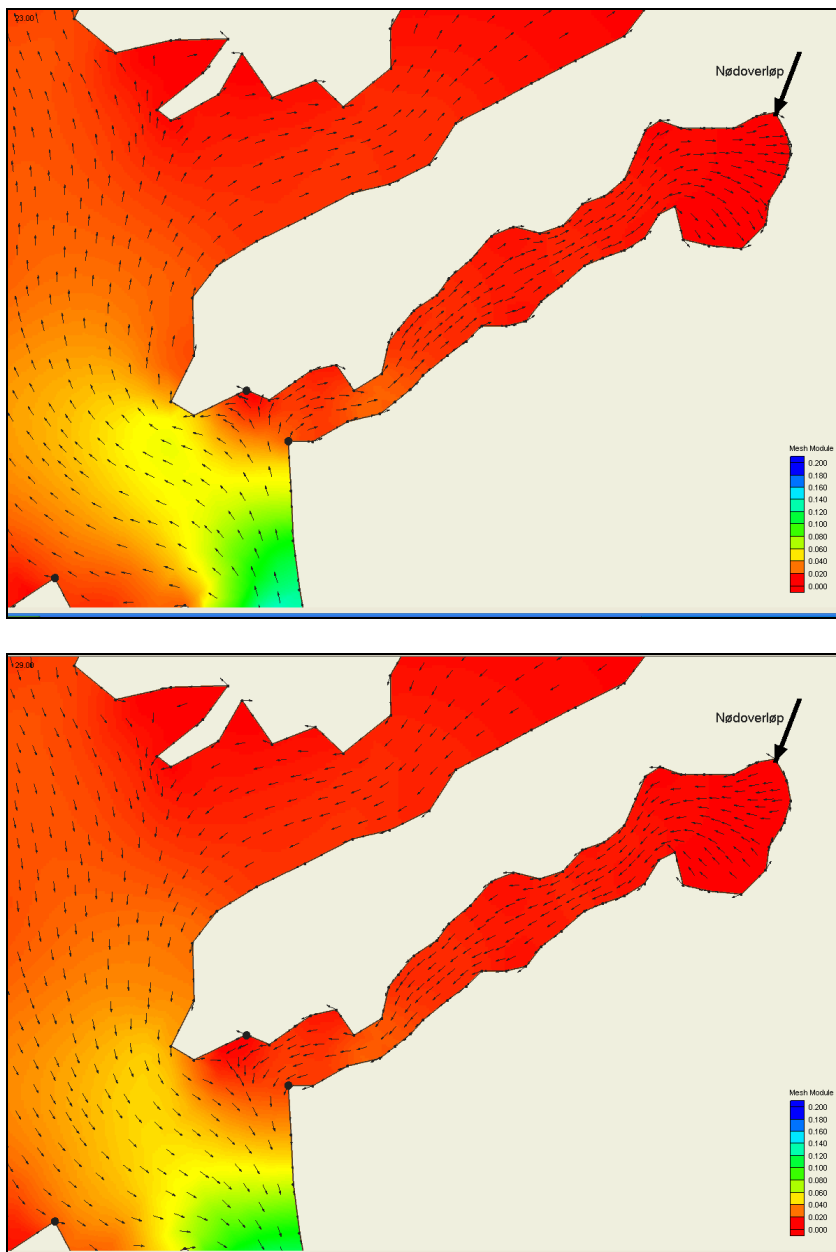
Modellen må gis verdier for de turbulente utvekslingskoeffisientene og for bunnfriksjons-koeffisienten Mannings n . Turbulens og friksjon varierer med strøm- og bunnforholdene, og er samtidig en egenskap ved selve bevegelsen. De er følgelig svært vanskelige å bestemme nøyaktig. Oppgitte størrelser på 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 av kaier og strandsoner. 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 0.3 m og har valgt å simulere sirkulasjonen i et ca. 2 m dypt overflatelag. Modellen ble kjørt med halvdaglig tidevann i 72 timer med tidsskritt på 0.5 time, dvs. 6 tidevannsperioder.

