

Demonstrasjon av fullskala CO₂-håndtering

Rapport for avsluttet forprosjekt

Dato: 07.05.2020
U.off: Off. Forskrifta §1 tredje ledd, f)
Sikkerhetsklass: Intern
Dok.nr: 17/35-1
Rev.nr: 3.0

Utarbeidet av	Audun Røsjorde	Sign: <i>Audun Røsjorde</i>
Verifisert av	Harald Anvik	Sign: <i>Harald Anvik</i>
Godkjent av	Tove Dahl Mustad	Sign: <i>Tove Mustad</i>

Innholdsfortegnelse

Definisjoner og forkortelser	7
1 Innledning.....	8
1.1 Om prosjektet.....	8
1.2 Om rapporten.....	8
2 Sammendrag	10
3 Gassnovas mandat, prosjektmål og arbeid i forprosjektet	13
3.1 Mål og mandat	13
3.2 Prinsipielle beslutninger og endringer	14
3.3 Gassnovas arbeid.....	14
4 Teknisk prosjektbeskrivelse.....	15
4.1 Alternative CCS-kjeder i demonstrasjonsprosjektet for CO ₂ -håndtering.....	15
4.2 Designbasis	15
4.3 Norcems fangstprosjekt	16
4.3.1 Beskrivelse av eksisterende produksjonsanlegg	16
4.3.2 Beskrivelse av CO ₂ -fangstanlegget	17
4.3.3 Støttesystemer til fangstanlegget	19
4.3.4 Bygg, anlegg og situasjonsplan	19
4.3.5 Byggbarhet	21
4.3.6 Endringer i de tekniske løsningene fra konseptstudiet.....	22
4.4 FOVs fangstprosjekt.....	23
4.4.1 Beskrivelse av eksisterende produksjonsanlegg	23
4.4.2 Beskrivelse av CO ₂ -fangstanlegget	24
4.4.3 Støttesystemer	25
4.4.4 Bygg, anlegg og situasjonsplan.....	26
4.4.5 Byggbarhet	31
4.4.6 Endringer av de tekniske løsningene fra konseptstudiet	32
4.5 Northern Lights' transport- og lagerprosjekt	34
4.5.1 Innledning.....	34
4.5.2 Skip	34
4.5.3 Mottaksterminal for CO ₂	36
4.5.4 Rørledning	40
4.5.5 Havbunnsutstyr	41
4.5.6 Kontroll- og kraftkabler	41
4.5.7 Injeksjonsbrønnen	42

4.5.8	Lagringskompleks for CO ₂	43
4.5.9	Endringer av de tekniske løsningene fra konseptstudiet	45
4.6	Grensesnitt	46
4.7	Målefilosofi.....	48
4.8	Overkapasitet i CCS-kjeden	49
5	Teknologivurderinger	51
6	Verdiøkingsprosess.....	53
6.1	Aktørenes verdiøkingsarbeid	53
6.2	Gassnovas verdiøkingsarbeid	53
6.2.1	Samlokalisering av mellomlager i Brevik	53
6.2.2	Reduksjon i fangstanleggenes mellomlager ved realisering av begge fangstanlegg	54
6.2.3	Felles design av flytendegjøringsanleggene hos Norcem og FOV	54
6.2.4	Felles anlegg for rensing av CO ₂ på NLs mottaksterminal.....	55
6.2.5	Etablering av spesifikke krav til regularitet for fangstanleggene og lageranlegget	55
6.2.6	Felles innkjøp på tvers av aktørenes prosjekter	55
7	Systemutprøving og oppstart.....	56
8	Drift og vedlikehold	57
8.1	Driftsfilosofi	57
8.1.1	Overordnet filosofi	57
8.1.2	Fangstanleggene.....	57
8.1.3	Transport- og lageranlegget	57
8.2	Vedlikeholdsfilosofi	58
8.2.1	Overordnet filosofi	58
8.2.2	Fangstanleggene.....	58
8.2.3	Transport- og lageranlegget	58
8.3	Tilgjengelighet	59
8.3.1	Innledning.....	59
8.3.2	Filosofi for CCS-kjedens tilgjengelighet	59
8.3.3	Planlagt CO ₂ -mengde fanget og lagret	60
8.3.4	Faktisk CO ₂ -mengde fanget og lagret.....	62
9	Myndighetsforhold.....	64
9.1	Utredninger, tillatelser og samtykker.....	64
9.2	Regelverk	64
10	Helse, miljø og sikkerhet (HMS)	65
10.1	Faremomenter med CO ₂	65

10.2	HMS-gjennomganger.....	66
10.2.1	Aminutslipp	67
10.2.2	Støy.....	67
10.2.3	CO ₂ uhellsutslipp	67
10.3	CO ₂ -fotavtrykk	67
11	Interimfasen	70
11.1	Interimfasen for fangstaktørene	70
11.2	Interimfasen for transport- og lageraktøren.....	70
12	Prosjektgjennomføring.....	72
12.1	Norcems gjennomføringsplan	72
12.2	FOVs gjennomføringsplan	73
12.3	Northern Lights' gjennomføringsplan	74
13	Fremdriftsplan for realiseringsfasen	76
13.1	Prosjektmilepæler	76
13.2	Grensesnittsmilepæler	77
13.3	Overordnet fremdriftsplan.....	78
13.4	Kritisk linje og flyt	79
13.5	Risikovurdering av overordnet fremdriftsplan.....	79
13.6	Forutsetninger	79
14	Estimerte kostnader	80
14.1	Generelt.....	80
14.2	Kostnader for alternative CCS-kjeder.....	81
14.3	Kostnader for fangstanleggene	81
14.3.1	CAPEX	81
14.3.2	OPEX	83
14.4	Kostnader for transport- og lageranlegget.....	84
14.4.1	CAPEX	84
14.4.2	OPEX	85
14.4.3	Tilleggs-kostnader for en brønn og et skip	86
14.5	Kontantstrøm	87
15	Risiko	87
15.1	Risikostyring og prosesser	88
15.2	Risikomatrise	88
16	Uavhengig teknisk gjennomgang	91
16.1	Innledning.....	91

16.2	Om gjennomgangen	91
16.3	Resultater av gjennomgangen.....	92
17	Referanser	93
18	Vedleggsliste.....	93

Revisjonshistorikk

Utarbeidet av:	Verifisert av:	Godkjent av:	Revisjon:	Årsak til utgivelse	Dato:
A. Røsjorde, M. Carpenter, M. Prestholdt	H. Anvik	T. D. Mustad	3.0	Utgitt for orientering av Gassnovas styre	07.05.2020
A. Røsjorde	H. Anvik	T. D. Mustad	2.0	Utgitt for orientering av Styringsgruppen	12.12.2019
A. Røsjorde, M. Prestholdt, G. Moe, L. Bjerkeli-Homme, O.H. Vårdal, M. Carpenter, L.I. Helgesen	H. Anvik	T. D. Mustad	1.0	Utgitt for orientering av Gassnovas styre	05.12.2019

