

06-02-2026
Kystverket

Modellering av vannkvalitet ved tunnelvannutslipp - Stad skipstunnel

Modellering av vannkvalitet ved tunnelvannutslipp - Stad skipstunnel

PROJECT NO.

A269108

DOCUMENT NO.

A05-NOT-YM-00003

VERSION

1

DATE OF ISSUE

06-02-2026

DESCRIPTION

Modellering vannkvalitet
tunnelvann

PREPARED

NADY, GEDM

CHECKED

KIHT, GEDM

APPROVED

ESVI

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	5
1 Introduksjon	6
1.1 Formål	6
1.2 Miljømål	7
2 Beskrivelse av Moldefjorden og Kjødepollen	9
2.1 Vannutskiftning	9
2.2 Dybdeforhold	10
3 Metode for beregninger, modelleringer og vurderinger	12
4 Tunnelvann	14
4.1 Mengder tunnelvann	14
4.2 Konsentrasjon av stoffer i utslippsvannet	14
4.3 Grenseverdier i henhold til utslippstillatelse	16
4.4 Syredannende berg	17
5 Bakgrunnskonsentrasjon av næringssalter og metaller i resipientene	19
6 Resultater primærfortynning	24
6.1 Primærfortynning og innlagingsberegninger	24
6.2 Fortynningskrav for metaller, suspendert stoff og fosfor	32
6.3 Fortynningskrav for nitrogenforbindelser	37
6.4 Konsentrasjonsøkning av nitrogenforbindelser	39
7 Sekundærfortynning av nitrogen i tunnelvann	42
7.1 Sekundærfortynning ved innlagring under terskelnivå	42
7.2 Sekundærfortynning ved innlagring i topplaget	42
8 Anbefalt utslippslokasjon og dybde	43
8.1 Utslippsdybde	43
9 Nitrogentilførsel av steindumping i fjorden	44
9.1 Konsentrasjon under terskelnivå	44
9.2 Konsentrasjon i overflaten / ovenfor terskelnivå	44

10	Overvåkning og mulige tiltak	45
10.1	Overvåkning	45
10.2	Mulige tiltak	45
11	Referanser	46
Vedlegg 1: Input til CORMIX		48
Vedlegg 2: Hydrografiske målinger		49
Vedlegg 3: Strømmålinger		53
Vedlegg 4: Klassifisering av bakgrunnsdata		55

Sammendrag

Kystverket planlegger å bygge en 1,7 kilometer lang skipstunnel gjennom Stadlandet, med utløp mot Moldefjorden i vest og Kjødepollen i øst, for å øke skipsikkerheten i et av Norges mest værutsatte havområder. Under byggearbeidet vil tunnelvann, bestående av driftsvann, innlekkasjevann og muligens saltvann fra sprengning under havnivå, bli sluppet ut i disse fjordene. Rapporten beskriver modellering av utslippet og dets påvirkning på vannkvaliteten, med særlig fokus på hvordan vannet innlagres i vannsøylen og graden av fortynning som kreves for å unngå forringelser av miljøtilstand i fjordene. Modelleringene er utført med programvaren CORMIX.

Både Moldefjorden og Kjødepollen er terskelfjorder med naturlig lave oksygenkonsentrasjoner og begrenset vannutskifting i bunnvannet, noe som medfører at bunnvannet i dype områder ofte har naturlig lavt oksygeninnhold. Det er viktig å plassere utslippspunktene slik at tunnelvannet ikke innlagres i de oksygenfattige dypområdene hvor miljøgifter kan hope seg opp, eller i det øvrige vannlaget (fotiske sonen) hvor økt næringsstoffkonsentrasjon kan føre til algeoppblomstring. Vannprøver tatt av COWI AS i begge fjorder viser generelt svært gode eller gode tilstander (TKL (tilstandsklasse) I og II) for miljøgifter og næringsstoffer, unntatt arsen og fosfat i Kjødepollen, som har moderat tilstand (TKL III). Målet er at utslippsvannet ikke skal overskride TKL II (god) etter primærfortynning i nærsone (inntil 300 meter horisontalt fra utslippspunktet). For stoffer som allerede ligger over TKL II, er målet at konsentrasjonen ikke skal øke til en høyere tilstandsklasse utenfor nærsone.

Mengden innlekkasjevann til tunnelen er usikker, men forventes å variere mellom cirka 8,5 og 283 l/s, med svært usikker mengde saltvannsinlekkasje. CORMIX-modellen er brukt til å simulere hvordan plumen fra utslippspunktet beveger seg vertikalt i vannmassen, på hvilke dyp det innlagres, og hvor raskt det fortynnes horisontalt. Modelleringene omfatter flere scenarioer av utslippsmengder, tetthetsprofiler og utslippsdyp.

Resultatene viser at utslippsdybder rundt 30 meter i Moldefjorden og mellom 20 og 45 meter i Kjødepollen gir flest scenarioer hvor utslippet innlagres innenfor ønsket dybdeintervall, og at fortynning sikrer tilfredsstillende miljøtilstand for alle stoffer utenfor nærsone. Hvis utslippsvannet innlagres i bunnvannet under terskelnivå uten vannutskifting, kan nitrogenkonsentrasjonene øke betydelig, spesielt i Kjødepollen hvor nivåene kan nå opptil 18 600 µg/l. Dersom vannet derimot innlagres i topplaget, vil utskiftningen mot sjøen redusere konsentrasjonen, men høye nitrogenutslipp de første 0,75 årene kan likevel føre til en midlertidig forringelse av vannkvaliteten. Beregningene er konservative og tar ikke hensyn til naturlig nitrogenforbruk i vannet.

Nitrogenutførselen fra tunnelprosjektet estimeres til totalt 77,6 tonn, hvorav 60 % følger med tunnelsteinmaterialet og 40 % slippes ut med tunnelvann. Omtrent 68 % av steinmassene deponeres i Moldefjorden og Kjødepollen, med henholdsvis 17,5 og 14,4 tonn nitrogen under terskelnivå, der konsentrasjonsøkningen vurderes som akseptabel i Moldefjorden, men betydelig i Kjødepollen. Rundt 80 % av massene skal plasseres over terskelnivå, som vil frigjøre nær 25,5 tonn nitrogen totalt. Dette kan gi behov for videre utredning av tiltak mot nitrogenfrigjøring i øvre vannlag og spredning av partikler, eksempelvis ved bruk av nedføringsrør, boble- og/eller siltgardin. Nedføringsrør kan i betydelig grad redusere påvirkningen av finstoff (turbiditet) og begrense nitrogenutslipp i overflatelaget. I tillegg bør konsentrasjonene overvåkes nøye gjennom byggefasen.

1 Introduksjon

Kystverket planlegger å bygge en skipstunnel gjennom Stadlandet, med utløp i Moldefjorden mot vest og Kjøddepollen mot øst (Figur 1-1). Stadhavet er et av de mest værutsatte havstykken langs norskekysten og forbundet med stor havaririsiko. Hensikten med skipstunnelen er derfor å øke sikkerheten for skipstrafikken samt å oppnå en mer forutsigbar og regulær trafikk gjennom området ved Stad [1]. Skipstunnelen er planlagt å bli 1,7 km lang, 50 meter høy og 36 meter bred. Dette gir en seilingshøyde på 33 meter, noe som gjør at ferger, inklusive Hurtigruten, kan benytte tunnelen [1]. Gjennomføringen av Stad skipstunnel vil være den første i sitt slag med denne dimensjonen. Tunnelutbyggingen vil gjennomføres ved bruk av konvensjonell sprengning med tunnelborerigg og pallerigg.



Figur 1-1 Dagens hovedledd for skipstrafikk og den nye hovedledd ved realisering av Stad skipstunnel. Tunnelen kommer til å gå fra Moldefjorden i vest til Kjøddepollen i øst (markert med oransje strek).

1.1 Formål

Denne rapporten omhandler modellering av tunnelvannutslipp i resipientene Moldefjorden og Kjøddepollen i forbindelse med utbyggingen av Stad-tunnelen. Hensikten med rapporten er å vurdere hvordan utslippet av forurenset tunnelvann under utbyggings- og sprengningsarbeider vil innlagres og fortynnes i resipientene, og hvordan dette vil kunne påvirke vannkvaliteten. Modelleringen er utført ved hjelp av programvaren CORMIX.

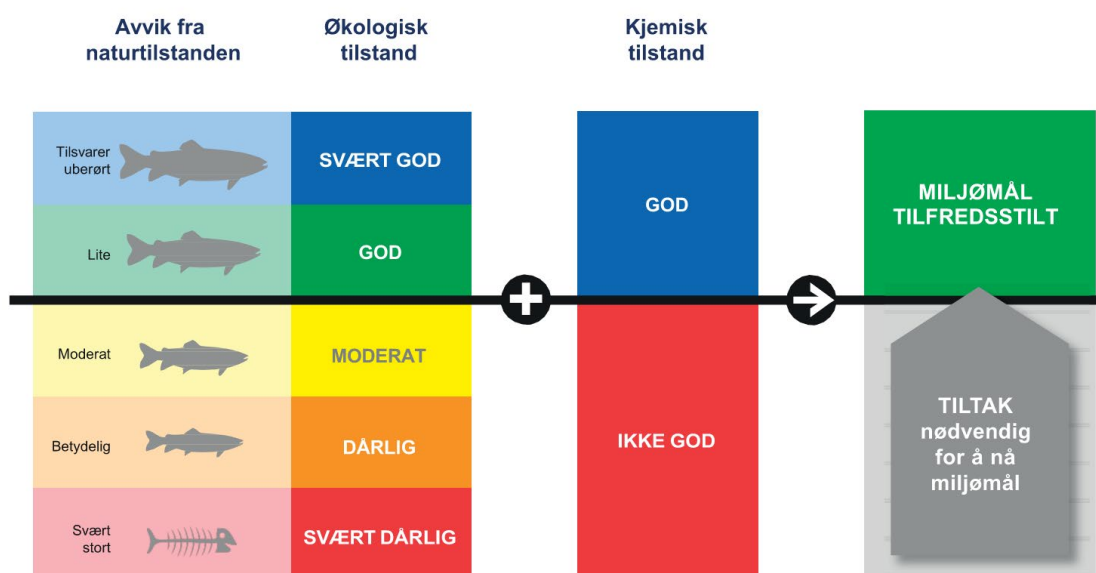
Konsentrasjonen av stoffer i utslippsvannet sammenlignes med målte bakgrunnskonsentrasjoner i resipientene for å estimere nødvendig fortynning for å overholde gjeldende miljøkrav. Rapporten bygger videre på «Konsekvensvurdering – Utslipp av tunnelvann» [2] ved å inkludere både innlagringsmodellering og beregning av nødvendig fortynning av tunnelvannutslippet.

Et sentralt spørsmål i oppdraget er å fastsette optimal plassering av utslippspunktet for tunnelvann, både horisontalt (koordinat) og vertikalt (dybde), for å opprettholde best mulig vannkvalitet og minske uønskede effekter.

1.2 Miljømål

Miljømål iht. Vannforskriften er at alle norske vannforekomster skal oppnå god økologisk og kjemisk tilstand innen 2027. Direktoratgruppen vanddirektivet (2018) angir definisjonen av miljøtilstand som er vist i Figur 1-2, med inndeling fra Svært god til Svært dårlig [3].

Miljøtilstand- og miljømål-klassifisering

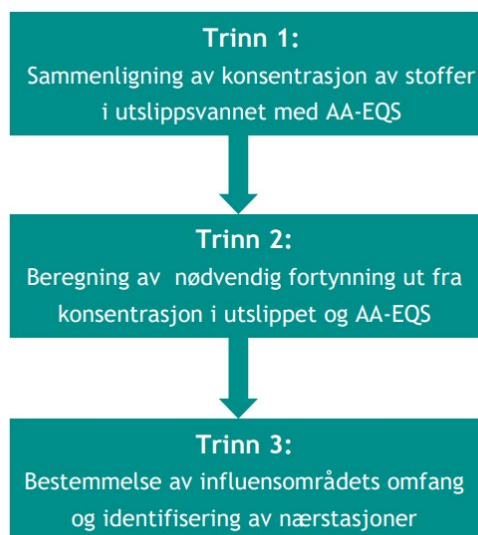


Figur 1-2: Definerings av miljøtilstanden og miljømål-klassifisering [3].

Ved utslippspunktene i Moldefjorden og Kjødepollen må man forvente at tilstanden lokalt kan forringes. Det er viktig at området direkte rundt utslippspunktet ikke blir for stort. Et nærområde med en radius på 300 m fra utslippspunktet vurderes som akseptabelt [4]. Dette området omtales heretter som nærsone. COWI AS har utført modellering for å beregne hvor stor fortynning av tunnelvannutslippene som må til for å unngå uakseptabel forringelse av miljøtilstanden i fjorden (jf. Vannforskriften). Det vil si at tilstandsklassene ikke må overskride tilstandsklasse 2 (god), eller dersom tilstandsklassen allerede er høyere enn 2, må den ikke reduseres.

Rapporten følger strategien for vurdering av nærsone som beskrevet i Miljødirektoratets faktaark M-1288 2019 (Figur 1-3) hvor konsentrasjonen av stoffer i utslippsvannet sammenliknes med AA-EQS (konsentrasjon innenfor TKL I 'god'). I tilfellene hvor konsentrasjonen er høyere, beregnes

nødvendig fortynning for å oppnå konsentrasjon under AA-EQS. Til slutt beregnes primærfortynningen fra utslippet med CORMIX-modellen i en sektor på 300 m rundt utslippspunktet.

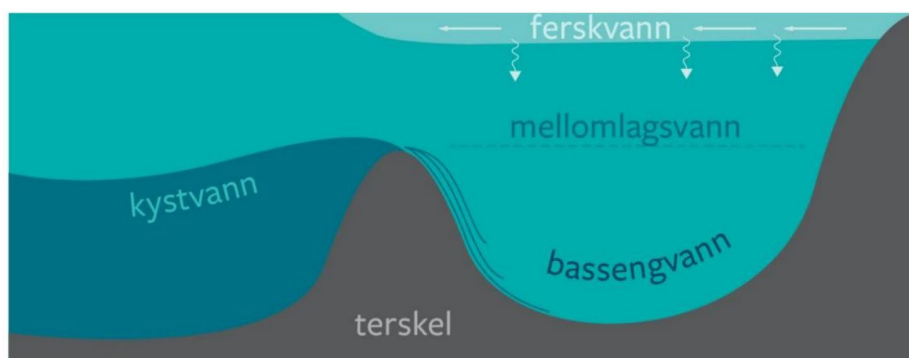


Figur 1-3 Prosess for beregning av nærområdet [4]

2 Beskrivelse av Moldefjorden og Kjødepollen

2.1 Vannutskifting

Moldefjorden (vannforekomst ID: 0282012600-C) er resipienten for tunnelvannet som blir sluppet vest for tunnelen. Kjødepollen (vannforekomst ID: 0301010100-C) er resipienten for tunnelvannet som blir sluppet øst for tunnelen. Begge fjordene, på begge sider av tunnelen, har en eller flere terskler som fungerer som en barriere mellom vannet i bassenget og kystvannet utenfor. I en terskelfjord finner vi ofte tre typer vannmasser (Figur 2-1): 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 lite kontakt mellom kystvannet og bassengvannet.



Figur 2-1 Barrierevirkning av en terskelfjord mellom kystvannet og bassengvannet (uib.no).

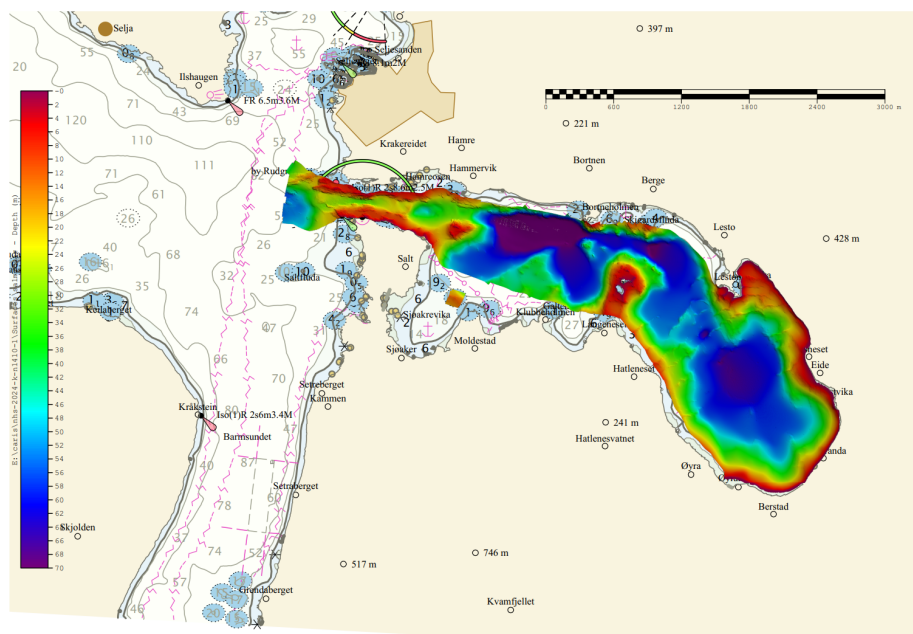
De ulike vannmassene har ulik tetthet. Tettheten avhenger stort sett av saltholdigheten. Brakkvannslaget øverst i fjordene har den laveste saltholdigheten, noe som gjør vannet lettest. Bassengvannet i bunnen har den høyeste saltholdigheten, noe som gjør det til den tyngste vannmassen. I prosjektet ble det gjennomført hydrografiske målinger for å få grunnlag til beregningene (Vedlegg 2). I tillegg ble det gjennomført strømmålinger (Vedlegg 3). Det ble registrert en gjennomsnittlig strømhastighet på 2 cm/s på 25/30 meters dybde. Vannutskifting av bassengvannet skjer når kystvann strømmer over terskelen, synker ned og fortrenger 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 to prosesser: (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 utskifting 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 fortetre tettheten avtar, desto fortetre kan en ny utskifting skje, fordi kystvannet til slutt vil være tyngre enn bassengvannet. Typiske tidsperioder mellom vannutskiftninger er flere år.

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 tomt for oksygen (anoksisk). Vannutskiftning i fjorder fornyer bassengvannet og skyller bort det gamle vannet som har ligget isolert i fjordbassenget. Det ble registrert en utskiftning i mai 2025 (Vedlegg 2).

