



FAGRÅDET

for vann & avløpsteknisk
samarbeid i indre Oslofjord

COWI

Teknokratisk mulighetsstudie

Sentralrenseanlegg øst / utvidelse Nordre Follo Renseanlegg / utvidelse Bekkelaget Renseanlegg

(16. februar 2018)

Forord

Rapporten er resultatet av et oppdrag utført av COWI AS for Fagrådet for vann & avløpsteknisk samarbeid i Indre Oslofjord (Fagrådet). Rapporten er ført i pennen av Ulf E. Røysted i COWI, men flere personer i COWI har vært involvert i arbeidet. Blant annet Hans Vebjørn Kristoffersen, Roar AG Magnussen og Bjarne Paulsrud.

Oppdraget ble startet opp høsten 2016 og har dermed pågått ca. halvannet år. Undertegnede har i denne perioden deltatt på flere møter med Fagrådet der arbeidet er blitt presentert og diskutert. Svanhild Fauskrud har vært kontaktperson hos Fagrådet.

Fredrikstad, 16. februar 2018

Ulf E. Røysted

INNHOLDSFORTEGNELSE

1. SAMMENDRAG	5
2. ORIENTERING OM UTREDNINGEN	8
2.1 BESKRIVELSE AV INDRE OSLOFJORD.....	8
2.2 BUNNEFJORDEN.....	9
2.3 OKSYGENKONSENTRASJON OG KLASSIFISERING AV BUNNVANN	10
2.4 FORURENSNINGSBELASTNING INDRE OSLOFJORD	11
2.5 AVLØPSRENSSEANLEGGENE RUNDT INDRE OSLOFJORD.....	11
2.6 TIDLIGERE UTREDNINGER	13
2.7 VURDERING AV EFFEKTER PÅ VANNKVALITETEN VED ENDREDE UTSLIPP I BUNNEFJORDEN OG BEKKELAGSBASSENGET – NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING (NIVA - 6.10.2017)	15
2.8 FOKUS FOR DENNE UTREDNINGEN	16
3. PROGNOSE FOR BEFOLKNINGSVEKST OG VANNMENGDER	17
3.1 GENERELT OM BEFOLKNINGSPROGNOSEER	17
3.2 BEFOLKNINGSFRAMSKRIVINGER INDRE OSLOFJORD	18
4. ALTERNATIVER FOR FREMTIDIG AVLØPSRENSING I INDRE OSLOFJORD	21
4.1 BYGGING AV ET NYTT OG UTVIDET NORDRE FOLLO RENSEANLEGG (NFR).....	24
4.1.1 <i>Alternativ NFR-1 (null-alternativet)</i>	25
4.1.2 <i>Alternativ NFR-2</i>	26
4.1.3 <i>Alternativ NFR-3 a, b, c og d</i>	27
4.1.4 <i>Alternativ NFR-4</i>	30
4.2 ET NYTT SENTRALRENSSEANLEGG ØST (SRØ).....	31
4.3 UTVIDELSE AV BEKKELAGET RENSEANLEGG (BRA) (ETTER UBRA-PROSJEKTET)	33
4.3.1 <i>Alternativ BRA-1</i>	34
4.3.2 <i>Alternativ BRA-2</i>	35
4.4 OPPSUMMERING OG KONKLUSJONER	36
4.5 ALTERNATIV LØSNING VED BRUK AV ELVEVANN	38
5. MULIGHETER FOR OVERFØRING AV AVLØPSVANN MELLOM RENSEANLEGGENE.....	41

VEDLEGG:

1. NIVA-RAPPORT: VURDERING AV EFFEKTER PÅ VANNKVALITETEN VED ENDREDE UTSLIPP I BUNNEFJORDEN OG BEKKELAGSBASSENGET
2. COWI-NOTAT: KOSTNADSVURDERING: NYTT RENSEANLEGG NFR ELLER MASTEMYR

Begrepsforklaringer:

Anoksiske forhold er forhold der oksygen ikke er til stede. Anoksiske vann kalles ofte for «dødt vann», fordi det ikke finnes synlig liv der.

Hypoksi er et begrep som beskriver mangel på oksygen.

Vi har bare en kommentar til formuleringen i pkt 3 på side 6 og side 16 : « *Noe som vi medføre at Bekkelaget renseanlegg må ytterligere utvides...* ». Denne formuleringen må nyanseres. Kapasiteten på utvidelsen av Bekkelaget er 270.000 pe og NFR har 40000 pe. Dette innebærer at neste kapasitetsutvidelse på Bekkelaget må framskyndes noen år, dersom befolkningsveksten i Oslo fortsetter. Det er imidlertid en erfaring av man stadig greie å øke kapasiteten med optimaliseringstiltak, at det kommer ny kompakt renseteknologi. Når det i framtiden er aktuelt med neste kapasitetsutvidelse kan det også være aktuelt å vurdere om dette kan tas på VEAS.

1. SAMMENDRAG

Vannkvaliteten i Indre Oslofjord er blitt betydelig bedre i løpet av de siste ti-årene. Den positive utviklingen flatet imidlertid ut tidlig på 2000-tallet, og i de senere år har vi registrert en svak økning i tilførselene til fjorden. Årsaken er at ledningsnettene og renseanleggene nå er belastet nær og tidvis over sin maksimale kapasitet.

Kraftig befolkningsvekst medfører behov for økt renskapasitet i området rundt Indre Oslofjord. Bekkelaget renseanlegg er i ferd med å utvide renskapasiteten. VEAS har konkrete planer om å utvide sin kapasitet. Nordre Follo renseanlegg er gammelt og har for liten kapasitet til å håndtere den forventede befolkningsveksten.

Det er registrert en forbedring i vannkvaliteten i Bekkelagsbassenget etter at utslippet av rensset avløpsvann fra Bekkelaget renseanlegg ble flyttet ned til 50 meters dyp. Tilsvarende anser man at utslippet av rensset avløpsvann fra Nordre Follo renseanlegg på 50 meters dyp i Bunnefjorden har en positiv effekt på vannkvaliteten i fjorden, da dette skaper sirkulasjon i stagnerende vannlag. Bunnefjorden er imidlertid svært dyp og man registrerer fremdeles uregelmessig utskiftning av vannet i fjorden, noe som i perioder gir dårlig vannkvalitet og oksygenvinn i dypere vannlag.

Beregninger utført med NIVA sin Oslofjordmodell viser at det vil ha en positiv effekt for vannkvaliteten i Bunnefjorden å flytte utslippspunktet ned på 150 meters dyp og øke utslippsmengdene. Beregningene gir ikke noe entydig svar på hvor mye ferskvann Bunnefjorden bør tilføres, men beregningene viser at en økning fra dagens 150 l/s (dagens utslippsmengde fra Nordre Follo renseanlegg) til 650 l/s, kombinert med at utslippsdybden endres fra dagens 50 meter til 150 meter, vil ha en svært positiv effekt på vannkvaliteten i Bunnefjorden.

Oppsummert viser modellberegningene følgende:

Bunnefjorden:

Nåværende situasjon:

Utslipp av 150 l/s (dagens utslipp) på 50 meters dyp (dagens utslippsdyp). Anoksiske forhold som varer i flere år.

Utslipp av 150 l/s (dagens utslipp) på 150 meters dyp. Har en positiv effekt på oksygenforholdene. Det utvikles fortsatt anoksiske forhold, men varigheten av disse er kortere.

Utslipp av 650 l/s (dagens 150 l/s + 500 l/s) på 150 meters dyp. Gir markant bedre vannkvalitet. I stedet for anoksiske forhold som varer i flere år, så får man en varighet på under et år, og oksygenkonsentrasjonen går aldri under null.

Utslipp av 1 150 l/s (dagens 150 l/s + 1 000 l/s) på 150 meters dyp. Her unngår man stort sett anoksiske forhold, bortsett fra i kortere perioder, enkelte år.

Bekkelagsbassenget:

Fram til år 2000 forekom det episoder med anoksiske vann helt opp til over terskeldypet mellom Bekkelagsbassenget og Bunnefjorden på 43 meter. Da utslippet fra Bekkelaget renseanlegg ble lagt til 50 meter ga dette en dramatisk forbedring. Oksygenforholdene blir dårlige i bunnvannet hvert år, med hypoksiske forhold, men oksygenkonsentrasjonen holder seg over 0 mg O₂/l.

Reduserte vannmengder med henholdsvis 500 og 1 000 l/s fører til en liten forverring av forholdene. Denne effekten kan imidlertid mer enn kompenseres ved å senke utslippspunktet fra 50 ned til 65 meter, eventuelt tilføre mer avløpsvann via Fagerlia fordelingsstasjon.

Denne mulighetsstudien har fokusert på å utrede muligheten for å bruke rensset avløpsvann til å forbedre vannkvaliteten i Indre Oslofjord, og Bunnefjorden spesielt.

Det er vurdert 3 ulike hovedalternativer:

1. Bygge et nytt og utvidet Nordre Follo renseanlegg omtrent der dagens anlegg er lokalisert.
2. Bygge et nytt renseanlegg, Sentralrenseanlegg Øst, på Mastemyr på grensen mellom Oppegård og Oslo. Nordre Follo renseanlegg legges da ned.
3. Legge ned Nordre Follo renseanlegg og overføre avløpsvannet til Bekkelaget renseanlegg. Noe som vil medføre at kapasiteten til Bekkelaget renseanlegg må ytterligere utvides (etter pågående UBRA-utvidelse) eller at mer avløpsvann overføres til VEAS.

For alle de tre hovedalternativene er det teknisk mulig å øke utslippsmengden i Bunnefjorden slik at man kan oppnå en forbedring i vannkvaliteten.

Av de tre hovedalternativene er alternativ 2, Sentralrenseanlegg Øst, vurdert som uaktuelt. Å lokalisere et nytt anlegg midt i mellom de to eksisterende anleggene vil være fordyrende, og vil sannsynligvis også være det mest krevende alternativet rent administrativt, i forbindelse med reguleringer osv.

Man kan trekke følgende konklusjoner fra utredningen:

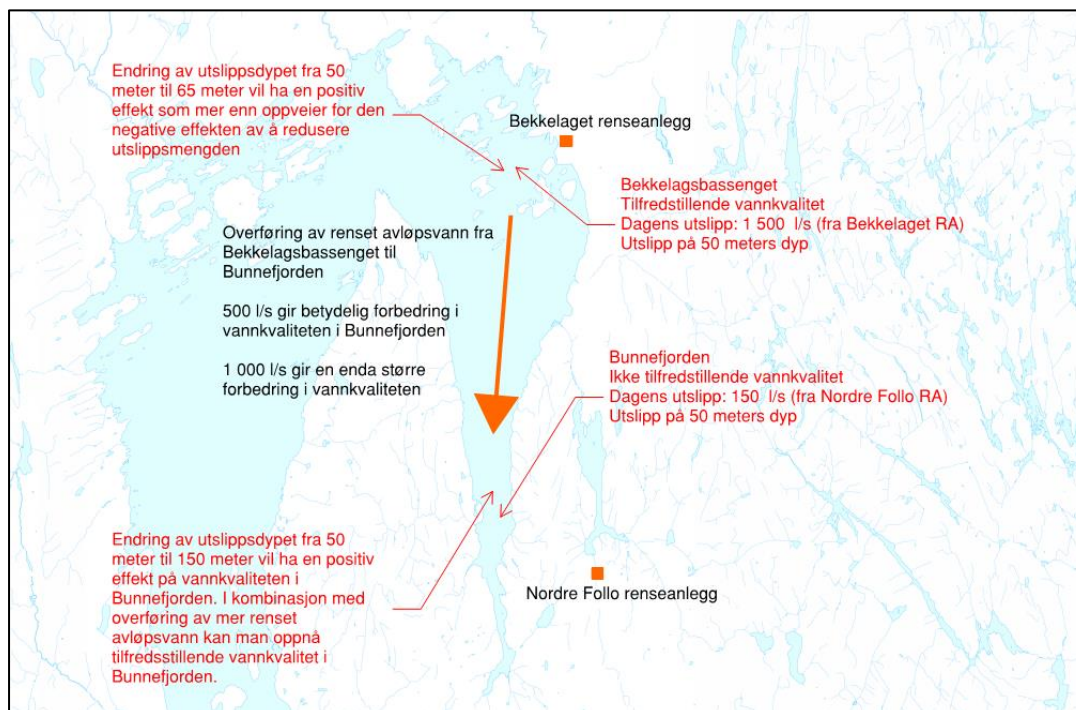
- ✓ Med dagens avløpsmengder i Indre Oslofjord Øst (det vil si avløpsmengdene fra Bekkelaget renseanlegg og Nordre Follo renseanlegg) er det mulig å oppnå kraftig forbedret vannkvalitet i Bunnefjorden, samtidig som vannkvaliteten i Bekkelagsbassenget opprettholdes. Dette er mulig ved å:
 - 1) Flytte utslippspunktet i Bunnefjorden ned på ca. 150 meters dyp, samt eventuelt å flytte utslippspunktet i Bekkelagsbassenget ned på 65 meters dyp.
 - 2) Overføre noe av utslippsmengden fra Bekkelagsbassenget til Bunnefjorden. I størrelsesorden 500 l/s.
- ✓ Det er altså ikke noe stort behov for å overføre avløpsvann til Indre Oslofjord øst fra VEAS rensedistrikt, men i en periode kan det være gunstig å øke avløpsmengden noe ved å fordele alt avløpsvann ved Fagerlia fordelingsstasjon til Bekkelaget.
- ✓ På sikt vil befolkningsveksten føre til at det er mer enn tilstrekkelig avløpsvann i Indre Oslofjord øst samlet sett. Det vil imidlertid være svært lenge til at Nordre Follo renseanlegg blir tilført nok avløpsvann til å alene dekke utslippsbehovet i Bunnefjorden, med dagens rensedistrikter.
- ✓ Det vil kreve mindre investeringer å transportere rensset avløpsvann fra Bekkelaget renseanlegg til 150 meters dyp i Bunnefjorden, enn å transportere tilstrekkelig urensset avløpsvann fra Bekkelaget rensedistrikt til Nordre Follo renseanlegg.
- ✓ De to mest aktuelle alternativene er:

Alternativ 1: Bygge et nytt og utvidet Nordre Follo renseanlegg omtrent der dagens anlegg er lokalisert. Anlegget kan bygges helt eller delvis i fjell. Rensset avløpsvann slippes ut på 150 meters dyp i Bunnefjorden.

Alternativ 3: Avvikle Nordre Follo renseanlegg og overføre avløpsvannet til Bekkelaget renseanlegg, hvilket medfører at kapasiteten til anlegget på et tidspunkt må økes, enten ved utvidelse av anlegget eller ved optimalisering, eventuelt ved å overføre mer avløpsvann til

VEAS. Renset avløpsvann transporteres via sjøledning fra Bekkelaget rensesanlegg til 150 meters dyp i Bunnefjorden.

- ✓ Av de to aktuelle hovedalternativene vil alternativ 1 kreve minst investeringer i transportanlegg. Kostnader transportanlegg alternativ 1 (nytt NFR): 108 millioner NOK. Kostnader for transportanlegg knyttet til alternativ 3 vil måtte forventes å bli ca. 100 millioner NOK dyrere eller mer.
- ✓ Økt renskapasitet vil uansett kreve de største investeringene. Når det gjelder kostnader knyttet til økt renskapasitet er det gjort en grov beregning av kostnader knyttet til å bygge et nytt Nordre Follo rensesanlegg i fjell. Beregning av kostnader knyttet til økt kapasitet ved Bekkelaget rensesanlegg er usikre. Det vil være behov for å ta i bruk ny og mindre plasskrevende renseteknologi. Det finnes lite erfaringstall å basere seg på ved en eventuell kostnadsvurdering.
- ✓ Det som taler for alternativ 3 er at man vil kunne oppnå en stordriftsfordel. Det kan være billigere å drifte to rensesanlegg (VEAS og BRA) enn tre rensesanlegg (VEAS, BRA og NFR).
- ✓ Det som taler for alternativ 1 er:
 - Forholdsvis lave kostnader for transportanlegg.
 - Tidsaspektet. Det tar lang tid å planlegge, prosjektere og bygge et nytt rensesanlegg.
 - Fremtidig fleksibilitet. Hvis man en gang i fremtiden ønsker å redusere antall rensesanlegg, er det ikke noe i veien for at man på et senere tidspunkt kan utvikle NFR og overføre avløpsvannet til BRA.
- ✓ Det bør også nevnes at det er en annen mulighet som ikke er utredet, nemlig å hente ferskvann fra en elv og pumpe dette ferskvannet ned på 150 meters dyp. Gjersjøelven har tilstrekkelig vannføring og utløpet har kort avstand til det dypeste området i Bunnefjorden.



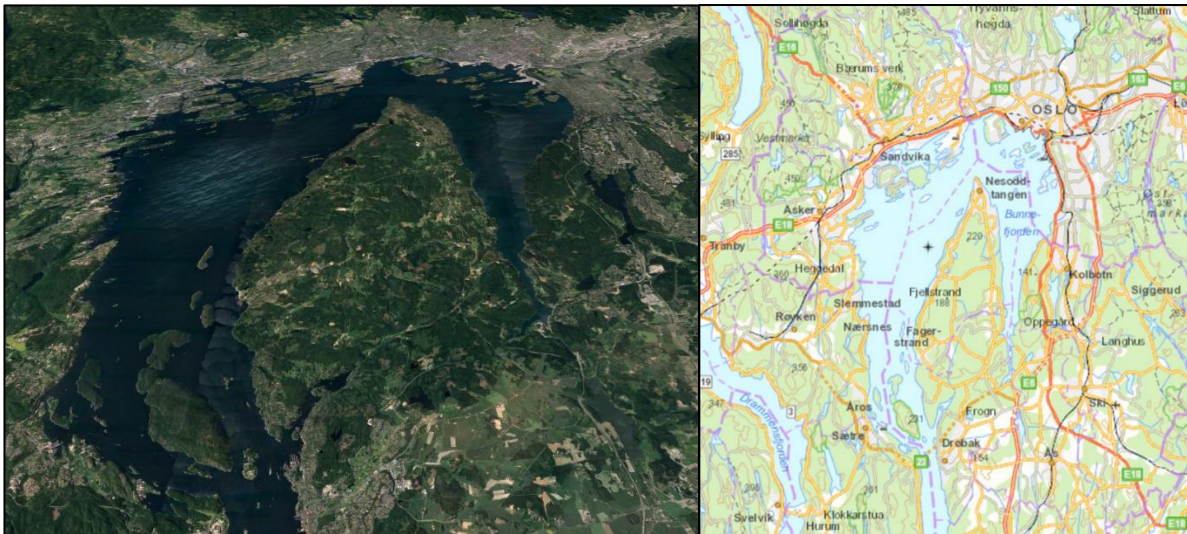
Figur 1.1: Systemskisse Indre Oslofjord.

2. ORIENTERING OM UTREDNINGEN

2.1 BESKRIVELSE AV INDRE OSLOFJORD

Oslofjordregionen utgjør landets nærings- og befolkningsmessige tyngdepunkt. Fjorden og kystsonen er også et av landets mest benyttede rekreasjonsområder. Indre Oslofjord er den delen av Oslofjorden som er lokalisert nord for det omkring en kilometer smale Drøbaksundet. Den strekker seg helt inn til havnebassenget foran Rådhuskaia i Oslo by. Indre Oslofjord er fra 3 til 7 km bred.

På vestsiden drenerer flere mindre vassdrag til Indre Oslofjord. De største elvene er Lysakerelven, Akerselva og Sandvikselva. På østsiden renner elvene Alna (fra Lillomarka), Ljanselva (fra Østmarka), Gjersjøelven og Årungsølven ut i fjorden.



Figur 2.1.1 og 2.1.2: Indre Oslofjord.

Fjordens spesielle form, med det trange innløpet og den grunne terskelen ved Drøbak påvirker inn- og utstrømningsforholdene. Dessuten innvirker fjordens topografi, med grunner og dyprenner, topografien på land, inkludert omfanget av ferskvannstilførsler, samt strømningsforhold utenfor fjorden. Sammen med klimaforholdene har alle disse faktorene betydning for miljøet i fjorden. Miljøet i Indre Oslofjord er bestemt av et komplisert samspill mellom naturgitte forutsetninger og direkte og indirekte menneskeskapte påvirkninger.

Det er flere dypvannsbassenger innover i fjorden adskilt med terskler som hindrer fornyelse av vannet i dype områder av fjorden. Disse dypene kalles terskeldyp.

Vannkvaliteten i Indre Oslofjord har blitt betydelig bedre i løpet av de siste ti-årene på grunn av utbygging av ledningsnett og tunneler for oppsamling og transport av avløpsvann, og bygging og drift av effektive avløpsrensaneanlegg. Tilførselen av næringsstoffene fosfor og nitrogen, og belastningen med organiske stoff til fjorden, var på sitt høyeste i 1970-årene. Det samme gjelder for mange metaller og organiske miljøgifter. De reduserte tilførselene har gitt en langt renere fjord med stadig mindre algevekst og økt siktedyp i hele Indre Oslofjord. Den positive utviklingen flatet imidlertid ut tidlig på 2000-tallet, og i de senere år kan vi registrere en svak økning i tilførselene til fjorden. Årsaken er at ledningsnett og renseanleggene nå er belastet nær og tidvis over sin maksimale kapasitet.

2.2 BUNNEFJORDEN

Bunnefjorden er den delen av Oslofjorden som ligger øst for Nesodden og Frogn, vest for Oslo, Oppegård og Ås. Bunnefjorden ligger i Ås, Nesodden, Frogn, Oppegård og Oslo kommuner. Bunnefjorden er adskilt fra Vestfjorden med en bred terskel (50 meter dyp) mellom Nesoddtangen og Bygdøy. Fjorden er på det dypeste 154 meter. Det er sterke brukerinteresser knyttet til Bunnefjorden i form av bading, fiske og friluftsliv.



Figur 2.2.1: Stupetårnet på Ingierstrand i Bunnefjorden.

Bunnefjordens dypvann har fremdeles et lavt innhold av oksygen i kortere eller lengre perioder. Terskelen medfører uregelmessig utskiftning av vannet i fjorden, noe som i perioder gir dårlig vannkvalitet og oksygenvinn i dypere vannlag. Det er derfor en utfordring å vurdere "naturtilstanden" til denne delen av Indre Oslofjord. Man må ha et realistisk forhold til hvor god økologisk tilstand det er mulig å oppnå. Naturtilstanden i denne sammenheng kan beskrives som å være tilstanden slik den ville vært hvis ikke menneskelig aktivitet hadde påvirket vannforekomsten.

Vanndirektivet stiller ikke krav til at det skal oppnås oksygenkonsentrasjoner som tilfredsstillende god økologisk status i de dypvannsområder som fra naturens side blir vurdert å ha hatt oksygenfrie forhold eller svært lave oksygenkonsentrasjoner. Dette antas å gjelde for enkelte dyplag i Bunnefjorden og mindre dypområder i Bærumsbassenget.

I Fagrådet rapport nr. 106, Naturtilstanden i Indre Oslofjord, utgitt i 2010, presenteres resultater fra en "ny" metode. Metoden går ut på å utføre miljøstratigrafiske analyser, dvs. analyser av biologiske- og geokjemiske parametere i daterte sedimentkjerner fra havbunnen. "Naturtilstanden" i de undersøkte deler av indre Oslofjord er definert til å representere miljøforholdene på 1700-1800-tallet.

I Bunnefjorden tiltok den negative utviklingen på begynnelsen av 1900-tallet og endte med etablering av anoksiske bunnsedimenter på 1940-tallet, noe som har vart frem til i dag.

Konklusjonen fra undersøkelsene var at miljøtilstanden i Bunnefjorden pr. 2010 var betydelig dårligere enn naturtilstanden.

Uansett vil det være slik at "naturlige" forhold vil påvirke vannkvaliteten i Bunnefjorden. Som et eksempel kan det nevnes at vindforholdene har betydning for utskiftningen. Lengre perioder med sterke nordlige vinder gir dypvannsfornyelse i fjorden. Et værmønster med mer sørvestlige vinder, med tilhørende mildere og fuktig luft innover Sør-Norge, svekker den viktige dypvannsfornyelsen som vedvarende kalde nordlige vinder skaper.

Etter år med effektiv fornyelse av bunnvannet vil oksygenkonsentrasjonene øke og oksygenforbruket vil deretter gradvis reduseres oksygenkonsentrasjonen inntil neste episode med dypvannsfornyelse. Tilførselene av rensed avløpsvann fra Nordre Follo rensesanlegg, som slippes ut på 50 meters dyp, ansees å ha en positiv effekt på vannkvaliteten i Bunnefjorden da dette skaper sirkulasjon i stagnerende vannlag. En slik effekt har en observert i Bekkelagsbassenget etter utbyggingen av Bekkelaget rensesanlegg. Beregninger viser imidlertid at effekten ville vært større om utslippsdypet var på for eksempel 150 meter.

2.3 OKSYGENKONSENTRASJON OG KLASSIFISERING AV BUNNVANN

Oksygenkonsentrasjonene i bunnvannet i norske fjorder er hovedsakelig relatert til vannutskiftningsfrekvens, samt tilførsel og nedbrytning av organisk materiale (som er oksygenkrevende). Vannutskiftningen vil variere fra fjord til fjord, blant annet ut i fra fjordens utforming (innsnevninger, terskler og fjordens dybde), mengden ferskvannstilførsel (elver, avløp mm), vindretning og strømforhold. Tilførsel og nedbrytning av organisk materiale skyldes vanligvis økt planteplanktonproduksjon (eutrofiering) i overflatevannet eller økt tilførsel av organisk materiale fra avløp/avrenning. Nedbrytning av organisk materiale er svært oksygenkrevende. Stor tilførsel av organisk materiale og dårlig vannutskiftning i bunnvannet vil dermed gi dårlige livsbetingelser for organismene som lever der. Tilstandsklasser for oksygenkonsentrasjonen i dypvannet er vist i tabell 2.3.1.

Parameter	I Svært god	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært Dårlig
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

Tabell 2.3.1. Klassifisering av oksygen i dypvann (Veileder 02:2013 - revidert 2015). * Beregnet ved saltholdighet 33 og temperatur 6 °C.

Dypvannet i Indre Oslofjord fornyes vanligvis gjennom tilførsel av tyngre sjøvann fra Ytre Oslofjord og Skagerrak om vinteren og tidlig vår. For at dette skal skje må vannet som strømmer inn i fjorden ha større tetthet enn vannet som allerede er i fjorden.

I Indre Oslofjord reduseres tettheten gjennom en langsom blanding av ferskt overflatevann med saltene og tyngre underliggende vann. Denne prosessen skjer fem ganger raskere i Vestfjorden enn Bunnefjorden, og medfører dermed at bunnvannet i Vestfjorden lettere skiftes ut.

Raskere blanding (med påfølgende tetthetsreduksjon) i Vestfjorden kan ha flere mulige årsaker:

- Terskel-initierte tidevannsbølger («indre bølger» på terskeldyp) som skaper turbulens og medfører økt blanding av ferskt overflatevann med saltene underliggende lag. Sistnevnte finnes kun i Vestfjorden, ikke i Bunnefjorden.

- Vind-generert overflatestrøm: størst effekt på Vestfjorden da lengderetning av fjorden og rådende vindretninger samsvarer (iht. met.no er rådende vindretning sør-sørvest på Østlandet, med noe større variasjon på vinteren).
- Skipstrafikk (hovedsakelig inn/ut Vestfjorden): store dyptgående båter lager turbulens og bølger.
- Tidevannsstrømmer: størst effekt nær ut og innløpet av fjorden.

I tillegg vil metrologiske faktorer, slik som vindretning og vindstyrke være av avgjørende betydning. Lange, kalde vintre med vind fra nord er gunstig for å få til en dypvannsutsiftning i fjorden. Varmere vintre med redusert nordavind vil på den annen side ha negativ innvirkning på fjordens vannutsiftning. Størrelsen av vannutsiftningen vil kunne variere fra år til år. I noen tilfeller, hvor tetthetsforskjellen mellom to bassenger ikke er store nok til å medføre en fullstendig dypvannfornyelse, vil det likevel kunne skje utsiftninger av de mellomliggende vannmasser.

2.4 FORURENSNINGSBELASTNING INDRE OSLOFJORD

Avløpsvann fra industrien og fra befolkningen har ført til en betydelig forurensning i Indre Oslofjord. Ved Drøbak danner sjøbunnen dessuten en terskel og utskiftninga av vannet i fjorden innenfor er derfor liten. Dette har ført til oksygenmangel på dypt vann i Indre Oslofjord. Det gjelder særlig Oslofjordens innerste, sørgående arm, Bunnefjorden. Det er gjort en rekke tiltak for å dempe forurensninga og rydde opp i Indre Oslofjord de seinere åra.

Vanndirektivet krever god økologisk status i alle vannforekomster innen 2021. På grunn av belastningen fra utslipp av oksygenforbrukende stoffer og begrenset dypvannsutsiftning innenfor terskelen ved Drøbak, er det ingen av Indre Oslofjords dypvannsområder som tilfredsstiller dette kravet i dag. Størst utfordring er det knyttet til Bunnefjorden, som ser ut til å trenge ekstraordinære tiltak for at kravet om god økologisk status skal nås.

Med forventet økt belastning fra renseanleggene vil disse utfordringene øke. Den antatt største kilden til oksygenforbruket i dypvannet er renseanlegget VEAS med over 50 %, men også Bekkelaget og Nordre Follo renseanlegg, hovedoverløp på ledningsnett og de store elvene har store tilførsler av oksygenforbrukende stoffer til fjorden. Betydningen av fosfor, organisk stoff og nitrogen fra de ulike kildene varierer betydelig

2.5 AVLØPSRENSSEANLEGGENE RUNDT INDRE OSLOFJORD

Rundt Indre Oslofjord har vi Norges to største avløpsrenseanlegg, henholdsvis VEAS (Vestfjorden Avløpssekskap) og Bekkelaget renseanlegg (BRA). I tillegg har vi Nordre Follo renseanlegg (NFR) og en del andre "mindre" renseanlegg.