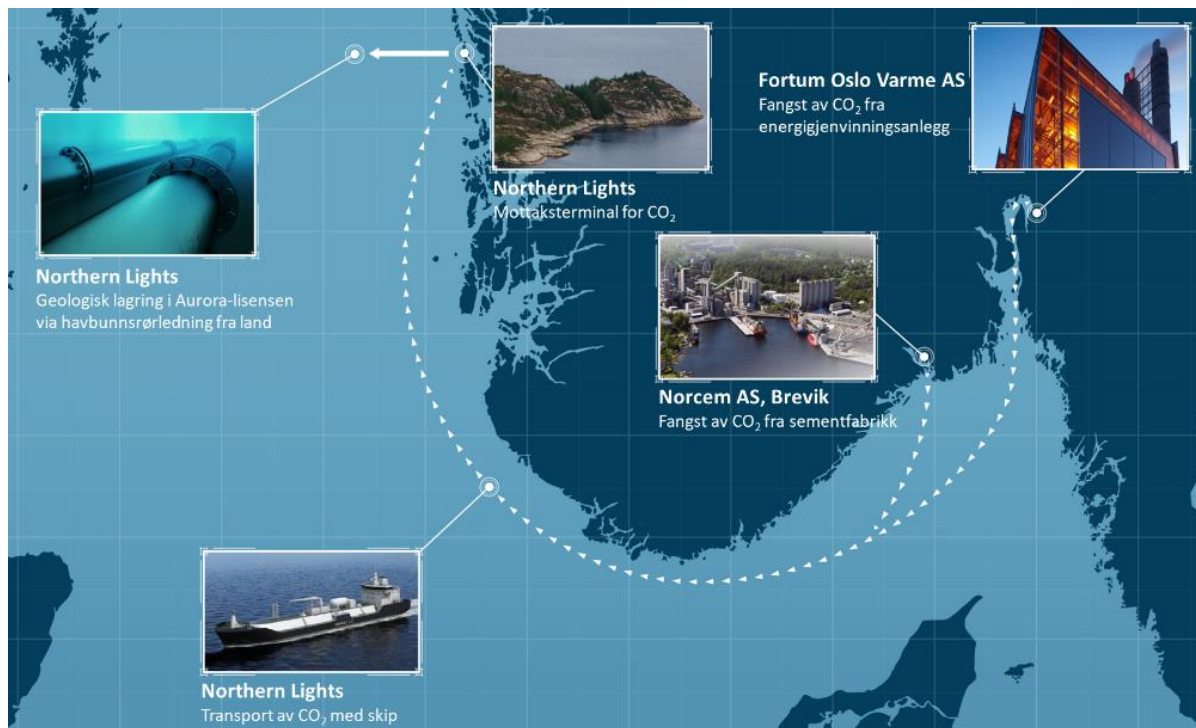
Definisjoner og forkortelser

Aktørene	Fortum Oslo Varme, Norcem/Heidelberg Cement og Northern Lights (Equinor, Shell og Total)
ALARP	As Low As Reasonably Practicable (Så lavt som praktisk mulig - risikoreduksjonsprinsipp)
Barg	bar gauge (overtrykk)
BIM	Bygningsinformasjonsmodellering
CAPEX	Capital Expenditure (Investeringskostnader)
CCS	CO ₂ - fangst og –lagring også kalt CO ₂ -håndtering
CCS-kjede	Hel verdikjede for fjerning av CO ₂ fra industriavgass, for deretter transport og geologisk lagring av CO ₂
CO ₂	Karbondioksid
DCC	Direct contact cooler (Utstyrsenhet for nedkjøling og vasking av røykgassen)
DG	Beslutningspunkt (eng. Decision gate)
DG3	Punktet for investeringsbeslutning i aktørenes og Gassnovas prosjektgjennomføringsmodell
DSB	Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap
EL	Utnyttelsestillatelse (eng. exploitation license)
ESD	Emergency shut down (nødavstengning)
FOV	Fortum Oslo Varme
HAZID	Hazard Identification (Fareidentifikasjon)
HAZOP	Hazard in Operation (Fare- og driftsanalyse)
HMS	Helse, miljø og sikkerhet
ISPS	International Ship and Port Facility Security Code
KU	Konsekvensutredning
kW	Kilowatt (tusen watt)
kWh	Kilowattimer (en kilowatttime)
LPG	Flytende petroleumsgass (Liquefied petroleum gas)
Mdir	Miljødirektoratet
MEG	Mono-etylen glykol
Mt	Megatonn (= million tonn)
Mrd	Milliarder
MW	Megawatt (1000 kilowatt = 1 million watt)
MWh	Megawattimer
NL	Northern Lights, partnerskapet mellom Equinor, Total og Shell for å etablere og drive CO ₂ transport og lager
nm	Nautisk mil (= 1852 meter)
NNSN	Norsk Nasjonalt Seismisk Nettverk
NO _x	Nitrogenoksider
OD	Oljedirektoratet
OED	Olje- og energidepartementet
OPEX	Operating Expenditure (Driftskostnad)
PAD	Plan for anlegg og drift
PBE	Prinsipiell beslutning og endring
PLEM	Pipeline end module (rørlednings endemodul)
Ptil	Petroleumstilsynet
ppm	Parts per million
PUD	Plan for utbygging og drift
ROV	Remote Operated Vehicle (fjernstyrt undervannsfartøy)
RAM	Reliability, availability, and maintainability (pålitelighet og tilgjengelighet)

1 Innledning

1.1 Om prosjektet

Demonstrasjonsprosjektet for fullskala CO₂-håndtering omfatter fangst av CO₂ fra Norcems sementfabrikk i Brevik og fra Fortum Oslo Varmes energigjenvinningsanlegg på Klemetsrud, skip for transport av flytende CO₂ og en mottaksterminal i Øygarden kommune med en havbunnsrørledning til en brønn i Aurora-lisensen, se Figur 1-1.



Figur 1-1: Oversikt over det norske demonstrasjonsprosjektet for fullskala CO₂-håndtering.

Prosjektet er forutsatt gjennomført med inntil tre selvstendige delprosjekter som samlet vil utgjøre en hel kjede for fjerning og geologisk lagring av CO₂, heretter kalt CCS-kjeden. Prosjekttørene er:

1. Norcem (HeidelbergCement Group) vil bygge et fangstanlegg som kan levere omkring 400 000 t CO₂/år fra eksisterende utslipp fra sementfabrikken i Brevik kalt **Norcems fangstprosjekt**.
2. Fortum Oslo Varme (FOV) vil bygge et fangstanlegg som kan levere omkring 400 000 t CO₂/år fra eksisterende utslipp fra varmegjenvinningsanlegget på Klemetsrud kalt **FOVs fangstprosjekt**.
3. Northern Lights (NL) – et partnerskap mellom Equinor, Shell og Total – vil transportere CO₂ med skip til en ny mottaksterminal i Øygarden. Herfra blir CO₂ pumpet via en ny havbunnsrørledning og injisert i Aurora-lisensen i Nordsjøen for geologisk lagring. Dette kalles **transport- og lagerprosjektet**. Inntil Northern Lights blir opprettet som et eget selskap («Joint Venture») er det Equinor som representerer partnerskapet.

1.2 Om rapporten

Dette er Gassnovas rapport for CCS-kjeden ved avsluttet forprosjekt i det norske demonstrasjonsprosjektet for CO₂-håndtering. Rapporten er en av flere leveranser fra Gassnova til Olje- og energidepartementet (OED) som skal inngå i underlaget for Stortingets beslutning om det skal gis tilskudd til demonstrasjonsprosjektet.

Ifølge «Mandat for videre planlegging og oppfølging av arbeidet med demonstrasjonsprosjektet for CO₂-håndtering i Norge» [1], skal Gassnova etter gjennomført forprosjekt levere en «DG3-rapport» som inneholder:

- a. HMS-vurderinger
- b. Overordnet plan for bygge- og driftsfasen
- c. Prosjektets totale kostnader i tilskuddsperioden (CAPEX + OPEX)
- d. Risikovurdering av anbefalt gjennomføringsstrategi
- e. Beskrivelse av hel kjede
- f. Gevinstrealiseringsplan

Denne rapporten for CCS-kjeden erstatter «DG3-rapporten», og etter avtale med OED gjøres noen omstruktureringer i Gassnovas hovedleveranser som vil ha konsekvenser for innholdet i rapporten:

Punkt b: «Overordnet plan for bygge- og driftsfasen» beskrives kort i dette dokumentet og mer utførlig i OEDs «Sentralt styringsdokument» [2].

Punkt d: «Risikovurdering av anbefalt gjennomføringsstrategi» er ikke en del av denne rapporten da Gassnovas vurdering av delprosjektene presenteres i evalueringsrapportene for fangst og transport/lagring, og en beskrivelse av gjennomføringsstrategi vil ligge i «Sentralt styringsdokument» [2].

Punkt f: «Gevinstrealiseringsplan» er en selvstendig rapport som ble overlevert OED 14. februar 2020 [3].

I mandatet heter det at Gassnova skal levere en «Rapport fra uavhengig gjennomgang/revisjon av prosjektet». Den uavhengige gjennomgangen er oppsummert i kapittel 16.

Denne rapporten tar utgangspunkt i FOV, Norcem og NL sine DG3-rapporter, [4], [5], [6], samt FOVs «FEED Update – Layout Study» fra april 2020 knyttet til endringer i layout for å muliggjøre en senere «Linje 4» og reduserte kostnader, [17]. FOVs «FEED Update – Layout Study» er ikke like detaljert som de originale DG3-leveransene, og flere illustrasjoner og oversikt over de installerte mengdene hos FOV er derfor ikke oppdatert. En rekke steder i rapporten gjengir Gassnova forkortede utdrag fra disse rapportene. Gassnovas vurderinger av de ulike delprosjektene, inkludert rangering av fangstprosjektene, er ikke beskrevet i denne rapporten. I de tilfeller hvor Gassnova har et syn som avviker fra aktørenes egne vurderinger, vil det henvises tydelig til evalueringsrapportene for fangst [7] og transport/lagring [8]. Gassnovas vurdering av FOVs rapport fra april 2020 er dokumentert i et eget notat, [18]. Der hvor Gassnova beskriver eget arbeid eller gjør egne vurderinger, vil det gå klart frem av teksten. Det er vurdert som hensiktsmessig at beskrivelser av eget arbeid er mer omfattende enn beskrivelser som utelukkende bygger på informasjon som finnes i aktørenes DG3-rapporter.

Rapporten gir en samlet fremstilling av tekniske løsninger, kostnader, gjennomføringsplaner og risikovurderinger for bygging og drift av anleggene for CO₂-håndtering, basert på aktørenes egne DG3-rapporter. Rapporten presenterer resultater for tre ulike alternativer av CCS-kjeden basert på gjennomføring av prosjektet med ett eller to fangstprosjekter. Stortinget vil beslutte hvorvidt det skal gis tilskudd til realisering og demonstrasjon av fullskala CO₂-håndtering i Norge, og hvilke aktører som eventuelt vil motta slikt tilskudd.

Aktørene og OED forhandler om tilskudd til fangst og transport/lagring av CO₂, og ingen vurderinger av disse avtalene er gitt i denne rapporten, og det kan derfor bli nødvendig å oppdatere denne rapporten etter at avtalene er ferdige. En oppdatering av rapporten er utført i mai 2020 som en følge

av at NL i forkant leverte sin endelige DG3-rapport og at FOV leverte en rapport med oppdatert konsept knyttet til «linje 4» og nytt kostnadsestimat, [17].

2 Sammendrag

Norcem, FOV og NL har i forprosjektet utført arbeid og levert DG3-leveranser i henhold til studieavtalene med Gassnova.. Realiseringen av prosjektet omfatter detaljengineering og bygging av tekniske anlegg for fangst, transport og lagring av CO₂ etterfulgt av drift av anleggene i 10 år, samt gevinstrealisering. Det er forutsatt at aktørene selv vil lede, organisere, planlegge og utføre realiseringen i henhold til sine egne metoder og systemer.

CO₂ fra røykgassen hos Norcem i Brevik og FOV på Klemetsrud i Oslo vil bli fanget, rensset, gjort flytende og mellomlagret før den skipes ut via henholdsvis Grenland Havn i Brevik og Kneppeskjær i Oslo Havn. Disse anleggene kalles «fangstanlegg». Hos FOV vil flytende CO₂ bli transportert med tankbil fra Klemetsrud til utskipningsterminalen på Kneppeskjær, mens hos Norcem transporteres flytende CO₂ til kai i rør på land.