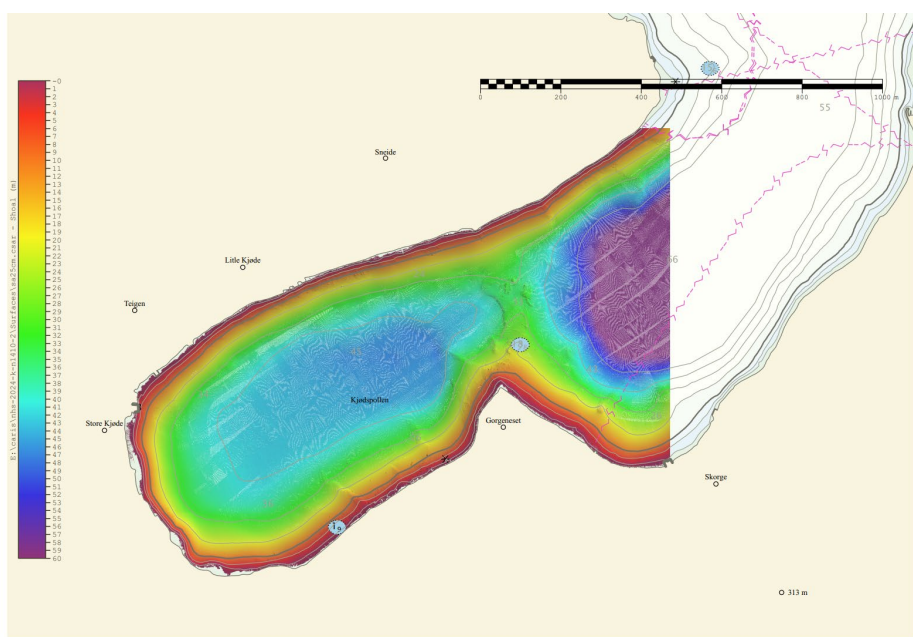
Begge fjordene er definert som naturtype «Fjorder med naturlig lavt oksygeninnhold i bunnvannet (IO3)» (DN håndbok 2007). I denne typen fjorder er ofte artssammensetningen spesiell og ettersom det ikke finnes gravende organismer i sedimentet, er lagdelingen uforstyrret.

2.2 Dybdeforhold

Dybdekart fra Moldefjorden og Kjødepollen vises i henholdsvis Figur 2-2 og Figur 2-3. Moldefjorden har en terskel på 22m dybde ved Saltasundet, mens Kjødepollen har en terskel på 33m.



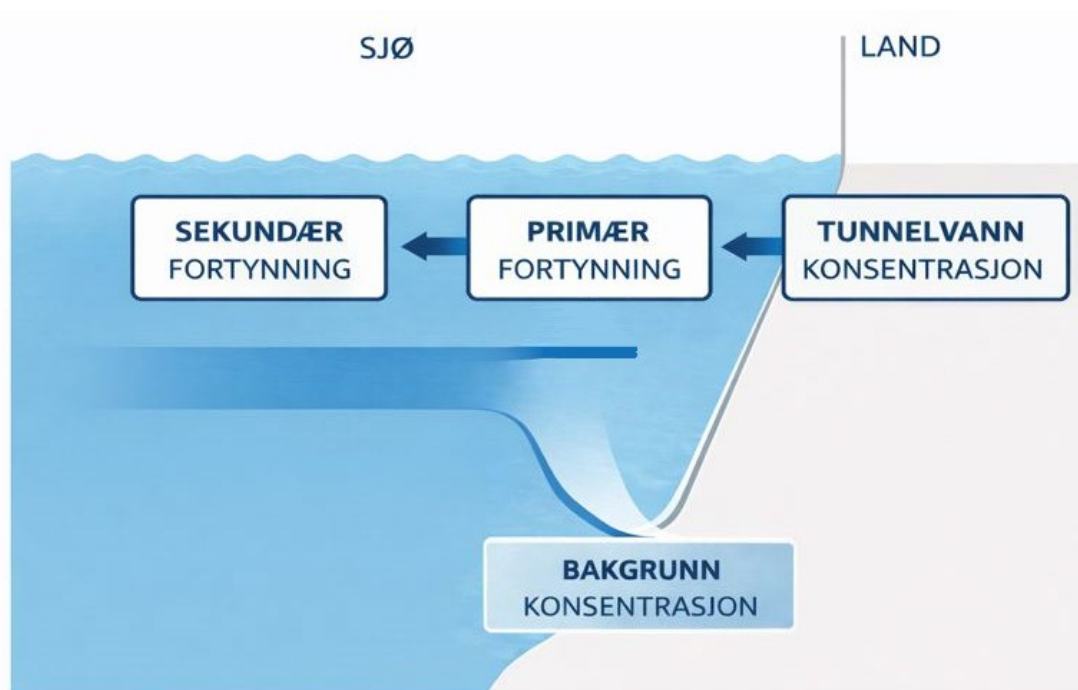
Figur 2-2: Dybdeforhold Moldefjorden på vestsiden av planlagte tunnel. Terskel på 22m.



Figur 2-3: Dybdeforhold Kjødepollen på østsiden av planlagte tunnel. Terskel på 33m.

3 Metode for beregninger, modelleringer og vurderinger

Utslipp av tunnelvann kan medføre uønskede effekter i fjordene. Høye partikkelmengder i vannet kan føre til økt sedimentasjon og tilslamming, mens høye konsentrasjoner av metaller kan gi toksiske effekter. Næringssalter i utslippsvannet kan bidra til økt algeoppblomstring, noe som igjen kan føre til økt oksygenforbruk i vannmassene. Både Moldefjorden og Kjødepollen er terskelfjorder med begrenset utskiftning av bunnvannet, noe som allerede i dag fører til lave oksygennivåer i bunnen. Det kan i perioder føre til anoksiske forhold. For å kunne vurdere den samlede belastningen på fjorden er det behov for informasjon og kunnskap om utslippet (hvilke stoffer, mengde vann og konsentrasjoner), hvordan utslippet vil oppføre seg og hvilke konsentrasjoner man vil kunne forvente i resipientene. Vurderingene er igjen avhengig av bakgrunnskonsentrasjonene av stoffene i resipientene. En prinsippsskisse av hvordan utslippet av tunnelvann oppfører seg i sjø og hvilke hovedfaktorer som må vurderes er vist i Figur 3-1.



Figur 3-1 Prinsippsskisse for beregning av konsentrasjon av tunnelvannutslipp i sjø.

Følgende beregninger og undersøkelser er utført som grunnlag for modellering med tilhørende vurderinger av utslipp av tunnelvann til sjø:

Beregning av mengder og konsentrasjon av stoffer i tunnelvann (kap. 4)

Mengder innlekkasjevann i tunnelen som trengs å pumpe ut til sjø er input til beregning av spredning av stoffer i sjø. Videre må man vite konsentrasjoner av de forskjellige stoffer i utslippsvannet.

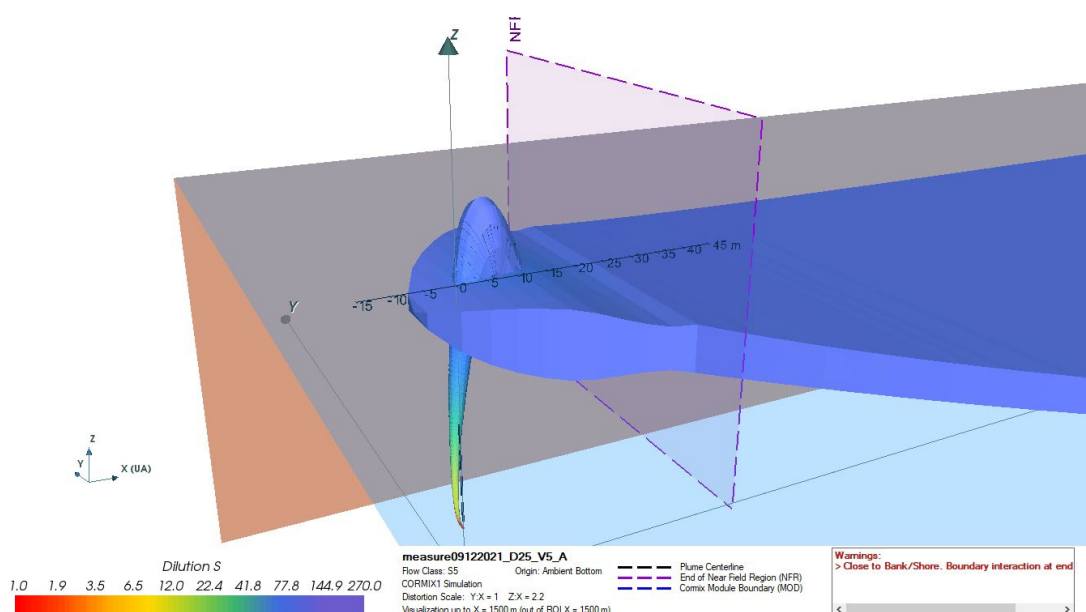
Bakgrunnskonsentrasjon av næringssalter og metaller i resipientene (kap. 5)

For å kunne beregne den totale belastning på fjordsystemet er det nødvendig at man har kunnskap om dagens tilstand og bakgrunnskonsentrasjon.

Modellering av primærfortynning (kap. 6)

For å beregne innlagringsdybde og primærfortynning av tunnelutslippsvannet er CORMIX modellen benyttet. Dette er en modell utviklet for å beregne blandingssoner og er godt egnet til å forutsi primærfortynning av utslippsvann i fjordvannet. Modellen regner ut hvordan «plumen» fra utslipp beveger seg vertikalt i vannsøylen, fortynnes og til slutt innlagres i et vertikalt vannlag [5]. Etter innlagring sprer utslippsvannet seg videre med sekundærfortynning, det vil si at den sprer seg videre med strømninger i fjorden. Modellen regner ut fortynningen i nærsonen, i dette tilfelle noen hundre meter fra utslippspunktet. Et eksempel på en CORMIX simulering er vist i Figur 3-2.

Utslippsvannet er primært ferskvann, som er lettere enn saltvann. Dermed stiger utslippsvannet i første instans oppover i vannsøylen. CORMIX tar ikke høyde for batymetrien i fjordsystemet (siden det er direkte rundt utslippspunkt), men antar at fjorden rundt utslippspunktet er rektangelformet.



Figur 3-2: Eksempel på tredimensjonalt CORMIX resultat.

Beregning av sekundærfortynning (kap. 7)

Sekundærfortynning er den påfølgende fortynningsprosessen som skjer etter cirka 300 meter fra utslippspunktet (primærfortynningen). Dette innebærer beregninger av nitrogenkonsentrasjoner i fjordene som følge av utslipp av nitrogen med tunnelvannet. Beregningene baseres på estimerte utslippskonsentrasjoner og volumet av fjordvannet. Det vurderes om utslippet lagres i bunnvannet under terskelnivå med begrenset vannutskifting, eller i topplaget med kontinuerlig utskifting. Konsentrasjonene beregnes konservativt, uten å ta hensyn til biologisk forbruk av nitrogen.

Nitrogentilførsel fra steindumping (kap. 9)

Massene fra tunnelsprengningen inneholder betydelige mengder nitrogen. Som en del av vurderingen i rapporten er det derfor gjennomført overordnede beregninger av nitrogentilførselen på begge sider av tunnelen, der massene planlegges deponert.

4 Tunnelvann

4.1 Mengder tunnelvann

Tunnelvann refererer til vann som ledes ut av tunnelen under driving, og som består av en blanding av driftsvann, innlekkasjevann og påboret vann [6]. For Stadt Skipstunnel er det, med unntak av midten av tunnelen, ikke krav til mengder innlekkasjevann, slik det er for biltunneler.

Det foreligger ingen kjennskap til sprekker i fjellet, og derfor kan man ikke gi et sikkert estimat av mengden grunnvann som lekkes inn i tunnelen. Dette medfører stor usikkerhet knyttet til vannmengdene. Multiconsult [7] kom med et estimat mellom 3,3 l/min/100m tunnel og 3348 l/s/100m. Her antar vi en innlekkasje på mellom 30 og 1000 l/min/100 meter tunnel, og en total ferskvannføring på mellom 8,5 og 283,3 l/s. Det er i tillegg stor usikkerhet knyttet til innlekkasje av saltvann når det sprenges ut under havnivå. Innlekkasjen av saltvann er antatt til å være 50%-100% av maksimum ferskvannsinlekkasje: 141,7-283,3 l/s.

Maksimum vannmengder oppnås i slutfasen av prosjektet når lengden av tunnelene er maksimale (før det sprenges åpninger ut mot fjordene), det vil si når mengde innlekkasjevann også er maksimalt. Minimum vannmengder oppnås i startfasen av prosjektet, når det bare brukes drivevann. Utslippsvannet forventes i hovedsak å være ferskvann, men mengden saltvann vil antakelig øke etter hvert som prosjektet nærmer seg slutten. Siden tunnelen bygges fra innsiden og utover, vil eventuelle sprekker i fjellet føre til større innlekkasje av saltvann mot slutten av byggeprosessen.

Entreprenøren benytter sannsynligvis en pumpekapasitet på 150 m³/t per side. Dette er maksimum vannmengde av hva renseanlegget kan håndtere. Dette tilsvarer en innlekkasje på 83 l/s (42 l/s per side). Dersom innlekkasjemengdene overstiger dette, vil entreprenøren mest sannsynlig tette tunnelen for å unngå for store vannmengder. Innlekkasjen på 83 l/s ligger innenfor det spenn av innlekkasjemengder som er brukt i denne rapporten.

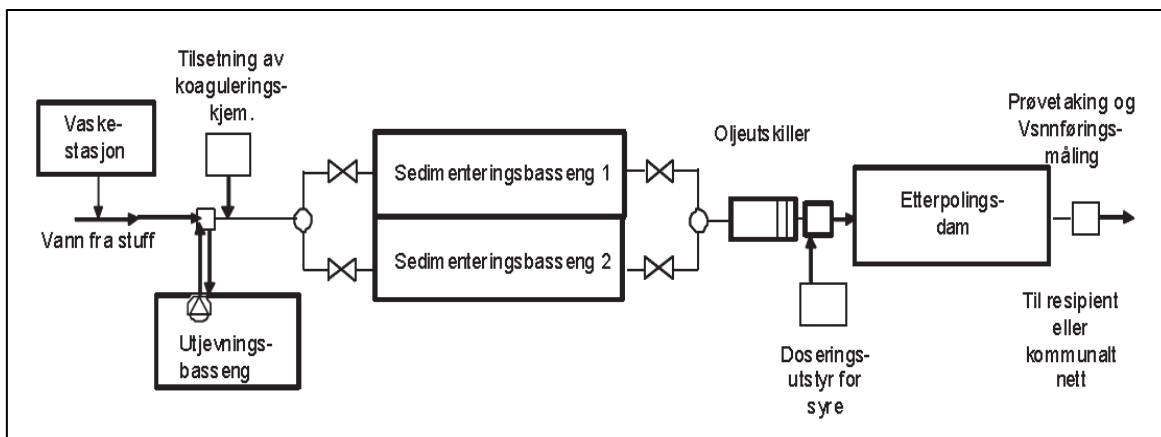
4.2 Konsentrasjon av stoffer i utslippsvannet

Innlekkasje av ferskvann (og eventuelt sjøvann) i tunnelen under byggefasen skal pumpes ut til sjø. Det pumpes både til Moldefjorden (vestover) og Kjødepollen (østover). Det stilles ingen formelle krav til akseptabel innlekkasje, men det er 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 (fra sprengstoff), metaller (fra både berg og betong), olje, partikler, vann med annen pH og plast. Utslipp av tunnelvann kan derfor 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.

Tunnelvann går gjennom en renseprosess før det slippes ut i sjø. Ved bruk av sedimenteringsbassenger kan mengde partikler som slippes ut reduseres, samtidig som pH kan endres. Siden metaller i stor grad er assosiert med partikler vil sedimentasjon fjerne både partikler og metaller fra tunnelvannet. Det er imidlertid krevende å rense tunnelvannet for næringssalter, både plassmessig og økonomisk. I de fleste tilfeller renses det derfor ikke for næringssalter. Det planlegges å rense tunnelvann slik som vist i Figur 4-1.

Figur 4-1. Prinsippskisse av flytskjema for renseanlegg for tunneldrivevann, hvor det skal oppnås en maks konsentrasjon (midlingstid 1 uke) av suspendert tørrstoff på 200 mg/l i utslippet, og hvor det er mulighet for pH-justering av utløpsvannet. Det kan hende at trinnet med tilsetning av koaguleringskemikalier blir overflødig. pH-justering kan alternativt skje med CO₂. Flytskjemaet er hentet fra Norsk forening for fjellsprengningsteknikk (2009). Endelig prosessoppsett avgjøres av entreprenør.



Det ble gjort et litteratursøk på hvilke stoffer og deres konsentrasjoner som slippes ut i tunnelvann som følge av sprengningsarbeid (Tabell 4-1). Det kan grovt sett inndeles i næringssalter (nitrogen- og fosforforbindelser), metaller og øvrige forbindelser (partikler, PAH, olje). Tallene i Tabell 4-1 er konservative.

Tabell 4-1: Forventede konsentrasjoner av stoffer som slippes ut med tunnelvann. COWI forutsetter at suspendert stoff og olje i tunnelvannet renses til nivået angitt i Figur 4-1 før utslipp, og at pH justeres til det oppgitte intervallet. Data for fosfor og metaller er hentet blant annet fra Norsk forening for fjellsprengningsteknikk (2009) [6], Rannekleiv, et al. (2016) [8] og Rannekleiv, Garmo, Petersen, & Vikan (2017) [9]. Fargene angir tilstandsklassifisering, etter Direktoratgruppen vanndirektivet (2018) [3] (Vedlegg 4).

Stoff	Kilde	Enhet	Forventet konsentrasjon i ubehandlet vann	Forventet konsentrasjon etter rensing (for partikler, olje og pH: ut fra forventet rensekrav)		
				Laveste verdi (årlig gjennomsnitt, ukeblandprøver)	Høyeste verdi (årlig gjennomsnitt, ukeblandprøver)	Høyeste verdi (ukeblandprøve r)
Suspendert stoff (SS)	Sprengstein	mg/l	100-20000	200	200	200
Total fosfor		µg/l		140	230	-
Olje (C10–C40)	Maskiner og utstyr	mg/l		20	20	20
PAH	Maskiner og utstyr	µg/l		ukjent	ukjent	ukjent
Ev. andre kjemikalier	Maskiner og utstyr					
pH	Sement til injeksjon	-	11-12,5	7-8,5	7-8,5	7-8,5
Metaller, opsluttet/total konsentrasjon						
Aluminium		µg/l		50	800	-
Arsen		µg/l		0,5	3	7
Bly		µg/l		0,03	1	2
Kadmium		µg/l		0,04	0,1	0,3
Kobber		µg/l		5	22	100
Krom	Sement til injeksjon	µg/l		10	50	60
Krom (VI)		µg/l		26	26	60
Kvikksølv		µg/l		0,003	0,003	0,01
Nikkel		µg/l		0,3	4	9
Sink		µg/l		1	22	115

For å redusere påvirkningen på vannkvalitet og følgende negative effekter på økologi, planlegges det å benytte en dykket utslippsløsning.

Selv om mengde utslippsvann øker over tid, antas det at konsentrasjonen av de aktuelle stoffene i utslippsvannet er lik over hele byggeperioden. Dette er fordi rensekrav medfører at konsentrasjonene av de aktuelle stoffene i utslippet bør være lik. Unntatt er nitrogenforbindelser, som blir behandlet senere i denne rapporten.

