

**ENVIRONMENTAL RISK ANALYSIS AND STRATEGY FOR
ENVIRONMENTAL MONITORING -EQUINOR**

**Miljørisiko for EL001, Northern Lights, mottak
og permanent lagring av CO₂**

EQUINOR ASA

Rapportnr.: 2019-0746, Rev. 0

Dokumentnr.: 368366

Dato: 2019-10-11



Prosjektnavn: Environmental risk analysis and Strategy for environmental monitoring -Equinor DNV GL AS Region Norway
 Rapporttittel: Miljørisiko for EL001, Northern Lights, mottak og permanent lagring av CO₂ P.O. Box 300
 Oppdragsgiver: EQUINOR ASA Tel: +47 67 57 99 00
 Kontaktperson: Laurence Pinturier CNORDNV11
 Dato: 2019-10-11
 Prosjektnr.: 10152800
 Org. enhet: Environmental Monitoring
 Rapportnr.: 2019-0746, Rev. 0
 Dokumentnr.: 368366
 Levering av denne rapporten er underlagt bestemmelsene i relevant(e) kontrakt(er): 4503739498

Oppdragsbeskrivelse:

Environmental risk and strategy for environmental monitoring - Northern Lights

Utført av:	Verifisert av:	Godkjent av:
Amund Ulfnes Principal Consultant	Thomas Møskeland Senior Principal Consultant	Tor Jensen Vice President - Head of Section
Jørg Aarnes Senior Principal Engineer	Torild Nissen-Lie Group Leader	
Lars Even Torbergsen Senior Principal Specialist		
Harald Bjarne Tvedt Principal Consultant		

Beskyttet etter lov om opphavsrett til åndsverk m.v. (åndsverkloven) © DNV GL 2019. Alle rettigheter forbeholdes DNV GL. Med mindre annet er skriftlig avtalt, gjelder følgende: (i) Det er ikke tillatt å kopiere, gjengi eller videreformidle hele eller deler av dokumentet på noen måte, hverken digitalt, elektronisk eller på annet vis; (ii) Innholdet av dokumentet er fortrolig og skal holdes konfidensielt av kunden, (iii) Dokumentet er ikke ment som en garanti overfor tredjeparter, og disse kan ikke bygge en rett basert på dokumentets innhold; og (iv) DNV GL påtar seg ingen aktsomhetsplikt overfor tredjeparter. Det er ikke tillatt å referere fra dokumentet på en slik måte at det kan føre til feiltolkning. DNV GL og Horizon Graphic er varemerker som eies av DNV GL AS.

DNV GL distribusjon:

- ☒ ÅPEN. Fri distribusjon, internt og eksternt.
☐ INTERN. Fri distribusjon internt i DNV GL.
☐ KONFIDENSIELL. Distribusjon som angitt i distribusjonsliste. Distribution within DNV GL according to applicable contract.*
☐ HEMMELIG. Kun autorisert tilgang.

Nøkkelord:

CCS, CO₂, miljørisiko, EL001

*Distribusjonsliste:

Rev.nr.	Dato	Årsak for utgivelser	Utført av	Verifisert av	Godkjent av
0	2019-10-11	First issue	ULAM, JORGA, LETOR, HABT	THM, TRNL	TJEN

Innholdsfortegnelse

1	SAMMENDRAG.....	1
2	INTRODUKSJON	6
3	BAKGRUNN OG METODIKK.....	7
3.1	Overordnet tilnærming	7
3.2	Miljøriskomatrise	8
4	EBSA KARTLEGGING	10
4.1	Formål	10
4.2	Metodikk	10
4.3	Tilordning av miljøverdi for utvalgte ressurser	13
4.4	Miljøressursbeskrivelse	14
5	PÅVIRKNING FRA RESERVOAR, RØRLEDNING OG LANDANLEGG PÅ MILJØ	22
5.1	Påvirkning av CO ₂ på Havmiljøet	22
5.2	Påvirkning av CO ₂ på landlevende ressurser	25
5.3	Påvirkning av marin diesel på miljø	26
5.4	Påvirkning av LNG på miljø	26
6	MILJØRISIKOVURDERING AV LAGRING AV CO ₂ I EL001.....	26
6.1	Formål	26
6.2	Metode	26
6.3	Førende betingelser	27
6.4	Vurdering av mulige lekkasjescenarier	28
6.5	Miljøriskovurdering	31
6.6	Dokumenter	31
7	MILJØRISIKOVURDERING AV LEKKASJE FRA RØRLEDNING	32
7.1	Formål	32
7.2	Bakgrunn	32
7.3	Metode	34
7.4	Miljøriskovurderinger	47
8	MILJØRISIKOVURDERINGER AV LANDFASILITET FOR MIDLERTIDIG CO ₂ LAGRING	52
8.1	Formål	52
8.2	Tilnærming	52
8.3	Akutte hendelser	53
8.4	Influensområdet	55
8.5	Miljøriskovurdering	62
8.6	Beredskapstiltak	64
8.7	Konklusjon og vurdering av behov for overvåkningsplan for miljø ved landanlegget	64
9	REFERANSER	66

1 SAMMENDRAG

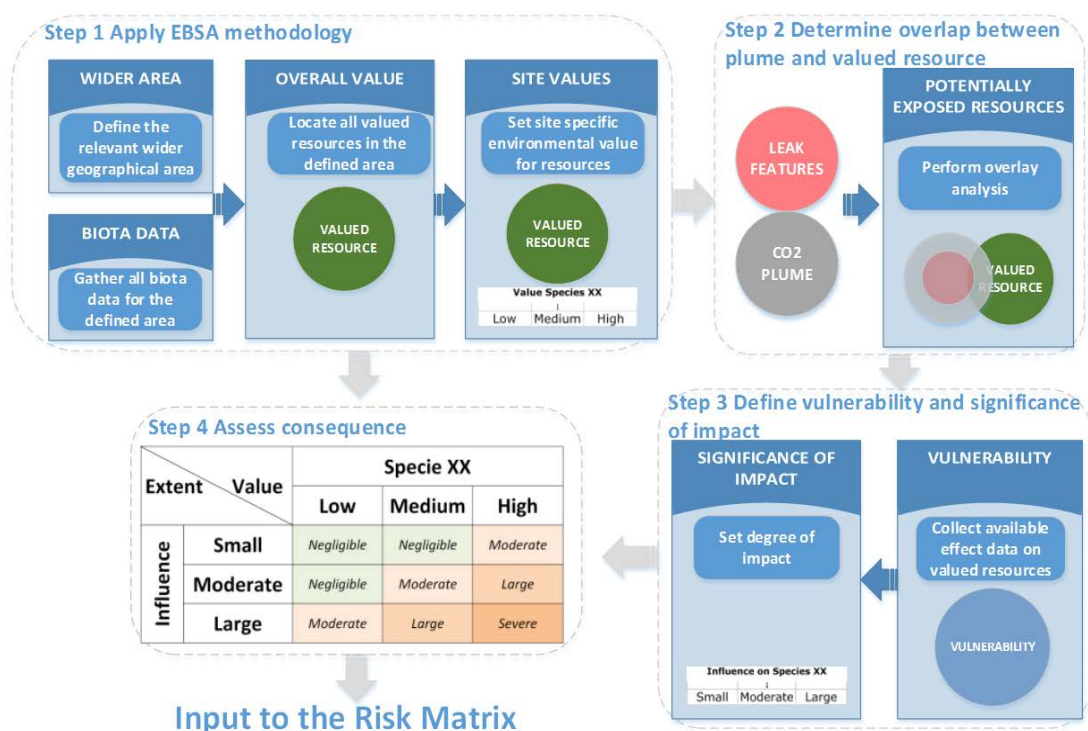
Introduksjon

Northern Lights prosjektet utreder muligheten for lokasjoner for et landanlegg for mottak, mellomlagring og videre rørtransport av flytende CO₂ til permanent lagring under havbunnen på kontinentalsokkelen. Inkludert i utredningen er planlegging av en løsning for skipstransport av flytende CO₂ fra lokalt mellomlager hos fangstaktører på Østlandet (Klemetsrud avfallsgjennvinningsanlegg, og Norcem sementfabrikk i Brevik) til mellomlager på Vestlandet. Prosjektet ledes av Equinor i samarbeid med As Norske Shell og Total E&P.

DNV GL har på vegne av Northern Lights prosjektet gjennomført miljørisikoanalyse for planlagt CO₂ lagring i Dunlingruppen (lisens EL001), lokalisert syd for Trollfeltet. Miljørisikoanalysen inkluderer potensielle lekkasjer fra injeksjonsbrønn, rørledning og uønskede hendelser ved landanlegget for midlertidig lagring på Kollsnes.

Metode

Metodikken som er lagt til grunn for miljørisikoanalysen er utviklet gjennom ECO2 prosjektet, og består av 6 trinn med hensikt å beskrive miljøverdier, anslå mulig skadeomfang og konsekvens, utlede sannsynlighetskategorier og beregne risiko. Metodikken er illustrert i Figur 1-1.



Figur 1-1 Stegvis gjennomføring av miljørisikovurdering av lagringsområder for CO₂

I prosjektgjennomføringen har det vært flere felles arbeidsmøter mellom ulike fagdisipliner for å utlede relevante lekkasjescenarioer, med tilhørende sannsynlighet og miljøkonsekvens.

EBSA-kartlegging – Ecological and Biological Significant Areas

Det er i prosjektet sammenstilt miljøressursdata som tilstøter landanlegget, rørledningstraseen og reservoaret, og tilordnet den enkelte ressurs en verdi som videre er benyttet i miljørisikovurderingene.

Det er gjennomført et bredt søk i ulike nasjonale og offentlige databaser som har til hensikt å formidle miljøressurser, habitater og arter. I tillegg er det foretatt en gjennomgang av relevante miljørapporter som er forelagt av NL-prosjektet. Samlet er det identifisert og registrert 43 miljøressurser og kulturminner som tilstøter landanlegget, rørledningstraseen og/eller reservoarområdet. Hver enkelt ressurs er tilordnet en verdi (lav-medium-høy) etter sammenstilling av de ulike datakildene.

Av sjøbunnsartene, er koraller og flatøsters rangert å ha høyest verdi lik «medium», mens det for fugl er åtte arter som er tilordnet «medium» verdi. Oter er eneste identifiserte pattedyr, og klassifisert til «høy» verdi. Ål er klassifisert til «høy», mens de øvrige identifiserte ressursene er klassifisert til «lav» verdi. Det er ikke identifisert miljøressurser i noen av databasene som tilsier at sjøbunnen eller vannkolonnen over reservoaret har miljøverdi utover vanlig forekommende arter og habitater. Kulturminner på land er tatt med i listen, men er ikke gitt *miljøverdi*.

Reservoar

Miljørisikoanalysen for lagring av CO₂ i Dunlingruppen tar utgangspunkt i lekkasjerisikovurderinger gjort av Northern Lights sammen med Risktec med hensyn til miljøressurskartlegging innenfor EL001 og det tilstøtende Trollområdet. I dette området ble det ikke identifisert sårbare ressurser på havbunn. Lekkasjerisikovurderingene for Aurora konkluderte også med at influenssonene for potensielle lekkasjescenarier vil være begrenset. For en eventuell lekkasje fra lager vil all CO₂ som når havbunn bli fullstendig innblandet i sjøvann innen et par meter over havbunn. Potensielle miljøkonsekvenser for sjøfugl er derfor vurdert som ikke relevant.

Miljørisikovurderingen omfatter perioden hvor selskapene vil være ansvarlig for miljøovervåkning. Perioden er satt til tidsrommet fra injeksjon av CO₂ starter (planlagt oppstart i 2023), til ansvar overføres til staten (eller bemyndiget enhet). Det er antatt injeksjon i 25 år, etterfulgt av 20 år med risikostyring, herunder eventuell miljøovervåkning¹. Dette innebærer at kun lekkasjescenarier som kan medføre en observerbar negativ miljøpåvirkning innen 2070 er vurdert.

For alle lekkasjescenarier identifisert av prosjektet eller Risktec, er sannsynligheten for disse estimert å være lav (<1% sannsynlighet for hele perioden). Som beskrevet over vil identifiserte lekkasjescenarier heller ikke påvirke sårbare miljøressurser. Dette medfører at ingen av de identifiserte lekkasjescenariene for reservoar er forbundet med miljørisiko.

For de vurderte CO₂ lekkasjescenariene er det ikke tatt hensyn til mulig innhold av hydrokarboner. Dette kan være relevant for lekkasjescenarier der migrasjonsbanen går via reservoaret i Trollfeltet og videre til forlatte brønner (3 scenarier). Eventuelt innhold av hydrokarboner i CO₂ strømmen i de vurderte lekkasjescenariene er derfor ikke hensyntatt i miljørisikoanalysen. Utblåsning fra brønnen som skyldes økt trykk fra injeksjon av CO₂ er ikke tatt med i risikovurderingen, da reservoaregenskapene per i dag ikke er kjent. Dette vil bli vurdert i forbindelse med injeksjon/lagringssøknad.

Rørledning

¹ Forskrift om utnyttelse av undersjøiske reservoarar på kontinentalsokkelen til lagring av CO₂ og om transport av CO₂ på kontinentalsokkelen (FOR-2014-12-05-1517), § 5-8. Ansvarsoverføring, punkt b) sier at overføring av «alle forpliktelser vedrørende overvåkning og utbedrende tiltak i medhold av denne forskrift [...] til staten v/Olje- og energidepartementet eller den det bemyndiger» bare kan skje hvis «En minimumsperiode fastsatt av departementet eller den det bemyndiger er utløpt. Denne minimumsperioden skal ikke være kortere enn 20 år, med mindre departementet eller den det bemyndiger etter søknad fra operatøren før eller på dette tidspunkt er overbevist om at kravet ci bokstav a) er oppfylt før utløpet av denne perioden». I samsvar med EUs CCS Direktiv er denne minimumsperioden derfor satt til å være nominelt 20 år.

Miljørisiko relatert til utilsiktede lekkasjer fra rørledning er vurdert basert på sannsynlighet for og konsekvens av eksponering av identifiserte ressurser. Nærliggende ressurser er kartlagt basert på tilgjengelige data (EBSA).

Lekkasjefrekvenser for henholdsvis liten, medium, stor og fullt brudd lekkasjer er etablert basert på tilgjengelig statistikk. For hver lekkasjekategori er det beregnet CO₂ lekkasjerater med tilhørende varighet frem til lekkasjen stanser av naturlige årsaker, eller skaden på røret er reparert.

Influenssoner i vannsøylen er etablert i form av endring i pH som funksjon av avstand fra lekkasjepunktet og er estimert med en forenklet konservativ modell basert på totalt utslipp CO₂. Modellen baserer seg på hvordan ulike innblandingsforhold av CO₂ i sjøvann påvirker pH balansen. For sjøbunn og vannsøyle er en grenseverdi på endring i pH på -0.5 lagt til grunn i overlappsanalysen med hensyn til mulig negativ påvirkning på nærliggende ressurser. Denne grenseverdien er valgt på basis av moderat eksponeringstid, maksimalt én måned (reparasjonstid) til lekkasjen er stanset. For ressurser (fugl) over havflaten er konsentrasjon på 4 Vol% CO₂ i luft lagt til grunn som grenseverdi for negativ miljøpåvirkning.

Totalt utslipp fra en liten lekkasje er estimert til omlag to til tre rørledningsvolum. For større lekkasjer er det totale utslippet estimert å være begrenset til omlag ett rørledningsvolum, basert på antakelse om rask lekkasjedeteksjon med påfølgende nedstengning av ledningen. For medium, store og fullt brudd lekkasjer er det antatt at ledningen stenges ned og naturlig trykkavlastes mot sjø.

For sjøbunn og vannsøyle er en liten lekkasje estimert å større influenssone fra lekkasjepunkt sammenlignet med medium og store lekkasjer. Dette skyldes høyere akkumulerte utslipp av CO₂, på grunn av lengre tid til deteksjon (24 timer), og antakelse om at rørledningen holdes i drift frem til reparasjon². Den største influenssonen vil i en overlappsanalyse gi den høyeste miljørisikoen. Frekvensmessig utgjør små lekkasjer hovedandelen av den totale lekkasjefrekvensen. Den samlede risikoen for sjøbunn og vannsøyle fra en liten lekkasje fra rørledningen er vurdert til å være lav, basert på mest konservative anslag, ref. Tabell 1-1.

Tabell 1-1 Miljørisikomatrise for liten lekkasjerate – største influensområde for sjøbunn og vannsøyle. Tallene representerer miljøressurser i Tabell 7-1

Sannsynlighet	Miljøkonsekvens			
	Neglisjerbar/lav	Moderat	Stor	Veldig stor
usannsynlig (<1 %)	3,4,5,8,9,10,11,12,13	1,2,6,7		
mulig (1 – 10 %)				
sannsynlig (>10 %)				

Den samlede miljørisikoen for eksponering av ressurser over havflaten (fugl) er representert av medium, store og fullt brudd lekkasjer, og vurdert til å være lav til moderat, basert på mest konservative anslag, ref. Tabell 1-2.

² Dette for å unngå vanninntrengning i røret som vil kunne medføre betydelig innvendige korrosjonsskader på røret.

Tabell 1-2 Miljøriskomatrise for stor lekkasjerate – største influensområde til luft. Tallene representerer miljøressurser i Tabell 7-1

Sannsynlighet	Miljøkonsekvens			
	Neglisjerbar/lav	Moderat	Stor	Veldig stor
usannsynlig (<1 %)			42	
mulig (1 – 10 %)	15,16, ,21, 22,23, 24, 26, 27 28, 29,30,32,33,34,35, 36,37,38,39,40	17,18,19,20, 25,31		
sannsynlig (>10 %)				

Resultatene som fremkommer i denne analysen er i utgangspunktet vurdert som konservative både i forhold til metode for beregning av influenssoner og konsekvens for overlappende ressurser. Lekkasjefrekvenser er basert på tilgjengelig statistikk og etablert metodikk for undersjøiske olje- og gassrørledninger.

Det er i analysen antatt deteksjon av små lekkasjer innen 24 timer, basert på volumbalansemålinger, hvilket fordrer strømningsmåler ut fra landterminal. Dersom strømningsmåler ikke installeres ved terminal og deteksjonstiden for små lekkasjer bestemmes av 6 måneders intervaller for lekkasjetest ved inn stengning av rørledningen, vil dette påvirke miljørisikoen i negativ retning.

Landanlegg

Miljøriskoen anses som *lav/neglisjerbar* for CO₂ utslipp til luft ved lagringsfasiliteten i Naturgassparken. Grunnlaget for vurderingen er resultatene fra CO₂ spredningsmodellering, kombinert med ressurser i nærområdet og sannsynlighet for en hendelse.

Forhøyet CO₂ konsentrasjoner (≥ 4 %) i luft forventes i nærområde rundt anlegget, og for de større utslippene i mindre overlap med områder der det er observert rødlistearter. Det mest alvorlige utslippet som kan forekomme fra anlegget, er et utslipp fra eksportørledningen mellom lagringstank og den undersjøiske transportørledningen. Et slikt utslipp vil gi det største influensområdet - et område som kan strekke seg sørover til Ljosneset hvor ærfugl, hønsehauk og oter er observert. Forhøyet konsentrasjon av CO₂ er beregnet på bakkenivå, og det er forventet lavere konsentrasjoner høyere opp. Basert på dette anses eventuell miljøskade å være begrenset til påvirkning på individnivå, som følge av akutt eksponering, primært utenfor habitatsområdet. Når det gjelder marine ressurser anses disse å være uberørt gitt et akutt utslipp til luft. Kulturminner vil heller ikke påvirkes ved akutte utslipp over kort tid.

Når det gjelder LNG utslipp vurderes dette å gi tilsvarende bilde som CO₂, gitt forutsetningen om at LNG fordampes i løpet av kort tid ved lekkasje fra drivstofftank.

Miljøriskoen for utslipp av marin diesel er vurdert som lav. Dette er basert på potensialet for å påvirke ulike rødlistearter (landbaserte og marine arter), i tillegg til andre marine ressurser og våtmarksområder. Basert på gjennomgang av erfaringer fra tidligere hendelser med tung olje og marin diesel forventes lave til moderate konsekvenser for naturressurser generelt, mens arter av sjøfugl og oter er mest utsatte. Når det gjelder utslipp av marin diesel er det ikke tatt hensyn til effekt av beredskapstiltak; eksempelvis bruk av lense rundt fartøy med eventuell påfølgende mekanisk oppsamling eller bruk av absorberende materiale. Slike beredskapstiltak vil bidra til redusert spredning av marin diesel og dermed også miljøkonsekvensene.



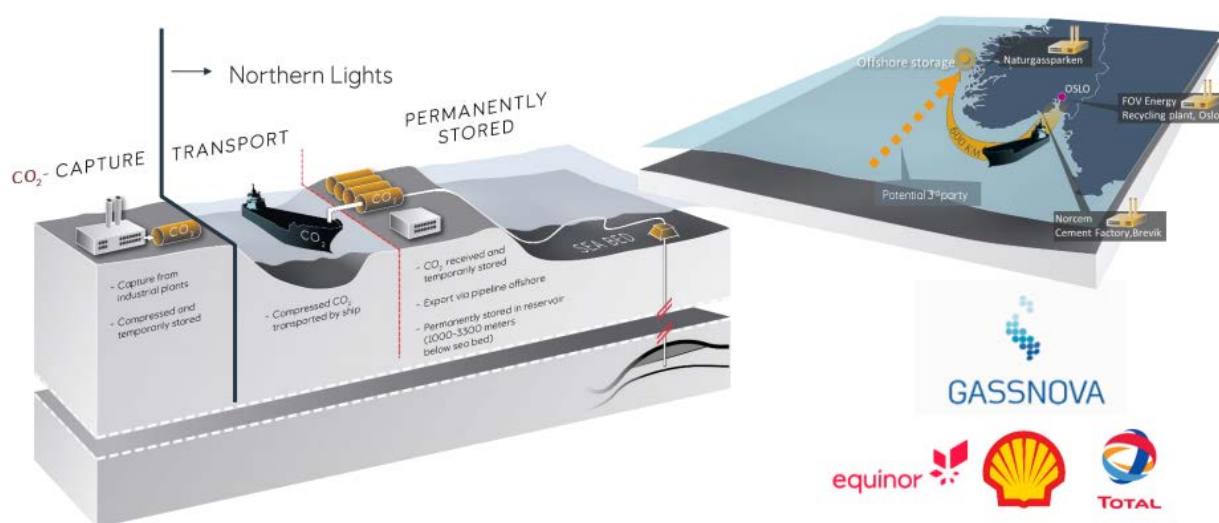
Basert på resultatene fra denne miljørisikoanalysen anses det ikke nødvendig med utarbeidelse av egen overvåkningsplan for CO₂ utslipp med hensyn til miljørisiko. Analysen viser at det er svært lav sannsynlighet for eksponering av verdsette områder for naturressurser og risikoen er lav. Eksisterende overvåkningsplan for anlegget vil dermed være dekkende.

Ettersom et marin dieselutslipp kan påvirke områder med rødlistearter (Ljøsneset og Kobbervåg) anbefales det å gjennomføre en beredskapsanalyse med modellering av marin diesel utslipp, som igjen legges til grunn for planlegging av beredskapstiltak. Som følge av eksisterende aktivitet i Naturgassparken havn forventes det at det allerede foreligger en beredskapsplan for området, som utslippsscenarioer fra Northern Lights aktivitet kan legges inn i. Om så ikke er tilfelle må en plan utarbeides.

2 INTRODUKSJON

Northern Lights prosjektet utreder muligheten for lokasjoner for et landanlegg for mottak, mellomlagring og videre rørtransport av CO₂ til permanent lagring under havbunnen på kontinentalsokkelen. Inkludert i utredningen er planlegging av en løsning for skipstransport av flytende CO₂ fra lokalt mellomlager hos fangstaktører på Østlandet (Klemetsrud avfallsgjennvinningsanlegg, og Norcem sementfabrikk i Brevik) til mellomlager på Vestlandet.

Prosjektet ledes av Equinor i samarbeid med As Norske Shell og Total E&P.



Figur 2-1 Oversikt over alle aktiviteter i det Norske fullskala demonstrasjonsprosjektet for CO₂ lagring; Fangst av CO₂ ved Norcem sementfabrikk og Klemetsrud forbrenningsanlegg, transport av CO₂ med skip til mellomlagringsanlegg på Kollsnes, videre eksport av CO₂ i rør, og injeksjon av CO₂ og permanent lagring under havbunnen på Norsk kontinentalsokkel i lagringskomplekset kalt Aurora. (Kilde Equinor)

Olje- & Gasselskaper som opererer på Norsk sokkel er pålagt gjennom nasjonal og internasjonale retningslinjer (IOGP 2012, PSA 2014, Miljødirektoratet veileder M300) å dokumentere hvilken påvirkning deres aktiviteter har på miljøet. I tillegg skal operatører på Norsk sokkel bidra til utvikling av retningslinjer for overvåking samt overvåkingsteknikker og teknologi.

Lagring av CO₂ på kontinentalsokkelen er regulatorisk underlagt *Forskrift om utnyttelse av undersjøiske reservoarer på kontinentalsokkelen til lagring av CO₂ og om transport av CO₂ på kontinentalsokkelen* (CO₂ lagringsforskriften). Utrednings- og planleggingsarbeidet omfatter utarbeidelse av *Plan for utbygging og drift* (PUD) og *Plan for anlegg og drift* (PAD), med tilhørende konsekvensutredning (KU) for lagringsdelen av fullskala CO₂ håndteringsprosjektet. Selv om skipstransport av CO₂ inngår i arbeidsomfanget som skal utføres av Northern Lights, skal skipstransport av CO₂ iht. bestemmelsene i CO₂ lagringsforskriften ikke omfattes av KU, PUD og PAD.

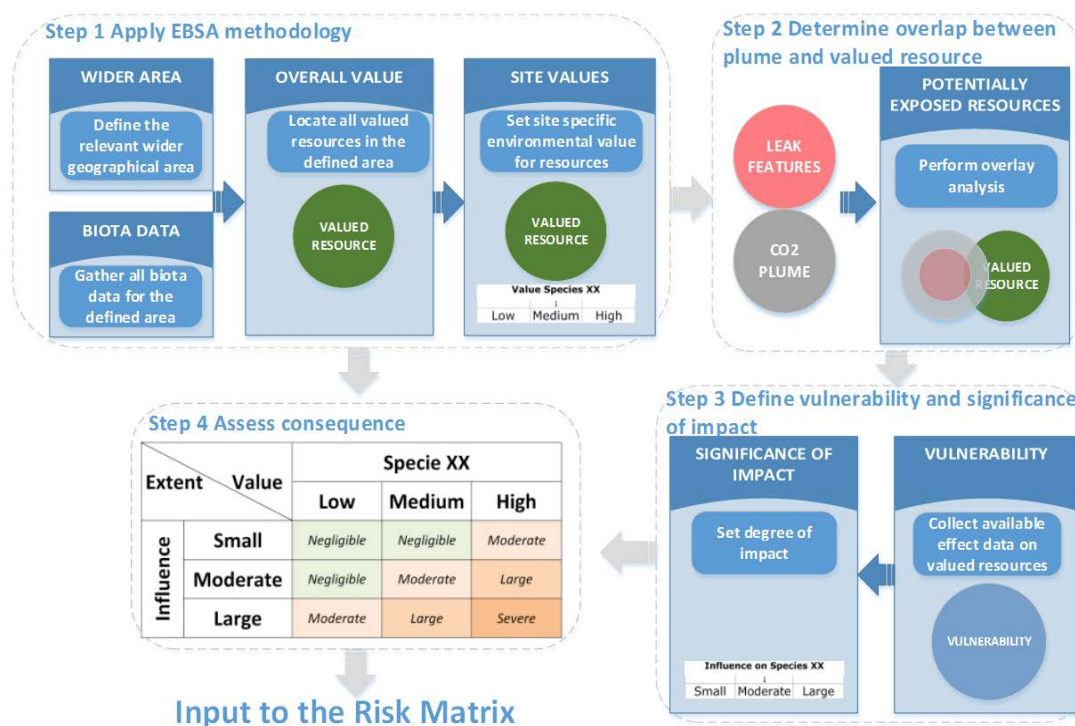
Denne rapporten omhandler miljørisikovurdering for mulige lekkasjer av CO₂ fra landanlegget i Naturgassparken, rørledningen og reservoaret. Resultatet fra miljørisikovurderingen er blant annet et viktig grunnlag for utarbeidelse av miljøovervåkingstrategien for lagring av CO₂ i lisens EL001.

3 BAKGRUNN OG METODIKK

3.1 Overordnet tilnærming

Det er etablert «Best Practice» metodikk for miljørisikoen analyse for lagring av CO₂ i undersjøisk reservoar gjennom ECO2 prosjektet (EU prosjekt) (DNV 2014). Denne metodikken er lagt til grunn for miljørisikovurderingen. I «Best Practices» dokumentet er det anbefalt en stegvis gjennomføring av miljørisikovurderingen, som vist i Figur 3-1 og oppsummert under:

1. Samle inn data for å etablere EBSA (Ecological and Biological Significant Areas)
2. Identifisere overlap mellom CO₂ spredning og viktige biologiske ressurser basert på identifisert lekkasjeveier
3. Definere sårbarheten av påvirket biologiske ressurser og hvor signifikant påvirkningen vil være
4. Vurdere konsekvenser og etablere konsekvensmatrise
5. Estimere sannsynlighet for relevante lekkasje scenarier
6. Vurdere risiko basert på utledet sannsynlighet og miljøkonsekvens



Figur 3-1 Stegvis gjennomføring av miljørisikovurdering av lagringsområder for CO₂

3.2 Miljørisikomatrise

For miljørisikovurderinger må det etableres en miljørisikomatrise som klassifiserer risiko som funksjon av sannsynlighet for at en hendelse vil kunne inntreffe og konsekvenser av hendelsen. I denne sammenhengen er hendelser knyttet til utilsiktet lekkasje av CO₂. Konsekvenser av hendelsen, klassifiseres av miljøeffekt, basert på miljøverdi og skadeomfang. Kategorisering av miljøverdi og skadeomfang er definert i henhold til ECO₂. Tilsvarende metodikk er tidligere benyttet for å vurdere miljørisiko knyttet til injeksjon av CO₂ på Sleipner feltet. Følgende definisjoner er benyttet:

Miljøverdi:

- Lav verdi: Område med lokal betydning for arter og habitater
- Medium verdi: Område med regional betydning for arter og habitater, og / eller har nasjonale rødlistearter / habitater klassifisert som data mangelfull (DD) eller nesten truet (NT)
- Høy verdi: Områder med nasjonal betydning for arter og habitater, og / eller har nasjonale rødliste arter / habitater klassifisert som sårbare (VU), truet (EN), kritisk truet (CR) eller regionalt utdødd (RE)

Skadeomfang:

- Lite omfang: Kan påvirke/reducere arter og habitat på individnivå
- Moderat omfang: Kan påvirke arter og habitat på populasjonsnivå
- Stort omfang: Kan redusere/utrydde arter og habitat på populasjonsnivå

Basert på disse definisjonene er følgende konsekvensmatrise benyttet (DNV GL, 2014):

Tabell 3-1: Miljøkonsekvensmatrise

		Miljøverdi		
		Lav	Moderat	Høy
Skadeomfang	Lite	Neglisjerbar/lav miljøkonsekvens	Neglisjerbar/lav miljøkonsekvens	Moderat negativ miljøkonsekvens
	Moderat	Neglisjerbar/lav miljøkonsekvens	Moderat negativ miljøkonsekvens	Stor negativ miljøkonsekvens
	Stort	Moderat negativ miljøkonsekvens	Stor negativ miljøkonsekvens	Veldig stor negativ miljøkonsekvens

Følgende sannsynlighetskategorier for reservoar, rørledning, og landanlegg er benyttet i risikovurderingene (Equinor 2019b). Sannsynlighetskategoriene reflekterer hendelser som inntreffer innen prosjektperioden. Prosjektperioden er henholdsvis 47 år for reservoaret, og 25 år for rørledningen og landanlegget ³ (Equinor 2019b):

Sannsynlighet:

- Usannsynlig: Under 1 % sannsynlig at hendelsen inntreffer i prosjektperioden
- Mulig: 1-10 % sannsynlig at hendelsen inntreffer i prosjektperioden
- Sannsynlig: Over 10 % sannsynlig at hendelsen inntreffer i prosjektperioden

³ Prosjektperioden for landanlegg og rørledning er definert som injeksjonsperioden på 25 år (2050), mens prosjektperioden for reservoar er definert som injeksjonsperioden + 20 år (2070).