4.2.2 Resultater

Simulering av sirkulasjonen med modellen SMS

Det er liten grunn til å vente at tidevannet i Hundesundet skal medføre sterk strøm fordi tidevannsvariasjonen bare er ca. 0.2-0.3 m, innstrømming eller utstrømming skjer over 6 timer fordelt over en ca. 2 m tykk vannsøyle og over hele sundets bredde. Fra simuleringen av de 6 tidevannsperiodene velger vi å vise situasjonen ved maksimal innstrømming og utstrømming (**Figur 5**). Typisk strømhastighet er 1-2 cm/s (0.01-0.02 m/s) og retningen er i alt vesentlig styrt av topografien, dvs. inn eller ut av sundet. Resultatene viser langsom vannutskiftning, men erfaring tilsier at sterk vind i sundets lengderetning i stor grad kan endre strømforholdene og dermed vannfornyelsen i Hundesundet.



Figur 5. Simulering av strømetning og strømhastighet i 0-2 m dyp ved innstrømmende (øverst) og utstrømmende tidevann (nederst). Ingen vind. Strømetningen er vist med piler og hastigheten med farger (se fargeskala nederst til høyre i figurene). I Hundesundet er hastigheten under 2 cm/s.

Beregning av vannkvalitet med modellen PLUMES

For Hundesundet tyder SMS-beregningene på at 1-2 cm/s er en nokså typisk strømhastighet, og dette er lagt til grunn for beregningene av spredning og konsentrasjon. **Figur 6** viser konsentrasjonen av bakterier ved økende avstand fra utslippet – ved utslipp av 60 l/s (scenario B: 3.6 m³/minutt) og av 22.5 l/s (scenario A og C: 1.35 m³/minutt), strømhastighet 2 cm/s og ved konstant turbulent blandingskoeffisient. Beregningene er gjort for en situasjon (her tenkt som tidsrommet april-september) med antatt moderat dødelighet av bakterier (T_{90} =12 timer) og en situasjon med relativt lav dødelighet (T_{90} =18 timer).

Avstanden fra utslippet til yttergrensen for Hundesundet er 1200–1300 m, og

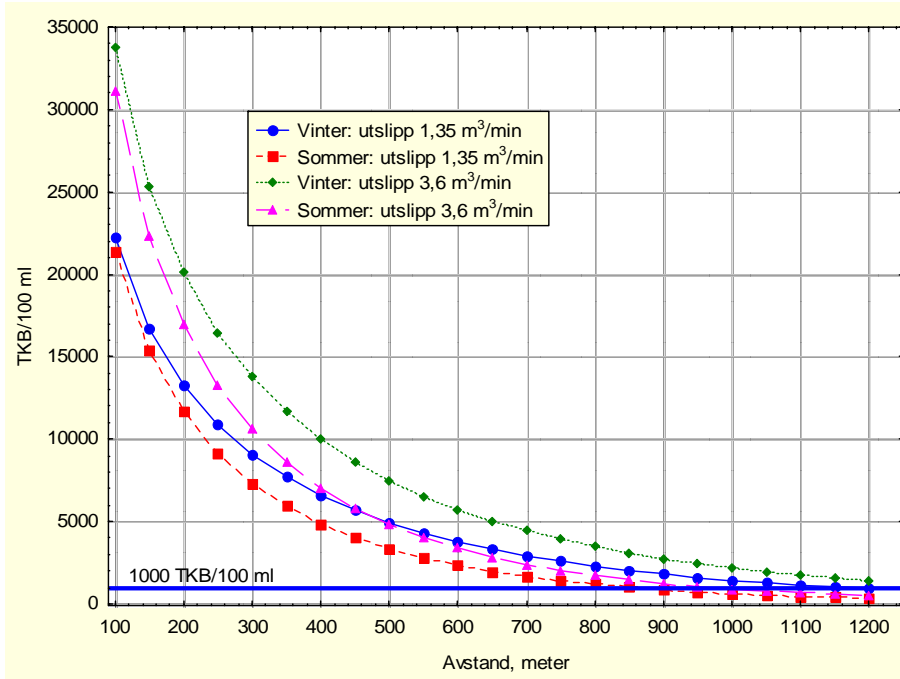
1. For scenario A og ved strømhastighet 2 cm/s forflytter avløpsvannet seg 70-80 m i løpet av 1 time før utslippet stoppes. Umiddelbart er det altså bare sundets aller innerste del som påvirkes.
2. For scenario B og ved strømhastighet 2 cm/s forflytter avløpsvannet seg ca. 300 m i løpet av 4 timer før utslippet stoppes. Avhengig av strømforholdene i det tidsrommet utslippet foregår (innstrømmende eller utstrømmende tidevann) vil det være den innerste 3-del eller 4-del av sundet som umiddelbart påvirkes.
3. For scenario C og ved strømhastighet 2 cm/s forflytter skyen med fortynnet avløpsvann seg ca. 10-15 m i løpet av 10 minutter før utslippet stoppes. Umiddelbart er det bare sundets aller innerste del som påvirkes.