4.3 Grenseverdier i henhold til utslippstillatelse

Statsforvalteren har gitt tillatelse til utslipp av tunnelvann (30.08.2023) [10] på visse vilkår, som følger (Tabell 4-2):

Suspendert stoff

I tillatelsen fra 30-08-2023 til utslipp til resipientene har Statsforvalteren satt krav til grenseverdier for suspendert stoff. Teksten nedenfor er hentet fra statsforvalteren og omtaler grenseverdiene:

«Utslepp av anleggsvatnet vil skje i områder med gytefelt for torsk og der det er registrert store områder med ålegras og tareskog. Utifrå skadepotensialet partikkelutsleppet kan ha på naturmangfaldet i området og at utslippene vil ha eit stort volum og skal føregå over lang tid, setter Statsforvalteren vilkår om grense på **200 mg/l** suspendert stoff ut frå reinseanlegget. HI skriv i sin høyringsuttale at det bør vurderast eit sirkulært vassystem for filtrering av tunnelvatn som kan redusere problemar knytta til suspendert stoff. Statsforvalteren setter ikkje krav til type reinseanlegg som skal nyttast, så lenge det nyttast best tilgjengeleg teknikk (BAT) og reinsekrava blir opprettheldt.» [10]

Olje og pH

Fisk og andre vannlevende organismer er sårbare for oljeforurensing. Dette gjelder spesielt tidlige livsstadier hos fisk (egg og larver). På bakgrunn av langvarig anleggsarbeid og nærliggende gytefelt for torsk setter statsforvalteren et krav om at olje ut fra renseanlegget skal være under **20 mg/l**. [10]

Sprengning ved driving av tunnel kan medføre utslipp av uomsatte nitrogenforbindelser, hovedsakelig i form av ammonium (NH_4^+) og nitrat (NO_3^-). Ammonium og ammoniakk vil ved nøytral pH være i likevekt, men ved høy pH (> 8–9) vil mesteparten foreligge som ammoniakk [11]. Ammoniakk er akutt giftig for vannlevende organismer. En pH over 9 kan være skadelig for fisk, og en pH over 9,5 kan være skadelig for utviklingsstadier av fisk samt dødelig for fisk ved langvarig eksponering. Derfor stiller Statsforvalteren krav om at pH-verdien på utslippsvannet til Moldefjorden og Kjødepollen skal ligge mellom **7 og 8,5**.

Tabell 4-2 Grenseverdier for utslepp av tunnelvatn og anleggsvatn gitt av statsforvalteren [10].

Parameter	Grense ut fra renseanlegg
Suspendert stoff	200 mg SS/liter
Olje (C10-C40)	20 mg/liter
pH	7-8.5

4.4 Syredannende berg

Forekomst av syredannende bergmasser kan føre til økt konsentrasjon av metaller i tunnelvannutslippet. Det er derfor gjort innledende undersøkelser rundt Moldefjorden og Kjødepollen for å kartlegge eventuelle syredannende bergmasser [12, 13].

I Multiconsults rapport «Syredannende potensiale i bergprøver» [13] ble det utført tørstoffanalyser og utlekkingstester på tre prøveserier, bestående av ni prøveserier fra kjerneborehull BH-6 ved hulldybde 201,7, 344 og 21 meter. Bergprøvene anses ikke å ha syredannende potensiale, og utlekking ligger under grenseverdiene for inert avfall.

Supplerende kjemiske analyser med HH-XRF på borekjerner fra langs tunneltraséen målt av COWI AS [12] viser at innhold av svovel generelt er lavt, og det er ingen indikasjoner på at kjernene har et

svovelinhold som kan bidra til akutt syredanning. Siden kjernene består av uforvitret gneis, kan det ikke utelukkes at materialet kan bidra til langsiktig sur avrenning basert på svovelskonsentrasjoner alene.

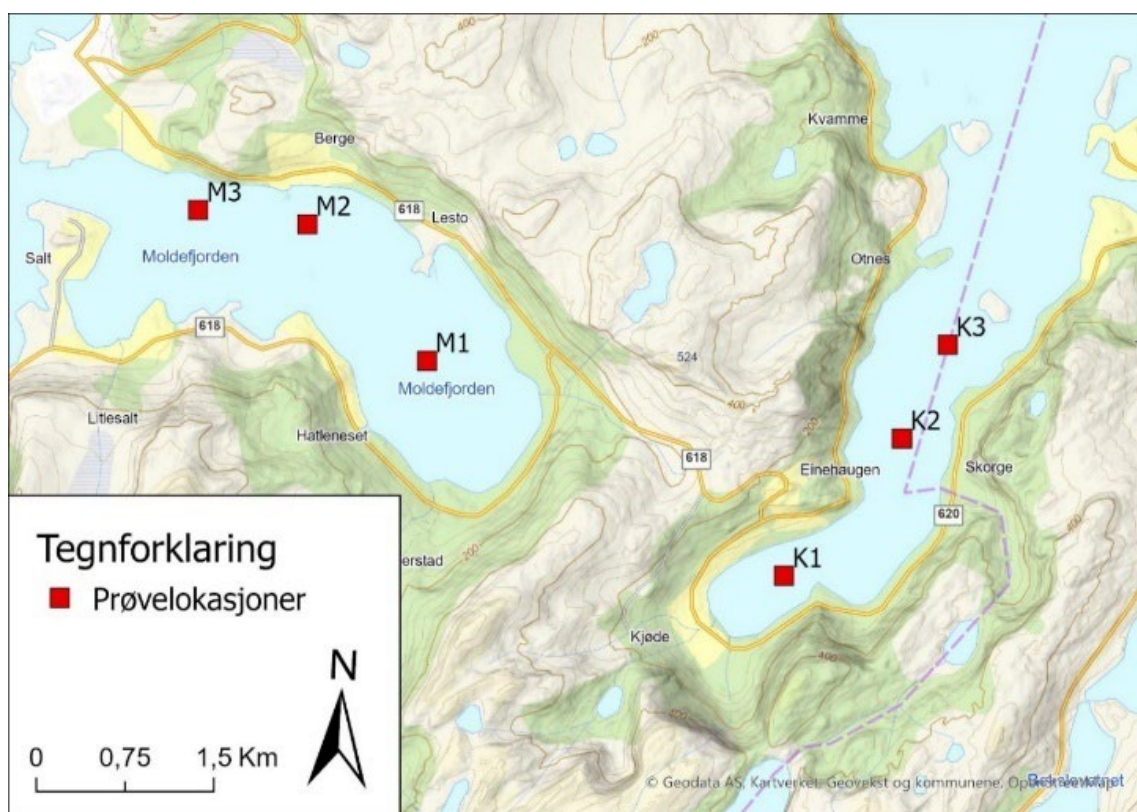
Det ble utført pH tester på bergmaterialet fra kjerner for vurdering av syrepotensiale. Alle prøvene ble klassifisert som ikke syredannende. Økte konsentrasjoner av metaller som følge av syredannende berg er derfor ikke vurdert videre på dette stadium.

5 Bakgrunnskonsentrasjon av næringssalter og metaller i resipientene

Vannprøvetaking i både Moldefjorden og Kjøddepollen ble gjennomført av COWI AS i perioden desember 2024 til august 2025. Bakgrunnskonsentrasjonene ble benyttet til å fastsette krav til fortynning av tunnelvannet. For en grundig gjennomgang av prøvemethodikk og resultater henvises det til COWI sin rapport «Marine undersøkelser – Stad skipstunnel» [14]. Her presenteres en kort oppsummering av resultatene, samt tabeller og kart. Kun prøvene tatt nærmeste tunnelåpningen (M1, PP3 og PP4 i Moldefjorden, samt K1, PP5 og PP6 i Kjøddepollen, se Figur 5-1 og Figur 5-2) ble inkludert i vurderingene, da det forventes at tunnelvannutslippet kommer til å ligge i disse områdene.



Figur 5-1 *Prøvelokasjonene for passive prøvetakere (DGT) og vannprøver. Prøvepunktene PP1 og PP2 er ekskludert fra gjennomsnittsberegningen for Moldefjorden, da de ligger langt unna utslippspunktet for tunnelvannet. Sed står for sedimentfelleprøver, som er rapportert i A05-NOT-YM-00004 (Marine undersøkelser) [14]. De grønne omrissene er de planlagte tunnelåpningene, samt næringsområder hvor det skal brukes stein fra tunnelen.*



Figur 5-2 Lokalisering av vannkvalitets-/hydrografistasjoner i Moldefjorden (venstre) og i Kjødepollen (høyre) fra stasjonene undersøkt av Multiconsult [5] og COWI [6]. CTD data, samt bakgrunnskonsentrasjoner av næringsstoffer fra M1 og K1 ble brukt som input i CORMIX.

Det ble tatt prøver av sjøvann en gang i måneden de øverste 10 meterne av vannsøylen for analyse av næringssalter. Konsentrasjonene lå innen tilstand God – Svært god i begge fjordene, foruten noen forhøyede verdier av fosfat i sommermånedene (Tabell 5-1 og Tabell 5-2). Resultater fra disse prøvene ble brukt til å beregne bakgrunnskonsentrasjoner for næringsstoffer i fjordene.

Tabell 5-1 Konsentrasjoner av næringsstoffer i overflatevannet om vinteren i Kjødpollen (K1) og Moldefjorden (M1), basert på vannprøver innsamlet ved 0, 2, 5 og 10 meters dybde. Konsentrasjonene er klassifisert etter grenseverdier for overflatelag vinter (desember – februar).

I - Svært God	II - God	III - Moderat			IV - Dårlig	V - Svært dårlig			
		Kjødepollen (vinter: des 2024 - feb 2025)				Moldefjorden (vinter: des 2024 - feb 2025)			
Parameter	Enhet	K1	K2	K3	Gj.snitt	M1	M2	M3	Gj. Snitt
Ammoniakk (NH3)	mg/l	-	-	-		0,01	0,01	0,01	-
Ammonium-N	µg/l	8,28	9,22	13,09	10,20	16,15	16,08	14,1	15,4
Fosfat (PO4-P)		10,88	11,89	13,08	11,95	12,22	11,57	11,24	11,7
Nitritt+nitrat-N		45,17	43,94	44,69	44,6	41,7	39,9	40	40,5
Total fosfor		13,88	13,88	13,94	13,90	15,65	14,5	13	14,4
Total nitrogen		194,17	183,1	193,75	190,35	216	184,5	180	193,5
* gjennomsnitt i øverste 0-10 m av vannsøylen									

Tabell 5-2 Konsentrasjoner av næringsstoffer i overflatevannet om sommeren i Kjødepollen (K1) og Moldefjorden (M1), basert på vannprøver innsamlet ved 0, 2, 5 og 10 meters dybde. Konsentrasjonene er klassifisert etter grenseverdier for overflatelag sommer (juni – august).

I - Svært God		II - God		III - Moderat		IV - Dårlig		V - Svært dårlig	
Kjødepollen (sommer: juni - aug 2025)						Moldefjorden (sommer: juni - aug 2025)			
Parameter	Enhet	K1	K2	K3	Gj.snitt*	M1	M2	M3	Gj. Snitt*
Ammoniakk (NH3)	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ammonium-N	µg/l	16,61	19,40	8,97	14,99	13,58	10,70	13,77	12,68
Fosfat (PO4-P)		3,09	12,46	7,67	7,74	3,27	6,26	3,31	4,28
Nitritt+nitrat-N		1,80	1,48	1,31	1,53	1,28	2,86	2,64	2,26
Total fosfor (Offline)		6,88	15,77	11,01	11,22	5,86	9,54	6,87	7,42
Total nitrogen (Offline)		149.56	142.22	173.33	155.04	121.78	120.00	147.78	129.85

* gjennomsnitt i øverste 0-10 m av vannsøylen

Vannprøvene ble også benyttet for analyse av klorofyll A, pH, suspendert stoff (SS) og turbiditet. Resultatene er vist i Tabell 5-3. Klorofyll A viser svært god tilstand ved alle prøvestasjonene i begge fjorder. pH-verdiene ligger på et nøytralt nivå med et gjennomsnitt på 8 i både Moldefjorden og Kjødepollen. Begge fjorder har lav turbiditet med gjennomsnitt på 0,29 FNU i Kjødepollen og 0,23 FNU i Moldefjorden. Resultatene ble benyttet til beregning av månedlige gjennomsnittskonsentrasjonen av hver parameter.

Tabell 5-3 Bakgrunnskonsentrasjoner for klorofyll A, pH, suspendert stoff, temperatur og turbiditet i Kjødepollen (K1) og Moldefjorden (M1), basert på vannprøver innsamlet ved 0, 2, 5 og 10 meters dybde. Disse konsentrasjonene representerer konsentrasjonene i overflatevannet.

Kjødepollen (gjennomsnitt des 2024 - nov 2025)					Moldefjorden (gjennomsnitt des 2024 - nov 2025)				
	Enhet	K1	K2	K3	Gjennomsnitt	M1	M2	M3	Gjennomsnitt
Klorofyll A	µg/l	0,85	0,91	0,82	0,9	1,22	1,54	1,38	1,4
pH målt ved 22 +/- 2°C		7,99	7,97	7,97	8,0	7,95	7,97	7,97	8,0
Suspendert stoff (0,45 µm MCE Membran)	mg/l	2,18	2,32	2,37	2,3	2,62	2,66	2,42	2,6
Turbiditet	FNU	0,21	0,41	0,25	0,29	0,22	0,24	0,23	0,23

I tillegg ble det fra august til september 2025 satt ut passive prøvetakere (DGT – Diffusion Gradients in Thin films) i begge fjordene, for måling av metaller i sjøvann 13 meter over bunnen. DGTene ble eksponert for sjøvann i 15-16 dager før innsamling. Det ble også tatt vannprøver fra samme lokasjonen som DGT-prøvene i august og september 2025. I Moldefjorden ble det funnet forhøyede verdier av sink, krom og nikkel i DGT på en stasjon, i tillegg til at det var forhøyede nivåer av arsen i alle vannprøvene (Tabell 5-4). I Kjødepollen ser vi den samme trenden med forhøyede nivåer av arsen i alle vannprøvene, i tillegg til sink ved ett prøvepunkt (Tabell 5-5). Derimot var alle konsentrasjonene målt med DGT lave. Gjennomsnittskonsentrasjoner av metaller i disse prøvene ble benyttet til å estimere bakgrunnskonsentrasjoner for metaller i sjøvannet.

Tabell 5-4 Målte metallkonsentrasjoner i vannprøver fra Moldefjorden (prøvestasjoner PP1, PP2, PP3 og PP4) basert på utsetting av DGTer. Kolonnen helt til høyre viser gjennomsnittskonsentrasjonene for de ulike metallene, der gjennomsnittet for PP3 og PP4 danner grunnlaget for videre beregning av fortynningskrav. For konsentrasjoner under deteksjonsgrensen er halve konsentrasjonen brukt til å beregne gjennomsnittet.

Moldefjorden																			
		Vannprøver august							Vannprøver September				DGT				Gjennomsnitt (alle prøver)	Gjennomsnitt (kun PP3 og PP4)	
		Overflate			13 meter over bunn				Overflate										
Navn på stoff	Enh	Sed/PP1 (0 m)	Sed/PP2 (0 m)	Sed/PP3 (0m)	Sed/PP4 (0m)	Sed/PP1 (20 m)	Sed/PP2 (13 m)	Sed/PP3 (14m)	Sed/PP4 (29m)	Sed/PP1 (0 m)	Sed/PP2 (0 m)	Sed/PP3 (0m)	Sed/PP4 (0m)	PP1 (20 m)	PP2 (13 m)	PP3 (14m)	PP4 (29m)		
Arsen (As)	µg/l	1,30	1,40	1,40	1,40	1,80	1,80	1,70	1,80	1,40	1,20	1,40	1,40	0,02	0,01	2,67	0,01	1,29	1,47
Bly (Pb)		< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,45	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,27	1,30	0,02	0,00	1,01	0,01	0,25	0,42
Kadmium (Cd)		< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,01	0,01	1,49	0,01	0,17	0,26
Kobber Cu)		< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,90	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,50	<0,016	<0,016	<0,016	<0,018	0,23	0,19
Krom (Cr)		< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	0,03	0,03	54,40	0,03	3,78	7,18
Nikkel (Ni)		< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	0,07	0,09	48,30	0,07	3,78	6,80
Sink (Zn)		2,30	< 2	< 2	13,00	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	3,80	0,34	0,26	86,20	0,42	7,13	13,43
Kvikksølv (Hg)		< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	<0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	<0,0061	<0,0061	<0,0061	<0,0070	0,02
Høyeste tilstandsklasse		III	III	III	IV	III	III	III	III	III	III	III	III	II	II	V	II	IV	IV

[illegible]

6 Resultater primærfortynning

6.1 Primærfortynning og innlagringsberegninger

6.1.1 Input i modellen

I CORMIX-modellen brukes ulike modellparametere som enten er basert på egne feltmålinger eller opplysninger fra oppdragsgiver. De initiale innstillingene er gitt i Vedlegg 1.

Som input i modellen benyttes blant annet mengde tunnelvann og rørdiameter ved utslippet. Utslippsledningen har en antatt innvendig diameter på 280 mm (ytre diameter 315 mm), og det benyttes flere ledninger dersom vannmengden er stor. Utslippet forventes hovedsakelig å bestå av ferskvann, men det er også gjennomført følsomhetsanalyser for mulige tilfeller av innlekkasje av saltvann, dersom nedre delen av tunnelen sprenges ut under havnivå. Dette er i høyere grad forventet i de senere faser av byggeprosjektet. Flere scenarioer ble kjørt med ulike mengder av innlekkasje av både ferskvann og saltvann ettersom det er store usikkerheter knyttet til mengden av både innlekkasjevann ovenfra og sjøvann.

For simuleringene er det valgt flere utslippsdybder både i Kjødepollen og Moldefjorden. I Kjødepollen er det simulert utslipp på 20 og 45 meters dybde, mens i Moldefjorden er utslippsdybdene 30, 40, 50 og 65 meter.

En viktig input i modellen er tettheten av de forskjellige vannlagene i fjorden, som varierer med temperatur og saltholdighet. Simuleringene i CORMIX ble gjennomført før COWIs egne målinger av hydrografi i fjordene dataene var tilgjengelige. Disse målingene viser imidlertid at salinitet, temperatur og tetthetsforhold i fjordene ikke har endret seg betydelig siden Multiconsults målinger i 2021/2022 (Vedlegg 2). Multiconsults målinger fra 2021/2022 blir derfor fortsatt brukt som grunnlag for simuleringene. Forskjell i densiteten mellom tunnelvann (ferskvann) og omgivelsesvann (saltvann) bestemmer hvordan tunnelvannet / «plumen» beveger seg oppover i vannsøylen og fortynnes. Når densiteten av «plumen» er lik omgivelsesvannet innlagres utslippet og beveger seg ikke lenger vertikalt. Siden tetthetsprofilen i fjorden er forskjellig over året (f.eks. om våren har vann i topplaget en lavere saltholdig på grunn av mye ferskvannsavrenning fra elvene omkring) trenger man ta høyde for dette med simuleringer for forskjellige tetthetsprofiler over året.

Strømhastigheten i fjorden benyttes som input i CORMIX modellen. Median hastigheten på 2 cm/s blir brukt i CORMIX modellen og har betydning for hvilken vei «plumen» sprer seg (og videre spredning etter innlagring), se Vedlegg 3.