Kombinasjon av konsekvenskategorier og sannsynlighetskategorier gir følgende miljørisikoanalyse:

Tabell 3-2: Miljørisikomatrisen som er benyttet for lagring av CO₂, rørledningstransport og mellomlagring på land (Equinor 2019b)

Sannsynlighet	Miljøkonsekvens			
	Neglisjerbar/lav	Moderat	Stor	Veldig stor
Usannsynlig	Lav miljørisiko	Lav miljørisiko	Moderat miljørisiko	Stor miljørisiko
Mulig	Lav miljørisiko	Moderat miljørisiko	Stor miljørisiko	Veldig stor miljørisiko
Sannsynlig	Moderat miljørisiko	Stor miljørisiko	Veldig stor miljørisiko	Veldig stor miljørisiko

4 EBSA KARTLEGGING

4.1 Formål

Formålet med denne arbeidspakken er å sammenstille miljøressursdata som tilstøter landanlegget, rørledningstraseen og reservoaret og tilordne den enkelte ressurs en verdi til bruk i miljørisikovurderingene.

4.2 Metodikk

For utvelgelse av arter og habitater i miljøverdivurderingene er det benyttet følgende sett med syv kriterier (EBSA) for å identifisere økologisk eller biologisk viktige områder (ref. [CBD COP 9 Decision IX/20](#)):

- Unikt eller sjeldenhet
- Spesiell betydning for livshistorie stadier av arter
- Viktighet for truede, truede eller avtagende arter og / eller habitater
- Biologisk produktivitet
- Biologisk mangfold
- Sårbarhet, følsomhet eller langsom gjenoppretting
- Naturlighet

Metoden er anerkjent av Miljødirektoratet gjennom eksempelvis havmiljø.no, og er benyttet i flere miljørisikoanalyser i de senere år (DNV GL, 2014, DNV GL 2015, DNV GL 2016).

Ifølge havmiljø.no brukes kriterium 2 (kulepunkt 2), spesielt viktige områder for livshistoriske stadier av arter, som grunnlag for miljøverdisystemet, og områdene kan vektes hvis de er viktige for truede arter, viktige arter i økosystemet, eller for habitater som er viktige for resten av det biologiske mangfoldet.

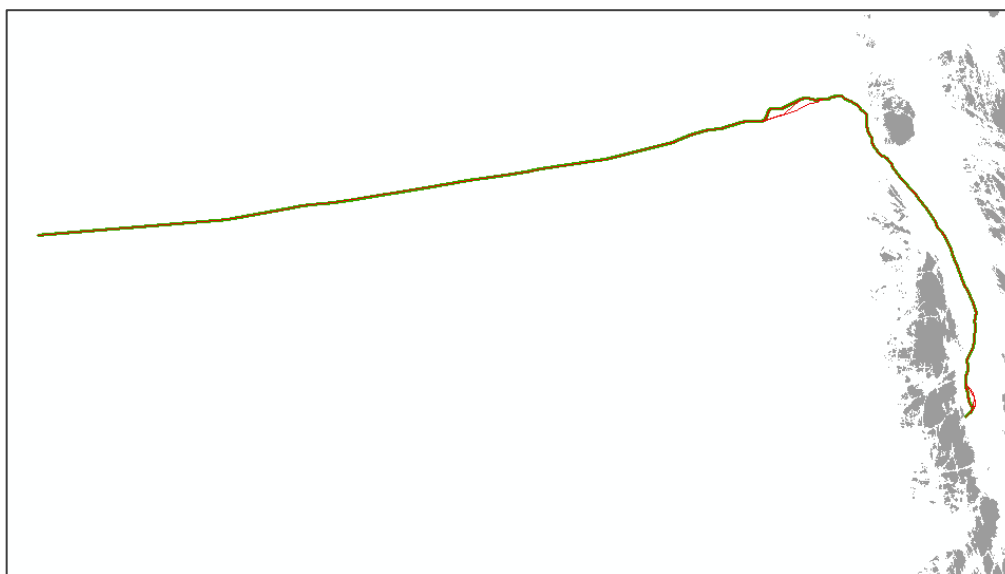
Det er imidlertid også viktige miljøkomponenter som ikke kan kvantifiseres på denne måten. Miljøverdiene må derfor suppleres med informasjon om SVOer (spesielt verdifulle områder) som vurderinger som eksperter identifiserer for forvaltningsplanene. Biologisk produktivitet, mangfold og naturlighet er ilagt vekt her. Arter som er jevnt fordelt vil ikke gi utslag.

For å vurdere kriteriene på en objektiv og gjennomsiktig måte, så er fire hovedtrinn lagt til grunn (Clark et al., 2014):

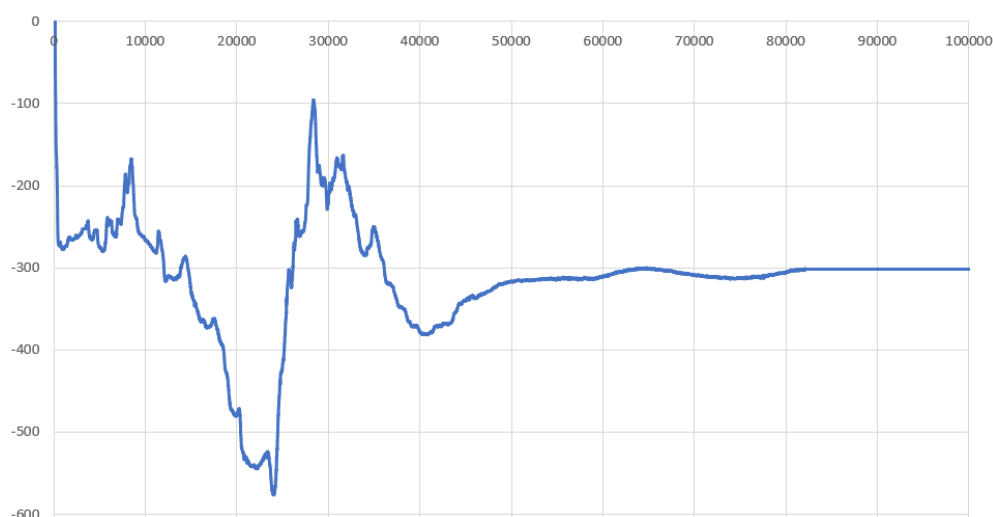
1. Identifisere området som skal undersøkes,
2. Bestem passende datasett som skal brukes i evalueringen
3. Vurdere data for hvert område / habitat mot et sett av kriterier
4. Identifisere og vurdere EBSAer.

4.2.1 Undersøkelsesområdet

Området som inngår i vurderingene fremkommer i Figur 4-1 og går fra terminalen på Naturgassparken, langs den planlagte rørtraseen ut Hjeltefjorden, og videre ut til injeksjonsbrønnen vest for Fedje. I tillegg inngår enkelte forlatte brønner i området i retning av Togi/Troll installasjonene der det er identifisert mulige migrasjonsruter og evt. lekkasjeveier av injisert CO₂. Dybdeprofil for rørlednings trasé fra landanlegg til lager er vist i Figur 4-2 avgrenset oppstrøms ved isolasjonsventil mot landanlegg (KP0) og nedstrøms ved endeterminal (PLEM) ved lager (KP100). Fra landanlegget faller rørledningen raskt til vandndyp over 200m og videre ned til omlag 550m nord i Hjeltefjorden, før den stiger til vandndyp på omlag 150m ved terskel sør for Fedje. Fra KP50 og frem til lagringslokasjon ligger ledningen på omlag 300m vandndyp.



Figur 4-1 Planlagt rørlednings trasé



Figur 4-2 Dybdeprofilen for rørledningstraseen

4.2.2 Datasett som inngår i evalueringen

Det er gjennomført et bredt søk i ulike nasjonale og offentlige databaser som har til hensikt å formidle miljøressurser, habitater, arter, samt antropogen aktivitet. I tillegg er det tatt en gjennomgang av relevante miljørapporter som er forelagt av NL-prosjektet. Rambøll (2018) og Rådgivende Biologer (2017) beskriver økologiske ressurser og kulturminner innenfor planområdet til Naturgassparken. De ulike databasene er presentert i Tabell 4-1, mens de ulike rapportene er presentert i Tabell 4-2.

Tabell 4-1 Offentlige databaser som omhandler miljøressurser relevant for miljørisikovurdering av CO₂ lekkasjer – EL001

Database	Innhold
Fiskeridirektoratet	Sporingsdata, mottatt fra Fiskeridirektoratet
http://kart.fiskeridir.no/ https://vggdrasil.fiskeridir.no/	Kystnære fiskeridata Akvakultur
http://www.miljostatus.no/kart/	Naturtyper
https://www.artsdatabanken.no/	Artsinformasjon og rødliste kategorisering
https://www.met.no/	Strømdata
https://havbase.no/	NA
http://mareano.no/	Fisk og Gyteområder
http://www.ngu.no/	Geologisk data
http://kart.naturbase.no/	Arter og habitater, Marine Naturtyper, Naturvernområder, Friluftsområder
http://mod.dnvgl.com/	Species
http://www.havmiljo.no/	Miljøverdi for sjøfugl, naturtyper og koraller
Seapop	Havmiljø-data kommer fra Seapop

Tabell 4-2 Rapporter som omhandler miljøressurser relevant for miljørisikovurdering av CO₂ lekkasjer - EL001

Rapporter
Rambøll, 2018. Detaljreguleringsplan for Kollsnes Næringspark. Dato: 05-02-2018.
Rådgivende biologer, 2017. Regulering av Kollsnes næringspark, Øygarden kommune. Konsekvensvurdering for naturmangfold og naturressurser. M. Eilertsen, C.J. Blanck, L. Eilertsen & H. E. Haugsøen. Rapport nr.: 2535.42 sider.
Statoil, 2017. Coral mapping and risk assessment Johan Sverdrup pipeline. Internt document. Pp19

4.2.3 Område og miljøverdivurderinger

Hver identifisert miljøressurs er tilordnet en miljøverdi i henhold til seksjon 3.2.

4.3 Tilordning av miljøverdi for utvalgte ressurser

Det er identifisert og registrert 43 miljøressurser og kulturminner som tilstøter landanlegget, rørledningstraseen og/eller reservoarområdet (Tabell 4-3) Hver enkelt ressurs er tilordnet en verdi etter sammenstilling av ulike data kilder. Miljøverdien tar ikke hensyn til sesongvariasjoner.

Av sjøbunnsartene er det koraller og flatøsters som er tilordnet høyest verdi innenfor området (medium), mens det for fugl er åtte arter som er tilordnet «medium» verdi. Oter er eneste pattedyr og klassifisert til «høy» verdi. Ål er klassifisert til «høy» mens de øvrige identifiserte ressursene er klassifisert til «lav». Det er ikke identifisert miljøressurser i noen av databasene som tilsier at sjøbunnen eller vannkolonnen over reservoaret har miljøverdi utover vanlig forekommende arter og habitater. Kulturminner på land er tatt med i listen, men er ikke gitt miljøverdi.

Tabell 4-3 Identifiserte miljøressurser og kulturminner som tilstøter landanlegget, rørledningstraseen og / eller reservoarområdet. Hver enkelt ressurs er tilordnet en verdi etter sammenstilling av ulike data kilder

#	Gruppe	Miljøressurs	Norsk Rødliste	Havmiljø* (max verdi)	Levested	Lokasjon	Verdi
1	Korall	Steinkorall	NT		Sjøbunn	Rørledning	Medium
2	Korall	Sjøtre	NT		Sjøbunn	Rørledning	Medium
3	Musling	Kamskjell	LC		Sjøbunn	Landanlegg Rørledning	Lav
4	Musling	Flatøsters	NT		Sjøbunn	Landanlegg Rørledning	Medium
5	Alger	Sukkertare	LC		Sjøbunn	Landanlegg Rørledning	Lav
6	Naturtype	Hardbunnkorallskog	NT		Sjøbunn	Rørledning	Medium
7	Naturtype	Korallrev	NT		Sjøbunn	Rørledning	Medium
8	Naturtype	Tareskog			Sjøbunn	Landanlegg Rørledning	Lav
9	Naturtype	Skjellsand			Sjøbunn	Landanlegg Rørledning	Lav
10	Naturtype	Rekefelt	LC		Sjøbunn	Landanlegg Rørledning	Lav
11	Fisk	NVG Sild_0 - art		22%	Vannkolonne	Landanlegg Rørledning	Lav
12	Fisk	NVG Sild_larver		22%	Vannkolonne	Landanlegg Rørledning	Lav
13	Fisk	NVG Sild_guting		22%	Vannkolonne	Landanlegg Rørledning	Lav
14	Fisk	Ål	VU		Ferskvann	Utenfor næringsparken	Høy
15	Fugl	Gulnebbblom	NT	67%	Sjøoverflate	Landanlegg Rørledning	Medium
16	Fugl	Fiskemåke	NT	50%	Sjøoverflate	Landanlegg Rørledning	Medium
17	Fugl	Lomvi	CR	50%	Sjøoverflate	Reservoar Rørledning	Høy
18	Fugl	Lunde	VU	50%	Sjøoverflate	Landanlegg Rørledning	Høy
19	Fugl	Makrellterne	EN	50%	Sjøoverflate	Landanlegg Rørledning	Høy
20	Fugl	Sjøre	VU	50%	Sjøoverflate	Landanlegg Rørledning	Høy
21	Fugl	Smålom	LC	50%	Sjøoverflate	Landanlegg Rørledning	Lav
22	Fugl	Svartbak	LC	50%	Sjøoverflate	Landanlegg Rørledning	Lav
23	Fugl	Alke	EN	33%	Sjøoverflate	Landanlegg Rørledning	Medium
24	Fugl	Fjæreplytt	LC	33%	Sjøoverflate	Landanlegg Rørledning	Lav
25	Fugl	Havhest	EN	33%	Sjøoverflate	Reservoar Rørledning	Høy
26	Fugl	Havsule	LC	33%	Sjøoverflate	Landanlegg Rørledning	Lav
27	Fugl	Krykkje	EN	33%	Sjøoverflate	Landanlegg Rørledning	Medium
28	Fugl	Siland	LC	33%	Sjøoverflate	Landanlegg Rørledning	Lav
29	Fugl	Storskarv	LC	33%	Sjøoverflate	Landanlegg Rørledning	Lav
30	Fugl	Svartand	NT	33%	Sjøoverflate	Landanlegg Rørledning	Medium
31	Fugl	Teist	VU	33%	Sjøoverflate	Landanlegg Rørledning	Høy
32	Fugl	Toppskarv	LC	33%	Sjøoverflate	Landanlegg Rørledning	Lav
33	Fugl	Tyvjo	NT	33%	Sjøoverflate	Landanlegg Rørledning	Medium
34	Fugl	Ærfugl	NT	33%	Sjøoverflate	Landanlegg Rørledning	Medium
35	Fugl	Gråhegre	LC	17%	Sjøoverflate	Landanlegg Rørledning	Lav
36	Fugl	Gråmåke	LC	17%	Sjøoverflate	Landanlegg Rørledning	Lav
37	Fugl	Islom	NA	17%	Sjøoverflate	Landanlegg Rørledning	Lav
38	Fugl	Kvinand	LC	17%	Sjøoverflate	Landanlegg Rørledning	Lav
39	Fugl	Rødnebbterne	LC	17%	Sjøoverflate	Landanlegg Rørledning	Lav
40	Fugl	Sildemåke	LC	17%	Sjøoverflate	Landanlegg Rørledning	Lav
41	Fugl	Hønehauk	NT		Land	Landanlegg Rørledning	Medium
42	Pattedyr	Oter	VU		Sjøoverflate/land	Landanlegg Rørledning	Høy
43	Kulturminne	Kulturminner			Land	Landanlegg Rørledning	

*I havmiljø er det innenfor 10*10km ruter beregnet % miljøverdi for den enkelte ressurs.

4.4 Miljøressursbeskrivelse

4.4.1 Sjøbunn

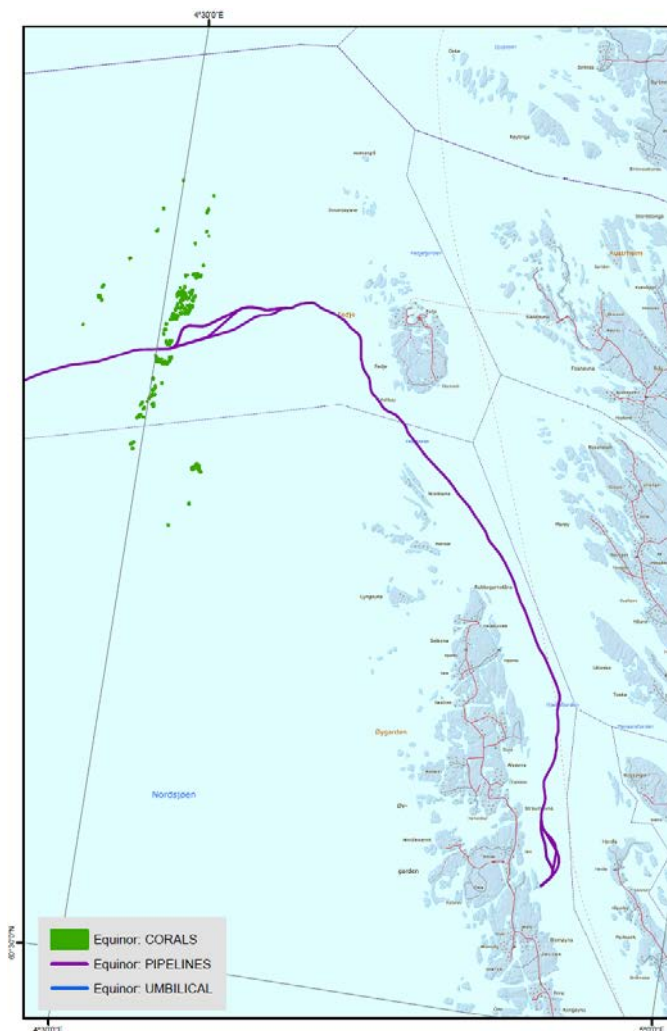
Koraller

Mareano/HI har rapportert fire korall-observasjoner vest for Fedje. I forbindelse med planlegging og utbygging rørlednings-traséene for Johan Sverdrup er det gjennomført kartlegging av korallforekomstene vest for Fedje (Figur 4-3). Et stort antall korallstrukturer er lokalisert innenfor undersøkelsesområdet og videre klassifisert ihht. «Monitoring of drilling activities in areas with presence of cold water corals» (DNV 2013). Flere av korallstrukturene består av levende steinkorall (*Desmophyllum pertusum*) i god forfatning samt områder med høy tetthet av sjøtrær (*Paragorgia arborea*) og andre hornkoraller som sammen danner harbunnskorallskog. Begge artene og naturtypene er klassifisert til kategori nær truet (NT) i rødlisten for arter og naturtyper. Dersom undersøkelsesområdet utvides kan det ikke utelukkes ytterligere funn av koraller.

Det er ikke mange kjente korallforekomster i eller utenfor Hordaland og de kartlagte strukturene vurderes til å ha regional betydning. Sammen med rødliste-vurderingene settes verdien i denne sammenheng til «Medium» for begge arter og naturtyper.

Flatøster

Flatøsters (*Ostrea edulis*) er registrert som «nært truet» i rødlisten Flatøsters er en gruntvannsart som lever på sandbunn ned til noen få meters vandndyp. Den krever relativt høye sommertemperaturen for reproduksjon og er derfor vanligst i grunne beskyttede poller. I så måte er den forventet og finnes innenfor planområdet for landanlegget i Kobbavågen samt i poller i Hjeltefjorden (Rådgivende Biologer, 2017). Flatøsters er i denne vurdering klassifisert til «medium» verdi.



Figur 4-3 Rørledningstrase og kartlagte koraller vest for Fedje

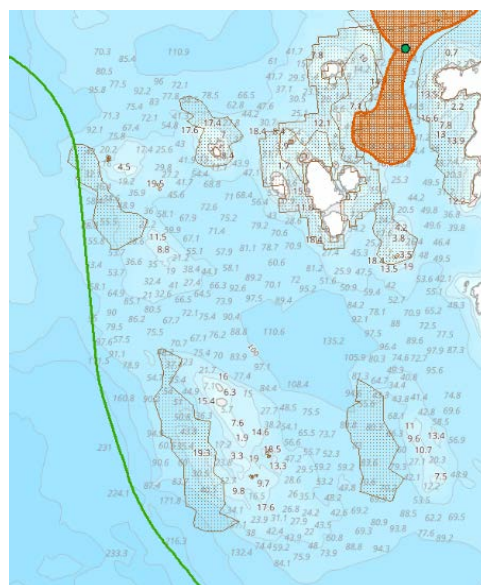
Skjellsand og kamskjell

Det er vest av Fedje og i nærheten av landanlegget registrert flere skjellsandforekomster klassifisert i naturbase som «Viktig». Utover dette er det forventet å finne skjellsandforekomster langs kystlinjen av Sotra, Øygarden og Fedje. Skjellsand som habitat er ikke rødlistet, og er på bakgrunn av dette tilordnet verdi «lav» i denne analysen. Kamskjell (*Pecten maximus*) har størst utbredelse i områder med skjellsand og spesielt i områder der vannutskiftningen er god ned mot 50m dyp. I rødlisten er kamskjell vurdert til å være livskraftig (LC) og er derfor her inkludert i «lav» kategori.

Tareskog

Det er vest av Fedje flere tareskogforekomster klassifisert i naturbase som «Viktig» (Figur 4-4). Utover dette er det forventet å finne tareskogforekomster på hardbunn langs eksponert kyst i Sotra, Øygarden og Fedje ned til ca. 30m dyp. Tareskog som habitat er ikke rødlistet, men fingertare (*Laminaria digitata*) og sukkertare (*Saccharina latissima*) er begge rødlistet i kategori livskraftig (LC). Som forventet er det også i nærheten til landanlegget registrert sukkertare og tareskog forekommer i og rundt Ljøsøybukta (Rådgivende Biologer, 2017), se Figur 4-7.

På generelt grunnlag er tareskog et viktig habitat med spesiell betydning for livshistorie stadier av arter, biologisk produktivitet og biologisk mangfold. På bakgrunn av dette er tareskog i denne analysen inkludert og tilordnet verdi «lav»



Figur 4-4 Tareskogforekomst i naturbase vest for Fedje (skraverte polygoner). Grønn linje er rørlednings-traséen.

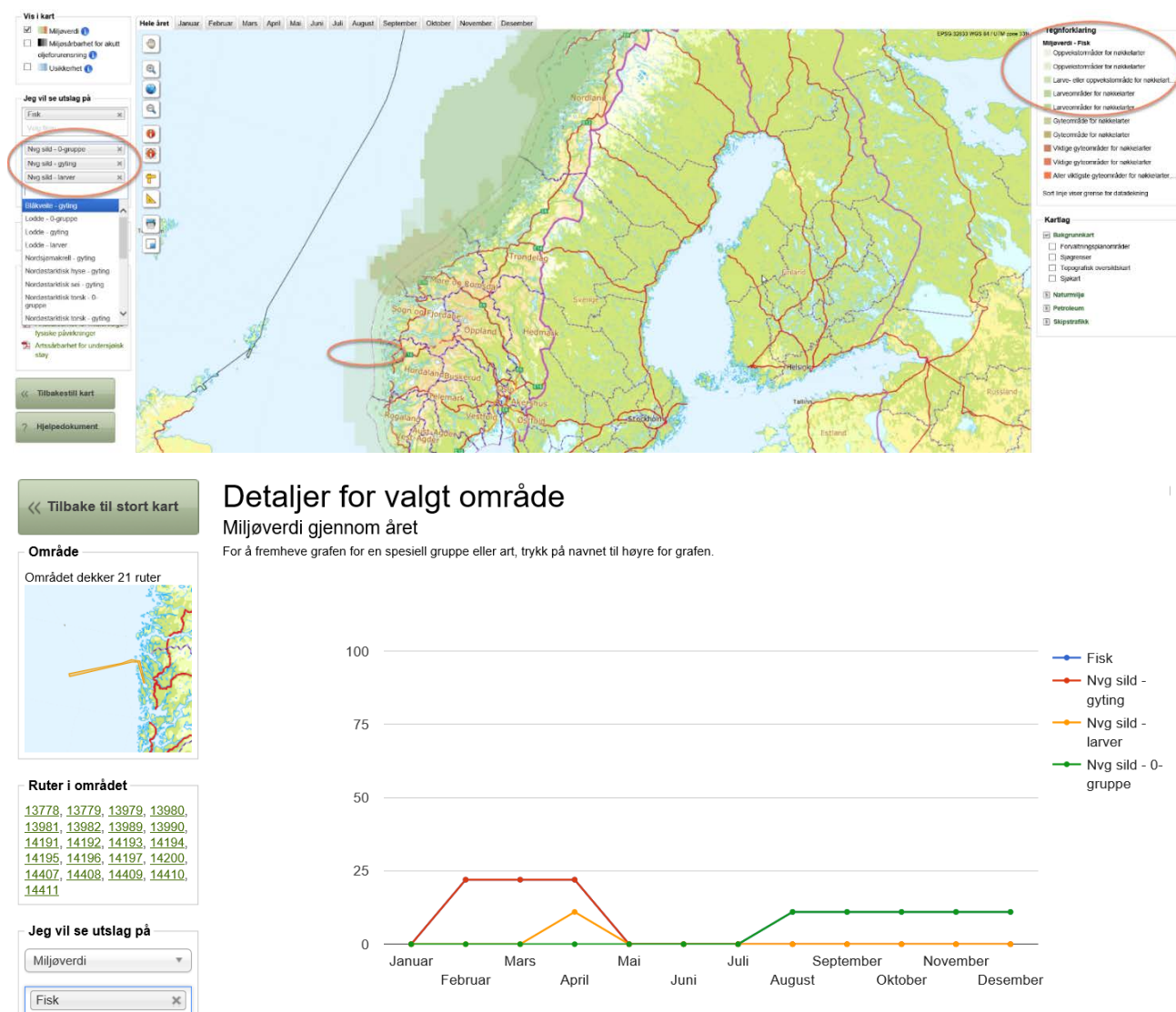
Rekefelt

To rekefelt er lokalisert utenfor Ljøsøybukta, henholdsvis i nordlig og sørlig retning (Figur 4-12). Reke (*Pandalus borealis*) er i rødlisten kategorisert som livskraftig (LC), og er derfor i denne sammenheng tilordnet verdi «lav».

4.4.2 Vannkolonne

Sild

De identifiserte ressursene i vannkolonne er Norsk vårgytende sild (NVG sild, gyting, larver og 0-gruppe). Høyeste verdi i havmiljø.no for sild innenfor det valgte området er <25% med utslag på biologisk produktivitet, sjeldenhet og livshistorisk viktige områder (Figur 4-5). Sild er i rødlisten klassifisert i kategori LC (livskraftig), og forekomsten er vurdert til lokal betydning. Sild er for området tilordnet en «lav» miljøverdi og det er ikke differensiert for sesong.



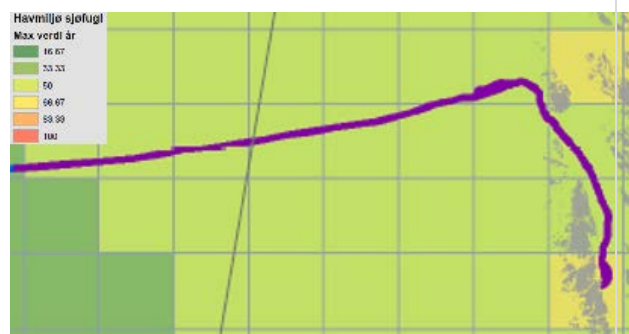
Figur 4-5 Kartutsnitt fra havmiljø.no for miljøverdi av NVG sild

4.4.3 Sjøoverflate – fugl

Totalt er det 27 fuglearter som er verdsatt innenfor området for landanlegget, rørledningen, og/eller reservoaret. I havmiljø.no har dataene en oppløselighet på 10*10km per måned for hver enkelt art, mens det i naturbase er angitt med stor nøyaktighet kystnære hekke- og oppvekstområder for de ulike artene. I «verdivurderingene» her er det ikke tatt høyde for sesongvariasjon slik at den høyeste verdien uavhengig måned er benyttet, og det ene datasettet er ikke gitt prioritet fremfor det andre.

I reservoarområdet er det kun to arter, lomvi og havhest som er identifisert og begge er tilordnet «høy» verdi grunnet henholdsvis «truet» og «sterkt truet» rødliste kategorisering.

Øvrige arter som er tilordnet «høy» verdi er lunde, makrellterne, sjøorre, og teist. De øvrige fugleartene er tilordnet medium og lav verdi.



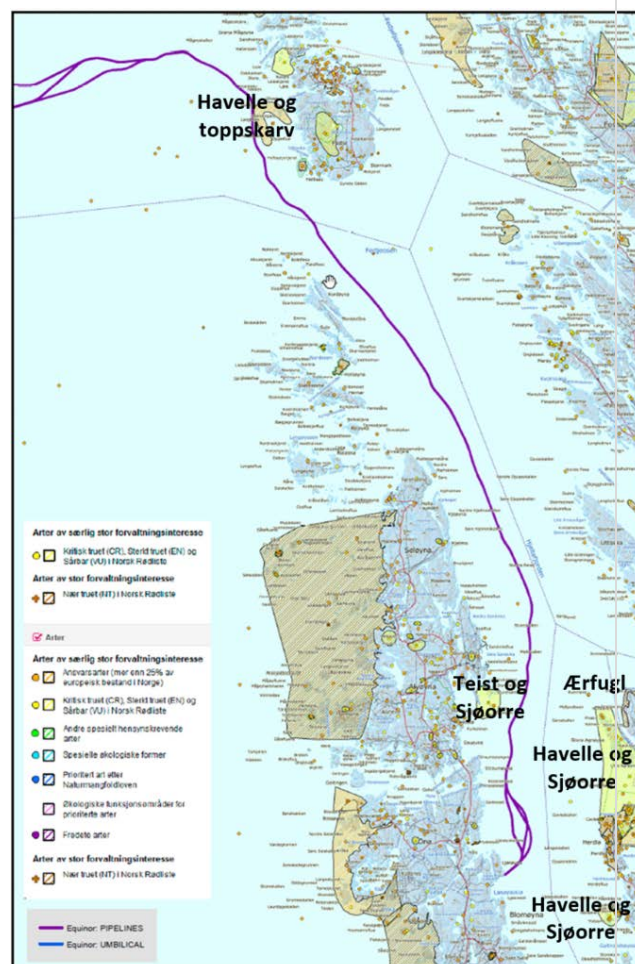
4.4.4 Planområdet for landanlegget

Innenfor planområdet er det kystlandskap med fattig vegetasjon, lynghei, myr og furu som dominerer (Rådgivende biologer, 2017). Fjæresonen er primært hardbunn og habitat for tradisjonelle tang- og tarearter (Figur 4-7). I området er det en stor forekomst av kamskjell. De flate områdene av sjøbunnen består av skjellsand. Fjære- og sjøsonen er modifisert i Ljøsøybukta og delvis i Ljøsøysundet fra eksisterende næringspark.