Tabellene under viser nøkkeldata for de tre store renseanleggene.

Renseanlegg	Antall personer	Årlig renset avløpsmengde	Gjennomsnittlig utløpsmengde
VEAS	ca. 600 000 personer	ca. 107 millioner m ³	ca. 3 500 l/s
Bekkelaget renseanlegg	ca. 300 000 personer	ca. 50 millioner m ³	ca. 1 500 l/s
Nordre Follo renseanlegg	ca. 40 000 personer	ca. 5 millioner m ³	ca. 150 l/s

Tabell 2.5.1.

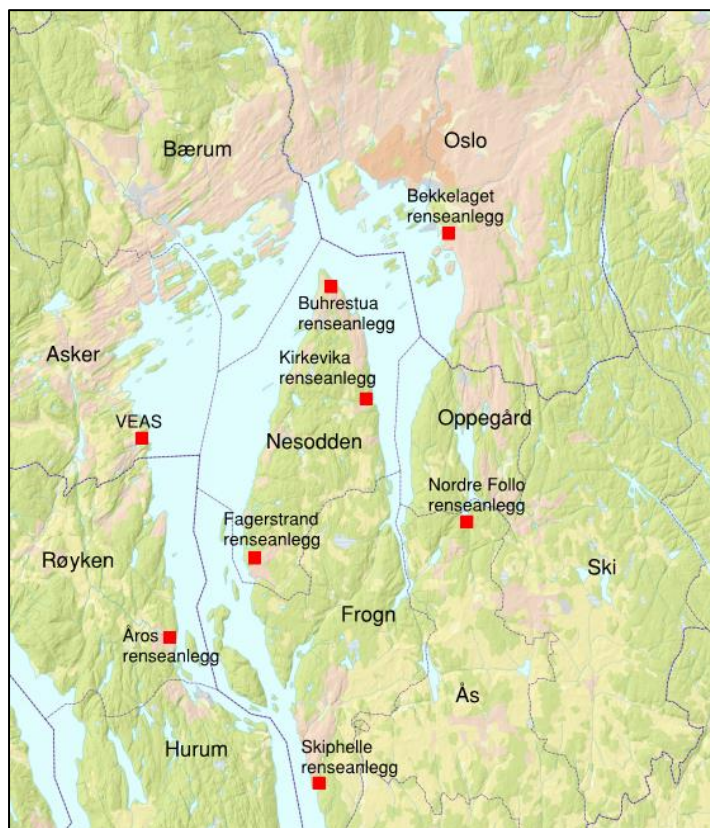
Renseanlegg	Gjennomsnittlig utløpsmengde (l/s)	Utslippsdyp	Resipient	Vannkvalitet i resipient
VEAS	3 300	42	Lysakerfjorden	Tilfredsstillende
Bekkelaget	1 500	50	Bekkelagsbassenget	Tilfredsstillende
Nordre Follo	150	50	Bunnefjorden	<u>Ikke</u> tilfredsstillende

Tabell 2.5.2. Utslippsdyp og resipient de tre store renseanleggene i Indre Oslofjord.

VEAS er landets største avløpsrenseanlegg og er lokalisert i Asker. VEAS blir tilført avløpsvann fra deler av Oslo nord (fordeling mellom VEAS og BRA på Fagerlia), Oslo sentrum, Oslo vest, Bærum, Asker, deler av Røyken og deler av Nesodden. VEAS har planer om betydelige utvidelser i årene fremover for å håndtere den kraftige befolkningsveksten.

Bekkelaget renseanlegg er landets nest største avløpsrenseanlegg og er lokalisert i fjellet under Bekkelaget på østsiden av Indre Oslofjord. Anlegget har i dag en kapasitet på ca. 4 000 l/s, men skal etter UBRA-utbyggingen ha en kapasitet på ca. 9 000 l/s. Det nye utvidede anlegget skal stå ferdig i 2020. Utvidelsen er et resultat av at renseanlegget er overbelastet og ikke oppfyller nye miljøkrav. En ca. 1 kilometer lang utslippstunnel er sprengt ut under Bekkelagsbassenget og avsluttet i en utslippsledning med diffusor på 50 meter dybde. Renseanlegget tar imot avløpsvann fra Oslo syd/øst, deler av Oslo nord (fordeling mellom VEAS og BRA på Fagerlia), Oppegård nord og Nittedal.

Nordre Follo renseanlegg er gammelt og er overbelastet. Det er mulig å foreta visse utbedringer av anlegget slik at man kan holde liv i det til ca. 2030-2035, men innen den tid må en ny renseløsning være på plass. Anlegget tar imot avløpsvann fra Ski, Ås nord og Oppegård syd.



Figur 2.5.1: Avløpsrenseanleggene rundt Indre Oslofjord.

2.6 TIDLIGERE UTREDNINGER

Fagrådet for vann- og avløpsteknisk samarbeid i Indre Oslofjord, heretter kalt Fagrådet, er en samlende sektorinstans for alle kommunene i regionen. Fagrådet initierte i 2008 arbeidet med å legge en strategi for hvordan regionen samlet kan møte utfordringer knyttet til vannkvalitet, vann- og avløpsanleggene og spesielt befolkningsøkningen. Prosjektet fikk arbeidstittelen STRATEGI 2010.

Norsk institutt for vannforskning (NIVA), Universitet for miljø og biovitenskap (NMBU), Norsk institutt for by- og regionforskning (NIBR) og meteorologisk institutt (met.no) fikk oppdraget med å utarbeide en strategi for arbeidet med å løse de utfordringene som vann- og avløpssektoren står overfor. Arbeidet endte opp i flere rapporter.

- ✓ Fagrådsrapport 107: *STRATEGI 2010 - Strategiplan* - (Christian Vogelsang, Oddvar Lindholm, John Arthur Berge, Eirik Førland, Jan Magnusson, Birger Bjerkeng, Dag Juvkam, Tone Merete Muthanna, Ingun Tryland, Zuliang Liao og Helge Liltved, 2010).
- ✓ Fagrådsrapport 110: *Strategi 2010. Effekter på indre Oslofjord av endrede tilførsler og tiltak analysert ved hjelp av NIVAs fjordmodell* (B. Bjerkeng, 2011).
- ✓ Fagrådsrapport 112: *Strategi 2010. Samlet vurdering av resultatene fra modellsimuleringer med NIVAs fjordmodell og fra studiet av tilførsler av omsettelig organisk stoff fra rensesanlegg og elver* (Christian Vogelsang, 2011).

Strategidokumentet peker på følgende hovedutfordringer:

- En betydelig befolkningsøkning i regionen gir behov for å utvide renskapasiteten
- Nye miljøkrav og publikums forventninger
- Klimaendringer og mindre forutsigbarhet
- Økonomisering og resirkulering av ressurser

Strategidokumentet setter videre følgende mål for fjorden og VA-sektorens arbeid:

- A. Sikre en god økologisk og kjemisk vannkvalitet i fjorden som innbyr til rekreasjonsaktiviteter.
- B. Sikre vannkvaliteten i de dypereliggende vannmassene ved å sørge for tilstrekkelig rensing av avløpsvannet før utslipp og en lokalisering av utslippet som optimaliserer vannkvaliteten lokalt og totalt sett i fjorden.
- C. Sikre nødvendig renskapasitet på avløpsrensanleggene for å møte belastningen fra en økende befolkning og krav som må settes til utslippet basert på resipientens behov.
- D. Sikre at VA-sektoren bidrar til et bærekraftig samfunn ved nødvendig økonomisering og resirkulering av ressurser.

Strategidokumentet anbefaler følgende strategi for å møte utfordringene og nå målene:

- A. Strategi for å sikre en god økologisk og kjemisk vannkvalitet som innbyr til rekreasjonsaktiviteter
- B. Strategi for å oppnå god økologisk status i dypvannet i alle fjordens bassenger
- C. Strategi for å møte det økte renskapasitetsbehovet

I ettertid er rapporten *Indre Oslofjord 2013 – status, trusler og tiltak* blitt utarbeidet. Dette er en oppdatert kunnskapssammenstilling om Indre Oslofjord med utgangspunkt i «Strategi 2010» (Fagrådsrapport 107). Ny kunnskap er trukket inn fra NIVA og andre fagmiljøer, og strategier og tiltak er strukturert for å nå målene etter de tre hovedmålene:

- Rekreasjon og friluftsliv
- Fiske og fangst
- Økologi som tilfredsstillende EUs vanndirektiv og biologisk mangfold.

Denne rapporten er noe mer detaljert når det gjelder strategier og tiltak for å oppnå målene og lister opp følgende:

Strategier og tiltak for å nå mål knyttet til rekreasjon og friluftsliv:

1. Kapasitetsutvidelse, samkjøring og rensesgrad for rensesanleggene
2. Redusere tilførsler fra transportsystemet av avløpsvann og kloakksjøppel gjennom overløp og lekkasjer fra fellessystemer, særlig under og etter regnsværepisoder
3. Dypvannsutslipp av hovedoverløp og rensed avløpsvann
4. Tiltak mot landbruksavrenning og småskala rensesanlegg fra spredt bebyggelse
5. Tiltak rettet spesielt mot hygienisk forurensning og smittefare ved bading
6. Redusere forsøpling av strender, gjøre badeplasser mer attraktive i tråd med EUs badevannsdirektiv

Strategier og tiltak for å nå mål for fiske og fangst:

7. Bygge opp en god kunnskapsbase for forsvarlig forvaltning av viktige fiskestammer
8. På lang sikt å redusere innholdet av miljøgifter slik at kostholdsråd for konsum av fisk fra Indre Oslofjord kan oppheves
9. Sikre og opprettholde gode varslingsystemer for blåskjell-gifter

Strategier og tiltak for å nå økologimål som tilfredsstillende EUs vanndirektiv og mål om biologisk mangfold:

10. Reduksjon av oksygenforbrukende stoffer
11. Begrenset nedpumping i dypvannet i Bunnefjorden
12. Bedre biologisk mangfold ved utsetting av kunstige rev
13. Plan for reduksjon av miljøgifter for å oppnå god kjemisk status

Rapporten påpeker at strategier og tiltak for å nå disse tre målene i stor grad er sammenfallende. Det vil si at tiltak som fremmer ett hovedmål med få unntak også vil bidra til å oppnå målene for de to andre. Det er ikke interne målkonflikter mellom de tre hovedmålene.

2.7 VURDERING AV EFFEKTER PÅ VANNKVALITETEN VED ENDREDE UTSLIPP I BUNNEFJORDEN OG BEKKELAGSBASSENGET – NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING (NIVA - 6.10.2017)

Rapporten ble utarbeidet på oppdrag for Fagrådet. I rapporten har NIVA vurdert effekter på vannkvaliteten ved endret utslipp til Bunnefjorden og Bekkelagsbassenget. Til disse vurderingene har de brukt NIVA Fjordmodell (NFM).

Fjordmodellen ble utviklet i forbindelse med utbygging av nye renseanlegg i Indre Oslofjord. Modellen er designet for å vurdere hvordan forskjellige stoffer som organisk stoff, nitrogen, fosfor og silikat spres gjennom det økologiske systemet i en terskelfjord. Modellen kan simulere utviklingen i Indre Oslofjord gjennom en årrekke under gitte betingelser for tilførsler av forurensende stoffer og innlagringsdyp, værforhold, dypvannsfornyelse osv. Som alle andre modeller er selvfølgelig Fjordmodellen en forenkling av virkeligheten, med de usikkerheter det innebærer.

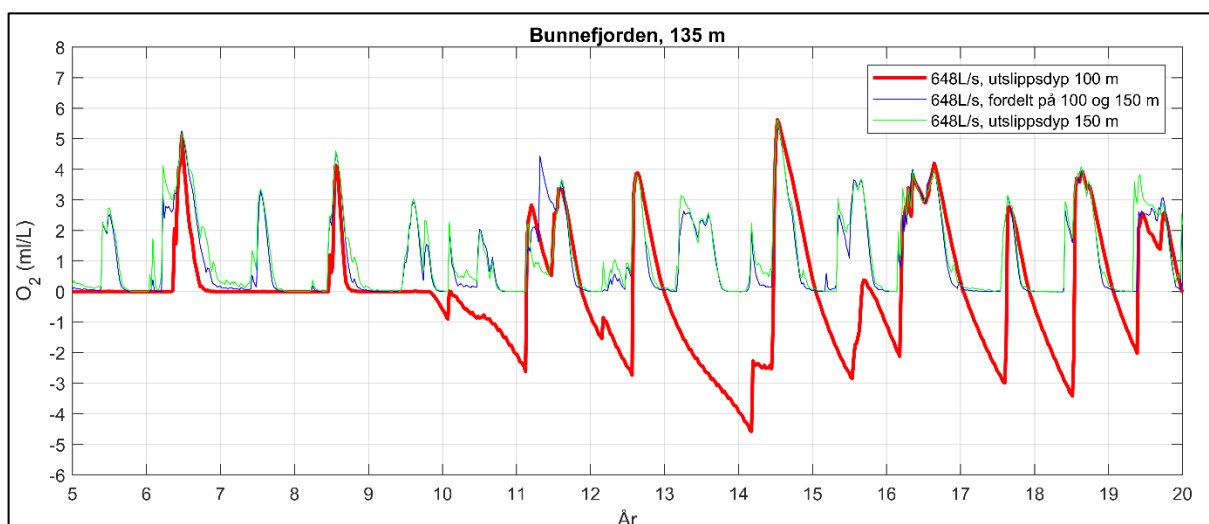
Dagens situasjon er at en gjennomsnittlig vannmengde på ca. 1 500 l/s slippes ut på 50 meters dyp i Bekkelagsbassenget. Dette er den rensede avløpsmengden fra Bekkelaget renseanlegg. Utslipet ble senket ned til 50 meters dyp i år 2000 og man har registrert en dramatisk forbedring i vannkvaliteten etter dette.

Tilsvarende vannmengde i Bunnefjorden er ca. 150 l/s som slippes ut på 50 meters dyp. Dette er den rensede avløpsmengden fra Nordre Follo renseanlegg.

I modellen har NIVA endret fordelingen mellom utslippene i Bekkelagsbassenget og Bunnefjorden, og endret dybden på utslippspunktene.

Beregningene viser:

1. Utslippsdypet i Bunnefjorden bør ligge på 150 meter for maksimal effekt av ferskvannsutslippet, og for å unngå anoksiske forhold i bunnlagene, ved bruk av minst mulige vannmengder. Oksygenkonsentrasjonen i 135 meter dyp i Bunnefjorden for ulike utslippsdyp er vist i figur 2.7.1.



Figur 2.7.1: Oksygenkonsentrasjonen på 135 m i Bunnefjorden ved forskjellige utslippsdyp i Bunnefjorden.

2. Ved et utslippsdyp på 150 meter i Bunnefjorden vil en ved en utslippsmengde på ca. 650 l/s unngå dannelse av anoksisk vann i dyplagene i Bunnefjorden.
3. Ved å overføre en vannmengde i størrelsesorden 500 - 1 000 l/s fra utslippet i Bekkelagsbassenget til utslippet i Bunnefjorden, vil det skje en forverring av vannkvaliteten i Bekkelagsbassenget. Denne effekten kan mer enn kompenseres ved å senke utslippet i Bekkelagsbassenget fra 50 til 65 meter.

Konklusjonen er altså at man kan oppnå en kraftig forbedring av vannkvaliteten i Bunnefjorden ved å senke utslippsdypet, helst til 150 meter, og øke vannmengden i utslippspunktet i Bunnefjorden. Økningen i vannmengden i utslippet i Bunnefjorden kan oppnås ved å overføre en andel av det avløpsvannet som i dag slippes ut i Bekkelagsbassenget til utslippet i Bunnefjorden.

Reduserer man utslippsmengden i Bekkelagsbassenget vil dette ha en negativ effekt på vannkvaliteten i Bekkelagsbassenget, men denne effekten kan mer enn kompenseres ved å senke utslippet i Bekkelagsbassenget fra 50 til 65 meter.

2.8 FOKUS FOR DENNE UTREDNINGEN

Fokus for denne utredningen, kalt en teknokratisk mulighetsstudie, har vært å utrede muligheten for å bruke rensed avløpsvann til å forbedre vannkvaliteten i Indre Oslofjord, og Bunnefjorden spesielt.

Det er vurdert 3 ulike hovedalternativer:

1. Bygge et nytt og utvidet Nordre Follo renseanlegg omtrent der dagens anlegg er lokalisert.
2. Bygge et nytt renseanlegg, Sentralrenseanlegg Øst, på Mastemyr på grensen mellom Oppegård og Oslo. Nordre Follo renseanlegg legges da ned.
3. Legge ned Nordre Follo renseanlegg og overføre avløpsvannet til Bekkelaget renseanlegg. Noe som vil medføre at kapasiteten til Bekkelaget renseanlegg må ytterligere utvides (etter pågående UBRA-utvidelse) eller at mer avløpsvann overføres til VEAS.

De tre alternativene er vurdert på bakgrunn av eksisterende infrastruktur, prognoser for befolkningsvekst og avløpsmengder, vannkvalitet, kostnader mm.

Det er ikke satt noen eksakte mål knyttet til vannkvalitet i Bekkelagsbassenget og Bunnefjorden.

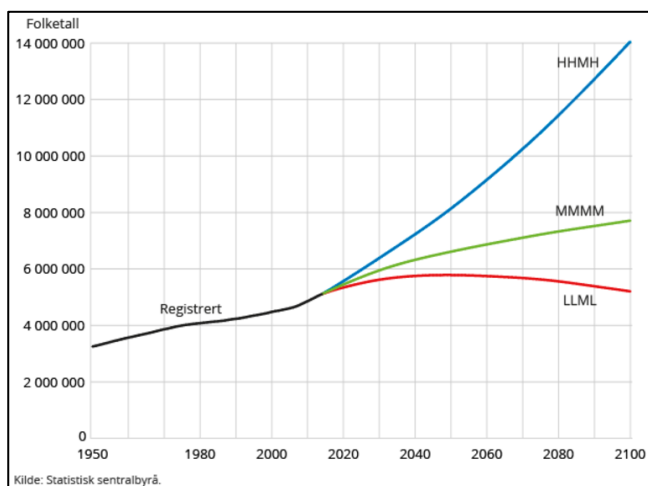
3. PROGNOSE FOR BEFOLKNINGSVEKST OG VANNMENGDER

Indre Oslofjord opplever kraftig befolkningsvekst. Siden vannmengdene/utslippsmengdene er helt sentrale i mulighetsstudien er det utført en prognostisering av befolkningstall og vannmengder.

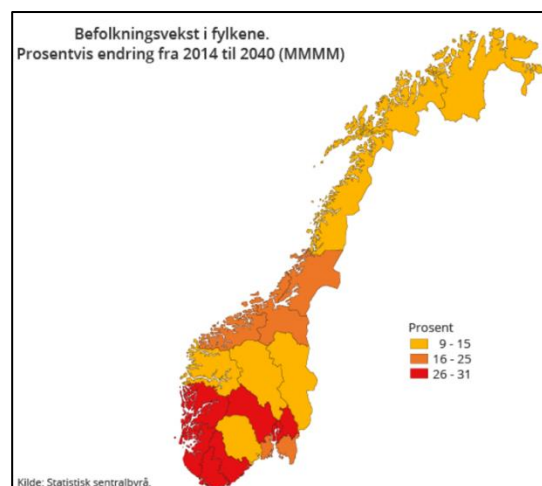
3.1 GENERELT OM BEFOLKNINGSPROGNOSE

Befolkningsprognoser er heftet med stor usikkerhet. Befolkningsveksten vil påvirkes av fruktbarheten, levealder, innvandring, innenlandsk flytting, politikk, økonomi, klima, miljø, lokale forhold mm. For å anslå fremtidig befolkningsvekst i Indre Oslofjord har vi valgt å se på statistikk, prognoser og kommunens nåværende utbyggingspolitikk.

Norge opplever en forholdsvis kraftig befolkningsvekst og framskrivninger viser en kraftig vekst også i årene framover mot århundreskiftet. SSB operer med tre ulike hovedalternativer. Som vist i figur 3.1.2 blir veksten særlig stor i Sør-Norge og spesielt i og rundt de store byene.



Figur 3.1.1: Folketall i Norge, registrert og framskrevet i tre alternativer.



Figur 3.1.2: Prosentvis befolkningsvekst i fylkene.

Befolkningsveksten de siste tiårene skyldes hovedsakelig innvandring, og slik vil det ifølge prognosene være i resten av dette århundret. Dette illustrerer tydelig usikkerheten i prognosene. SSB har de siste årene systematisk underestimert innvandringen i sine prognoser, og de reelle tallene har ligget et sted mellom den høye prognosen (HHMH) og hoved-/mellomprognosen (MMMM). Befolkningsveksten i Norge, og i Osloområdet, resten av dette århundret, vil være helt avhengig av innvandringstakten. Innvandringstakten vil igjen være helt avhengig av politikk, miljø og andre forhold, ikke bare i Norge, men i hele verden.

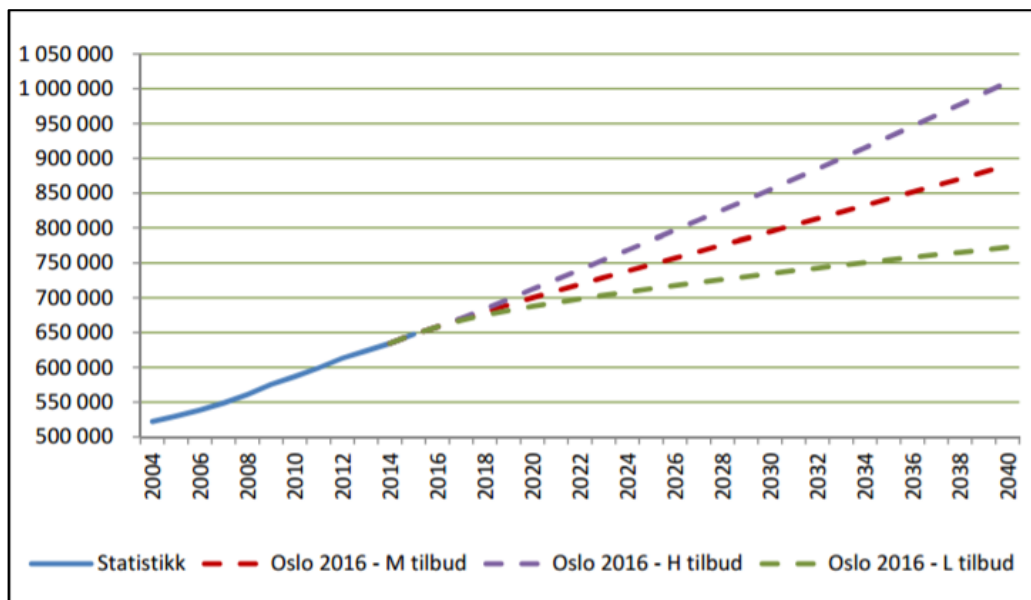
3.2 BEFOLKNINGSFRAMSKRIVINGER INDRE OSLOFJORD

Da SSB sine prognoser er lite pålitelige, har vi valgt å se på kommunenes egne prognoser.

Oslo kommunes årlige framskrivninger:

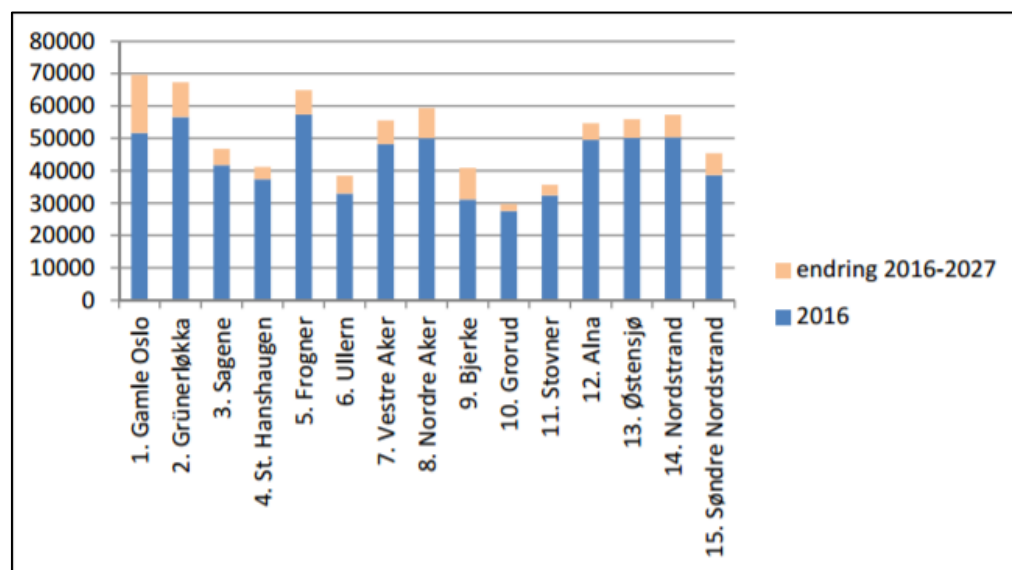
Notat fra Oslo kommune sin hjemmeside: *Befolkningsframskrivningen 2017-2040*.

<https://www.oslo.kommune.no/getfile.php/13159045/Innhold/Politikk%20og%20administrasjon/Statistikk/Befolkningsframskrivningen%202016.pdf>



Figur 3.2.1: Oslo kommunes befolkningsframskrivninger 2017-2040.

I perioden 2016-2027 viser anslagene i befolkningsframskrivningen en total befolkningsvekst på ca. 16,4 prosent i Oslo. I indre by forventes det en vekst i perioden på omtrent 18,3 prosent, mens det i ytre by øst og vest forventes relativt lik vekst på henholdsvis 14,5 og 16,9 prosent. Lavest vekst i denne perioden forventes det ytre by sør med 14 prosent.



Figur 3.2.2: Oslo kommunes befolkningsframskrivninger fordelt på bydeler 2017-2027.

For kommunene i Akershus har vi valgt å se på prognoser fra *Akershusstatistikk 3 2016*
Befolkningsprognoser for Akershus 2016 – 2031.

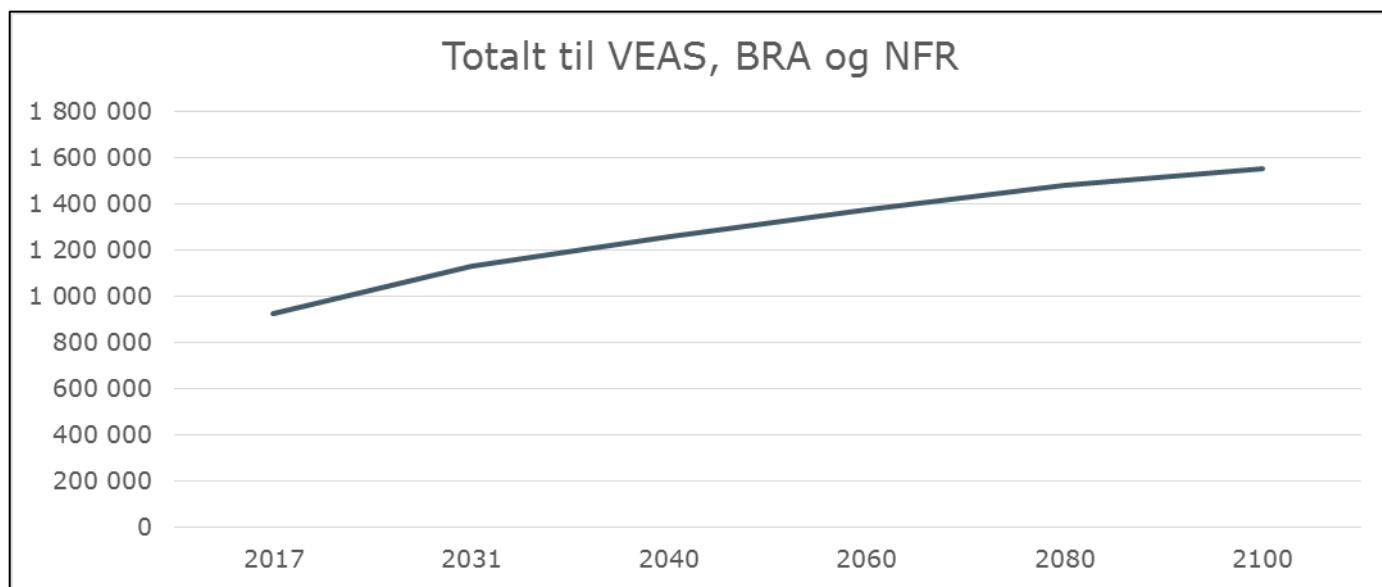
<http://www.akershus.no/ansvarsomrader/statistikk-og-kart/om-statistikktjenesten/statistikkhefter/>

Basert på disse lokale befolkningsframskrivingene, kombinert med SSB sine langtidsprognoser, har vi utarbeidet følgende prognose for de områdene som leverer avløpsvann til de tre renseanleggene VEAS, Bekkelaget renseanlegg og Nordre Follo renseanlegg.

	2017	2031	2040	2060	2080	2100
Norge	5 258 000	6 000 000	6 300 000	6 900 000	7 400 000	7 800 000
Oslo	666 757	800 000	890 000	975 000	1 050 000	1 100 000
Oppegård	26 988	32 330	35 967	39 402	42 436	44 473
Ski	30 698	36 585	40 701	44 588	48 021	50 326
Bærum	124 008	153 464	170 729	187 033	201 435	211 104
Asker	60 781	73 326	81 575	89 366	96 247	100 867
Ås til NFR	4 500	10 000	11 125	12 187	13 126	13 756
Røyken til VEAS	10 000	13 000	14 463	15 844	17 064	17 883
Nesodden til VEAS	5 000	12 000	13 350	14 625	15 751	16 507
Totalt til VEAS, BRA og NFR	928 732	1 130 705	1 257 909	1 378 045	1 484 079	1 554 915

Tabell 3.2.1: Befolkningsprognose for områdene som leverer avløpsvann til de tre store renseanleggene i Indre Oslofjord.