Det forutsettes at metaller er oppløst i vann, noe som er en konservativ tilnærming. En del metaller binder seg til partikler i utslippet og vil sedimentere.

6.1.2 Innlagringsmål

Ferskvannet i tunnelvannet er lettere enn saltvann og derfor vil utslippet av tunnelvann i sjøen stige opp mens det blandes med sjøvannet (primærfortynning). Etter hvert innlagres tunnelvannutslippet

på en viss dybde og sprer seg horisontalt videre med strømmingen i fjorden. Dette kalles sekundærfortynning og vurderes videre i kap. 7.

Moldefjorden og Kjødipollen er begge terskelfjorder (se kapittel 2.1), med lave oksygennivåer i de dypere delene. Stoffer fra tunnelvannutslippet bør ikke innlagres i bassengvannet med dårlig utskiftning da dette gir fare for oppkonsentrering. Imidlertid ser vi at bunnvannet i fjordene til tider vil skiftes ut. Dersom stoffer fra tunnelvannutslippet er oppkonsentrert i bunnvannet, vil det ved disse anledningene bli en spredning av vann med svært høye konsentrasjoner. Ved å slippe tunnelvannet over terskeldyp unngår man denne risikoen for ukontrollert spredningen av oppkonsentrert vann.

I den fotiske sonen (øvre 10 meter) kan tilførsel av store mengder næringsstoffer (primært nitrogen) føre til algeoppblomstring. Algeoppblomstring skjer naturlig hver vår når det blir nok lys til at næringsstoffene omsettes via fotosyntese. Denne oppblomstringen gir mere organisk materiale som føres nedover i vandsøylen der det nedbrytes ved bruk av oksygen. Dersom tilførselen av organisk materiale til sjøbunnen øker, vil også oksygenforbruket øke betraktelig og det kan dannes oksygenfrie områder. Dersom bunnvannet allerede er oksygenfritt, hvilket er tilfellet for store deler av Moldefjorden og Kjødipollen, kan omfanget av oksygenfritt areal øke. Slike forhold ser man 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.

Grunnet dette bør innlagringen av tunnelvann ikke skje lavere enn terskelhøyden eller i de øvre 10 meter av vandsøylen. Altså er innlagringsmålet for Kjødipollen en innlagringsdybde på mellom 10-33 meters dybde, mens det for Moldefjorden er mellom 10-22 meters dybde. Innlagring i de øvre 10m kan aksepteres dersom metall- og næringsstoffkonsentrasjonen i vannmassene ikke øker til en dårligere tilstandsklasse som følge av utslippet.

6.1.3 Simulering av innlagring og fortynning av tunnelvann

Det er gjennomført simuleringer med ulike scenarioer, som inkluderer simuleringer med kun ferskvann, både ved høyeste og laveste antatte innlekking, samt ferskvann med varierende mengder innlekking av saltvann. Formålet har vært å sikre en omfattende analyse som tar hensyn til et bredt spekter av mulige utfall, gitt de betydelige usikkerhetene knyttet til innlekking, spesielt mengden saltvann. De store usikkerhetene medførte at simuleringene måtte dekke utslippsintervaller fra 4,25 l/s – 141,7 l/s, som dekker hele byggeperioden, der utslippene er størst mot slutten.

Simuleringene er gjennomført for ulike tetthetsprofiler fra vinter og vår for å vurdere effekten av sesongvariasjoner på forventet innlagringsdybde og fortynningsfaktor. I de fleste scenarioene er det benyttet et «worst case» scenario med høyest antatt innlekking av ferskvann og tre ganger så mye saltvann for å sikre konservative resultater. Tredoblingen av saltvannsinlekkasjen er inkludert for å omfatte situasjoner hvor innlekkasjen kan overstige den estimerte saltvannsinlekkasjen, ettersom det er betydelige usikkerheter knyttet til dette. Dette skal simulere maksimum utslippsmengde i slutfasen av utbyggingen. Totalt ble det kjørt 58 simuleringer (26 for Kjødipollen og 33 for Moldefjorden).

6.1.4 Resultater for innlagring i Kjødepollen

I dette kapitlet er resultatene for utslipp ved varierende dybder i Kjødepollen presentert. Resultatene er vist i Tabell 6-1. Innlagringsmålet for Kjødepollen er 10-30 meter under overflaten.

Utslipp på 45 meters dybde

Scenario 1-17 er simulert med en utslippsdybde på 45 meter, som tilsvarer det dypeste punktet. Av disse er scenario 1 – 3 er med lav utslippsmengde ferskvann. Scenario 1 og 2 benytter tetthetsprofiler for henholdsvis april og mai og gir innlagringsdybder som samsvarer innlagringsmålet på 10-33 meters dybde. Scenario 3 benytter en tetthetsprofil for vinteren, og viser at innlagringen i begrensede perioder av året vil ligge under terskelnivået.

Med unntak av scenario 7 og 8, er scenario 4-11 simulert med høy utslippsmengde av ferskvann og en tetthetsprofil fra mai. Disse scenarioene viser alle en innlagring grunnere enn 10 meter. Scenario 7 og 8 er også simulert med høy utslippsmengde av ferskvann, men med ulike tetthetsprofiler (henholdsvis april og desember) og gir innlagringsdybder innenfor målet. Scenario 12-17 tar hensyn til usikkerheten knyttet til innlekking av saltvann. Disse viser at saltvann øker densiteten til utslippet, noe som generelt fører til en dypere innlagringsdybde. For alle scenarioer, med unntak av scenario 17 som anvender en tetthetsprofil fra desember, ligger innlagringsdybden innenfor definert målsetting.

Utslipp på 20 meters dybde

Scenario 18-26 er simulert med en utslippsdybde på 20 meter. Resultatene viser at utslippsplumen enten lagres over 10 meters dybde eller når helt opp til overflaten, uavhengig av mengden saltvann og valgt tetthetsprofil. Unntaket er scenario 25, der plumen lagres på 10,7 meters dybde som følge av en gunstigere tetthetsprofil.

Sensitivitetsanalyse strømshastighet- og retning

Scenario 4-6 ble kjørt med ulike strømretninger og viser innlagring ved 5,1 – 5,8 m dybde. Resultatene antyder at innlagringsdybden er lite følsomhet for retningen av utslippsledningen relativt til strømningsretning. Scenario 9-11 har ulike strømshastigheter og innlagring på 5,43 – 7,29 meters dybde. En høyere strømshastighet gir litt dypere innlagring, men generell er sensitiviteten lav.

Tabell 6-1 CORMIX simuleringer for Kjøddepollen. Tabellen viser inputparametere for de ulike scenarioene og resultatene for innlagringsdybde, plumetykkelse og fortynningsfaktor ved 300 meter fra utslippspunktet. Det ble kjørt 26 ulike scenarioer for utslippet til Kjøddepollen med varierende mengder ferskvann og saltvann, som resulterer i ulike nivåer av innlekkasje og utslippstetthet. Ulike tetthetsprofiler ble også benyttet for å simulere sesongvariasjoner. Tabellen fortsetter på neste side.

Scenario nummer	Flow scenario	Total innlekkasje [l/s]	Antal Ø315 rør	Flow i hvert rør [l/s]	Flow hastighet	Tetthet i utslipp	Utslippsdybde [meter under overflaten]	Tetthetsprofil	Strømshastighet [cm/s]	Strømretning	Innlagringsdybde [m under overflaten]	Plumetykkelse ved 300 m	Fortynningsfaktor ved 300 m fra utslipp.
1	Laveste, kun ferskvann	8,5	2	4,25	0,07	1000	45	12.05.2022	2	Samme retning	29,2	1,7	3327
2	Laveste, kun ferskvann	8,5	2	4,25	0,07	1000	45	04.04.2022	2	Samme retning	26,5	2	3770
3	Laveste, kun ferskvann	8,5	2	4,25	0,07	1000	45	21.12.2021	2	Samme retning	37,4	0,9	1901
4	Høyeste, kun ferskvann	283,3	2	141,7	2,30	1000	45	12.05.2022	2	Samme retning	5,8	2,3	180
5	Høyeste, kun ferskvann	283,3	2	141,7	2,30	1000	45	12.05.2022	2	Vinkelret	5,4	2,3	200
6	Høyeste, kun ferskvann	283,3	2	141,7	2,30	1000	45	12.05.2022	2	Motsatt retning	5,1	2,2	172
7	Høyeste, kun ferskvann	283,3	2	141,7	2,30	1000	45	04.04.2022	2	Samme retning	17,41	2,3	178
8	Høyeste, kun ferskvann	283,3	2	141,7	2,30	1000	45	21.12.2021	2	Samme retning	29,38	1,3	100
9	Høyeste, kun ferskvann	283,3	2	141,7	2,30	1000	45	12.05.2022	1	Samme retning	5,43	2,6	332
10	Høyeste, kun ferskvann	283,3	2	141,7	2,30	1000	45	12.05.2022	4	Samme retning	6,57	2,1	247
11	Høyeste, kun ferskvann	283,3	2	141,7	2,30	1000	45	12.05.2022	5	Samme retning	7,29	2,2	279
12	Høyeste, ferskvann + $\frac{1}{2}$ x saltvann	425,0	4	106,25	1,73	1008,7	45	12.05.2022	2	Samme retning	17,3	2,2	227
13	Høyeste, ferskvann + 1x saltvann	566,7	4	141,7	2,30	1013	45	12.05.2022	2	Samme retning	19,7	2,3	177
14	Høyeste, ferskvann + 2x saltvann	850,0	6	141,7	2,30	1017,3	45	12.05.2022	2	Samme retning	23,2	2,1	162
15	Høyeste, ferskvann + 3x saltvann	1133,3	8	141,7	2,30	1019,5	45	12.05.2022	2	Samme retning	26,8	2,1	156
16	Høyeste, ferskvann + 3x saltvann	1133,3	8	141,7	2,30	1019,5	45	04.04.2022	2	Samme retning	28,5	1,8	146
17	Høyeste, ferskvann + 3x saltvann	1133,3	8	141,7	2,30	1019,5	45	21.12.2021	2	Samme retning	38,28	1	70
18	Laveste, kun ferskvann	8,5	2	4,25	0,07	1000	20	12.05.2022	2	Samme retning	2,3	1,8	3189
19	Laveste, kun ferskvann	8,5	2	4,25	0,07	1000	20	04.04.2022	2	Samme retning	9,8	1,2	2447
20	Laveste, kun ferskvann	8,5	2	4,25	0,07	1000	20	21.12.2021	2	Samme retning	3,0	1,6	3034
21	Høyeste, kun ferskvann	283,3	2	141,7	2,30	1000	20	12.05.2022	2	Samme retning	0,0	2,8	600
22	Høyeste, kun ferskvann	283,3	2	141,7	2,30	1000	20	04.04.2022	2	Samme retning	0,0	2,7	600

Scenario nummer	Flow scenario	Total innleaksje [l/s]	Antal Ø315 rør	Flow I hvert rør [l/s]	Flow hastighet	Tetthet I utslipp	Utslippsdybde [meter under overflaten]	Tetthetsprofil	Strømshastighet [cm/s]	Strømretning	Innlagringsdybde [m under overflaten]	Plumetykkelse ved 300 m	Fortynningsfaktor ved 300 m fra utslipp.
23	Høyeste, kun ferskvann	283,3	2	141,7	2,30	1000	20	21.12.2021	2	Samme retning	0,0	2,7	600
24	Høyeste, ferskvann + 3x saltvann	1133,3	8	141,7	2,30	1019,5	20	12.05.2022	2	Samme retning	0,0	3	230
25	Høyeste, ferskvann + 3x saltvann	1133,3	8	141,7	2,30	1019,5	20	04.04.2022	2	Samme retning	10,7	1,3	102
26	Høyeste, ferskvann +3x saltvann	1133,3	8	141,7	2,30	1019,5	20	21.12.2021	2	Samme retning	0,0	2,4	184

6.1.5 Resultater for innlagring i Moldefjorden

I dette kapitlet er resultatene for utslipp ved varierende dybder i Moldefjorden presentert.

Resultatene er vist i Tabell 6-2. Innlagringsmålet for Moldefjorden er 10-22 meter under overflaten.

Utslipp på 65 meters dybde

Scenario 1-3 er simulert med en utslippsdybde på 65 meters og høy mengde ferskvann. Kun tetthetsprofil varierer i de ulike simuleringer. Denne utslippsdybden ligger under terskelnivået, og plumen vil uavhengig av tetthetsprofil innlagres ved for store dyp (under 22 meter).

Utslipp på 50 meters dybde

Simuleringene for utslipp på 50 meters dybde (scenario 4-6) er utført med høyeste mengde ferskvann og de samme tetthetsprofilene som for utslipp på 65 meter. Ved utslipp på 50 meter viser tetthetsprofilen fra april at innlagringsdybden ligger innenfor det definerte målet. Derimot vil utslippet innlagres under terskelnivået ved tetthetsprofilen for januar eller grunnere enn 10 meters dybde for tetthetsprofilen for mai.

Utslipp på 40 meters dybde

Et rent ferskvannsutslipp ved 40 meters dybde (scenario 7-17) medfører for størstedelen av de ulike tetthetsprofilene en innlagring på grunnere enn 10 meter. Innlekkasje av saltvann (scenario 10-13) øker densiteten til utslippsplumen, noe som gir en lavere innlagringsdybde innenfor målområdet. Ved høye mengder saltvann (scenario 14-16) blir imidlertid plumen for tung og lagres for dypt i store deler av året.

Utslipp på 30 meters dybde

Ved utslipp av kun ferskvann (høyeste mengden) på 30 meters dybde (scenario 18-21) vil innlagringen finne sted grunnere enn 10 meter. Dette er også tilfellet ved innlekking av mindre mengder saltvann (scenario 21-24). Innlekkasje av betydelige mengder saltvann (minst dobbelt så mye saltvann som ferskvann) øker tettheten, og fører til at innlagringsdybden ligger innenfor det fastsatte målet (scenario 25-28). Scenario 29–33, som simulerer den laveste antatte mengden ferskvann uten innlekking av saltvann, gir også innlagringsdybder innenfor målsetningen. Dette er uansett tetthetsprofil.

Tabell 6-2 CORMIX simuleringer for Moldefjorden. Tabellen viser inputparametere for de ulike scenarioene og resultatene for innlagringsdybde, plumetykkelse og fortynningsfaktor ved 300 meter fra utslippspunktet. Det ble kjørt 33 ulike scenarioer for utslippet til Kjødepollen med varierende mengder ferskvann og saltvann, som resulterer i ulike nivåer av innlekkasje og utslippstetthet. Ulike tetthetsprofiler ble også benyttet for å simulere sesongvariasjoner. Tabellen fortsetter på neste side.

Scenario nummer	Flow scenario	Total innlekkasje [l/s]	Antal Ø315 rør	Flow I hvert rør [l/s]	Tetthet I utslipp	Utslippsdybde [meter under overflaten]	Tetthetsprofil	Strømhastighet [cm/s]	Strømretning	Innlagringsdybde [m under overflaten]	Plumetykkelse ved 300 m	Fortynningsfaktor ved 300 m fra utslipp.
1	Høyeste, kun ferskvann	283,3	2	141,7	1000	65	04.04.2022	2	Samme retning	31,3	2,4	296
2	Høyeste, kun ferskvann	283,3	2	141,7	1000	65	06.01.2022	2	Samme retning	34,9	2,2	258
3	Høyeste, kun ferskvann	283,3	2	141,7	1000	65	12.05.2022	2	Samme retning	23,9	3,0	367
4	Høyeste, kun ferskvann	283,3	2	141,7	1000	50	04.04.2022	2	Samme retning	20,9	2,1	238
5	Høyeste, kun ferskvann	283,3	2	141,7	1000	50	06.01.2022	2	Samme retning	30,4	1,5	164
6	Høyeste, kun ferskvann	283,3	2	141,7	1000	50	12.05.2022	2	Samme retning	7,8	2,3	258
7	Høyeste, kun ferskvann	283,3	2	141,7	1000	40	04.04.2022	2	Samme retning	6,3	1,8	204
8	Høyeste, kun ferskvann	283,3	2	141,7	1000	40	06.01.2022	2	Samme retning	21,4	1,4	155
9	Høyeste, kun ferskvann	283,3	2	141,7	1000	40	12.05.2022	2	Samme retning	6,2	1,8	207
10	Høyeste, ferskvann + $\frac{1}{2}$ x saltvann	425,0	4	106,25	1008,7	40	12.05.2022	2	Samme retning	6,7	2,0	252
11	Høyeste, ferskvann + 1x saltvann	566,7	4	141,7	1013	40	12.05.2022	2	Samme retning	16,1	2,1	207
12	Høyeste, ferskvann + 2x saltvann	850,0	6	141,7	1017,3	40	12.05.2022	2	Samme retning	18,6	2,1	200
13	Høyeste, ferskvann + 3x saltvann	1133,3	8	141,7	1019,5	40	12.05.2022	2	Samme retning	19,7	2,2	195
14	Høyeste, ferskvann + 3x saltvann	1133,3	8	141,7	1019,5	40	04.04.2022	2	Samme retning	23,1	1,9	172
15	Høyeste, ferskvann + 3x saltvann	1133,3	8	141,7	1019,5	40	06.01.2022	2	Samme retning	32,4	1,1	106
16	Høyeste, ferskvann + 3x saltvann	1133,3	8	141,7	1019,5	40	23.01.2025	2	Samme retning	25,4	1,8	158

Scenario nummer	Flow scenario	Total innlekasje [l/s]	Antal Ø315 rør	Flow I hvert rør [l/s]	Tetthet I utslipp	Utslippsdybde [meter under overflaten]	Tetthetsprofil	Strømhastighet [cm/s]	Strømretning	Innlagringsdybde [m under overflaten]	Plumetykkelse ved 300 m	Fortynningsfaktor ved 300 m fra utslipp.
17	Høyeste, kun ferskvann	283,3	2	141,7	1000	40	23.01.2025	2	Samme retning	5,2	1,9	203
18	Høyeste, kun ferskvann	283,3	2	141,7	1000	30	04.04.2022	2	Samme retning	3,7	1,5	154
19	Høyeste, kun ferskvann	283,3	2	141,7	1000	30	06.01.2022	2	Samme retning	3,9	1,5	154
20	Høyeste, kun ferskvann	283,3	2	141,7	1000	30	12.05.2022	2	Samme retning	5,1	1,4	152
21	Høyeste, kun ferskvann	283,3	2	141,7	1000	30	22.03.2022	2	Samme retning	4,3	1,4	152
23	Høyeste, ferskvann + $\frac{1}{2}$ x saltvann	425,0	4	106,25	1008,7	30	12.05.2022	2	Samme retning	5,2	1,5	192
24	Høyeste, ferskvann + 1x saltvann	566,7	4	141,7	1013	30	12.05.2022	2	Samme retning	5,4	1,6	160
25	Høyeste, ferskvann + 2x saltvann	850,0	6	141,7	1017,3	30	12.05.2022	2	Samme retning	13,6	1,7	163
26	Høyeste, ferskvann + 3x saltvann	1133,3	8	141,7	1019,5	30	12.05.2022	2	Samme retning	15,9	1,7	153
27	Høyeste, ferskvann + 3x saltvann	1133,3	8	141,7	1019,5	30	04.04.2022	2	Samme retning	14,8	1,8	160
28	Høyeste, ferskvann + 3x saltvann	1133,3	8	141,7	1019,5	30	22.03.2022	2	Samme retning	18,0	1,6	148
29	Laveste, kun ferskvann	8,5	2	4,25	1000	30	12.05.2022	2	Samme retning	16,6	1,5	2954
30	Laveste, kun ferskvann	8,5	2	4,25	1000	30	04.04.2022	2	Samme retning	15,7	1,6	3102
31	Laveste, kun ferskvann	8,5	2	4,25	1000	30	22.03.2022	2	Samme retning	17,5	1,4	2738
32	Laveste, kun ferskvann	8,5	2	4,25	1000	30	06.01.2022	2	Samme retning	18,9	1,2	2550
33	Laveste, kun ferskvann	8,5	2	4,25	1000	30	23.01.2025	2	Samme retning	15,1	1,6	3160

6.2 Fortynningskrav for metaller, suspendert stoff og fosfor

Nødvendig fortynning (fortynningskrav) betyr hvor mange ganger konsentrasjonen av det aktuelle stoffet i utslippsvannet minimum må fortynnes før kravene om god miljøtilstand oppnås, eller hvilken fortynning som må til for å opprettholde dagens tilstand.