NL vil transportere CO₂ med skip fra havnene i Brevik og Oslo til en mottaksterminal i Øygarden kommune nordvest for Bergen. Her blir den losset og overført til et mellomlager på land. Fra mellom-lageret blir CO₂ pumpet i en 100 km lang havbunnsrørledning og injisert i lisensområdet til Utnyttelsestillatelse EL001 sør for Trollfeltet i Nordsjøen, kalt Aurora-lisensen. Mottaksterminalen vil bli overvåket og styrt fra et kontrollrom på land mens injeksjonsbrønnen vil bli overvåket og styrt fra Oseberg Feltsenter. Disse anleggene og infrastrukturen omtales i denne rapporten som «transport- og lageranlegget».

I løpet av forprosjektet har aktørene gjort noen endringer til sine prosjektkonsepter. NL har blant annet endret løsningen slik at kraft- og kontrollkabler har blitt kortere og nå kommer fra Oseberg A plattformen istedenfor fra land. FOV har endret fra rørledning til tankbiler for transport av CO₂ fra Klemetsrud til Oslo Havn og har redusert effekt på sin varmepumpe fra 70 til 60 MW. Norcems endringer har vært av mindre omfang.

CCS-kjeden kan realiseres ved bygging og drift av transport- og lageranlegget sammen med begge eller ett av fangstanleggene. Med både ett og to fangstanlegg i CCS-kjeden legger NL til grunn at det er behov for to skip for å sikre tilstrekkelig oppetid. Hvert fangstanlegg er dimensjonert for en årskapasitet på ca. 400 000 t CO₂, mens NLs mottaksterminal og havbunns-installasjoner er dimensjonert for en årskapasitet som er større enn 800 000 t CO₂. Hensikten er at NL skal kunne tilby kostnadseffektiv lagring av ytterligere CO₂-mengder fra andre kilder (tredjeparts-volumer fra andre aktører enn Norcem i Brevik og FOV på Klemetsrud).

Tre alternative CCS-kjeder basert på ett eller to fangstanlegg med tilhørende forventet mengde lagret CO₂ og estimerte investerings- (CAPEX) og årlige driftskostnader (OPEX) er vist i Tabell 2-1. Det er i estimatene forutsatt at Stortinget vil fatte beslutning om tilskudd i slutten av 2020 og at støtte-perioden for driftsfasen vil være på 10 år. Estimaten er som angitt av aktørene selv i sine DG3-rapporter til Gassnova. Aktørene har i parallell med DG3-rapporteringen gitt sine kommersielle tilbud for realiseringen av sine delprosjekter til staten, men ingen tekniske eller kommersielle forhold fra tilbudene er del av denne rapporten.

Tabell 2-1: Alternative CCS-kjeder med ett eller to fangstanlegg.

	Hel kjede Norcem	Hel kjede FOV	Hel kjede Norcem og FOV
Omfang av CCS-kjeden	- Fangstanlegg kun hos Norcem - Transport- og lageranlegg med to skip og en brønn	- Fangstanlegg kun hos FOV - Transport- og lageranlegg med to skip og en brønn	- Fangstanlegg hos Norcem og FOV - Transport- og lageranlegg med to skip og en brønn
Planlagt CO₂-mengde fanget og lagret *	401 200 t/år	432 800 t/år	834 000 t/år
Faktisk CO₂-mengde fanget og lagret **	376 700 t/år	396 700 t/år	773 400 t/år
CAPEX, P50/P85 ***	9,6/11,3 mrd. NOK	10,5/12,0 mrd. NOK	13,6/15,6 mrd. NOK
OPEX, P50/P85 ***	362/418 MNOK/år	467/529 MNOK/år	583/657 MNOK/år

(*) Estimaten for den planlagte CO₂-mengden fanget og lagret er definert slik at de ikke tar høyde for nedetid av de nye fangstanleggene. Dette er nærmere omtalt i kapittel 8.3.3.

(**) Fordi fangstanlegg, skip og lageranlegget vil ha noe nedetid vil den faktiske CO₂-mengden som fanges og lagres være lavere enn den planlagte CO₂-mengden fanget og lagret. Dette er videre omtalt i kapittel 8.3.4.

(***) Estimerte kostnader er oppgitt i 2019 kroner, eks. mva. og finanskostnader. OPEX er estimert som gjennomsnittet for et normalt driftsår. P50 og P85 er estimater som med henholdsvis 50% og 85% sannsynlighet ikke vil bli overskredet.

NL har i sin DG3-rapport angitt kostnader for et ekstra skip og en ekstra brønn, men disse inngår ikke i Gassnovas sammenstilte kostnader i tabellen over. I NLs DG3-rapport er CAPEX for et ekstra skip estimert til ■■■ MNOK, med en tilhørende OPEX på ■ MNOK/år. CAPEX for en ekstra brønn er oppgitt som ■■■ MNOK, med en tilhørende OPEX på ■ MNOK/år. En økning i mengde CO₂ håndtert på mottaksterminalen fra 800 000 t CO₂/år til 1,5 Mt CO₂/år er oppgitt til å øke mottaksterminalens OPEX med ■ MNOK/år.

Aktørene har selv ansvar for å innhente nødvendige tillatelser og samtykker fra relevante myndighetsorganer. Aktørene er i rute med viktige myndighetsprosesser knyttet til blant annet reguleringsplaner, konsekvensutredninger, plan for utbygging og drift (PUD) og plan for anlegg og drift (PAD).

Norcem har tidligere dokumentert med pilottesting og spredningsberegninger at de får lave aminutslipp og at de med god margin vil tilfredsstille forventede miljøkrav når det gjelder nitrosaminer og nitraminer. FOV har i forprosjektet kjørt et pilotanlegg hvor de har påvist lave aminutslipp. Deres spredningsberegninger fra 2018 viste at de sannsynligvis ville tilfredsstille forventede miljøkrav. En oppdatert spredningsberegning utført høsten 2019 viser at kravet til maksimalt innhold av amin i røykgassen ut fra pipa sannsynligvis må ligge noe lavere enn tidligere beregnet. Med de rensetrinnene som er inkludert i designet, mener FOV at de vil innfri alle krav til utslipp, og arbeidet med oppdaterte spredningsanalyser er planlagt ferdige innen beslutning om tilskudd.

Teknisk sikkerhet og arbeidsmiljøforhold både under bygging og drift av anleggene er vurdert i henhold til anerkjente metoder. Aktørene har lukket mange av funnene de har identifisert i løpet av forprosjektet. Gjenstående funn er planlagt håndtert og lukket i realiseringsfasen, og Gassnova mener at de ikke bør ha konsekvenser for en eventuell beslutning om tilskudd.

Gassnova har beregnet CO₂-fotavtrykk for de ulike alternative CCS-kjedene. For bygging og 25 års drift (teknisk levetid) av en CCS-kjede med begge fangstanleggene, og full utnyttelse av

mottaksterminalens kapasitet på 1,5 Mt CO₂/år, er CO₂-fotavtrykket beregnet til 0,077 tonn CO₂ ekvivalenter pr. tonn CO₂ lagret. For å lagre 100 tonn CO₂ vil det altså bli sluppet ut klimagasser tilsvarende 7,7 tonn CO₂. Ulike sensitiviteter viser at CO₂-fotavtrykket sannsynligvis vil ligge innenfor et intervall på +/-50% av denne verdien, avhengig av om 10 eller 25 års drift legges til grunn, om mottaksterminalens kapasitet utnyttes, og hvilke fangstaktører som inngår i CCS-kjeden. Dette er lavere enn tilsvarende fangst- og lagringsprosjekter som til nå har vært studert andre steder globalt, primært fordi norsk strøm har et lav CO₂-fotavtrykk og på grunn av de tekniske løsningene i CCS-kjeden.

Behovene for teknologikvalifisering er tidligere identifisert av aktørene, og de har modnet videre de aktuelle teknologiene i henhold til anerkjente prosesser for teknologikvalifisering. Blant annet har FOV og Norcem i forprosjektet utført pilottester med tilhørende analyser, og teknologiene som skal benyttes i fangstanleggene er nå dokumentert som kvalifisert av uavhengig tredjepart (DNV GL).

I forprosjektet har aktørene deltatt i videre modning og definisjon av grensesnittet mellom fangst-anleggene og transport- og lageranlegget. Gassnova har vært ansvarlig for koordineringen av arbeidet og vurderer modenheten av grensesnittet som god.

Alle aktørene har identifisert sine største risikoer i forbindelse med bygging og drift av sine anlegg. På nåværende tidspunkt er den største identifiserte risikoen knyttet til usikkerhet knyttet til varighet og konsekvens av Covid-19 utbruddet. NLs interne investeringsbeslutning og statens etterfølgende beslutningsprosess er på kritisk linje for å nå planlagt oppstart av realiseringsfasen. Gassnova har videre identifisert risikoer knyttet til CCS-kjeden som helhet og som ikke er dekket av aktørenes egne analyser. Den største av disse risikoene vurderes av Gassnova å være usikkerhet i prisstigning og valutakurser. Derne er det en risiko for at en forsinket ferdigstillelse av ett eller begge fangstanleggene vil forsinke oppstart av CCS-kjeden og dermed øke varigheten av støtteperioden og statens forpliktelse.

