

KONSEKVENSVURERING UTSLIPP AV TUNNELVANN

A05-NOT-YM-00010

PROSJEKT

A269108

AVROP

A05

REVISJON

00

DATO

02.06.2025

REVISJONEN GJELDER

Første utgave

UTARBEIDET

GEDM, KIHT

KONTROLLERT

MCSA

GODKJENT

ESVI

INNHold

1	Kort beskrivelse av tiltaket	2
2	Stoffer i tunnelutslippsvann	3
3	Resipienten Moldefjorden og Kjødepollen	4
3.1	Vannutskiftning i en terskelfjord	4
3.2	Dybdeforholdene Moldefjorden og Kjødepollen	5
4	Tunnelvannutslipp til sjø	7
4.1	Beregning av nitrogenkonsentrasjoner	7
4.2	Effekter av utslipp av nitrogen til øvre deler av vannsøylen	8
4.3	Mulige tiltak	9
5	Foreløpige konklusjoner og anbefalinger	10

1 Kort beskrivelse av tiltaket

Kystverket har fått i oppdrag å bygge Stad skipstunnel, verdens første skipstunnel. Skipstunnelen skal bygges der Stad-halvøya er på det smaleste, mellom Moldefjorden og Kjødepollen, i Vanylvsfjorden. Tunnelen blir 1,7 kilometer lang (2,2 km med entringsområder), 50 meter høy og med en bredde på 36 meter – som betyr at fartøy opp til størrelsen på Kystruten/Hurtigruten vil kunne få en sikker seilas forbi Stadlandet.

Målsettingen med prosjekt Stad skipstunnel er å forbedre fremkommelighet og sikkerhet for sjøtransport forbi Stad. Selve byggeprosjektet skal utføres av en hovedentreprenør gjennom en totalentreprise. Det er planlagt byggestart i 2026.

COWI bistår Kystverket med analyser angående spredning og innlagring av stoffer i tunnelutslippsvann under byggefasen til sjø. I dette notatet oppsummerer vi foreløpige funn.

Det foregår innlagringsmodellering av tunnelvannutslipp og dette arbeid blir ikke presentert her. Dette notatet vil inngå i utvidet fagrapport som ferdigstilles av COWI i senere tid, *Modellering utslippsvann Stad Skipstunnel*.

2 Stoffer i tunnelutslippsvann

Innlekkasje av ferskvann (evt sjøvann) i tunnelen under byggefasen skal pumpes ut til sjø. Det pumpes både til Moldefjorden (vestover) og Kjødipollen (østover). Det stilles lite krav til mengde innlekkasje, men det er en praktiske begrensninger med hvor mye man kan pumpe til sjø.

Erfaringsmessig inneholder tunnelvannet en del stoffer som kan påvirke økosystemet i sjøen. De viktigste er nitrogen (sprengstoff), metaller (fra både berg og betong), olje, partikler, vann med annen pH og plast.

Utslipp av tunnelvann kan gi uønskede effekter i fjorden. Store partikkelmengder i vannet kan føre til økt sedimentasjon og tilslamming, høye konsentrasjoner av metaller kan gi toksiske effekter, mens næringssalter kan gi økt algeoppblomstring som igjen kan føre til økt oksygenforbruk i vannmassene. Det er derfor viktig å vurdere samlet belastning på fjorden. Erfaringsmessig er det spesielt næringssalter (nitrogenforbindelser) som kan gi stor påvirkning.