Startkonsentrasjonen (3 mill. TKB/100 ml) ligger så høyt over grenseverdien på 1000 TKB/ml at det etter 1-2 timer ikke er stor forskjell i fortynning og konsentrasjon mellom scenariene A og B. Valg av turbulent blandingskoeffisient og dødelighet av bakteriene (desimering) er avgjørende for resultatet. For scenario C (utslipp av 36 m³ over 10 minutter) er vannmengden så liten at den effektive fortynningen i Hundesundet sannsynligvis vil være markert større enn for scenariene A og B (utslipp av hhv. 216 m³ og 405 m³) og konsentrasjonen av bakterier avta raskere og være betydelig lavere utover i sundet.

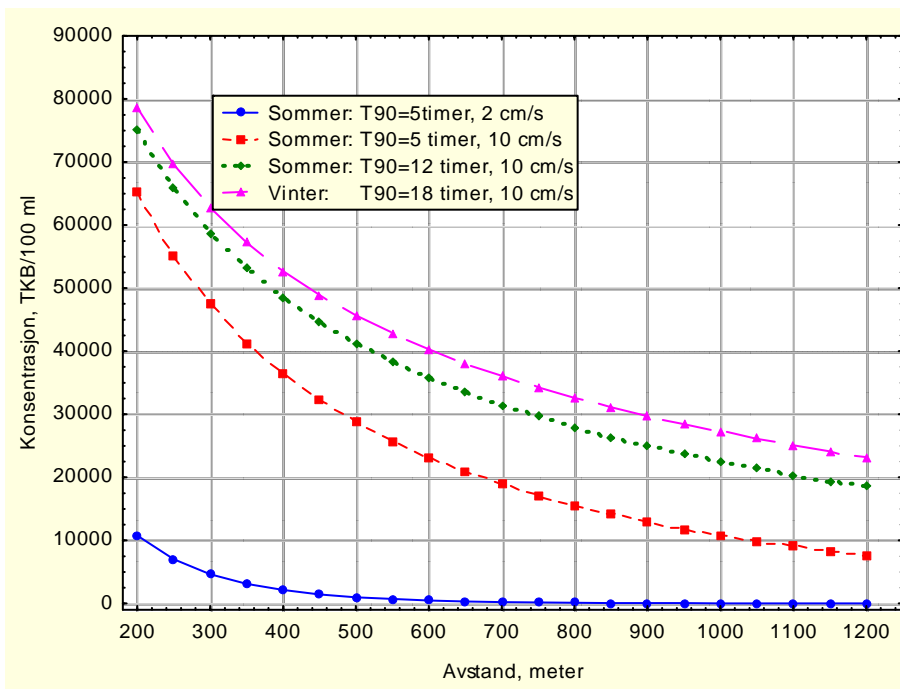
Strømhastigheten og dødeligheten av bakterier betyr altså mye for spredningen og konsentrasjonene – og varierer mye med tiden. For å illustrere variasjonsbredden ved kombinasjoner av høy dødelighet og sterk strøm er det kjørt beregninger med T_{90} =timer og med strømhastighet 10 cm/s (**Figur 7**). En bakteriedødelighet som tilsvarer T_{90} =5 timer kan være realistisk hvis et nødoverløp må startes en sommerdag med mye sol, og en strømhastighet på 10 cm/s kan være realistisk for situasjoner med sterk vind ut Hundesundet. Avløpsvannet vil da nå munningen av sundet på 3.3 timer.

Resultatene viser at:

- lysforholdene og vannutskiftningsforholdene når et evt. utslipp skjer vil ha stor betydning for virkningen på vannkvaliteten. Ved utslipp under sterkt sollys og stille vær kan virkningen i hovedsak bli begrenset til selve Hundesundet, og hovedsakelig i sundets indre del (spesielt ved scenariene A og C).
- Sterk strøm (vind) øker transporten ut av sundet og fører til at tilstanden i sundet bedres relativt raskt etter utslippet. På den annen siden vil konsentrasjonen av bakterier bli langt høyere ved utløpet av Hundesundet enn for situasjoner med svak strøm, og sannsynligheten for negativ påvirkning av badevannskvaliteten tilsvarende større.