Med bistand fra uavhengig tredjepart (Worley og AGR), har Gassnova vurdert om det foreligger ytterligere tekniske og kostnadmessige risikoer som ikke er hensyntatt i aktørenes vurderinger. Det er i disse prosessene ikke fremkommet betydelige risikoer («showstoppers») i forhold til realiseringen av CCS-kjeden.

Første leveranse av CO₂ fra fangstanleggene er forventet tidlig i tredje kvartal 2024 og fangst-anleggene forventes ferdig utprøvd og i normal drift i løpet av tredje eller fjerde kvartal 2024. Byggetiden for transport- og lageranlegget er estimert til om lag 36 måneder og NL planlegger ferdigstillelse seint første kvartal 2024.

Hver aktør har selv identifisert aktiviteter på kritisk linje innenfor egne delprosjekter. For prosjektet som helhet er kritisk linje knyttet til Stortingets beslutning om tilskudd, mobilisering av fangst-prosjektene, samt bygging og ferdigstillelse av fangstanleggene.

3 Gassnovas mandat, prosjektmål og arbeid i forprosjektet

3.1 Mål og mandat

Gassnovas arbeid i forprosjektet er forankret i «Mandat for videre planlegging og oppfølging av arbeidet med demonstrasjonsprosjektet for CO₂-håndtering i Norge» [1], heretter kalt mandatet.

Effektmålene for prosjektet er gjengitt under og har ligget til grunn for arbeidet som er utført både hos aktørene og Gassnova:

- 1) Prosjektet skal gi kunnskap som viser at det er mulig og trygt å gjennomføre fullskala CO₂-håndtering.
- 2) Prosjektet skal gi produktivetsgevinster for kommende prosjekter gjennom lærings og – skalaeffekter.
- 3) Prosjektet skal gi læring knyttet til regulering og insentivering av CO₂-håndteringsaktiviteter.
- 4) Prosjektet skal legge til rette for næringsutvikling.

For å understøtte effektmålene ble det ved oppstart av forprosjektet utarbeidet delmål for fasen [9]. Disse er gjengitt i Tabell 3-1 sammen med Gassnovas egenvurdering av status i forhold til hvert delmål. Prosjektets resultatmål er beskrevet i Sentralt styringsdokument [2].

Tabell 3-1: Prosjektets delmål i forprosjektet (merk at begrepene «Støttmottaker» og «Støttegiver» i den originale versjonen er byttet ut med henholdsvis «aktørene» og «Gassnova» i denne versjonen)

Parameter	Delmål	Egenvurdering ved avsluttet forprosjekt
1) HMS (akkumulert for Gassnova og aktørene)	1.1) LTIFR = 0 (Lost Time Incident Frequency Rate). 1.2) Ingen hendelser/utslipp som overstiger etablerte HMS-krav. 1.3) Registrerte uønskede hendelser (RUH) < x	1.1) LTIFR = 0. 1.2) Ingen slike hendelser. 1.3) Antall RUH = 4.
2) Kvalitet (og arbeidsomfang)	2.1) To kvalifiserte og realiserbare fangst-prosjekter og et lagringsprosjekt med injeksjonsrate på minimum 800.000 t CO ₂ /år (ref. KS2s leveransekrav til DG3-passering). 2.2) Fangst, transport og lagringsaktivitetene er prosjektert i tråd med gjeldende overordnet/ helkjede designbasis. 2.3) Realiserbarhet av prosjektets effektmål er dokumentert tilstrekkelig.	2.1) Ingen vurdering (vurderes i Gassnovas evalueringsrapport for fangst). Lagerprosjekt med injeksjonskapasitet på 1,5 Mt CO ₂ /år. 2.2) Alle delprosjekter utviklet iht. overordnet designbasis. 2.3) Tilstrekkelig dokumentert
3) Kostnader	3.1) Statens kostnader for forprosjekteringen (fram til 31. aug. 2019 for aktørene og fram til 30. nov. 2019 for Gassnova) skal ikke overstige NOK 349 millioner.	3.1) Statens kostnader for forprosjekteringen ble 326 millioner (estimert for november). Dette inkluderer ikke brønnskostnader.
4) Tid	4.1) Aktørene skal levere sine DG3-rapporter innen 31. aug. 2019, og Gassnova skal levere sin DG3-rapport, samt evalueringer av aktørenes DG3-leveranser, innen 30. nov 2019.	4.1) Utsatt i samråd med OED og aktørene etter at styringsgruppa 24.april 2019 besluttet å planlegge mot en bevilgningsbeslutning i Stortinget høsten 2020. Aktørene leverte DG3-rapportene iht. ny plan og Gassnova leverer DG3-rapport og evaluering iht. ny plan.

3.2 Prinsipielle beslutninger og endringer

Studieavtalene mellom Gassnova og aktørene, inkludert overordnet designbasis, har gitt føringer og rammer for hvordan arbeidet til aktørene er blitt utført i konsept- og forprosjektfasen. Endringer knyttet til disse føringene og rammene er blitt dokumentert og styrt i en formell beslutningsprosess kalt «prinsipielle beslutninger og endringer» (PBE) av Gassnova. Konsekvensene av hver enkel PBE er blitt kartlagt og vurdert med hensyn til omfang, kostnader, fremdrift og kvalitet før godkjenning.

I løpet av konsept- og forprosjektfasen er det blitt utarbeidet underlag for 31 PBE-er hvorav de fleste er blitt godkjent i Gassnova. Syv prinsipielt viktige PBE-er er også blitt godkjent av prosjektets styringsgruppe. En fullstendig liste over alle PBE-er er gitt i vedlegg [1].

Utover de endringene som er implementert under studieavtalene, har hver aktør dokumentert og saksbehandlet endringer i sine prosjektkonsepser. Oversikt over disse endringene er gjengitt under den tekniske beskrivelsen av de respektive delprosjektene i kapittel 4.

3.3 Gassnovas arbeid

Gassnova har i forprosjektet arbeidet i henhold til mandatet og som beskrevet i Overordnet plan for Konsept- og FEED-fasen [9]. Gassnova har gjennomført en risikobasert oppfølging av studieavtalene basert på kravene som er nedfelt i statens økonomiregelverk og statsstøtteregelverket.

I forprosjektet har det vært viktig for Gassnova å:

- Påse at aktørene har gjennomført forprosjektering av fangst, transport og lagring av CO₂ i tråd med inngåtte studieavtaler. Dette har foregått i tråd med etablerte prosjektprosedyrer, og har inkludert løpende oppfølging av aktørene slik som deltakelse på månedsmøter, HAZID, HAZOP, og revisjoner, oppfølging av design, bygging og drift av FOVs pilotanlegg, oppfølging av fangstaktørenes teknologikvalifisering m.m.
- Utføre revisjoner og gjennomganger av fangstaktørenes ledelsessystemer for kvalitet.
- Evaluere aktørenes DG3-leveranser iht. godkjent prosedyrer, inkl. rangering av fangstprosjektene.
- Utføre egne HMS-aktiviteter (f.eks. HAZOP over grensesnittet mellom fangst og transport og utarbeide CCS-kjedens CO₂ fotavtrykk).
- Sørge for hensiktsmessig kvalitetssikring av aktørenes og Gassnovas egne leveranser (bl.a. ulike gjennomganger utført av uavhengige parter).
- Utarbeide og oppdatere overordnet plan.
- Lede og koordinere modning av grensesnitt mellom aktørene, inkl. lede Teknisk komité og Avtalekomité.
- Bidra inn i utarbeidelsen av vedleggene til avtalen om støtte til fangst og transport/lagring av CO₂.
- Analysere og styre prosjektrisiko etter anbefalingene som er gitt for risikostyring i standarden NS-ISO 31000.
- Utarbeide saksunderlag for styringsgruppa, månedsrapporter, evalueringsrapport for fangstprosjektene og for transport- og lagerprosjektet m.m.
- Gjøre aktørene oppmerksomme på risikoen for krysssubsidiering og etablere rapporteringsrutiner som skal forebygge at statsstøtte gir aktørene ulovlige markedsfordeler.
- Koordinere og lede arbeidet med gevinstrealisering.

4 Teknisk prosjektbeskrivelse

4.1 Alternative CCS-kjeder i demonstrasjonsprosjektet for CO₂-håndtering

Prosjektet kan gjennomføres ved å bygge og drive ett eller begge fangstanleggene i kombinasjon med transport- og lageranlegget. De tre alternative CCS-kjedene dette kan gi, er definert i Tabell 4-1.

For å sikre at lagret er klart til å ta imot CO₂ fra tredjeparter, har Gassnova via overordnet designbasis lagt til grunn en designkapasitet for NLs mottaksterminal på 1,5 Mt CO₂/år. Hvert av fangstanleggene til Norcem og FOV vil utnytte omkring 400 000 t CO₂/år av mottaksterminalens kapasitet slik at den resterende kapasiteten avhenger av om ett eller to fangstanlegg blir bygget.

Tabell 4-1: Alternative CCS-kjeder med ett eller to fangstanlegg.

	Hel kjede Norcem	Hel kjede FOV	Hel kjede Norcem og FOV
Fangst	Norcem	FOV	Norcem og FOV
Transport	To skip à 7500 m ³	To skip à 7500 m ³	To skip à 7500 m ³
Lager	- Mottaksterminal med designkapasitet 1,5 Mt CO₂/år - Satellittstruktur med en brønn - 12" havbunnsrørledning fra mottaksterminal til satellittstruktur - Kontroll- og kraftkabler fra Oseberg A		
Resterende kapasitet i mottaksterminalen *	~1,1 Mt CO ₂ /år	~1,1 Mt CO ₂ /år	~700 000 t CO ₂ /år

(*) For å utnytte den resterende kapasiteten i mottaksterminalen fullt ut må det investeres i minst ett ekstra skip og kanskje en ekstra brønn. Kostnadene knyttet til disse investeringene er angitt i kapittel 14.4.3.