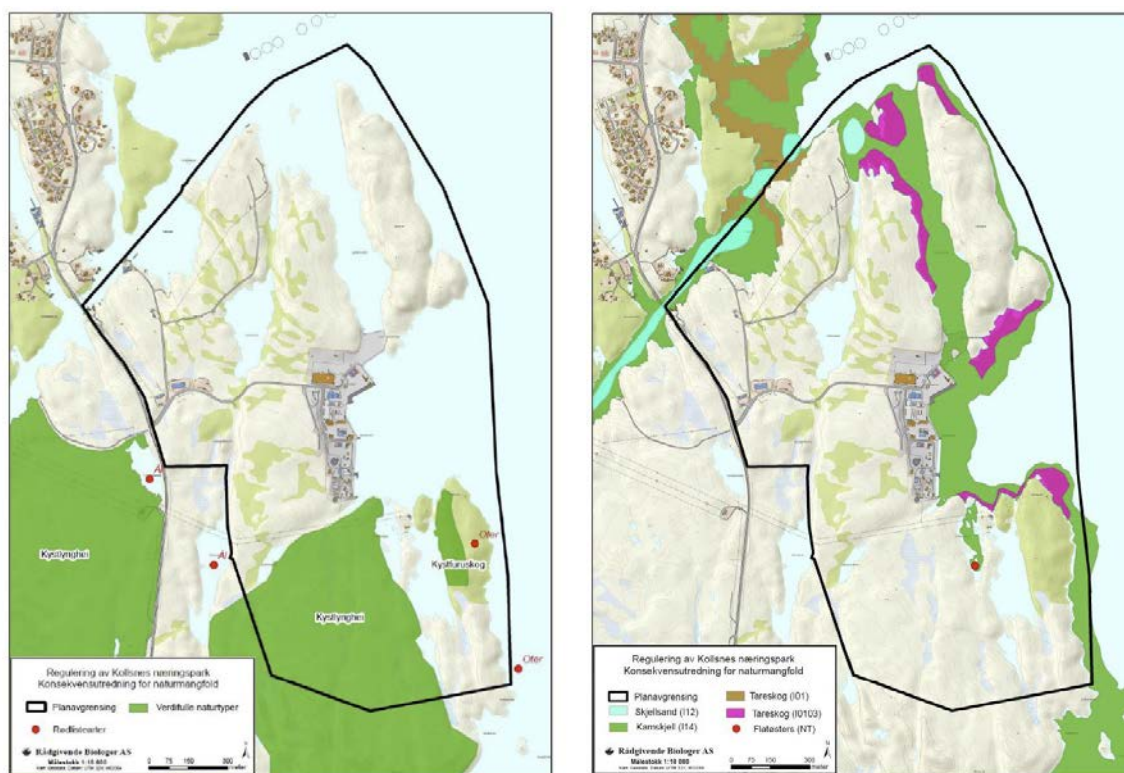
Når det gjelder rødlistearter innenfor planområdet er det observert ærfugl (Nær truet), krykkje (Sterkt truet), svartand (Nær truet), gulnebbblom (Nær truet), og hønsehauk (Nær truet) (Rådgivende Biologer, 2017). Av disse artene er ærfugl, hønsehauk og oter observert på Ljønset. Det er to kolonier av henholdsvis ærfugl og fiskemåke (Nær truet) som ligger nordøst for selve anlegget. Den nærmeste kolonien (ærfugl) er lokalisert i underkant av 1,5 km fra anlegget mens den andre er 1,8 – 2,0 km unna.

Flere otere er observert rundt og i nærheten av Ljøsneset. Ål er registrert i to av vannene umiddelbart vest for planområdet.

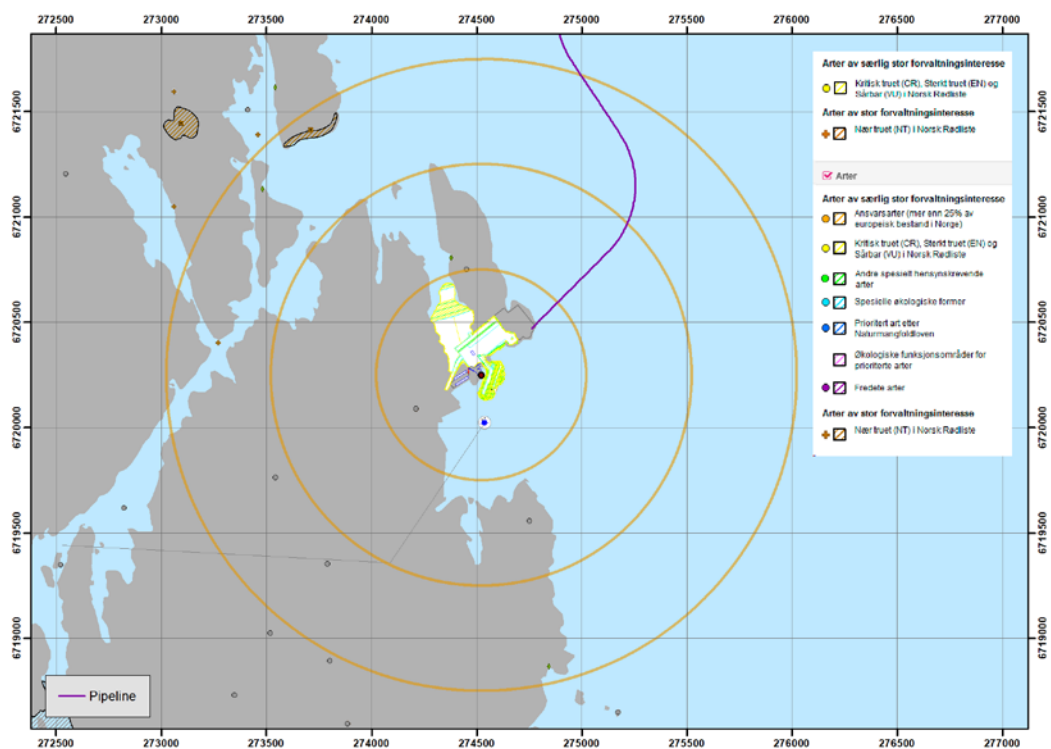
Det understrekes at studien er gjennomført på opprinnelig skissert planområde. Området ble ved andregangsbehandling redusert, noe som innebærer at ressursbeskrivelsen dekker et større område enn det som er gjeldende planområde.



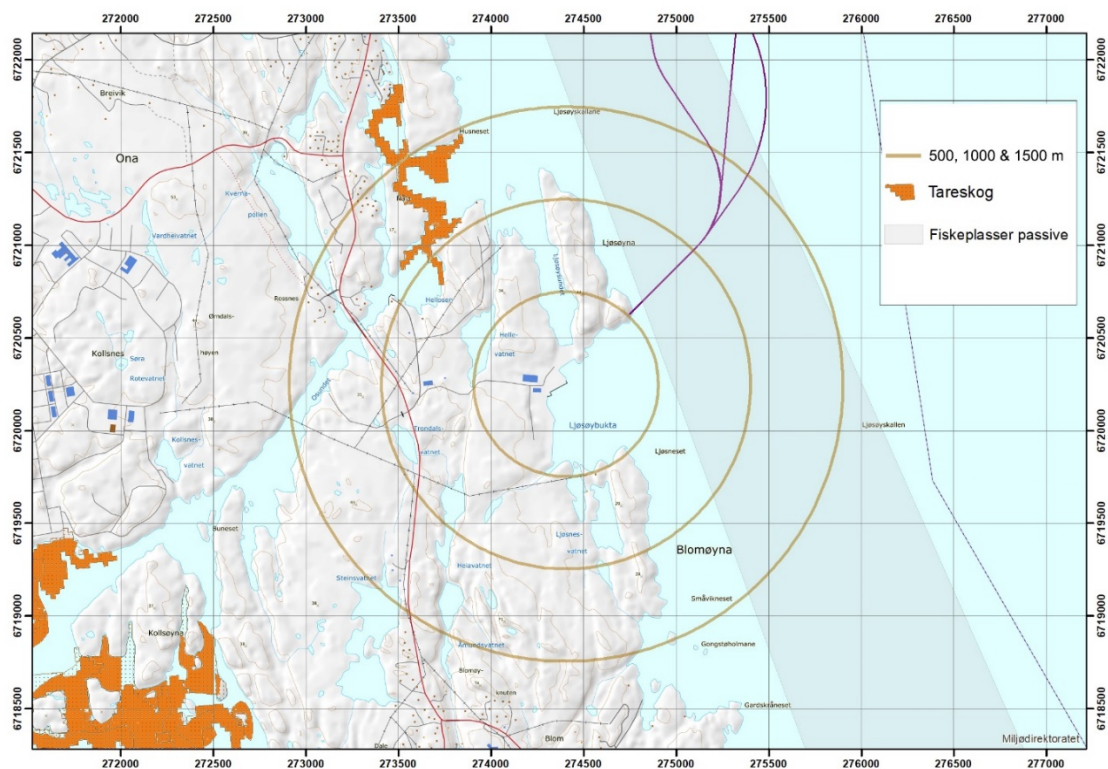
Figur 4-6 Forekomst og viktige områder for fugl innhentet fra havmiljø.no (øverst) naturbase.no (nederst)



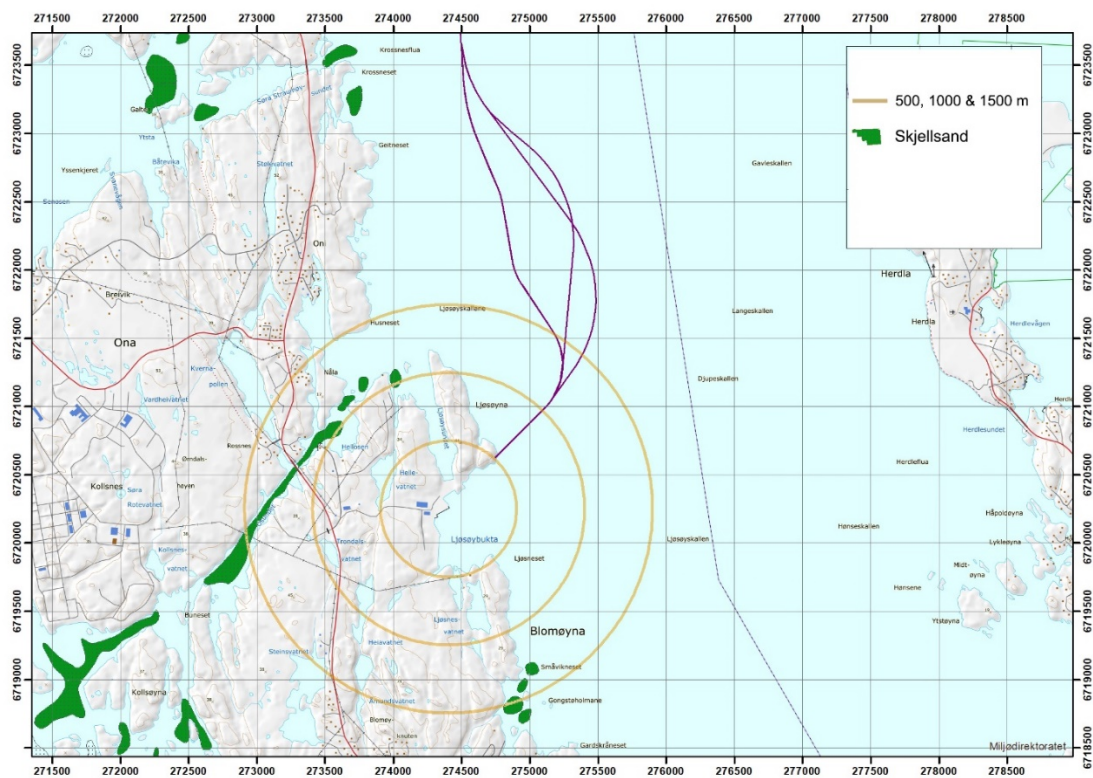
Figur 4-7 Ressursdata innenfor opprinnelig planområdet (planområdet er redusert nå); Terrestrisk og rødliste art (oter) (venstre), marine og rødliste art (flatfisters) (høyre) (Rådgivende biologer, 2017 / Rambøll, 2018)



Figur 4-8 Rødlistearter i nærheten av CO₂ lagringsanlegg. Sirklene markerer avstand fra anleggets mottaksanlegg; 500 m, 1 000 m og 1 500 m. Rødliste fuglearter markert i ytterkant og utenfor ytterste sirkel er henholdsvis ærfugl og fiskemåke kolonier



Figur 4-9 Tareskog og fiskeplasser med passive redskaper i nærheten av CO₂ lagringsanlegg. Sirklene markerer avstand fra anleggets mottaksanlegg; 500 m, 1 000 m og 1 500 m



Figur 4-10 Forekomster av skjellsand i området rundt Northern Lights lagringsanlegg for CO₂. Sirklene markerer avstand fra anleggets mottaksanlegg; 500 m, 1 000 m og 1 500 m

4.4.5 Kulturminner

I planområdet er det registrert flere kulturminner (Figur 4-11). Av de 14 fredet kulturminnene er det 13 steinalder lokaliteter, med funn fra bosetning- og aktivitetsområde, og en gravplass på Ljøsøyna fra jernalderen. Kulturminner er ikke tilordnet miljøverdi.

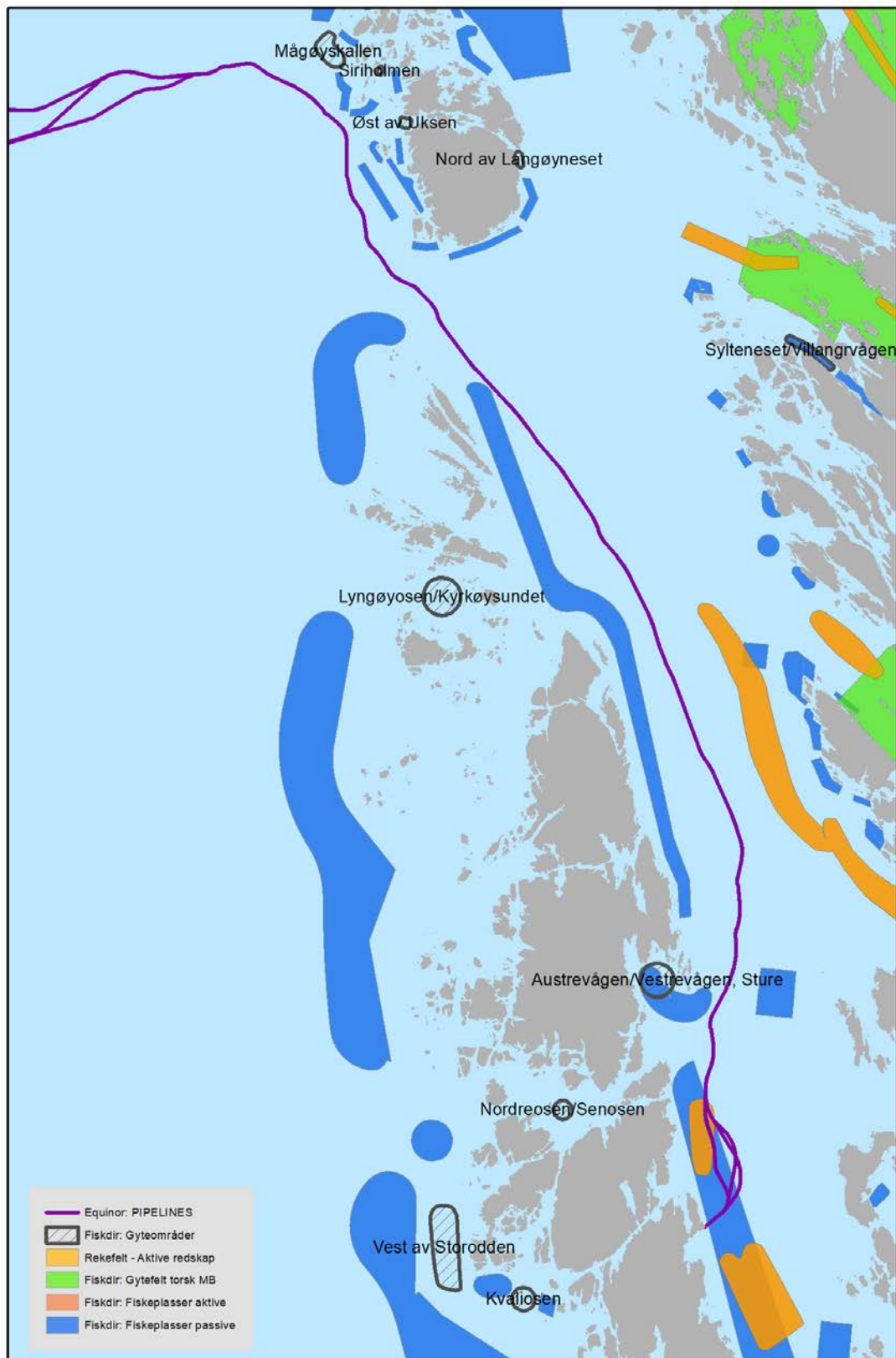
Som understrekt i kapittelet over (4.4.4) er gjeldende planområde redusert i forhold til opprinnelig plan. Dette innebærer at innenfor det nye området er det færre kulturminner enn hva som er beskrevet i denne rapporten.

4.4.6 Annet

I tillegg til fiskeplasser for aktive og passive redskaper er det lokalisert tre oppdrettslokaliteter i området; ett landbasert anlegg og to matfiskanlegg, henholdsvis nord og sør for Ljøsøybukta (Figur 4-12).



Figur 4-11 Avgrensning av planområdet med tilhørende kulturminner (Kulturhist. Reg. HFK, 25/2017/ Rambøll, 2018)



Figur 4-12 Registrerte rekefelt og fiskeplasser i Hjeltefjorden

5 PÅVIRKNING FRA RESERVOAR, RØRLEDNING OG LANDANLEGG PÅ MILJØ

5.1 Påvirkning av CO₂ på Havmiljøet

Økt CO₂ kan påvirke marine arter i varierende grad. Fotosyntetiske alger og sjøgress kan ha nytte av høyere CO₂-forhold mens forkalkede arter som muslinger, kråkeboller, kaldevannskoraller og kalkholdig plankton kan bli negativt påvirket. Noen utvalgte og relevante arter og grupper identifisert i EBSA kartleggingen er diskutert under.

CO₂ reagerer med vann og karbonationer for å skape karbonsyre. Forhøyede CO₂-nivåer reduserer konsentrasjonen av karbonationer. Skjell av mange marine organismer er laget av kalsiumkarbonat, som har to hovedformer: kalsitt og aragonitt.

Begge mineralene oppløses ved lave karbonat-ionkonsentrasjoner, med mindre kalsifiserende organismer har utviklet mekanismer for å forhindre oppløsning. Slike strategier kan eksempelvis være beskyttende lag eller andre midler for å isolere karbonatstrukturer fra eksponering mot korrosivt vann. Aragonitt, som er dannet av koraller, ved de første stadiene av mange bløtdyr, og av noen voksne bløtdyr (inkludert pteropoder), er mer løselig enn kalsitt, som er fremstilt av kokolitoformer, foraminiferer, pigghuder og krepsdyr.

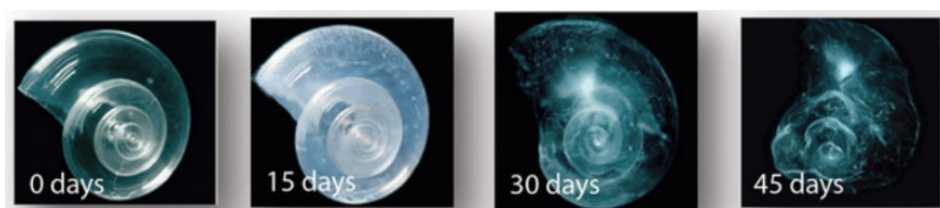
Når CO₂-innholdet i vannet øker, blir det mindre karbonat, som er en viktig byggekloss for mange marine dyr og alger som bygger kalkhus eller skjelett. Både blant dyr og alger finnes grupper som danner skall som hovedsakelig består av kalk (CaCO₃). Blåskjell, rur, strandsnegl og kråkeboller, samt kalkalger danner årvisse oppblomstringer for eksempel i Barentshavet og i norske fjorder. Dyreplankton med kalkskall inkludere foraminiferene og pteropodene (vingesnegl), som er viktige aktører i næringskjedene. Løseligheten av kalk er avhengig av pH, trykk og temperatur.

5.1.1 Blåskjell, Østers og andre skalldyr

Skalldyr er veldig sensitive for forsuring, og målt som reduksjon i skallvekst er det vist at økende forsuring fører til redusert veksthastighet og redusert størrelse på voksne dyr. I tillegg er det en sterk negativ effekt av forsuring på reproduksjons stadier hos en rekke kommersielle skalldyrarter (SFT 2010).

5.1.2 Vingesnegler (Pteropoder)

Vingesneglene spiller en betydelig rolle i marine næringsnett, særlig på nordlige breddegrader. Vingesnegl er mat for mange fiskeslag inkl. laks, sjøfugl og marine pattedyr. Dersom vingesnegl i et større område er negativt påvirket, kan hele næringskjeder bli rammet. Bildene viser hvordan en pteropods skall oppløses på pH 7.75 (NOAA 2019).



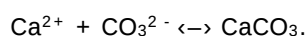
5.1.3 Koraller

Langs norskekysten finnes det rikelig med kaldevannskoraller. Dette er svært saktevoksende strukturer og noen antas å være flere tusen år gamle. Korallene er viktige økosystemer, som sørger for mat og levested

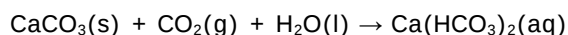
for mange andre marine arter. Revstrukturen består av et øvre lag med levende polypper, mens den nederste delen består av døde koraller. Det er den døde delen av revet som er potensielt spesielt følsomme for CO₂ endringer. Revstrukturen kan løses opp på grunn av karbonatunderskudd, som kan føre til at revstrukturer kollapse.

Bunntråling, olje- og gassaktivitet og forsurening av havet antas å representere de største globale truslene for kaldtvannskoraller (Roberts et al. 2006). Mesteparten av forskningen på effekter av forsurening er tilknyttet global oppvarming, men kan til en viss grad appliseres på punktutslipp av CO₂ fra CCS.

Skjelettet til kaldtvanns-koraller er bygget av kalsiumkarbonat og økte konsentrasjoner av CO₂ i vannsøylen reduserer potensialet for danning av kalsiumkarbonat da det påvirker metningsgraden (Ω). Metningsgraden er ett mål på hvor stabile kalkmineralene er. Ved metningsgrader < 1 (undermetning), kan mineralet begynne å løse seg opp.



$$([\text{Ca}^{2+}] \times [\text{CO}_3^{2-}]) / [\text{CaCO}_3] = \Omega$$



Metningstilstanden varierer med dybde, saltholdighet og temperatur, og i tillegg er det variasjon mellom ulike kalkmineraler; steinkoraller som *D. pertusum* er oppbygget fremst av aragonitt som er mer løselig en kalsitt som f.eks. hornkoraller som *Paragorgia arborea* er bygget av. Dybden hvor vannet går fra overmetning til undermetning er for aragonitt kjent som «the aragonite saturation horizon» (ASH). Dybden hvor ASH inntreffer blir stadig grunnere og det er estimert at 70% av verdens kaldtvannskoraller kommer til å leve under ASH ved år 2099 (Guinotte et al., 2006)

Ved senket pH har korallene mindre tilgjengelige karbonationer til å danne skjelettet, og en reduksjon i vekstraten til koraller er påvist i flere studier om havforsuring. Kaldtvannskoraller lever under forhold som er grenser til undermetning og kan være sensitive for små endringer i pH. Maier et al. (2009) har i forsøk på *D. pertusum* målt en reduksjon i vekstrate på 29 respektive 55% ved en senkning av pH med 0,15 respektive 0,3 enheter (Reduksjons av Ω_a fra 1,9 til 1,4 respektive 1,0). Korallene hadde fortsatt positiv tilvekst til tross for nær undermetning og det er vist at dypvanns koraller kan tåle og til vis grad anpasse seg til undermetning ($\Omega > 1$) (Hennige et al, 2015). I revstrukturen til *D. pertusum* finner man levende polypper kun i de ytterste 10-30 centimeterne, innenfor består revet av døde skjelett strukturer, uten noe beskyttende coenosarc. Hennige et al., har vist at ved langtidseksponering (12 måneder) av undermettet saltvann (pH 7,78) kan den døde delen av revet løses opp og svekkes hvilket kan innebære irreversible skader.

Effekter fra ett potensielt utslipp av CO₂ på koraller er først og fremst avhengig av eksponeringstid og konsentrasjon men også av den aktuelle metningsgraden. Det er ikke kjent i hvor lave pH verdier dypvanns koraller kan overleve.

5.1.4 Hoppekreps

Raudåte utgjør opptil 90 prosent av næringsgrunnlaget i nordlige havområder, og spises av både fisk og bardehval. Skallet er hovedsakelig laget av organisk materiale samt kalsiumkarbonat som herdende faktor. Forskning viser en negativ effekt av pH reduksjon på flere hoppekreps-arter ved eksempelvis påvirkning på egg klekking hos *Calanus glacialis* og *Centropages typicus* (henholdsvis pH 6.9 og pH 6.71) (Weydmann mfl., 2012, McConville mfl., 2013).

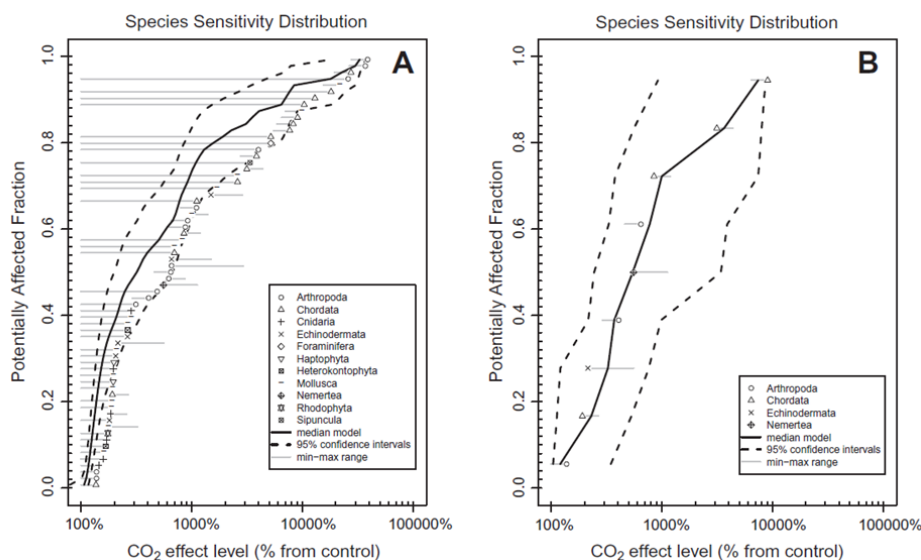
5.1.5 Pigghuder

Pigghudene mangler oksygentransporterende pigment, har dårlig evne til ioneregulering og er avhengige av aragonitt i skallet både som voksne og som juvenile. Alle disse egenskapene gjør denne gruppen sårbar for forsurening, og for en art er øket dødelighet både hos voksne individer og på larvestadiet rapportert (SFT 2010). Dødeligheten på *Ophiothrix fragilis* økte sterkt ved pH 7,7 (Dupont mfl., 2008)

5.1.6 Økosystemeffekter

En teknikk som er mye brukt for økologisk risikovurdering av giftstoffer er artens følsomhetsfordeling (Species Sensitivity Distribution, SSD). Dette er nylig brukt til ikke-toksiske stressorer. I utgangspunktet er SSD-en den statistiske fordelingen av artenes sensitivitet, vanligvis uttrykt som 'chronic no observed effect concentration' (NOEC - kronisk ikke observert effektkonsentrasjoner) for en bestemt giftig forbindelse for flere representative arter. En SSD kan brukes både til å utlede forutsagte null-effektkonsentrasjoner (PNEC), og å estimere potensielt berørt fraksjon (PAF) av arter som skyldes et bestemt eksponeringsnivå.

De Vries m fl, 2013 vurderte publisert forskning av effekt av økt CO₂ på 67 marin taksa, for å utføre en marine økologisk risikovurdering av forhøyede CO₂ nivåer ved bruk av SSD. På figur under representerer for eksempel et av punktene et sensitivitetseksperiment (Melnzer et al, 2009) på svømmingsevner av Atlantisk Torsk, *Gadus morhua*, eksponert på en pH av 7.01±0.03 for 132 dager. CO₂ effektnivå i dette tilfelle er 1011 % av kontrollverdi (kontroll pH var 8.01±0.08). SSDen kan brukes kun på en indikativ måte pga begrensninger i eksperiment oppsett, men kurven indikerer at på en 1000 % CO₂ effekt nivå over flere dager, er 60 % av hele marinsamfunn på noen måte påvirket.



Figur 5-1 Species Sensitivity distributions av CO₂-effektnivåer uttrykt som prosent av CO₂-nivået i kontrollen (satt til 100 %). Svarte linjer viser medianen og 95% konfidensintervall for bootstrapping-modellen. Horisontale grå linjer indikerer det forventede minimums- og maksimumsintervallet for "ekte" konservative endepunkter SSDene er basert på det komplette datasettet (A) og et begrenset datasett (B) (de Vries mfl, 2013)

5.2 Påvirkning av CO₂ på landlevende ressurser

For CO₂ utslipp til luft så angir Tabell 8-2 hvilke effekter konsentrasjonsnivå og eksponeringstid har for mennesker (Environmental Protection Agency, 2009). Volumkonsentrasjoner over 17 %, i kort periode, forårsaker død hos mennesker. Ved lavere konsentrasjoner, eksempelvis 4 volum % kan ubehag i form av hodeverk, svimmelhet og pustevansker forekomme etter noen minutters eksponeringstid.

Tabell 5-2 Effekt av CO₂ eksponering som funksjon av konsentrasjon og eksponeringstid (Environmental Protection Agency, 2009)

Carbon Dioxide Concentration (Percent)	Time	Effects
17 - 30	Within 1 minute	Loss of controlled and purposeful activity, unconsciousness, convulsions, coma, death
>10 - 15	1 minute to several minutes	Dizziness, drowsiness, severe muscle twitching, unconsciousness
7 - 10	Few minutes	Unconsciousness, near unconsciousness
	1.5 minutes to 1 hour	Headache, increased heart rate, shortness of breath, dizziness, sweating, rapid breathing
6	1 - 2 minutes	Hearing and visual disturbances
	≤16 minutes	Headache, dyspnea
	Several hours	Tremors
4 - 5	Within a few minutes	Headache, dizziness, increased blood pressure, uncomfortable dyspnea
3	1 hour	Mild headache, sweating, and dyspnea at rest
2	Several hours	Headache, dyspnea upon mild exertion

Effekter av forhøyede CO₂ konsentrasjoner har også blitt registrert av National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)

(https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/carbon_dioxide#section=NIOSH-Toxicity-Data). I tillegg til noen referanser på mennesker så inkluderer listen rotte, mus og kanin. Referansene er innhentet i tidsrommet 1933 – 2009. Når det gjelder konsentrasjonsnivåer for å observere fysiologiske effekter er det store variasjoner i materialet. En del av forklaringen skyldes at eksponeringstid ikke er oppgitt i alle tilfellene. For mus anses en konsentrasjon på 18-20 % CO₂ over 20 min eksponering å være dødelig (p_L=50). Ved lavere konsentrasjoner er eksempelvis respirasjonsproblemer, endringer i blodsammensetning, hodepine (menneske), adferdsendring (menneske) og reproduktive effekt (rotte, mus og kanin) observert. I de fleste tilfellene er eksponeringstid over 1 time, der dette er oppgitt.

Forhøyede CO₂ konsentrasjon over lengre tid kan føre til et skifte i nitrogen-karbonforholdet i planter/trær. Dette gir planteetere økt karbohydratinntak og redusert protein per plante. Studien som disse resultatene er hentet fra varte i 9 år (1996 – 2004) (Stiling & Cornelissen, 2007). I inneværende studie er det vurdert akutte, kortvarige utslipp og en eventuell eksponering anses derfor ikke å ha noen effekt på vegetasjonen i området.

5.3 Påvirkning av marin diesel på miljø

Marin diesel olje (MDO) er et lett destillert petroleumprodukt. Lette hydrokarboner er relativt vannløselige og flyktige, og vil raskt etter et utslipp fordampe og blandes ned i vannmassene hvor de etter kort tid løses opp og fortynnes. Generelt er lette hydrokarboner ansett som mer akutt toksiske enn tunge hydrokarbonkomponenter, da de inneholder monoaromatiske hydrokarboner (benzen, toluen og hylen) som er lettopptakelige for organismer. Men de er samtidig svært flyktige og vil forvitte/fordampe raskt, slik at eksponeringstiden blir kort. Kvelning kan forekomme som en akutt konsekvens, grunnet fordampningsprosessen.