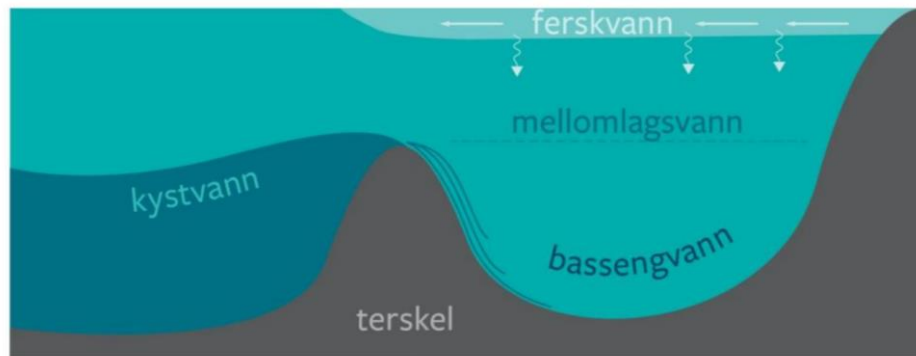
Gjennom vannforskriften er fjordene i dag tildelt en miljøtilstand. Denne er basert på tilgjengelig data og oppdateres når ny data hentes inn. I forbindelse med bygging av skipstunnel gjennomføres det nå bakgrunnsmålinger definert i et overvåkingsprogram for å styrke kunnskapsnivået om fjordene. Dette vil legge grunnlaget for tilpasninger som kan bidra til å beskytte fjordmiljøet.

Tunnelvann kan gå gjennom en renseprosess før det slipper ut i sjø. Dette kan f.eks. endre pH og redusere mengde partikler, men for noen stoffer blir det dyrt å rense, og for andre stoffer igjen er det ikke praktisk gjennomførbart. I utslippstillatelsen har Statsforvalteren satt krav til konsentrasjon av en del stoffer som slippes ut til sjø av.

Et av spørsmålene for dette oppdraget er hvor tunnelutslippspunkt bør bli plassert, både horisontalt (koordinat) og vertikalt (dybde) for å oppnå best mulig fortynning og dermed best vannkvalitet og om eventuelle ekstra tiltak må vurderes.

3 Resipienten Moldefjorden og Kjødepollen

3.1 Vannutskifting i en terskelfjord



Figur 3-1: Barrierevirkning av en terskelfjord mellom kystvannet og bassengvannet (uib.no).

Moldefjorden er resipienten for tunnelvann vest for tunnelen (vannforekomst ID: 0282012600-C). Kjødepollen er resipienten for tunnelvann øst for tunnelen (vannforekomst ID: 0301010100-C). Ved de to fjordene på begge sider av tunnelen finner man en terskel som fungerer som en barriere mellom vannet i bassenget og kystvannet utenfor. I en terskelfjord finner vi ofte tre typer vannmasser (Figur 3-1): Øverst i fjorden ligger et *ferskvannslag* som er blandet med vann fra elver som renner ut i fjorden. Under ferskvannslaget finner vi et *mellomlagsvann* som ligner på kystvannet utenfor terskelen. Den siste vannmassen, *bassengvannet*, finner vi under terskeldypet i fjorden.

Vannet i de øverste lagene kan bevege seg inn og ut av fjorden, men bassengvannet er isolert på grunn av terskelen. Dermed er det (nesten) ingen kontakt mellom kystvannet og bassengvannet.

De ulike vannmassene har ulik tetthet. Tettheten er stort sett avhenger av saltholdighet. Brakkvannslaget øverst i de fjordene har den laveste saltholdigheten, som gjør vannet lettest. Bassengvannet i bunnen har den høyeste saltholdigheten, som gjør dette til den tyngste vannmassen. Siden bunnvannet er stort sett anoksisk (uten oksygen) viser det at utskiftingen med utenforliggende sjøvann er begrenset.

Vannutskifting av bassengvannet skjer når kystvann strømmer over terskelen, synker ned og dytter ut det gamle bassengvannet. For at dette skal kunne skje må kystvannet være tyngre, altså ha høyere tetthet, enn bassengvannet.

Hvor ofte en vannutskifting skjer er avhengig av:

1. Tetthetsvariasjonene til kystvannet på terskeldyp

På grunn av sesongvariasjon, ferskvannsavrenning, vindpådrag og andre signaler i havet, så kan tettheten i kystvannet utenfor terskelen variere. Hvor stor variasjonen er vil påvirke hvor ofte en utskiftning skjer.