Totalt behandler de tre store renseanleggene i dag avløpsvann fra en befolkning på ca. 940 000 personer. Dette vil stige til nærmere 1,6 millioner personer ved århundreskiftet, illustrert i figur 3.2.3.



Figur 3.2.3: Prognose befolkningsvekst Indre Oslofjord.

Det er her ikke tatt høyde for at rensedistrikter kan endre seg i løpet av disse årene. Det er for eksempel mulig at de tre store renseanleggene i fremtiden kan få tilført mer avløpsvann fra Ås, Romerike, Buskerud og /eller Nesoden.

Brutt ned på de tre renseanleggene ser befolkningsprognosen slik ut, forutsatt at dagens inndeling i rensedistrikt beholdes:

	2017	2031	2040	2060	2080	2100
Nordre Follo RA	40 000	60 000	68 000	77 000	85 000	93 000
Bekkelaget	290 000	355 000	392 000	432 000	465 000	488 000
VEAS	600 000	715 000	800 000	871 000	935 000	974 000
Totalt til VEAS, BRA og NFR	930 000	1 130 000	1 260 000	1 380 000	1 485 000	1 555 000

Tabell 3.2.2: Befolkningsprognose for de tre store avløpsrenseanleggene i Indre Oslofjord.

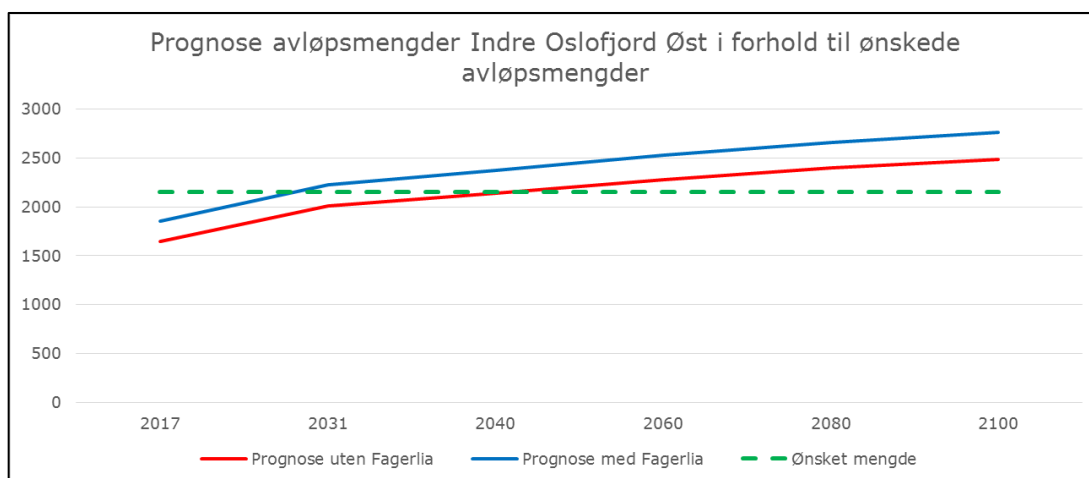
Hvis vi antar at hver ny beboer genererer en avløpsmengde på 250 liter pr. døgn får vi følgende prognose for avløpsmengder fra de tre store renseanleggene (verdier i l/s):

	2017	2031	2040	2060	2080	2100
Nordre Follo RA	150	218	241	267	290	313
Bekkelaget	1 500	1 788	1 895	2 011	2 106	2 173
VEAS	3 500	3 833	4 079	4 284	4 469	4 582
Totalt til VEAS, BRA og NFR	5 150	5 839	6 215	6 562	6 866	7 068

Tabell 3.2.3: Prognose for avløpsmengder for de tre store avløpsrenseanleggene i Indre Oslofjord.

Vi kan trekke følgende konklusjoner ut i fra dette:

- Det vil gå svært lang tid før Nordre Follo renseanlegg vil produsere nok rensset avløpsvann til å alene dekke det antatte behovet på 650 liter rensset avløpsvann pr. sekund til Bunnefjorden.
- Med utslippsdyp på 150 meter i Bunnefjorden og på 50 meter (som i dag) i Bekkelagsbassenget viser modellberegningene at utslippsmengdene bør være minst 650 l/s i Bunnefjorden og 1 500 l/s i Bekkelagsbassenget, det vil si totalt 2 150 l/s for de to utslippspunktene. Denne avløpsmengden vil man oppnå en gang rett etter 2040 ifølge prognosen for avløpsmengder. I mellomtiden er det mulig å overføre mer avløpsvann til Bekkelaget renseanlegg via fordelingspunktet på Fagerlia (ca. 200 l/s). Dette er illustrert i figur 3.2.4.



Figur 3.2.4: Prognose avløpsmengder Indre Oslofjord Øst i forhold til ønskede avløpsmengder.

4. ALTERNATIVER FOR FREMTIDIG AVLØPSRENSING I INDRE OSLOFJORD

Vi har identifisert tre hovedalternativer for plassering av avløpsrenseanlegg på østsiden av Indre Oslofjord.

1. Bygging av et nytt og utvidet Nordre Follo rensesanlegg (NFR). Bekkelaget rensesanlegg (BRA) beholdes som i dag.
2. Et nytt Sentralrenseanlegg Øst (SRØ), lokalisert på Mastemyr på grensen mellom Oslo og Oppegård. Bekkelaget rensesanlegg (BRA) beholdes som i dag.
3. Utvidelse av Bekkelaget rensesanlegg (BRA) (etter UBRA-prosjektet). Overføring av avløpsvann fra Nordre Follo rensesanlegg (NFR) til Bekkelaget rensesanlegg. Nordre Follo rensesanlegg nedlegges.

Det er utført svært grove kostnadsoverslag for de tre alternativene. Her er følgende verdier benyttet:

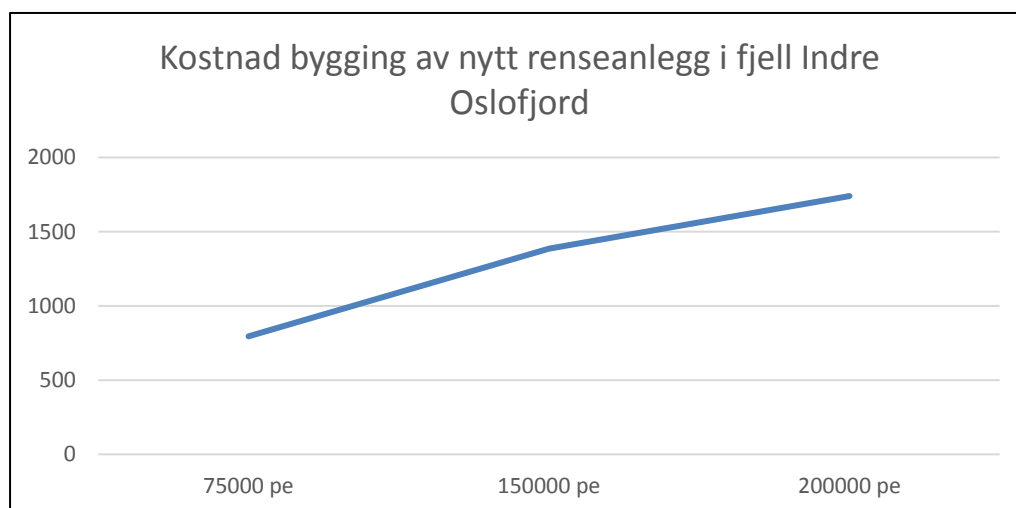
Tunell i fjell 25 000 kr. pr. meter

Sjøledning 7 500 kr. pr. meter

Rør i tunell 7 500 kr. pr. meter

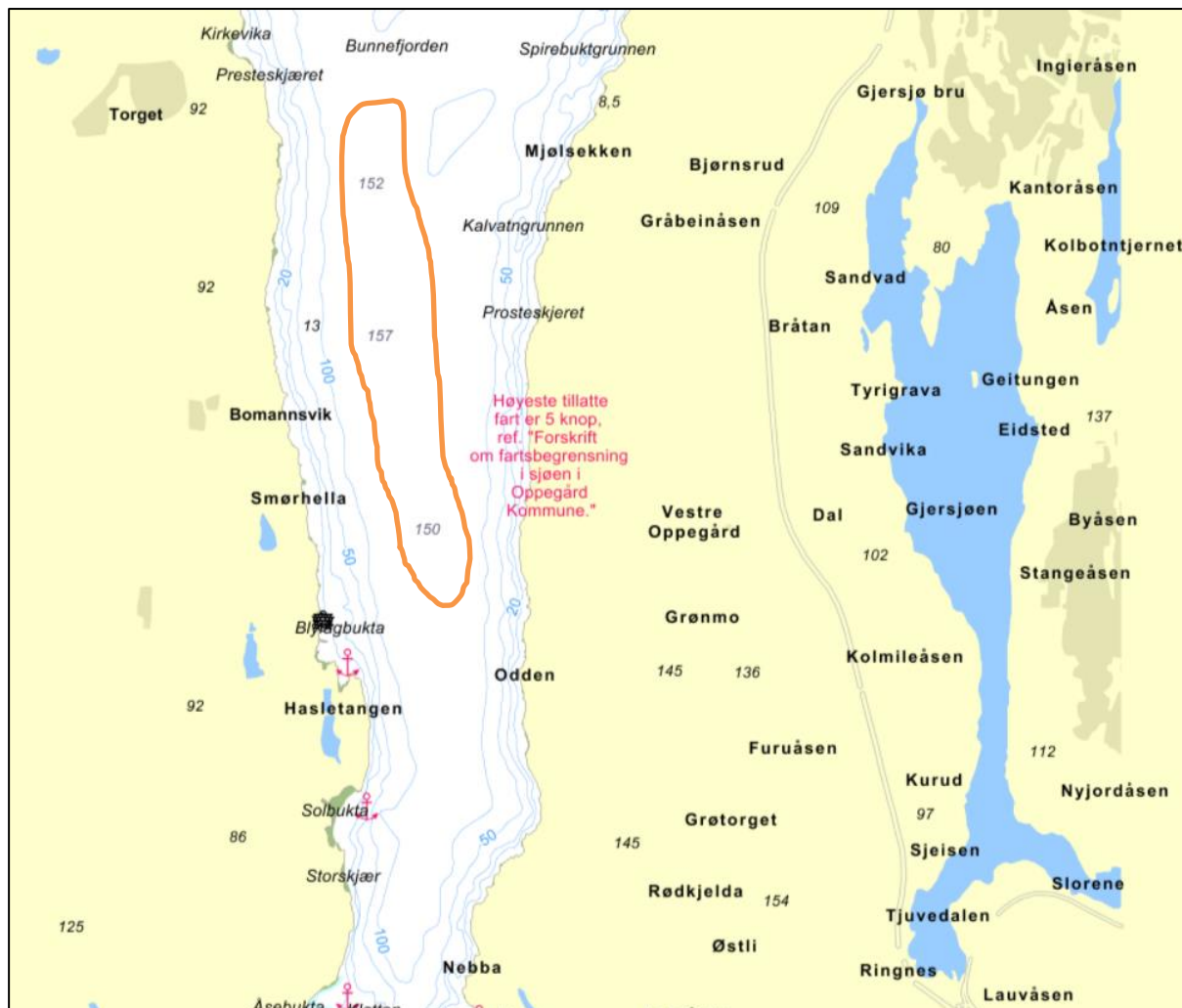
Det er videre gjort noen skjønsmessige vurderinger knyttet til kostnader forbundet med å heve og senke eksisterende utslippsledninger for å skjøte på ledningene, konstruksjon av stedstilpassede diffusorer, samt pumpestasjoner.

I forbindelse med utredningen ble det utført et grovt kostnadsoverslag for bygging av et nytt rensesanlegg i fjell (vedlegg 2) for henholdsvis 75 000 pe, 150 000 pe og 200 000 pe (illustrert i figur 4.1). Det antas at kostnadene vil bli i noenlunde samme størrelsesorden enten man velger å bygge et nytt anlegg der NFR ligger i dag, på Mastemyr eller ved å utvide BRA ytterligere. Hvilket betyr at kostnadene knyttet til utvidet renskapasitet vurderes som å være den samme for de tre alternativene. Dette representerer selvfølgelig en forenkling. Det kan også være aktuelt å bygge et nytt utendørs rensesanlegg der NFR er lokalisert i dag. Ved beregning av de ulike alternativene er det ikke beregnet kostnader knyttet til rensing, da disse vurderes å være de samme for alle alternativene.



Figur 4.1: Kostnader i millioner NOK for bygging av nytt avløpsrenseanlegg i fjell.

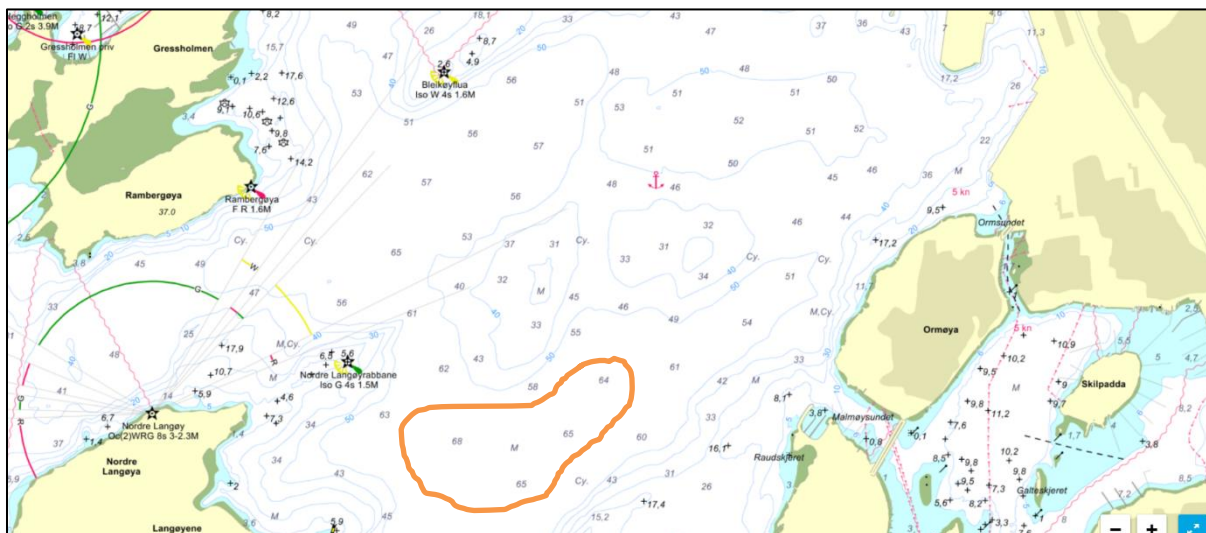
Basert på NIVA sine siste beregninger med Oslofjordmodellen (vedlegg 1) er det vurdert slik at for å oppnå ønsket positiv effekt for vannkvaliteten i Bunnefjorden bør utslippsmengden av rensset avløpsvann (ferskvann) i Bunnefjorden økes med minimum 500 l/s, og disse bør slippes ut på ca. 150 meters dyp. Det vil si innenfor området som er markert i figur 4.2.



Figur 4.2: Område med 150 meters dyp i Bunnefjorden.

Hvorvidt det bør være ett utslipp på 150 meters dyp, eller to eller flere utslipp på forskjellige dyp, gir ikke de nye beregningene noe entydig svar på.

De nye modellberegningene viser også at det vil ha en negativ effekt for Bekkelagsbassenget å redusere utslippsmengden fra Bekkelaget renseanlegg med f.eks. 500 l/s. Beregningene viser imidlertid at man kan mer enn kompensere for denne negative effekten ved å flytte utslippspunktet ned til 65 meters dyp. Området i Bekkelagsbassenget med 65 meters dyp er vist i figur 4.3.



Figur 4.3: Område med 65 meters dyp i Bekkelagsbassenget.

4.1 BYGGING AV ET NYTT OG UTVIDET NORDRE FOLLO RENSEANLEGG (NFR)

Dagens renseanlegg er gammelt og nær sin kapasitetsgrense, men det er mulig å holde liv i anlegget fram til 2030/2035, forutsatt en del tiltak på anlegget.

Mest realistisk og hensiktsmessig er det å bygge et helt nytt anlegg. Det er flere muligheter for plassering av det nye anlegget:

- Det er gjennomført et skisseprosjekt for et nytt renseanlegg i fjell. Dette er også kostnadsberegnet.
- Hvis man ønsker å tilføre avløpsvann fra Oppegård nord og fra Oslo syd, for å få et større utslipp i Bunnefjorden fra Nordre Follo renseanlegg, vil det rent energimessig være fornuftig å senke anlegget noen meter ned i fjellet, slik at avløpsvannet kan renne med selvføll fra Oppegård nord.
- Eventuelt kan anlegget bygges utendørs, slik som i dag. Det skal være plass til dette.

I figur 4.1.1 er dagens lokalisering av renseanlegget markert med en blå sirkel. Ved plassering i fjell vil anlegget plasseres under området markert med en rød sirkel. Vi ser også at det er tilgjengelige utearealer til å bygge et nytt anlegg utendørs.



Figur 4.1.1: Nordre Follo renseanlegg.

Ved bygging av et nytt Nordre Follo renseanlegg er det flere alternative løsninger avhengig av hvilket ambisjonsnivå man har for vannkvaliteten i Bunnefjorden. Ulike alternativer blir presentert i de neste underkapitlene.

4.1.1 Alternativ NFR-1 (null-alternativet)

Dette er null-alternativet. Innebærer at det bygges et nytt Nordre Follo renseanlegg, da dette anlegget uansett må utvides og fornyes, men ingen tiltak ut over dette. Alternativet vil ikke gi noen effekt på vannkvaliteten i Bunnefjorden.



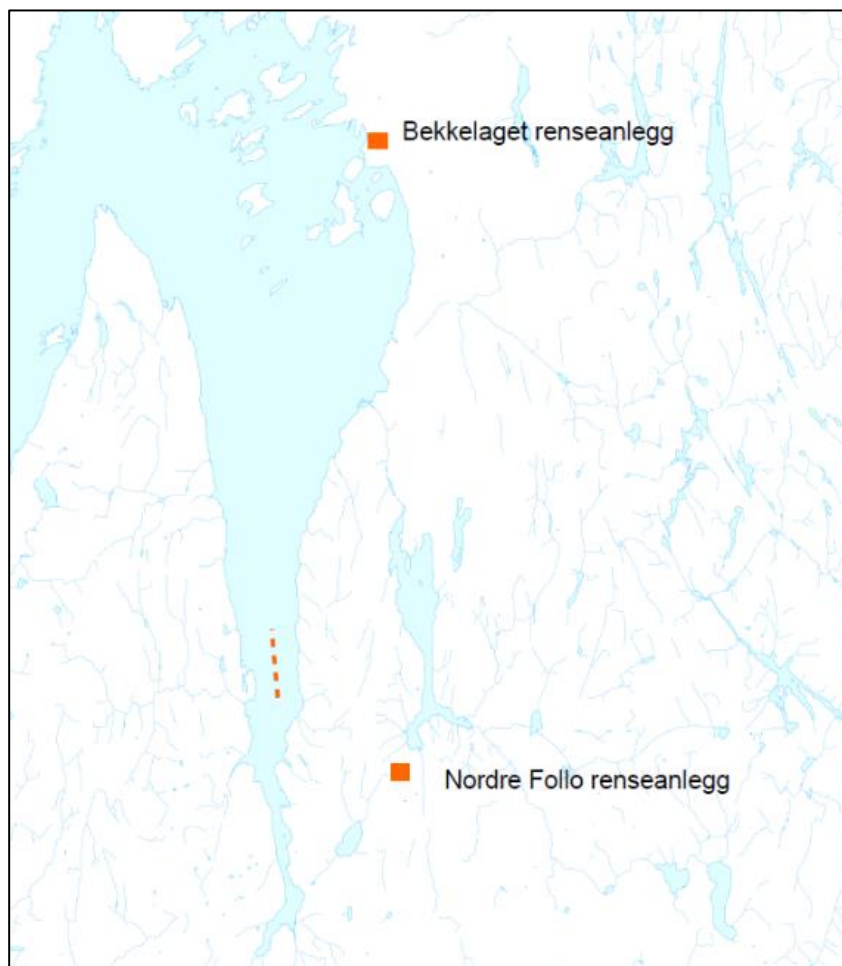
Figur 4.1.1.1: Prinsippkisse for alternativ NFR-1 (null-alternativet).

Tiltak	Type tiltak	Kostnad i millioner kroner
Nytt Nordre Follo renseanlegg	Nytt renseanlegg	Beregnes ikke
Total		0

Tabell 4.1.1.1: Kostnader for alternativ NFR-1 (null-alternativet).

4.1.2 Alternativ NFR-2

Alternativet innebærer at det bygges et nytt Nordre Follo renseanlegg, da dette anlegget uansett må utvides og fornyes, samt at utslippet av rensed avløpsvann flyttes fra dagens 50 meters dyp ned til 150 meters dyp. Alternativet vil etter alt å dømme ha en positiv effekt på vannkvaliteten i Bunnefjorden, men sannsynligvis ikke tilstrekkelig for å unngå dannelse av anoksisk vann i bunnlagene.



Figur 4.1.1.2: Prinsippkisse for alternativ NFR-2.

Tiltak	Type tiltak	Kostnad i millioner kroner
Nytt Nordre Follo renseanlegg	Nytt renseanlegg	Beregnes ikke
Forlengelse utslippsledning fra 50 til 150 meters dyp	Ca. 1 000 meter sjøledning	7,5
Operasjon heving og forlengelse sjøledning		5
Total		12,5

Tabell 4.1.1.2: Kostnader for alternativ NFR-2.

Det er forutsatt at eksisterende utslippsledning og diffusor kan benyttes.

4.1.3 Alternativ NFR-3 a, b, c og d

Alternativet innebærer at det bygges et nytt Nordre Follo renseanlegg, da dette anlegget uansett må utvides og fornyes, samt at utslippet av rensed avløpsvann flyttes fra dagens 50 meters dyp ned til 150 meters dyp. I tillegg overføres avløpsvann fra Oppegård og eventuelt fra Oslo syd eller helt fra Bekkelaget renseanlegg. Dette gjør man for å øke utslippsmengden i utslippet i Bunnefjorden.

Det er beskrevet fire underalternativer. Det som skiller disse alternativene er hvor langt nordover man går for å "hente" avløpsvann.

For alternativ NFR-3 a hentes avløpsvann fra Oppegård sentrum/Oppegård nord.

For alternativ NFR-3 b hentes i tillegg avløpsvann fra Trollåsen.

For alternativ NFR-3 c hentes i tillegg avløpsvann fra store deler av Oslo syd.

For alternativ NFR-3 d hentes avløpsvann helt fra Bekkelaget renseanlegg.

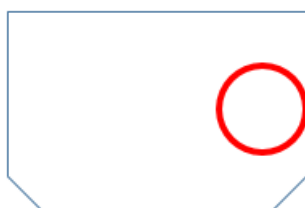
Antall tilknyttede pe og avløpsmengder for de fire alternativene er vist i tabell 4.1.3.1.

	Antall personekvivalenter	Avløpsmengde (l/s)
Alternativ NFR-3 a	Ca. 15 000	56
Alternativ NFR-3 b	Ca. 18 000	67,5
Alternativ NFR-3 c	Ca. 56 000	257,5
Alternativ NFR-3 d	Ca. 300 000	1 500

Tabell 4.1.3.1: Avløpsmengder ved de ulike underalternativene NFR-3 a til NFR-3 d.

Av verdiene ser vi at det er kun alternativ NFR-3 d som oppfyller kravet om en økning av utslippsmengden i Bunnefjorden med minst 500 l/s. Altså må avløpsvann hentes helt fra Bekkelaget renseanlegg.

Det er uansett beregnet kostnader for alle de fire underalternativene. Overføringen av avløpsvann fra Bekkelaget er gjort ved å legge en pumpeledning i eksisterende avløpstunell, som vist i figur 4.1.3.1. Dette anses som den mest kostnadseffektive løsningen. Dette forutsetter at eksisterende avløpstunell har tilfredsstillende materialteknisk tilstand og kapasitet. Fra Tårnåsen til Nordre Follo renseanlegg må det bygges en tunell i fjell. Undervannsledning i drikkevannskilden Gjersjøen er ikke vurdert.



Figur 4.1.3.1: Pumpeledning i avløpstunell.



Figur 4.1.3.2: Prinsippskisse alternativ NFR-3 a.

Figur 4.1.3.3: Prinsippskisse alternativ NFR-2 b.

Beregnete kostnader for disse to alternativene er vist i tabell 4.1.3.2 og tabell 4.1.3.3.

Tiltak	Type tiltak	Kostnad i millioner kroner
Nytt Nordre Follo renseanlegg	Nytt renseanlegg	Beregnes ikke
Forlengelse utslippsledning fra 50 til 150 meters dyp	Ca. 1 000 meter sjøledning	7,5
Operasjon heving og forlengelse sjøledning		5
Tunell fra Trollåsen (A) til NFR	Tunell i fjell, ca. 7 km	175
PST Trollåsen/NFR	Ny pumpestasjon	3
Total		190,5

Tabell 4.1.3.2: Kostnader for alternativ NFR-3 a.

Tiltak	Type tiltak	Kostnad i millioner kroner
Nytt Nordre Follo renseanlegg	Nytt renseanlegg	Beregnes ikke
Forlengelse utslippsledning fra 50 til 150 meters dyp	Ca. 1 000 meter sjøledning	7,5
Operasjon heving og forlengelse sjøledning		5
Tunell fra Trollåsen (A) til NFR	Tunell i fjell, ca. 7 km	175
PST Trollåsen/NFR	Ny pumpestasjon	3
Pumpeledning i tunell Mastemyr (B)-Trollåsen (A)	Pumpeledning i tunell, ca. 2 km	15
PST tunell Mastemyr	Ny pumpestasjon	2
Total		207,5

Tabell 4.1.3.3: Kostnader for alternativ NFR-3 b.



Figur 4.1.3.4: Prinsippkisse alternativ NFR-3 c



Figur 4.1.3.5: Prinsippkisse alternativ NFR-3 d.

Tiltak	Type tiltak	Kostnad i millioner kroner
Nytt Nordre Follo renseanlegg	Nytt renseanlegg	Beregnes ikke
Forlengelse utslippsledning fra 50 til 150 meters dyp	Ca. 1 000 meter sjøledning	7,5
Operasjon heving og forlengelse sjøledning		5
Tunell fra Trollåsen (A) til NFR	Tunell i fjell, ca. 7 km	175
PST Trollåsen/NFR	Ny pumpestasjon	3
Pumpeledning i tunell Ljabruveien-Trollåsen	Pumpeledning i tunell, ca. 5 km	37,5
PST tunell Ljabruveien	Ny pumpestasjon	2
Total		230

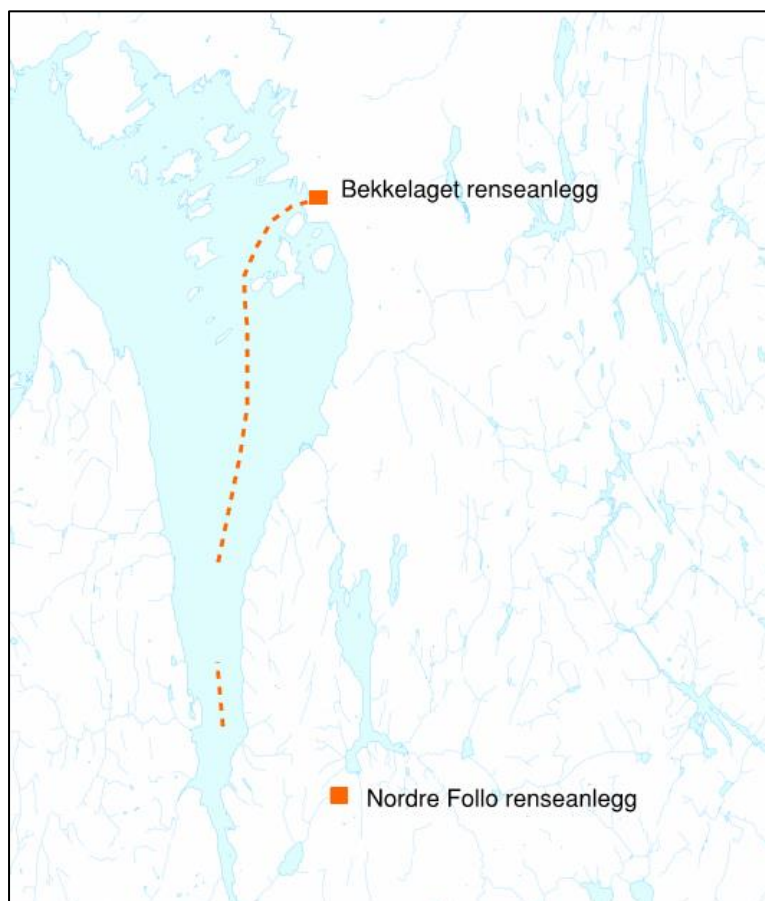
Tabell 4.1.3.4: Kostnader for alternativ NFR-3 c.

Tiltak	Type tiltak	Kostnad i millioner kroner
Nytt Nordre Follo renseanlegg	Nytt renseanlegg	Beregnes ikke
Forlengelse utslippsledning fra 50 til 150 meters dyp	Ca. 1 000 meter sjøledning	7,5
Operasjon heving og forlengelse sjøledning		5
Tunell fra Trollåsen (A) til NFR	Tunell i fjell, ca. 7 km	175
PST Trollåsen/NFR	Ny pumpestasjon	3
Pumpeledning i tunell Bekkelaget RA-Trollåsen	Pumpeledning i tunell, ca. 8 km	60
PST tunell Bekkelaget RA	Ny pumpestasjon	4
Total		254,5

Tabell 4.1.3.5: Kostnader for alternativ NFR-3 d.