5.4 Påvirkning av LNG på miljø

Liquefied Natural Gas (LNG) består primært av metan og etan og med et mindre innslag av propan. I tillegg kan fraksjoner av iso-butan, normal-butan, pentaner, heksaner, tyngre hydrokarboner (C6+) og nitrogen forekomme (andelen av disse komponenter utgjør <1 volum % av blandingen). LNG fordamper raskt men kan ved høy-dose eksponering føre til pustesvær, svimmelhet, hodepine, oppkast, besvimelse og død hos mennesker. Direkte kontakt med væske eller gass under trykk vil forårsake frostskafer. LNG er ekstremt brannfarlig og kan forårsake brann/eksplosjon innenfor spredningsområdet.

6 MILJØRISIKOVURDERING AV LAGRING AV CO₂ I EL001

6.1 Formål

Denne arbeidspakken omfatter miljørisikovurdering av relevante CO₂-lekkasjescenarier relatert til lagring av CO₂ i Dunlingruppen i EL001. Dette arbeidet innebærer:

1. identifisering av relevante CO₂-lekkasjescenarier (som innebærer miljørisiko),
2. bestemmelse av mulige lekkasjerater for CO₂ for disse scenariene, og
3. vurdering av miljøkonsekvensen som følge av potensiell lekkasje av CO₂.

Dette vil da bli brukt, sammen med lekkasjesannsynligheter for de respektive scenariene, til å etablere en miljørisikomatrix og å bestemme miljørisiko for relevante scenarier.

6.2 Metode

For å etablere enighet med NL prosjektet om punktene i listen under kapittel 6.1 ble det organisert en workshop med deltagere fra NL prosjektet og DNV GL på Høvik 03.04.2019 med følgende agenda:

- Diskutere føringer for identifisering av relevante scenarier: Terskelverdier, tidshorisont, m.m.
- Presentere identifiserte mulige lekkasjeveier og semi-kvantitativ risikovurdering av lekkasjescenarier fra «EQU-02-R-01 Northern Lights (Aurora Complex) Subsurface Containment Bowtie Analysis, Issue 3.0», og diskutere eventuelle justeringer av den semi-kvantitative analysen.
- Gruppere lekkasjescenarier i konsekvensmatrix fra «EQU-02-R-01 Northern Lights (Aurora Complex) Subsurface Containment Bowtie Analysis, Issue 3.0» og bestemme hvilke grupper som skal tas med i miljørisikovurdering knyttet til CO₂ lekkasje, dvs. avgjøre hvilke scenarier kan ha en lekkasjerate som overstiger den bestemte terskelverdien innenfor den bestemte tidshorisonten for miljørisikoanalysen.
- Identifisere scenarier med mulighet for lekkasje av olje eller gass aktivert av CO₂-lekkasje, og bestemme innhold/konsentrasjon av olje/gass i CO₂ strømmen som skal legges til grunn.

På basis av resultatene fra denne workshopen gjorde DNV GL en vurdering av mulig miljøkonsekvens for hver av de relevante scenariene. Dette innebærer bl.a. at lekkasjeratene for CO₂ brukes til å bestemme influenssoner med pH-endringer som kan forårsake miljøskade.

Som en oppfølging av workshopen forberedte Northern Lights memoet «Input to The Environmental Risk Analysis (ERA)» med en oppsummering av oppdaterte lekkasjesannsynligheter og lekkasjerater for de identifiserte lekkasjescenariene basert på tidsrommet frem til 2070. Disse er gjengitt i Tabell 6-1, og har blitt lagt til grunn for miljørisikoanalysen for lagring av CO₂ i Aurora.

6.3 Førende betingelser

Både mulige lekkasjerater til sjøbunn og estimert sannsynlighet for at identifiserte lekkasjescenarier vil inntreffe er basert på rapporten «Input to ERA Memo mai 2019», med henvisning til supplerende informasjon i rapporten «Northern Lights (Aurora Complex) Subsurface Containment Bowtie Analysis, Issue 3.0». DNV GL har ikke utført en uavhengig vurdering av mulige lekkasjeveier og tilhørende lekkasjerisiko. DNV GL har heller ikke vurdert mulighet for lekkasje gjennom andre mulige lekkasjeveier, slik som brønner i Troll utover de fem forlatte letebrønnene som ble vurdert i «Northern Lights (Aurora Complex) Subsurface Containment Bowtie Analysis, Issue 3.0».

I workshop på Høvik 03.04.2019 og i påfølgende diskusjoner som ledet til utarbeidelse av «Input to ERA Memo mai 2019», ble Equinor og DNV GL enige om følgende føringer for miljørisikoanalysen.

- Miljørisikovurderinger blir gjort for havbunn og vannsøylen. Scenarier for lekkasje ut av lagringskompleks som ikke når havbunn er ikke relevant for miljørisiko, og blir derfor ikke vurdert.
- Relevante lekkasjescenarier må kunne medføre observerbar negativ miljøpåvirkning. Dette innebærer at det vil være en terskelverdi for signifikant lekkasjerate, hvor lekkasjer under den angitte raten ikke vil medføre signifikant (observerbar) negativ miljøpåvirkning.

For eventuell CO₂-lekkasje ble det besluttet følgende:

- Hvis EBSA kartleggingen viser at spesielt sårbare fauna eller habitat *ikke* overlapper med areal på havbunn hvor lekkasje av CO₂ fra lager potensielt kan nå havbunn, så settes denne terskelverdien for signifikant lekkasjerate til 50 kgCO₂/m² per dag. Denne terskelverdien er satt basert på miljørisikoanalysen for Sleipner utført av DNV GL som del av ECO₂ prosjektet⁴. I denne analysen ble det definert et «worst-case»-eksempel med lekkasje via en «gas-chimney». Fotavtrykket på havbunnen til eksemplet som ble analysert var en disk med diameter på 50 m, og CO₂-lekkasjeraten innenfor denne disken var ca. 50 kgCO₂/m² per dag. Miljøkonsekvensanalysen viste at denne lekkasjeraten ga opphav til en neglisjerbar/lav negativ miljøpåvirkning. DNV GL har vurdert at denne miljørisikoanalysen også er representativ på generelt nivå i området over Aurora og Troll, og derfor at en lekkasjerate på 50 kgCO₂/m² per dag innenfor et tilsvarende begrenset område vil ha sammenlignbar miljøpåvirkning.⁵

⁴ DNV GL Report No. 2015-0173, *ECO2 Sleipner ERA*, 12.02.2015.

⁵ Terskelverdien på 50 kgCO₂/m² per dag understøttes også av analysen utført i Vielstädte, L., Linke, P., Schmidt, M., Sommer, S., Haeckel, M., Braack, M. and Wallmann, K.: *Footprint and detectability of a well leaking CO₂ in the Central North Sea: Implications from a field experiment and numerical modeling*, *Int. J. Greenh. Gas Con.* 84(2019), pp. 190-203. This paper indicates that leakage of 20 tonnes CO₂ per year (roughly 50 kgCO₂/day) from a single leakage point can have "potentially harmful impact", with pH change greater than 0,2, within an area of maximum 25m². They conclude that leakage at this level from a leaky well can only have harmful effects in the direct vicinity of the well.

- Hvis EBSA kartleggingen viser at spesielt sårbare fauna eller habitat overlapper med areal på havbunn hvor lekkasje av CO₂ fra lager potensielt kan nå havbunn, så vil terskelverdien for signifikant lekkasjerate vurderes spesielt basert på sårbarhet til pH-ending.

NL prosjektet har ikke gjort beregninger på potensielt innhold av hydrokarboner i ulike CO₂-lekkasjescenarier. Dette er relevant for lekkasjescenarier der migrasjonsbanen går via Sognefjord i Troll. Eventuelt innhold av hydrokarboner i CO₂-strømmen i de vurderte lekkasjescenariene er derfor ikke hensyntatt i miljørisikoanalysen.

- Miljørisikovurderinger gjøres for prosjektperioden hvor NL prosjektet vil være ansvarlig for miljøovervåking. Utnyttelsestillatelsen er basert på injeksjon i opptil 25 år, med planlagt oppstart i 2023. Etter endt injeksjon vil NL prosjektet være ansvarlig for risikostyring, herunder eventuell miljøovervåking, i ytterligere 20 år⁶. Vi tar derfor som utgangspunkt at prosjektperioden, fra injeksjon av CO₂ starter, til ansvar overføres til staten (eller bemyndiget enhet) er 45 år. I denne analysen legger vi derfor til grunn en prosjektperiode frem til 2070. Dette innebærer at kun lekkasjescenarier som kan medføre en observerbar negativ miljøpåvirkning før 2070 blir vurdert.
- Karakterisering av lager og utarbeidelse av konsept for CO₂-lagring i EL001 gjøres med utgangspunkt i at prosjektet vil utvides fra Fase 1, med 1 injeksjonsbrønn, til å omfatte 4 injeksjonsbrønner (av de scenarier evaluert i lekkasjestudien) med totalt injisert volum over 25 år på 100 millioner tonn. Dette utvidede konseptet har blitt lagt til grunn for lekkasjerisikovurderingene i NL prosjektet, og legges derfor også til grunn for miljørisikoanalysen.

6.4 Vurdering av mulige lekkasjescenarier

6.4.1 Lekkasjescenarier relevante for miljørisikovurderinger

Tabell 6-1 viser en oversikt over alle lekkasjescenariene som har blitt identifisert og vurdert som del av prosjektets vurdering av lekkasjerisiko, med tilhørende beregnet sannsynlighet for at lekkasje til sjøbunn langs den aktuelle lekkasjeveien kan inntreffe før 2070. Tabellen viser også beregnet maksimal lekkasjerate og antatt varighet av lekkasjen.

Dunlingruppen består av Johansen- og Cookformasjonene som utgjør reservoarbergartene for lagring samt Drakeformasjonen som representerer den primære forseglingen av lageret. Strukturelt over Dunlingruppen ligger Brent- og Vikinggruppene som igjen er overlappet med en ca. 2 km tykk sedimentpakke. Reservoaret i Troll, nord for EL001, ligger i Vikinggruppen

Åtte av lekkasjeveiene er forbundet med lekkasje til sjøbunn gjennom en brønn eller langs en brønnbane (scenarier b, c, d, e, g, h, i and l). De resterende lekkasjescenariene innebærer migrasjon til sjøbunn via en geologisk veibane (a, f, j, og k), dvs. gjennom takbergart og overliggende sedimentpakke og/eller langs en forkastningssone. For disse geologisk-veibane lekkasjescenariene vil CO₂ som migrerer oppover gradvis spre seg utover i flere geologiske lag og i forkastningssonen slik at det som eventuelt skulle komme til overflaten ville være fordelt over et stort areal. Ettersom den maksimale lekkasjeraten er vurdert å være <10 tonn CO₂ per dag (tCO₂/dag), har vi vurdert at det er veldig usannsynlig at man vil kunne få konsentrert lekkasje over den terskelverdien (50 kgCO₂/m² per dag) på noe sted for disse

⁶ Forskrift om utnyttelse av undersjøiske reservoarar på kontinentalsokkelen til lagring av CO₂ og om transport av CO₂ på kontinentalsokkelen (FOR-2014-12-05-1517), § 5-8. Ansvarsoverføring, punkt b) sier at overføring av «alle forpliktelser vedrørende overvåking og utbedrende tiltak i medhold av denne forskrift [...] til staten v/Olje- og energidepartementet eller den det bemyndiger» bare kan skje hvis «En minimumsperiode fastsatt av departementet eller den det bemyndiger er utløpt. Denne minimumsperioden skal ikke være kortere enn 20 år, med mindre departementet eller den det bemyndiger etter søknad fra operatøren før eller på dette tidspunkt er overbevist om at kravet ci bokstav a) er oppfylt før utløpet av denne perioden». I samsvar med EUs CCS Direktiv er denne minimumsperioden derfor satt til å nominelt være 20 år.

lekkasjescenariene⁷. Disse lekkasjescenariene blir derfor vurdert til å ha bare neglisjerbar miljøpåvirkning, og blir derfor ikke vurdert videre i miljørisikoanalysen nedenfor.

Alle lekkasjescenariene forbundet med migrasjon til sjøbunn gjennom brønn eller langs en brønnbane, bortsett fra lekkasjescenario c, er vurdert å ha en maksimal lekkasjerate på <1 tCO₂/dag. Dette betyr at terskelverdien på 50 kgCO₂/m² vil bli overskredet hvis lekkasjeområdet på sjøbunn er mindre enn 20m², som tilsvarer en disk med radius 2,5m. Disse lekkasjescenariene vil det være mulighet for, og de vil derfor bli vurdert videre i miljørisikoanalysen nedenfor. Dette gjelder også scenario c, som er angitt å ha en maksimal lekkasjerate på <10 tCO₂/dag.

Tabell 6-1: Identifiserte scenarier for potensiell CO₂-lekkasje til havbunn før 2070

	Scenario	Sannsynlighet	Lekkasje rate	Varighet
a	CO ₂ migrerer gjennom Drake takbergart via nordvest/sørøst forkastningssone, gjennom Brent- og Vikinggruppene, og gjennom Draupne takbergart over Aurora.	<1%	≤10 tonn/dag	≤ 100 år
b	Oppsprekking av Drake takbergart som følge av injeksjonstrykk – CO ₂ -migrasjon gjennom Brent- og Vikinggruppene	<1%	≤1 tonn/dag	≤ 1 år
c	CO ₂ -lekkasje via injeksjonsbrønner i injeksjonsperioden	<1%	≤10 tonn/dag	≤ 1 år
d	CO ₂ -lekkasje via bønnhoder etter injeksjonsperioden	<1%	≤1 tonn/dag	≤ 100 år
e	CO ₂ -migrerer fra brønn til overliggende sedimentpakke («overburden») i injeksjonsperioden	<1%	≤1 tonn/dag	≤ 1 år
f	CO ₂ migrerer vertikalt forbi Drake takbergart langs Svartalv forkastningen, og krysser til Draupne takbergart over Aurora.	<1%	≤10 tonn/dag	≤ 100 år
g	CO ₂ migrerer vertikalt under Drake takbergart i Aurora, for eksempel mot forkastningssoner i NW/SW, migrerer nordover mot Troll, og lekker ut av eksisterende brønn(er)	<1%	≤1 tonn/dag	≤ 100 år
h	CO ₂ migrerer nordover til Troll området gjennom Johansen/Cock formasjonene, passerer Svartalv forkastningen, og lekker ut av eksisterende brønn(er)	<1%	≤1 tonn/dag	≤ 100 år
i	CO ₂ migrerer nordover til Troll området gjennom Johansen/Cock formasjonen, og lekker ut av eksisterende brønn(er)	<1%	≤1 tonn/dag	≤ 100 år
j	CO ₂ migrerer gjennom Drake takbergart via nordvest/sørøst forkastningssone, og videre nordover i Vikinggruppen, og krysser takbergart over Troll.	<1%	≤10 tonn/dag	≤ 100 år
k	CO ₂ migrerer østover mot Tusse-forkastningen i Johansen/Cock formasjonene, og så videre vertikalt langs Tusse-forkastningen til havbunn.	<1%	≤10 tonn/dag	≤ 100 år
l	CO ₂ migrerer østover mot Tusse forkastningen gjennom Johansen/Cock formasjonen, og lekker ut av eksisterende brønn 31/6-1	<1%	≤1 tonn/dag	≤ 100 år

⁷ En total lekkasjerate på 10 tonn/dag tilsvarer uniform lekkasje på 50 kgCO₂/m² per dag innenfor en liten disk med kun 8m radius.

6.4.1 pH-endring som følge av CO₂-lekkasje

For CO₂-lekkasje er pH vurdert som en av de viktigste parameterne for miljørisikovurderinger i sjøen. For relevante lekkasjerater for CO₂-lagring i EL001, som beskrevet over, vil normalt all CO₂ være innblandet i vann innenfor en sone som strekker seg bare noen få meter opp fra havbunnen⁸. Modellering som var gjort i forbindelse med miljørisikoanalysen for Sleipner⁹ og av Vielstädt et al (2019)¹⁰ indikerer også at pH endringen er veldig lokal. I miljørisikoanalysen for Sleipner ble en pH-endringsprofil definert for uniform lekkasjerate på 50 kgCO₂/m² per dag i en disk med radius 25m (100 t/dag). I denne analysen ble pH-endringer over naturlig bakgrunnsvariasjon ble modellert å strekke seg 130m fra sentrum.

- pH-endring mellom -2 til -2.2 til 40m fra sentrum.
- pH-endring mellom -1.5 til -2.2 til 40-50m fra sentrum.
- pH-endring mellom -1.0 til -2.2 til 50-67m fra sentrum.
- pH-endring mellom -0.5 til -2.2 til 67-92m fra sentrum.
- pH-endring mellom -0.2 til -2.2 til 92-130m fra sentrum.

I henhold til konklusjonen fra kapittel 6.4.1 er alle lekkasjescenarier som er relevante for miljørisikovurderinger knyttet til mulig lekkasje gjennom brønn eller langs en brønnbane. På grunnlag av dette antar vi at lekkasjen vil skje med uniform rate per m² innenfor en disk med radius 8m for scenario c, og radius 2,5m for de øvrige scenariene. Dette kan betraktes som en konservativ antagelse ettersom en mer konsentrert lekkasje rundt brønnhodet vil normalt medføre mindre horisontal utbredelse på havbunnen.

Ettersom pH-endring også er direkte knyttet til mengde CO₂ som er oppløst i vann, og derfor direkte korrelert med total lekkasjerate, kan vi anta at pH-endring som funksjon av avstand fra brønn delt på radius på disk vil være den samme som for eksemplet brukt i miljørisikoanalysen for Sleipner. I disse tallene er det ikke tatt høyde for havstrøm, som vil føre til en raskere uttynning av CO₂ i vann, og redusere størrelsen på området med pH-endringer som kan medføre negativ miljøpåvirkning. Resultatene som fremkommer av å ikke ta høyde for havstrømmer kan derfor anses som konservative. Dette medfører at vi får følgende pH-endringssoner som funksjon av avstand fra brønn hvis total lekkasjerate er <10 tCO₂/dag.

- pH-endring mellom -2 til -2.2 til 13m fra sentrum.
- pH-endring mellom -1.5 til -2.2 til 13-16m fra sentrum.
- pH-endring mellom -1.0 til -2.2 til 16-21m fra sentrum.
- pH-endring mellom -0.5 til -2.2 til 21-29m fra sentrum.
- pH-endring mellom -0.2 til -2.2 til 29-42m fra sentrum.

For en brønn med total lekkasjerate er <1 tCO₂/dag får vi:

- pH-endring mellom -2 til -2.2 til 4m fra sentrum.
- pH-endring mellom -1.5 til -2.2 til 4-5m fra sentrum.
- pH-endring mellom -1.0 til -2.2 til 5-7m fra sentrum.
- pH-endring mellom -0.5 til -2.2 til 7-9m fra sentrum.
- pH-endring mellom -0.2 til -2.2 til 9-13m fra sentrum.

⁸ Se kapittel 4.8.2 i IEAGHG Review of Offshore Monitoring for CCS Projects, 2015/02, July, 2015 og Vielstädt, L., Linke, P. Schmidt, M., Sommer, S., Haeckel, M., Braack, M. and Wallmann, K: Footprint and detectability of a well leaking CO₂ in the Central North Sea: Implications from a field experiment and numerical modeling, Int. J. Greenh. Gas Con. 84(2019), pp. 190-203.

⁹ DNV GL Report No. 2015-0173, ECO2 Sleipner ERA, 12.02.2015.

¹⁰ Vielstädt, L., Linke, P. Schmidt, M., Sommer, S., Haeckel, M., Braack, M. and Wallmann, K: Footprint and detectability of a well leaking CO₂ in the Central North Sea: Implications from a field experiment and numerical modeling, Int. J. Greenh. Gas Con. 84(2019), pp. 190-203.

6.5 Miljørisikovurdering

De eneste scenariene som er vurdert å ha mulighet til å skape negativ miljøkonsekvens, gitt at lekkasjen skjer i et område med sårbar arter eller habitat, er b, c, d, e, g, h, i, og l (Tabell 6-1). Eventuell miljøkonsekvens vil i disse scenarioene være svært lokal rundt toppen av brønn ved sjøbunnen. Verdiene beskrevet i kapittel 6.4.2 tilsier at en pH -endring som kan medføre negativ miljøkonsekvens vil være begrenset til en disk med radius 13m rundt toppen av brønn på havbunn for scenarier b, d, e, g, h, i, og l, og en disk med radius 42m rundt toppen av brønn på havbunn for scenario c. Tabell 6-2 angir brønnlokasjoner for de aktuelle brønnene. Disse brønnlokasjonene inkluderer ikke fremtidige injeksjonsbrønner hvor brønnlokasjon ikke er bestemt.

Tabell 6-2: Lokasjon på havbunn for brønner assosiert med NL lekkasjescenarier.

Brønn	UTM31 ED50		Lat / Long	
Injeksjonsbrønn	6715857.00	524311.00		
31/5-2 R (Re-entry)	6732542.72 N	529894.43 E	60° 43' 33.29" N	3° 32' 52.74" E
31/2-2 and 31/2-2 R	6738597,32 N	533940,28 E	60° 46' 47,8" N	3° 37' 23,5" E
31/6-1	6723687,94 N	537253,60 E	60° 38' 44,89" N	3° 40' 52,28" E
31/2-1 and 31/2-1 R	6737677,61 N	530201,60 E	60° 46' 19,16" N	3° 33' 15,87" E
31/2-5 and 31/2-5 R	6737535,76 N	523507,71 E	60° 46' 16,2" N	3° 25' 53,46" E

EBSA kartleggingen viser imidlertid at det ikke forventes å finne sårbare arter eller habitat på sjøbunnen eller i vannsøylen innenfor EL001 lisensen, og heller ikke i området over Trollformasjonen der de aktuelle nedstengte brønnene er lokalisert. Ettersom maksimal lekkasjerate fra brønn er veldig lav vil all CO₂ blandes inn i vannsøylen innen få meter over havbunn. Påvirkning på sjøfugl er derfor ikke en relevant miljøkonsekvens.

Tabell 6-3: Miljørisiko - lagerlokasjon

	Miljøkonsekvens			
	Neglisjerbar/lav	Moderat	Stor	Veldig stor
Usannsynlig	b, c, d, e, g, h, i, l			
Mulig				
Sannsynlig				

6.6 Dokumenter

Følgende dokumenter ble overlevert av Equinor, og har dannet grunnlag for miljørisikovurderingen:

- Kontrakt: 4503739498 Environmental risk analysis and Strategy for environmental monitoring 2
- 02. Basis for estimated storage capacity - Pre-read
- 03. Assessment of Leakage risk and potential Troll exposure - Pre-read
- 04. Monitoring feasibility - Pre-read
- Risktec EQU-02-R-01, rev 3.0 2019-04-09: Northern Lights - Aurora Complex - Subsurface Containment Bowtie Analysis
- Risktec EQU-02-R-01, rev 3.0, Appendices
- Northern Lights - Barrier evaluation of legacy wells
- Input to ERA Memo mai 2019

7 MILJØRISIKOVURDERING AV LEKKASJE FRA RØRLEDNING

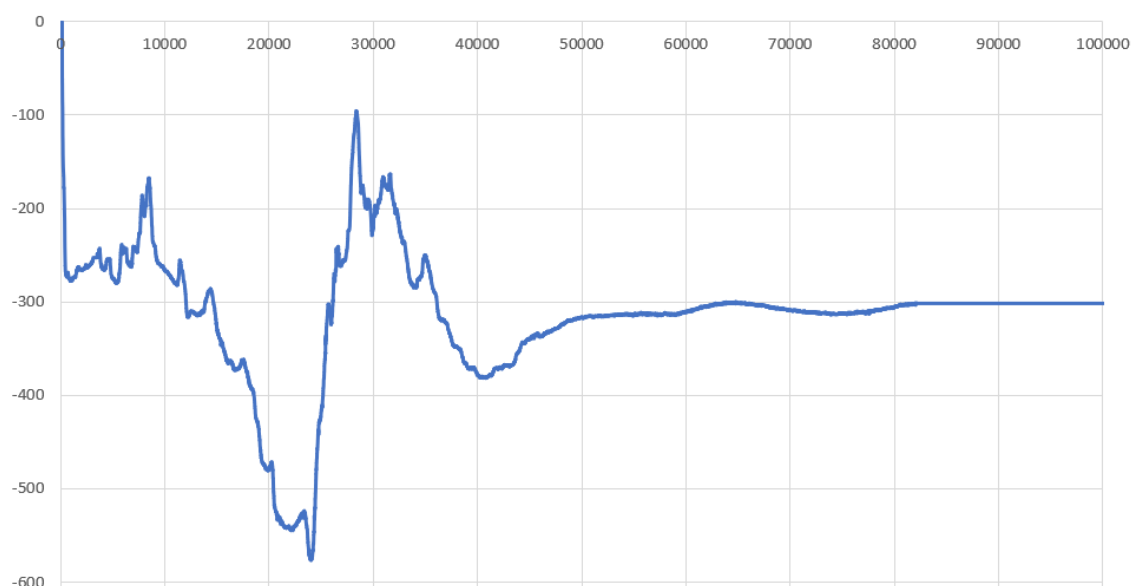
7.1 Formål

Formålet med denne arbeidspakken er å etablere miljørisiko knyttet til eventuelle lekkasjer av CO₂ fra rørledning mellom landanlegg og lagerlokasjon.

7.2 Bakgrunn

7.2.1 Rørtrasè og dybdeprofil

Dybdeprofil for rørledningstrasè fra landanlegg til lager er vist i Figur 7-1, avgrenset oppstrøms ved isolasjonsventil mot landanlegg (KP0) og nedstrøms ved endeterminal (PLEM) ved lager (KP100). Fra landanlegget faller ledningen raskt til vanddyp over 200m og videre ned til omlag 550m Nord i Hjeltefjorden, før den stiger til vanddyp på omlag 150m ved terskel sør for Fedje. Fra KP50 og frem til lagringslokasjon ligger ledningen på omlag 300m vanddyp.



Figur 7-1 Dybdeprofil

7.2.2 Rørledningsdesign

Relevante designparametere for rørledningen er gjengitt i Tabell 7-1.

Tabell 7-1: Rørledning design

Parameter	Verdi
Nominell diameter	12 ¾"
Innvendig diameter	0.289 m
Veggetykkelse	15.9 / 17.9 mm
Lengde	100 km
Innvendig volum	6560 m ³

7.2.3 Produktbeskrivelse

I miljørisikoanalysen er produktkomposisjon antatt å være 100% CO₂. Komposisjon angitt i TRA for landterminal (SAFETEC, 2019a) inneholder små mengder vann, hydrogen og karbonmonoksid som er vurdert å ha marginal miljøpåvirkning. Miljørisiko er vurdert på bakgrunn av direkte eller indirekte effekt av CO₂ på miljøressurser.

7.2.4 Driftsbetingelser

Analysen er utført for Fase 2 driftsbetingelser, som representerer den høyeste transportkapasiteten og det høyeste driftstrykket. Fase 2 representerer de høyeste lekkasjeratene med tilhørende høyest miljørisiko. For beregning av lekkasjerater er designtrykk for ledningen benyttet.

Designtrykk er konservativt benyttet som høyest drivende trykk for ledningen da dette gir de høyeste lekkasjeratene. Det er ikke tiltenkt noen nedblåsningsfunksjon for rørledningen. Dersom en lekkasje på ledningen oppdages, vil det derfor ikke være mulig å trykkavlaste ledningen for å begrense lekkasjens varighet. Tap av trykk i ledningen med påfølgende vanninntrenging vil være svært kritisk for rørets integritet grunnet ekstreme korrosjonsrater. Eksportpumpe fra landanlegg reguleres automatisk slik at minimum eksporttrykk på 45bar til enhver tid opprettholdes for å sikre produktstrøm (CO₂) i væskefase. Under normal drift vil denne trykkkontrolleren gjøre at man får økt rate inn i røret ved en lekkasje slik at eksporttrykket opprettholdes på 45bar.

Tabell 7-2: Driftsbetingelser rørledning

Parameter	Fase 1	Fase 2
Designtrykk rørledning	290 bara	
Eksporttrykk fra landanlegg	45 - 100 bara	45 - 290 bara
Eksporttemperatur fra landanlegg	0 °C	0 °C
Maksimal transportkapasitet CO ₂	1.5 MT/y (48 kg/s)	5 MT/y (159 kg/s)
Produkt-tetthet (flytende CO ₂); innløp	975 kg/m ³	1050 kg/m ³
Total mengde CO ₂ i rørledningen	6400 tonn	6900 tonn
Sjøbunnstemperatur	6 °C	

7.3 Metode

7.3.1 Generelt

Analysen omfatter rørledning fra isolasjonsventil ved landanlegg i Øygarden (KP0) til undervanns endeterminale ved lagringssted (KP 100). Analysen er basert på følgende arbeidsprosess:

1. Etablering av lekkasjefrekvenser for liten, medium, stor og fullt brudd lekkasjer
2. Etablering av initielle lekkasjerater for hver lekkasjestørrelse før deteksjon av lekkasjen
3. Etablering av deteksjonsmetode med tilhørende deteksjonstid for hver lekkasjestørrelse
4. Etablering av utslippsrate og totalt utslipp etter lekkasjedeteksjon, frem til lekkasjen stanser av naturlige årsaker eller skaden er reparert
5. Etablering av totalt CO₂ utslipp, inkludert perioden før og etter deteksjon
6. Etablering av influenssoner i form av endring i pH i sjøvann som funksjon av avstand fra lekkasjepunkt, samt etablering av influenssoner i form av skadelige CO₂ konsentrasjoner i luft over vannflate.
7. Analyse av overlapp mellom CO₂ influenssoner og miljøressurser (Ref. EBSA mapping, kapittel 4)
8. Klassifisering av miljørisiko for identifiserte miljøressurser basert på konsekvens av eksponering med tilhørende sannsynlighet.

7.3.2 Førende betingelser

Studien er basert på følgende antakelser med tilhørende begrunnelser:

- Sannsynlighet for innvendig korrosjon antas tilsvarende som eksisterende gass-eksportør; CO₂ komposisjon og vanninnhold kontrolleres tilstrekkelig slik at fritt vann ikke felles ut langs rørledningen under normal drift eller nedstengning; forutsetningen har betydning for etablering av lekkasjefrekvenser
- Rørledning er designet mot løpende brudd, dvs. et eventuelt fullt brudd antas å være et lokalt brudd, med utstrømning fra to frie ender
- Influenssoner i form av endring i pH for en lekkasje av gitt størrelse og varighet er basert på forenklede og konservative modeller og datatilgjengelig i eksisterende litteratur. Det er ikke tatt hensyn til hvordan utskiftning av vann nært lekkasjepunkt vil påvirkes av varierende strømforhold. Dette er vurdert som en konservativ tilnærming for beregning av utstrekning i endring i pH, spesielt for mindre lekkasjer av lengre varighet.

7.3.3 Lekkasjefrekvenser

Representativ lekkasjefrekvens er basert på tall for tilsvarende undersjøiske rørledninger for prosessert olje og gass med rørdiameter mindre enn 24 tommer. Tallene er vurdert som representative for Northern Lights under forutsetning av at mekanismer som kan føre til skade på røret med påfølgende lekkasje er tilsvarende.

Lekkasjefrekvenser (f) er basert på generiske lekkasjefrekvenser og fordeling på lekkasjestørrelser utarbeidet fra statistikk for undersjøiske ledninger¹¹. Lekkasjefrekvenser er beskrevet av følgende:

$$f = f_{km} \cdot \text{pipeine length} + f_{score} \cdot \text{"score"} + f_{dragged anchor}$$

Frekvens for lengdeavhengige feil $f_{km}=1.7\text{E-}5$ 1/(km*år).

I sikkerhetsanalysen utført av Saipem er det identifisert en $f_{score} \cdot \text{score}=7.1\text{E-}5$ 1/år som tar høyde for enkelte ikke-stasjonære frispenn langs ledningen. Dette frekvenstillegget gjelder kun på lokasjoner der det er frie spenn.

For det mest trafikkerte punktet på ledningen (KP11) er det identifisert en skadefrekvens på $f_{dragged anchor}=1.11\text{E-}4$ 1/år. Denne skadefrekvensen gjelder spesifikt for dette punktet på ledningen og Saipem presiserer også at dette estimatet med referanse til tidligere FEED studie er svært konservativt. Tidligere FEED studie indikerer $f_{dragged anchor}=1.44\text{E-}5$ 1/(km*år)

I analysen til Saipem er det beregnet en konservativ lekkasjefrekvens som omfatter alle lekkasjestørrelser på $f=1.99\text{E-}4$ 1/(km*år). Dette estimatet antar at hvert kilometerpunkt på ledningen har en trafikkthet tilsvarende KP11 og inneholder frie spenn. Som også poengtert av Saipem, er dette estimatet svært konservativt.