2. Hvor fort tettheten til bassengvannet avtar

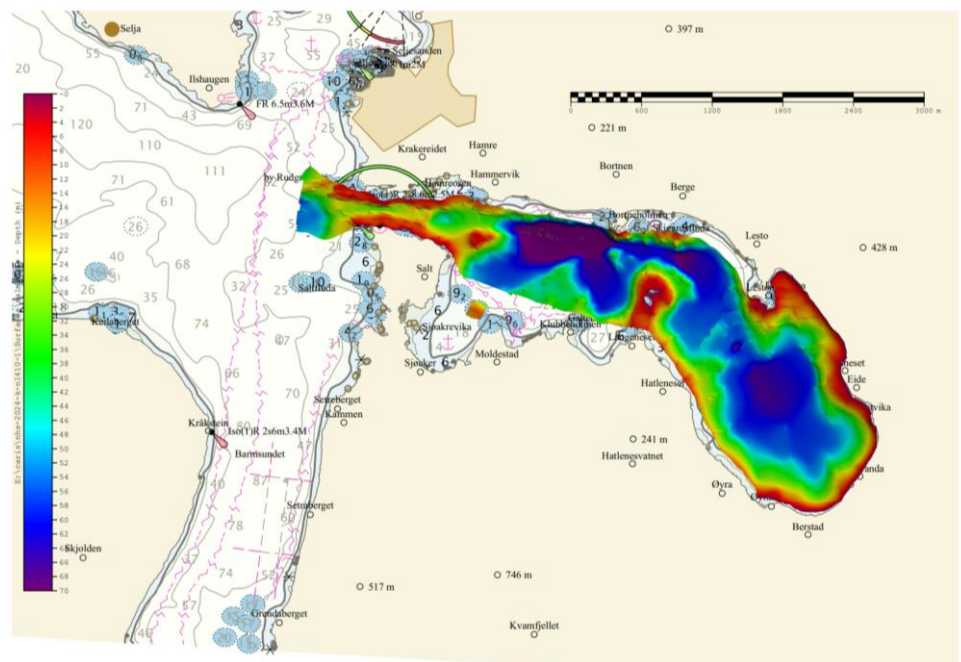
Tettheten til bassengvannet avtar over tid fordi lettere mellomlagsvann blir blandet ned i bassengvannet. Dermed vil bassengvannet bli lettere og lettere. Jo fortere tettheten avtar, desto fortere kan en ny utskiftning skje, fordi kystvannet til slutt vil være tyngre enn bassengvannet.

Vannutskiftning i fjorder fornyer bassengvannet og skyller bort det gamle vannet som har ligget isolert i fjordbassenget. Dersom bassengvannet ligger isolert over lang tid, vil oksygennivået i vannet avta fordi oksygen inngår i nedbrytningsprosessen av organisk materiale i fjordbunnen. Da kan vannet i fjorden bli oksygen-fattig (hypoksisk) eller bli helt tømt for oksygen (anoksisk), som man har observert i bunnvannet i begge fjordene.