Figur 6. Beregning av gjennomsnittlig konsentrasjon av TKB i skyen med fortennet avløpsvann ved utslipp av 1,35 m³/min. og 3,6 m³/min., strømhastighet 2 cm/s og ved T₉₀=12 timer og T₉₀=18 timer. Det kreves fortenning over 1-1,5 km (lang tid) før konsentrasjonen er under 1000 TKB/100 ml (øvre grense for vannkvalitetsklasse Mindre God).



Figur 7. Beregning av gjennomsnittlig konsentrasjon av TKB i skyen med fortennet avløpsvann ved utslipp av 3,6 m³/min (scenario A), strømhastighet 2-10 cm/s, ved en dødelighet av bakterier som i sommerhalvåret tilsvarer T₉₀=5-12 timer og i vinterhalvåret T₉₀=18 timer. Merk at skalaene på de to aksene er forskjellig fra **Figur 6**, at øvre grense for vannkvalitetsklasse Mindre God er 1000 TKB/100 ml. Bare en av kurvene når dette nivået.

Resultatene for scenariene A og B: kan oppsummeres:

- *Ved en typisk strømhastighet på 1-2 cm/s kan skyen med fortynnet avløpsvann redusere badevannskvaliteten (klassifisering Mindre egnet – Uegnet) i Hundesundet i opptil 2-3 døgn, mest ved scenario B. Lysforhold og vannutskiftningen på det aktuelle tidspunktet vil imidlertid være avgjørende for varigheten av tidsrommet med dårlig vannkvalitet. Hvis utslippet skjer på dagtid ved sterkt sollys kan påvirkningen i hovedsak begrenses til den indre halvdel av sundet.*
- *Ved situasjoner med stor vannutskiftning reduseres også tidsrommet med dårlig/uakseptabel vannkvalitet og tilstanden kan langt på vei være gjenopprettet 0.5-1 døgn etter at utslippet er stoppet.*

Ved scenario C er utslippsmengden betydelig mindre enn for A og B og virkningen i Hundesundet blir derfor mindre. Igjen er det risiko for at hele sundet får et tidsrom med uakseptabel vannkvalitet, men effekten av fortynningen blir større slik at tilstanden raskere forbedres enn ved A og B. Risikoen for påvirkning av vannkvaliteten utenfor Hundesundet blir også mindre.

Påvirkningen av områdene utenfor Hundesundet vil være svært variabel, både pga. ulikhet mellom scenariene og i forhold til dødelighet av bakterier og strømforholdene i og utenfor Hundesundet. Hvis vannfornyelsen i Hundesundet er svært liten på det aktuelle tidspunktet, kan vannkvaliteten i området utenfor Hundesundet bli forholdsvis lite berørt (vannkvalitetsklasse Mindre God) fordi avløpsvannet i relativ lang tid forblir inne i Hundesundet.

Avstanden fra utløpet av Hundesundet og sørsiden av Snarøysundet er ca. 700 m. Forutsettes at det fortynnede avløpsvannet ved sørgående strøm beveger seg med 5-10 cm/s, tilbakelegges denne distansen på 2-4 timer, dvs. dette kan foregå i løpet av fallende tidevann. I tilfeller da fortynnet avløpsvann raskt strømmes ut av Hundesundet (særlig ved scenario B og under vindpåvirkning) kan det altså være risiko for at vann med høy bakteriekonsentrasjon bli transportert sørover og i en relativt kort tid (0.5-1 døgn) medfører mindre god badevannskvalitet ved Snarøysundet.

4.3 Beregning av økning i belastning av næringsalter på Hundesundet

Nødoverløpet vil også tilføre Hundesundet næringsalter og organisk stoff. Tilførsler av næringsalter vil gi økt planteplanktonproduksjon og oppblomstring av grønnalger, hvilket kan gi dårligere siktedyp samt økt organisk belastning på bunn, noe som fører til økt oksygenforbruk og dårligere levevilkår for fisk og andre organismer i området. Effekten vil bli størst sommerstid når det er tilstrekkelig med lys for produksjonen, mens lysbegrensningen vinterstid (november til mars) vil begrense produksjonen av planteplankton. Således er sommerhalvåret den mest følsomme perioden for ekstra tilførsler av næringsalter. Ettersom Hundesundet er så grunt vil bunnen ligge i fotosyntesesonen. Med en begrenset vannutskiftning gir en ekstra tilførsel av næringsalter økt produksjon også på bunn, spesielt av hurtigvoksende grønnalger. Tidligere observasjoner ved utslipp til området innerst i Hundesundet har vist at grønnalgeveksten på bunn blir så stor at algene til slutt flyter opp til overflaten og legger seg der som et teppe. Det er sannsynligvis dette en vil oppleve når det nye nødoverløpet eventuelt vil bli brukt.