For miljørisikoanalysen er følgende tall lagt til grunn:

f=	f_{km} (1 / (km*år))	+ $f_{score} \cdot \text{score}$	+ $f_{dragged anchor}$
1.0E-4	1.7E-5	+ 7.1E-5	+ 1.44E-5

Statistikken fordeler seg med hovedvekt på små lekkasjer med hullstørrelse mindre enn ø20mm, ref. Tabell 7-3.

Tabell 7-3: Lekkasjefrekvenser og tilhørende fordeling på lekkasjestørrelser

Lekkasjekategori	Lekkasjestørrelse	Fordeling	Lekkasjefrekvens f_{km} (per km år)
Liten: < ø20 mm	2 mm	79%	8.1E-5
	5 mm		
	10 mm		
Medium: ø20 – ø80 mm	20 mm	5%	5.1E-6
	50 mm		
Stor: > ø80mm	80 mm	5%	5.1E-6
	100 mm		
Fullt rørbrudd	2 x ø239 mm	11%	1.1E-5
Totalt	-	100 %	1.0E-4

¹¹ DNV GL-REP-2017-0547, Rev. 2, 2017-12-08, Feildata for rørledninger, Statoil petroleum AS

I miljørisikoanalysen er det benyttet skala for klassifisering av sannsynlighet for eksponering av ressurser gjengitt i tabell under. Sannsynlighet for eksponering vil avhenge av feilfrekvens for rørledningen for hver lekkasjekategori sammenstilt med utbredelsen av influenssonen (endring i pH for sjøbunn og vannsøyle og CO₂ konsentrasjon over 4 volum% over sjø).

Tabell 7-4: Klassifisering av sannsynlighet.

Kategori	Beskrivelse
usannsynlig	Mindre enn 1% sannsynlig over prosjektperioden på 25 år Eksponeringsfrekvens mindre enn $2 \cdot 10^{-4}$ per år.
mulig	Mellom 1% og 10% sannsynlig over prosjektperioden på 25 år Eksponeringsfrekvens mellom $2 \cdot 10^{-4}$ og $2 \cdot 10^{-3}$ per år.
sannsynlig	Mellom 10% og 100% sannsynlig over prosjektperioden på 25 år Eksponeringsfrekvens mellom $2 \cdot 10^{-3}$ og $2 \cdot 10^{-2}$ per år.

Eksempel 1: Dersom en lekkasjestørrelse har en influenssone som tilsier at kun 1km av rørledningen kan eksponere en gitt ressurs med mulig negativ konsekvens, vil årlig sannsynlighet for eksponering være tilsvarende lekkasjefrekvensen, dvs. $1 \cdot 1.0E-4$ per år. I henhold til frekvensene angitt i tabell over, vil de fleste scenariene falle i kategorien «usannsynlig».

Eksempel2: Dersom en lekkasjestørrelse har en influenssone som tilsier at 10km av rørledningen kan eksponere en gitt ressurs med mulig negativ konsekvens, vil årlig sannsynlighet for eksponering være tilsvarende 10 ganger lekkasjefrekvensen, dvs. $10 \cdot 1.0E-4 = 1.0E-3$ per år. I henhold til frekvensene angitt i tabell over, vil scenariene falle i kategorien «mulig».

7.3.4 Deteksjonsgrenser og tid til reparasjon

Dersom en lekkasje inntreffer på rørledningen, vil det totale utslippet av CO₂ være bestemt av utslipp før lekkasjedeteksjon og utslipp etter lekkasjedeteksjon, dvs. frem til lekkasjen stanser av naturlige årsaker eller skaden er reparert. Deteksjonsmetoder med tilhørende deteksjonsgrenser (basert på lekkasjerater) lagt til grunn for analysen er beskrevet i Tabell 7-5.

Tabell 7-5: Deteksjonsgrenser

#	Deteksjonsmetode	Deteksjonsgrense		Deteksjonstid
		Lekkasjerate kg / s**	% av transportkapasitet for fase 2	
A	«Lekkasjetesting» ved periodisk ved nedstengning av rørledning to ganger årlig	0.1	0.1 %	6 måneder
(B)*	Volumbalansemåling basert på strømningsmåler ut fra terminal og ved undervanns injeksjonsbrønn	5	3 %	24 timer
C	Volumbalanse ved landterminal, basert på tank-nivåer mellom skipsleveranser	50	30 %	12 timer
D	Trykkalarm (PALL)	100	60 %	15 minutter

* opsjon; avventer endelig beslutning på installering av strømningsmåler ved terminal

** deteksjonsgrenser gitt som input av Equinor.

For beregnede lekkasjestørrelser innenfor lekkasjekategoriene liten, medium, stor og fullt brudd er deteksjonstider angitt i Tabell 7-6 benyttet.

For små lekkasjer er det antatt at ledningen etter detektert lekkasje ikke stenges ned, men opereres inntil reparasjon er utført innen en måned, dette for å redusere risiko for vanninntrengning i røret. Som risikoreduserende tiltak er det antatt at ledningen frem til reparasjon opereres på redusert eksporttrykk på 100bar. For medium og store lekkasjer samt fullt brudd, hvor lekkasjeraten er for høy til å kunne opprettholde driften av røret, er det antatt at ledningen stenges ned ved lekkasjedeteksjon. Varigheten av lekkasjen er bestemt av tiden det tar å tømme ett rørledningsvolum etter innstengning.

Tabell 7-6: Deteksjonsgrenser; inkludert opsjon (B) lekkasjedeteksjon

Lekkasjekategori	Lekkasjestørrelse	Initiell lekkasjerate* (kg / s)	Tid til deteksjon	Varighet etter deteksjon
Liten: < ø20 mm*	2 mm	0.6	6 måneder	1 måned
	5 mm	4	24 timer**	1 måned
	10 mm	15	24 timer**	1 måned
Medium: ø20 – ø80 mm	20 mm	58	12 timer	26 dager
	50 mm	255	15 minutter	6 dager
Stor: > ø80mm	100 mm	411	15 minutter	3 dager
Fullt rørbrudd	2 x ø239 mm	700	15 minutter	1 dag

* Lekkasjerater for hver lekkasjestørrelse er gitt av Equinor, basert på lekkasjesimuleringer (OLGA); tallene representerer gjennomsnitt første 30 minutter.

** For lekkasjestørrelser ø5 og ø10mm er det antatt at disse detekteres på volumbalanse; forutsetter implementering av opsjon (B) lekkasjedeteksjon, ref. Tabell 7-5.

Akkumulert utslipp av CO₂ før og etter deteksjon for de beregnede lekkasjestørrelsene er oppsummert i Tabell 7-7 og Figur 7-2.

For hver lekkasjekategori; liten, medium, stor og fullt brudd, er lekkasjestørrelse valgt i forhold til det som i hver kategori gir det høyeste akkumulerte utslippet av CO₂. Disse er angitt med uthevet skrift i Tabell 7-7.

Tabell 7-7: Lekkasjevarighet og volumer før og etter deteksjon

Lekkasjekategori	Ø (mm)	Før lekkasjedeteksjon		Etter lekkasjedeteksjon		Totalt	
		Varighet [dager]	Akkumulert CO ₂ [Tonn]	Varighet [dager]	Akkumulert CO ₂ [Tonn]	Varighet [dager]	Akkumulert CO ₂ [Tonn]
Liten	2	180	9331	30*	778	210	10109
	5	1***	7880	30*	5184	31	5512
	10	1***	31311	30*	20218	31	21522
Medium	20	0.5	2513	26**	6757	27	9270
	50	0.01	220	6**	6757	6	6977
Stor	100	0.01	355	3**	6757	3	7112
Fullt rørbrudd	-	0.01	605	1**	6757	1	7362

* Reparasjonstid (tid til satt isolasjonsplugg eller reparasjonsklammer)

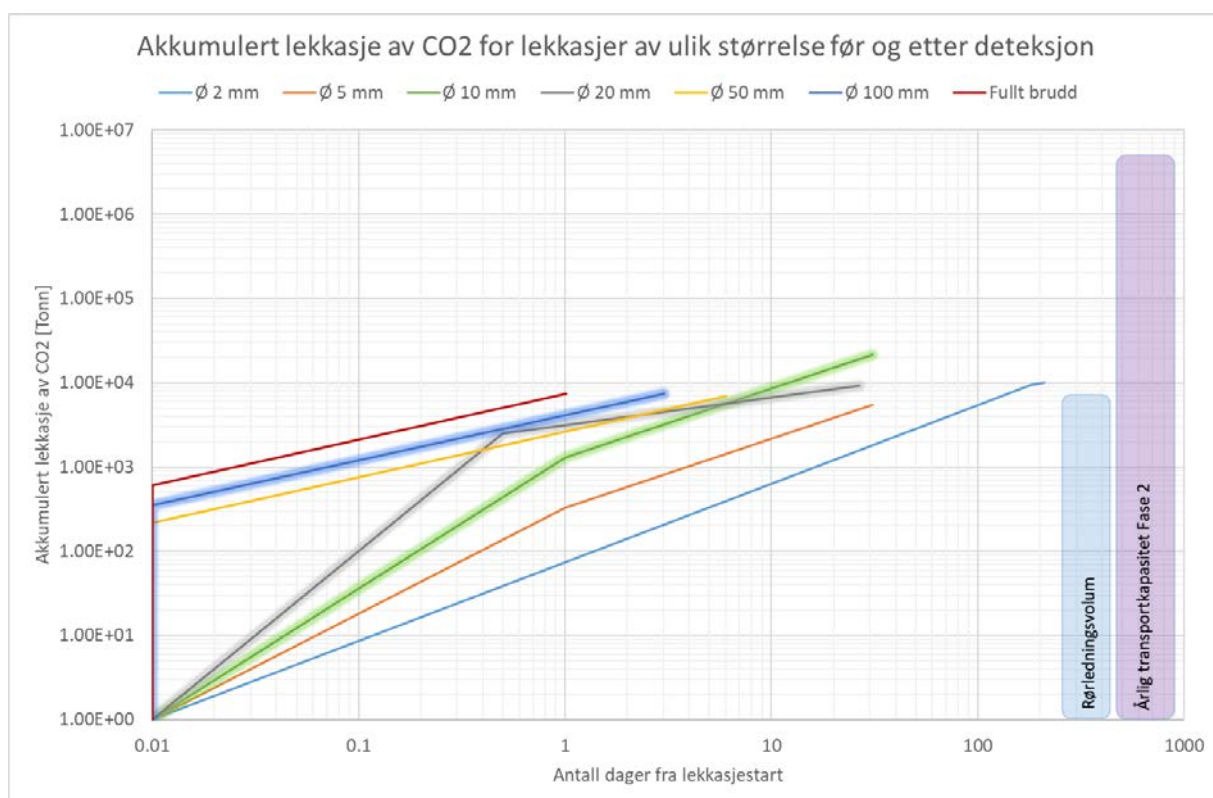
** Tid for avlastning av ett rørledningsvolum til sjø etter deteksjon og nedstengning

*** Det er antatt installert strømningsmåler ved eksportterminal og at ø5mm og ø10mm lekkasjestørrelser detekteres innen 24 timer.

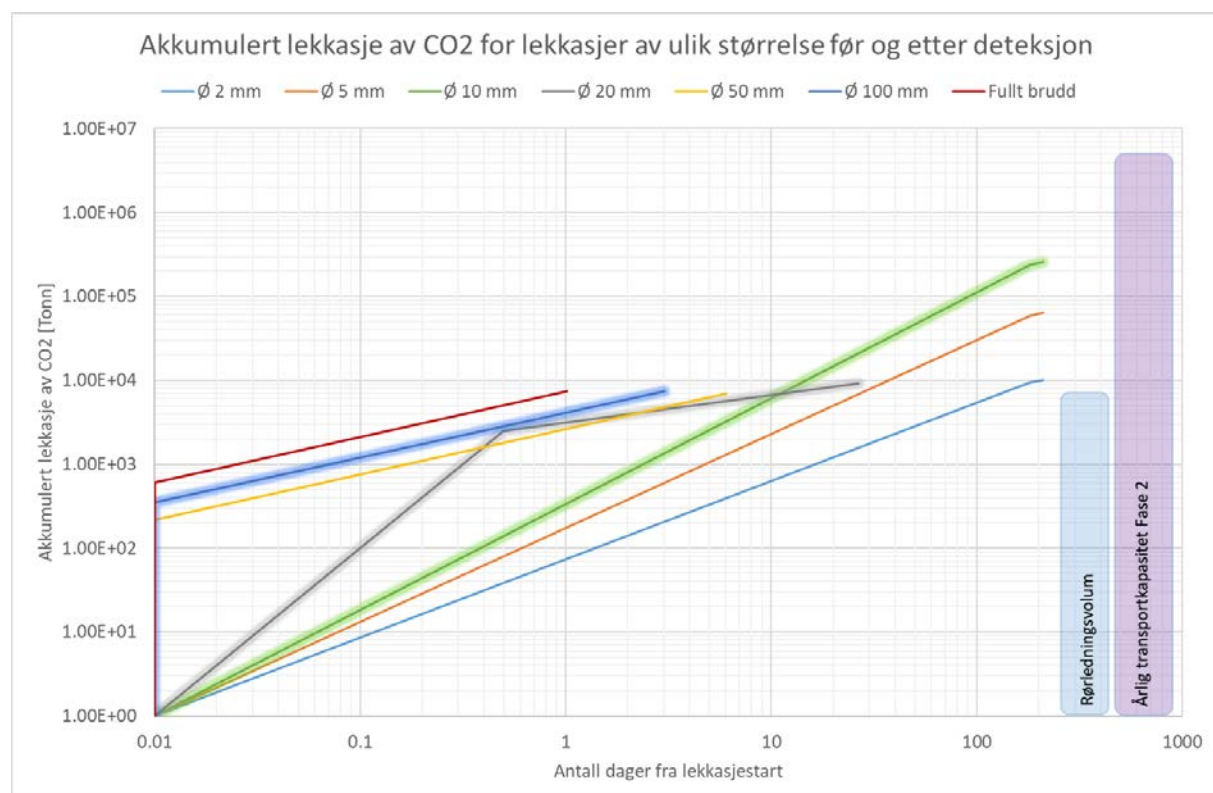
Effekten av å utelate strømningsmåler ved eksportterminal er illustrert i Figur 7-3. En ø10mm lekkasje vil innenfor deteksjonstiden på 180 dager medføre et tap tilsvarende omlag 0.25MT CO₂. Dette tilsvarer omlag 10% av maksimal transportkapasitet i Fase 2. Dersom det tas beslutning om ikke å installere en strømningsmåler ut fra terminal, vil resultater for miljørisiko presentert i denne analysen måtte oppdateres. Konsekvensen vil være større influenssoner for små lekkasjer med lang varighet.

For medium, stor og fullt brudd lekkasjer er det totale utslippet av CO₂ til sjø avgrenset til i størrelsesorden ett rørledningsvolum, med varighet i størrelsesorden 1 til 30 dager avhengig av lekkasjestørrelse.

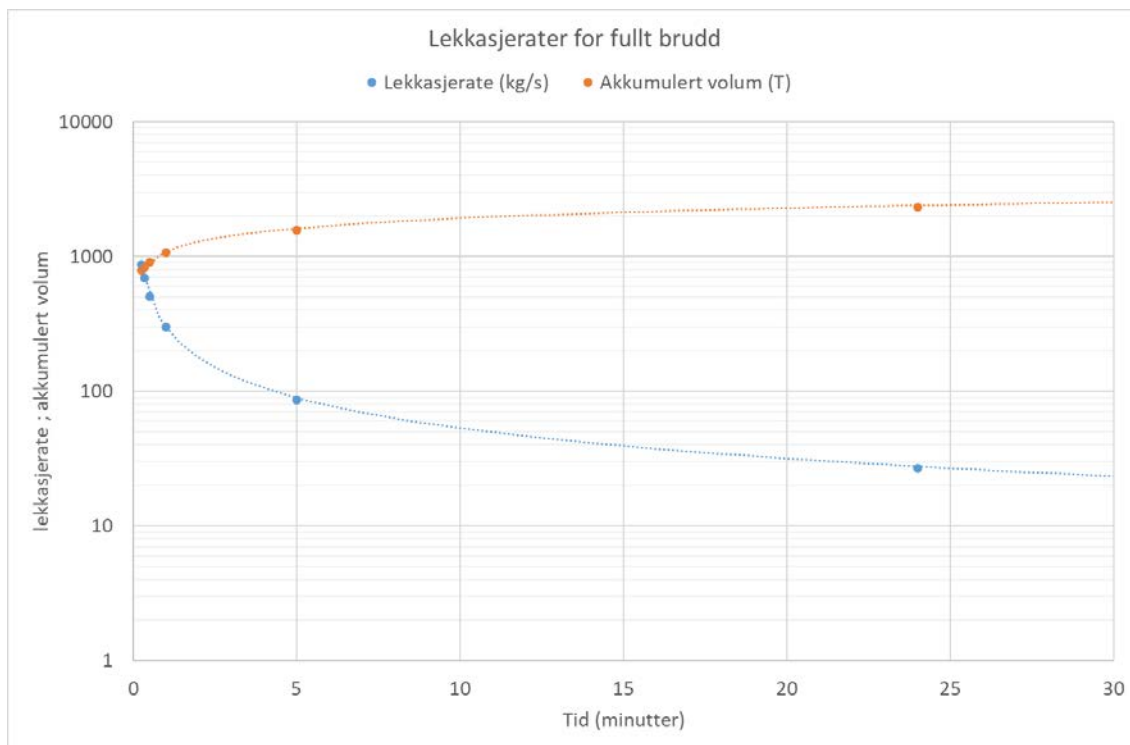
I tilfelle fullt brudd, vil tidsavhengig lekkasjeprofil og total akkumulert CO₂ lekkasje variere som funksjon av kilometerpunkt. Representativt lekkasjeprofil benyttet i denne analysen er vist i Figur 7-4; lekkasjen vil ha begrenset varighet; lekkasjerate begrenset av strømming i røret mot lekkasjepunkt; maksimal lekkasjerate i størrelsesorden 700 kg/s. For fullt brudd antas en total lekkasje tilsvarende tap av ett rørledningsvolum på omlag 6900 tonn CO₂.



Figur 7-2 Akkumulert lekkasje for ulike lekkasjestørrelser (deteksjon innen 24 timer for $\varnothing$ 5mm og $\varnothing$ 10mm lekkasjer)



Figur 7-3 Akkumulert lekkasje for ulike lekkasjestørrelser (deteksjon 180 dager for $\varnothing$ 5mm og $\varnothing$ 10mm lekkasjer)



Figur 7-4 Lekkasjerater og akkumulert lekkasje (Tonn) for fullt rørbrudd første 30 minutter (input Equinor OLGA simuleringer)

7.3.5 Influenssone sjøbunn og vannsøyle

7.3.5.1 Generelt

Toleransegrenser for marine organismer ved økt CO₂ innhold i vannsøylen karakteriseres normalt ved endringer i pH. Lekkasje og innmetning av CO₂ i sjøvann vil forskyve pH balansen i negativ retning. En negativ forskyvning av pH utover naturlige bakgrunnsvariasjoner vil kunne ha konsekvenser for marint miljø og nærliggende ressurser. For det aktuelle området for NL, inkludert rørledningstrasè og lager, vil den normale pH ligge på omkring pH=8,15 med en naturlig sesongvariasjon på omlag +/-0.15¹².

Følsomhet for variasjon i pH er artsavhengig. Utbredelse av influenssone er i denne studien basert på konservativt estimat på utstrekning fra lekkasjepunkt, hvor reduksjon i pH overstiger den naturlige sesongvariasjon i pH på 0.3. For enkelte arter vil en akutt effekt av forhøyet CO₂ ha større påvirkning enn endring i pH. Influenssonene etablert i denne studien er vurdert som tilstrekkelig konservativ til også å ivareta disse effektene¹³.

Det er i denne studien ikke lagt opp til detaljerte numeriske analyser av hvordan et lokalt CO₂ utslipp vil påvirkes av lokale hav- og tidevannsstrømmer langs den aktuelle rørtraseen. For denne fasen av prosjektet er en slik detaljert modellering vurdert som for omfattende samtidig som det eksisterer begrenset mengde data for validering av modellen. En forenklet konservativ modell er derfor etablert basert på tall for hvordan ulike innblandingsforhold av CO₂ i sjøvann påvirker pH. Influenssonene estimert i denne studien dekker konturer for endring i pH på henholdsvis -3.0, -2.0, -1.0 og -0.5, ref. modellbeskrivelse i 7.3.5.2.

¹²ECO2; WP3; Delivery D3.3: Technical modelling report

¹³ IPCC Chapter 6; Ocean storage

7.3.5.2 Lekkasje av CO₂ i sjøvann

Lekkasje av CO₂ og innmetning i sjøvann vil variere med flere faktorer som blant annet lekkasjedyp, lekkasjerate og havstrøm. En kortfattet beskrivelse av hoved-effekter er gitt under.

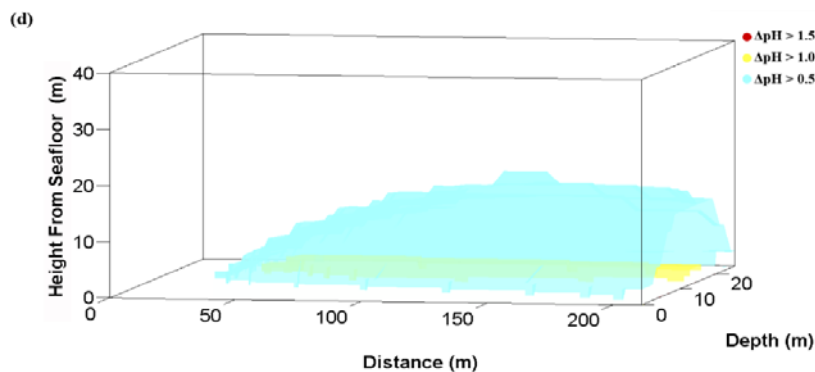
Til forskjell fra en lekkasje av naturgass fra en gassrørledning, vil en eventuell lekkasje av CO₂ fra rørledningen som funksjon av vanddyb kunne opptre både i CO₂ gassform (bobler), væskeform (dråper) og i fast form som hydrat. For antatt midlere sjøbunnstemperatur på 6°C, ligger grensen mellom gass og væskelekkasjer på omlag 400m vanddyb. Dypere enn 400m vil lekkasjen kunne opptre som væskelekkasje, og det er også en teoretisk mulighet for dannelse av CO₂ hydratpartikler. Hydratpartikler kan teoretisk ha høyere tetthet enn sjøvann og synke mot bunn, samtidig vil partiklene gradvis løses opp og innlagres i sjøvannet.

For Northern Lights vil lekkasje i væskeform kun være mulig i den dype seksjonen mellom KP19 og KP25 (trasè mellom Nordøy og Hillesøy), ref. Figur 7-1. Selv på det dypeste punktet mellom KP19 og KP25 på 550 m, vil tettheten på CO₂ i væskefase ved sjøbunnstemperatur (ca. 910 kg/m³)¹⁴ fremdeles være lavere enn det omkringliggende sjøvannet (ca. 1025 kg/m³)¹⁵. Dette innebærer at en større CO₂ væskelekkasje vil ha oppdrift også i de dypeste seksjonene¹⁶. Dersom CO₂ i væskefase stiger til grunnere enn omlag 400m, vil denne gå over til gassbobler som stiger videre til overflaten.

Innmetning av CO₂ i sjøvann vil også påvirke sjøvannets tetthet, og potensielt danne et lokalt område rundt lekkasjepunktet med «tyngre» sjøvann med innlagret CO₂ som vil kunne falle ned mot sjøbunn. Disse effektene anses spesielt relevante for små lekkasjer som ikke har tilstrekkelig oppdrift til å initiere en «plume» mot overflaten.

Eksempel 1: Vannvolum i Hjeltefjorden for område dypere enn 400m tilsvarer 1 milliard m³ sjøvann (tatt ut fra dybdekart); For å få til en homogen forskyvning i pH på -0.5 for dette volumet, må det blandes inn 7000 tonn CO₂, tilsvarende omlag ett rørledningsvolum. Ett rørledningsvolum tilsvarer også totalt utslipp av CO₂ for en liten lekkasje (ø2mm) over en periode på 6 måneder (deteksjonstid for små lekkasjer).

I ECO2 prosjektet (D.3.3: Technical modelling report) ble det utført eksperimentelle studier og detaljert modellering av små CO₂ væskelekkasjer på 600m vanddyb og CO₂ lekkasjerate på 0,1207 kg/s (0,004Mt/år) distribuert over en 15x15m² flate; havbunnstrøm 0,02m/s, «The Skagerrak» case, ref. Figur 7-5.



Figur 7-5 ECO2 D3.3 «The Skagerrak case»

¹⁴ Span Wagner EOS

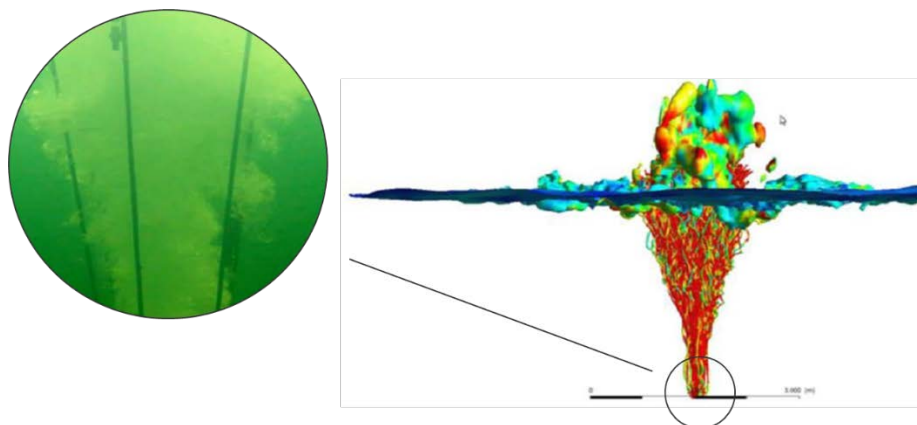
¹⁵ For at CO₂ i væskefase skal være tyngre enn sjøvann må vanddypet være større enn omlag 2500-3000m.

¹⁶ Tetthetsforskjellen mellom sjøvann og CO₂ i væskefase er sammenlignbar med tetthetsforskjellen mellom olje og vann

Simuleringene indikerer en influensssone med radius 200m fra lekkasjepunktet, begrenset til 10-20 m høyde over sjøbunn, med reduksjon i pH over 0,5. «The Skagerrak» case representerer en lekkasjerate i nedre sjikt av det som i denne rapporten betegnes som en liten lekkasje og har også begrenset varighet; 2mm lekkasjestørrelse for NL tilsvarer lekkasjerate på 0,6 kg/s. Tallene fra «The Skagerrak» case kan kun benyttes som en indikasjon på størrelsesorden på influensssone.

I denne studien er det for medium og store lekkasjer samt fullt brudd antatt at disse vil ha tilstrekkelig oppdrift og vil stige mot havoverflaten som en «plume», tilsvarende en lekkasje fra en naturgassledning. For denne type lekkasjer finnes eksisterende modeller for beregning av «plumens» avgrensning fra lekkasjepunkt på sjøbunn til havoverflaten. Modellene er utviklet basert på en kombinasjon av eksperimenter og detaljerte numeriske simuleringer. Karakteristisk form på «plume» og boblesone er vist i Figur 7-6, hvor «plume» tar form som en omvendt kjegle. For gasslekkasjer benyttes modellene hovedsakelig til å beskrive diameter på boblesone på havoverflate, som videre danner grunnlag for modellering av gass-spredning over havoverflaten som funksjon av atmosfæriske forhold.

Radius på boblesone på overflaten som funksjon av vanddyb og lekkasjerate er i denne studien beregnet med DNV GL software PLUMEPRO. Modellen er utviklet i et samarbeidsprosjekt med SINTEF, basert på numeriske simuleringer av «plume» i vannsøyle som følge av gassutslipp under vann. Modellen estimerer utbredelsen av en CO₂ «bobleplume» som funksjon av en stasjonær CO₂ lekkasjerate og vanddyb. Modellen tar hensyn til radiell utstrømning av sjøvann nær overflaten som er med på å øke den effektive størrelsen på boblesonen. Estimerte størrelser på boblesone som funksjon av lekkasjerate og vanddyb beregnet med PLUMEPRO er gjengitt i Figur 7-7 og Figur 7-8.

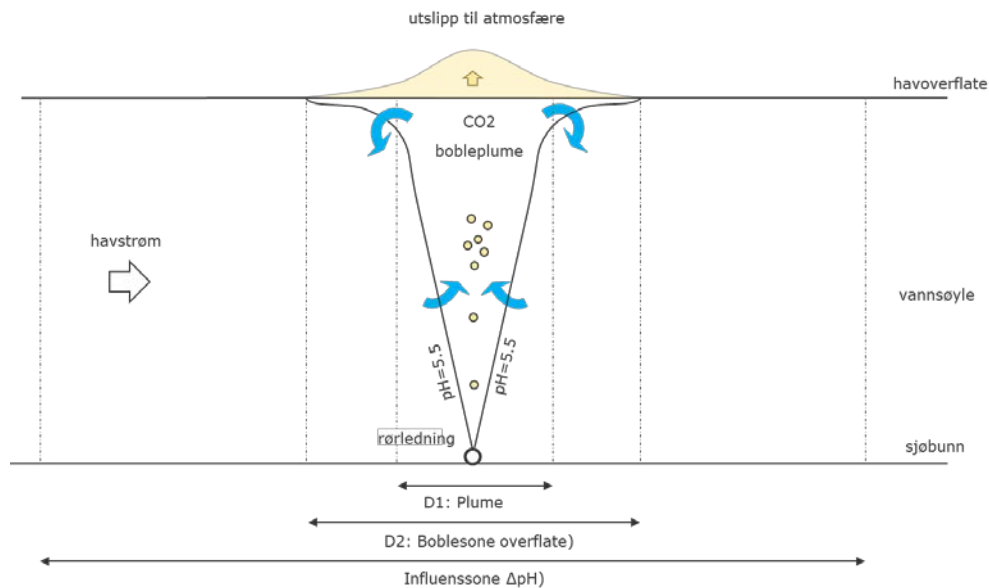


Figur 7-6 Nærbilde fra CO₂ «plume» test (venstre); numerisk simulering (høyre)

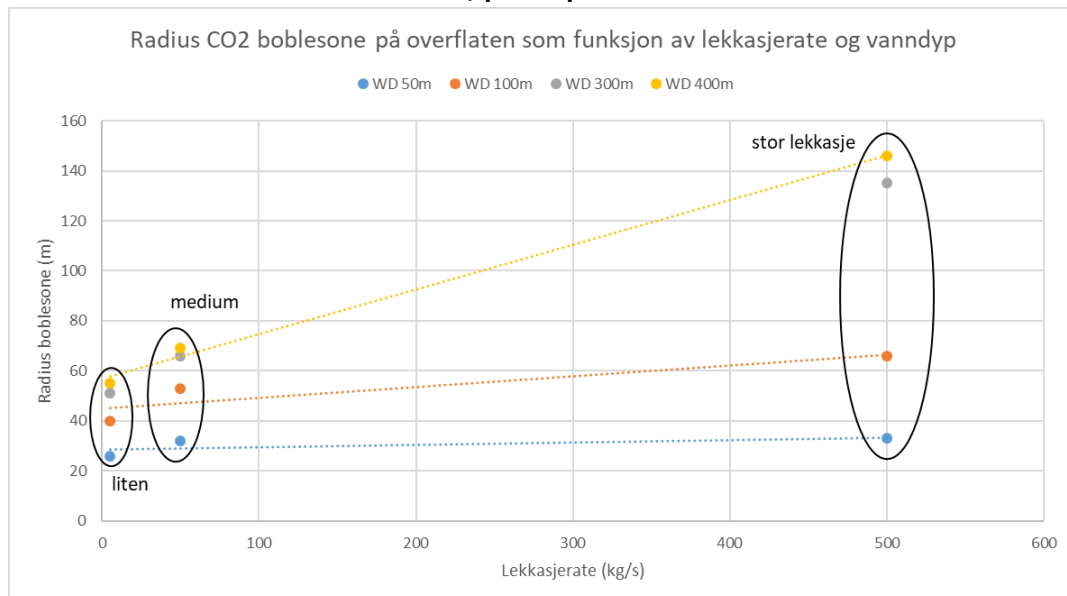
For alle CO₂ lekkasjer er det innenfor «plumens» avgrensning antatt at sjøvann er mettet med CO₂, med tilhørende effekt på pH. Tilgjengelige testdata for mindre skala indikerer at pH innenfor «plumens» avgrensning relativt raskt vil stabilisere seg på omkring pH=5.5¹⁷, hvilket tilsvarer en forskyvning i pH på -2.5. For medium, stor og fullt brudd scenarier, vil hoveddelen av CO₂ lekkasjen følge «plume» til overflaten og frigjøres til overflaten. Det er i denne analysen er det for medium, store og fullt brudd lekkasjer antatt at 70% av lekkasjen går til overflaten, mens 30% innlagres i vannsøylen og påvirker endring i pH. For små lekkasjer er det antatt at 100% innlagres i vannsøylen og påvirker endring i pH.