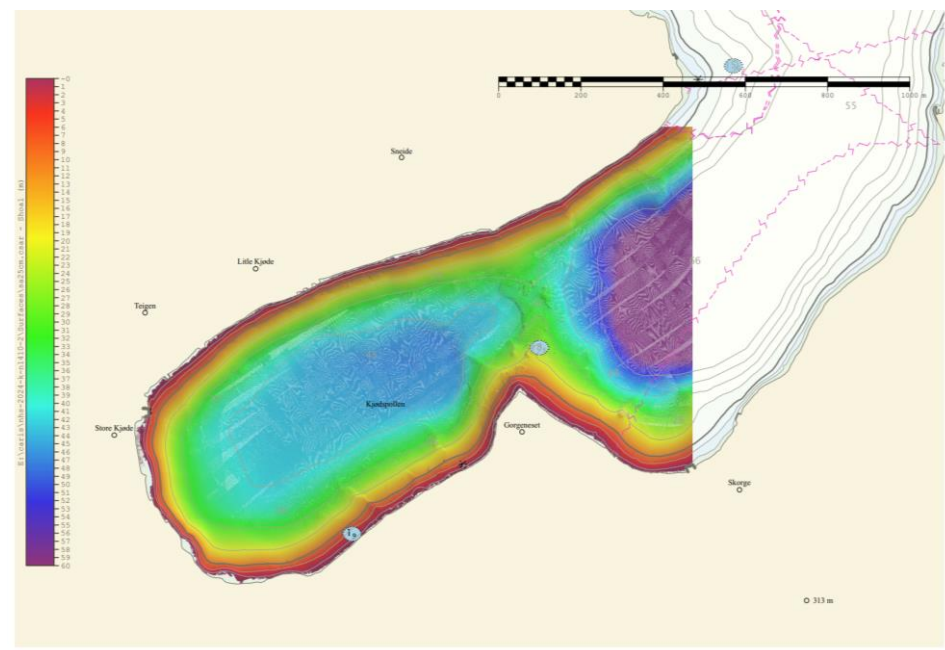
I begge fjordene finnes naturtypen «Fjorder med naturlig lavt oksygeninnhold i bunnvannet (IO3)» (DN håndbok 2007). I denne typen fjorder er ofte artssammensetningen spesiell og ettersom det ikke finnes gravende organismer i sedimentet, er lagdelingen uforstyrret.

3.2 Dybdeforholdene Moldefjorden og Kjøddepollen

Dybdekart fra Moldefjorden og Kjøddepollen vises i Figur 3-2 og Figur 3-3. Moldefjorden har en terskel på 22m dybde ved Selje. Kjøddepollen har en terskel på 33m.



Figur 3-2: Dybdeforhold Moldefjorden på vestsiden av planlagte tunnel. Terskel på 22m.



Figur 3-3: Dybdeforhold Kjødepollen på østsiden av planlagte tunnel. Terskel på 33m.

4 Tunnelvannutslipp til sjø

4.1 Beregning av nitrogenkonsentrasjoner

Basert på framdriftsplanen for driving av tunnelen kan man beregne nitrogenutslippene. I løpet av de første tre kvartalene (0,75 år) sprenges toppstollen, og det brukes mest sprengstoff i denne perioden.

Kildene til nitrogenutslipp vil være dumping av sprengstein i sjø og tunnelvann. Litteratur viser at ca 60% av nitrogenet slippes ut gjennom steindumping, og 40% gjennom tunnelvann. Tallene som er beskrevet under er basert på 40%.

Utslippene er estimert til 1,2 gram/sekund nitrogen (0,6 g/s til hver side), ved utsprengning av toppstollen (0,75 år). Etter dette sprenges nedre del av tunnelen (1,75 år), hvor mindre sprengstoff benyttes. Her er beregnet utslipp redusert til 0,05 g/s (0,025 g/s til hver side).

Hvis utslippsvannet de første tre kvartalene innlagres i bunnvannet (under terskelnivå), uten vannutskifting, vil konsentrasjonene øke til 18 600 µg/l på Kjødepoll-siden, og 628 µg/l (428 + 200 µg/l bakgrunn) på Moldesiden. Dette er svært høye verdier. Dersom man slipper ut høye konsentrasjoner av nitrogen dypere ned enn fotisk sone, får man ikke den direkte algeoppblomstringen og det er mer usikkert hvordan miljøet vil reagere. I terskelfjorder hvor vannutskiftingen er begrenset, vil det dannes et reservoar av næring. Dette vil trolig bestå fram til bunnvannet skiftes ut. Utskiftingen skjer når atlantisk varmt og salt vann presses inn i fjordene, men når det vil skje vet man ikke. Da kan vi trolig forvente en puls av vann med høy konsentrasjon av næring. I dette scenarioet er det også viktig å ha fokus på miljøgiftene, da disse sammen med næringssaltene vil oppkonsentreres i bunnvannet og kan nå skadelige nivåer. Miljøgiftene kan da gå over i dyr, både de vi spiser og andre.