Fortynningskravet er beregnet ut fra bakgrunnskonsentrasjonene av aktuelle stoffer som er målt i både Moldefjorden og Kjødepollen (kap. 5), antatte konsentrasjoner av disse stoffene i utslippsvann (kap.4.2) og grenseverdier for stoffene i de ulike tilstandsklassene (Vedlegg 4). Fortynningskravet beregnes ved å dividere forventet konsentrasjon etter rensing med den akseptable økningen.

Vi forutsetter at metaller er oppløst i vann, noe som er en konservativ tilnærming. I realiteten vil en del metaller binde seg til partikler i utslippet og vil sedimentere.

Det er lagt til grunn følgende forutsetninger og målsettinger:

- Målet er å oppnå TKL II (god) etter primærfortynning av utslippsvannet, innen 300 m i horisontal avstand fra utslippspunktet.
- Dermed aksepteres det at rundt utslippspunkt (innenfor 300 m) kan stoffer havne i en dårligere tilstandsklasse.
- Noen stoffer er allerede i TKL III (moderat) eller IV (dårlig) før tiltaket starter. Målet er at man for disse stoffene ikke havner i en høyere tilstandsklasse utenfor en avstand på 300m. Det vil si at tilstrekkelig fortynning må være oppnådd innenfor 300 m i horisontal avstand fra utslippspunktet.

Basert på disse forutsetningene og målsettingene er det gitt et sett med fortynningskrav. Disse er vist i Tabell 6-3 og Tabell 6-4.

Olje som slippes ut er lettere enn vann og vil flyte opp til overflaten. Det oppfører seg altså annerledes enn alle andre stoffer som slippes ut og kan ikke modelleres med CORMIX modellen. Olje blir derfor ikke diskutert videre i rapporten.

Tabell 6-3 Fortynningskravet for forskjellige stoffer som slippes ut med tunnelvann i Kjøddepollen. Fortynningskravet i de tre kolonnene lengst til høyre angir hvor mange ganger konsentrasjonen i utslippsvannet må fortynnes for å opprettholde god tilstand (tilstandsklasse II) eller for å opprettholde dagens tilstand for stoffer som er i moderat tilstand (tilstandsklasse III) før tiltak. Fargene angir tilstandsklasse for sjøvann [15] [3]. Forventet konsentrasjon i tunnelvann etter rensing er basert på forventet rensekrav for partikler, olje og pH. Laveste verdi: årlig gjennomsnitt, ukeblandprøve. Høyeste verdi årlig: årlig gjennomsnitt, ukeblandprøve. Høyeste verdi uke: ukeblandprøve. Bakgrunn: målte konsentrasjoner i Kjøddepollen før tiltak (kap.5). Akseptabel økning: mulig konsentrasjonsøkning innenfor målt tilstandsklasse før tiltak (tilstandsklasse II eller III, salinitet>18).

Stoff	Enhet	Forventet konsentrasjon etter rensing			Bakgrunn*, **	Øvre grense (TKII eller TKIII)	Akseptabel økning	Fortynningskrav		
		Laveste verdi	Høyeste verdi (årlig)	Høyeste verdi (uke)				Laveste verdi	Høyeste verdi (årlig)	Høyeste verdi (uke)
Suspendert stoff (SS)	mg/l	200	200	200	2,26	-	-	-	-	-
Total fosfor	µg/l	140	230	-	6,88	16	9,12	15,35	25,22	-
Olje (C10–C40)	mg/l	20	20	20	-	-	-	-	-	-
pH	-	7-8,5	7-8,5	7-8,5	7,98	8,00	-	-	-	-
Aluminium	µg/l	50	800	-	-	-	-	-	-	-
Arsen	µg/l	0,5	3	7	1,08	8,50	7,42	0,07	0,40	0,94
Bly	µg/l	0,03	1	2	1,18	1,30	0,12	0,25	8,33	16,67
Kadmium	µg/l	0,04	0,1	0,3	0,08	0,20	0,12	0,33	0,83	2,5
Kobber	µg/l	5	22	100	0,25	2,60	2,35	2,13	9,36	42,55
Krom	µg/l	10	50	60	0,38	3,40	3,02	3,31	16,56	19,87
Krom (VI)	µg/l	26	26	60	-	-	-	-	-	-
Kvikksølv	µg/l	0,003	0,003	0,01	0,02	0,05	0,03	0,11	0,11	0,37
Nikkel	µg/l	0,3	4	9	0,79	8,60	7,81	0,04	0,51	1,15
Sink	µg/l	1	22	115	1,54	3,40	1,86	0,54	11,83	61,83

* Bakgrunnskonsentrasjon for metaller er basert på vannprøver fra august og september 2025, samt DGT-prøver som var ute i 1 måned fra august til september 2025.

**Bakgrunnskonsentrasjon for næringsstoffer er beregnet som sommergjennomsnittet av vannprøver tatt fra de øverste 10 meter av vannsøylen ved prøvestasjon K1 (juni – august 2025)

Tabell 6-4 Fortynningskravet for forskjellige stoffer som slippes ut med tunnelvann i Moldefjorden. Fortynningskravet i de tre kolonnene lengst til høyre angir hvor mange ganger konsentrasjonen i utslippsvannet må fortynnes for å opprettholde god tilstand (tilstandsklasse II) eller for å opprettholde dagens tilstand for stoffer som er i moderat tilstand (tilstandsklasse III) før tiltak. Fargene angir tilstandsklasse for sjøvann [15] [3]. Forventet konsentrasjon i tunnelvann etter rensing er basert på forventet rensekrav for partikler, olje og pH. Laveste verdi: årlig gjennomsnitt, ukeblandprøve). Høyeste verdi årlig: årlig gjennomsnitt, ukeblandprøve. Høyeste verdi uke: ukeblandprøve. Bakgrunn: målte konsentrasjoner i Moldefjorden før tiltak (kap.5). Akseptabel økning: mulig konsentrasjonsøkning innenfor målt tilstandsklasse før tiltak (tilstandsklasse II eller III, salinitet>18).

Stoff	Enhet	Forventet konsentrasjon etter rensing			Bakgrunn *,**	Øvre grense (TKII eller TKIII)	Akseptabel økning	Fortynningskrav		
		Laveste verdi	Høyeste verdi (årlig)	Høyeste verdi (uke)				Laveste verdi	Høyeste verdi (årlig)	Høyeste verdi (uke)
Suspendert stoff (SS)	mg/l	200	200	200	2,71	-	-	-	-	-
Total fosfor	µg/l	140	230	-	5,86	16	10,14	24,82	40,78	-
Olje (C10–C40)	mg/l	20	20	20	-	-	-	-	-	-
pH	-	7-8,5	7-8,5	7-8,5	7,94	8	0,06	-	-	-
Aluminium	µg/l	50	800	-	-	-	-	-	-	-
Arsen	µg/l	0,5	3	7	1,47	8,50	7,03	0,07	0,43	1,00
Bly	µg/l	0,03	1	2	0,42	1,30	0,88	0,03	1,14	2,27
Kadmium	µg/l	0,04	0,1	0,3	0,26	0,45	0,19	0,21	0,53	1,58
Kobber	µg/l	5	22	100	0,19	2,60	2,41	2,07	9,13	41,49
Krom	µg/l	10	50	60	7,18	35,80	28,62	0,35	1,75	2,10
Krom (VI)	µg/l	26	26	60	-	-	-	-	-	-
Kvikksølv	µg/l	0,003	0,003	0,01	0,02	0,047	0,03	0,11	0,11	0,37
Nikkel	µg/l	0,3	4	9	6,80	8,60	1,80	0,17	2,22	5,00
Sink	µg/l	1	22	115	13,43	60,00	46,57	0,02	0,47	2,47

* Bakgrunnskonsentrasjon for metaller er basert på vannprøver fra august og september 2025, samt DGT-prøver som var ute i 1 måned fra august til september 2025.

****Bakgrunnskonsentrasjon for næringsstoffer er beregnet som sommergjennomsnittet av vannprøver tatt fra de øverste 10 meter av vannsøylen ved prøvestasjon M1 (juni – august 2025)

6.2.1 Sammenligning av fortynningskrav med modellert fortynningsfaktor i Kjødepollen

Fortynningsfaktoren er i intervallet 70-3770 for de ulike modellerte scenarioene (se Tabell 6-1). Det betyr at konsentrasjonene av de ulike stoffer i utslippsvannet vil være fortynnet mellom 70-3770 ganger, målt 300 meter fra utslippspunkt. Den høyeste fortynningen på 3770 forekommer i scenario 2 som har lavt utslipp av ferskvann og en utslippsdybde på 45 meter. Dette scenariet er imidlertid ikke realistisk for hele byggeprosessen ettersom det forventes en økende innlekkasje av saltvann. Fortynningsfaktoren ved innlekking av saltvann varierer mellom 70-227, noe som er en mer realistisk situasjon for store deler av byggefasen. Jo større andel saltvann, desto lavere blir fortynningen. Uavhengig av mengde saltvann i utslippet var det høyeste fortynningskravet (basert

på gjennomsnittsutslipp per uke), som fremgår av Tabell 6-3, på 61,83 for sink. Fortynningen i alle simulerte scenarioer oppfyller derfor dette kravet.

6.2.2 Sammenligning av fortynningskrav med modellert fortynningsfaktor i Moldefjorden

Fortynningsfaktoren i intervallet 106-3160 for de ulike modellerte scenarioene. Det innebærer at konsentrasjonene av ulike stoffer i utslippsvannet vil være fortynnet mellom 106 og 3160 ganger, målt 300 meter fra utslippspunktet.

I alle scenarioer med lavt utslipp av ferskvann, som når ønsket innlagringsdybde, er fortynningsfaktoren svært høy, mellom 2550 og 3160. Dette scenariet er imidlertid ikke realistisk for hele byggeprosessen da det forventes en økende innlekkasje av saltvann. Fortynningsfaktoren ved innlekking av saltvann varierer mellom 106 og 238, noe som er en mer realistisk situasjon for store deler av byggefasen. Jo større andel saltvann, desto lavere blir fortynningen. Det høyeste fortynningskravet, som fremgår av Tabell 6-4, er 41,49, grunnet et høyt estimert utslipp av kobber. Fortynningen i alle simulerte scenarioer oppfyller dette kravet.

6.2.3 Beregning av utslippets effekt på vannkvalitet i resipienten

Kjødepollen

Som vist i Tabell 6-1 er det beregnet at man ved et utslipp på 141,7 l/s ved 45 m dyp og en tetthetsprofil fra desember oppnår en fortynningsfaktor på 100 i en avstand på 300 m fra utslippspunktet. Dette er den minste fortynningsfaktoren for de scenariene som oppfyller innlagringsmålet i Kjødepollen. Denne fortynningsfaktoren er videre benyttet til å beregne konsentrasjonsøkningen for de forskjellige stoffene 300 meter fra utslippsstedet. Dette gjøres ved å dele utslippskonsentrasjon med 100. **Error! Reference source not found.** viser den beregnede konsentrasjonsøkningen for aktuelle stoffer og parametere. Videre er det prosentwise bidraget av konsentrasjonsøkningen mot grenseverdien beregnet.

Det relative bidraget mot grenseverdien (TKL II eller III) er relativt liten for de fleste metaller (0 - 2 %). For total fosfor er bidraget 9 – 14 %, for kobber 2 – 38 %, for krom 3 – 18 % og for sink er det 0 – 34 %. Det kan derfor konkluderes med at utslippet av disse metallene i de fleste tilfeller gir et relativt lite bidrag til bakgrunnskonsentrasjonen i Kjødepollen.

Tabell 6-5 Konsentrasjonsøkning av ulike stoffer i utslippet av tunnelvann til Kjødepollen og deres relative bidrag mot grenseverdiene for stoffene 300 m fra utslippspunktet i innlagingsdypet (M608/2016 og Veileder 02:2018). Laveste verdi: årlig gjennomsnitt, ukeblandprøve. Høyeste verdi årlig: årlig gjennomsnitt, ukeblandprøve. Høyeste verdi uke: ukeblandprøve.

Stoff	Enhet	Konsentrasjonsøkning 300 m fra utslipp (fortynningsfaktor 100)			Bakgrunn*, **	Øvre grense (TKII eller TKIII) ***	Bidrag av grenseverdi (%)		
		Laveste verdi	Høyeste verdi (årlig)	Høyeste verdi (uke)			Laveste verdi	Høyeste verdi (årlig)	Høyeste verdi (uke)
Total fosfor	µg/l	1,4	2,3	-	6,88	16	9 %	14 %	-
Arsen	µg/l	0,005	0,03	0,07	1,08	8,50	0 %	0 %	1 %
Bly	µg/l	0,0003	0,01	0,02	1,18	1,30	0 %	1 %	2 %
Kadmium	µg/l	0,0004	0,001	0,003	0,08	0,20	0 %	1 %	2 %
Kobber	µg/l	0,05	0,22	1	0,25	2,60	2 %	8 %	38 %
Krom	µg/l	0,1	0,5	0,6	0,38	3,40	3 %	15 %	18 %
Kvikksølv	µg/l	0,00003	0,00003	0,0001	0,02	0,05	0 %	0 %	0 %
Nikkel	µg/l	0,003	0,04	0,09	0,79	8,60	0 %	0 %	1 %
Sink	µg/l	0,01	0,22	1,15	1,54	3,40	0 %	6 %	34 %

* Bakgrunn for metaller er basert på vannprøver fra august og september 2025, samt DGT-prøver som var ute i 1 måned fra august til september 2025.
 **Bakgrunnsverdiene for næringsstoffer er beregnet som gjennomsnittet av vannprøver tatt fra de øverste 10 meter av vannsøylen ved prøvestasjon K1 (desember 2024 – august 2025)
 *** Næringsstoff grenseverdier er basert på overflatelag sommer for konservative resultater.

Moldefjorden

Som vist i Tabell 6-2 er det beregnet at man ved et utslipp på 141,7 l/s ved 30 m dyp og en tetthetsprofil fra mars oppnår en fortynningsfaktor på 148 i en avstand på 300 m fra utslippspunktet. Dette er den laveste fortynningsfaktoren for de scenariene som oppfyller innlagingsmålet i Moldefjorden. Denne fortynningsfaktoren er videre benyttet til å beregne konsentrasjonsøkningen for de forskjellige stoffene 300 meter fra utslippsstedet. Tabell 6-6 viser den beregnede konsentrasjonsøkningen for aktuelle stoffer og parametere. Videre er det prosentvis bidraget av konsentrasjonsøkningen mot grenseverdien beregnet.

Det relative bidraget mot grensekonsentrasjonen (TKL II eller III) er relativt liten for de fleste metaller (0 – 3 %). For kobber er bidraget 1 – 28 %, mens det for total fosfor er 6 – 15 %. Det kan derfor konkluderes med at utslippet av disse metallene gir et relativt lite bidrag til bakgrunnskonsentrasjonen i Moldefjorden.

Tabell 6-6 Konsentrasjonsøkning av ulike stoffer i utslippet av tunnelvann til Moldefjorden og deres relative bidrag mot grenseverdiene for stoffene 300 m fra utslippspunktet i innlagingsdypet (M608/2016 og Veileder 02:2018). Laveste verdi: årlig gjennomsnitt, ukeblandprøve. Høyeste verdi årlig: årlig gjennomsnitt, ukeblandprøve. Høyeste verdi uke: ukeblandprøve.

Moldefjorden									
Stoff	Enhet	Konsentrasjonsøkning 300 m fra utslipp (fortynningsfaktor 148)			Bakgrunn*, **	Øvre grense (TKII eller TKIII) ***	Bidrag av grenseverdi (%)		
		Lave ste verdi	Høyeste verdi (årlig)	Høyeste verdi (uke)			Laveste verdi	Høyeste verdi (årlig)	Høyeste verdi (uke)
Total fosfor	µg/l	0,95	1,55	-	5,86	16	6	15	-
Arsen	µg/l	0,00	0,02	0,05	1,47	8,50	0	0	1
Bly	µg/l	0,00	0,01	0,01	0,42	1,30	0	1	2
Kadmium	µg/l	0,00	0,00	0,00	0,26	0,45	0	0	1
Kobber	µg/l	0,03	0,15	0,68	0,19	2,60	1	6	28
Krom	µg/l	0,07	0,34	0,41	7,18	35,80	0	1	1
Kvikksølv	µg/l	0,00	0,00	0,00	0,02	0,047	0	0	0
Nikkel	µg/l	0,00	0,03	0,06	6,80	8,60	0	2	3
Sink	µg/l	0,01	0,15	0,78	13,43	60,00	0	0	2

* Bakgrunn for metaller er basert på vannprøver fra august og september 2025, samt DGT-prøver som var ute i 1 måned fra august til september 2025.

**Bakgrunnskonsentrasjonene for næringsstoffer er beregnet som gjennomsnittet av vannprøver tatt fra de øverste 10 meter av vannsøylen ved prøvestasjon K1 (desember 2024 – august 2025)

*** Næringsstoff grensekonsentrasjoner er basert på overflatelag sommer for konservative resultater.

6.3 Fortynningskrav for nitrogenforbindelser

For nitrogenforbindelser er det ikke tatt utgangspunkt i en fast konsentrasjon i tunnelvannet over anleggsperioden, men en fast mengde stoff som slippes ut. Denne mengden (i gram/sekund) fortynnes med mengde tunnelvann (liter/sekund). Siden mengde tunnelvann varierer sterk over anleggsperioden er det behov for å se på startfasen med minimumsvannføring og dermed høy konsentrasjon, sluttfasen med maksimumsvannføring og lav konsentrasjon.

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 [16]. Tallene som er beskrevet under er basert på utslipp av tunnelvann.