¹⁷ DNV GL rapport «JOINT INDUSTRY PROJECT "SUB-C-O2" SMALL SCALE EXPERIMENTAL PROGRAM: DEVELOPING SAFETY GUIDELINES FOR OFFSHORE CO₂ TRANSPORT

PLUMEPRO



Figur 7-7 Illustrasjon; lekkasje og spredning av CO₂ fra rørledning gjennom vannsøyle til overflate; pH i «plume» = 5.5



Figur 7-8 Radius på CO₂ boblesone; estimert med PLUMEPRO

7.3.5.3 Beregningsmodell

En forenklet beregningsmodell er etablert basert på hvordan ulike innblandingsforhold av CO₂ i sjøvann påvirker endring i pH (Tabell 7-8). For medium og store lekkasjer, samt fullt brudd er lekkasjeraten antatt tilstrekkelig til å etablere en «plume» fra lekkasjepunkt til overflaten, hvor kun 30% av CO₂ som lekker ut innlagres i vannet og påvirker pH. For små lekkasjer (< ø20mm) er det antatt 100% av CO₂ som lekker ut absorberes i vannet og påvirker pH. Antakelsen om andel innlagring i vannsøyle er vurdert som konservativ.

En sylindrisk modell er benyttet, hvor sylinderens høyde på hvert kilometerpunkt er begrenset av det lokale vanddypt. Innblandingsforhold av CO₂ i sjøvann (endring i pH) bestemmer radiell utbredelse. Den radielle utbredelsen (influenssonen) øker derved ved avtakende vanddypt. Estimert utbredelse av en endring i pH på -0.5 er konservativ i den forstand at det antas at forskyvningen i pH er homogen for hele volumet. I praksis vil absorpsjon og endring i pH nærmere «plume» være høyere, og estimatet på endring i pH på -0.5 er vurdert som en øvre grense.

Eksempel: Homogen innblanding av 1 tonn CO₂ i 0.14 millioner kubikkmeter (52x52x52m) sjøvann er estimert å gi en endring i pH på -0.5, mens en innblanding av tilsvarende mengde CO₂ i 700 kubikkmeter (9x9x9m) sjøvann er estimert å gi en forskyvning i pH på -3.0.

Tabell 7-8: Effekt av CO₂ innblanding og endring i pH¹⁸

Chapter 6: Ocean storage

301

Table 6.3 Relationships between ΔpH , changes in pCO_2 , and dissolved inorganic carbon concentration calculated for mean deep-sea conditions. Also shown are volumes of water needed to dilute 1 tCO₂ to the specified ΔpH , and the amount of CO₂ that, if uniformly distributed throughout the ocean, would produce this ΔpH .

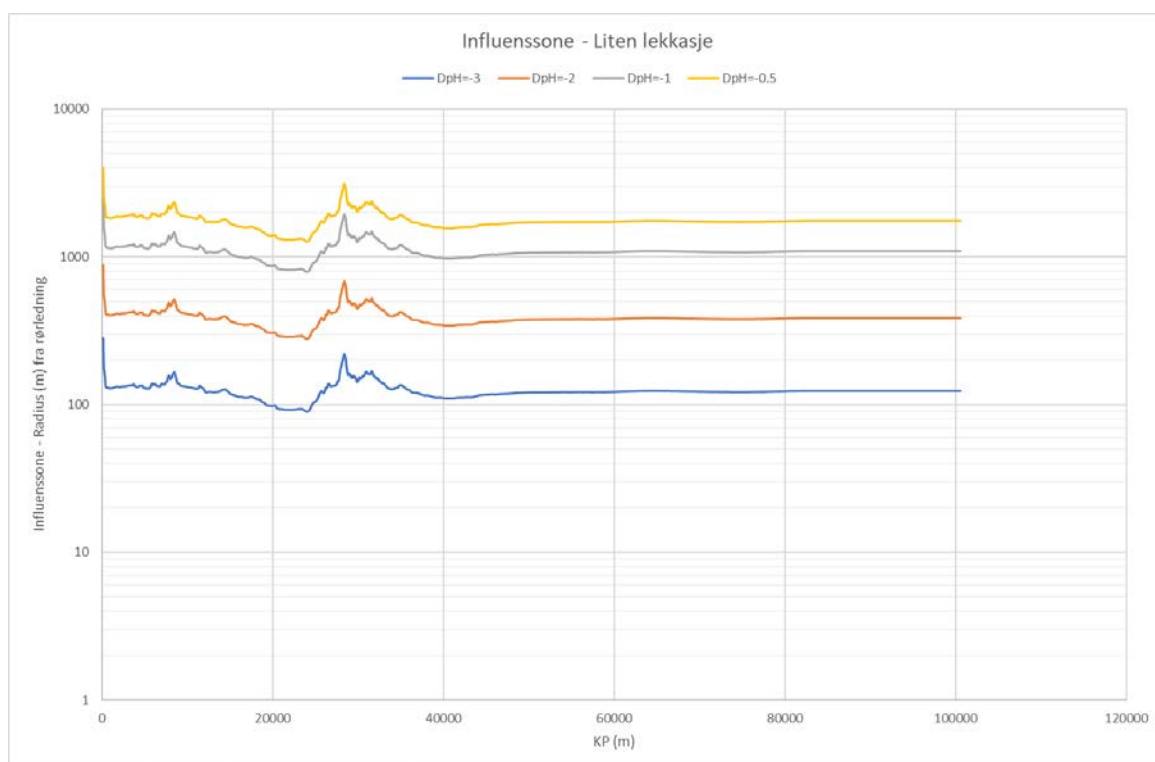
pH change ΔpH	Increase in CO ₂ partial pressure ΔpCO_2 (ppm)	Increase in dissolved inorganic carbon ΔDIC ($\mu mol\ kg^{-1}$)	Seawater volume to dilute 1 tCO ₂ to ΔpH (m ³)	GtCO ₂ to produce ΔpH in entire ocean volume
0	0	0	-	-
-0.1	150	30	656,000	2000
-0.2	340	70	340,000	3800
-0.3	580	100	232,000	5600
-0.5	1260	160	141,000	9200
-1	5250	400	54,800	24,000
-2	57,800	3,260	6800	190,000
-3	586,000	31,900	700	1,850,000

7.3.5.4 Beregnede influenssoner

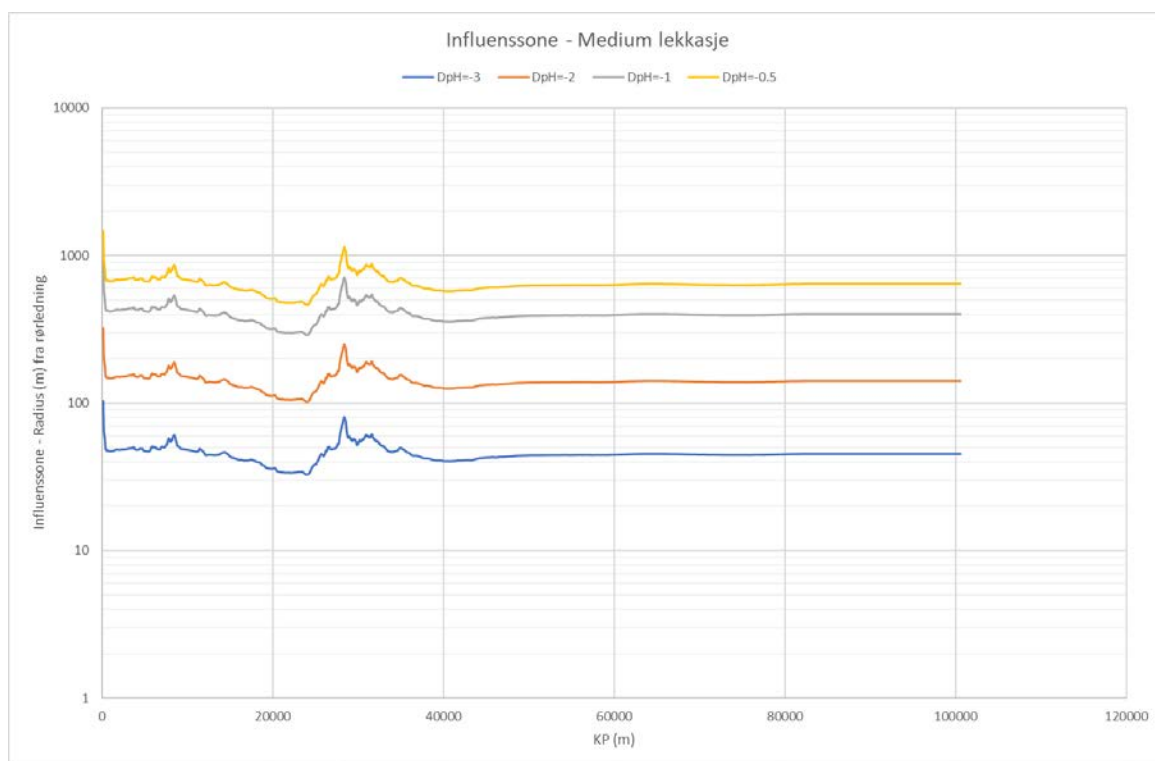
Influenssoner estimert for henholdsvis liten, medium og stor lekkasje er vist i figurer Figur 7-9 til Figur 7-11. For vannsøylen er de største influenssonene estimert for liten lekkasje. Dette skyldes et større totalt utslipp av CO₂ på grunn av antakelse om at rørledningen holdes i drift inntil reparasjon. For det grunneste området nær Fedje er influenssone basert på reduksjon i pH på -0.5 estimert til opp mot 3000m radius. Det vektlegges at dette estimatet er konservativt.

For medium, stor og fullt brudd lekkasje antas at ledningen stenges ned og at det akkumulerte utslippet begrenser seg til omlag ett rørledningsvolum før lekkasjen stanser av naturlige årsaker. Influenssonen for disse lekkasjene i form av reduksjon i pH på -0.5 estimert til opp mot 1000m radius. Det vektlegges at dette estimatet er konservativt.

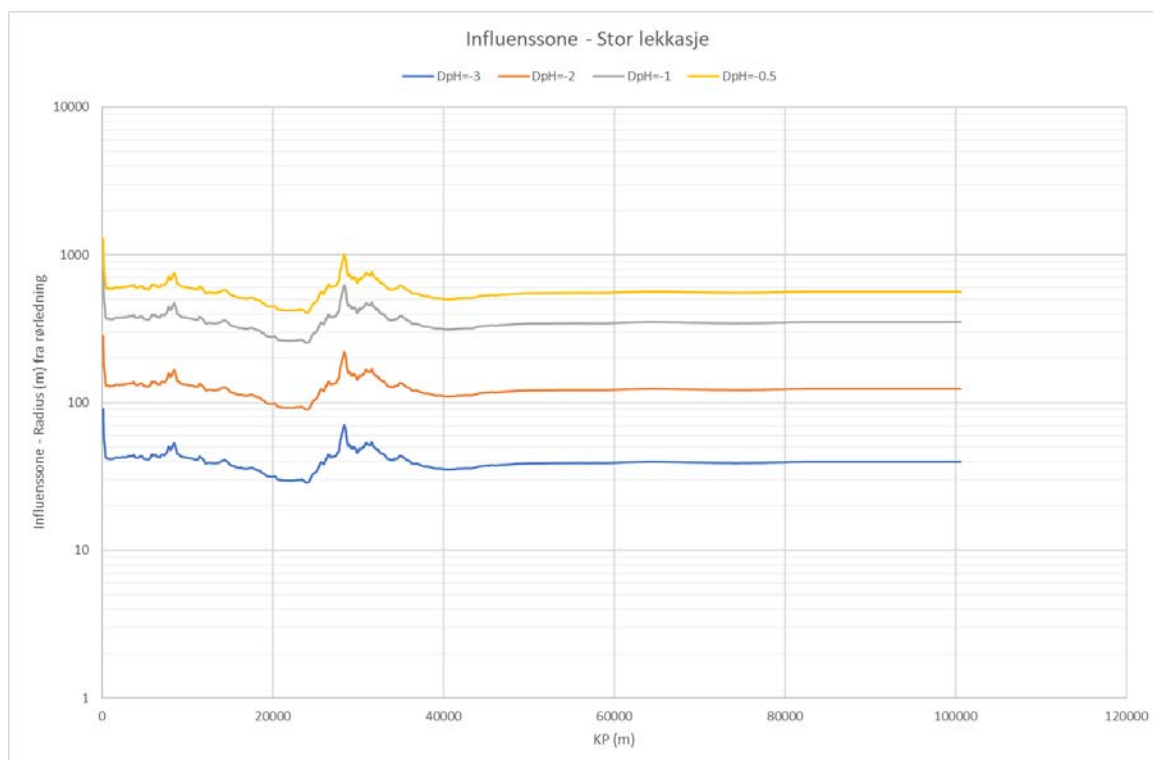
¹⁸ IPCC, 2005 – Bert Metz, Ogunlade Davidson, Heleen de Coninck, Manuela Loos and Leo Meyer (Eds.) Cambridge University Press, UK. pp 431, Chapter 6, Ocean storage



Figur 7-9 Liten lekkasje; influenssone langs rørledning i form av endring i pH (ø10mm)



Figur 7-10 Medium lekkasje; influenssone langs rørledning i form av endring i pH (ø20mm)



Figur 7-11 Stor lekkasje; influenssone langs rørledning i form av endring i pH (Ø100mm)

7.3.6 Influenssone over vannflate

Influenssoner for eksponering av miljø over havoverflaten (luft) er basert på utstrekning av modellerte CO₂ konsentrasjoner på >5% for stort og fullt brudd (Saipem & Equinor 2019). Største modellerte utbredelse har en utstrekning på 2600m for fullt brudd og 260 m for stort brudd. Negative effekter er begrenset til eksponering av naturressurser innenfor disse avstandene langs rørledningstraseen.

7.3.7 Usikkerheter

Etablering av influenssoner for ulike lekkasjescenarier er basert på en forenklet konservativ modell.

Følgende usikkerheter er vurdert i forhold til metode og antakelser:

Parameter	Vurdering
Lekkasjefrekvenser	Lekkasjefrekvenser er basert på generiske frekvenser for tilsvarende undersjøiske ledninger for prosessert olje og gass. Usikkerhet er vurdert tilsvarende som for olje og gassrør. Det er tatt hensyn til
Lekkasjerater	Lekkasjerater for definerte lekkasjestørrelser er beregnet av Equinor basert på OLGA modell. Modellsikkerhet er vurdert som lav.
Lekkasjedeteksjon	Deteksjonstid for små lekkasjer er avgjørende for begrensnings av totalt utslipp. Det er i analysen antatt at lekkasjer ned mot 10 mm kan detekteres innenfor en tid på 24 timer. En forlenget deteksjonstid vil for små lekkasjer påvirke risikobildet i negativ retning.
Influenssoner - vannsøyle	Modell for estimering av endring i pH i vannsøyle for gitt lekkasjerate og varighet er vurdert som konservativ i forhold til estimering av utstrekning. Grenseverdi for endring i pH på -0.5 for scenarier med begrenset varighet <30 dager er vurdert som konservativ.
Influenssoner – over vann	Eksposering av ressurser over vann er basert på estimert utstrekning av CO ₂ konsentrasjoner som vil kunne ha negativ påvirkning. En grenseverdi på 4% er benyttet, hvilket tilsvarer en konsentrasjon der mennesker vil oppleve pustevansker i løpet av minutter (se også 5.2). I forhold til eksponering av sjøfugl er grenseverdien antatt representativ, men forbundet med noe usikkerhet. For en tilstrekkelig stor CO ₂ lekkasje som danner boblesone på overflaten, er det knyttet usikkerhet til hvorvidt boblesonen vil tiltrekke eller frastøte sjøfugl.

7.4 Miljørisikovurderinger

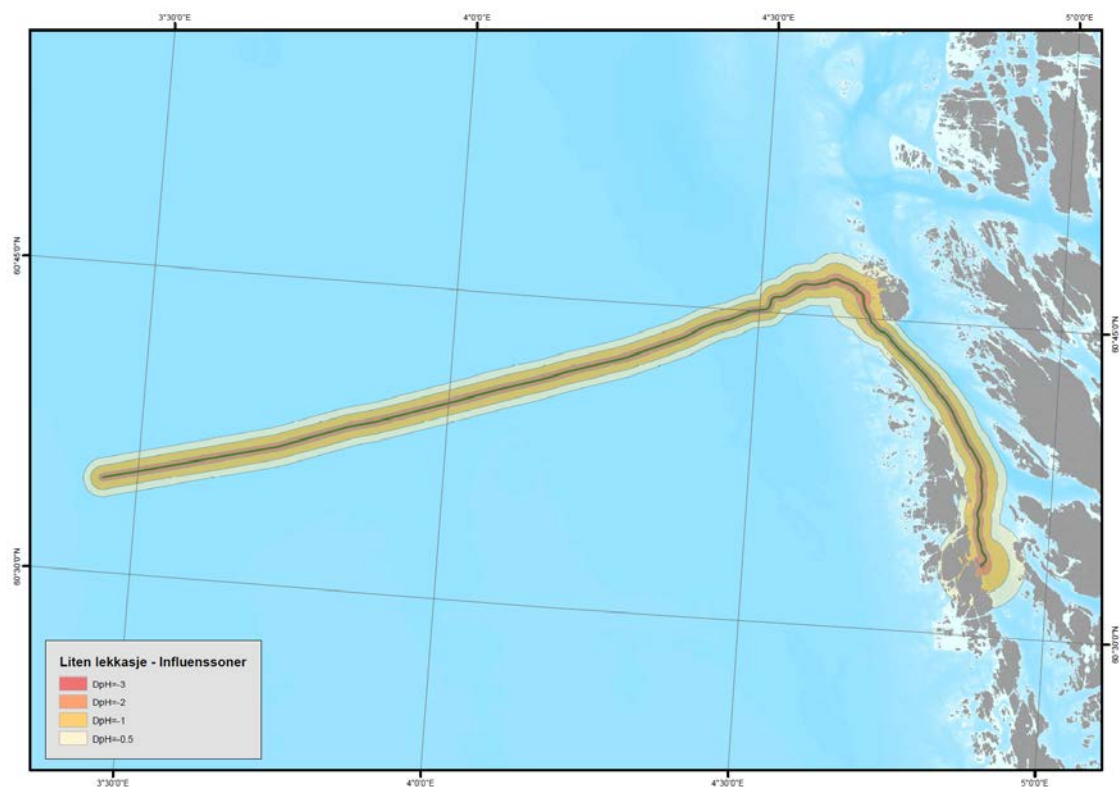
Det er gjennomført overlappsanalyse mellom miljøressurser og modellert avtrykk i utgangspunktet for liten lekkasje da en liten lekkasje vil få en større influenssone enn en medium- til stor lekkasje (ref. kap 7.3.5.4). I Figur 7-12 -Figur 7-14 vises influenssområdene sammen med identifisert ressurser. Områdene vest for Fedje og området vest i Hjeltefjorden og nordover fra landanlegget vil falle innunder en endring på $\Delta pH > 0.5$.

Skadeomfanget er tidligere beskrevet og angitt som

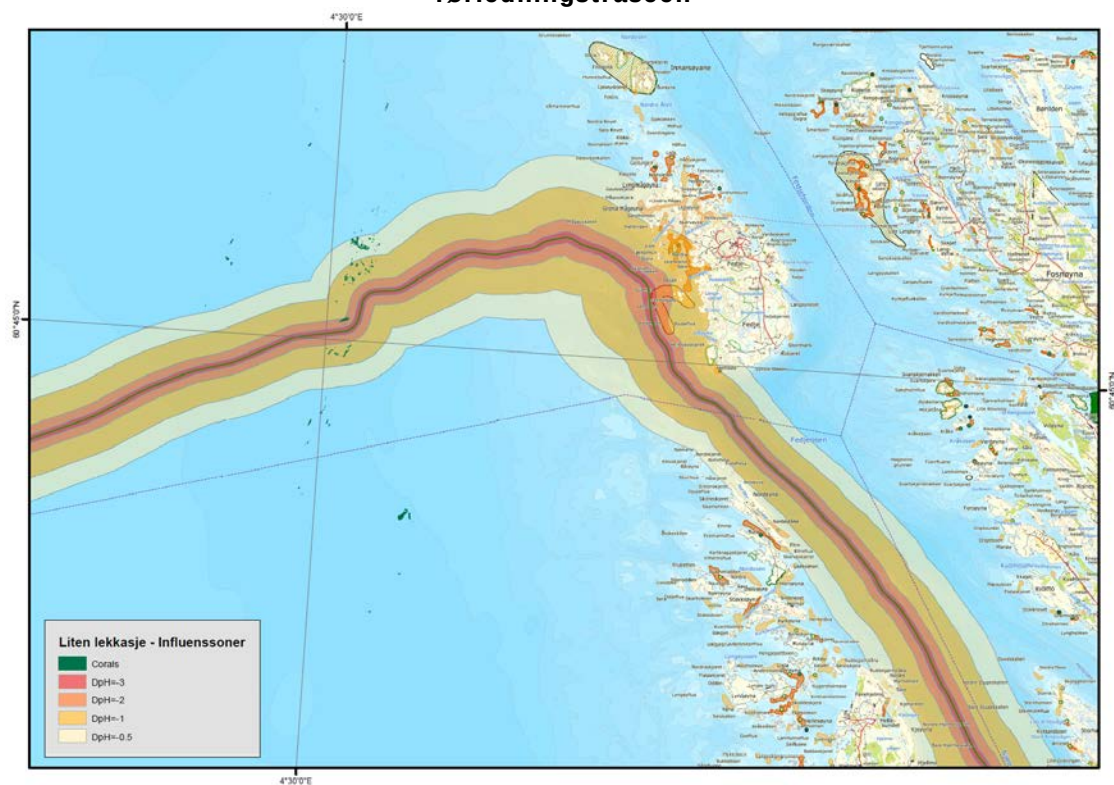
- **Lite omfang:** Kan påvirke/reducere arter og habitat på individnivå.
- **Moderat omfang:** Kan påvirke arter og habitat på populasjonsnivå.
- **Stort omfang:** Kan redusere/utrydde arter og habitat på populasjonsnivå.

Ut fra dette kan store deler av Fedje – korallrevkompleks bli berørt og skadeomfanget klassifiseres til «Moderat», med begrunnelse i at store andeler av korallene overlappes av influensområdet.

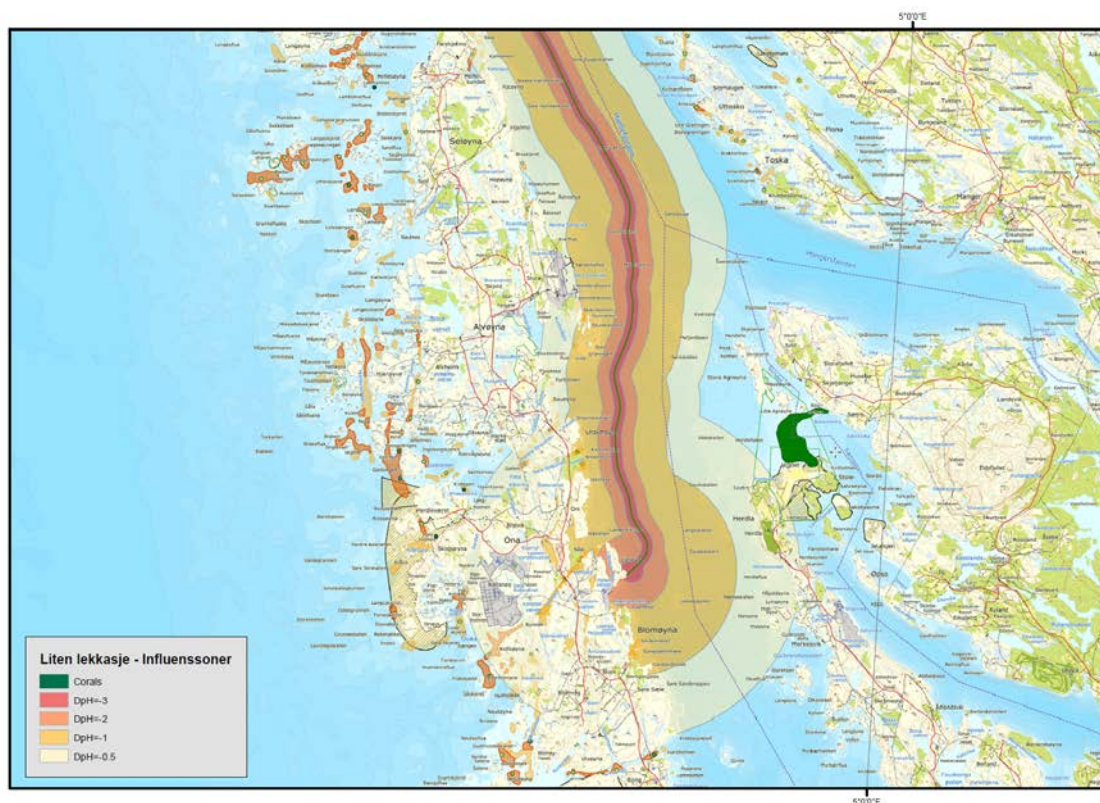
Foruten oter, som klassifiseres til stort skadeomfang, er de øvrige miljøressursene kategorisert til lite skadeomfang. Se Tabell 7-1 og Tabell 7-2 for samlet risikovurdering av liten lekkasje på alle miljøressurser.



Figur 7-12 Overlappsanalyse mellom beregnet influensområde og miljøressurser for hele rørledningstraseen



Figur 7-13 Overlappsanalyse mellom beregnet influensområde og miljøressurser for rørledningstraseen ved Fedje



Figur 7-14 Overlappsanalyse mellom beregnet influensområde og miljøressurser for rørledningstraseen i Hjeltefjorden

Tabell 7-1 Risikoanalyse av en liten lekkasje fra rørledningen på tilstøtende miljøressurser i vann ($\Delta pH > 0.5$)

#	Gruppe	Miljøressurs	Levested	Verdi	Effekt / eksponering $\Delta pH > 0.5$ Lav - Medium - Høy	Konsekvens	Sannsynlighet Usannsynlig- mulig-sannsynlig	Risiko
1	Korall	Steinkorall	Sjøbunn	Medium	Medium	Moderat	Usannsynlig	
2	Korall	Sjøtre	Sjøbunn	Medium	Medium	Moderat	Usannsynlig	
3	Musling	Kamskjell	Sjøbunn	Lav	Lav	Lav	Usannsynlig	
4	Musling	Flatøsters	Sjøbunn	Medium	Lav	Lav	Usannsynlig	
5	Alger	Sukkertare	Sjøbunn	Lav	Lav	Lav	Usannsynlig	
6	Naturtype	Hardbunnkorallskog	Sjøbunn	Medium	Medium	Moderat	Usannsynlig	
7	Naturtype	Korallrev	Sjøbunn	Medium	Medium	Moderat	Usannsynlig	
8	Naturtype	Tareskrog	Sjøbunn	Lav	Lav	Lav	Usannsynlig	
9	Naturtype	Skjellsand	Sjøbunn	Lav	Lav	Lav	Usannsynlig	
10	Naturtype	Rekefelt	Sjøbunn	Lav	Lav	Lav	Usannsynlig	
11	Fisk	NVG Sild_0 - art	Vannkolonne	Lav	Lav	Lav	Usannsynlig	
12	Fisk	NVG Sild_larver	Vannkolonne	Lav	Lav	Lav	Usannsynlig	
13	Fisk	NVG Sild_guting	Vannkolonne	Lav	Lav	Lav	Usannsynlig	

Tabell 7-2 Risikoanalyse av en stor/fullt brudd lekkasje fra rørledningen på tilstøtende miljøressurser i luft (CO₂ % > 4)

#	Gruppe	Miljøressurs	Levested	Verdi	Effekt / eksponering CO ₂ % > 4 Lav-Medium-Høy	Konsekvens	Sannsynlighet Usannsynlig- mulig-sannsynlig	Risiko
15	Fugl	Gulnebbblom	Sjøoverflate	Medium	Lav	Lav	Mulig	
16	Fugl	Fiskemåke	Sjøoverflate	Medium	Lav	Lav	Mulig	
17	Fugl	Lomvi	Sjøoverflate	Høy	Lav	Moderat	Mulig	
18	Fugl	Lunde	Sjøoverflate	Høy	Lav	Moderat	Mulig	
19	Fugl	Makrellterne	Sjøoverflate	Høy	Lav	Moderat	Mulig	
20	Fugl	Sjørre	Sjøoverflate	Høy	Lav	Moderat	Mulig	
21	Fugl	Smålom	Sjøoverflate	Lav	Lav	Lav	Mulig	
22	Fugl	Svartbak	Sjøoverflate	Lav	Lav	Lav	Mulig	
23	Fugl	Alke	Sjøoverflate	Medium	Lav	Lav	Mulig	
24	Fugl	Fjæreplytt	Sjøoverflate	Lav	Lav	Lav	Mulig	
25	Fugl	Havhest	Sjøoverflate	Høy	Lav	Moderat	Mulig	
26	Fugl	Havsule	Sjøoverflate	Lav	Lav	Lav	Mulig	
27	Fugl	Krykkje	Sjøoverflate	Medium	Lav	Lav	Mulig	
28	Fugl	Siland	Sjøoverflate	Lav	Lav	Lav	Mulig	
29	Fugl	Storskarv	Sjøoverflate	Lav	Lav	Lav	Mulig	
30	Fugl	Svartand	Sjøoverflate	Medium	Lav	Lav	Mulig	
31	Fugl	Teist	Sjøoverflate	Høy	Lav	Moderat	Mulig	
32	Fugl	Toppskarv	Sjøoverflate	Lav	Lav	Lav	Mulig	
33	Fugl	Tyvjo	Sjøoverflate	Medium	Lav	Lav	Mulig	
34	Fugl	Ærfugl	Sjøoverflate	Medium	Lav	Lav	Mulig	
35	Fugl	Gråhegre	Sjøoverflate	Lav	Lav	Lav	Mulig	
36	Fugl	Gråmåke	Sjøoverflate	Lav	Lav	Lav	Mulig	
37	Fugl	Islom	Sjøoverflate	Lav	Lav	Lav	Mulig	
38	Fugl	Kvinand	Sjøoverflate	Lav	Lav	Lav	Mulig	
39	Fugl	Rødnebbterne	Sjøoverflate	Lav	Lav	Lav	Mulig	
40	Fugl	Sildemåke	Sjøoverflate	Lav	Lav	Lav	Mulig	
42	Pattedyr	Oter	Sjøoverflate /land	Høy	Medium	Stor	Usannsynlig	

Sannsynlighetskategoriene for lekkasje fra rørledningen er gitt i Tabell 7-3. Miljøressursens utstrekning langs rørledningen er avgjørende for hvilken sannsynlighet den settes til. Ressurser med liten utstrekning vil tilordnes «usannsynlig», mens ressurser med en vid utbredelse vil kunne settes til «mulig». I risikoanalysen er derfor all fugl (stor utstrekning) satt til sannsynlighet «mulig» mens de øvrige ressursene (liten utstrekning) satt til «usannsynlig» (Tabell 7-1 og Tabell 7-2).