Dersom utslippsvannet i stedet innlagres i topplaget, vil det (kontinuerlig) skiftes ut videre til sjøen. Den avgjørende faktoren her er hvor raskt dette skjer. I den første perioden (0,75 år) kan de høye nitrogenutslippene påvirke vannkvaliteten negativt. Man beregner konsentrasjoner opp til 524 µg/l på Kjødepoll-siden og 440 µg/l på Moldefjordsiden, basert på en enkel og konservativ beregning. Nåværende tilstandsklasse for nitrogen er 'svært god' (rundt 200 µg/l), men forventes å falle til moderat/dårlig tilstand i det første året (se tabellen nederst). Spørsmålet er om man kan akseptere forhøyede nitrogenkonsentrasjoner i omtrent ett år (se 4.1). Dette er uten nitrogenfjerning eller videre tiltak. Hvis man regner med 50% nitrogenfjerning i tunnelvannet blir disse konsentrasjoner 362 µg/l for Kjødepollen (litt over grenseverdien til moderat tilstand) og 320 µg/l for Moldefjorden (god tilstand). Tiltaket gir altså god effekt og trolig er 362 µg/l (moderat tilstand) for Kjødepollen et konservativt anslag.

Tabell 4-1: Klassifisering av tilstand for næringssalter

Tabell 9.26 Klassifisering av tilstand for næringssalter og siktedyp i overflatelaget, samt oksygen i dypvannet ved saltholdighet over 18 (modifisert fra SFT 97:03).						
Parameter		Tilstandsklasser				
		I	II	III	IV	V
		Svært god	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig
Overflatelag Sommer (Juni-August)	Totalfosfor ($\mu\text{g P/l}$)*	< 11,5	11,5-16	16-29	29-60	>60
	Fosfat ($\mu\text{g P/l}$)*	< 3,5	3,5-7	7-16	16-50	>50
	Total nitrogen ($\mu\text{g N/l}$)*	< 250	250-330	330-500	500-800	>800
	Nitrat + nitritt ($\mu\text{g N/l}$)*	< 12	12-23	23-65	65-250	>250
	Ammonium ($\mu\text{g N/l}$)*	< 19	19-50	50-200	200-325	>325
	Siktedyp (m)	> 7,5	7,5-6	6-4,5	4,5-2,5	<2,5
Overflatelag Vinter (Desember-Februar)	Totalfosfor ($\mu\text{g P/l}$)*	< 20	20-25	25-42	42-60	>60
	Fosfat ($\mu\text{g P/l}$)*	<14,5	14,5-21	21-34	34-50	>50
	Total nitrogen ($\mu\text{g N/l}$)*	<291	291-380	380-560	560-800	>800
	Nitrat+nitritt ($\mu\text{g N/l}$)*	<97	97-125	125-225	225-350	>350
	Ammonium ($\mu\text{g N/l}$)*	<33	33-75	75-155	155-325	>325
Dypvann	Oksygen ($\text{ml O}_2/\text{l}$)**	>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

* Omregningsfaktor til mg-at/l er 1/31 for fosfor og 1/14 for nitrogen. ** Omregningsfaktor til $\text{mg O}_2/\text{l}$ er 1,42. *** Oksygenmetning er beregnet for saltholdighet 33 og temperatur 6 °C.

4.2 Effekter av utslipp av nitrogen til øvre deler av vannsøylen

Man har en del kunnskap om hva som kan forventes når det gjelder effekter av utslipp av nitrogen til øvre deler av vannsøylen. Dersom vann med høy konsentrasjon av nitrogen havner i den fotiske sonen i et sjøområde, vil det i perioden med nok dagslys føre til algeoppblomstring. Den fotiske sonen er den delen av vannsøylen som mottar nok stråling fra solen til å drive fotosyntese. Dersom i tillegg sjøområdet har lite utskiftning og omrøring, kan algeoppblomstringen bli kraftig. Gjennom vinteren er det i naturen lite forbruk av næringssalter i sjøen, på grunn av lite dagslys.