Utslippene er estimert til 1,2 gram/sekund total 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 behøves. Her er beregnet utslipp redusert til 0,05 g/s (0,025 g/s til hver side). Forholdet mellom nitrat-N og ammonium-N i sprengstoff er grovt sett 50/50 og dette forholdet forventes å gjenspeiles i tunnelutslippet [17].

Tabell 6-7 viser bakgrunnskonsentrasjon, øvre grense og akseptabel økning innenfor tilstandsklassene for nitrogenforbindelser. Akseptabel konsentrasjonsøkning brukes videre i Tabell 6-8 til å regne ut fortynningskrav.

Tabell 6-7 Bakgrunnskonsentrasjon, øvre grenseverdi tilstandsklasse og akseptabel konsentrasjonsøkning innenfor tilstandsklassene.

Stoff	Enhet	Kjødepollen (K1)			Moldefjorden (M1)		
		Bakgrunn	Øvre grense TK II/TK III	Akseptabel økning (µg/l)	Bakgrunn	Øvre grense TK II/TK III	Akseptabel økning (µg/l)
Nitrogen (Tot-N)	µg/l	149,56	330,00	180,44	121,78	330,00	208,22
Nitrat-N	µg/l	1,80	12,00	21,20	1,28	12,00	21,72
Ammonium	µg/l	16,61	50,00	33,39	13,58	50,00	36,42

Tabell 6-8 viser konsentrasjonen av næringsstoffer, akseptabel øking og fortynningskrav. Beregningene viser at utslippet av nitrogenforbindelser med tunnelvannet krever stor fortynning, særlig i de første 0,75 år av anleggsperioden der fortynningskravene er opptil flere hundre eller tusen ganger.

Tabell 6-8 Fortynningskravet for nitrogen som slippes ut med tunnelvann. Fortynningskravet angir hvor mange ganger konsentrasjonen i utslippsvannet må fortynnes for å opprettholde god tilstand (tilstandsklasse II) eller for å opprettholde dagens tilstand for stoffer som er i en høyere tilstandsklasse før tiltak.

Sprengning av toppstollen (0,75 år)										
		Ammonium	Nitrat-N	Nitrogen (Tot-N)	Ammonium	Nitrat-N	Nitrogen (Tot-N)	Ammonium	Nitrat-N	Nitrogen (Tot-N)
Sted	Min vannføring (l/s)	Konsentrasjon (µg/l)			Akseptabel økning (µg/l)			Fortynningskrav		
Kjødepollen	8,5	35294	35294	70588	33,39	21,20	180,44	1057	1665	391
Moldefjorden	8,5	35294	35294	70588	36,42	21,72	208,22	969	1625	339
	Maks vannføring (l/s); gj.snitt per uke	Konsentrasjon (µg/l)			Akseptabel økning (µg/l)			Fortynningskrav		
Kjødepollen	283,3	1059	1059	2118	33,39	21,20	180,44	32	50	12
Moldefjorden	283,3	1059	1059	2118	36,42	21,72	208,22	29	49	10
Sprengning av bunnen (1,75 år)										
	Min vannføring (l/s)	Konsentrasjon (µg/l)			Akseptabel økning (µg/l)			Fortynningskrav		
Kjødepollen	8,5	1471	1471	2941	33,39	21,20	180,44	44	69	16
Moldefjorden	8,5	1471	1471	2941	36,42	21,72	208,22	40	68	14
	Maks vannføring (l/s)	Konsentrasjon (µg/l)			Akseptabel økning (µg/l)			Fortynningskrav		
Kjødepollen	283,3	44	44	88	33,39	21,20	180,44	1,32	2,08	0,49
Moldefjorden	283,3	44	44	88	36,42	21,72	208,22	1,21	2	0,42

*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).

Det er de øvre 10 m av vannsøylen som ved karakterisering av vannforekomster skal klassifiseres med hensyn til næringssalter [15]. Økt innhold av næringssalter i denne sonen kan bidra til uønsket oppblomstring av planteplankton (algeoppblomstring). Hvor dypt lyset kan trenge ned i vannsøylen vil variere, men det kan gjerne rekke ned til 20-30 m. Dersom utslippsvannet innlagres i de øvre 10

meter vil det imidlertid (kontinuerlig) skiftes ut til utenforliggende sjøområder. Den avgjørende faktoren her er hvor raskt utskiftingen skjer.

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 næringsstoffer hvis utslippet innlagres under terskelnivå. Dette vil trolig bestå fram til bunnvannet skiftes ut. Utskiftingen skjer når relativt saltholdig atlantisk vann presses inn i fjordene, men når det vil skje vet man ikke. Det er typisk flere år mellom hver utskifting. Ved en dypvannsutskifting kan vi trolig forvente en puls av vann med høy konsentrasjon av næring, som kan nå skadelige nivåer.

6.4 Konsentrasjonsøkning av nitrogenforbindelser

Tabell 6-8 viser konsentrasjonen i tunnelvannet uten hensyn til konsentrasjoner av nitrogen i saltvannet og ferskvannet som lekker inn i tunnelen. For å kunne beregne om økningen i konsentrasjonen av nitrogenforbindelser i utslippet er akseptabel, må bakgrunnskonsentrasjonene fra innlekkasjevannet også tas i betraktning. Konsentrasjoner for innlekkasjevann er basert på bakgrunnsverdier for nitrogen i henholdsvis Moldefjorden og Kjødepollen, samt en estimert nitrogenkonsentrasjon for grunnvann på maksimalt 300 µg/l [18]. Dette er vist i Tabell 6-9, og er inkludert i nitrogenkonsentrasjonene ved beregning av konsentrasjonsøkningen.

Tabell 6-9 Konsentrasjoner av innlekkasjevann basert på bakgrunns konsentrasjoner i Kjødepollen og Moldefjorden samt estimert konsentrasjon i grunnvann.

Konsentrasjon i innlekkasjevann (µg/l)	Ferskvann	Ferskvann + 1/2x saltvann	Ferskvann + 1x saltvann	Ferskvann + 2x saltvann	Ferskvann + 3x saltvann
Kjødepollen	300	249,9	224,8	199,7	187,2
Moldefjorden	300	240,6	210,9	181,2	166,3

6.4.1 Kjødepollen

Tabell 6-10 viser konsentrasjonen av nitrogen i utslippsvannet (basert på 0,6 g/s Tot-N), fortynningen ved 300 m og konsentrasjons økningen ved 300 m ved de modelleringsscenarioer der ønsket innlagringsdybde oppnås. Disse scenarioer inkluderer både scenarier med høy og lav vannføring. Røde farger indikerer at konsentrasjons økningen er høyere enn akseptabelt nivå, mens grønne farger indikerer at det er lavere (se Tabell 6-8). Dette viser at ved 300 meter fra utslippet er nitrogenutslippet tilstrekkelig fortynnet for alle scenarioene. Lav vannføring vil gi større konsentrasjon av nitrogen ved utslippspunktet, men det har samtidig en mye høyere fortynningsfaktor på 300 meter og økningen er derfor akseptabel.

Tabell 6-10 Konsentrasjonsøkning av nitrogenforbindelser ved utslipp av tunnelvann med forskjellige vannføringer og tetthetsprofiler.

Kjødepollen									
Scenario nummer	Vannføring (l/s)	Innlagringsdybde [m under overflaten]	Ammonium	Nitrat -N	Nitrogen (Tot-N)	Fortynnning på 300 m	Ammonium	Nitrat-N	Nitrogen (Tot-N)
			Konsentrasjon (µg/l)				Konsentrasjonsøkning		
1	8,5	29,2	35594	35594	70888	3327	10,7	10,7	21,3
2	8,5	26,5	35594	35594	70888	3770	9,4	9,4	18,8
3	8,5	37,4	35594	35594	70888	1901	18,7	18,7	37,3
4	283,3	5,8	1359	1359	2418	180	7,5	7,5	13,4
5	283,3	5,4	1359	1359	2418	200	6,8	6,8	12,1
6	283,3	5,1	1359	1359	2418	172	7,9	7,9	14,1
7	283,3	17,41	1359	1359	2418	178	7,6	7,6	13,6
8	283,3	29,38	1359	1359	2418	100	13,6	13,6	24,2
9	283,3	5,43	1359	1359	2418	332	4,1	4,1	7,3
10	283,3	6,57	1359	1359	2418	247	5,5	5,5	9,8
11	283,3	7,29	1359	1359	2418	279	4,9	4,9	8,7
12	425	17,3	956	956	1662	227	4,2	4,2	7,3
13	566,7	19,7	754	754	1284	177	4,3	4,3	7,3
14	850	23,2	553	553	906	162	3,4	3,4	5,6
15	1133,3	26,8	452	452	717	156	2,9	2,9	4,6
16	1133,3	28,5	452	452	717	146	3,1	3,1	4,9
17	1133,3	38,28	452	452	717	70	6,5	6,5	10,2
18	8,5	2,3	35594	35594	70888	3189	11,2	11,2	22,2
19	8,5	9,8	35594	35594	70888	2447	14,5	14,5	29,0
20	8,5	3	35594	35594	70888	3034	11,7	11,7	23,4
21	283,3	0	1359	1359	2418	600	2,3	2,3	4,0
22	283,3	0	1359	1359	2418	600	2,3	2,3	4,0
23	283,3	0	1359	1359	2418	600	2,3	2,3	4,0
24	1133,3	0	452	452	717	230	2,0	2,0	3,1
25	1133,3	10,7	452	452	717	102	4,4	4,4	7,0
26	1133,3	0	452	452	717	184	2,5	2,5	3,9

6.4.2 Moldefjorden

Tabell 6-11 viser konsentrasjonen av nitrogen i utslippsvannet (basert på 0,6 g/s Tot-N), fortynningen ved 300 m og konsentrasjonsøkningen ved 300 m ved de ulike modellering scenarioer. Røde farger i de siste 3 kolonner indikerer at konsentrasjonsøkningen er høyere enn akseptabelt nivå, mens grønne farger indikerer at det er lavere. Dette viser at ved 300 meter fra utslippet er total-nitrogen, ammonium og nitrat er tilstrekkelig fortynnet for alle scenarioene.

Tabell 6-11 Konsentrasjonsøkning av nitrogenforbindelser ved utslipp av tunnelvann med forskjellige vannføringer.

Moldefjorden									
			Ammoni um	Nitrat -N	Nitrogen (Tot-N)		Ammoni um	Nitrat -N	Nitrogen (Tot-N)
Scenario nummer	Vannføring (l/s)	Innlagringsd ybde [m under overflaten]	Konsentrasjon (µg/l)			Fortynningsf aktor ved 300 m fra utslipp.	Konsentrasjonsøkning		
1	283,30	31,3	1359	1359	2418	296	4,6	4,6	8,2
2	283,30	34,9	1359	1359	2418	258	5,3	5,3	9,4
3	283,30	23,9	1359	1359	2418	367	3,7	3,7	6,6
4	283,30	20,9	1359	1359	2418	238	5,7	5,7	10,2
5	283,30	30,4	1359	1359	2418	164	8,3	8,3	14,7
6	283,30	7,8	1359	1359	2418	258	5,3	5,3	9,4
7	283,30	6,3	1359	1359	2418	204	6,7	6,7	11,9
8	283,30	21,4	1359	1359	2418	155	8,8	8,8	15,6
9	283,30	6,2	1359	1359	2418	207	6,6	6,6	11,7
10	425,00	6,7	946	946	1652	252	3,8	3,8	6,6
11	566,70	16,1	740	740	1270	207	3,6	3,6	6,1
12	850,00	18,6	534	534	887	200	2,7	2,7	4,4
13	1133,30	19,7	431	431	696	195	2,2	2,2	3,6
14	1133,30	23,1	431	431	696	172	2,5	2,5	4,0
15	1133,30	32,4	431	431	696	106	4,1	4,1	6,6
16	1133,30	25,4	431	431	696	158	2,7	2,7	4,4
17	283,30	5,2	1359	1359	2418	203	6,7	6,7	11,9
18	283,30	3,7	1359	1359	2418	154	8,8	8,8	15,7
19	283,30	3,9	1359	1359	2418	154	8,8	8,8	15,7
20	283,30	5,1	1359	1359	2418	152	8,9	8,9	15,9
21	283,30	4,3	1359	1359	2418	152	8,9	8,9	15,9
23	425,00	5,2	1006	1006	1712	192	5,2	5,2	8,9
24	566,70	5,4	770	770	1299	160	4,8	4,8	8,1
25	850,00	13,6	564	564	917	163	3,5	3,5	5,6
26	1133,30	15,9	446	446	711	153	2,9	2,9	4,6
27	1133,30	14,8	431	431	696	160	2,7	2,7	4,3
28	1133,30	18	431	431	696	148	2,9	2,9	4,7
29	8,50	16,6	35460	35460	70755	2954	12,0	12,0	24,0
30	8,50	15,7	35594	35594	70888	3102	11,5	11,5	22,9
31	8,50	17,5	35594	35594	70888	2738	13,0	13,0	25,9
32	8,50	18,9	35594	35594	70888	2550	14,0	14,0	27,8
33	8,50	15,1	35594	35594	70888	3160	11,3	11,3	22,4

7 Sekundærfortynning av nitrogen i tunnelvann

For Stad tunnel skal det sprenges ut 5,5 millioner m³ masser. Vurderingen av primærfortynning i Kapittel 6 viser at stoffene som slippes ut i tunnelvann blandes godt inn direkte rundt utslippspunktet uten at vannkvaliteten blir forringet. For nitrogen ser vi videre på sekundærfortynningen siden det er store mengder som skal slippes ut. Totalt frigis 77,6 tonn nitrogen i prosjektet. Fra de 77,6 tonn nitrogen som frigis fra sprengningsarbeid er det ca. 31 tonn (40%, se kapittel 6.3) som spres med tunnelvann ut til sjøen (15,5 tonn til hver side).

Nitrogenforbindelser forbrukes av organismer i vannet. Dette er ikke tatt hensyn til i beregningene. Betrachtingene her kan derfor anses å være konservative.

7.1 Sekundærfortynning ved innlagring under terskelnivå

Dersom utslippsvannet lagres i bunnvannet under terskelnivå, hvor det er liten eller ingen vannutskifting, vil nitrogenkonsentrasjonene i bunnvannet øke betydelig. Dette gjelder spesielt på Kjødesiden, hvor vannvolumet under terskelnivå er begrenset. Her kan konsentrasjonen øke til rundt 7 410 µg/l (15,5 tonn nitrogen fordelt på 2,1 millioner m³ vann). På Moldesiden vil økningen være langt mindre, omtrent 170 µg/l (15,5 tonn nitrogen fordelt på 90 millioner m³ vann). Nitrogennivåene kan fortsette å stige helt til bunnvannet skiftes ut. Når utskiftningen skjer, kan de høye konsentrasjonene komme høyere opp i vannsøylen, sammen med det anoksiske bunnvannet, noe som vil føre til svært høye konsentrasjoner i en begrenset periode.

7.2 Sekundærfortynning ved innlagring i topplaget

Dersom utslippsvannet i stedet lagres i topplaget, vil det kontinuerlig blandes med tilførte vannmasser utenfra fjordene. Den avgjørende faktoren blir hvor raskt denne fortynningen skjer. I den første perioden (0,75 år med et utslipp på 0,6 g/s til både Kjødepollen og Moldefjorden, se Kapittel 6.3) kan de høye nitrogenutslippene påvirke vannkvaliteten negativt.

Ferskvannsavrenningen fra Moldefjorden og Kjødepollen til første terskel er beregnet å være henholdsvis 2,51 m³/s og 1,85 m³/s i gjennomsnitt, basert på størrelse på nedbørsfeltet og årsnedbør. Hvis man antar at kun ferskvannsavrenningen fører til utskifting med resten av fjordsystemet (et konservativt anslag, siden både tidevann og vindsirkulasjon også bidrar til utskifting), kan man beregne en konsentrasjonsøkning på henholdsvis 239 µg/l i Moldefjorden og 324 µg/l i Kjødepollen.

Med bakgrunnskonsentrasjoner på 130 µg/l i Moldefjorden og 155 µg/l i Kjødepollen om sommeren (Tabell 5-2), blir de totale konsentrasjonene henholdsvis 369 µg/l i Moldefjorden og 479 µg/l i Kjødepollen.

Nåværende tilstandsklasse for nitrogen er 'svært god' (rundt 130/155 µg/l nitrogen for sommerperioden, se Tabell 5-2), men kan falle til moderat/dårlig tilstand i det første året (se grenseverdier for nitrogen i Vedlegg 4). Konsentrasjonen kan bli høyere i perioder uten mye ferskvannsavrenning fra land, eller lavere i perioder med mye ferskvannsavrenning. Det må derfor vurderes om det, basert på et konservativt anslag, kan aksepteres forhøyede nitrogenkonsentrasjoner i omkring ett år.

8 anbefalt utslippslokasjon og dybde

8.1 Utslippsdybde

Målene for innlagringsdybde for begge resipientene ligger over terskelnivået for å unngå opphopning av næringsstoffer og økt oksygenforbruk i det stagnerte bunnvannet. I tillegg skal dybden være større enn den fotiske sonen (0–10 meter) for å forhindre for eksempel algeoppblomstring, som kan føre til økt produksjon av organisk materiale. Dette materialet kan synke og akkumulere på bunnen, noe som igjen kan gi dårligere oksygenforhold og levekår for bunnfaunaen. For Moldefjorden er derfor målet for innlagringsdybde satt til 10–22 meter, mens den for Kjødepollen ligger på 10–33 meter.

Simuleringer med CORMIX viser at innlagringsdybden er sensitiv for mengden saltvann i tunnelvannet, da dette påvirker tettheten til utslippet. Det kan derfor ikke gis en entydig anbefaling om den optimale utslippsdybden.

Resultatene peker likevel mot at en utslippsdybde på 30 meter i Moldefjorden gir flest scenarier der ønskede innlagringsdybder oppnås. Dette er dypere enn terskeldybden på 22 meter. For Kjødepollen er simuleringene utført med utslippsdybder på 20 meter og 45 meter. Her viser de dypere utslippene flere scenarioer der innlagringsmålet nås, mens grunnere utslipp enn terskeldybden fører til innlagring i den fotiske sonen, altså for høyt oppe i vannsøylen.

På bakgrunn av dette kan det konkluderes med at – uansett mengde tunnelvann – vil et utslipp dypere enn terskelen være å foretrekke, men denne konklusjonen må gjerne oppdateres når man har bedre grunnlag for mengder innlekkasjevann av både ferskvann og saltvann. I tillegg må innlagring av utslippsvann under terskelnivå unngås.

Lokasjon av tunnelutslipp kan da være i direkte nærhet av tunnelåpningen på begge sider, på anbefalte dybde.

9 Nitrogentilførsel av steindumping i fjorden

9.1 Konsentrasjon under terskelnivå

I denne analysen har vi først beregnet nitrogenkonsentrasjoner under terskelnivå i bunnvannet. Mengdene stein som er benyttet i vurderingen under er basert på planlagt omregulering ved Moldefjorden entringsområde, Kjødipollen næringsområde og Lesto næringsområde.