4.2 Designbasis

Fra mulighetsstudien som ble avsluttet i 2016, har Gassnova i tett samarbeid med aktørene, utviklet et overordnet designbasisdokument, se vedlegg [2], som har hatt til hensikt å definere sentrale designkrav for prosjektet. Kravene og føringene i overordnet designbasis er holdt til et minimum av hva Gassnova anser som nødvendig for å legge til rette for at prosjektet skal kunne innfri effektmålene.

Hver aktør har med utgangspunkt Gassnovas designbasis utviklet egne designbasisdokumenter for sine respektive delprosjekter.

Følgende krav i Gassnovas designbasis former prosjektet i stor grad:

- Plassering av grensesnitt («battery limit») mellom fangstanlegg og transportskip på kaia hvor CO₂ eksporteres fra fangstanlegget (omtalt nærmere i kapittel 0).
- Spesifikasjon av CO₂-renhet og termodynamisk tilstand ved mellomlagring og transport (15 barg og om lag -26°C).
- Teknisk designlevetid av alle nye anlegg/installasjoner 25 år.
- Mengde CO₂ som garantert kan hentes hos fangst hver fjerde dag satt til 5400 m³.
- Designkapasitet for mottaksanlegget satt til 1,5 Mt CO₂/år.

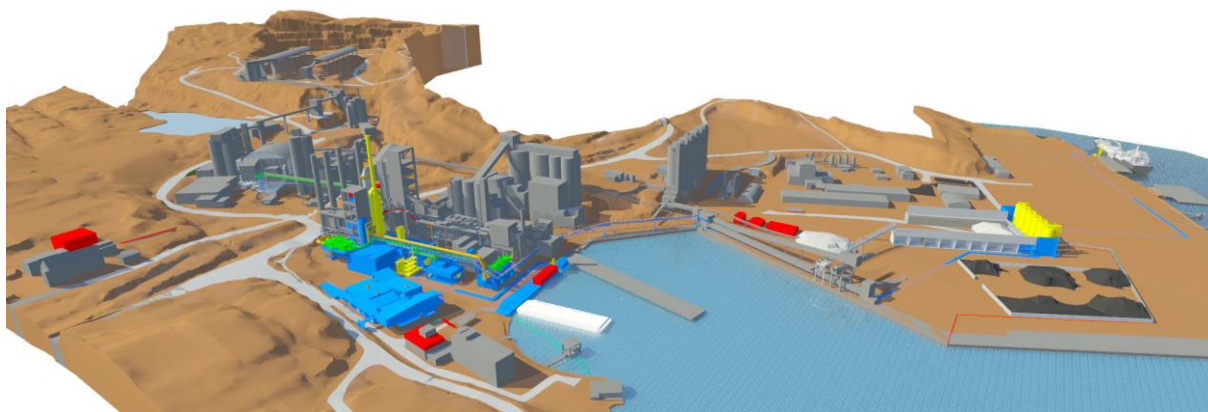
I slutten av september 2018 ble versjon 5 av designbasis godkjent i Gassnova og formelt lagt til grunn for alle aktørenes forprosjekter. Et formelt endringsregime ble innført (i form av PBE) for videre utvikling av designbasis, og to mindre revisjoner er blitt formalisert i etterkant. Ved avslutning av

forprosjektet er det versjon 5.2 av designbasis som formelt ligger til grunn. Det er ikke planlagt noen endringer av designbasis før eventuell investeringsbevilgning.

4.3 Norcems fangstprosjekt

Dette kapitlet inneholder en forkortet beskrivelse av Norcems fangstanlegg hentet fra deres DG3-rapport [5]. Norcem planlegger å bygge og drive et anlegg for fangst av omkring 400 000 t CO₂/år i tilknytning til sementfabrikken i Brevik. Dette er omtrent halvparten av det totale CO₂-utslippet fra fabrikken. CO₂ skilles ut fra røykgassen og flytendegjøres før den mellomlagres nært kaia til Grenland Havn. Røykgassen har relativt høy CO₂-konsentrasjon (ca. 22 vol%) og størstedelen av energibehovet for fangstanlegget hentes fra uutnyttet varme i røykgassen. Mens omtrent 1/3 av CO₂-innholdet i røykgassen kommer fra brenselet, frigjøres 2/3 av CO₂-innholdet fra kalksteinen og kan ikke erstattes med for eksempel fornybar energi.

Det nye anlegget for fangst av CO₂ er relativt omfangsrikt og det er ikke tilstrekkelig ledige arealer tilgjengelig. Norcem har derfor behov for flytting og omlegging av eksisterende installasjoner før man kan bygge selve fangstanlegget.



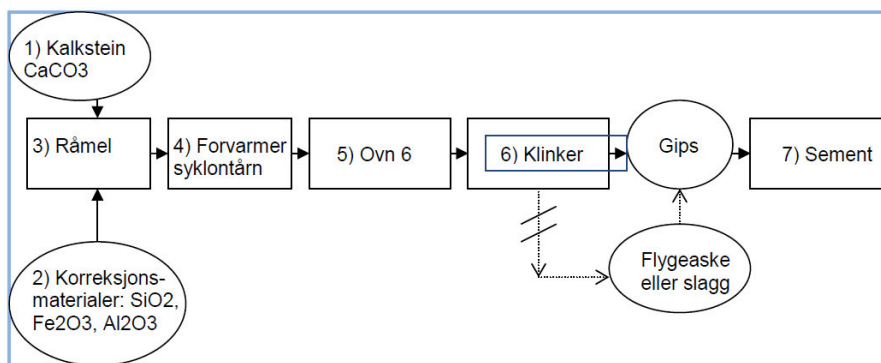
Figur 4-1: 3D-visualisering som viser det nye fangstanlegget (farget).

4.3.1 Beskrivelse av eksisterende produksjonsanlegg

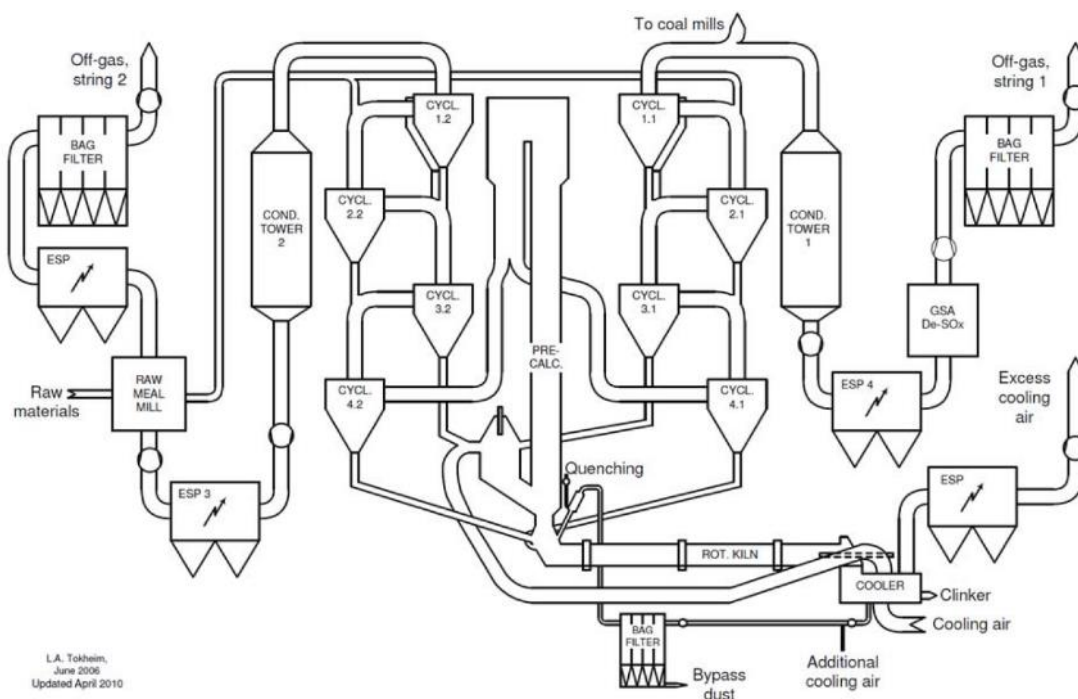
Norcem har produsert sement i Brevik siden 1916 og er på flere områder blant de mer moderne anlegg i Europa.

Dagens produksjonsprosess er i hovedsak som følger: Kalkstein, som er hovedråstoffet, males opp til råmel og forvarmes av røykgassen fra roterovnen i syklontårnene før råmelet entrer roterovnen. I roterovnen varmes råmelet videre opp til 1450°C og klinker dannes. Klinkeren bråkjøles, blandes med gips og males opp til sement som transporteres til lagersiloer.

Røykgassen fra roterovnen blir fordelt i to liknede strenger. Etter røykgassen har forvarmet råmelet, blir den kjølt ned i kjøletårn, renses for SO₂, NO_x og støv før den slippes ut av skorsteinen.



Figur 4-2: Blokkskjema for produksjon av sement hos Norcem.