4.1.4 Alternativ NFR-4

Alternativet innebærer at det bygges et nytt og utvidet Nordre Follo rensesanlegg, da dette anlegget uansett må utvides og fornyes, samt at utslippspunktet for rensset avløpsvann flyttes fra dagens 50 meters dyp ned til 150 meters dyp. I tillegg legges det en lang utslippsledning i sjø fra Bekkelaget rensesanlegg til 150 meters dyp i Bunnefjorden. Dette gjør man for å øke utslippsmengden i utslippet i Bunnefjorden. Denne avløpsmengden må sannsynligvis pumpes inn i Bunnefjorden.



Figur 4.1.4.1: Prinsippkisse for alternativ NFR-4.

Tiltak	Type tiltak	Kostnad i millioner kroner
Nytt Nordre Follo rensesanlegg	Nytt rensesanlegg	Beregnes ikke
Forlengelse utslippsledning fra 50 til 150 meters dyp	Ca. 1 000 meter sjøledning	7,5
Operasjon heving og forlengelse sjøledning		5
Utslippsledning fra Bekkelaget rensesanlegg til 150 meters dyp i Bunnefjorden	Utslippsledning ca. 11 km	82,5
Operasjon dyp utslippsledning		5
Diffusor	Spesialtilpasset diffusor	5
PST utslippsledning Bekkelaget	Ny pumpestasjon	3
Total		108

Tabell 4.1.4.1: Kostnader for alternativ NFR-4.

4.2 ET NYTT SENTRALRENSEANLEGG ØST (SRØ)

Det er vurdert at den mest aktuelle lokaliseringen av et eventuelt nytt Sentralrenseanlegg Øst er på Mastemyr, på grensen mellom Oslo og Oppegård. Her kan et nytt rensesanlegg bygges inne i fjell. Mulig lokalisering er vist med rød sirkel i figur 4.2.1.

Hensikten med å bygge et nytt rensesanlegg på et annet sted enn der NFR er lokalisert i dag, må være for å enklere og billigere få tilført mer avløpsvann til Bunnefjorden.

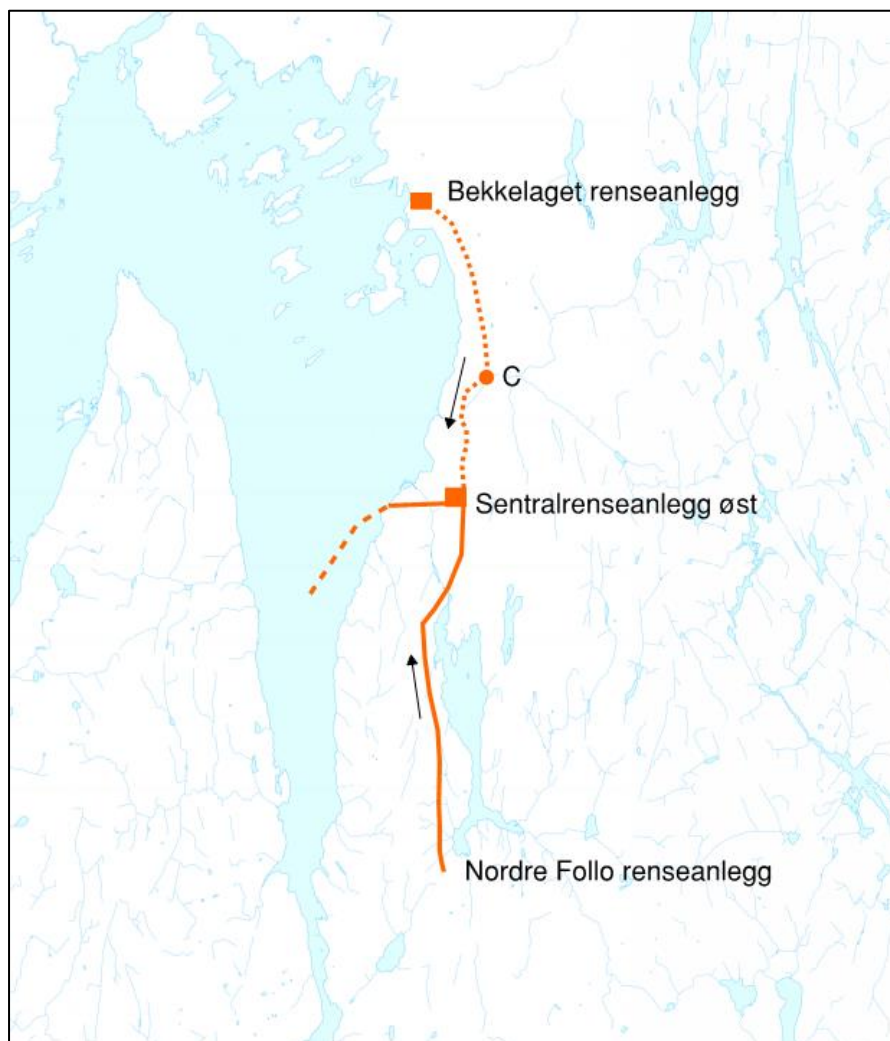


Figur 4.2.1: Lokalisering av et nytt Sentralrenseanlegg Øst (SRØ).

Alternativet innebærer nedleggelse av Nordre Follo rensesanlegg og overføring til et nytt SRØ via en tunell i fjell og videre inn på eksisterende avløpstunell ned mot Mastemyr. Det antas at dette kan skje med selvføll.

Fra Bekkelaget rensesanlegg pumpes avløpsvann via pumpeledning i eksisterende avløpstunell opp til et nytt SRØ på Mastemyr.

Prinsippkisse er vist i figur 4.2.2 på neste side.



Figur 4.2.2: Prinsippkisse for alternativ SRØ.

Tiltak	Type tiltak	Kostnad i millioner kroner
Nytt Sentralrenseanlegg Øst	Nytt renseanlegg	Beregnes ikke
Tunell NFR til eksisterende tunell mot Oslo	Tunell i fjell 7 km	175
Pumpeledning i tunell Bekkelaget RA-SRØ	Pumpeledning i tunell, ca. 7 km	52,5
PST tunell Bekkelaget RA	Ny pumpestasjon	4
Utslippsledning til 150 meters dyp i Bunnefjorden	Ca. 1 km tunell Ca. 4 km sjøledning	25 30
Operasjon legging sjøledning		5
Diffusor	Diffusor	5
Total		296,5

Tabell 4.2.1: Kostnader for alternativ SRØ.

4.3 UTVIDELSE AV BEKKELAGET RENSEANLEGG (BRA) (ETTER UBRA-PROSJEKTET)

Dette hovedalternativet innebærer nedleggelse av Nordre Follo renseanlegg og overføring av alt avløpsvann til Bekkelaget renseanlegg. Vi har identifisert to forskjellige måter å gjøre dette på, presentert som alternativene BRA-1 og BRA-2.

Begge underalternativene medfører at kapasiteten på Bekkelaget renseanlegg må utvides ytterligere når anlegget blir tilført avløpsvann fra Nordre Follo renseanlegg, i tillegg til naturlig økning i tilført avløpsvann på grunn av befolkningsvekst i rensedistriktet.

Tidspunktet for utvidelsen kan forsinkes ved å overføre mer avløpsvann til VEAS ved fordeling på Fagerlia. På den annen side ønsker man jo størst mulig utslipp av rensset avløpsvann i Bunnefjorden, noe som taler imot en overføring av mer avløpsvann til VEAS.

Kapasitetsøkning på Bekkelaget renseanlegg kan skje både ved en komplett redesign av anlegget og ved å benytte optimaliseringsmuligheter på anlegget. Økningen i avløpsmengder på grunn av overføring fra Nordre Follo renseanlegg er ikke større enn at den sannsynligvis ligger innenfor det optimaliseringspotensialet som ligger i det nåværende anlegget.

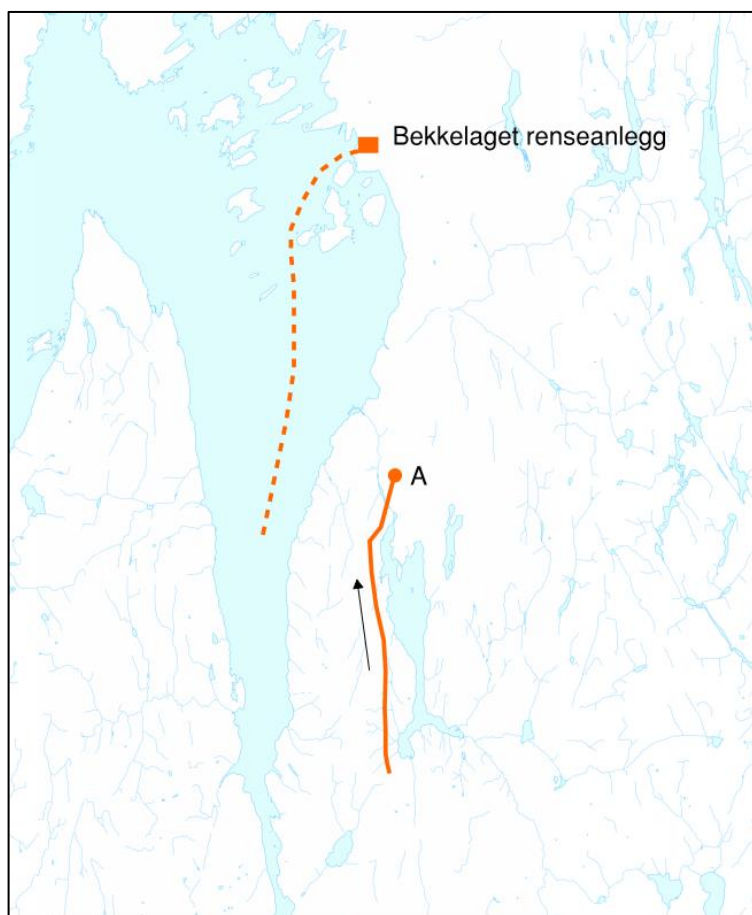
På lengre sikt vil en allikevel måtte forvente å utvide øke på Bekkelaget renseanlegg ved en form for redesign av anlegget. Av plasshensyn er det mest sannsynlige at en ved et utvidelsesbehov velger ny og mindre arealkrevende renseteknologi, slik at det ikke blir behov for kraftig utvidelse av dagens fjellhaller.

Hvordan dette vil slå ut kostnadmessig er det vanskelig å gi et godt svar på innenfor rammene av dette prosjektet.

4.3.1 Alternativ BRA-1

Dette alternativet innebærer nedleggelse av Nordre Follo renseanlegg, og overføring av avløpsvann til Bekkelaget renseanlegg. Overføringen skjer via ny tunell i fjell, og ledes deretter inn på eksisterende avløpstunell mot Oslo et sted mellom Tårnåsen og Mastemyr (punkt A). Dette bør kunne skje ved selvføll.

Fra Bekkelaget renseanlegg legges det en ny utslippsledning i sjø inn i Bunnefjorden, med utslippspunkt på 150 meters dyp.



Figur 4.3.1.1: Prinsippkisse for alternativ BRA-1.

Tiltak	Type tiltak	Kostnad i millioner kroner
Utvidelse Bekkelaget renseanlegg	Utvidelse renseanlegg	Beregnes ikke
Tunell NFR til eksisterende tunell mot Oslo	Tunell i fjell 7 km	175
Utslippsledning til 150 meters dyp i Bunnefjorden	Ca. 11 km sjøledning	82,5
Operasjon legging sjøledning		5
Diffusor	Diffusor	5
Total		267,5

Tabell 4.3.1.1: Kostnader for alternativ BRA-1.

4.3.2 Alternativ BRA-2

Alternativet BRA-2 skiller seg fra alternativ BRA-1 ved at vi velger å benytte en sjøledning for overføring av avløpsvann fra NFR til Bekkelaget renseanlegg. Avløpsvannet fra nedlagte NFR føres til Sjødalstrand via eksisterende utslippstunell og pumpes derfra via sjøledning til BRA.

Fra Bekkelaget renseanlegg legges det en ny utslippsledning i sjø inn i Bunnefjorden, med utslippspunkt på 150 meters dyp.



Figur 4.3.2.1: Prinsippkisse for alternativ BRA-2.

Tiltak	Type tiltak	Kostnad i millioner kroner
Utvidelse Bekkelaget renseanlegg	Utvidelse renseanlegg	Beregnes ikke
Sjøledning Sjødalstrand (NFR) til BRA	Ca. 15 km sjøledning	112,5
Pumpestasjon Sjødalstrand	Pumpestasjon	4
Utslippsledning til 150 meters dyp i Bunnefjorden	Ca. 11 km sjøledning	82,5
Operasjon legging sjøledning		5
Diffusor	Diffusor	5
Total		209

Tabell 4.3.2.1: Kostnader for alternativ BRA-2.

4.4 OPPSUMMERING OG KONKLUSJONER

I tabell 4.4.1 er kostnader for de ulike alternativene sammenliknet. I tillegg til disse kostnadene vil det komme kostnader forbundet med økt rensekapasitet, enten ved å bygge et nytt NFR eller SRØ, eller ved å øke kapasiteten BRA. Et nytt renseanlegg i fjell med rensekapasitet på 75 000 pe vil anslagsvis medføre en kostnad på 800 mill. NOK.

Tilsvarende kostnad for å øke kapasiteten på Bekkelaget renseanlegg er vanskelig å antyde og avhenger av hvilken løsning man velger. Ved optimalisering av det eksisterende Bekkelaget renseanlegg vil kostnadene reduseres betydelig. Ved redesign av anlegget, og bruk av ny og indre plasskrevende teknologi, må det imidlertid forventes kostnader i samme størrelsesorden som for et å bygge et nytt Nordre Follo renseanlegg. På et eller annet tidspunkt vil man uansett måtte gjøre store investeringer for å øke kapasiteten på Bekkelaget renseanlegg da potensialet for optimalisering tross alt er begrenset. Tidspunktet avhenger imidlertid av skjebnen til Nordre Follo renseanlegg, fordeling mellom Bekkelaget renseanlegg og VEAS, samt befolkningsvekst.

Til sammenlikning blir kostnadene knyttet til ledningsanlegg betydelig mindre, men som vi ser skiller det en del mellom de ulike alternativene.

Det er kun alternativene NFR-3 d, NFR-4, SRØ, BRA-1 og BRA-2 som fullt ut tilfredsstillende "kravet" om et utslipp på minimum 650 l/s på 150 meters dyp i Bunnefjorden.

Alternativ	Beskrivelse	Kostnad	Effekt
NFR-1	Null-alternativet	0	Ingen effekt
NFR-2	Forleng utslippsledning til 150 meters dyp	12,5	Begrenset positiv effekt, men ikke tilstrekkelig
NFR-3 a	Overføring 15 000 pe fra BRA	190,5	Noe effekt, men ikke tilstrekkelig
NFR-3 b	Overføring 18 000 pe fra BRA	207,5	Noe effekt, men ikke tilstrekkelig
NFR-3 c	Overføring 56 000 pe fra BRA	230	Noe effekt, men ikke tilstrekkelig
NFR-3 d	Overføring "ubegrenset" pe fra BRA	254,5	Tilstrekkelig
NFR-4	Nytt NFR og utslippsledning fra BRA til Bunnefjorden	108	Tilstrekkelig
SRØ	Nytt SRØ med overføring fra BRA	296,5	Tilstrekkelig
BRA-1	Utvidelse BRA, tunell fra NFR	267,5	Tilstrekkelig
BRA-2	Utvidelse BRA, sjøledning fra NFR	209	Tilstrekkelig

Tabell 4.4.1: Sammenlikning av alternativene.

Av de fire alternativene som har "tilstrekkelig" effekt for vannkvaliteten i Bunnefjorden bør alternativ SRØ, altså etablering av et nytt renseanlegg (Sentralrenseanlegg Øst) på Mastemyr, anses som uaktuelt. Å bygge et nytt renseanlegg på Mastemyr i istedenfor ved nåværende lokalisering på Vinterbro vil være fordyrende og har ingen tungtveiende fordeler.

Av de fire alternativene som har "tilstrekkelig" effekt for vannkvaliteten i Bunnefjorden, er det billigste alternativet NFR-4, som altså innebærer bygging av et nytt avløpsrenseanlegg omtrent der NFR er lokalisert i dag, slik at man kan benytte seg i størst mulig grad av eksisterende infrastruktur. Dette alternativet innebærer også at eksisterende utslippsledning fra NFR forlenges ned til 150 meters

dyp, samt at det legges en utslippsledning i sjøen fra BRA inn i Bunnefjorden til 150 meters dyp, med kapasitet på minst 500 l/s. Det må i den forbindelse etableres en pumpestasjon på Bekkelaget.

Det bør imidlertid påpekes at kostnadene knyttet til transportanlegg utgjør en forholdsvis liten andel av de totale kostnadene, da kostnadene knyttet til økt renskapasitet er betydelig større. Det er anslått at en økning i renskapasiteten med 75 000 pe, enten ved å bygge et nytt rensanlegg eller ved å utvide kapasiteten på BRA ytterligere, vil ha en kostnad på ca. 795 millioner NOK.

Det er selvfølgelig en stor del usikkerhet i beregningene og vurderingene som er gjort. Det vi kan si med forholdsvis stor grad av sikkerhet er følgende:

- ✓ Kostnadene knyttet til transportanlegg vil være lavest for alternativet der en bygger et nytt Nordre Follo rensanlegg.

Usikkerheten i kostnadsberegningene for utvidet renskapasitet er så store at disse med hell kunne utredes nærmere før en tar en endelig beslutning. Vi tenker da først og fremst på kostnader knyttet til en eventuell ny utvidelse av Bekkelaget rensanlegg med ny og mindre plasskrevende teknologi, samt kostnader forbundet med optimalisering av anlegget.

Det er også en svakhet at det ikke er satt noe konkret mål knyttet til oksygenkonsentrasjonen i Bunnefjorden. I *Miljømål Bunnefjorden Bidrag til tiltaksanalyse Fase 3 - Prosjekt PURA (NIVA 2009)* finner man følgende miljømål for oksygenkonsentrasjoner i de dypere vannmassene i Bunnefjorden:

	20-50 m dyp	> 50 m dyp
Lavt ambisjonsnivå	> 1 ml/l	> 0 ml/l
Middels ambisjonsnivå	> 1,5 ml/l	> 0,5 ml/l
Høyt ambisjonsnivå	> 2 ml/l	> 1 ml/l

Tabell 4.4.2: Miljømål for oksygenkonsentrasjoner i de dypere vannmassene i Bunnefjorden (85 % av observasjonene skal overstige foreslått konsentrasjoner over et tidsrom på 12 år).

Ambisjonsnivå burde vært avklart og NIVA sine beregninger med Oslofjordmodellen burde ha vært knyttet opp til ønsket ambisjonsnivå og mål.

Man kunne da kommet med konkrete tall for hvor store avløpsmengder som er nødvendig for å oppnå de ulike ambisjonsnivåene, og kostnader knyttet til dette.

Til syvende og sist er det et spørsmål om hvor store investeringer man er villig til å foreta for å oppnå bedre vannkvalitet i Bunnefjorden. Teknologisk sett er det fullt mulig.

4.5 ALTERNATIV LØSNING VED BRUK AV ELVEVANN

Det bør også nevnes at en annen mulig løsning er å bruke ferskvann fra elver.

Følgende fem elver i området har nok vannføring (mer enn 500 l/s i middelvannføring).

	Areal km ²	Middelavrenning l/(s*km ²)	Midlere vannføring l/s
Gjersjøelva	84,88	15,5	1 316
Ljanselva	40,82	16,7	682
Årungselva	51,76	15,7	813
Alna	68,63	19,8	1 359
Akerselva	237,91	19,8	4 711

Tabell 4.5.1: Elver med utløp nær Bunnefjorden.

Det mest realistiske alternativet er nok Gjersjøelven, fordi den har utløp nær den dypeste delen av Bunnefjorden og fordi den har tilstrekkelig vannføring. Middelvannføring ligger på over 1 300 l/s.



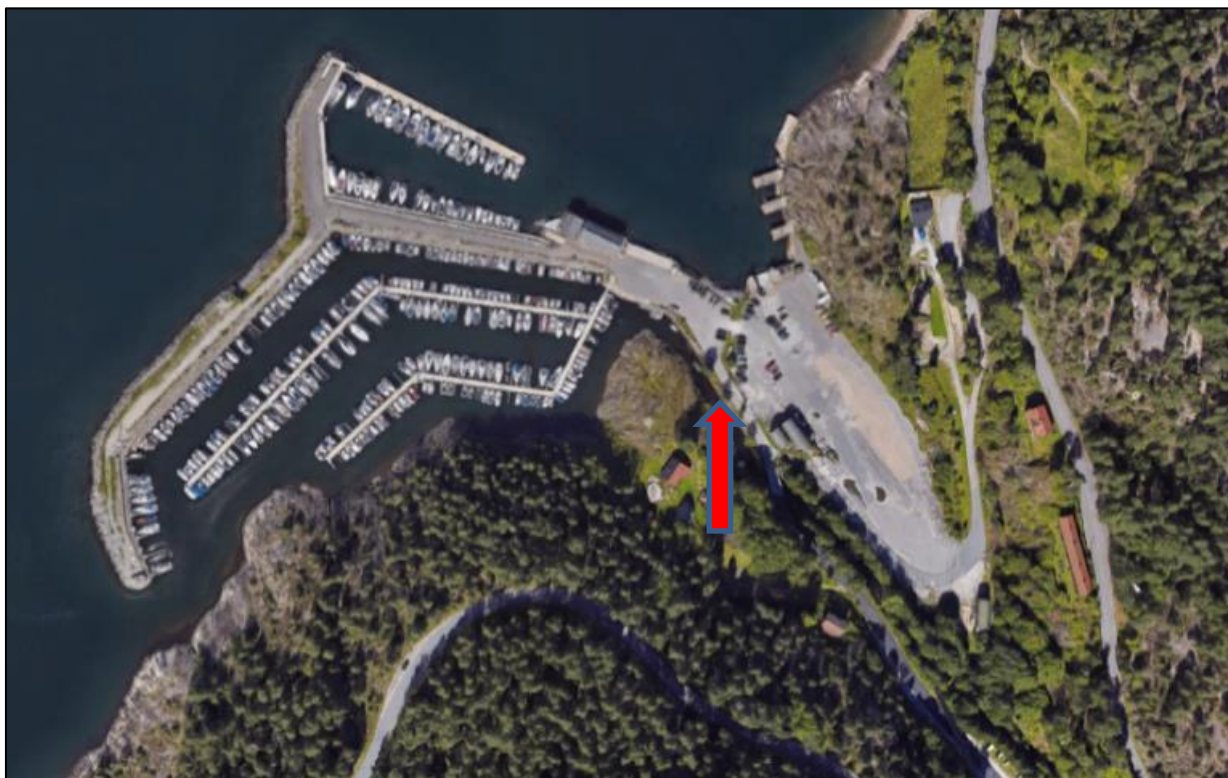
Figur 4.5.1: Skisse alternativ med bruk av elvevann fra Gjersjøelven.

Tiltak	Type tiltak	Kostnad i millioner kroner
Nytt Nordre Follo renseanlegg	Nytt og utvidet renseanlegg	Beregnes ikke
Utslippsledning	Ca. 4 km sjøledning	30
Pumpestasjon Ljansbruket/ Oppegård båtføring	Pumpestasjon	4
Hydraulisk arrangement		5
Operasjon legging sjøledning		5
Diffusor	Diffusor	5
Total		49

Tabell 4.5.2: Kostnader for alternativ med bruk av elvevann fra Gjersjøelven.

I samme periode som denne rapporten ferdigstilles pågår det en utredning for å se nærmere på om en slik løsning vil la seg gjennomføre i praksis. COWI gjennomfører denne utredningen på oppdrag av Opegård kommune. Denne utredningen er ikke ferdigstilt, men vi tillater oss å gjengi noen foreløpige konklusjoner.

Det er åpenbart at løsningen lar seg gjennomføre teknisk sett. Spørsmålet er hvor mye vann man kan ta ut, når dette vannet kan tas ut, samt i hvilken grad dette vil påvirke det biologiske mangfoldet i elven. Det er vurdert et uttak på i størrelsesorden 500 l/s i punktet som er markert i figuren under. Punktet er lokalisert nedstrøms broen ved båthavnen. Uttakspunktet bør plasseres tilstrekkelig oppstrøms utløpet for å unngå saltholdig vann, men samtidig så langt ned i elven at effekten på det biologiske mangfoldet i elven blir minimert.



Figur 4.5.2: Utløp Gjersjøelven ved båthavn og tenkt uttakspunkt.

Det er gjort flere tiltak for å bedre oppgangen og forholdene for laks og sjørret i Gjersjøelven. Det er bygd to fisketrapper, laget terskler som magasinerer vann i elva, og det er utført biotopforbedrende tiltak for fisk i elven. Gjersjøelven har nå stor produksjon av laks og sjørret som gir fiskemuligheter i elven og i Bunnefjorden. Gjersjøelven synes å ha tilfredsstillende vannkvalitet for biologisk mangfold i elven.

Vannføringen i elven varierer mye gjennom året. Kilden, Gjersjøen, er regulert til drikkevann, og dette har ført til så godt som tørtlegging av elven under tørkeperioder. I flomperioder kan vannføringen komme opp i 2000 - 5000 l/s. Det er etablert en frivillig ordning med kommunen om 150 l/s som minstevannføring.

Strekningen nedstrøms fisketrappen er produktiv og har en meget god ørret- og laksebestand. Disse produktive områdene i elven ligger oppstrøms tiltenkt vannuttak.

Det å fjerne noe av den naturlige vannføringen fra en elv har i utgangspunktet en rekke negative virkninger for det biologiske mangfoldet. Generelt vil primærproduksjonen bli redusert, vandring hos fisk vil kunne bli påvirket ved fjerne noe av vannet som naturlig går i elven, og spyleeffekten i elven vil påvirkes. Vannuttaket blir imidlertid liggende nedstrøms broen ved båthavna, og virkningene blir kun på strekningen nedstrøms dette. Fiskens gyte- og oppvekstområder ligger oppstrøms dette området og blir derfor ikke berørt.

Reduksjon i vanndekt areal vil vanligvis medføre redusert biologisk produksjon i elven. Gyte- og oppvekstområdene for laksefisk blir ikke berørt i dette tilfellet. Et redusert vanndekt areal nedstrøms uttaket vil allikevel kunne medføre en redusert produksjon av bunndyr, som igjen vil kunne påvirke fiskebestander negativt. Elvekantene nedstrøms vannuttaket er bratte og vanndekt areal her vil være forholdsvis konstant.

Flomtopper er en viktig del av vassdraget, og for organismene som lever der. Vannuttak nedstrøms broen, ved båthavna, vil ikke fysisk påvirke gyte- eller oppvekstområdene for fisken i elva, men vil kunne påvirke fiskens vandring, særlig under gytevandring om høsten og utvandring om våren under henholdsvis høst- og vårflom. Høstflommen er med på å trigge fiskens vandring mot bekken, og smolten utvandrer under vårflommen. I tillegg bidrar flommene til at organiske partikler spyles ut og at bekken "renses". Vannuttaket bør derfor foretas uten at flomtoppene forsvinner. Det er bedre om vannuttaket foretas over en lengre periode og utenom flomperiodene.

Forutsatt angitt plassering av uttaket, og under forutsetning om at flomtoppene bevares og vanndekt areal ikke reduseres vesentlig, så vil virkningene på biologisk mangfold være marginalt.

En løsning med nedpumping av elvevann fra Gjersjøelven ned til 150 meters dyp i Bunnefjorden vil redusere, muligens eliminere, behovet for utslipp av rensset avløpsvann på 150 meters dyp i Bunnefjorden. Man kan tenke seg flere løsninger:

- ✓ Elvevann fra Gjersjøelven pumpes ned på 150 meters dyp, rensset avløpsvann fra et nytt NFR slippes ut på 50 meter som i dag.
- ✓ Elvevann fra Gjersjøelven pumpes ned på 150 meters dyp, rensset avløpsvann fra et nytt NFR slippes ut på 150 meter (krever forlengelse av dagens utslippsledning).
- ✓ Elvevann fra Gjersjøelven pumpes ned på 150 meters dyp, NFR legges ned og overføres til BRA. Alt utslipp av rensset avløpsvann fra BRA skjer i Bekkelagsbassenget, som i dag.