Totalsummen av nitrogen som frigjøres som følge av tunneldriftsprosjektet er estimert til 77,6 tonn. Av dette antas omtrent 60 % (46,6 tonn) å følge med tunnelsteinmaterialet, resten (40%) antas å slippe ut med tunnelvann. Videre blir cirka 68 % av det sprengte steinmaterialet deponert i Moldefjorden og Kjødipollen, noe som tilsvarer 31,8 tonn nitrogen totalt. Fordelingen mellom de to lokalitetene er beregnet til henholdsvis 54 % i Moldefjorden og 45 % i Kjødipollen, hvilket gir nitrogenmengder på 17,5 tonn og 14,4 tonn.

Volumet av vann under terskelnivå er beregnet til 910 millioner m³ i Moldefjorden og 21 millioner m³ i Kjødipollen. Det antas at omtrent 20 % av steinmassene blir plassert under terskelnivå på begge lokaliteter, basert på et foreløpig estimat.

Videre forutsettes det at nitrogenet primært frigis direkte i de områdene hvor steinmaterialet plasseres i vannsøylen. Denne tilnærmingen er trolig konservativ, da nitrogen også kan bli vasket av under senkningen av steinmassene gjennom vannsøylen. Nedføringsløsning har også mye å si, men den er ikke endelig fastsatt på nåværende tidspunkt. Hvis man bruker et rør for å føre masser ned kommer trolig nitrogen ikke fri i de øvre vannlagene, men det er usikkert om dette er en praktisk mulig løsning. Forutsetningen videre er at vannutskiftningen under terskelnivå er neglisjerbar og at nitrogenkonsentrasjon dermed bygges opp over tid.

Beregningene viser dermed en forventet økning i nitrogenkonsentrasjon under terskelnivå på omtrent 38 µg/l i Moldefjorden, noe som vurderes som en akseptabel økning innenfor miljømessige tålegrenser. I Kjødipollen estimeres en konsentrasjonsøkning på omkring 1375 µg/l, noe som representerer en betydelig økning og potensielt kan medføre utfordringer knyttet til vannkvaliteten.

9.2 Konsentrasjon i overflaten / ovenfor terskelnivå

Ved å anvende samme metodikk for steinmassene over terskelnivå, estimeres det at 80 % av massene plasseres over terskelnivå på begge sider av tunnelen. Dette tilsvarer frigjøring av omtrent 14 tonn nitrogen i Moldefjorden og 11,5 tonn i Kjødipollen i løpet av byggeperioden. En mer detaljert utredning vil kunne gjennomføres når man har mer informasjon for eventuelt bruk av nedføringsrør eller andre tiltak for å hindre spredning av stoffer.

10 Overvåkning og mulige tiltak

10.1 Overvåkning

Ved oppstart av tunneldriving og deponering av tunnelstein bør det gjøres en «intensiv» overvåking av vannkvalitet, med flere stasjoner og hyppig prøvetaking, i tillegg til ordinær utslippskontroll for rensset tunnelvann og resipientovervåking i fjorden. Nitrogen- og nitratkonsentrasjon (næringssalter generelt) og metaller bør analyseres i vannprøver som tas regelmessig horisontalt og vertikalt rundt utslippspunktene i sjø. Analysene vil verifisere modellresultatene og øvrige vurderinger.

10.2 Mulige tiltak

I dette avsnittet blir det forslått mulige tiltak som kan implementeres.

Nitrogenpåvirkning av tunnelvann

Det er generelt 5 muligheter for å redusere nitrogenpåvirkning av tunnelvann:

1. Slippe tunnelvann ut i bunnvannet direkte uten rensing og akseptere at det gir forhøyede konsentrasjoner og mulige miljøpåvirkning.
2. Slippe tunnelvann ut i overflatevann direkte uten rensing og akseptere at det gir forhøyde konsentrasjoner og mulige miljøpåvirkning gjennom ca. 1 år.
3. Nitrogenfjerning av tunnelvann og slippe tunnelvann ut i overflatevann. Med antatt 50% effektivt hjelper det veldig mye for å få ned nitrogenkonsentrasjoner til god tilstand. 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.

Steindeponering av masser

Et nedføringsrør for plassering av masser i Moldefjorden og Kjødepollen kan redusere frigjøring av nitrogen i de øvre vannlagene. I tillegg vil et slikt rør forhindre spredning av finstoff fra steinmassene i overflatevannet, noe som kan ha skadelige effekter på blant annet fisk. Det anbefales derfor at dette tiltaket utredes nærmere i neste fase av prosjektet. Det må imidlertid tas høyde for at implementering av nedføringsrør, dersom dette er mulig, kan medføre økte kostnader.

Det kan benyttes siltgardin eller boblegardin (eller annen type partikkelsperre) for å begrense spredning av partikler i forbindelse med deponering av stein. Dette vil også medføre økte kostnader. Man kan videre tenke seg å plassere de ytterste massene først, så at man reduserer spredning av nitrogen og finstoff når man plasserer de innerste massene.

11 Referanser

- [1] Kystverket, «Stad skipstunnel,» [Internett]. Available: <https://www.kystverket.no/utbygging/stad-skipstunnel/>. [Funnet 06 10 2025].
- [2] COWI AS, «Konsekvensvurdering - Utslipp av tunnelvann.,» 2025.
- [3] Direktoratgruppen vanndirektivet, «Veileder 02:2018. Klassifisering av miljøtilstand i vann.,» www.vannportalen.no, versjon 15.10.2020. 227 s., 2018.
- [4] Miljødirektoratet, «Vannovervåking: Identifisering av nærstasjoner,» Faktaark M-1288 2019. 4 s., 2019b.
- [5] CORMIX. [Internett]. Available: <http://www.cormix.info/aboutcormix.php>.
- [6] Norsk forening for fjellspregningsteknikk, «Behandling og utslipp av driftsvann fra tunnelanlegg.,» 2009.
- [7] Multiconsult, «Stad skipstunnel, grunnvannsovervåkning. Kystsak nr. 2022/2092,» 2024.
- [8] S. Rannklev, T. Jensen, A. Solheim, S. Haande, S. Meland, H. Vikan, T. Hertel-Aas og K. Kronvall, «Vannforekomsters sårbarhet for avrenningsvann fra vei under anleggs- og driftsfasen.,» 2016.
- [9] S. Ranneklev, Ø. Garmo, K. Petersen og H. Vikan, «Undersøkelse av tunnelvann, slam og uomsatt sprengstoff under drivingen av Espatunnellen på E16.,» 2017.
- [10] Statsforvaltaren i Vestland, «Løyve etter forureiningslova til utslepp frå mellombels anleggsverksemd i samband med bygging av Stad skipstunnel for Kystverket i Stad kommune.,» 2023.
- [11] H. Vikan, «Avrenning av ammoniumnitrat fra uomsatt sprengstoff til vann - giftvirkninger i resipient og renseløsninger.,» 2013.
- [12] COWI AS, «Stad Skipstunnel. Vurdering av tungmetaller, svovel og radioaktive grunnstoffer med håndholdt XRF,» 2025.
- [13] Multiconsult Norge AS, «Stad skipstunnel, supplerende kjerneboring - Syredannende potensiale i bergprøver.,» 2024.
- [14] COWI AS, «Marine undersøkelser - Stad skipstunnel,» 2026.
- [15] Miljødirektoratet, «Veileder M-608/2016 Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota - revidert 30.10.2020,» Miljødirektoratet, 2020.
- [16] H. Viken, «Avrenning av ammoniumnitrat fra uomsatt sprengstoff til vann – Giftvirkninger i resipient og renseløsninger.,» 2013.
- [17] Norsk forening for fjellspregningsteknikk, «Behandling og utslipp av driftsvann fra tunnelanlegg,» 2009.
- [18] Asplak Viak, «Kartlegging private brønner,» 2022.
- [19] Multiconsult Norge AS, «Stad skipstunnel. Vannkvalitet,» 2022.
- [20] Havforskningsinstituttet, «Nettsak: <https://www.hi.no/hi/nyheter/2025/juni/endeleg-nytt-djupvatn-i-masfjorden>. 03.06.2025,» 2025.
- [21] Multiconsult Norge AS, «Stad Skipstunnel - Strømmålinger. Moldefjorden entringsområde.,» 2022.
- [22] Multiconsult Norge AS, «Stad Skipstunnel - Strømmålinger. Kjødepollen entringsområde,» 2022.

- [23] Miljødirektoratet, «Veileder 02:2018 - Klassifisering av miljøtilstand i vann. Digital versjon pr 5.januar 2025,» 2025.
- [24] Statsforvalteren, «Løyve etter forureiningslova til deponering av overskotsmassar i Sørfjorden og Veafjorden frå bygging av Fellesprosjektet Arna-Stanghelle (FAS) for Statens vegvesen og Bane NOR. Bergen og Vaksdal kommunar.,» 2023.
- [25] COWI, «Fellesprosjektet Arna-Stanghelle. Dimensjonering av utslippsledning. FAS-01-G-00052 (under arbeid),» 2023c.
- [26] COWI, «Fellesprosjektet Arna-Stanghelle, forberedende arbeider. Geokjemisk undersøkelse. FAS-01-A-00105 (under utarbeiding),» 2023d.
- [27] E. M. M. R. B. R. S. U. H. C. A. a. R. R. Berdalet, «Harmful Algal Blooms in Fjords, Coastal Embayments, and Stratified Systems. Recent Progress and Future Research,» i *Oceanography Vol 30 no 1*, 2017.
- [28] Miljødirektoratet, «Salinitets og temperaturprofiler Sørfjorden innerst.,» mai 2023. [Internett]. Available: <https://vannmiljo.miljodirektoratet.no/>.
- [29] Rambøll/SWECO, «Strømmålinger i Sørfjorden,» 2022.
- [30] CORMIX, «Near-Field Flow Processes,» [Internett]. Available: <http://www.cormix.info/picgal/nearfield.php>.
- [31] COWI, «Fellesprosjektet Arna - Stanghelle, forberedende arbeider. Miljøovervåkingsprogram for vannresipienter. FAS-01-Q-00020,» 2023b.
- [32] H. Vikan, «Avrenning av ammoniumnitrat fra uomsatt sprengstoff til vann – Giftvirkninger i resipient og renseløsninger,» Vann 03 2013, 333-340., 2013.
- [33] Direktoratet for naturforvaltning, «Kartlegging av marint biologisk mangfold. DN Håndbok 19-2001, Revidert 2007.,» 2007.
- [34] S. Raneklev.
- [35] Multiconsult Norge AS, «10243085-11-RIGberg-RAP-001 Stad skipstunnel, befaringsrapport,» 2023.
- [36] Multiconsult Norge AS, «10243085-11-RIGberg-RAP-002 stad skipstunnel, geologisk sammenstillingsrapport,» 2023.
- [37] Multiconsult Norge AS, «Detaljregulering for utdyping av Saltasundet, PlanID:4649_2023001, Stad kommune,» 2023.

Vedlegg 1: Input til CORMIX

Tabell 3 Programvaren CORMIX har til sammen 7 faner for innlegging av data, der hver fane har ulike subfaner eller bokser. De valgte parameterne for CORMIX i de nye modellsimuleringer er angitt i tabellen.

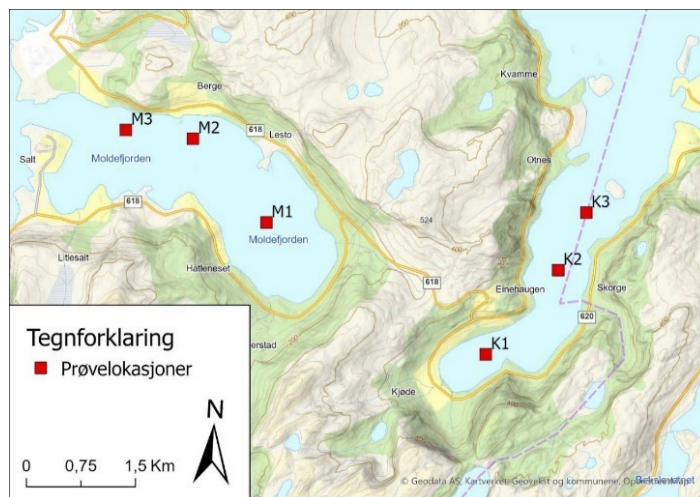
Fane	Subfane/Boks	Parameter	Verdi	Enhet
Prosjekt		velg navn på settings-fil mm.		
Effluent	Conservative Pollutant	Discharge Concentration (Exc.)	1	mg/l
	Effluent Flow rate/velocity	Flow rate	0,0043	m ³ /s
	Flow rate			
	Effluent Density			
	Fresh Density	Density	1000	kg/m ³
Ambient		Average Depth	60	m
	Ambient Geometry	Depth at discharge	60	m
		Wind Speed	5	m/s
		Width	500	m
	Ambient Geometry Bounded	Appearance	Slight meander	
	Ambient Geometry Steady/ Velocity	Velocity	0,02	m/s
	Ambient Geometry Manning	Manning's n	0,025	
	Ambient Density Data Non-fresh water	Density Jump (DELTA)	0,17	°C
	Stratified Type C	Pycnocline Height	26	m
	Ambient Density Data	Density, at Surface	1026,69	kg/m ³
		Density, at Bottom	1027,36	kg/m ³
Discharge		Nearest bank is on the	left	
	Cormic1 Single Port	Distance to the nearest bank	275	m
		VerticalAngle_THETA	0	°
		HorizontalAngle_SIGMA	0	°
	Cormix1 Single Port Port Specification	Port Diameter	0,28	m
	Cormix1 Single Port Select Offshore...			
	Submerged	Port Ht. AboveChannel Btm	15,5	m
Mixing Zone	Non-Toxic Effluent	Region of interest	6000	m
	No WQ standard			
	No Mixing Zone Specified	Output Steps per Module	100	
Output	Output Options			"none" på alle valg
	Coordinate System - CorUCS			Ingen celler fylt
Processing				Trykk "1,2,3 RUN"

Vedlegg 2: Hydrografiske målinger

Det er tidligere utført hydrografiske målinger (temperatur, salinitet og tetthet) i to perioder:

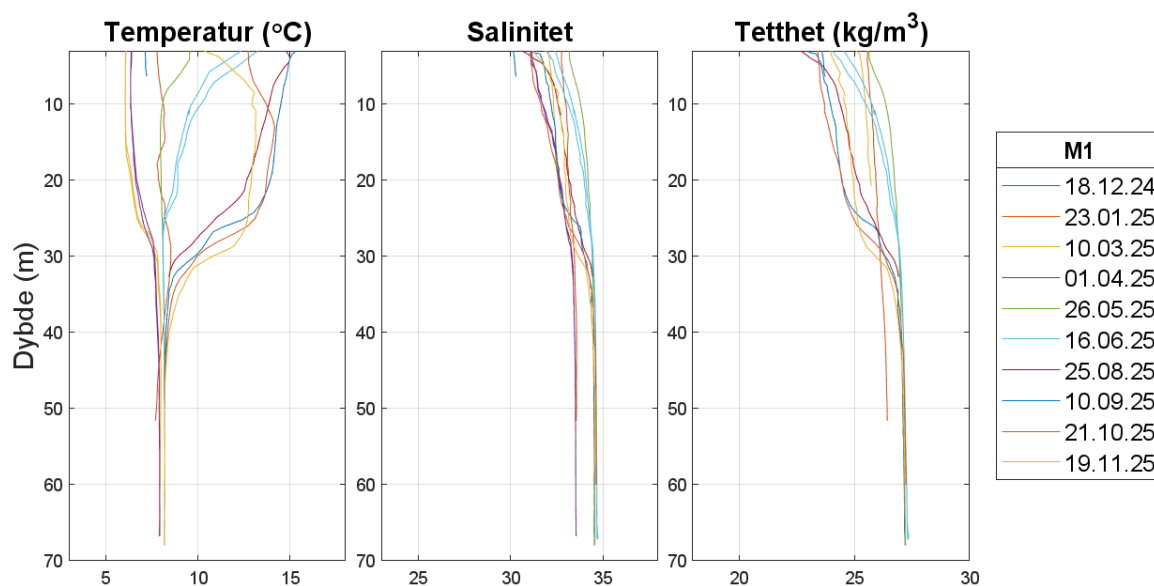
1) Desember 2021 til mai 2022 i indre deler av Moldefjorden (stasjon M1) og Kjøddepollen (stasjon K1) av Multiconsult i 2021/2022 [19]. Stasjonenes beliggenhet er vist i Figur 11-1. Målingene til Multiconsult omfattet ikke oksygen i vannmassene.

2) For å styrke kunnskapsgrunnlaget utførte derfor COWI AS CTD-målinger på de samme to stasjonene innerst i Moldefjorden (M1) (Figur 11-2) og innerst i Kjøddepollen (K1) (Figur 11-3) perioden desember 2024 til november 2025 [14]. Bakgrunnskonsentrasjonene av næringssalter ble også målt.

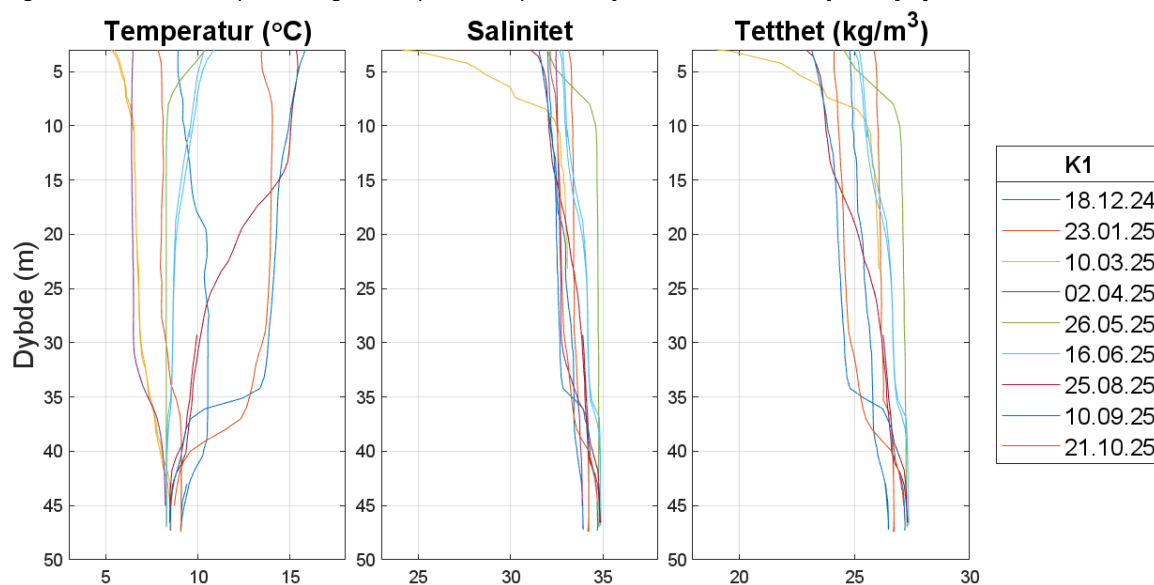


Figur 11-1 Lokalisering av vannkvalitets-/hydrografistasjoner i Moldefjorden (venstre) og i Kjøddepollen (høyre) fra stasjonene undersøkt av Multiconsult [19] og COWI [14]. CTD data, samt bakgrunnskonsentrasjoner av næringsstoffer fra M1 og K1 ble brukt som input i CORMIX.