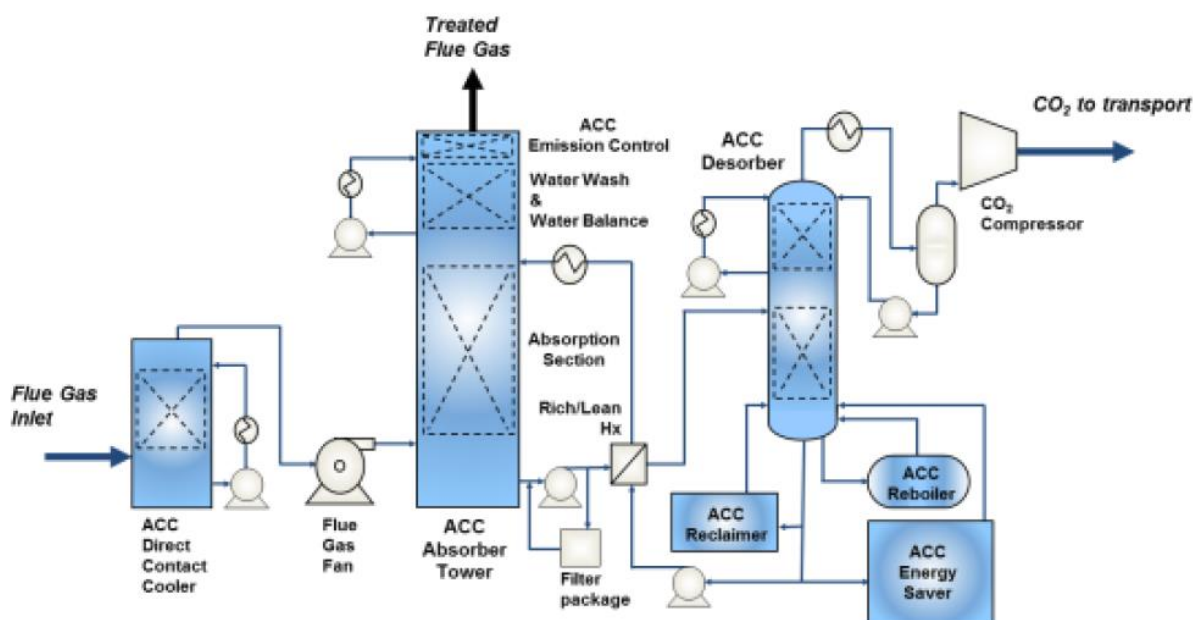
Figur 4-3: Skisse som viser flyten i røykgassbehandlingen hos Norcem.

4.3.2 Beskrivelse av CO₂-fangstanlegget

Fangstanlegget vil bli knyttet til produksjonsanlegget oppstrøms eksisterende skorstein (strømmene kalt «Off-gas string 1» og «Off-gas string 2» som vist øverst i Figur 4-3). Aker Solutions designer fangstanlegget for Norcem og bruker sin egen proprietære teknologi og amin, kalt S26. Prosessen vises i prinsippsskissen i Figur 4-4. I fangstanlegget øker først en vifte trykket på røykgassen for å drive den gjennom de nye anleggsdelene, før røykgassen kjøles ned i direkte kontakt med vann (DCC). I den nedre delen av «absorber» sildrer det en aminløsning nedover mot en oppadgående strøm av røykgass som CO₂-en i røykgassen bindes til. I øvre del av «absorber» vaskes røykgassen med vann slik at aminer ikke skal slippes ut til atmosfære før røykgassen slippes til luft gjennom skorstein. Da er omtrent 85 % av CO₂-innholdet i røykgassen fjernet, noe som tilsvarer 55 t CO₂ i timen.

Det CO₂-rike aminet pumpes deretter fra bunnen av «absorber» til «desorber» hvor aminet blir varmet opp. Da frigjøres CO₂ fra aminet og amin med lavt CO₂-innhold pumpes tilbake til «absorber» og brukes på nytt. CO₂ i gassfase strømmer ut av toppen av «desorber» til kompressoren hvor gassen trykkes opp til ca. 70 barg i syv trinn. Etter det sjette trinnet fjernes vann fra gassen i en «molecular sieve»-pakke. Etter at CO₂-gassen er trykket opp, kjøles den med sjøvann før trykket slippes ned igjen i tre trinn til ca. 14 barg. I denne prosessen reduseres temperaturen slik at CO₂-gassen blir flytende. Etter det første trykkreduksjonstrinnet fjernes oksygen og andre lette gasser fra CO₂-en i en inertstrippekolon. Etter de tre trykkreduksjonstrinnene sjekkes det at oksygen- og vanninnhold er innenfor toleransekravene. Den flytende CO₂-en pumpes deretter i rør til mellomlageret med et trykk på 14 barg og temperatur på -28,6 °C (noe underkjølt ift. tilstand i transportskipet).

Forurensinger i røykgassen vil bli tatt opp i aminløsningen og vil bygge seg opp over tid. Når nivået av forurensing i aminløsningen har nådd et visst nivå, vil man gjenbruke aminet ved å koke aminløsningen og gjenvinne alt som fordampet mens omtrent 80 % av forurensningene ligger igjen og kan fjernes. Slik lages «friskt» amin. Det nødvendige prosessutstyret er det eneste som krever høytrykksdamp, og gjenvinningen forventes å kjøres i omtrent to uker, to til tre ganger i året.



Figur 4-4: Prinsippkisse som viser Aker Solutions sin fangstprosess.

Norcem sitt mellomlager for CO₂ vil bestå av seks stående trykktanker med diameter på ca. 8 m og høyde på 17 m og et operasjonsvolum på 5000 m³ flytende CO₂, nok til oppsamling av fire døgns produksjon. Tankene vil ha 200 mm isolasjon for å begrense varmeinntrengning fra omgivelsene og dermed unngå unødig oppvarming/fordamping av CO₂. Fra mellomlageret vil flytende CO₂ bli transportert i rør i kulvert til kaia. På kaia vil det stå en lastearm med to separate rør for sikker tilkobling til skip og landstrømanlegg slik at skipets hovedmaskineri kan være avslått og batteriene lades i løpet av lasteoperasjonen.

4.3.3 Støttesystemer til fangstanlegget

En viktig del av anlegget består av nødvendige støttesystemer for hovedprosessen.

4.3.3.1 Varme

CO₂ bindes til kaldt amin og frigjøres når aminet varmes opp. For å få et fungerende system må aminet løses i vann og det kreves stor kapasitet til både oppvarming og nedkjøling.

Norcem planlegger å utnytte deler av den gjenværende varmen i røykgassen som i dag ikke utnyttes, ved å installere et dampsystem. Det skal gjøres ved å installere tre røykrørskjeler («Waste Heat Recovery Units», WHRU) som vil produsere damp ved både mellomtrykk og lavtrykk. Det vil bli montert en røykrørskjele på de to røykgasstrengene og en på varmluftsrøret ut av klinkerkjøleren. Lavtrykksdampen vil bli trykket opp og kombinert med mellomtrykksdampen før dampen brukes til å varme opp rikt amin i «reboileren». Når røykrørskjelene blir installert, blir driften av elektrostatfiltrene (ESP 3 og 4) viktigere for å sørge for at støvmengden til kjelene ikke blir for høy. ESP 3 og ESP 4 må derfor oppgraderes. Den til nå uutnyttede varmen i røykgassen vil sikre mellom 70 og 75 % av det kontinuerlige varmebehovet i prosessen.

Aker har i samarbeid med kompressorleverandøren utviklet og kvalifisert en kompressor med varmegjenvinning. Dampen som produseres av kompressoren, injiseres direkte inn i «desorberen» for ytterlig oppvarming av aminløsningen. Ifølge Aker har denne løsningen en effektfaktor (CoP) på over fire og fungerer i prinsipp som en varmepumpe.

For å lage høytrykksdamp til gjenvinning av aminløsningen som utføres et par ganger årlig, vil Norcem installere en elektrisk høyspentkjele på 8 MW. Denne kjelen vil også fungere som en (delvis) reserveløsning om noen av varmegjenvinningsenhetene ikke kan gi full effekt eller er ute av drift for vedlikehold.

4.3.3.2 Kjøling

Kjølebehovet i prosessen skal Norcem dekke ved å installere et nytt kjølesystem basert på sjøvann. En inntaksledning legges 750 m ut i Eidangerfjorden for å sikre jevn, lav temperatur og lav biologisk vekst. 3400 m³ sjøvann pr. time pumpes gjennom kjølerne i prosessen før det ledes 270 m ut i Eidangerfjorden igjen og slippes ut gjennom en 40 m lang «diffusor» som bidrar til å minimere temperaturpåvirkning ved utslippspunktet i fjorden.

4.3.3.3 Trykkluft

Trykkluftbehovet til fangstanlegget dekkes ved en utvidelse av eksisterende trykkluftanlegget på Norcem sin fabrikk med en ny kompressor og en ny tørkepakke.

4.3.3.4 Strømforsyning

Norcem må øke tilførselskapasiteten med omtrent 27 MW for å dekke det økte strømforbruket for fangstanlegget, hovedsakelig til CO₂-kompressoren og den elektriske kjelen. Det gjøres ved at Skagerak Energi utvider eksisterende nettstasjon og trafo.

4.3.4 Bygg, anlegg og situasjonsplan

For å få tilstrekkelig plass og tilkomst til fangstanlegget må mesteparten av Norcem sin eksisterende verkstedbygning og kantine flyttes. Et nytt bygg settes opp lenger øst på området. Det nye bygget er ikke større enn det som rives. I tillegg må det bygges et nytt elektrorom til kullmølla.