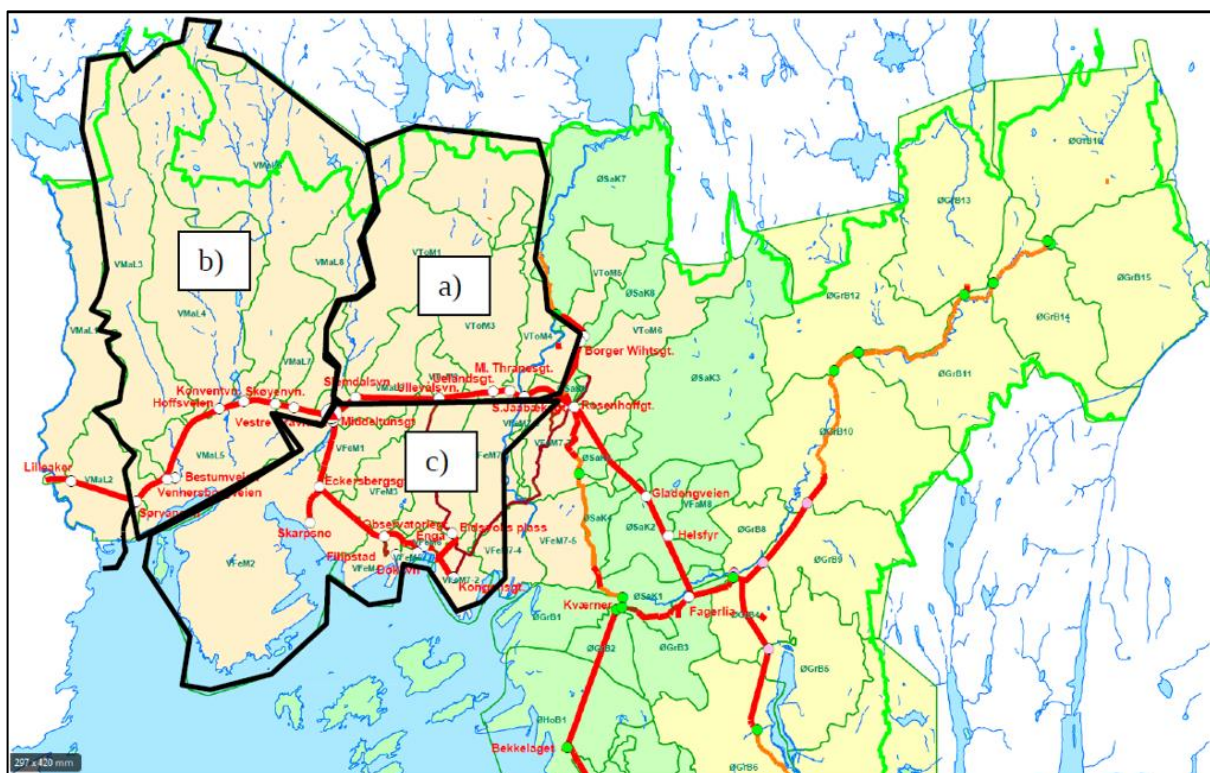
Uansett vil en løsning med nedpumping av elvevann fra Gjersjøelven til 150 meters dyp i Bunnefjorden kunne bety at man står friere til å vurdere den fremtidige lokaliseringen av avløpsrenseanleggene i Indre Oslofjord og infrastrukturen for øvrig.

5. MULIGHETER FOR OVERFØRING AV AVLØPSVANN MELLOM RENSEANLEGGENE

I oppdraget lå det også en bestilling om å vurdere muligheten for et ringsystem mellom tre rensesanlegg (VEAS, BRA og NFR/SRØ). Tanken bak dette er å bygge inn større fleksibilitet slik at de tre store anleggene kan avlaste hverandre, og slik at det blir enklere å utføre vedlikehold/planlagte stopp på ett av rensesanleggene mens de to andre er i drift.

Et annet moment var om det var ønskelig å lede mer avløpsvann til østsiden av fjorden for å få større utslippsmengder i Bunnefjorden/Bekkelagsbassenget. Nå viser beregninger at dette sannsynligvis ikke er nødvendig. Det er nok avløpsvann i de to rensesanleggene på østsiden av fjorden (BRA og NFR) for å forbedre vannkvaliteten i Bunnefjorden og Bekkelagsbassenget.

Spesifikt ble vi bedt om å vurdere områdene markert som a), b) og c) i figur 5.1.



Figur 5.1: Områder i Oslo som kan være aktuelle for overføring til BRA/NFR/SRØ.

Pr. dags dato er det kun Oslo nord/Groruddalen (samt et par mindre avløpssoner) som vi har muligheten for å sende i flere retninger. På Fagerlia fordelingsstasjon kan vi lede avløpsvannet i tunnel enten mot VEAS i vest eller mot Bekkelaget i sør-østlig retning.

Det er flere andre høyere liggende områder som ut i fra en rent høydemessig betraktning kan ledes i flere retninger. For eksempel kan NFR rensedistrikt ledes til Bekkelaget ved selvføll. I de fleste tilfeller vil imidlertid den eksisterende infrastrukturen sette hindringer.

Konvensjonelle ledningsgrøfter vil i det store og hele bli svært komplisert og kostbart da vi snakker om tett bebygde områder.

De tre hovedalternativene som utpeker seg er:

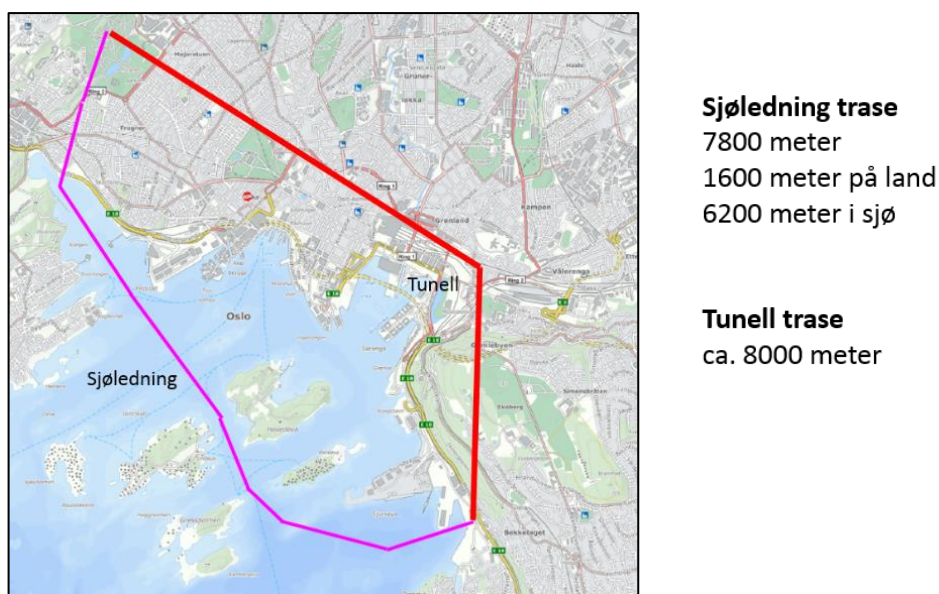
1. Sjøledninger
2. Pumpeledninger i tunell
3. Tuneller

Sjøledninger er forholdsvis billige, og er så lenge man tar hensyn til båttrafikk og liknende er effektiv måte for å overføre avløpsvann. Det er mulig å tenke seg et ringsystem i sjøen mellom de to/tre renseanleggene, og eventuelt Frognerparken pumpestasjon. VEAS og BRA ligger begge nær havnivå. For NFR er det noe mer komplisert i og med at anlegget ligger på ca. kote 40. Man må uansett pumpe avløpsvannet i sjøledningene, men ved NFR vil man i tillegg altså få en betydelig løftehøyde.

Som tidligere beskrevet er pumpeledninger i eksisterende tunneller en mulighet for å forflytte på avløpsvann. Forholdsvis rimelige anlegg. Ulempen er pumpekostnader, samt at man reduserer kapasiteten noe i de eksisterende tunellene.

Det siste alternativet er tuneller. Hvis man i tillegg ønsker seg et utjevningsvolum for å håndtere vannføringstopper, er dette den mest aktuelle løsningen. Legging av tuneller i/gjennom/under Oslo sentrum vil imidlertid bli kostbart.

Som et eksempel er vist to alternative løsninger for overføring av avløpsvann fra Frognerparken pumpestasjon (som normalt pumper mot VEAS) til BRA.



Figur 5.2: To alternative løsninger for overføring mellom Frognerparken pumpestasjon og BRA.

En sjøledning, kombinert med noe landleddning fra Frognerparken til Frognerkilen vil bli den billigste løsningen. En tunell under Oslo sentrum vil bli kostbar, men åpner for å bruke tunnelen som utjevningsvolum, og vil dermed gi reduserte overløpsutslipp og miljøbelastninger på fjorden.

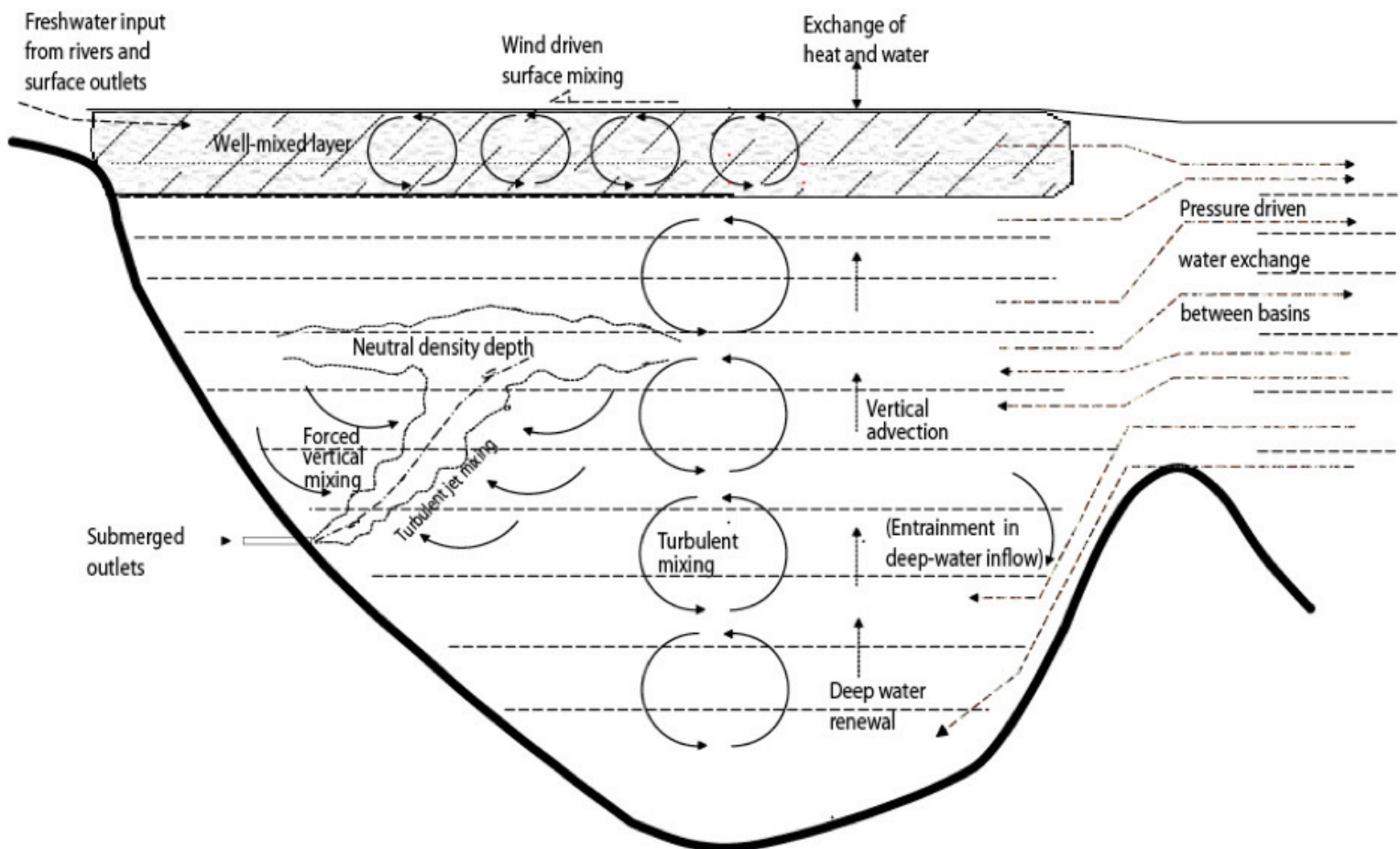
Hovedkonklusjonen er at det meste er mulig rent teknisk, men vil kreve til dels store investeringer. Det er vanskelig å finne enkle, gode og billige løsninger i et så tett befolket område med så mye eksisterende infrastruktur over og under bakken.

Vedlegg 1



NIVA-RAPPORT: VURDERING AV EFFEKTER PÅ VANNKVALITETEN VED ENDREDE
UTSLIPP I BUNNEFJORDEN OG BEKKELAGSBASSENGET

Vurdering av effekter på vannkvaliteten ved endrede utslipp i Bunnefjorden og Bekkelagsbassenget



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

NIVA Region Sør

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

NIVA Region Innlandet

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

NIVA Region Vest

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

NIVA Danmark

Ørestads Boulevard 73
DK-2300 Copenhagen
Telefon (45) 8896 9670

Tittel Vurdering av effekter på vannkvaliteten ved endrede utslipp i Bunnefjorden og Bekkelagsbassenget	Løpenummer 7192-2017	Dato 6.10.2017
Forfatter(e) André Staalstrøm	Fagområde Hydrologi og oseanografi	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Oslofjorden	Sider 36

Oppdragsgiver(e) Fagrådet for vann- og avløpsteknisk samarbeid i indre Oslofjord	Oppdragsreferanse Svanhild Lovise Fauskrud
	Utgitt av NIVA Prosjektnummer 17256

Sammendrag

På grunn av liten vertikal blanding i Bunnefjorden oppstår det i dag anoksiske forhold, som kan vare i flere år. Modellsimuleringen med NIVA Fjordmodell (NFM) gjenspeiler tilsvarende forhold. Ved å føre en vannmengde på 500-1000 L/s til 100 m dyp i Bunnefjorden, viser modellsimuleringene at dette vil føre til en dramatisk forbedring av forholdene her. Ved å overføre 500 L/s, fra BRA og 148 L/s fra Nordre Follo renseanlegg (NFR) til 100 m dyp i Bunnefjorden, vil dette føre til at de anoksiske forholdene får en mye kortere varighet. I stedet for å ha anoksiske forhold som varer i flere år, så får man en varighet på mindre enn ett år. Ved å samlet overføre 1000 L/s kan effekten bli at man stort sett unngår anoksiske forhold bortsett fra i kortere perioder i enkelte år. Ved en reduksjon av vannmengden til 1000 eller 500 L/s økes risikoen betydelig for at anoksiske forhold oppstår i bunnvannet i Bekkelagsbassenget. Denne økte risikoen ser ut til å kunne elimineres om utslippsrøret senkes fra 50 m til 65 m dyp. Utslippsdypet i Bunnefjorden bør minst være 100 m. En overføring av vann fra 50 m i Bekkelagsbassenget til 60 m i Bunnefjorden har en negativ effekt på vannkvaliteten i begge bassengene.

Fire emneord	Four keywords
1. NIVA Fjordmodell	1. NIVA Fjord model
2. Oksygenforhold	2. Oxygen conditions
3. Fjorddynamikk	3. Fjord dynamics
4. Oslofjorden	4. Oslofjorden

Denne rapporten er kvalitetssikret iht. NIVAs kvalitetssystem og godkjent av:



André Staalstrøm
Prosjektleder



Kai Sørensen
Forskningsleder

ISBN 978-82-577-6927-7
NIVA-rapport ISSN 1894-7948

**Vurdering av effekter på vannkvaliteten ved
endrede utslipp i Bunnefjorden og
Bekkelagsbassenget**

Forord

Denne rapporten er resultat av et oppdrag for Fagrådet for vann- og avløpsteknisk samarbeid i Indre Oslofjord. Oppdraget er en videre oppfølging av Strategi 2010. Arbeidet skulle vært ferdig 11. september, men viste seg å være mer krevende enn antatt, og er dermed ikke ferdig før nå. En spesiell takk rettes til Birger Bjerkeng for uvurderlig hjelp med modellering av forholdene i fjorden. Christian Vogelsang har vært behjelpelig med å lese gjennom og kvalitetssikre rapporten. Svanhild Fauskrud har vært kontaktperson hos Fagrådet. Deler av resultatene ble presentert på et møte hos Oslo VAV 14. september 2017.

NIVA Fjordmodell som brukes i dette prosjektet, er nøye beskrevet i en rekke rapporter. Siden alle disse rapportene er på norsk, er det i denne rapporten inkludert et vedlegg med en beskrivelse av modellen på engelsk.

Oslo, 6. oktober 2017

André Staalstrøm

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	9
1.1	Bakgrunn	9
1.2	Problemstillinger	9
2	Metoder	10
2.1	Oppsett av NIVA Fjordmodell (NFM)	10
2.1.1	Generelt om NFM	10
2.1.2	De topografiske forholdene i Oslofjorden	10
2.1.3	Tilførsler til fjorden	11
2.1.4	Modellkjøringer	13
2.2	FjordOs-modellen	13
3	Hydrografi og vannutveksling i Oslofjorden	14
3.1	Vannutveksling og oksygenforhold i terskelfjorder	14
3.2	Vannutveksling og oksygenforhold i Vestfjorden	16
3.3	Vannutveksling og oksygenforhold i Bunnefjorden	18
3.4	Vannutveksling og oksygenforhold i Bekkelagsbassenget	20
4	Resultater fra NFM	22
4.1	Hvor mye ferskvann må slippes ut i Bunnefjorden?	22
4.2	Effekten av å redusere vannmengden i utslippet til Bekkelagsbassenget	24
5	Horisontal sirkulasjon i Bunnefjorden	26
6	Samlet vurdering	28
	Referanser.....	30
	Vedlegg A: NIVA Fjord model.....	31

Sammendrag

Før år 2000 forekom det i Bekkelagsbassenget episoder med anoksisk vann helt opp til over terskeldypet mellom Bekkelagsbassenget og Bunnefjorden på ca. 43 m. Dette bedret seg dramatisk når utslippet fra Bekkelaget renseanlegg (BRA) ble senket ned til 50 m dyp i Bekkelagsbassenget i år 2000. Ved å redusere vannmengden som slippes ut på 50 m dyp i Bekkelagsbassenget risikerer man å bevege seg tilbake mot situasjonen før år 2000.

I dagens situasjon, hvor en årsgjennomsnittlig vannmengde på omtrent 1500 L/s slippes ut på 50 m dyp, er det jevnlig hypoksiske forhold (oksygenkonsentrasjoner under 1 ml O₂/L) i perioder på noen måneder så og si hvert eneste år i de nederste del av dypvannet i Bekkelagsbassenget under omtrent 55 m. Hydrogensulfidholdig vann ser man derimot til å unngå, men forholdene er helt på grensen til at anoksiske forhold oppstår. Ved en reduksjon av vannmengden til 1000 eller 500 L/s økes risikoen betydelig for at anoksiske forhold oppstår i bunnvannet i Bekkelagsbassenget. Denne økte risikoen ser ut til å kunne elimineres om utslippsrøret senkes fra 50 m til 65 m dyp.

På grunn av liten vertikale blandingen i Bunnefjorden oppstår det i dag anoksiske forhold, som kan vare i flere år. Modellsimuleringen med NIVA Fjordmodell (NFM) gjenskaper tilsvarende forhold. Ved å føre en vannmengde på 500-1000 L/s til 100 m dyp i Bunnefjorden, viser modellsimuleringene at dette vil føre til en dramatisk forbedring av forholdene her. Ved å overføre 500 L/s, fra BRA og 148 L/s fra Nordre Follo renseanlegg (NFR) til 100 m dyp i Bunnefjorden, vil dette føre til at de anoksiske forholdene får en mye kortere varighet. I stedet for å ha anoksiske forhold som varer i flere år, så får man en varighet på mindre enn ett år. Ved å samlet overføre 1000 L/s kan effekten bli at man stort sett unngår anoksiske forhold bortsett fra i kortere perioder i enkelte år.

Det må påpekes at det er usikkerheter knyttet til modelleringen, blant annet knyttet til hvor store mengder organisk stoff, sulfid og fosfat som er tilgjengelig i sedimentene. Modellseriene beskriver situasjoner hvor man er på grensen mellom anoksiske og hypoksiske forhold, hvor blant annet prosesser i sedimentene kan være utslagsgivende. Tatt i betraktning usikkerhetene i modellen og den store risikoen man løper ved å redusere vannmengden til Bekkelagsbassenget, anbefales det ikke en permanent reduksjon av vannmengden, hvis ikke utslippsledningen i Bekkelagsbassenget samtidig senkes.

Utslippsdypet i Bunnefjorden bør minst være 100 m. En overføring av vann fra 50 m i Bekkelagsbassenget til 60 m i Bunnefjorden har en negativ effekt på vannkvaliteten i begge bassengene.

Summary

Title: Assessment of the effects on the water quality of changed discharges in Bunnefjorden and Bekkelagsbassenget

Year: 2017

Author: André Staalstrøm

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN 978-82-577-6927-7

Before the year 2000, the basin Bekkelagsbassenget had episodes of anoxic water all the way up to the sill depth between Bekkelagsbassenget and Bunnefjorden at approx. 43 m. This improved dramatically when the discharge from the Bekkelaget purification plant (BRA) were lowered to 50 m depth in the Bekkelagsbassenget around the year 2000. By reducing the amount of water released at the depth of 50 m in Bekkelagsbassenget, the water quality could again be worsened.

In today's situation, where an annual average amount of about 1500 L/s is released at 50 m depth, there are regular hypoxic conditions (oxygen concentrations below 1 ml O₂/L) for periods of a few months, virtually every year in the deeper parts of the water mass in Bekkelagsbassenget, deeper than about 55 meters. On the other hand, anoxic water is avoided, but the conditions are on the verge of anoxic conditions. With a reduction of the water flow in the discharge to 1000 or 500 L/s, the risk is significantly increased for anoxic conditions in the bottom water of Bekkelagsbassenget. This increased risk seems to be eliminated if the discharge pipe is lowered from 50 m to 65 m depth.

Due to the small vertical mixture in the basin Bunnefjorden, there are today anoxic conditions that can last for several years. Model simulation with NIVA Fjord model (NFM) recreates corresponding conditions. By discharging a water flow of 500-1000 L/s to 100 m depth in Bunnefjorden, model simulations show that this will dramatically improve the conditions here. By transferring 500 L/s, from BRA and 148 L/s from Nordre Follo purification plant (NFR) to 100 m depth in Bunnefjorden, this will cause the periods with anoxic conditions to be much shorter. Instead of having anoxic conditions lasting for several years, you get a duration of less than a year. By transferring 1000 L/s from BRA, the effect may be to avoid anoxic conditions, except for shorter periods in a few years.

There are uncertainties related to the modeling, for instance the amount of organic matter, sulfide and phosphate available in the sediments. The model series describes situations on the fluctuating between anoxic and hypoxic conditions, and processes in the sediments, can be decisive. Considering the uncertainties in the model and the high risk of reducing the water quality in Bekkelagsbassenget, there should not be a permanent reduction in the amount of water in the discharge to 50 m depth in Bekkelagsbassenget, unless the discharge pipe is lowered at the same time.

The discharge depth in Bunnefjorden should be at least 100 m. A transfer of water from 50 m in Bekkelagsbassenget to 60 m in Bunnefjorden has a negative effect on the water quality in both basins.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

NIVA har blitt bedt om å vurdere effekter på vannkvaliteten ved endret utslipp til Bunnefjorden og Bekkelagsbassenget. Bakgrunnen er at fremtiden for Nordre Follo renseanlegg (NFR) vurderes. Realistiske alternativer er at det bygges nytt renseanlegg der NFR ligger i dag, at det bygges et nytt Sentralrenseanlegg Øst (SRØ) ved Mastemyr eller at avløpsvann som i dag går til NFR overføres til Bekkelaget renseanlegg (BRA). Plasseringen til de nåværende store og mellomstore renseanleggene i området er vist i Figur 1.

De to siste årene (2015-2016) har oksygenforholdene på 80 m dyp i Bunnefjorden vært lavere enn 1,5 ml O₂/L (Dolven et al., 2017), noe som har klassifisert vannforekomsten som «svært dårlig» i henhold til vannforskriften. Tidvis har oksygenkonsentrasjon også være lavere enn 1 ml O₂/L (såkalt hypoksisk) i bunnvannet, noe som svært få høyere organismer vil kunne leve under over lengre tid.

NIVA Fjordmodell (NFM) har tidligere blitt brukt til å simulere effekten av å endre utslippssted og utslippsdyp i Indre Oslofjord (Bjerkeng, 2011). Bjerkeng (2011) viste at ved å slippe ut rensset avløpsvann på 100 m dyp i Bunnefjorden, vil oksygenkonsentrasjonen holde seg over 1,5 ml O₂/L, og man vil dermed unngå hypoksiske forhold i Bunnefjorden over dette dypet (100 m). I det gjeldende modellscenariet ble avløpsvannet hentet fra BRA ved en simulert overføring fra dagens utslipp på 50 m dyp i Bekkelagsbassenget til 100 m dyp i Bunnefjorden. Siden dette utslippet siden omtrent år 2000 har forhindret anoksiske forhold i Bekkelagsbassenget, førte dette scenariet til en dramatisk forverring av forholdene her. Derfor ønsket Fagrådet for vann- og avløpsteknisk samarbeid i Indre Oslofjord å få vurdert løsninger hvor forholdene kan bedres i både Bunnefjorden og Bekkelagsbassenget.

1.2 Problemstillinger

Følgende problemstillinger er belyst i denne rapporten:

1. Hvor stor vannmengde er nødvendig og hvor dypt må utslippet legges, for at hypoksiske forhold skal unngås i Bunnefjorden?
2. Hvor mye kan vannmengden som slippes ut i Bekkelagsbassenget reduseres, uten at den gunstige effekten av økt vertikal blanding forringes, og det oppstår anoksiske forhold? Kan eventuelt denne reduksjonen i vannmengde kompenseres ved å senke utslippsdypet til BRA fra 50 m til 65 m?
3. Har den horisontale plasseringen av utslippspunktet i Bunnefjorden noen betydning for oksygenforholdene i bunnvannet og mengde organisk stoff i sedimentene?

2 Metoder

2.1 Oppsett av NIVA Fjordmodell (NFM)

2.1.1 Generelt om NFM

Ved NIVA har det blitt utviklet en omfattende fjordmodell. Dette arbeidet ble gjort i forbindelse med at det skulle bygges nye rensesanlegg i Indre Oslofjord. Den første modellkjøringen som ble gjort for indre Oslofjord er beskrevet av Bjerkeng (1994a, 1994b). Modellen er designet for å vurdere hvordan forskjellige stoffer som organisk stoff, nitrogen, fosfor og silikat spres gjennom det økologiske systemet i en terskelfjord. En terskelfjord er spesiell på den måten at vannmassene blandes svært lite, og vann som kommer inn i fjorden i forbindelse med en dypvannsfornyelse vil bli liggende under terskeldyp helt til neste dypvannsfornyelse. Slike vannforekomster er derfor sårbare for tilførsel av stoff som leder til økt oksygenforbruk.

Modellen er bygd opp slik at den består av en eller flere bassenger som står i forbindelse med et ytre basseng. I hvert basseng beskrives variasjon med dypet med høy oppløsning. Det tas også høyde for at dypvannsutslipp øker den vertikale blandingen. Utvekslingen mellom hvert basseng er drevet av tidevann, vind og forskjeller i trykk mellom vannmassene i to bassenger som står i forbindelse med hverandre. De fysiske prosessene som styrer modellen er detaljert beskrevet av Bjerkeng (1994c). I det modelloppsettet som vil benyttes her, vil det være fem bassenger som representerer hhv. Vestfjorden, Bærumsbassenget, Bunnefjorden, Bekkelagsbassenget og Oslo havn.

Modellen beskriver separat budsjettet til de forskjellige næringssaltene samt karbon, og har to forskjellige grupper fyttoplankton; kiselalger og andre alger. Fyttoplankton-prosessene i modellen er detaljert beskrevet av Bjerkeng (1994d). For hver algetype regnes det ut innhold av karbon, nitrogen, fosfor og silikat (hvis det er kiselalger). Hvert stoff følges fra tilførsel, gjennom næringskjeden, i organisk stoff i vannmassene og i sedimentet. En sentral del av modellen består i å beregne oksygenforbruk når organisk stoff brytes ned. Modellen inneholder også en beskrivelse av forbruk og produksjon av C, N og P som blåskjell står for (Bjerkeng, 1994e). Modellen ble sist brukt for indre Oslofjord i prosjektet Strategi 2010 (Bjerkeng, 2011), hvor mulige endringer av tilførsler på grunn av blant annet befolkningsvekst og tiltak ved utslipp til indre Oslofjord ble vurdert.

I Vedlegg A er det gitt en beskrivelse i mer detaljer av modellen på engelsk.

2.1.2 De topografiske forholdene i Oslofjorden

Oslofjorden er en terskelfjord. Det betyr at topografien under vann er slik at det er bassenger i fjorden hvor vannmassene under et visst dyp er adskilt fra havområdet på utsiden. Disse dydene kalles terskeldyp, og vann som skal inn i de dypere deler av fjorden må over disse terskeldypene.

I Figur 1 er bunntopografien i indre Oslofjord vist. I den sørlige enden ligger Drøbakterskelen, hvor terskeldypet bare er 20 m på det dypeste. Det finnes en rekke bassenger innover i fjorden. De viktigste bassengene er Vestfjorden merket med tallet 2 i figuren, og Bunnefjorden som er merket med tallet 1, som ligger på hver sin side av halvøya Nesodden. Terskeldypet mellom disse to bassengene er på omtrent 54 m. Terskelen ligger mellom Nesodden og Fornebu, merket med en rød linje. Det ligger også en terskel mellom Nesodden og Bygdø, med omtrent samme terskeldyp.

Mellom disse to tersklene ligger Lysakerfjorden som et mindre basseng. I tillegg kan Bærumbassenget, Oslo havn og Bekkelagsbassenget deles inn som egne basseng.