For å beregne effekten av nødoverløpet som potensiell økt biomasse av planteplankton 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.

Den stående biomassen i Bærumsbassenget ved stasjon B1 4 varierer mellom 2-4 µg/l i sommermånedene. Hele vannmassen mellom 0 til vel 10 meters dyp er produktiv, dvs. at vi kan anta at den fotosyntetiske sonen strekker seg omtrent til 10 meters dyp. Brukes observasjoner fra stasjon B1 4 til å beskrive dagens forhold og regner om til karbon, får man at mengden planteplankton innerst i Hundesundet varierer mellom 3 kg og 13 kg.

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 næringssalt og omregnet til karbon etter Redfield-forholdet (47:7:1, C:N:P) som er gjennomsnittlig forhold mellom karbon, nitrogen og fosfor i planteplankton. Det forutsettes at alt fosfor og nitrogen er biotilgjengelig.

Effekten av nødoverløpet på algeveksten i selve Bærumsbassenget ved ulike scenarier vil bli ubetydelig. Tilsvarende beregninger for et litt større nødoverløp i Holtekilen (Magnusson og Molvær, 2004), viste at tilførselen ville gi en økning på maksimalt ca. 3 % av karbonet i 0-10 meters dyp i bassenget ved det scenario som ga største mengden tilførte næringssalter. Effekten for nødoverløpet i Hundesundet vil bli noe mindre.

I Hundesundet vil bruk av overløpet gi store lokale effekter, spesielt i sommerhalvåret (**Tabell 4**). Planteplanktonbiomassen vil øke, men sannsynligvis vil oppblomstring av hurtigvoksende grønnalger dominere synsinntrykkene. Ved bruk av nødoverløpet i 10 minutter er det sannsynlig at bare indre delen av Hundesundet vil bli direkte berørt, men ved lengre tids bruk uansett scenario A eller B vil algeveksten i store deler av Hundesundet bli påvirket, avhengig av vindforhold.

Ettersom den største effekten vil bli oppblomstring av grønnalger, er mengden fosfor og nitrogen omregnet til karbon, basert på forholdstall mellom karbon, nitrogen og fosfor for grønnalger – 216:14:1 (Lobban and Harrison, 1994). **Tabell 5** viser beregninger for utslippsmengdene ved de tre scenariene. Vi kjenner ikke mengden fastsittende alger som normalt vokser i Hundesundet, men biomassen som grønnalgene vil gi opphav til ved et utslipp er betydelig større enn biomassen for planteplankton.

Varigheten av en slik oppblomstring av grønnalger vil kunne strekke seg over 14 dager, mens varigheten av en planteplanktonoppblomstring er begrenset til omtrent samme tid som oppholdstiden av vannmassen i Hundesundet, dvs. ca. 2-3 dager, men opp til 4-5 dager ved ugunstige vindforhold.

Tabell 4. Utslippsmengder ved ulike scenarier samt beregning av mengden planteplankton som karbon.

Stoff	Scenario		
	A	B	C
Fosfor	1.1 kg	2.0 kg	0.18 kg
Nitrogen	6.5 kg	12.2 kg	1.1 kg
Karbon (beregnet ut fra mengden fosfor)	45.1 kg	82 kg	7.8 kg
Karbon (beregnet ut fra mengden nitrogen)	37 kg	68 kg	6 kg
Beregnet naturlig mengde karbon innerst i Hundesundet	3-13 kg	3-13	3-13
Karbon(utslipp)/karbon 0- 2 m (%)	50-1500 %	90-2300 %	48-250 %

Tabell 5. Utslippsmengder ved ulike scenarier samt beregning av mengden grønnalger som karbon.

Stoff	Scenario		
	A	B	C
Fosfor	1.1 kg	2.0 kg	0.18 kg
Nitrogen	6.5 kg	12.2 kg	1.1 kg
Karbon (beregnet ut fra mengden fosfor)	240 kg	432 kg	40 kg
Karbon (beregnet ut fra mengden nitrogen)	100 kg	184 kg	17 kg

5. Litteratur

ECGL 1995: Surface water modelling 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.

Lobban, C.S and Harrison P.G (1994). Seaweed ecology and physiology. Cambridge University Press.

Magnusson, J. og Molvær, J., 2004. Vurdering av effekter av nødoverløp i Holtekilen. NIVA-rapport nr 4912.

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.