Tabell 7-3 Sannsynlighetskategorier for lekkasje fra rørledning

Kategori	Beskrivelse
usannsynlig	Mindre enn 1% sannsynlig over prosjektperioden på 25 år (injeksjonsperioden) Eksponeringsfrekvens mindre enn $2 \cdot 10^{-4}$ per år.
mulig	Mellom 1% og 10% sannsynlig over prosjektperioden på 25 år (injeksjonsperioden) Eksponeringsfrekvens mellom $2 \cdot 10^{-4}$ og $2 \cdot 10^{-3}$ per år.
sannsynlig	Mellom 10% og 100% sannsynlig over prosjektperioden på 25 år (injeksjonsperioden) Eksponeringsfrekvens mellom $2 \cdot 10^{-3}$ og $2 \cdot 10^{-2}$ per år.

Den samlede risikoen for sjøbunn og vannsøyle fra en liten lekkasje fra rørledningen er vurdert til å være lav, basert på mest konservative anslag.

Tabell 7-4 Miljørisikomatrix for liten lekkasjerate – dvs. største influensområde. Tallene representerer miljøressurs i Tabell 7-1

Sannsynlighet	Miljøkonsekvens			
	Neglisjerbar/lav	Moderat	Stor	Veldig stor
Usannsynlig (<1 %)	3,4,5,8,9,10,11,12,13	1,2,6,7		
Mulig (1 – 10 %)				
Sannsynlig (>10 %)				

Den samlede miljørisikoen for eksponering av ressurser over havflaten (fugl) er representert av medium, store og fullt brudd lekkasjer, og vurdert til å være lav til moderat, basert på mest konservative anslag.

Tabell 7-5 Miljørisikomatrix for stor lekkasjerate – dvs. største influensområde til luft. Tallene representerer miljøressurs i Tabell 7-1.

Sannsynlighet	Miljøkonsekvens			
	Neglisjerbar/lav	Moderat	Stor	Veldig stor
Usannsynlig (<1 %)			42	
Mulig (1 – 10 %)	15,16, 21, 22,23, 24,26,27 28,29,30,32,33,34,35, 36,37,38,39,40	17,18,19,20, 25,31		
Sannsynlig (>10 %)				

8 MILJØRISIKOVURDERINGER AV LANDFASILITET FOR MIDLERTIDIG CO₂ LAGRING

8.1 Formål

Hensikten med denne aktiviteten er å vurdere miljørisikonivå knyttet til ikke planlagte hendelser i operasjonsfasen ved ilandføring fra skip og mellomlagring av CO₂ i Naturgassparken før eksport med rørledning til permanent undergrunnslager offshore.

8.2 Tilnærming

Risikovurderingene er basert på en scenariobasert tilnærming der resultater fra spredningsmodellering av CO₂ utslipp kombineres med kartlagte miljøressurser innenfor influensområdet, for å studere en eventuell overlapp. Basert på overlappsanalysen gjennomføres en konsekvensvurdering som er grunnlaget for risikovurderingen (presentert i risikomatrise). Avslutningsvis er det identifisert risikoreduserende tiltak.

For hvert mulig utslipps-scenario er det gjennomført flere modelleringer for å se på spredning av CO₂. De ulike modelleringene tar hensyn til varierende vindretning og vindstyrke (Safetec 2019b). For hvert scenario har modelleringen med kombinasjon av vindstyrke og vindretning som medfører eksponering av de største geografiske arealene, blitt tatt videre i risikovurderingene. Dette gir en konservativ tilnærming.

I miljørisikovurderingen benyttes 4 % CO₂ iso-konturene for å vurdere overlapp mellom naturressurser i området og CO₂ spredning, som så legges til grunn for miljøkonsekvensvurderingen; potensiell skade på populasjon eller individnivå. Utfallet av denne vurderingen er satt inn i miljørisikomatrisen i kapittel 8.5, hvor miljøkonsekvens og hendelsesfrekvens ligger til grunn for etablering av risikobildet.

For scenarier med lavere lekkasjerater enn scenariene som er presentert i kapittel 8.4, så anses spredningsresultatene også å være dekkende for disse scenariene.

8.2.1 Risikomatrise

Miljørisiko for akutte utslippshendelser til luft og vann er vurdert i henhold til matrisen vist i Tabell 8-1. Forutsetningene for denne tabellen er beskrevet i kapittel 3.5. Matrisen, som er utarbeidet for gassutslipp i vann, anses også som relevant for denne type lekkasjer på land. Kategoriene tar hensyn til sannsynlighet for hendelse, miljøverdi og skadeomfang.

Kombinasjonen Lav miljøverdi og Lite omfang innebærer påvirkning av arter på individnivå innenfor et begrenset område (lokalt), mens Moderat miljøverdi og Medium omfang påvirker arter på populasjonsnivå med regional betydning (tilstedeværelse av rødlistearter). Høy miljøverdi og Stort omfang innebærer konsekvenser på populasjonsnivå for områder med nasjonal betydning for arter og habitat.

Tabell 8-1 Miljørisikomatrise benyttet for utslipp fra landbasert anlegg for mellomlagring av CO₂ (Equinor 2019b). Sannsynlighetskategoriene gjelder for hele prosjektperioden på 25 år

	Miljøkonsekvens			
	Neglisjerbar/lav	Moderat	Stor	Veldig stor
Usannsynlig (<1 %)	Lav miljørisiko	Lav miljørisiko	Moderat miljørisiko	Stor miljørisiko
Mulig (1 – 10 %)	Lav miljørisiko	Moderat miljørisiko	Stor miljørisiko	Veldig stor miljørisiko
Sannsynlig (>10 %)	Moderat miljørisiko	Stor miljørisiko	Veldig stor miljørisiko	Veldig stor miljørisiko

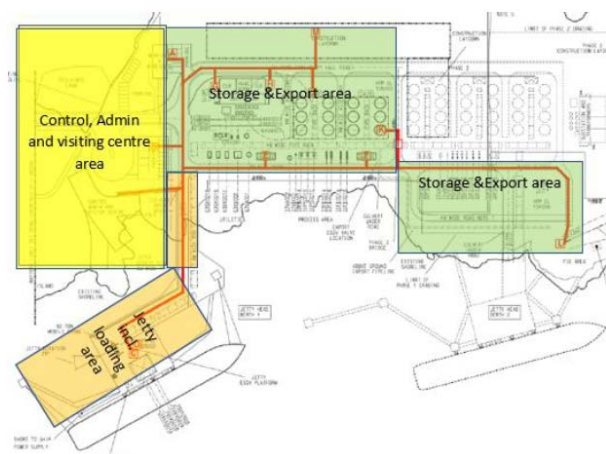
8.3 Akutte hendelser

8.3.1 Utslippsscenarioer

Utslipps-scenariene lagt til grunn for vurderingen er identifisert gjennom en ENVID (Equinor & KBR, 2019) og videre definert og modellert av SAFETEC (2019a). Spredningsmodellering er gjennomført for følgende CO₂-utslipp: 1) ved lossing ("loading arm"), 2) lekkasje i eksportleddet (ved feil på Emergency Shutdown Valve (ESDV), 3) prosesseringsområdet og 4) lagringstankene på land. For alle områder er det modellert med ulike kombinasjoner av utslippsrate, -retning, samt vindhastighet og -retning (Figur 8-1).

I tillegg til utslipp av CO₂ er uhellshendelser med utslipp av drivstoff fra skip ved kai inkludert. Det er modellert spredning av LNG gitt skipskollisjon ved kai. Dette scenariet er definert i SAFETEC (2019a). I tillegg er det definert et utslipp av marin diesel som følge av skipskollisjon ved kai. Konsekvensvurderingen for et marin diesel utslipp baseres på tidligere oljedriftsmodellering ved Mongstad raffineriet (DNV, 2000) samt erfaringer fra lignende utslipp (marin diesel/ bunkersolje) langs kysten av Sør-Norge (HI, 2012).

Uforutsette lekkasjer av andre produkter fra landanlegg; eksempelvis oljeholdig vann, kjemikalier og hydraulikk væske er utelatt fra miljørisikovurderingen ettersom komponentene akkumuleres i kar/basseng nær utslippspunktet for så å bli håndtert av anleggspersonell.



Figur 8-1 Anleggsoversikt (SAFETEC, 2019a).

Lekkasjescenarier med tilhørende frekvenser er oppgitt i Tabell 8-3. Frekvensene er hentet fra SAFETEC (2019a). I CFD-analysen har SAFETEC foretatt simuleringer med ulike rater, vindhastighet og -retning innenfor følgende operasjonelle områder; lossing, lagring, prosessering og eksport (SAFETEC, 2019b). Prosessering er en integrert del av aktivitetene som er planlagt på lagrings- og eksportområdet som grenser til administrasjonsbygget. Hendelser som i Tabell 8-3 er oppgitt med vindhastighet og vindretning er presentert med spredningsfigurer i kapittel 8.4 (SAFETEC, 2019b). Disse scenariene representerer høyeste rate (kg/s) innenfor det enkelte område, og anses å være dimensjonerende for risikonivået. Hvert scenario er modellert med basis i de miljømessige forutsetningene som gir de største arealene med CO₂ konsentrasjoner over 4 %; det vil si utslippsretning nedover mot bakken, lav vindhastighet og vindretning fra sør-sørøst. Sammen med en konstant lekkasjerate på 10 minutter anses det overordnede resultatet å være en konservativ tilnærming med henblikk på skadelig utbredelse.

Utslippsscenarioer med lavere utslippsrate innenfor samme område, vil ha et mindre influensområde enn det som er presentert i kapittel 8.4. For ytterligere detaljer knyttet til modelleringsoppsettet henvises til CFD-analysen (SAFETEC, 2019b).

Tabell 8-3 Utslipps-scenarier for CO₂ som er lagt til grunn for miljørisikovurdering (SAFETEC, 2019a). Scenarier som er oppgitt med vindhastighet og vindretning er presentert med spredningsfigurer i kapittel 8.4 og danner grunnlag for konsekvensvurderingene. Sannsynligheter for utslipp er oppgitt per år og over hele prosjektperioden som er antatt å være 25 år.

	Scenario	Lekkasjerate (kg/s)	Vind- hastighet (m/s)	Vind- retning	Frekvens (per år)	Frekvens (prosjekt- perioden)
Laste- og anløpsområde	1) Lossearm	300	3	S	1,78E-06 (stor lekkasje)	4,45E-05
Lagringsområde	2) Pumpe (forsterker)	200			1,21-04 (stor lekkasje)	3,03E-03
	3) «Supply header to jetty vapour»	200			5,55-07 (stor lekkasje)	1,39E-05
	4) Svikt i nødventil	650	3	SØ	1,72E-04 (stor lekkasje)	4,30E-03
Eksportområde	5) Rørledning	5000	3	SØ	1,53E-05 (stor lekkasje)	3,83E-04
	6) Pumpe	200			9,54-05 (stor lekkasje)	2,39E-03
	7) Radiator (varmeovn)	200			8,71-05 (stor lekkasje)	2,18E-03
Prosessering	8) Pumpe (damp)	3000			1,36E-05 (stor lekkasje)	3,40E-04
	9) XSV0001 to XSV0003	200			5,35-06 (Stor lekkasje)	1,34E-04
	10) Fordamper varmeapparat	75			1,13-04 (Medium lekkasje)	2,83E-03
Laste – og Anløpsområde	11) CO ₂ lekkasje fra fartøy	12,4 ^{a)}	-	-	4,3E-07 ^{b)}	1,08E-05
Laste – og Anløpsområde	12) LNG lekkasje fra fartøy (kollisjon)	500	3	SØ	4,3E-07	1,08E-05
Laste – og Anløpsområde	13) Marin diesel (MDO)	170 tonn ^{c)}			1,1E-05 ^{d)}	2,75E-04

a. Forutsetning: 1 av 2 lagringstanker sprekker ved kollisjon; 3750 m³, tetthet 1,98 kg/m³, totalt 7425 kg, utslipp til luft, fordamper i løpet av 10 min (12,4 kg/s), DNV GL.

b. 1 % sannsynlighet for utslipp gitt en kollisjon med frekvens 4,3E-05

c. Forutsetning: MDO fordelt på 7 tanker med hovedvolum fordelt på 4 "wing tankere", anslagsvis 700 av 770 m³, ved kollisjon halvparten av volumet fra 2 "wing tankere" lekker ut til omgivelsene, totalt 175 m³, med tetthet på 975 kg/m³ gir dette et totalvolum på ca. 170 tonn, DNV GL.

d. 25 % sannsynlighet for utslipp gitt en kollisjon med frekvens 4,3E-05

8.3.2 Beskrivelse av potensielle utslippsprodukter

8.3.2.1 CO₂ gass

CO₂ er ved standard trykk- og temperaturforhold en fargeløs og luktfri gass med en tetthet på 1,98 kg/m³, noe som gjør den tynge enn luft. Ved atmosfærisk trykk forekommer CO₂ som gass over -78 °C og som tørris (fast form) ved lavere temperaturer. Transport av CO₂ forekommer under trykk og temperaturforhold som gir høyest tetthet og dermed maksimerer transportkapasiteten (triple point).

(<https://hub.globalccsinstitute.com/publications/co2-liquid-logistics-shipping-concept-llsc-safety-health-and-environment-she-report/31>)

8.3.2.2 Marin dieselolje (MDO)

MDO er klassifisert i ISO 8217:2012. Egenskaper for kvaliteten RMD 80 er flammepunkt ved 60 °C (felles for ulike kvaliteter), og viskositet på 80 cSt ved 50 °C. Tettheten ligger på 975 kg/m³, som vil si at ved lekkasje i en MDO-tank under vannlinjen vil vann trenge inn i tank og fortrenge oljen oppover til likevekt. Ved lekkasje over vannlinje vil oljen lekke ut til vann og legge seg på overflaten som et stadig tynnere lag etterhvert som det sprer seg. Eventuell emulsjon med vann kommer an på værforhold, vanntemperatur, etc. Emulsjon kan forekomme ved bølgeaktivitet som bidrar til at oljen innkapsles i vanndråper.

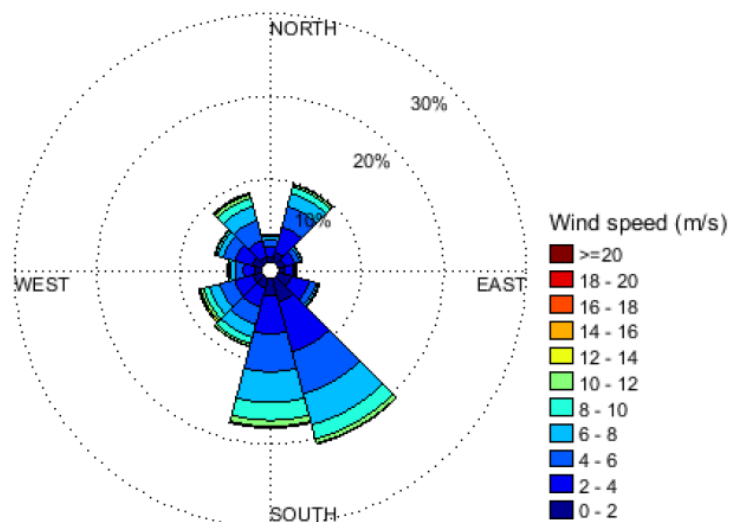
8.3.2.3 LNG

LNG lagres vanligvis i trykktanker ved en temperatur på -165 °C ved noen bars overtrykk. I flytende form blir gassen komprimert 600 ganger. Flammepunktet til LNG ved atmosfærisk trykk er -187 °C og ved utslipp til vann eller luft vil dermed væsken fordampe tilnærmet umiddelbart, noe avhengig av mengde. Ved større utslipp vil væsken kunne danne en dam som kan gi avdamping over tid. Tettheten til LNG varierer med komposisjonen (andel etan/propan/butan i tillegg til metan) men er typisk i området 500 kg/m³. Viskositeten varierer også med komposisjon, men også temperatur, og er typisk i området 1/10 til 1/5 av viskositeten til vann.

8.4 Influensområdet

SAFETEC (2019b) har på vegne av Northern Lights utført spredningsmodellering for ulike utslippsscenarioer av CO₂ og LNG fra aktivitet knyttet til landanlegget. Kartene viser eksponert areal etter 10 min lekkasjetid (deteksjonstid for mindre utslipp), noe som blir konservativt for medium og store utslipp som har en deteksjonstid på 30-90 sekunder. I tillegg er utslippsretningen hovedsakelig definert nedover mot bakken, noe som gir høyere konsentrasjon enn om utslippet har en horisontal eller oppadgående retning¹⁹. Ved fremvisning av spredningsresultater brukes CO₂ konsentrasjon (%) som betegnelse for volumprosent. Scenariene er modellert med hensyn på ulike vindretninger og -styrker. De dominerende vindretningene i området er sør/sørøstlig retning (Figur 8-2). Modelleringen med vindretning og -styrke som ga størst eksponert areal er lagt til grunn for konsekvensvurderingene for hvert scenario.

¹⁹ I de utvalgte spredningssimuleringene benyttet miljørisikoanalysen er det som et konservativt anslag i hovedsak benyttet modellert utslipp med retning ned. I risikoberegningene (SAFETEC (2019b)) er det tatt hensyn til fordeling av retning, som vil si at for frie jeter blir gasskyene betydelig mindre, særlig for CO₂.



Figur 8-2 Vindrose basert på data for perioden (1993-2018) (SAFETEC, 2019a)

8.4.1 Utslipp fra lossearm ved kai

Ved utslipp fra lossearm er forventet maksimal utbredelse av forhøyede CO₂ konsentrasjoner ≥ 4 % begrenset til luften i havneområdet rundt anlegget og nordover ut av bukten (Figur 8-3). Sett i forhold til ressursdataene, som er presentert i kapittel 4, så vil ikke viktige områder for miljøressurser bli berørt av utslippet.

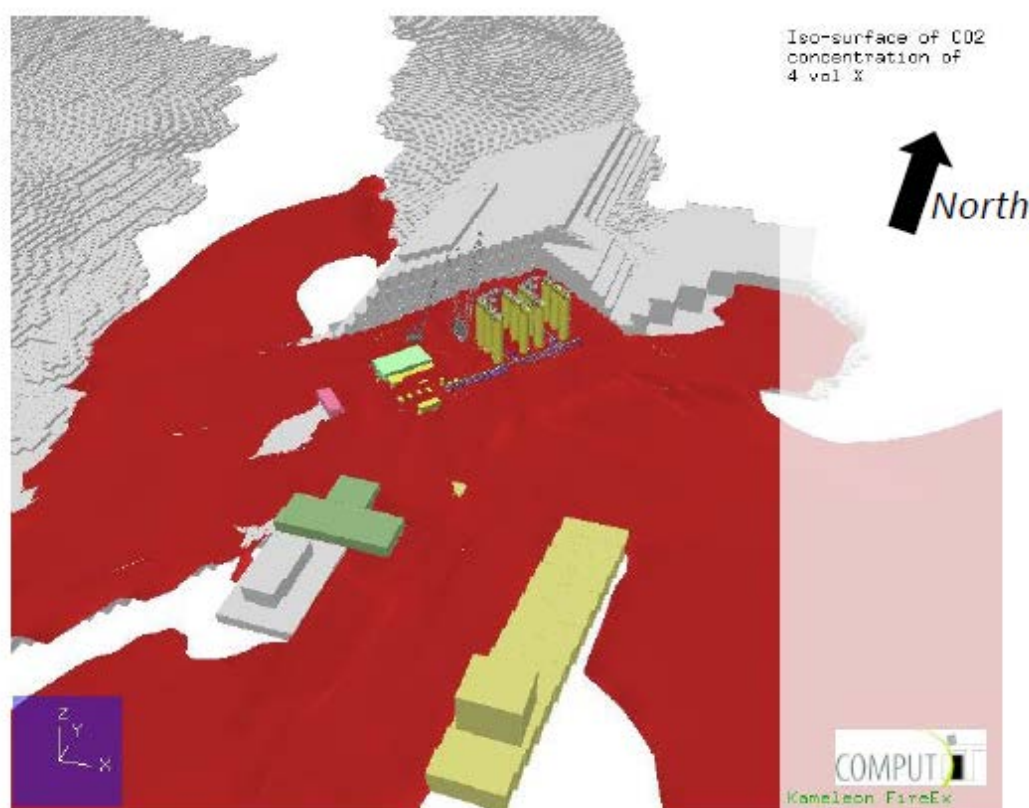


Figur 8-3 Areal som potensielt eksponeres for forhøyet CO₂ konsentrasjon (≥ 4 %) ved bakkenivå, gitt en lekkasje fra lossearm på 300 kg/s i 10 min. Modelleringen er basert på vindhastighet på 3 m/s fra sør (SAFETEC, 2019b)

8.4.2 Utslipp fra lagringstank (svikt i nødventil)

Gitt en lekkasje på 650 kg/s fra lagringstanken forventes forhøyet CO₂ konsentrasjoner $\geq 4\%$ å være begrenset til luften rundt utslippspunktet, i havneområdet nært anlegget og nordover ut av bukten (Figur 8-4).

I forhold til ressursdataene så er det ingen overlapp med viktige områder for rødlistearter på land.

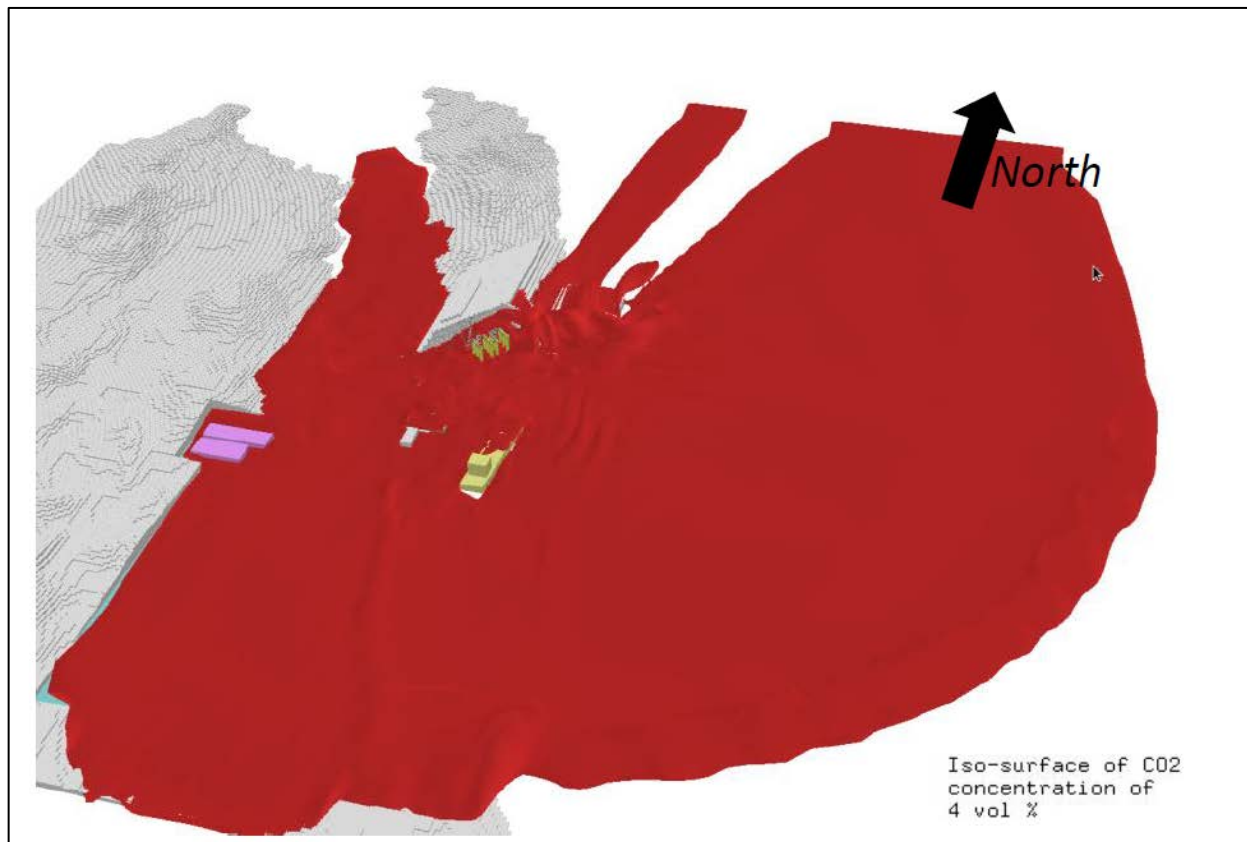


Figur 8-4 Areal som potensielt eksponeres for forhøyet CO₂ konsentrasjon ($\geq 4\%$) ved bakkenivå, gitt en lekkasje på 650 kg/s i 10 min som følge av svikt i nødventil til lagringstank. Modelleringen er basert på vindhastighet på 3 m/s fra sørøst (SAFETEC, 2019b)

8.4.3 Utslipp ved svikt i nødventil langs eksportørledning

Gitt en lekkasje fra eksportørledningen på 5000 kg/s, viser spredningsresultatene for hendelsen at CO₂ konsentrasjonen $\geq 4\%$ strekker seg sørover i havneområdet helt ned mot Ljøsneset samt øst- og nordover ut fra Ljøsøybukta (Figur 8-5). Det understrekes at konsentrasjonsnivået er vist ved bakkenivå, og at konsentrasjon høyere opp vil være lavere som følge av fortynning.

I forhold til ressursdataene, som er beskrevet i kapittel 4, så forekommer en mindre overlapp med viktige områder for rødlistearter (oter, ærfugl og hønsenhauk) på land.



Figur 8-5 Areal som potensielt eksponeres for forhøyet CO₂ konsentrasjon (≥ 4 %) ved bakkenivå, gitt en lekkasje på 5000 kg/s i 10 min ved ESD ventil (eksport). Modelleringen er basert på vindhastighet på 3 m/s fra sørøst (SAFETEC, 2019b) (SAFETEC, 2019b)

8.4.4 Utslipp fra prosesseringsområde

I SAFETEC rapporten (2019b) er det ikke presentert resultater for noen av simuleringene gjennomført i tilknytning til prosessering. Modelleringen som er gjennomført for eksportørledningen anses å være dekkende for hendelser knyttet til prosesseringsområdet. Ratene som SAFETEC har oppgitt for prosessområdet er betydelig lavere enn for eksportørledning, med unntak av 3000 kg/s fra pumpe. Det vil si utstrekning av gassky vil være mindre. I et slikt scenario vil prosesskontrollsystemet stenge ned og uten tilbakestrømming fra eksportørledning på grunn av ESDV vil varigheten vil være meget kort. Modelleringen fra eksportørledning antas derfor å være en meget konservativ representasjon av hendelse i prosessområdet med hensyn til utstrekning og varighet av gasskyer.

Forventet maksimal utslippsrate er lavere for prosessering enn hva som er presentert for eksportørledningen, henholdsvis 3000 og 5000 kg/s.

8.4.5 CO₂ Utslipp fra transportfartøy ved kollisjon ved kai

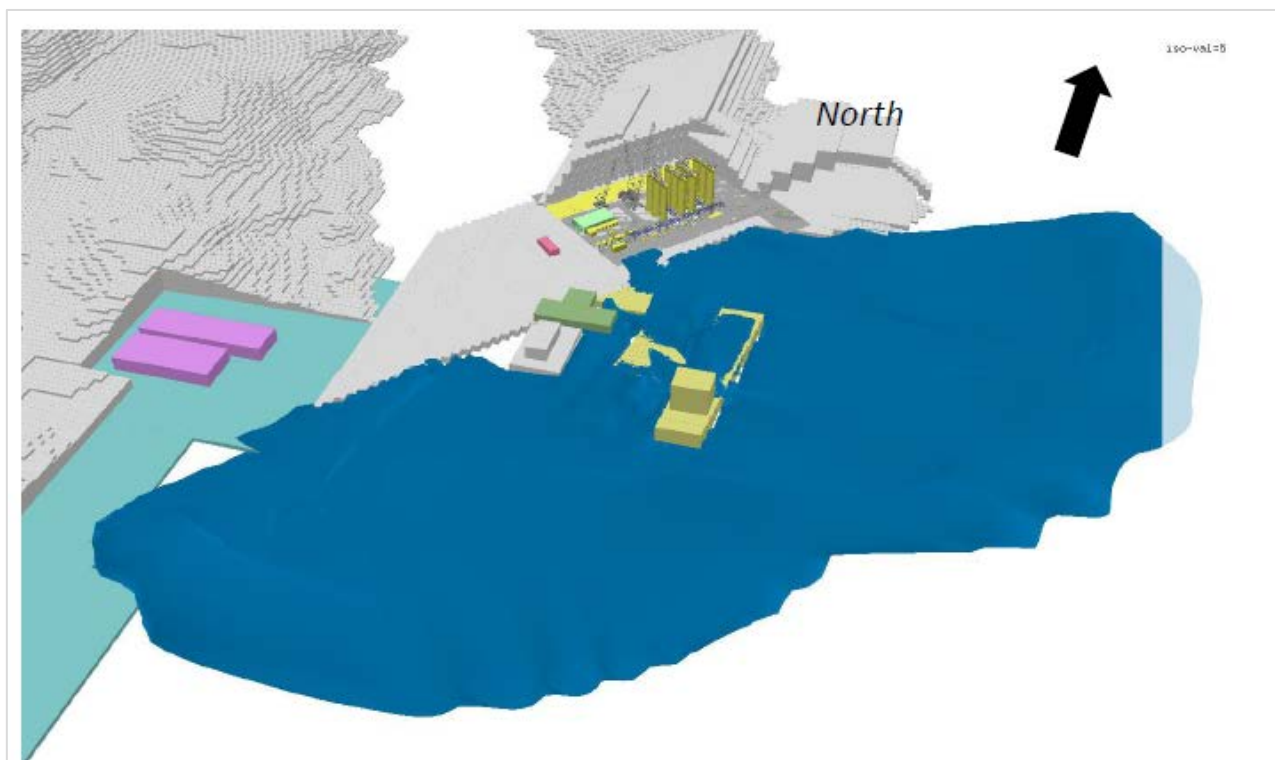
Utslipp fra transportfartøy kan forekomme etter kollisjon ved kaianløp eller etter kollisjon mellom to transportfartøy der ett er fortøyd ved kai. Kombinasjonen lav fart, fartøyskonstruksjon og typen lagringsenhet for CO₂ som er ansett som svært robuste (C-type), gjør at sannsynligheten for CO₂ lekkasje er svært lav. Basert på disse fakta er det vurdert at kun en transporttank kan bli berørt ved en kollisjon.

Lagringskapasiteten per tank er 3750 m³ med flytende CO₂. Gitt en lekkasje vil de omliggende trykk- og temperaturforholdene bidra til at CO₂ frigjøres som gass til omgivelsene i løpet av relativt kort tid.

CO₂-lekkasje fra transportfartøy ved kai anses å være dekket av modellert utslipp for lossearm. Utslippsraten (kg/s) for scenarioet presentert i Figur 8-3 er 300 kg/s i 10 min, noe som er 24 ganger høyere enn forventet rate for CO₂-utslipp fra lagringstank på fartøy. Spredningsarealet for forhøyet CO₂ konsentrasjon på ≥ 4 % forventes derfor lokalt i havnen nær anlegget.

8.4.6 LNG utslipp fra båt ved kollisjon ved kai

Transportfartøyet har 2 drivstofftanker med LNG som står plassert sentralt på dekk av båten. Basert på at drivstofftankene står på dekk så anses det svært lite sannsynlig at et utslipp vil skje fra disse tankene. I SAFETECs modellering av LNG utslipp antas en rate på 500 kg/s i 10 min. Dette tilsvarer 300 tonn, noe som tilsvarer begge tankene. Resultatet viser et potensielt område med forhøyet metan konsentrasjon (≥5 %) begrenset til havneområdet rundt anlegget. Ingen av de verdsatte ressursene på land blir berørt, og som følge av fordamping vil ikke de definerte områdene med verdsatte marine ressurser berøres (Figur 8-6).