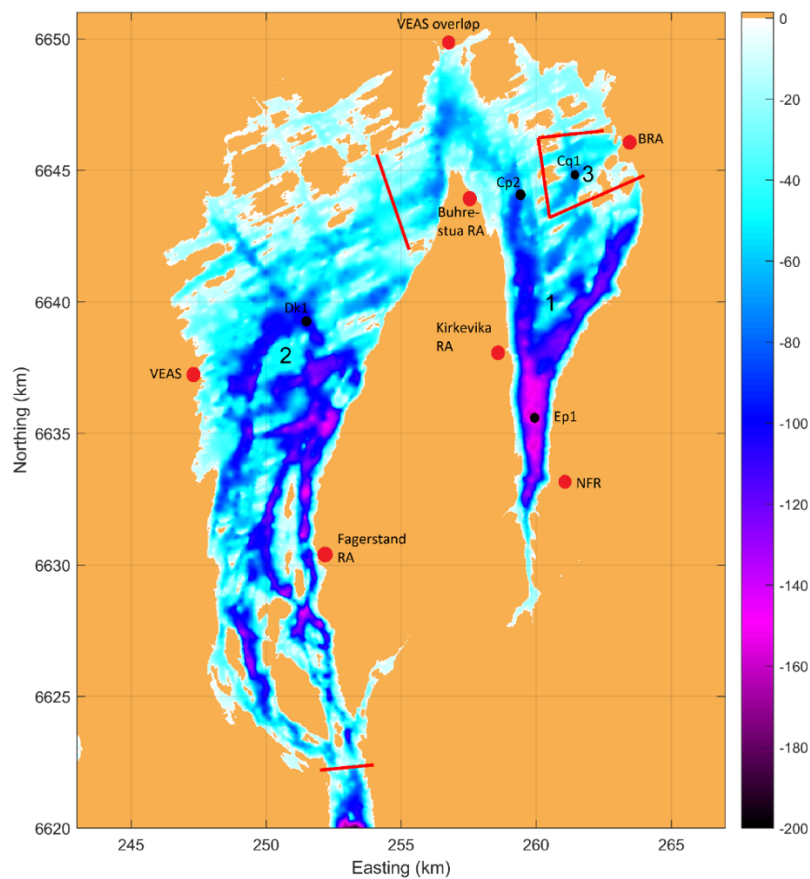
I overvåkningsprogrammet for indre Oslofjord måles forholdene jevnlig på en rekke stasjoner i fjorden. I Figur 1 er fire av disse stasjonene markert med svarte punkter. Det er stasjon Ep1 og Cp2 i henholdsvis den sørlige og den nordlige delen av Bunnefjorden, stasjon Dk1 i Vestfjorden og stasjon Cq1 i Bekkelagsbassenget. På disse stasjonene måles det blant annet profiler av temperatur, saltholdighet og oksygenkonsentrasjon.

2.1.3 Tilførsler til fjorden

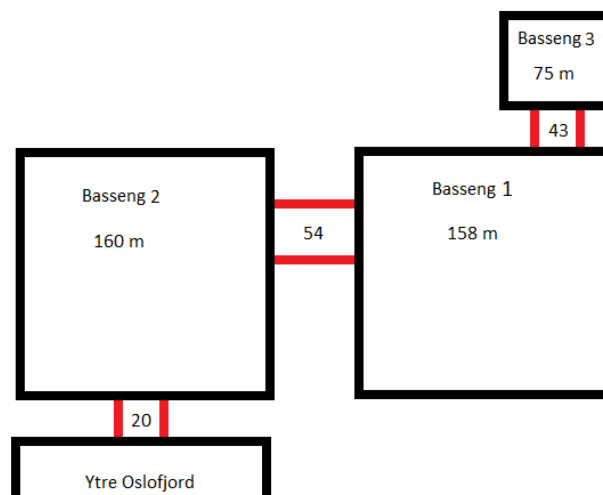
viser de utslippsmengdene som er lagt til grunn for beregningene i dette prosjektet, og det er hovedsakelig effekten av å flytte vannmengden til NFR som det nå er mest presserende å se på, men flytting av deler av vannmengden fra BRA vil også vurderes.

Tabell 1. Renseanlegg med dykket utslipp til indre Oslofjord.

Utslipp	Resipient	Utslippsdyp (m)	Vannmengde (L/s)	Tot-P (tonn/år)	Tot-N (tonn/år)	TOC (tonn/år)
BRA	Bekkelagsbassenget	50	1500	5,6	342,0	200,0
BRA, overløp	Bekkelagsbassenget	50	12-109	1,8	19,2	63,0
VEAS	Vestfjorden	42	3260	25,2	720,0	1246,0
VEAS, overløp	Lysakerfjorden	25	31-183	5,4	43,0	141,2
NFR	Bunnefjorden	50	148	1,2	35,0	45,0
Buhrestua RA	Bunnefjorden	22	24,2	0,3	6,9	7,6
Fagerstand RA	Vestfjorden	25	22	0,2	6,0	7,7



Figur 1. Kart over indre Oslofjorden. De røde punktene angir plasseringen av eksisterende rensenanlegg i fjorden. De svarte punktene angir noen av målestasjonene i overvåkningsprogrammet for indre Oslofjord (Dolven et al., 2017). Verdiene på x- og y-aksen i figuren angir posisjonen i UTM koordinater (sone 33).



Figur 2. Skisse som viser koblingene mellom Ytre Oslofjord og de tre bassengene brukt i modellen. I hvert basseng er det maksimale dypet angitt og terskeldypene for hver forbindelse er angitt i m.

2.1.4 Modellkjøringer

I dette modellstudiet er indre Oslofjord delt inn i henholdsvis to og tre bassenger. I en innledende rekke med modellkjøringer ble fjorden delt inn i to: Bunnefjorden og Vestfjorden. Grensen mellom de to bassengene går mellom Nesodden og Fornebu og er vist som en rød strek i Figur 1. Disse modellkjøringene ble brukt for å studere effekten av endret dyputslipp til Bunnefjorden. I en ny rekke med modellkjøringer ble Bekkelagsbassenget innført som eget basseng. Dette ble gjort for å se på effekten av å endre utslippet fra BRA. En skjematisk beskrivelse av disse tre bassengene er vist i Figur 2.

I hvert av bassengene ble blandingskoeffisienten, som angir hvor sterk den vertikale blandingen er, justert, slik at den modellerte hydrografiske utviklingen ble tilsvarende den observerte utviklingen. En detaljert beskrivelse av hvordan den vertikale blandingen i fjorden beregnes er gitt av Bjerkeng (1994c).

Tabell 2. Blandingskoeffisient som er brukt i hvert basseng modellen.

Parameter	Bunnefjorden	Vestfjorden	Bekkelagsbassenget
Blandings- Koeffisient (MIXCF)	0,2 cm ² /s	1,0 cm ² /s	0,2 cm ² /s

Tabell 3. Oversikt over modellkjøringer

Kjøring	Antall Basseng	Beskrivelse av kjøringen
1a	2	148 l/s på 50 m i Bunnefjorden
1b	2	148 l/s på 100 m i Bunnefjorden
1c	2	648 l/s på 100 m i Bunnefjorden
1d	2	1148 l/s på 100 m i Bunnefjorden
1e	2	648 l/s på 60 m i Bunnefjorden
1f	2	324 l/s på hhv. 100 m og 150 m i Bunnefjorden
1g	2	648 l/s på 150 m i Bunnefjorden
2a	3	1500 L/s på 50 m i Bekkelagsbassenget
2b	3	1500 L/s på 0 m i Bekkelagsbassenget
2c	3	1000 L/s på 50 m i Bekkelagsbassenget
2d	3	500 L/s på 50 m i Bekkelagsbassenget
2e	3	1000 L/s på 65 m i Bekkelagsbassenget

2.2 FjordOs-modellen

I NIVA Fjordmodell (NFM) representerer resultatene verdier som er midlet horisontalt i hvert basseng. Det er antatt at forskjellene vertikalt er mye viktigere enn forskjellene horisontalt. Dette gjør at det ikke er mulig å skille på et utslipp som slippes ut sør eller nord i Bunnefjorden. For å vurdere om det har noen betydning for vannkvaliteten hvor utslippspunktet i Bunnefjorden plasseres horisontalt, har vi vist strømforholdene på 50 m dyp (se Figur 15). Disse dataene er hentet fra havmodellen FjordOs (Røed et al., 2016). FjordOs er en tre-dimensjonal sirkulasjonsmodell som dekke hele Oslofjorden helt ut til Færder med høy oppløsning.

3 Hydrografi og vannutveksling i Oslofjorden

3.1 Vannutveksling og oksygenforhold i terskelfjorder

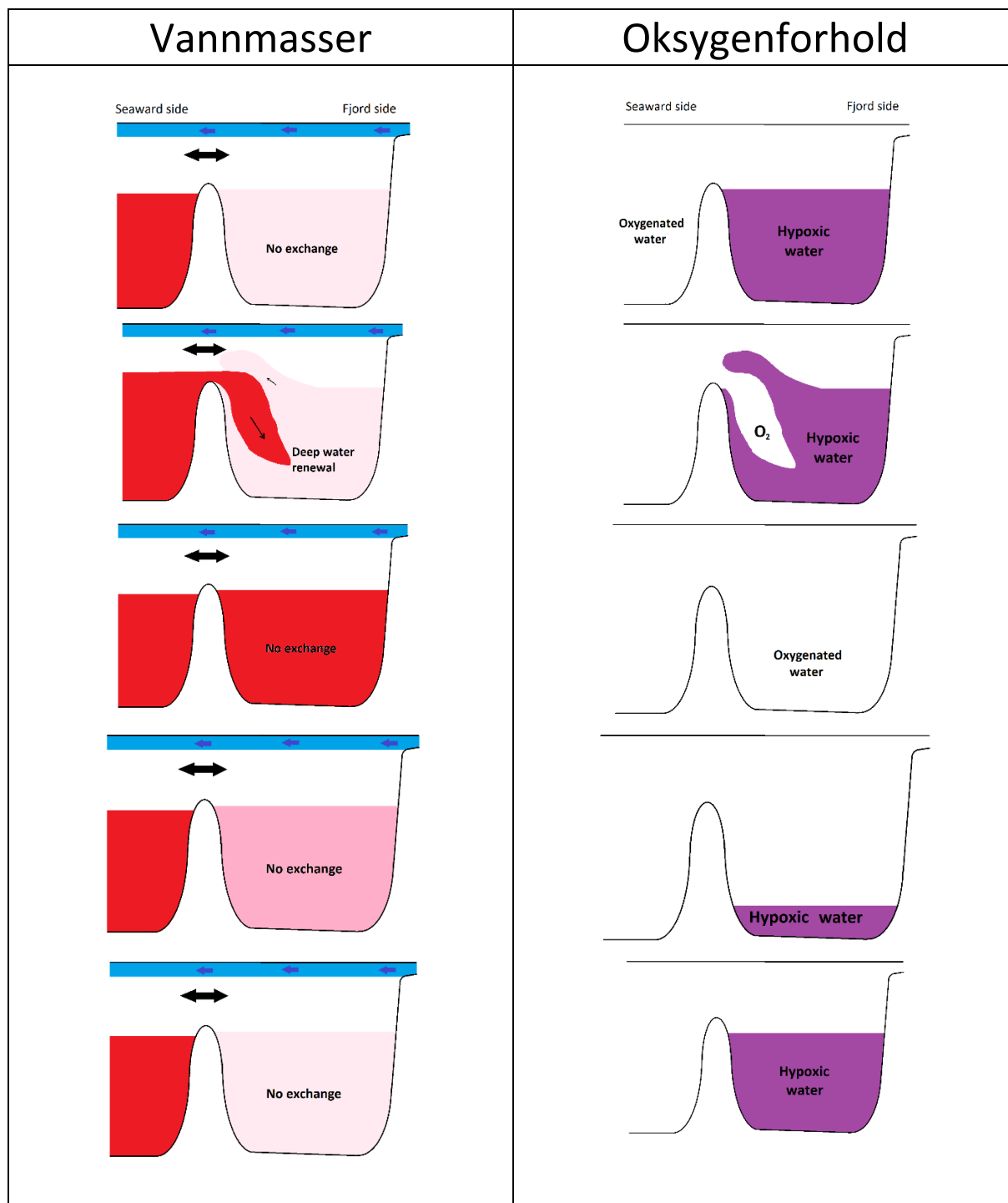
Vannmassene under 20 m i indre Oslofjord er adskilt fra havområdet på utsiden av Drøbakerskelen. I kystsonen er som regel vannet sjiktet, med ferskt og lett vann i overflatelaget, som ligger over saltere og tyngre vann. Vannets egenvekt eller tetthet, øker derfor som regel med dypet. Det tunge vannet som befinner seg innenfor terskelen og under terskeldyp er derfor fanget i fjorden, og byttes bare ut når vann som er enda tyngre kommer inn over terskelen. Slike episoder kalles dypvannsfornyelser. I perioden mellom disse episodene ligger dypvannet i ro, bortsett fra en begrenset vertikal blanding som blander ned lettere vann fra overflatelaget.

Denne prosessen er illustrert i Figur 3 som viser fem stadier av vannutvekslingen i en fjord. I stadiet 1 ligger forholdene til rette for en dypvannsfornyelse: på sjøsiden er det vann med tilstrekkelig høy egenvekt (rødt) nesten helt opp til terskeldyp, men terskelen hindrer dette vannet fra å trenge inn i fjorden, hvor vannmassene (lys rosa) har lavere egenvekt. Vannet på sjøsiden er oksygenrikt, mens dypvannet innenfor terskelen er hypoksisk (lav oksygenkonsentrasjon).

I stadiet 2 vises en dypvannsfornyelse. Det tunge oksygenrike vannet fra utsiden av terskelen er hevet over terskeldypet, og fortrenger det oksygenfattige dypvannet. I stadiet 3 har alt det oksygenfattige dypvannet blitt fornyet av tungt oksygenrikt vann. På dette stadiet er det ikke noe potensial for ytterligere dypvannsfornyelse, og en stagnasjonsperiode starter. I denne perioden (stadiet 4 og 5) er det et kappløp mellom vertikal blanding, som blander ned lettere vann og dermed reduserer tettheten i dypvannet, og oksygenforbruket i fjorden.

Denne vannutvekslingsprosessen ble allerede beskrevet av Gaarder (1916). Hypoksiske forhold i norske fjorden ble oppdaget for første gang høsten 1898, hvor anoksisk (oksygenfritt) vann ble funnet i Frierfjorden og Drammensfjorden. Inntil da var det bare en vannforekomst hvor anoksisk vann var funnet. Det var i Svartehavet hvor russiske forskere hadde funnet anoksisk vann under en ekspedisjon i 1891-1892 (Gaarder, 1916). Anoksiske forhold ble også tidlig funnet i Bunnefjorden (Beyer & Føyn, 1951).

En nærmere beskrivelse av hva som forårsaker den vertikale blandingen i indre Oslofjord er gitt av Staalstrøm (2015). Det som er påfallende med indre Oslofjord er at den vertikale blandingen i Vestfjorden er opp til fem ganger så stor som i Bunnefjorden. Dette betyr at prosessen med å blande ned lett vann under terskeldypet inne i fjorden, som er beskrevet i stadiet 3 til 5 på venstre side i Figur 3, går mye fortere i Vestfjorden, og det er dermed kortere perioder mellom dypvannsfornyelsene. I Bunnefjorden hvor denne prosessen går mye saktere, er det mer tid for å utvikle hypoksiske forhold i dypvannet. Hvis den vertikale blandingen kunne økes i Bunnefjorden så ville dette bassenget tålt mer tilførsel av stoffer som forbruker oksygen.

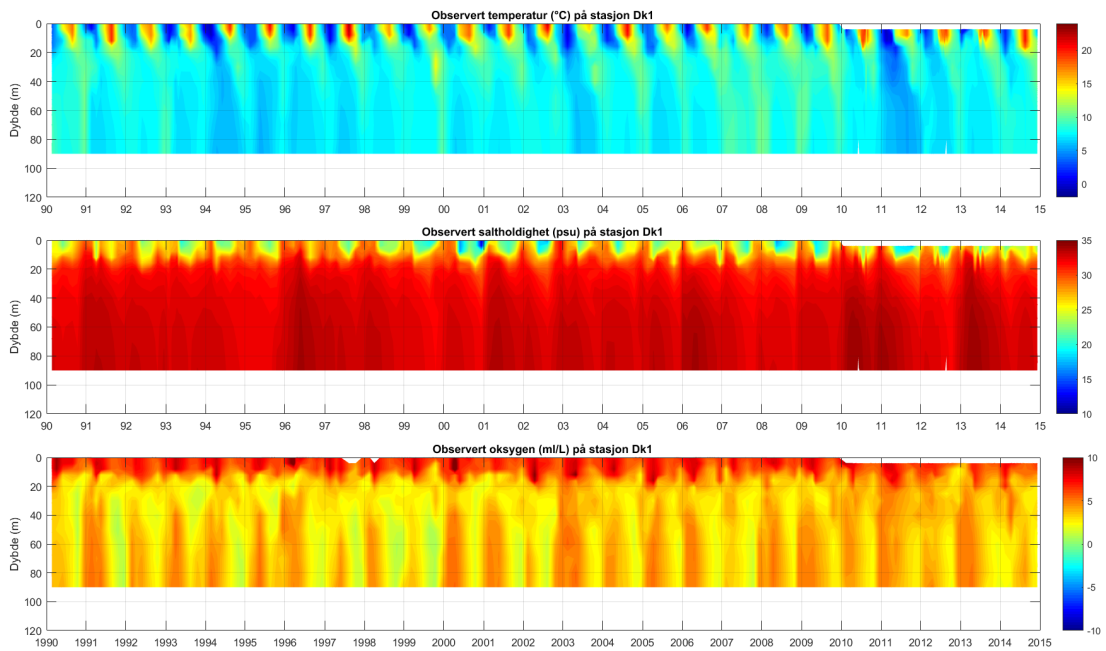


Figur 3. Skisse av hvordan vannutveksling kan foregå i en terskelfjord med lite vertikal blanding av bunnvannet. På venstre siden vises egenvekten til vannmassene, hvor rødt indikerer tungt vann og rosa lettere vann. På høyre side vises oksygenforholdene i vannmassene, hvor hvitt indikerer oksygenrikt vann og lilla oksygenfattig vann.

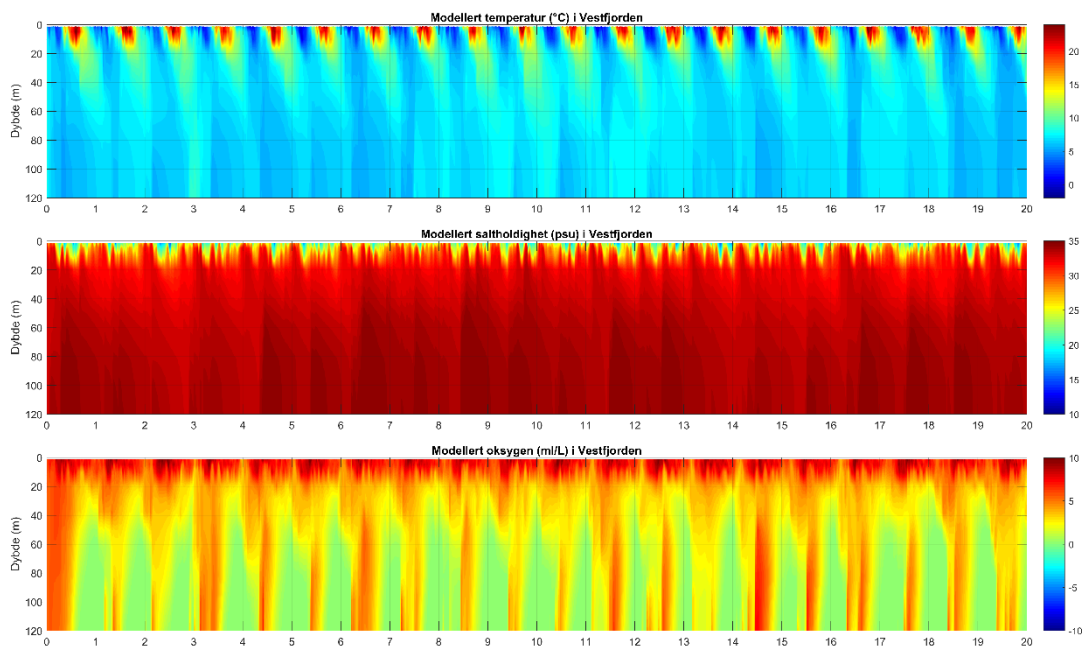
3.2 Vannutveksling og oksygenforhold i Vestfjorden

Figur 4 viser hvordan utviklingen har vært i Vestfjorden i de 25 årene fra 1990-2014. Dette er basert på observasjoner fra overvåkningsprogrammet fra indre Oslofjord, som blant annet er beskrevet av Dolven et al. (2017). I overflaten er det en tydelig sesongvariasjon i temperaturen. Nedover i dypet er denne sesongvariasjonen forsinket i tid, siden det tar en viss tid for at variasjonen i overflatelaget skal forplante seg nedover i dypet. Hvor dypt ned en ser sesongvariasjon er en indikasjon på hvor effektivt vannmassene blandes vertikalt. I Vestfjorden finner man en forsinket sesongvariasjon helt ned til minst 90 m. Ved å studere saltholdigheten finner man at innstrømning av saltere og tyngre vann i forbindelse med dypvannsfornyelser har stor betydning for den vertikale blandingen. Nesten hvert år så øker saltholdigheten i dypvannet. Det er spesielt tydelig at dette skyldes dypvannsfornyelser når oksygenkonsentrasjonen i dypet studeres. Samtidig som saltholdigheten i dypet øker, øker også oksygenkonsentrasjonen, som viser at nytt oksygenrikt vann kommer inn i fjorden.

I Figur 5 er forholdene i Vestfjorden modellert med NFM. Modellen gjenskaper hovedtrekkene som er observert. Det forekommer en dypvannsfornyelse hvert år, som bringer inn salt og oksygenrikt vann.



Figur 4. Observert temperatur (øverst), saltholdighet (i midten) og oksygenkonsentrasjon (nederst) på stasjon Dk1 i Vestfjorden, for årene de 25 årene fra 1990 til 2014. Data er hentet fra overvåkingsprogrammet for indre Oslofjord (Dolven et al., 2017).

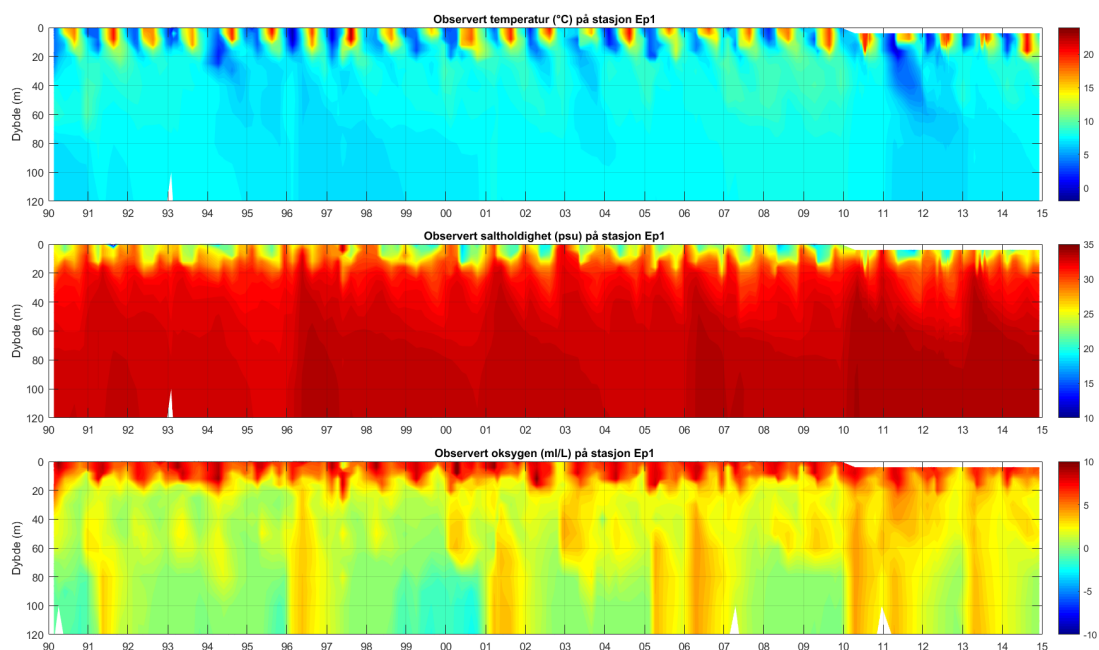


Figur 5. Modellert temperatur (øverst), saltholdighet (i midten) og oksygenkonsentrasjon (nederst) på i Vestfjorden. NFM er benyttet, og modellen er kjørt i 20 år.

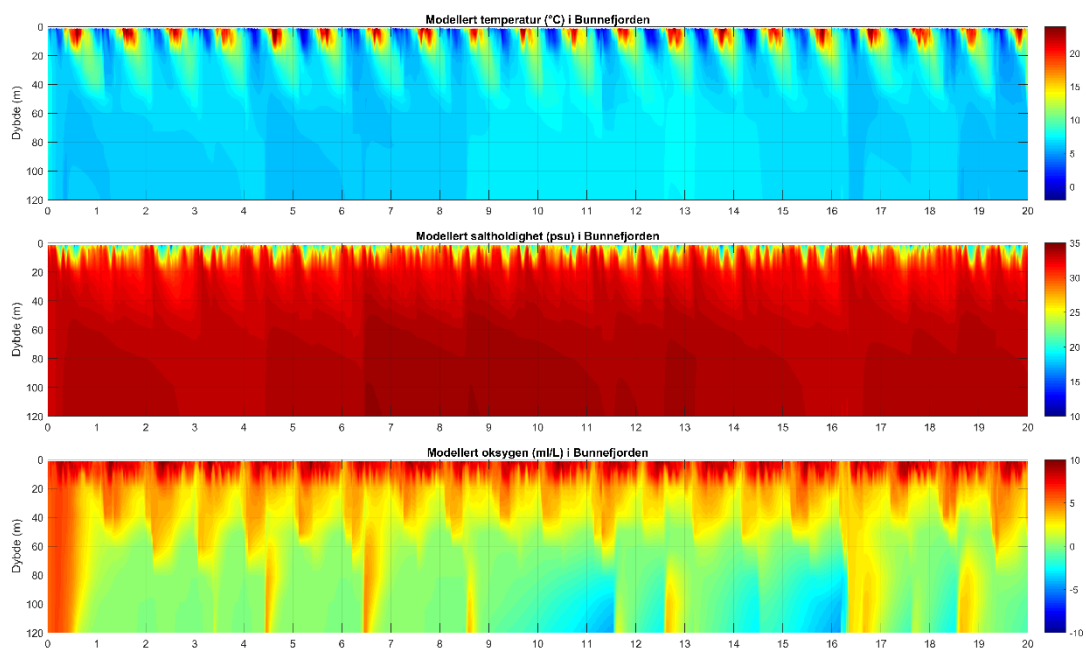
3.3 Vannutveksling og oksygenforhold i Bunnefjorden

Figur 6 viser hvordan utviklingen har vært i Bunnefjorden i de 25 årene fra 1990-2014. I overflaten er det en tydelig sesongvariasjon i temperaturen. Under terskeldypet på 54 m sees ikke lenger noen sesongvariasjon. Dette er et tegn på at variasjonen i overflatelaget i mye mindre grad blandes ned i vannmassene enn i Vestfjorden. Variasjon i saltholdighet og oksygenkonsentrasjon i dypvannet, viser at det går flere år mellom hver gang nytt salt og oksygenrikt vann trenger inn i fjorden. Det var dypvannfornyelse i Bunnefjorden i årene 1991, 1996, 2001, 2005, 2006, 2010, 2011 og 2013. Det kom noe oksygenrikt vann inn i 2016, men utenom dette har det ikke vært noen fullstendig dypvannfornyelse i Bunnefjorden siden 2013 (Dolven et al., 2017). På det nåværende tidspunkt så er forholdene i Bunnefjorden sannsynligvis som stadium 1 i Figur 3, og det er kan forventes en dypvannsfornyelse i 2018.

I Figur 7 er forholdene i Bunnefjorden modellert med NFM. Modellen gjensker hovedtrekkene som er observert. Dypvannsfornyelse forekommer med 3-4 års mellomrom i modellen, og dette fører til at det utvikles anoksiske forhold. Frekvensen av dypvannsfornyelser i modellen er tilsvarende det som observert, hvor det forekommer dypvannsfornyelser med 1-5 års mellomrom.



Figur 6. Observert temperatur (øverst), saltholdighet (i midten) og oksygenkonsentrasjon (nederst) på stasjon Ep1 i Bunnefjorden, for årene de 25 årene fra 1990 til 2014. Data er hentet fra overvåkingsprogrammet for indre Oslofjord (Dolven et al., 2017).

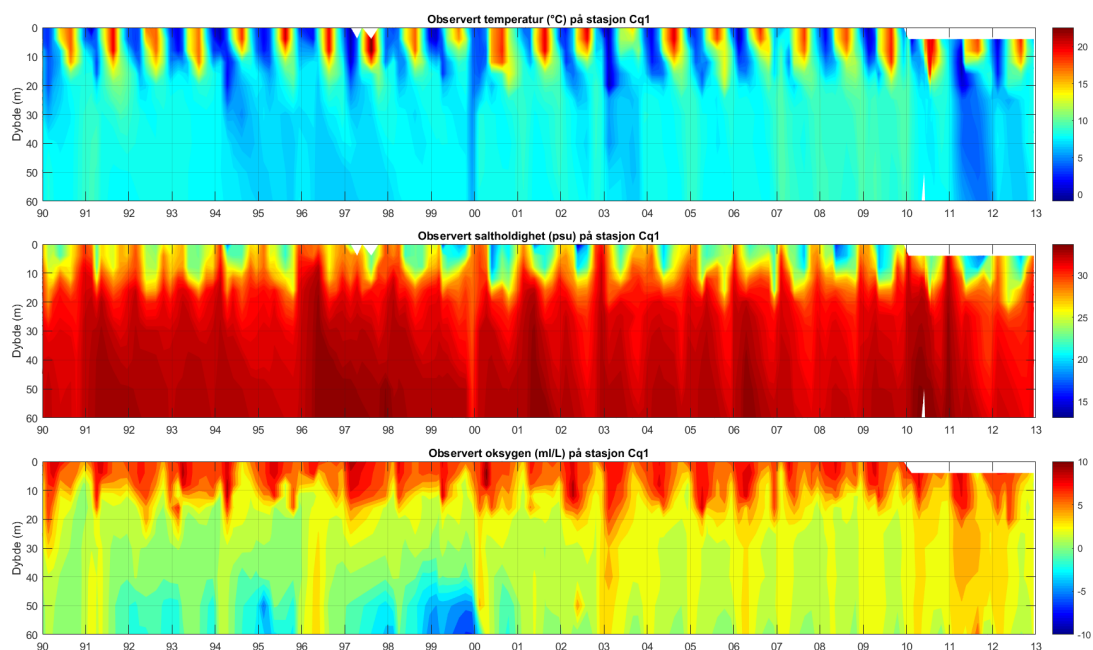


Figur 7. Modellert temperatur (øverst), saltholdighet (i midten) og oksygenkonsentrasjon (nederst) på i Bunnefjorden. NFM er benyttet, og modellen er kjørt i 20 år.