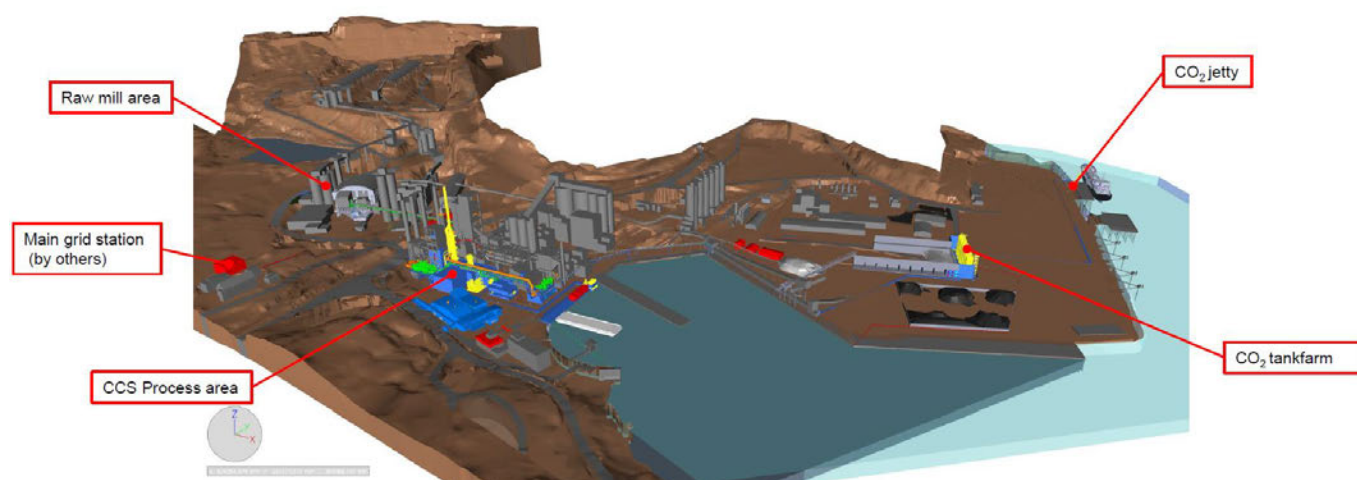
For å gjøre det mulig å transportere inn større utstyr og moduler, må den eksisterende «sementkaia» oppgraderes.

Det vil også bli bygget en bygning for CO₂-kompressoren og noen andre mindre enheter.

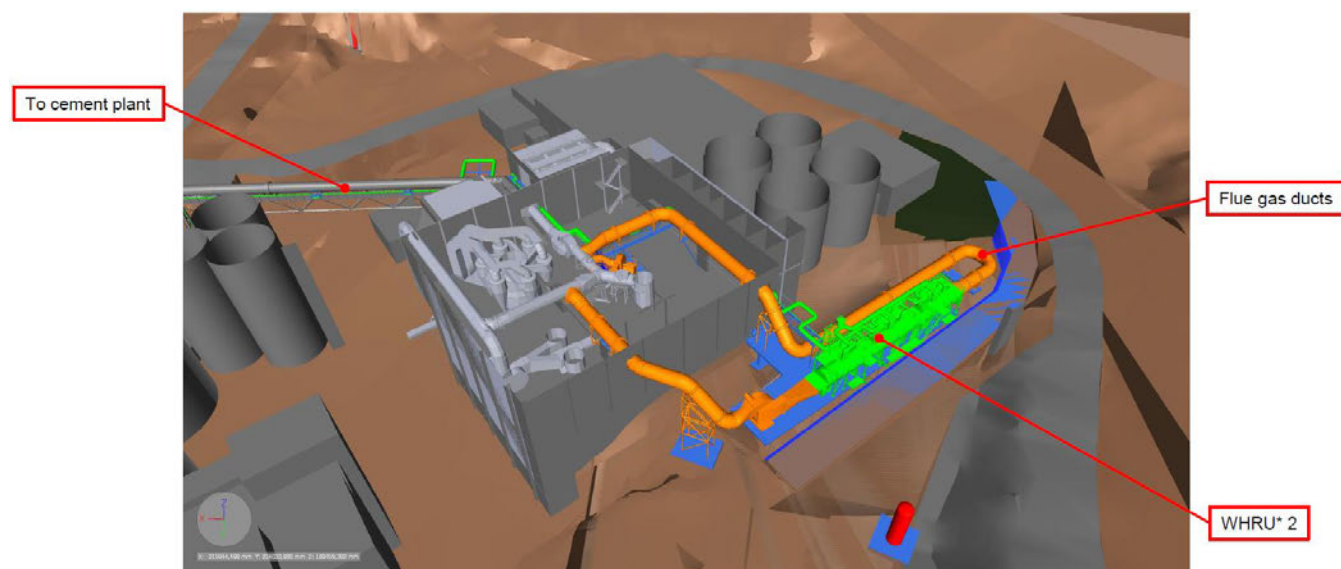
4.3.4.1 3D-modellering og situasjonsplan

Norcem har utarbeidet en detaljert 3D-modell (byggningsinformasjonsmodell, BIM) hvor det er tatt hensyn til plassbehovene til alle fag. Modellen er blant annet blitt brukt til å vurdere byggekseksekusjon, redusere risikoen for kollisjoner mellom installasjoner og vurdere plassbehov i drifts- og vedlikeholds-fasen. Trange områder i dagens fabrikk er 3D-skannet for å bekrefte dimensjoner og plassering av eksisterende installasjoner. Prosjekteringsunderlag som situasjonsplaner, layout og mengder betong, samt rør og stål er hentet direkte ut fra 3D-modellen.

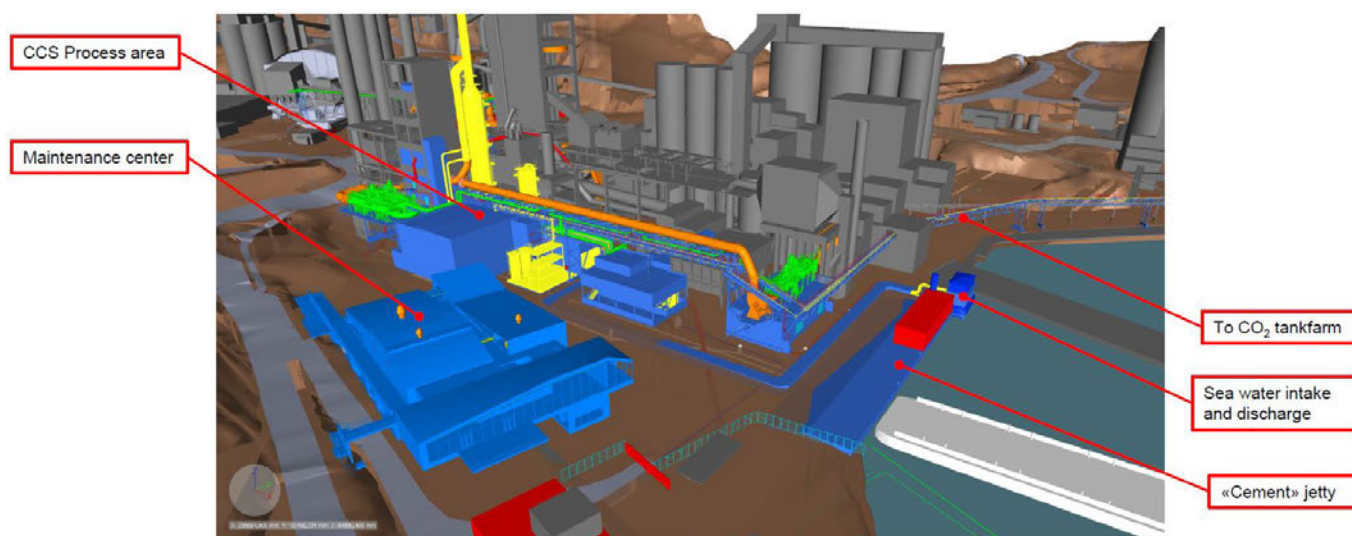
Noen situasjonsplaner i form av oversiktsbilder er vist i Figur 4-5 til Figur 4-8 nedenfor.



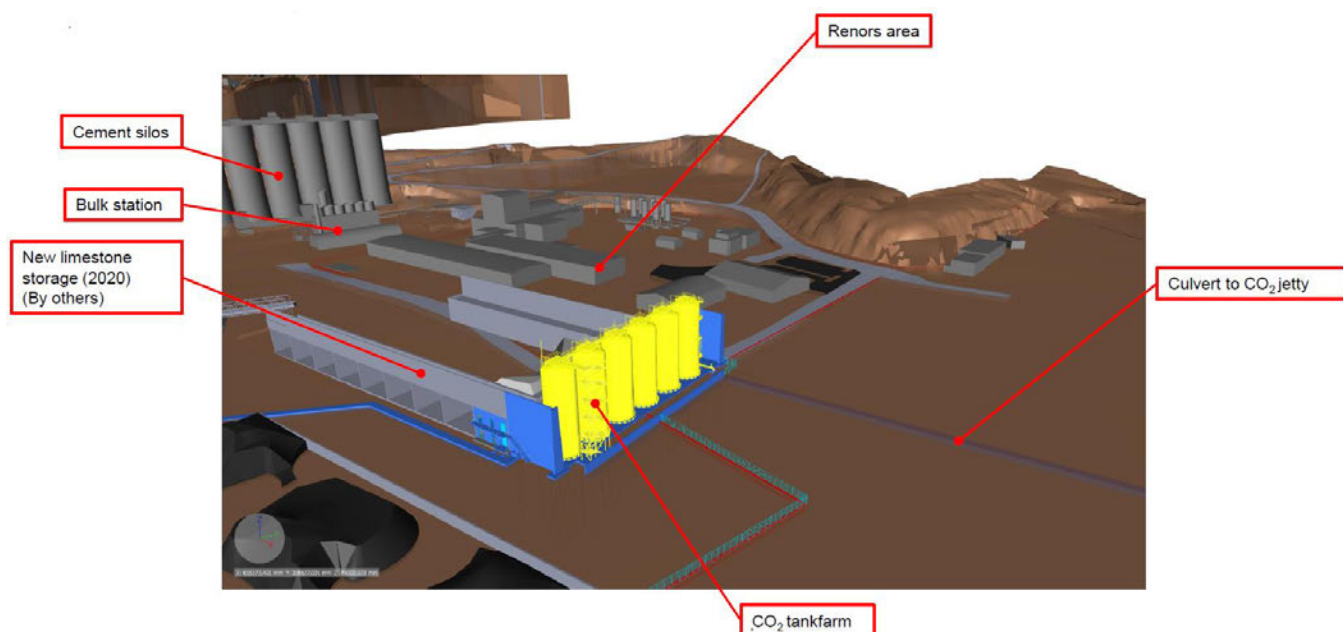
Figur 4-5: 3D-oversiktsbilde av prosjektet hos Norcem.