Algeoppblomstring er noe som skjer naturlig hver vår når det blir nok lys til at næringssaltene kan omsettes, og gjerne om høsten med økt avrenning av næring fra land. Oppblomstringen gir mer organisk materiale (algene blir flere, og spises av andre dyr) og det tilføres dermed mer organisk materiale nedover i vannsøylen ved at algene og andre dyr dør og synker, ved f.eks. skallskifte eller den slags og ved nedfall av fekalier. Dette gjødsler sjøbunnen og dyrene som lever der vil oppleve økt næringstilgang, men omsetning av næringen krever oksygen. Dersom det blir for mye tilførsel av organisk materiale til sjøbunnen vil dermed oksygenforbruket øke betraktelig og det kan dannes oksygenfrie områder. Dersom bunnvannet allerede er oksygenfritt kan omfanget på oksygenfritt areal øke. F.eks. ser man dette gjerne

under oppdrettsanlegg. Når områder blir oksygenfrie, vil andre organismer, som bakterier, overta nedbrytingen av det organiske materialet og bakteriell nedbryting skjer som regel mye saktere.

Kjødepollen er gyteområdet for torsk. Torsken gyter i frie vannmasser, men voksen torsk får mye av mattilgangen sin fra sjøbunnen. Dersom større arealer blir oksygenfrie, blir naturlig nok deres leveområder mindre, men om det begrenser gytingen direkte er usikkert.

4.3 Mulige tiltak

Det er generelt 5 muligheter for utslipp av tunnelvann:

1. Slippe tunnelvann ut i bunnvannet direkte uten rensing og akseptere at det gir forhøyde verdier og mulige miljøpåvirkning, ikke anbefalt.
2. Slippe tunnelvann ut i overflatevann direkte uten rensing og akseptere at det gir forhøyde verdier og mulige miljøpåvirkning gjennom ca 1 år, ikke anbefalt.
3. Nitrogenfjerning av tunnelvann og slippe tunnelvann ut i overflatevann. Med antatt 50% effektiv hjelper det veldig mye for å få ned nitrogenkonsentrasjoner til god tilstand, anbefalt. NIBIO har fått gode resultater med denne type løsning (NIBIO, 2023).
4. Slippe det ut over terskelen gjennom 4/5 km lange ledninger. Dette er den sikreste metoden, men veldig kostbart.
5. Nitrogenfritt sprengstoff; da kommer anleggstekniske vurderinger i tillegg. Samt miljømessig vurdering av utslipp av hydrogenperoksid.

Mest sannsynlig kan vi med nitrogenfjerning av tunnelvannet oppnå god tilstand gjennom hele byggeperioden og er det mest praktiske tiltak som vi kan gjøre.

5 Foreløpige konklusjoner og anbefalinger

Basert på eksisterende data og usikkerheter anbefales nitrogenfjerning av tunnelvannet som hovedtiltak for å begrense miljøeffekter i fjordene under bygging av Stad skipstunnel. Utslipp uten rensing gir risiko for midlertidig økt nitrogennivå og potensiell økologisk påvirkning. Lang utslippsledning utenfor terskel er mest sikkert, men krever tidlig beslutning grunnet kostnad og planlegging.

Konklusjoner og anbefalinger er foreløpig. Det foregår videre utredning med (innlagrings)modellering og disse resultatene blir presentert senere i en rapport.

Referanser:

- NIBIO (2023), E16 Bjørum-Skaret, Resultater for renseanlegg for nitrogen i 2022.
- DN håndbok 19 2001, revidert 2007. Kartlegging av marin biologisk mangfold.
- Utslippstillatelse