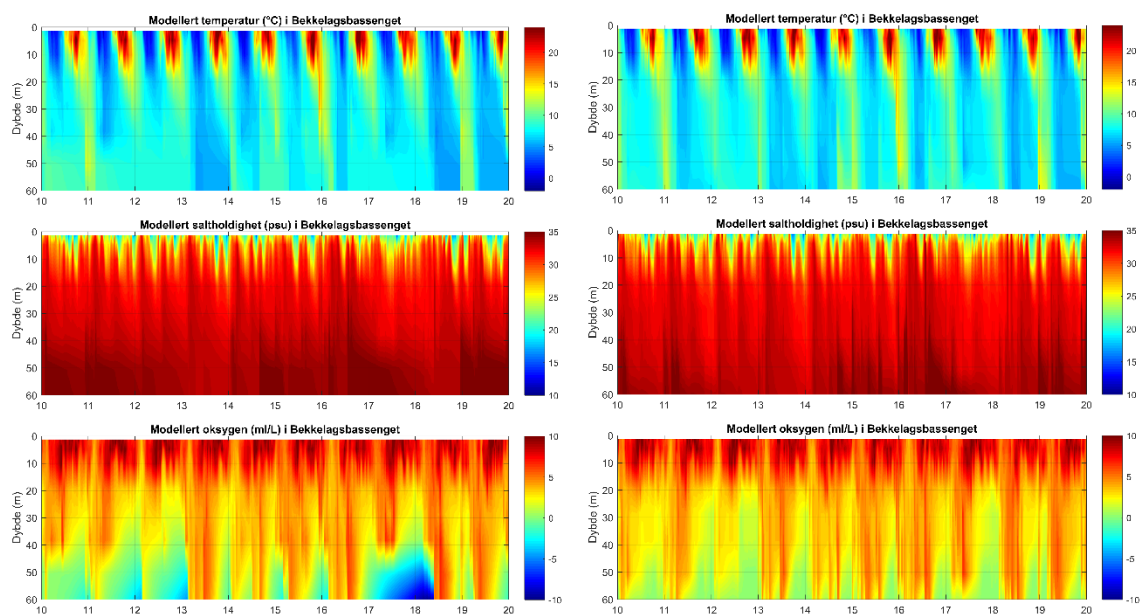
3.4 Vannutveksling og oksygenforhold i Bekkelagsbassenget

Figur 8 viser hvordan utviklingen har vært i Bekkelagsbassenget i de 23 årene fra 1990-2012. I overflaten er det en tydelig sesongvariasjon i temperaturen. I 2000 ble utslippet fra BRA senket ned til 50 m dyp, og dette gjorde at den vertikale blandingen i bassenget økte signifikant. Dette skyldes at utslippet, som består av ferskvann med positiv oppdrift, drar med seg vann oppover i vannsøylen. Dette gir økt vertikal blanding, som fører til hyppigere dypvannsfornyelser. Etter år 2000 har tungt bunnvann hatt kortere oppholdstid i bassenget, noe som har resultert i at anoksiske forhold i liten grad har fått utviklet seg.

I Figur 9 er forholdene i Bekkelagsbassenget modellert med NFM. På høyre side er dagens situasjon modellert, med BRA sitt utslipp på 50 m. Oksygenforholdene i bunnvannet er dårlige, men det oppstår ikke anoksiske forhold, tilsvarende det som er observert. På venstre side er utslippet fra BRA lagt til overflata, for å simulere situasjonen før år 2000. I det tilfellet blir bunnvannet liggende lenger i bassenget og det oppstår anoksiske forhold.



Figur 8. Observert temperatur (øverst), saltholdighet (i midten) og oksygenkonsentrasjon (nederst) på stasjon Cq1 i Bekkelagsbassenget, for årene de 23 årene fra 1990 til 2012. Data er hentet fra overvåkingsprogrammet for indre Oslofjord (Dolven et al., 2017).



Figur 9. Modellert temperatur (øverst), saltholdighet (i midten) og oksygenkonsentrasjon (nederst) på i Bekkelagsbassenget. NFM er benyttet, og modellen er kjørt i 20 år, hvor de ti siste årene vises. I plottet til venstre er utslippet fra BRA lagt til overflata, og i plottet til høyre er utslippet lagt til 50 m dyp.

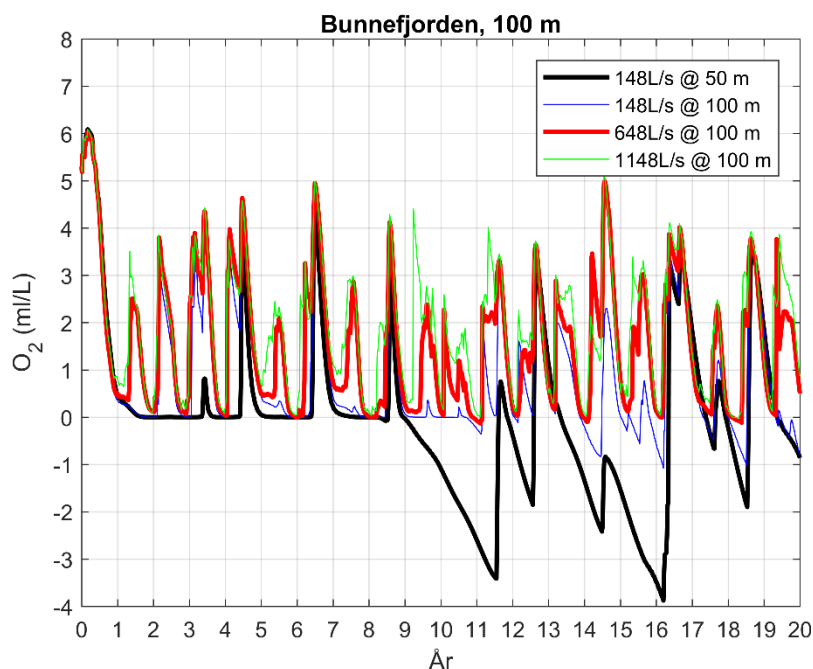
4 Resultater fra NFM

4.1 Hvor mye ferskvann må slippes ut i Bunnefjorden?

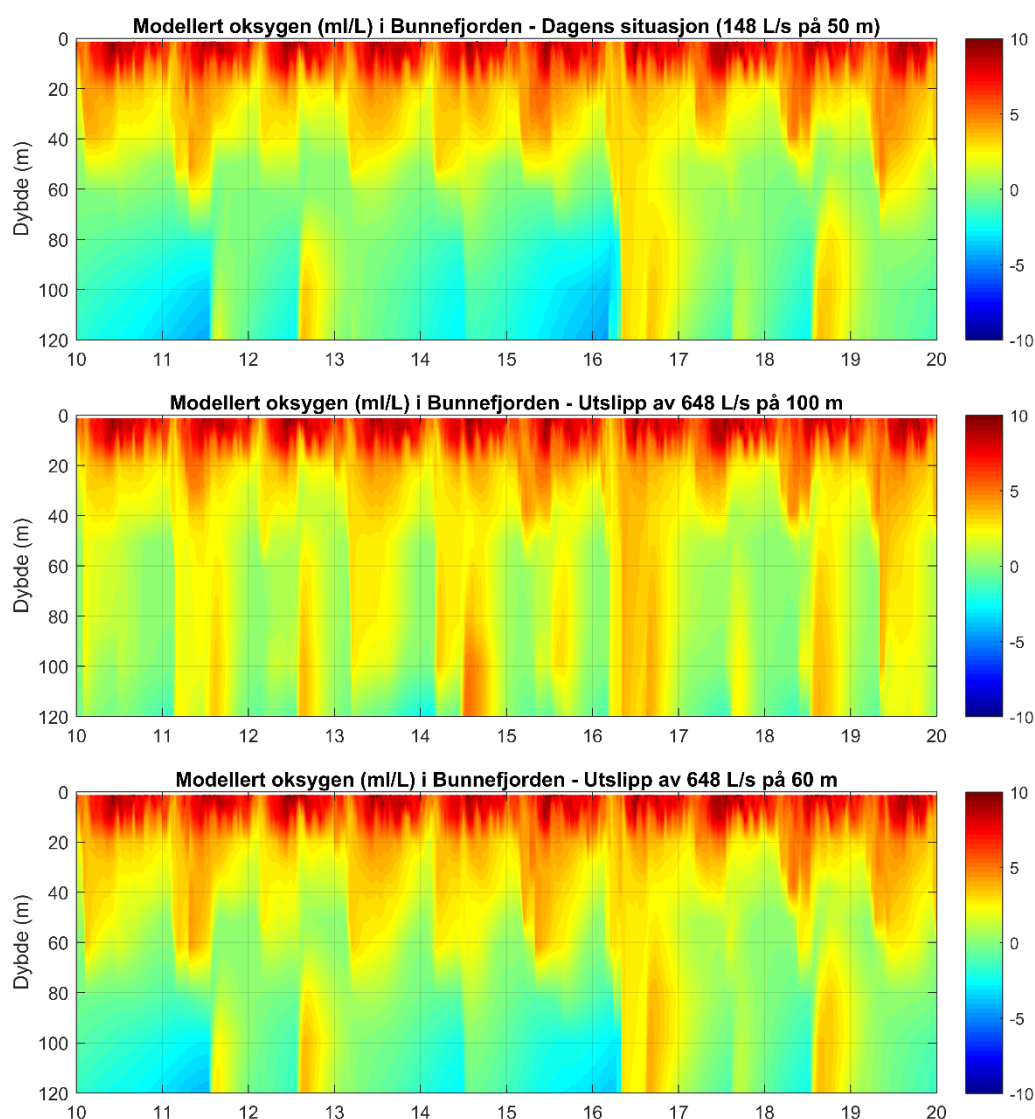
For å undersøke hvor mye ferskvann som må slippes ut på dypet for at oksygenforholdene i Bunnefjorden skal forbedres, ble det gjort en rekke kjøringar hvor utslippet ble manipulert. Det ble tatt utgangspunkt i 20-års modellsimuleringen for Bunnefjorden (se Figur 7), og så ble utslippet til NFR endret, som har en vannmengde på 148 L/s. Først ble utslippet flyttet ned til 100 m dyp. Deretter ble vannmengden økt med henholdsvis 500 og 1000 L/s ved å overføre tilsvarende utslipp fra BRA fra Bekkelagsbassenget til Bunnefjorden. Resultatene for modellert oksygenkonsentrasjon på 100 m er vist i Figur 10.

Den svarte kurven viser dagens situasjon hvor det utvikles anoksiske forhold som varer i flere år. Ved å senke utslippet til NFR til 100 m så har dette en positiv effekt på oksygenforholdene. Selv om det fortsatt utvikles anoksiske forhold er varigheten av disse episodene kortere.

Ved å overføre en vannmengde på 500 eller 1000 L/s fra Bekkelaget til 100 m dyp i Bunnefjorden, vil dette føre til en dramatisk forbedring av forholdene her. Når en vannmengde på 500 L/s legges på 100 m sammen med vannmengden på 148 L/s fra NFR, fører dette til at de anoksiske forholdene får en mye kortere varighet. I stedet for å ha anoksiske forhold som varer i flere år, så får man en varighet på mindre enn et år, og oksygenkonsentrasjonen rekker ikke å gå under null. Ved å overføre 1000 L/s kan effekten bli at man stort sett unngår anoksiske forhold bortsett fra i kortere perioder i enkelte år. Siden mer vannmengde i utslippet gir mer vertikal blanding, og dermed oftere dypvannsfornyelse, vil det bli forbedringer i vannkvaliteten også under 100 m.



Figur 10. Oksygenkonsentrasjonen på 100 m i Bunnefjorden ved forskjellige utslipp. Dagens situasjon (alt renset avløp fra NFR sluppet ut på 50 m dyp) er vist med sort tykk strek.

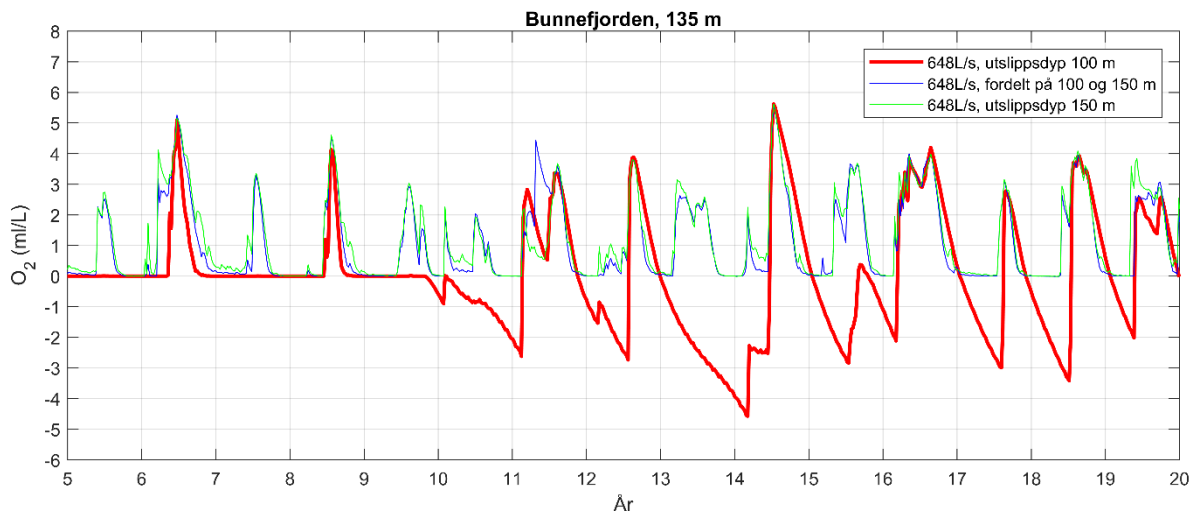


Figur 11. Oksygenforholdene i Bunnefjorden, ved forskjellige typer dyputslipp. Øverst vises dagens situasjon hvor utslippet fra NFR går ut på 25 m. I midten vises situasjonen hvis NFR sitt utslipp sammen med 500 L/s overført fra BRA slippes ut på 100 m. Nederst vises situasjonen hvis den samme vannmengden slippes ut på 60 m. På x-aksen vises antall år i modellsimuleringen. Merk at rødt angir høy oksygenkonsentrasjon, mens blått angir negativ oksygenkonsentrasjon (anoksiske forhold). Lysegrønt antyder hypoksiske forhold.

I Figur 11 er effekten av å slippe ut avløpsvannet på 60 m i stedet for på 100 m, illustrert. Øverst vises dagens situasjon og i midten utslipp av 648 L/s på 100 m. Ved å legge utslippet på 100 m, oppnås en meget god effekt, med dypvannsfornyelse helt ned til 100 m nesten hvert år. Det er også positive effekter under 100 m, ved at dypvannsfornyelsene noen år går helt ned til bunn.

Ved å legge utslippet på 60 m (se nederst i Figur 11), blir det riktignok bedre oksygenforhold fra 40 til 60 m. Men oksygenforholdene i dypvannet blir ikke bedre. Faktisk blir forholdene noe verre, siden dypvannet tilføres mer oksygenforbrukende stoffer, uten at man får den positive effekten av økt vertikal blanding i dypvannet.

I Figur 12 er oksygenkonsentrasjonen i det dypeste laget i Bunnefjorden vist, hvor utslippsdypet varieres. I simuleringene i figuren er det brukt en vannmengde på 648 L/s. Hvis alt dette slippes ut på 100 m, vil det dannes anoksisk vann under dette utslippsdypet. Hvis hele eller halvparten av denne vannmengden slippes ut på 150 m, så unngås dette.



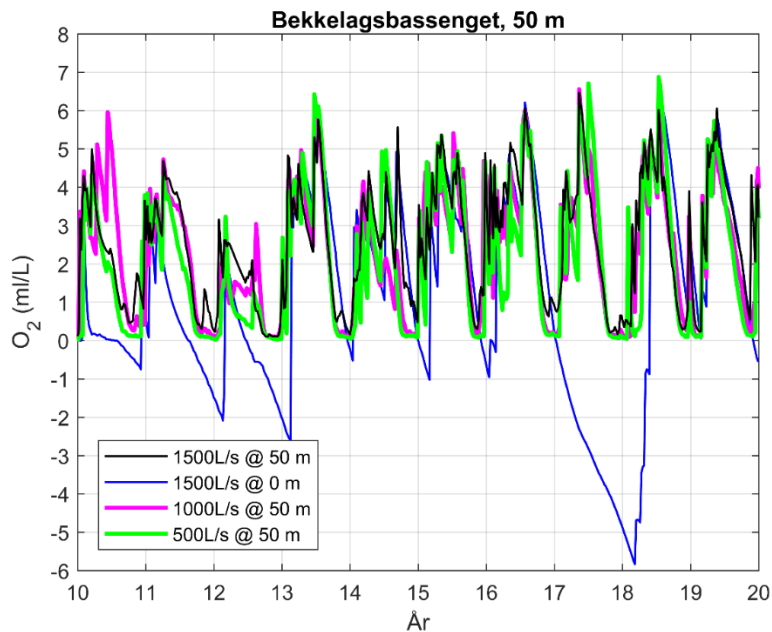
Figur 12. Oksygenkonsentrasjonen på 135 m i Bunnefjorden ved forskjellige utslippsdyp i Bunnefjorden.

4.2 Effekten av å redusere vannmengden i utslippet til Bekkelagsbassenget

Figur 8 viser at det før år 2000 forekom episoder med anoksisk vann helt opp til over terskeldypet mellom Bekkelagsbassenget og Bunnefjorden på ca. 43 m. Dette viste også ble simuleringen gjort av Bjerkeng (2011) (se Figur 9), og denne er vist som en blå kurve i Figur 13.

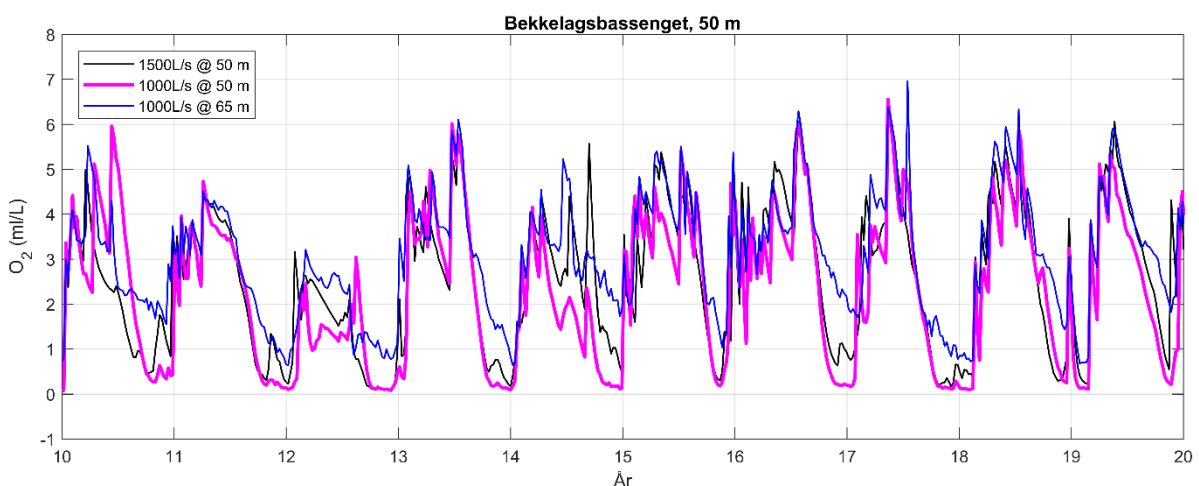
Når utslippet fra BRA ble senket ned til 50 m i Bekkelagsbassenget i 2000, førte dette til en dramatisk forbedring av oksygenforholdene i bunnvannet i dette bassenget. Til tross for dette blir, det hypoksiske forhold i bunnvannet hvert år, men oksygenkonsentrasjonen holder seg over 0 mg O₂/L (se svart kurve i Figur 13).

Når vannmengden i utslippet på 50 m reduseres til henholdsvis 1000 og 500 L/s, så fører dette til en liten forverring i forholdene. Hvert år så blir oksygenkonsentrasjonen null, og ved en vannmengde på kun 500 L/s så går konsentrasjonen enkelte ganger under null i kortere perioder.



Figur 13. Oksygenkonsentrasjonen på 50 m dyp i Bekkelagsbassenget. På x-aksen vises antall år i modellsimuleringen. Blå kurve angir forholdene i Bekkelagsbassenget hvis utslippet fra BRA er i overflaten.

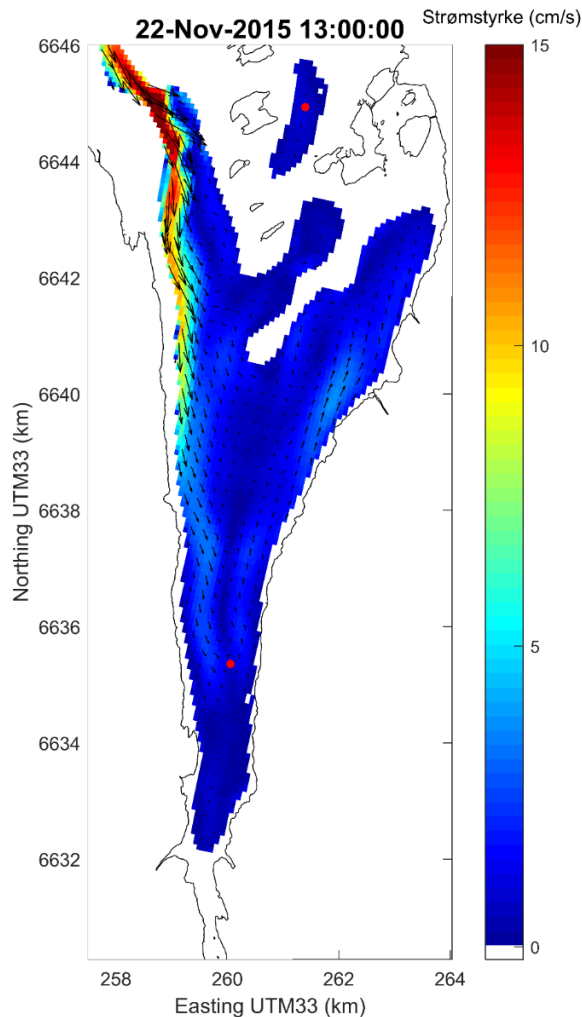
Ved å senke utslippet fra BRA fra 50 m til 65 m, så kan denne negative effekten mer en kompenseres for. Figur 14 viser betydningen av å redusere vannmengden fra 1500 til 1000 L/s når utslippet er lagt til 65 m dyp, noe som altså betyr at 500 L/s kan overføres til Bunnefjorden. Dagens situasjon er vist med svart kurve. Når vannmengden reduseres til 1000 L/s, så har dette en liten men tydelig effekt, og minimum konsentrasjonen blir noen ganger 0,5 ml O_2/L , for eksempel på slutten av år nummer 14. Om utslippsledningen senkes fra 65 til 50 m og det slippes ut en redusert vannmengde på 1000 L/s, så fører dette til at oksygen-konsentrasjonene blir bedre enn om man slipper ut 1500 L/s på 50 m.



Figur 14. Oksygenkonsentrasjonen på 50 m dyp i Bekkelagsbassenget. På x-aksen vises antall år i modellsimuleringen.

5 Horisontal sirkulasjon i Bunnefjorden

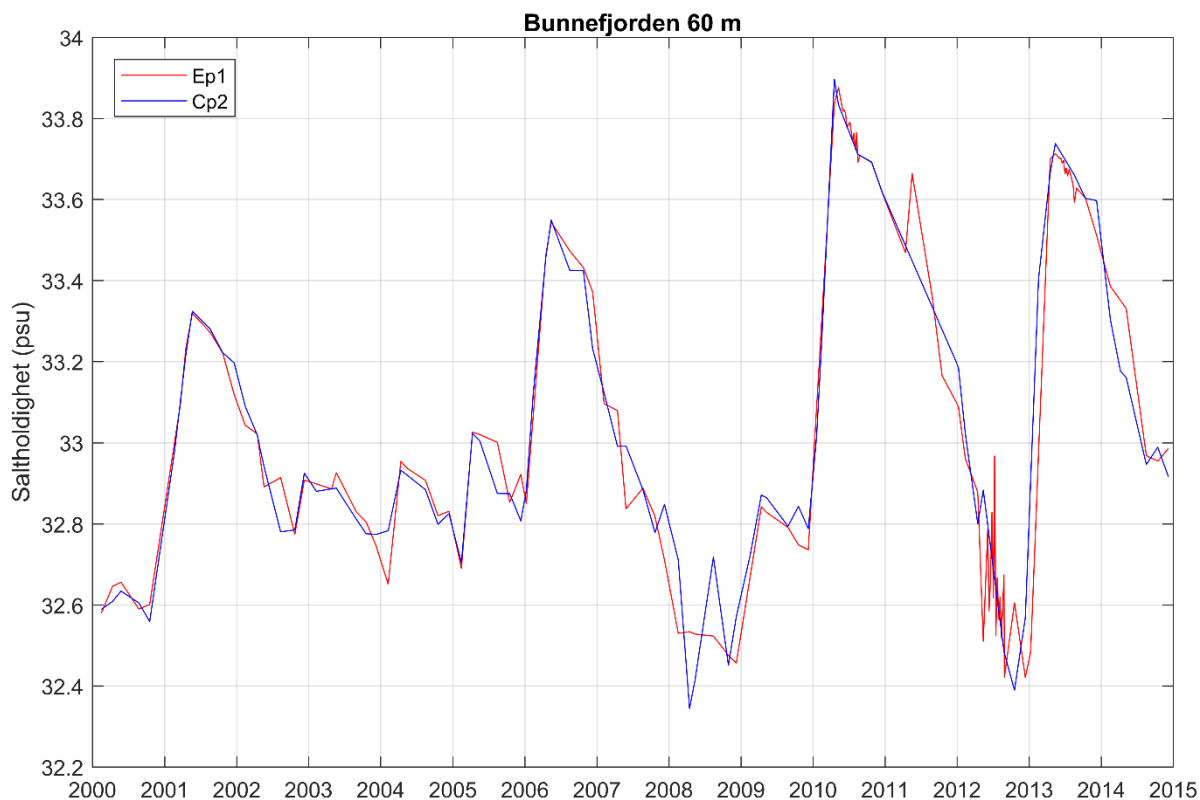
For å vurdere om det har noen betydning for vannkvaliteten hvor utslippspunktet i Bunnefjorden plasseres horisontalt, har vi vist strømforholdene på 50 m dyp (se Figur 15). I figuren vises en situasjon hvor det strømmer vann fra Vestfjorden inn i Bunnefjorden på 50 m dyp. Den kraftige strømmen inn i bassenget følger Nesodden sørover helt ned til stasjon Ep1 (merket med rød prikk i figuren), hvor strømmen snur og følger bunntopografien nordover. Nordøst i bassenget oppstår det en virvel som går mot klokka. Med en typisk strømhastighet på 3 cm/s, vil dette strømmønsteret i løpet av to til tre døgn ha forflyttet vann fra den ene delen av bassenget til den andre.



Figur 15. Et øyeblikksbilde av hvordan strømforholdene kan være på 50 m dyp i Bunnefjorden, i et tilfelle hvor det strømmer vann inn i dette bassenget. Stasjon Ep1 er merket med rød prikk.

I Figur 16 et saltholdigheten på 60 m fra to stasjoner i Bunnefjorden sammenlignet. Plasseringen til de to stasjonene, Cp2 og Ep1, er vist i Figur 1, og de ligger omtrent 8,5 km fra hverandre i hver sin ende av bassenget. Figuren viser at det er liten forskjell i verdien mellom de to stasjonene, og dette tolkes som at vannmassene er godt blandet horisontalt.

Ut ifra dette konkluderes det med at den horisontale plasseringen av dyputslippet i Bunnefjorden har liten betydning for vannkvaliteten.



Figur 16. Sammenligning av variasjon i saltholdighet på 60 m dyp, helt nord i Bunnefjorden (stasjon Cp2) og lenger sør i bassenget (stasjon Ep1).

6 Samlet vurdering

Før år 2000 forekom det i Bekkelagsbassenget episoder med anoksisk vann helt opp til over terskeldypet mellom Bekkelagsbassenget og Bunnefjorden på ca. 43 m (se nederst i Figur 8). I 1966-67 ble det gjort en omfattende undersøkelse av Bekkelagsbassenget, og det ble observert at hydrogensulfidholdig vann strømmet ut i mellomnivåer i Bunnefjorden (Andersen, 1968, Bjerkeng & Magnusson, 1999). Dette vannet vil da først strømme ut i den dypeste renna vest for Malmøykalven, og denne vannstrømmen ville da potensielt kunne ta livet av dyre- og planteliv på bunnen sør for Bekkelagsbassenget.

Ved å redusere vannmengden som slippes ut på 50 m dyp i Bekkelagsbassenget risikerer man å bevege seg tilbake mot situasjonen før år 2000, med blant annet de konsekvensene som er beskrevet over. Ved å redusere vannmengden som slippes ut på 50 m fra 1500 L/s til 1000 L/s blir det en liten forverring i oksygenforholdene, men forholdene vil være langt fra situasjonen før år 2000. Det blir heller ingen stor endring om vannmengden reduseres ytterligere til 500 L/s, selv om oksygenkonsentrasjonen blir ytterligere forverret.