Resultatene for oksygen og salinitet er hentet fra COWI-rapporten Marine undersøkelser [14] og er vist i Figur 11-4 (Kjøddepollen) og Figur 11-5 (Moldefjorden). Figurene viser utviklingen i vannsøylen over cirka ett år. Begge fjordene, men særlig Moldefjorden, viser lave oksygennivåer i bunnvannet og er især utbredt i vinterhalvåret. Siden bunnvannet stort sett er anoksisk (uten oksygen), tyder dette på at utskiftingen med utenforliggende sjøvann er begrenset. Salinitetsmålingene viser en økende salinitet med dybden. Kjøddepollen viser spesielt et tynt ferskvannslag helt i overflaten fra desember til april.

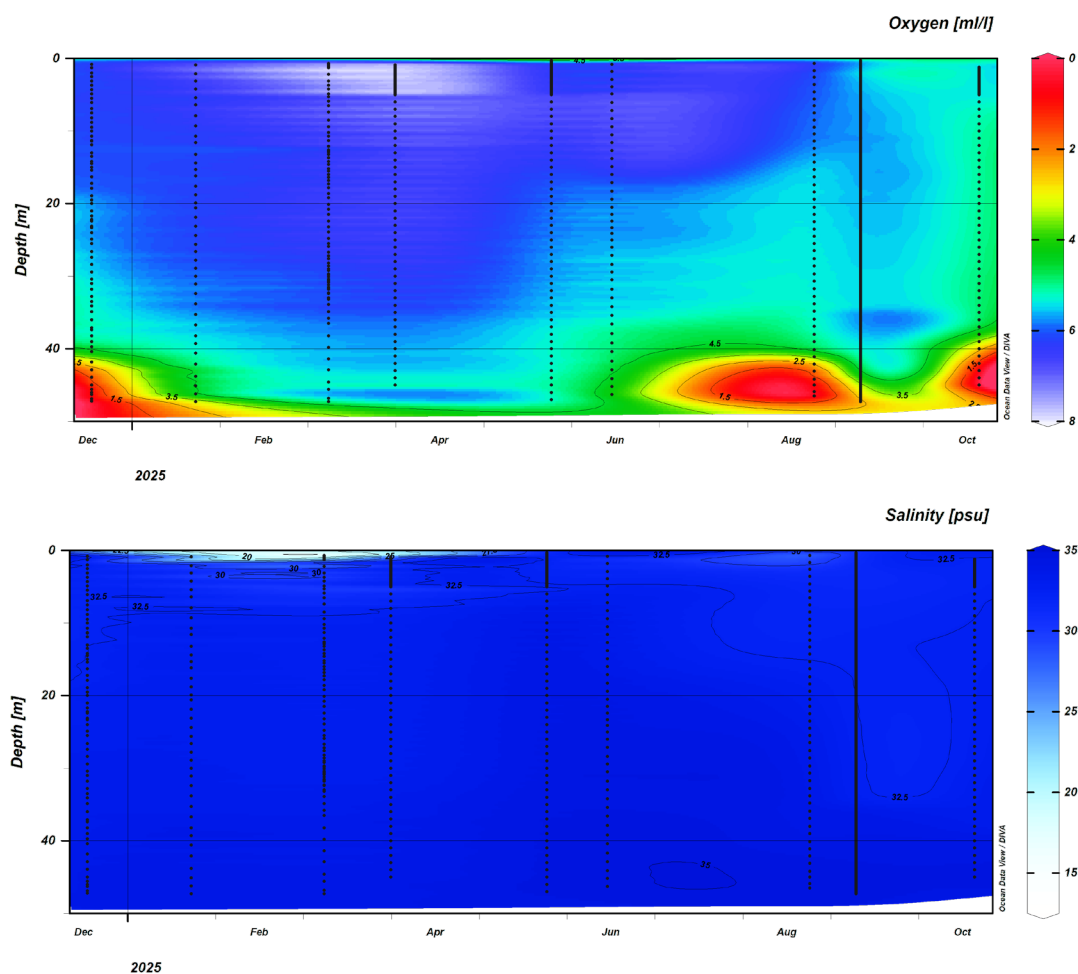


Figur 11-2 Salinitet-, temperatur- og tetthetsprofiler for prøvestasjon M1 innerst i Moldefjorden [19].



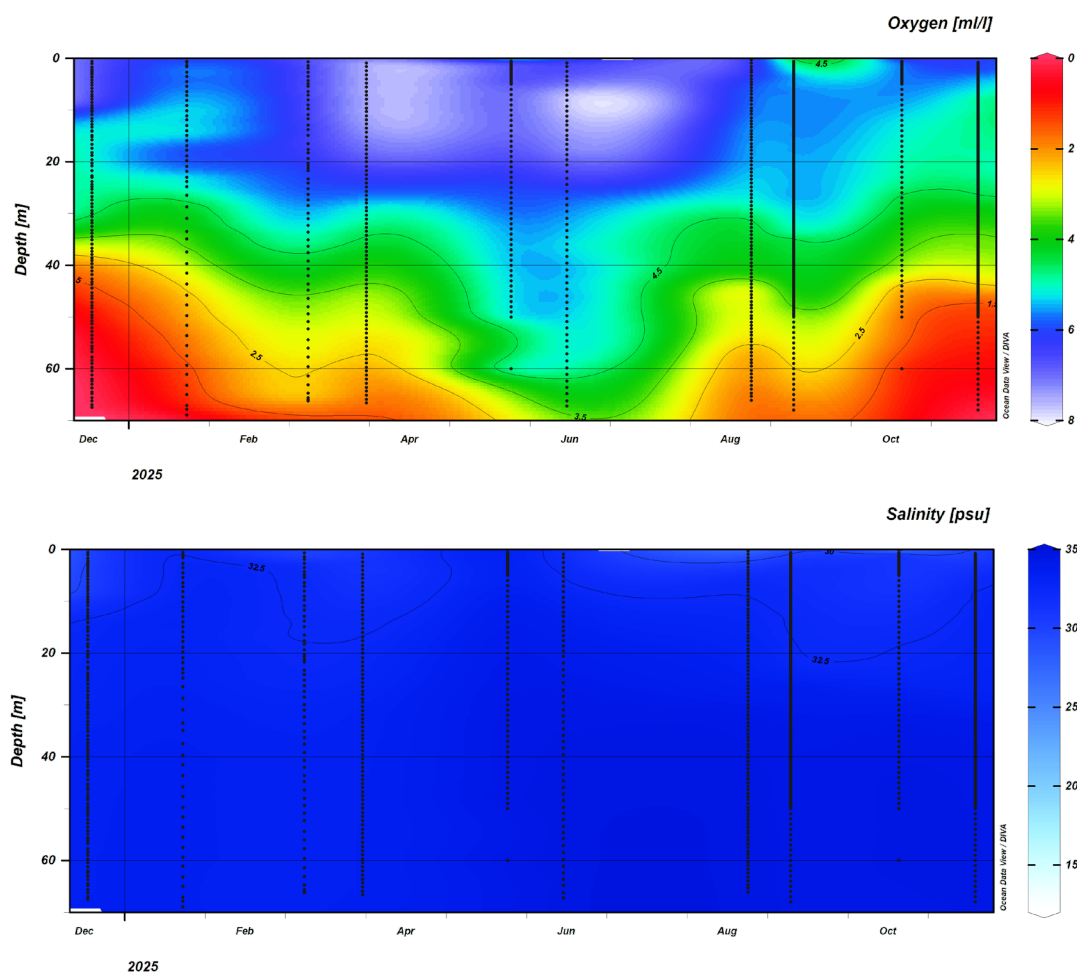
Figur 11-3 Salinitet-, temperatur- og tetthetsprofiler for prøvestasjon K1 innerst i Kjødepollen [19].

Dataene viser at det skjedde en utskiftning av bunnvann i mai/juni 2025 i Moldefjorden og muligens i Kjødepollen. Dette er noe vi har sett i mange andre prosjekter på Vestlandet, og trolig er det ikke et lokalt fenomen, men heller noe som er styrt av de store kyststrømmene eller vindforhold [20]. Etter utskiftningen bygget det seg raskt opp et nytt lag med oksygenfritt bunnvann.



Figur 11-4

Oksygen- og salinitetsforhold over tid ved K1 (innerst i Kjødepollen). Dataene er fra målinger utført av COWI AS. Svarte prikker representerer målepunkter, som ble tatt én gang i måneden i perioden desember 2024 til november 2025.



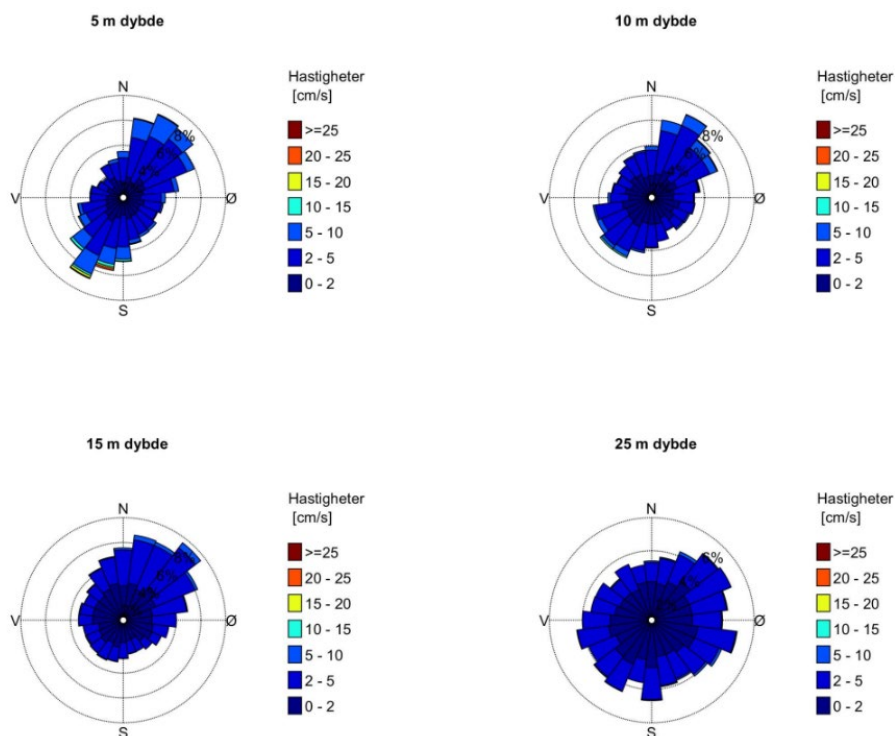
Figur 11-5 Oksygen- og salinitetsforhold over tid ved M1 (innerst i Moldefjorden). Dataene er fra målinger utført av COWI AS. Svarte prikker representerer målepunkter, som ble tatt én gang i måneden i perioden desember 2024 til november 2025.

Vedlegg 3: Strømmålinger

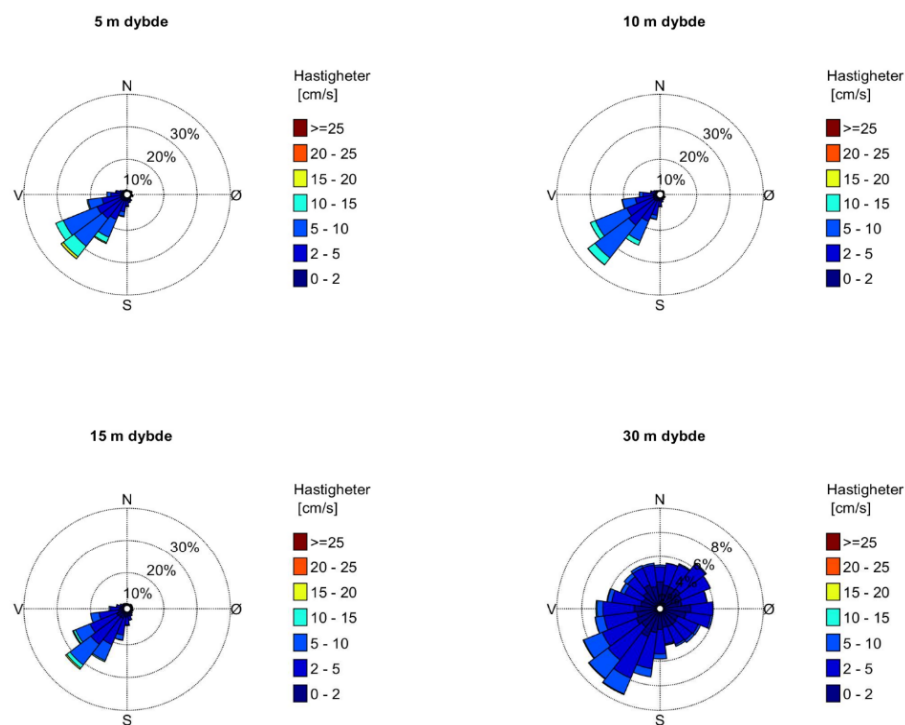
Strømmålinger ved de planlagte entringsområdene for tunnelen i Moldefjorden og Kjødepollen (se Figur 11-6 for målepunkter) har blitt gjort av Multiconsult 2021/2022 [21]. Figur 11-7 og Figur 11-8 viser rosedigrammer for strømhastigheter målt på 5, 10, 15 og 25/30 meters dybde, som viser en median hastighet på omtrent 2 cm/s ved 25/30 meters dybde i begge resipientene [21, 22]. I Kjødepollen er den fremherskende strømrretningen ved 25 meters dybde mot nordøst, mens strømrretningen i Moldefjorden hovedsakelig er mot sørvest på 30 meters dybde.



Figur 11-6 Strømhastigheter utført ved målepunkt 3 (entringsområde Moldefjorden) og målepunkt 4 (entringsområde Kjødepollen) ble brukt som inputs in CORMIX modellen. Strømmålingene ble utført av Multiconsult i 2022 [21, 22].



Figur 11-7 Rosediagram som viser fordelingen av strømretninger i kompasset og -hastigheter i farge for entringsområdet i Moldefjorden. Hentet fra [21].



Figur 11-8 Rosediagram som viser fordelingen av strømretninger i kompasset og -hastigheter i farge for entringsområdet i Kjødepollen. Hentet fra [22].

Vedlegg 4: Klassifisering av bakgrunnsdata

Metaller

Grenseverdier for klassifisering av metaller i kystvann er definert i Miljødirektoratet sin veileder M-608 (Tabell 11-1) [15]. Tilstandsklasser for kadmium over tilstandsklasse II avhenger av hardheten av vannet. Norsk vann er generelt mykt siden det er lite kalk i undergrunnen og grenseverdien blir derfor vurdert for den laveste hardheten.

Tabell 11-1 Tilstandsklasser for kystvann ($\mu\text{g/l}$). Fra [15]:

Navn på stoff	Klasse I	Klasse II	Klasse III	Klasse IV	Klasse V
	Bakgrunn	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig
Metaller					
Arsen	0 - 0,15	0,15 - 0,6	0,6 - 8,5	8,5 - 85	> 85
Bly	0 - 0,02	0,02 - 1,3	1,3 - 14	14 - 57	> 57
Kadmium	0 - 0,03	0,03 - 0,2	Fotnote 1	Fotnote 2	Fotnote 2
Kobber	0 - 0,3	0,3 - 2,6		2,6 - 5,2	> 5,2
Krom	0 - 0,1	0,1 - 3,4	3,4 - 35,8	35,8 - 358	> 358
Kvikksølv	0 - 0,001	0,001 - 0,047	0,047 - 0,07	0,07 - 0,14	> 0,14
Nikkel	0 - 0,5	0,5 - 8,6	8,6 - 34	34 - 67	> 67
Sink	0 - 1,5	1,5 - 3,4	3,4 - 6	6 - 60	> 60

- 1) Klasse III Cd verdier avhengig av vannets hardhet: $\leq 0,45$ ($< 40 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$); $0,45$ ($40 - < 50 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$); $0,60$ ($50 - < 100 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$); $0,9$ ($100 - < 200 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$); $1,5$ ($\geq 200 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$).
- 2) Klasse IV Cd verdier avhengig av vannets hardhet: $\leq 4,5$ ($< 40 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$); $4,5$ ($40 - < 50 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$); $6,0$ ($50 - < 100 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$); 9 ($100 - < 200 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$); 15 ($\geq 200 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$).

Næringssalter

Klassifisering av næringssalter i kystvann er definert i veileder 02:2018, se Tabell 11-2 [23]. Her brukes 'Overflatelag Sommer', som har det strengeste «kravet» og sikrer konservative resultater.

Tabell 11-2 Tilstandsklasser for næringssalter. Fra [23].

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.

Klorofyll A

Klassifisering av klorofyll i kystvann er definert i veileder 02:2018 , se Tabell 11-3 [3]. Ifølge Vann nett er Moldefjorden i Nordsjøen Nord, mens Kjødepollen er i Norskehavet Sør. Begge er vanntype nr. 3 – Beskyttet.

Tabell 11-3 Tilstandsklasser for klorofyll A. Fra [23].

Tabell 9.3 Referanseverdier og klassegrenser for klorofyll a (µg/L) i de ulike økoregioner og vanntyper. *) Vanntypen sterkt fersk- vannspåvirket inngår ikke i klassifiseringssystemet for planteplankton. **) Klassegrenser mangler pga. manglende data.											
Region	Region fork.		Vanntype nr.	Vanntype	Salinitet	Referanse tilstand	Svært god	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig
Skagerrak	S		1	Ekspontert	>25	2,57	<3,53	3,53-5,26	5,26-11	11-20	>20
			2	Moderat ekspontert	>25	3,13	<3,95	3,95-5,53	5,53-9	9-18	>18
			3	Beskyttet	>25	2,98	<3,92	3,92-6,9	6,9-9	9-18	>18
			5*	Sterk ferskvannspåvirket	5-25	-	-	-	-	-	-
Nordsjøen sør Nordsjøen nord Norskehavet sør Norskehavet nord	N M H G	}	1	Ekspontert	>30	2	<3	3-6	6-8	8-14	>14
			2	Moderat ekspontert	>30	1,7	<2,5	2,5-5	5-8	8-16	>16
			3	Beskyttet	>30	1,7	<2,5	2,5-5	5-8	8-16	>16
			4	Ferskvannspåvirket	18-30	2	<2,6	2,6-4	4-6	6-12	>12
			5*	Sterk ferskvannspåvirket	5-18	-	-	-	-	-	-
Barentshavet	B		1	Ekspontert	>30	1,9	<2,8	2,8-5,5	5,5-8	8-12	>12
			2	Moderat ekspontert	>30	1	<1,5	1,5 - <3,0	3,0 - <5	5 - <9	<9
			3	Beskyttet	>30	1	<1,5	1,5-3	3-6	6-10	>10
			4	Ferskvannspåvirket	18-30	0,9	<1,2	1,2-2	2-3	3-6	>6
			5	Sterkt ferskvannspåvirket	5-18	-	-	-	-	-	-