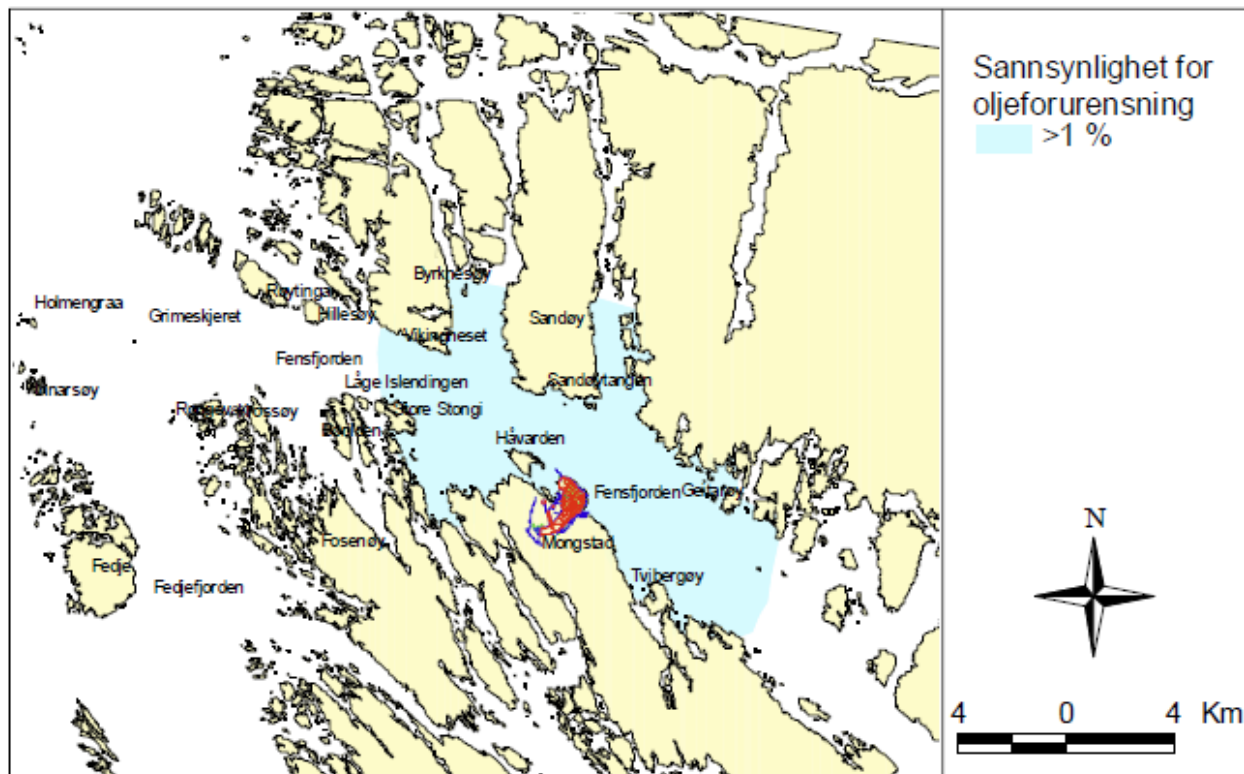


Figur 8-6 Areal som potensielt eksponeres for metan konsentrasjon (≥5 %) gitt en LNG lekkasje fra fartøy ved kai. Forutsetninger: 500 kg/s i 10 min og vindhastighet på 3 m/s fra sørøst (SAFETEC, 2019b)

8.4.7 Marin diesel utslipp fra transportfartøy ved kollisjon

Det er ikke gjennomført noe modellering for en utslippshendelse av marin diesel fra fartøy ved anlegget. Vurderingen er derfor utført med bakgrunn i modellering gjort med lette petroleumsprodukter (eks. dieselolje) ved Mongstad i 2000 (DNV, 2000) (Figur 8-7). Med henblikk på spredningsmønsteret fra Mongstad, er det indikasjoner på at ved en utslippshendelse fra landanlegget vil den marine dieselen i

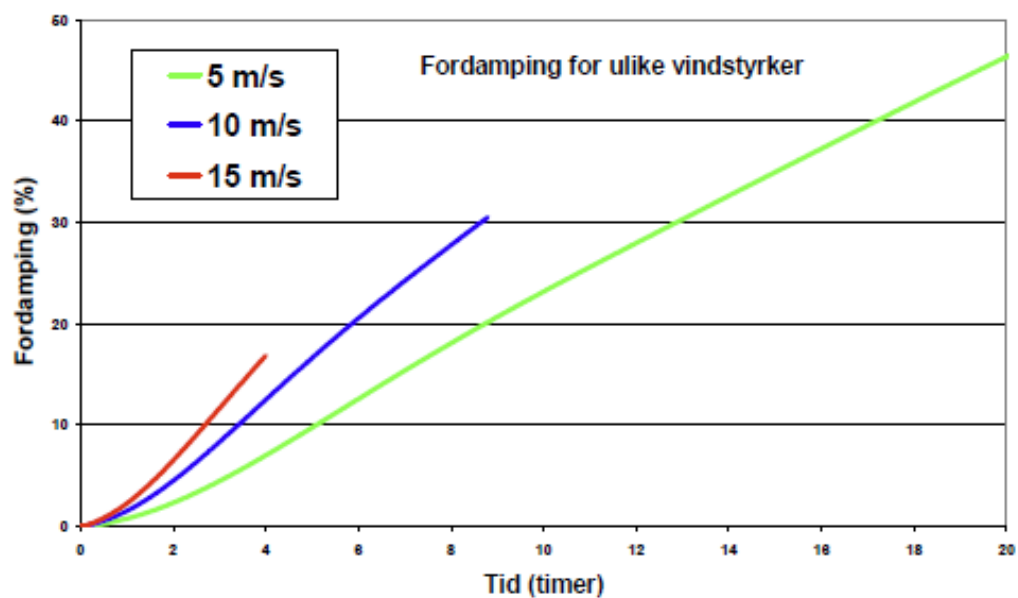
tillegg til å berøre områder inne i Ljøsøybukta, drive ut i fjorden (Hjeltefjorden) og distribueres i begge retninger fra anlegget. Værforhold og tidevann vil påvirke influensområdet, landpåslag, eventuelt vik og bukter som berøres samt andelen diesel som nedblandes i vannsøylen.



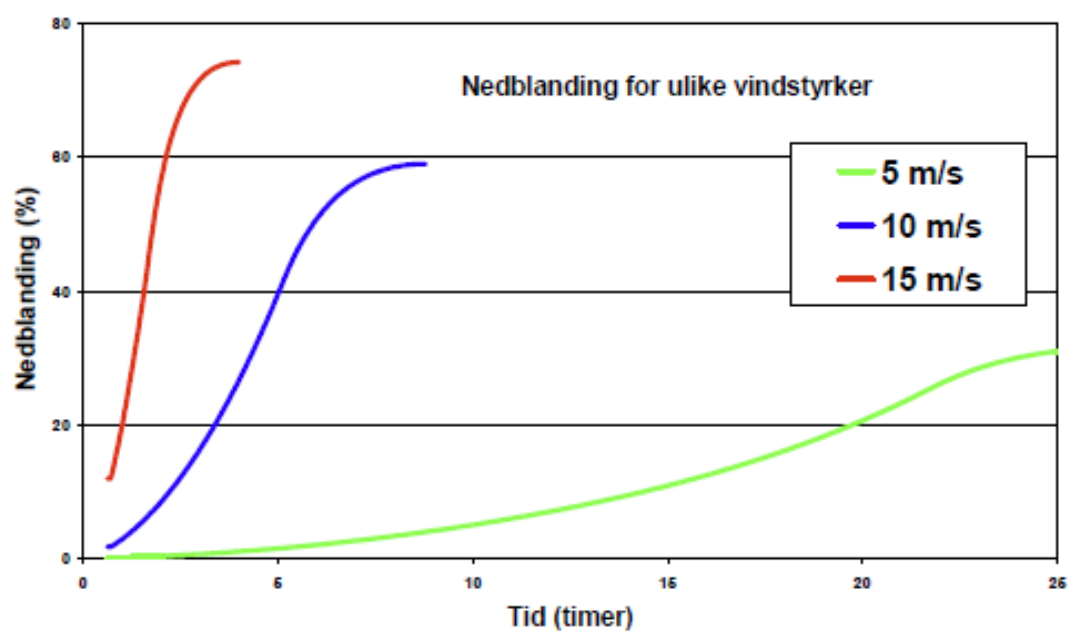
Figur 8-7 Influensområde for utslipp av 1500 tonn lette petroleumsprodukter (eks. dieselolje) ved Mongstad (DNV, 2000)

En spredning av marin diesel ut fra anleggsområdet kan forårsake eksponering av naturressurser i Ljøsøybukta, og langs kysten av Øygarden kommune. Dette betyr at ressursene på Ljøsneset (oter, ærfugl og ærfugl-kolonien nord for anlegget) kan bli eksponert. I tillegg kan diesel blandes ned i vannsøylen å eksponere flatøsters i Kobbevåg, kamskjell- og tareforekomster i og rundt Ljøsøybukta, sukketareforekomstene nord for lagringslokalitet, oppdrettsanleggene i nærområdet, rekefeltene nord og sør for Ljøsøybukta, samt fiskeaktiviteter i Hjeltefjorden.

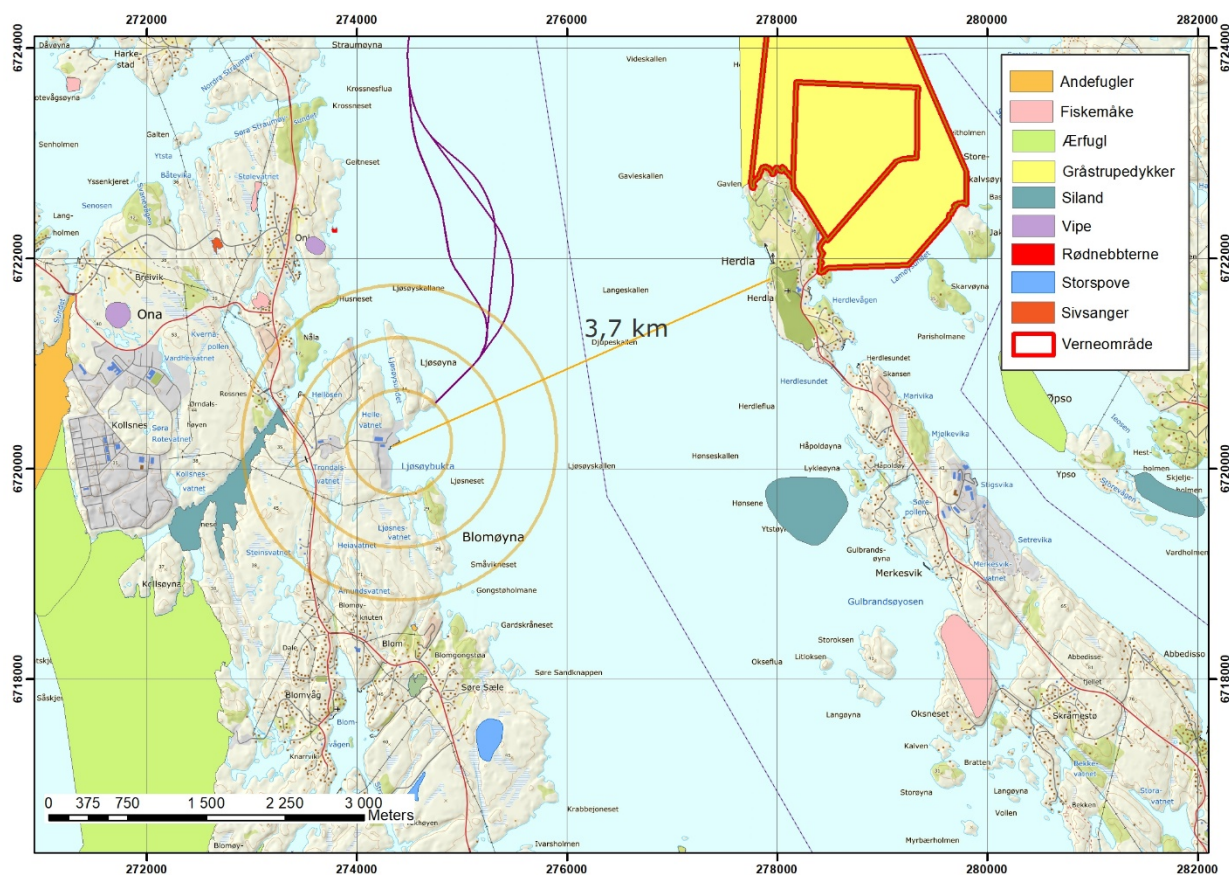
Spredning er primært basert på utslippsvolum og vær- og strømforholdene på det aktuelle tidspunktet. Vindstyrkens innvirkning på nedblanding og fordamping av dieselolje er illustrert nedenfor (Figur 8-7 og Figur 8-8). Roligere værforhold fører til økt oljekonsentrasjon på overflaten over et lengre tidsrom, sammenlignet med økt vindstyrke. Det anses som mulig at under bestemte værforhold kan et utslipp i Ljøsøybukta medføre at naturressurser på østsiden av Hjeltefjorden kan bli berørt. På Herdla, nord på Askøy, er det et vernet våtmarksområde som er habitat for flere fuglearter (Figur 8-10). Omfanget av marin diesel som eventuelt vil drive i land er avhengig av værforholdene på det aktuelle tidspunktet. Beredskapstiltak lokalt i Ljøsøybukta kan bidra til å redusere/forhindre at oljen sprer seg utover i Hjeltefjorden.



Figur 8-8 Fordamping fra flak med dieselolje ved vindstyrker på 5-10-15 m / (DNV, 2000)



Figur 8-9 Nedblanding fra flak med dieselolje ved vindstyrker på 5-10-15 m/s (DNV, 2000)



Figur 8-10 Verneområde og tilstedeværelse av sjøfugl på østsiden av Hjeltefjorden i området ovenfor Northern Lights mellomlagringsanlegg for CO₂ på Kollsnes

8.5 Miljørisikovurdering

Miljøkonsekvensen for **CO₂ lekkasjer** til luft i forbindelse med ilandføring og mellomlagring på Naturgassparken vurderes som neglisjerbar/Lav eller moderat. Dette er basert på spredningsresultatene som viser at forhøyede konsentrasjoner av CO₂ kun vil forekomme lokalt på anlegget og i nærområdene (SAFETEC, 2019b og kapittel 8). Bare det største utslippet fra henholdsvis eksport- og prosesseringsområdet kan medføre forhøyede CO₂ konsentrasjoner med et mindre overlapp med områder der det er observert rødlistearter. Miljøkonsekvensen av disse hendelsene er vurdert til moderat. Ellers er det ingen overlapp mellom modellert influensområde for CO₂ og naturressurser på land. Skadeomfang vil for alle utslippshendelser kun omfatte effekter på individnivå og ikke populasjonsnivå. Dermed vil et utslipp kun ha svært lokal effekt. I etterkant av en lekkasje vil CO₂ konsentrasjonen raskt fortynnes i influensområdene og returnere til tilstanden slik den var før en eventuell lekkasje.

Når det gjelder kulturminner i nærområdet så eksponeres heller ikke disse for forhøyede CO₂ konsentrasjoner. Om en overlapp hadde forekommet ville akutt CO₂ konsentrasjons økning ikke hatt noen direkte negativ effekt på kulturminnene. Forvitring grunnet væreksposering, inkludert sur nedbør, antas å kunne påvirke minnene.

En eventuell nedblanding av CO₂ gass i det marine miljø anses å gi *Neglisjerbar* påvirkning. Dette som følge av hendelsestype, det vil si akutt utslipp med begrenset spredningsområde. Innblandet gass forventes hurtig å bli fortynnet i vannmassene.

For **LNG lekkasje** i forbindelse med skipskollisjon anses tilsvarende hendelsesforløp som for CO₂ utslipp, dog med metan som hovedkomponent.

Når det gjelder **marin diesel lekkasje** er det vurdert at en slik hendelse kan påvirke området og andre aktiviteter i Ljøsøybukta samt føre til spredning av marin diesel nord- og sørover i Hjeltefjorden med potensielt landpåslag på vest- og østsiden av fjorden. Skadepotensialet ved denne typen utslipp vil i stor grad være påvirket av vær- og strømforholdene på det aktuelle tidspunktet.

Basert på tidligere utslipp av oljeprodukter, som følge av forlis, publiserte Havforskningsinstituttet en rapport om miljøkonsekvenser av slike hendelser (HI, 2012). Rapporten omfatter blant annet erfaringer fra "Rocknes" og "Server" hendelsene. Begge disse hendelsene fant sted i Hordaland fylke, i henholdsvis Fjell og Fedje kommune. Studien fokuserte på miljøeffekter forårsaket av utslipp av tungolje (heavy bunker fuel) og marin diesel. For disse to utslippene oversteg tungolje andelen alene hva som blir lagt til grunn for marin diesel lekkasje ved CO₂-langringsanlegget. I sammenstillingen studeres den totale effekten av utslippet, og ikke effekter av enkeltkomponentene; tungolje og marin diesel.

For marine organismer eksponert for hydrokarboner kan man forvente en økning i PAH konsentrasjon i etterkant av utslipp, men effekten forblir kortvarig (uker – måneder) (HI, 2012). Ved "Rocknes" hendelsen var konklusjonen at skadeomfanget utelukkende fra utslippet med stor sannsynlighet ikke vil representerer vesentlige langsiktige negative konsekvenser for fuglebestandene i området (HI, 2012).

Under rolige værforhold (<5 m/s) spres marin diesel raskt på havoverflaten og danner tynne oljefilmer (SINTEF, 2012). Levetiden for marin diesel (MGO) på havoverflaten anses å være kort, mindre enn 1 dag, gitt gunstige værforhold. Dette bidrar til naturlig dispergering og høy grad av avdamping (SINTEF, 2012) som resulterer i kort eksponeringstid og små konsekvenser. Tyngre hydrokarbonkomponenter anses som mer skadelige for miljøet, da de er biotilgjengelige og har lang levetid på overflaten og i vannmassene.

Utslipp av marin diesel fra transportfartøy ved landanlegget kan medføre eksponering av ulike rødlistearter, viktige habitater for sjøfugl, marine ressurser og fiskeaktiviteter lokalt/regionalt. Ut fra erfaringene fra tidligere hydrokarbon utslipp fra skip (HI, 2012) vurderes miljøpåvirkningen generelt sett å være lav til moderat, der sjøfugl er mest utsatt men skaden vil være begrenset til individnivå. Utslipet av marin diesel er derfor kategorisert med moderat miljøkonsekvens (se 3 for metode). Med en svært lav sannsynlighet for at en hendelse av denne typen finner sted (0,001 % sannsynlighet), er miljørisikoen knyttet til et marin diesel utslipp fra transportfartøy definert som lav (grønn) (Tabell 8-4).

Miljørisikoen knyttet til alle utslippsscenarioene er lav (Tabell 8-4). Resultatene i tabellen nedenfor er basert på frekvensene for hele prosjektperioden oppgitt i Tabell 8-3.

Tabell 8-4 Miljørisikovurdering for lekkasjescenarier i forbindelse med ilandføring og lagring på Kollsnes (1-11 - CO₂ utslipp, 12 - LNG og 13 – marin diesel – hentet fra Tabell 8-3)

	Miljøkonsekvens			
	Neglisjerbar/lav	Moderat	Stor	Veldig stor
Usannsynlig (<1 %)	1,2,3,4,6,7,9,10,11,12	5,8,13		
Mulig (1 – 10 %)				
Sannsynlig (>10 %)				

8.6 Beredskapstiltak

Akutte gasslekkasjer, CO₂ og LNG, er primært en sikkerhetsrisiko for anleggets arbeidstakere og tiltak er derfor adressert i anleggets sikkerhetsrisikoanalyse (TRA) (SAFETEC, 2019b).

Når det gjelder utslipp av marin diesel anses havnereglementet og etablering av anløpsprotokoll som hensiktsmessig for å minimere sannsynligheten for kollisjon ved anlegget. En protokoll kan eksempelvis inneholde informasjon om tillatt hastighet i et definert område inn mot kai og hvordan transportfartøyene skal forholde seg under ulike værforhold.

For et utslippsscenario med marin diesel ved kai vil det primære oljevernberedskapstiltaket være å bruke lenser rundt fartøyet for å hindre spredning, og deretter bruk av oljeopptaker for å fjerne oljen fra sjøoverflaten. Marin diesel (MDO) er lavviskøs olje (<10 000 cP) som flyter lett selv ved sjøtemperaturer ned mot frysepunktet. Oljetypen inneholder også en stor grad av lette komponenter som fordamper lett, samt komponenter som løses opp i vannmassene. Imidlertid kan giftigheten for miljøet variere betydelig mellom oljer av MDO-kvalitet (SINTEF, 2017). For å hindre spredning etter et utslipp ved kai er det viktig med kort responstid, dvs. at innringningslense kan komme raskt på plass. Dette vil kreve at nødvendige ressurser er forhånds plassert ved terminalen eller i nærheten (Øygarden Brannstasjon er lokalisert i Naturgassparken). Det finnes ulike tekniske løsninger som kan vurderes, f.eks. permanente lensehus/kassetter på kai som kan dras direkte ut i sjøen, eller mobile løsninger for hurtig utsetting (f.eks. boom bag). I tillegg til lensene må det være tilgjengelig oljeopptakere til å fjerne diesel/oljen. Ulike typer oljeopptakere er aktuelle, bl.a. overløp, børste eller skive-skimmere. Forholdene på oppsamlingsstedet vil være avgjørende for valg av utstyr. Den mest avgjørende faktoren for opptakskapasiteten (antall m³/time) er konsentrasjonen/ tykkelsen av olje. Opptakere som skal ta opp oljer med lav viskositet, trenger normalt ikke å ha pumper plassert i opptakeren på sjøen. Det er tilstrekkelig at oljen suges opp ved hjelp av pumper ombord i opptaksfartøy eller fra land. Absorberende lenser brukes gjerne i forbindelse med mindre oljeutslipp i skjermet farvann og i strandsonen. Disse behandles som spesialavfall etter bruk i olje. Brukte lenser skaper et betydelig avfallsvolum, og bruken må vurderes fortløpende, både med hensyn til behov og effektivitet. Til mellomlagring av oppsamlet olje trengs i tillegg tank eller kar med tilstrekkelig kapasitet. En detaljert utforming og dimensjonering av beredskapstiltak mot utslipp av marin diesel fra kaianlegget bør vurderes nærmere i forbindelse med utbyggingsplanen for terminalen. For utvikling av strategi, kartlegging av behov og oppbygging av beredskap henvises det til Equinors eksisterende landanlegg (eksempelvis Mongstad raffineriet).

8.7 Konklusjon og vurdering av behov for overvåkningsplan for miljø ved landanlegget

Miljørisikoen anses som *Lav/neglisjerbar* for CO₂ utslipp til luft ved lagringsfasiliteten i Naturgassparken. Grunnlaget for vurderingen er resultatene fra spredningsmodellering kombinert med ressurser i nærområdet og sannsynlighet for en hendelse. Forhøyet CO₂ konsentrasjoner ($\geq 4\%$) i luft forventes i nærområde rundt anlegget, og for de større utslippene i mindre overlapp med områder der det er observert rødlistearter. Det mest alvorlige utslippet som kan forekomme fra anlegget, er et utslipp fra eksportørledningen mellom lagringstank og den undersjøiske transportørledningen. Et slikt utslipp vil gi det største influensområdet - et område som kan strekke seg sørover til Ljøsneset hvor ærfugl, hønsehauk og oter er observert. Forhøyet konsentrasjon av CO₂ er beregnet på bakkenivå, og det er forventet lavere konsentrasjoner høyere opp. Basert på dette anses eventuell miljøskade å være begrenset til påvirkning på individnivå, som følge av akutt eksponering, primært utenfor habitatsområdet. Når det gjelder marine



ressurser anses disse å være uberørt gitt et akutt utslipp til luft. Kulturminner vil heller ikke påvirkes ved akutte utslipp over kort tid.

Når det gjelder LNG utslipp vurderes dette å gi tilsvarende bilde som CO₂, gitt forutsetningen om at LNG fordampes i løpet av kort tid ved lekkasje fra drivstofftank.

Miljørisikoen for utslipp av marin diesel utslipp anses som lav. Dette er basert på vurderinger av potensialet for å påvirke ulike rødlistearter, (landbaserte og marine arter), i tillegg til andre marine ressurser og våtmarksområder. Basert på gjennomgang av erfaringer fra tidligere hendelser med tung olje og marin diesel forventes lave til moderate konsekvensen for naturressurser generelt, mens arter av sjøfugl og oter er mest utsatte. Når det gjelder utslipp av marin diesel er det ikke tatt hensyn til effekt av beredskapstiltak; eksempelvis bruk av lense rundt fartøy med eventuell påfølgende mekanisk oppsamling eller bruk av absorberende materiale. Slike beredskapstiltak vil bidra til redusert spredning av marin diesel og dermed også miljøkonsekvensene.

Basert på beredskapsanalysen for anlegget skal det etableres en beredskapsplan. Dette gjøres for å ivareta sikkerheten på anlegget og sikre at de som jobber der ikke blir utsatt for skadelige konsentrasjoner av CO₂. Tiltak som sensorer og automatisk stenging av ventiler skal bidra til å forebygge gassutslipp.

Basert på resultatene fra inneværende miljørisikoanalyse anses det ikke nødvendig med utarbeidelse av noen egen overvåkningsplan for CO₂ utslipp for miljø. Analysen viser at det er svært lav sannsynlighet for eksponering av verdsatte områder for naturressurser og risikoen er lav. Eksisterende overvåkningsplan for anlegget vil dermed være dekkende.

Ettersom et marin dieselutslipp kan påvirke områder med rødlistearter (Ljøsneset og Kobbervåg) anbefales det å gjennomføre en beredskapsanalyse med modellering av marin diesel utslipp, som igjen legges til grunn for planlegging av beredskapstiltak. Som følge av eksisterende aktivitet i Naturgassparken havn forventes det at det foreligger en beredskapsplan for området, som utslippsscenarioer fra Northern Lights aktivitet kan legges inn i. Om så ikke er tilfelle må en plan utarbeides.

9 REFERANSER

- Acker, J.G. , Robert H. Byrne, Samuel Ben-Yaakov, Richard A. Feely, Peter R. Betzer. 1986. The effect of pressure on aragonite dissolution rates in seawater.
- De Vries P., Tamis, J.E., Foekema, E.M., Klok, C., Murk A.J. 2013. Towards quantitative ecological risk assessment of elevated carbon dioxide levels in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 73: 516-523
- DNV 2000. Miljørisikoanalyse for Statoil Mongstad – Akutte utslipp fra landanlegg og kai. DNV Rapport Nr. 2000-3343. Revisjon nr. 03.
- DNV GL & SINTEF, 2014. DISPERSION MODELING, RESOURCE MAPPING AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT at Johan Sverdrup. DNV GL Report No.: 2014-1165, Rev. 0
- Dupont S, Havenhand J., Thorndyke W, Peck L, Thorndyke M, 2008. Near-future level of CO₂ driven ocean acidification radically affects larval survival and development in the brittlestar *Ophiothrix fragilis*. *Marine Ecology Progress Series* 373:285-294.
- ECO2 project 2016. Best Practice Guidance for Environmental Risk Assessment for offshore CO₂ geological storage. Deliverable 14.1 <https://www.eco2-project.eu/D14.1.pdf>
- ECO2 Project, "ECO2 - Sub-seabed CO₂ Storage: Impact on Marine Ecosystems," ECO2, 2016. Tilgjengelig gjennom EU CORDIS: <https://cordis.europa.eu/project/rcn/98756/reporting/en>
- Equinor & KBR, 2019. Northern Lights project, Feed phase. ENVID report. Doc. Number: 175-KBR-S-RA-0010, rev. 03.
- Equinor, 2019a. Northern Lights project, Barrier evaluation of legacy wells. Doc. Number: RE-PM673-00052, rev. 01.
- Equinor, 2019b. Input to ERA Memo. Mai 2019
- Hennige, S. J. L. C. Wicks, N. A. Kamenos, G. Perna, H. S. Findlay and J. M. Roberts. 2015. Hidden impacts of ocean acidification to live and dead coral framework
- HI, 2012. Experiences from oil spills at the Norwegian coast. A summary of environmental effects. S. Boitsov, J. Klungsøyr og H. Dolva. Prosjektnr.: 10018-06. 36 sider.
- IPCC Special report on carbon dioxide capture and storage; Chapter 6: Ocean storage
- Kikkawa T., Kita, J., Ishimatsu A. 2004. Comparison of the lethal effect of CO₂ and acidification on red sea bream (*Pagrus major*) during the early developmental stages. *Marine Pollution Bulletin* 48(1-2):108-110
- Maier, C. , J. Hegeman, M. G. Weinbauer and J.-P. Gattuso. 2009. Calcification of the cold-water coral *Lophelia pertusa* under ambient and reduced pH
- Mcconville, K., Halsband C., Fileman, E. S., Somerfield P., Findlay H. S., Spicer J. 2013. Effects of elevated CO₂ on the reproduction of two calanoid copepods. *Marine Pollution Bulletin* 73(2)
- Melzner, F., Gobel S., Langenbuch M., Gutowska M.A., Portner H., Lucassen M., 2009. Swimming performance in Atlantic Cod (*Gadus morhua*) following long-term (4–12 months) acclimation to elevated seawater PCO₂. *Aquatic toxicology*. Vol.92: 32-37.
- NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration <https://www.pmel.noaa.gov/co2/story> accessed 21.06.2019
- Northern Lights, Mottak og permanent lagring av CO₂, Forslag til utredningsprogram for konsekvensutredning, Januar 2018
- Rambøll, 2018. Detaljreguleringsplan for Kollsnes Næringspark. Dato: 05-02-2018.
- Roberts, J. M., Wheeler, A. J. and Freiwald, A. 2006. Reefs of the deep: The Biology and Geology of Cold-Water Coral Ecosystems. *Review. Science* 312, 543-547.



Rådgivende biologer, 2017. Regulering av Kollsnes næringspark, Øygarden kommune. Konsekvensvurdering for naturmangfold og naturressurser. M. Eilertsen, C.J. Blanck, L. Eilertsen & H. E. Haugsøen. Rapport nr.: 2535.42 sider.

SAFETEC 2019ba. Northern Lights Project FEED phase, TRA – main report. Doc. Number: 175-KBR-S-RA-0006, rev. 02.

SAFETEC, 2019b. Northern Lights Project FEED phase – CFD Analysis. Technical Note. Number: 175-KBR-S-RA-0021, rev. 02.

Saipem & Equinor, 2019. Northern Lights project, CO2 Pipeline Design Feed phase. CO2 Dispersion analysis. Doc. Number: 03-ZA-E-85204, rev. 01.

SFT 2010. Rapport 2575. Forsuring av havet. Kunnskapsstatus for norske farvann.

SINTEF, 2017. Weathering Properties and Toxicity of Marine Fuel Oils. K.C. Hellstrøm. Report rev 1.0, 82 pages including Appendices.

Stiling, P. & Cornelissen, T., 2007. How does elevated carbon dioxide (CO₂) affect plant – herbivore interactions? A field experiment and meta - analysis of CO₂ - mediated changes on plant chemistry and herbivore performance. *Global Change Biology*. Volume 13, Issue 9, Pages 1823-1842.

Vielstädte, L., Linke, P. Schmidt, M., Sommer, S., Haeckel, M., Braack, M. and Wallmann, K: Footprint and detectability of a well leaking CO₂ in the Central North Sea: Implications from a field experiment and numerical modeling, *Int. J. Greenh. Gas Con.* 84(2019), pp. 190-203.

Weydmann, A., Søreide, J. E., Kwasniewski, S., Widdicombe. 2012. Influence of CO₂-induced acidification on the reproduction of a key Arctic copepod *Calanus glacialis*.



Om DNV GL

DNV GL er et internasjonalt selskap innen kvalitetssikring og risikohåndtering. Siden 1864 har vårt formål vært å sikre liv, verdier og miljøet. Vi bistår våre kunder med å forbedre deres virksomhet på en sikker og bærekraftig måte.

Vi leverer klassifisering, sertifisering, teknisk risiko- og pålitelighetsanalyse sammen med programvare, datahåndtering og uavhengig ekspertrådgivning til maritim sektor, til olje- og gass-sektoren, og til energibedrifter. Med 80,000 bedriftskunder på tvers av alle industrisektorer er vi også verdensledende innen sertifisering av ledelsessystemer.

Med høyt utdannede ansatte i 100 land, jobber vi sammen med våre kunder om å gjøre verden sikrere, smartere og grønnere.