Det må nevnes at i dagens situasjon, hvor en vannmengde på omtrent 1500 L/s slippes ut på 50 m, så er det jevnlig hypoksiske forhold, med oksygenkonsentrasjoner under 1 ml O₂/L i perioder på noen måneder omtrent hvert eneste år. Hydrogensulfidholdig vann ser man derimot til å unngå, men forholdene er helt på grensen til at anoksiske forhold oppstår. Ved en reduksjon av vannmengden til 1000 eller 500 L/s økes risikoen betydelig for at anoksiske forhold oppstår i bunnvannet i Bekkelagsbassenget, i noen år. Denne økte risikoen ser ut til å kunne elimineres om utslippsrøret senkes fra 50 til 65 m dyp.

Ved å overføre en vannmengde på 500- 1000 L/s fra Bekkelaget til 100 m dyp i Bunnefjorden, vil dette føre til en dramatisk forbedring av forholdene her. På grunn av den lave vertikale blandingen i Bunnefjorden oppstår det i dag anoksiske forhold som kan vare i flere år (se Figur 6). Modellsimuleringen med NFM gjenskaper tilsvarende forhold (se Figur 7). Når en vannmengde på 500 L/s, tenkt overført fra BRA, legges på 100 m sammen med vannmengden på 148 L/s fra NFR, fører dette til at de anoksiske forholdene får en mye kortere varighet. I stedet for å ha anoksiske forhold over flere år, får man en varighet på mindre enn ett år. Ved å overføre 1000 L/s kan effekten bli at man stort sett unngår anoksiske forhold bortsett fra i kortere perioder i enkelte år.

Det må påpekes at det er usikkerheter knyttet til modelleringen, blant annet knyttet til hvor store mengder organisk stoff, sulfid og fosfat som er tilgjengelig i sedimentene. Modellseriene beskriver situasjoner hvor man er på grensen mellom anoksiske og hypoksiske forhold, hvor blant annet prosesser i sedimentene kan være utslagsgivende.

Tatt i betraktning usikkerhetene i modellen og den store risikoen man løper ved å redusere vannmengden til Bekkelagsbassenget, anbefales det ikke en permanent reduksjon av vannmengden, hvis ikke utslippsledningen i Bekkelagsbassenget samtidig senkes.

Utslippsdypet i Bunnefjorden bør minst være 100 m. En overføring av utslippet av rensset avløp fra 50 m dyp i Bekkelagsbassenget til 60 m dyp i Bunnefjorden, viser simuleringene at man kan få en negativ effekt på vannkvaliteten i begge bassengene.

En tanke er at det kan etableres en fleksibilitet i styring av vannmengden, slik at man kunne velge om vannmengden skulle slippes ut i Bekkelagsbassenget eller i Bunnefjorden. Da kunne man fått en optimal effekt av økt vertikal blanding på grunn av dyputslipp. Ved å overvåke saltholdigheten og oksygenforholdene i dypvannet, ville man kunne se i hvilket av stadiene som er illustrert i Figur 3 man befinner seg i. Forholdene for dypvannsfornyelse er best når tettheten i fjordbassenget er mindre enn i vannmassene på utsiden, og økt vertikal blanding vil ha størst effekt når forskjellen i tetthet mellom overflatevannet og bunnvannet er størst. Hvis forholdene ligger til rette for en dypvannsfornyelse i Bekkelagsbassenget, det vil si stadium 1 eller 5 i Figur 3, så vil det være mer gunstig å overføre vannmengden til dypet i Bunnefjorden.

Referanser

- Andersen, A.T. (1968). En kjemisk-hydrografisk helårsundersøkelse (1966-67) av et forurenset basseng i indre Oslofjord. Hovedfagsoppgave. Universitetet i Oslo.
- Bjerkeng, B. (1994a) Eutrofimodell for indre Oslofjord. Rapport 1: Praktisk utprøving på indre Oslofjord. NIVA rapport 3112-1994. 96 sider.
- Bjerkeng, B. (1994b) Eutrofimodell for indre Oslofjord. Rapport 2: Faglig beskrivelse av innholdet i modellen. NIVA rapport 3113-1994. 134 sider.
- Bjerkeng, B. (1994c) Eutrofimodell for indre Oslofjord. Rapport 4: Fysiske prosesser. Litteraturstudium og dataanalyse. NIVA rapport 3115-1994. 107 sider.
- Bjerkeng, B. (1994d) Eutrofimodell for indre Oslofjord. Rapport5: Fytoplankton-prosesser – et litteraturstudium. NIVA rapport 3116-1994. 165 sider.
- Bjerkeng, B. (1994e) Eutrofimodell for indre Oslofjord. Rapport 6: Filtrering og vekst hos blåskjell som funksjon av miljøforhold. NIVA rapport 3117-1994. 78 sider.
- Bjerkeng, B. (2011) Strategi 2010. Effekter på indre Oslofjord av endrede tilførsler og tiltak analysert ved hjelp av NIVAs fjordmodell. NIVA rapport 6216-2011. 87 sider.
- Bjerkeng, B. og Magnusson, J., 1999. Marinøkologisk vurdering av utslippssted –og innlagringsdyp for utslippet til Bekkelaget renseanlegg. Fase 2. Modellkjøringer og vurderinger. Norsk institutt for vannforskning. NIVA-rapport nr. 3996.
- Gaarder, T. (1916) De vestlandske fjordes hydrografi. I: Surstoffet i fjordene. Meddelelse nr. 47 far Bergens Museums Biologiske Station. 200 sider.
- Malone, T. C. & Ducklow, H. W. (1990) Microbial biomass in the coastal plume of Chesapeake Bay: Phytoplankton-bacterioplankton relationships, *Limnol. Oceanogr.*, 35 (2), 296-312.
- Røed, L. P., Kristensen, N. M., Hjelmervik, K. B. & Staalstrøm, A. (2016) A high-resolution, curvilinear ROMS model for the Oslofjord, METreport no. 4/2016, 40 sider.
- Veileder 02:2013, Klassifisering av miljøtilstand i vann, Økologisk og kjemisk klassifisering for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver, 254 sider.
- Vannforskiften. (2007). Forskrift om rammer for vannforvaltningenr. Hentet fra <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-12-15-1446>

Vedlegg A: NIVA Fjord model

General description of the model structure

The model is designed to be able to describe the eutrophication state of relatively closed fjords, especially fjords with basins separated from the open ocean by a sill. The practical aim is to evaluate the effect of treatment measures and other pollution reduction measures for fjords.

The model describes how dynamic biomass in the surface layer and the oxygen content in deeper layers of the fjord evolves during the year under various situations. The model is able to calculate changes in conditions as a function of:

- Inputs of nutrients (N, P, Si) and organic matter,
- Changed distribution between surface discharge and dived discharge and
- Changed distribution of discharge between the main basins of the fjord.

The model can also be used to describe how the relationships between various processes and components in the fjord change with changing physical conditions. Relevant examples are the forced circulation of deep water that can be introduced to a fjord by pumping down surface water, and the dredging of sill areas with possible altered vertical mixing in the fjord as the result.

The NIVA Fjord model is made up of several cooperative sub-models: biochemical models describe biological turnover in water and sediment, vertical particle transport, and exchange of solutes between water and sediment; a physical model describes vertical and horizontal water transport. The development of the conditions is the result of the interaction between these processes and influences from outside of the fjord system the model describes.

A fjord is described in the model as a number of naturally demarcated basins. All basins must be in communication with an outer basin, either directly or via other basins. Within each basin, conditions are described by horizontally averaged values, but with a detailed description of the vertical variation i.e. the water volume is divided into horizontal layers delimited by essentially fixed depth intervals.

The physical processes in the fjord are simulated by calculating the water transport between interconnected basins and the outer basin, and vertical transfer between layers within each basin as a function of external influences and density variations.

Biological processes are calculated mainly independently within each layer. The active or passive components are consumed or produced at rates which are functions of external environmental variables and concentrations of substances or active components included in the processes.

All biomass is described in the model as a composite of carbon (C), nitrogen (N) and phosphorus (P), which are considered to be essential elements. Carbon compounds are important for building and as an energy carrier in organic matter, whereas nitrogen and phosphorus are the two main elements that could limit organic matter production. A key objective of the model is to describe the effects of changed inputs of bioavailable N and P.

Biologically active components are primarily phytoplankton, which produce biomass using solar energy, together with zooplankton and bacteria in the water masses and mussels along the

shoreline. Phytoplankton are considered in two groups: "diatoms" and "other". For diatoms, silicon (Si) is included in the composition (because it is potentially restrictive), and Si is therefore also included in the composition of dead organic matter. For phytoplankton, the relationship between C, N and P can vary, while for other groups of organisms the C:N:P ratio is fixed.

Examples from the literature show that planktonic bacteria, smaller than $<1\mu\text{m}$, can play a major role in terms of overall biomass in marine waters. As an example, data from Chesapeake Bay show that the microbial biomass measured as organic carbon can be about the same as phytoplankton late in the summer (Malone & Ducklow, 1990). The NIVA Fjord model includes a simple description of microbial biomass in the water column (Bjerkeng, 1994), whereby marine bacteria grow by using dissolved organic carbon, N and P, competing for nutrients with the phytoplankton. Given enough nutrients, 50 % of the organic carbon is assimilated by the bacteria, and the rest is used for respiration and leads to oxygen consumption.

In addition to the biologically active components, the model contains dissolved organic carbon from phytoplankton and particulate organic material which is utilized by bacteria. The result of this is a remineralization of C, N and P.

The physical and inorganic concentrations included in the model specification are salinity, temperature, and oxygen, and the major inorganic compounds taken up by phytoplankton as sources of N, P and Si are nitrate, ammonium, phosphate and silicate.

Transport, consumption and production are connected in total mass balances for each component. The mass balance for a component within a layer of water in a basin is generally expressed as shown below. All parts of the equation are functions of depth (i.e. "layer number") within the basin and of time.

Rate of change =

Net supply due to external sources (land, atmosphere, outer basin)

+ Net supply due to water transport between basins

+ Net supply due to vertical mixing and water transport

+ Net exchange with mussels at the shoreline

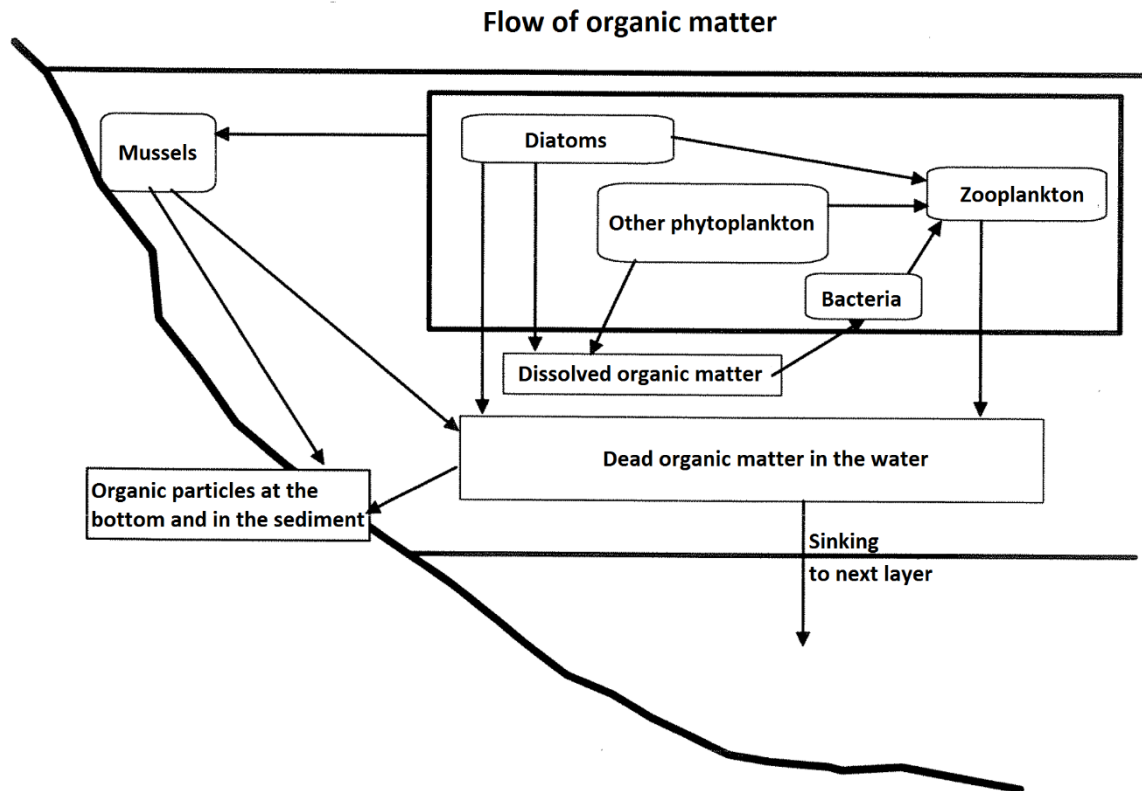
+ Net exchange with bottom sediments

+ Net transport through the surface

+ Net local production in the water volume

+ Net supply due to biological/geological transport (particle sinking)

As an example, the flow of organic matter is illustrated schematically in **Figure 17**.



Figur 17. Schematic illustration of the flow of organic matter within one layer of the NIVA Fjord model. In addition to the processes described in the figure, organic matter can be introduced as point sources in each layer, and exchanged horizontally with connected basins.

The bottom sediment is defined in the model as particulate material accumulated as sediment or located at the interface between water and sediment, exposed to episodic disturbances. Bottom areas are divided vertically with the same divisions as the water layers, and each layer of water is in direct contact with the bottom area in the same depth interval.

It is believed that the essential parts of sediment processes occur in relatively close contact with the water. The sediment in the model therefore includes only a single inventory of particulate matter deposited on the bottom, which is believed to exchange substances directly with the free water. There is therefore no representation of any vertical layering of the sediment.

The aim of the model is not to describe the state of the sediment itself, but to include the sediments as a stock for unreacted organic substances by modeling the conditions in the water column. The model includes a rough description of the binding and release of sulphide (= oxygen debt) and phosphate in the sediments, but otherwise it is believed that the pore water and the sediment is no substantial stock of inorganic compounds relative to the quantities that have been released to the water. **Figure 18** shows the different processes included in the model to calculate how organic matter is decomposed and oxygen consumed.

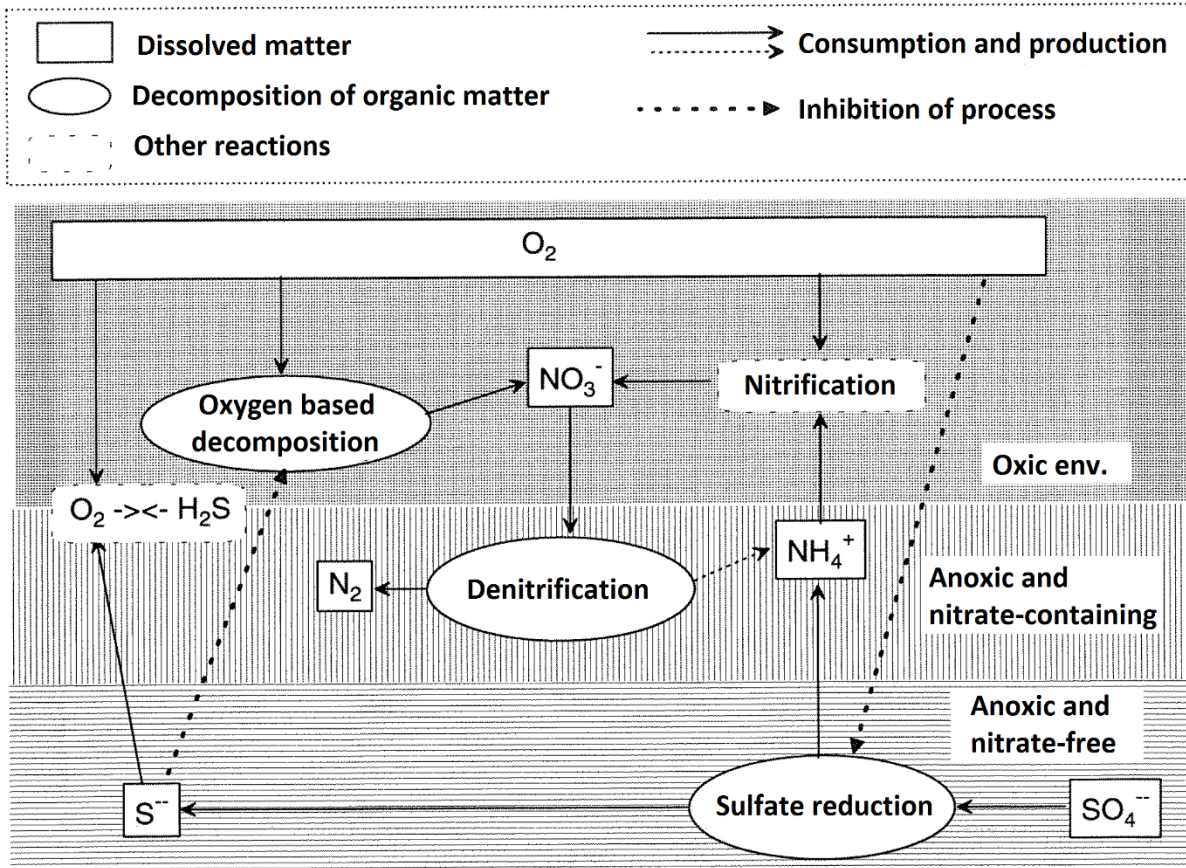
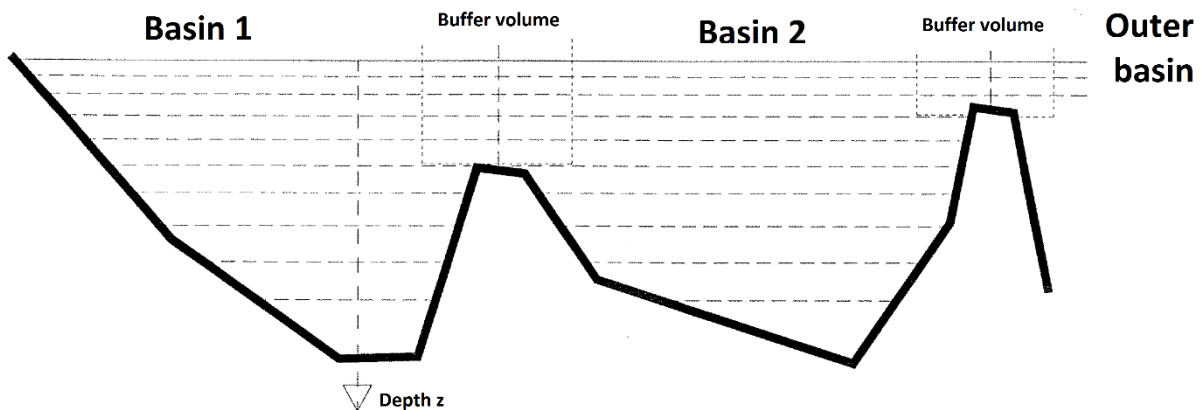


Figure 18. Schematic illustration of the processes included in the NIVA Fjord model to represent decomposition of organic matter and oxygen consumption.

Dividing the fjord into basins and vertical layers

A general assumption in the model is that the fjord or fjord system are relatively enclosed and can be considered as a small number of basins, each of which can be described by state variables averaged horizontally, and thus only varying with depth and time. Topographic data is read from a single data file, and the model builds up internal tables from these data.

When water flows from one basin to the next, it is possible that some of this water with its properties flows back before it is mixed in to the main water mass. To include this effect, the water mass close to the connections between basins is defined as a buffer volume. The water that enters a basin first enters this buffer volume, where the properties that the water brought with it from the original basin are kept. The water in this buffer volume is allowed to flow back to its original basin without being mixed. The division of the fjord system into basins with buffer volumes and vertical layers are shown in **Figure 19**.

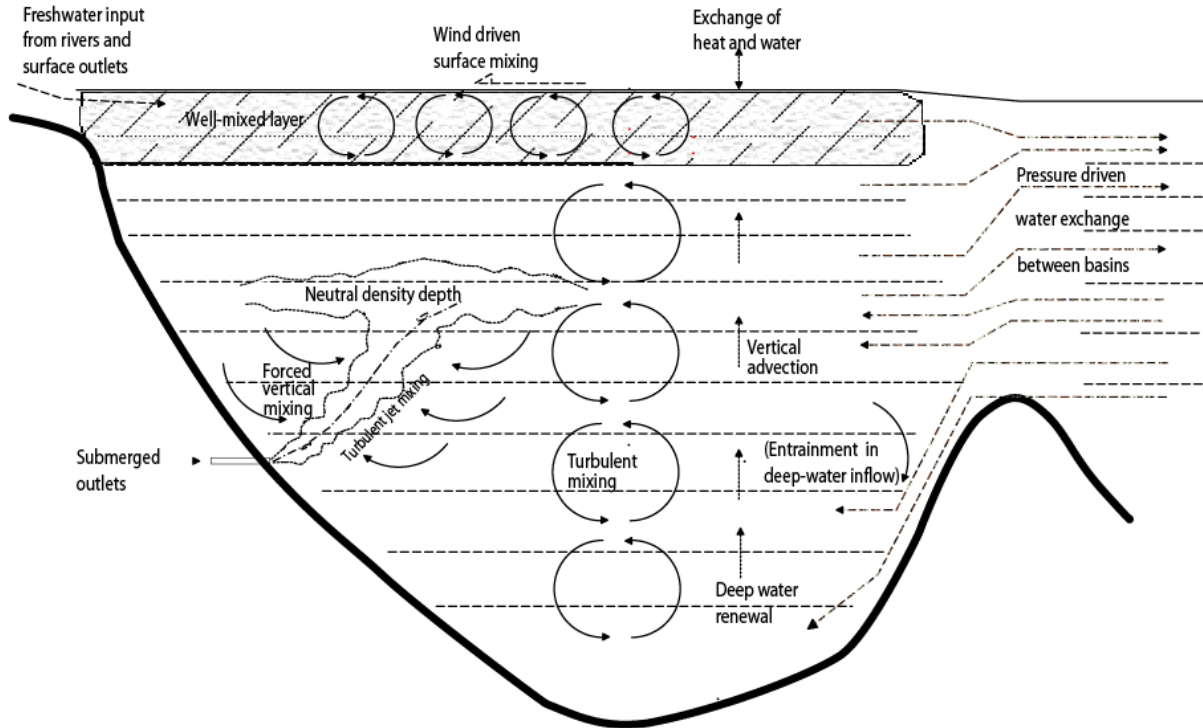


Figur 19. Schematic illustration of the division of the water masses of a fjord system into basins and vertical layers.

The connections between the basins and the open ocean

The model must be connected to one or more other basins. If the model is set up with several basins they will normally be connected. The latter is not necessary for the model to work; if they have no connection, the model will in fact describe two or more independent fjord systems. **Figure 18** shows how the basins generally are connected. It is a requirement that each model basin is connected to at least one other basin, either by direct connection or indirectly via connection with other model basins.

In the model, the layers are divided by depth, while the flow usually follows surfaces of constant density. When tidal flow interacts with the bathymetry this give rise to internal waves. These waves and other processes that displace water masses (i.e. wind effects) give density surfaces that are tilted compared to the horizontal plane, especially in narrow channels that connect basins. Conditions in the outer basin and transport through the cross sections of the connections between the basins, have the same vertical division as the model basins. When water masses enter a basin, they end up in the layer where the density in the recipient basin is equal to the density of the new water. This might involve vertical movement of the water mass, and the entrainment of water that this might lead to is included in the model. The different physical processes that are included in the model are illustrated in **Figure 20**. Note that the forced vertical mixing that would be introduced by a dived outlet is also represented.



Figur 20. Illustration of the different physical exchange processes that are included in the NIVA Fjord model.

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 samfunnsniv.



Norsk institutt for vannforskning

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

Vedlegg 2



COWI-NOTAT: KOSTNADSVURDERING: NYTT RENSEANLEGG NFR ELLER
MASTEMYR

Notat

Til : COWI AS
Att: : Ulf Erlend Røysted
Fra : Bjarne Paulsrud
Dato : 05.04.2017
Arkivnr. : A086292

Kostnadsvurdering: Nytt renseanlegg NFR eller Mastemyr

1. Forutsetninger

Kostnadsberegningene tar utgangspunkt i et skisseprosjekt for bygging av et nytt Nordre Follo renseanlegg for 75 000 pe, plassert i fjell (COWI, 2016), men det er her brukt noe høyere prosentsatser for kostnader utover entreprisekostnadene (rigg og drift, uspesifisert, prosjektadm. og prosjektering), da dette er vanlig praksis hos andre byggherrer.

Kostnader for uspesifisert, prosjektadministrasjon, prosjektering, rigg og drift samt uforutsett er antatt å være proporsjonal med entreprisekostnaden. Dette er en grov kostnadsestimering, og posten for uforutsett (reserve for usikkerhet) er satt til 30 % av entreprisekostnaden, men noen oppdragsgivere ønsker å velge denne enda høyere. Kostnadsposten skal dekke usikkerhet i teknisk løsning, usikkerhet i eksisterende anlegg som må tilpasses/ombygges, markedsusikkerhet m.m.

Ved beregning av investeringskostnadene for renseanlegg med kapasiteter på 150 000 pe og 200 000 pe er det forutsatt at alle prosessrelaterte volumer og kostnader øker proporsjonalt med antall pe anlegget dimensjoneres for, mens øvrige kostnader har en lavere vekst ved økende kapasitet på renseanlegget.

Tabell 1.1 Forutsetninger for beregning av investeringskostnader

Kostnadselement	Forutsetning for 2016	Enhet
Utsprenging fjell + tildekking med duk	1 000	kr/m ³
Byggkostnader – bassenger/tanker	2 560	kr/m ³ innvendig volum
Elektrokostnader	20	% av maskinkostnader
VVS-kostnader	10	% av maskinkostnader
SRO-kostnader	7	% av maskinkostnader
Entreprisekostnader		
- rigg og drift	20	% pr. kalkulert delkostnad
- uspesifisert	10	----- « -----
Byggekostnader		
- prosjektadm. inkl. prosjekt- og byggeledelse	12,5	% av entreprisekostnad
- prosjektering	10	----- « -----
Reserve for usikkerhet	30	% av total byggekostnad

2. Investeringskostnader ulike anleggsstørrelser (75 000 pe; 150 000 pe; 200 000 pe)

Tabell 2.1 - 2.3 viser beregnede kostnader for etablering av et nytt renseanlegg i fjell. Kostnadene er delt inn i fjellanlegg, utvendige anlegg (administrasjonsbygg, tekniske anlegg og plasser etc.) og kostnader knyttet til gjennomføring av prosjektet. Det er i tillegg lagt inn en reserve på 30 % av beregnede totale investeringskostnader for anlegg i fjell og utvendige anlegg.

Tabell 2.1. Beregnede investeringskostnader for nytt renseanlegg i fjell (75 000 pe)

75 000 pe	Kostnad (mill. NOK)
Fjellanlegg	
Fjellarbeider	100,3
Bygg - bassenger/tanker	45,8
Bygg – andre konstruksjoner	13,3
Maskin	136,8
Elektro	27,4
Ventilasjon	13,6
Styring og automasjon (SRO)	9,6
Sum fjellanlegg	381
Anlegg i dagen	
Fjellarbeider	8,1
Bygningsmessige arbeider, adm.bygg, garasje, verksted etc.	18,8
Annen opparbeiding	1,5
Sum utvendige anlegg	422
Sum hele anlegget	375,2
Rigg og drift	75,0
Uspesifisert	37,5
Sum entreprisekostnader	487,7
Prosjektadm. inkl. prosjekt- og byggeledelse	61,0
Prosjektering	48,8
Sum byggekostnader	597,5
Reserve for usikkerhet	197,5
Sum investeringer	795,0

Tabell 2.2. Beregnede investeringskostnader for nytt renseanlegg i fjell (150 000 pe)

150 000 pe	Kostnad (mill. NOK)
Fjellanlegg	
Fjellarbeider	200
Bygg - bassenger/tanker	90
Bygg – andre konstruksjoner	20
Maskin	230
Elektro	46
Ventilasjon	23
Styring og automasjon (SRO)	16
Sum fjellanlegg	625
Anlegg i dagen	
Fjellarbeider	13
Bygningsmessige arbeider, adm.bygg, garasje, verksted etc.	30
Annen opparbeiding	2
Sum utvendige anlegg	45
Sum hele anlegget	670
Rigg og drift	134
Uspesifisert	67
Sum entreprisekostnader	871
Prosjektadm. inkl. prosjekt- og byggeledelse	109
Prosjektering	87
Sum byggekostnader	1067
Reserve for usikkerhet	320
Sum investeringer	1387

Tabell 2.3. Beregnede investeringskostnader for nytt renseanlegg i fjell (200 000 pe)

200 000 pe	Kostnad (mill. NOK)
Fjellanlegg	
Fjellarbeider	260
Bygg - bassenger/tanker	120
Bygg – andre konstruksjoner	25
Maskin	280
Elektro	56
Ventilasjon	28
Styring og automasjon (SRO)	20
Sum fjellanlegg	789
Anlegg i dagen	
Fjellarbeider	15
Bygningsmessige arbeider, adm.bygg, garasje, verksted etc.	33
Annen opparbeiding	3
Sum utvendige anlegg	51
Sum hele anlegget	840
Rigg og drift	168
Uspesifisert	84
Sum entreprisestyringskostnader	1 092
Prosjektadm. inkl. prosjekt- og byggeledelse	137
Prosjektering	109
Sum byggekostnader	1 338
Reserve for usikkerhet	402
Sum investeringer	1 740