Figur 4-6: 3D-oversiktsbilde som viser WHRU2 som skal installeres ved råmellemølla på vestsiden av rv. 36.



Figur 4-7: 3D-oversiktsbilde som viser hovedprosessområdet, nytt vedlikeholdssenter og sementkaia. I hvitt er det tegnet en typisk leker (Boa Barge) som kan brukes for transport av stort utstyr til prosjektet.



Figur 4-8: 3D-oversiktsbilde som viser CO₂ mellomlager.

4.3.5 Byggbarhet

Norcem har utviklet en metode og planer for hvordan anlegget skal bygges og anser byggingen som en kombinasjon av nybygg i tilknytning til og modifikasjoner av eksisterende anlegg. Et hovedprinsipp er at flytting av eksisterende installasjoner og bygg, samt grunn- og betongarbeidene skal ferdigstilles før installasjon av prosessutstyr starter.

Norcem har identifisert flere mindre riggområder på egen eiendom som skal brukes i prosjektet. Dersom det blir nødvendig kan de også leie riggområde på Rafnes og kan derfra transportere utstyr med leker til Norcem. Om lag 70 brakker vil, i tillegg til deler av Norcems eksisterende bygningsmasse, brukes til prosjektkontor, kantine og garderober. Lokal arbeidskraft vil bli prioritert og nødvendig innlosjering vil bli organisert av underleverandørene selv.

Stort og tungt utstyr vil i hovedsak bli transportert på båt eller lekter og vil bli ført i land på «sementkaia» hvor det er transportvei direkte opp til hovedprosessområde (Figur 4-7). Det største utstyret vil bli transportert med SPMT (Self-Propelled Modular Transporter, Figur 4-9). Installasjonen vil bestå av både sammenbygde og plassbygde enheter. Tunge løft vil bli utført med en «Crawler crane» og/eller en stor mobilkran. På grunn av kostbar mobilisering av de største kranene vil de tunge løftene bli forsøkt gjort i kampanjer. Norcem har et mål om å begrense både antallet arbeidere på byggeplassen og stillaser som tar opp store arealer. Derfor vil stort utstyr som «absorber», «desorber», CO₂-lagertanker, og DCC-enheten bli levert ferdig utstyrt. Det vil likevel bli en vesentlig andel plassbygging, og den praktiske gjennomføringen av dette vil bli modnet videre.

Etterhvert som prosessutstyret blir installert vil man montere rør og isolasjonsmaterialer, utføre elektro- og instrumentinstallasjon og andre arbeider for å komplettere fangstanlegget.



Figur 4-9: Bruk av SPMT, som frakter et ferdig utstyrt tårn – Referansebilde fra Kårstø.

4.3.6 Endringer i de tekniske løsningene fra konseptstudiet

De viktigste endringene i de tekniske løsningene i Norcem sitt prosjektkonsept etter avsluttet konseptstudie (DG2) er vist i Tabell 4-2.

Tabell 4-2: De viktigste endringene i de tekniske løsningene i Norcem sitt prosjektkonsept fra DG2 til DG3.

Beskrivelse av endring (Omformulert og oversatt til norsk av Gassnova for økt lesbarhet)	Konsekvens for CAPEX / MNOK
Absorberens fundament og struktur er styrket og horisontal støtte fjernet	■
Ingen rivning av øvre del av eksisterende syklontårn for ovn nr. 5	■
Ny lokasjon for WHRU 1	■
Ny lokasjon for høyspent transformatorstasjon fra nett	■
Ingen oppgradering av «stavkaia»	■
Ingen ny tilkomstvei til prosessområdet	■
Detaljprosjektering av nytt vedlikeholdssenter	■
Ny lokasjon av CO ₂ mellomlager	■
Anlegg for lasting av CO ₂ til skip	■

Utover endringene med konsekvens for CAPEX har Norcem gjort endringer som har innvirkning på OPEX, blant annet endringer i estimert strøm- og aminforbruk, redusert vedlikeholdsbehov m.m. som samlet har gitt en netto reduksjon i OPEX på omkring [REDACTED] MNOK/år.

4.4 FOVs fangstprosjekt

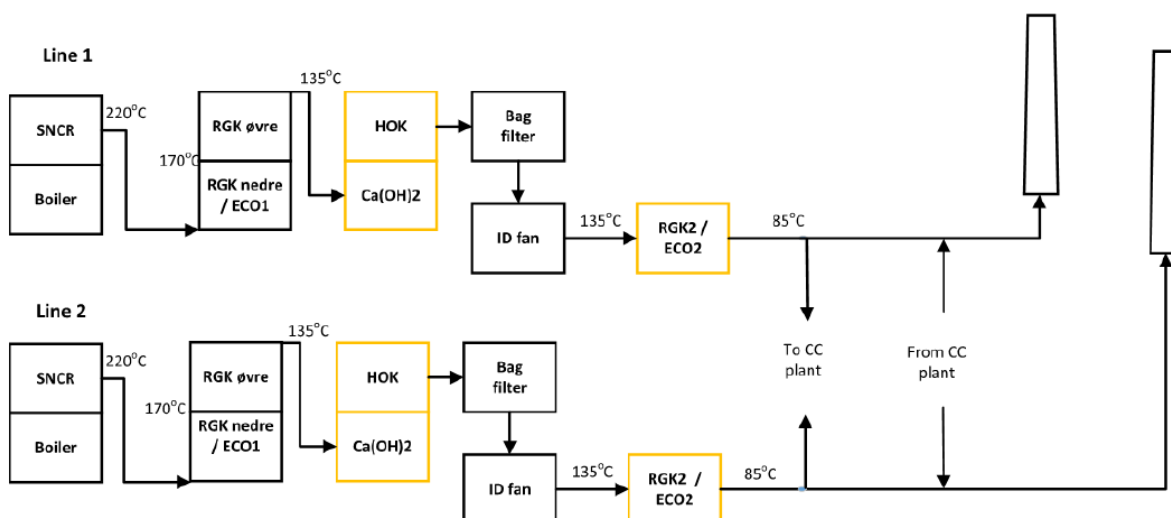
Dette kapitlet inneholder en forkortet beskrivelse av FOVs fangstanlegg hentet fra deres DG3-rapport [4]. FOV planlegger å bygge et anlegg for fangst av omkring 400 000 t CO₂/år fra eksisterende utslipp fra avfallsforbrenningsanlegget på Klemetsrud i Oslo. CO₂ skilles ut fra røykgassen fra forbrenningsanlegget, gjøres flytende og føres til buffertanker på Klemetsrud. Fra buffertankene vil tankbiler frakte flytende CO₂ ned til Oslo havn hvor det er lagringskapasitet til oppsamling av fire døgns CO₂-produksjon. I forbrenningsanlegget produseres det damp til strømproduksjon og fjernvarme. Omtrent halvparten av avfallet som forbrennes på Klemetsrud, er biologisk slik at CO₂-fangst fra forbrenningsanlegget vil gi negative CO₂-utslipp (se også kapittel 10.3 om CO₂-fotavtrykk).



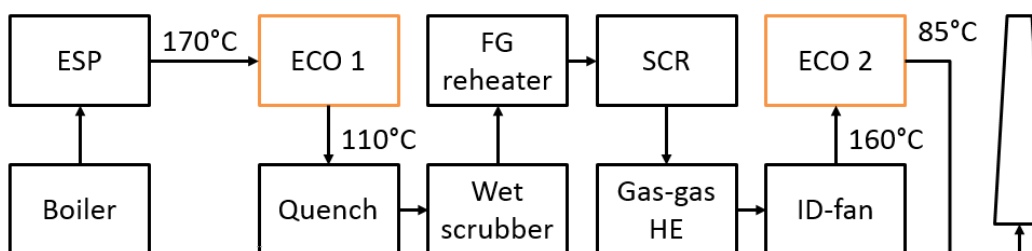
Figur 4-10: 3D-illustrasjon av fangstanlegget på Klemetsrud. Figuren er fra den originale DG3-rapporten fra høsten 2019 og reflekterer ikke endringer som er gjort av layout i april 2020.

4.4.1 Beskrivelse av eksisterende produksjonsanlegg

Forbrenningsanlegget på Klemetsrud ble startet opp i 1985 med linje K1 og K2 og utvidet til nesten dobbel kapasitet med linje K3 i 2011. I alle linjer er det ristforbrenning. Varmeenergien i røykgassen fra forbrenningen gjenvinnes som damp og røykgassen renses før den slippes ut gjennom skorsteiner. Linje K1 og K2 har lik løsning for rensing av røykgassen, felles dampsystem og felles turbingenerator for produksjon av elektrisk kraft. Linje K3 har en noe annerledes løsning for rensing av røykgassen og separat dampsystem og egen turbingenerator for produksjon av elektrisk kraft. Figur 4-11 og Figur 4-12 viser blokkskjemaer for henholdsvis linje K1/K2 og linje K3.



Figur 4-11: Blokkskjema for linje K1 og K2.



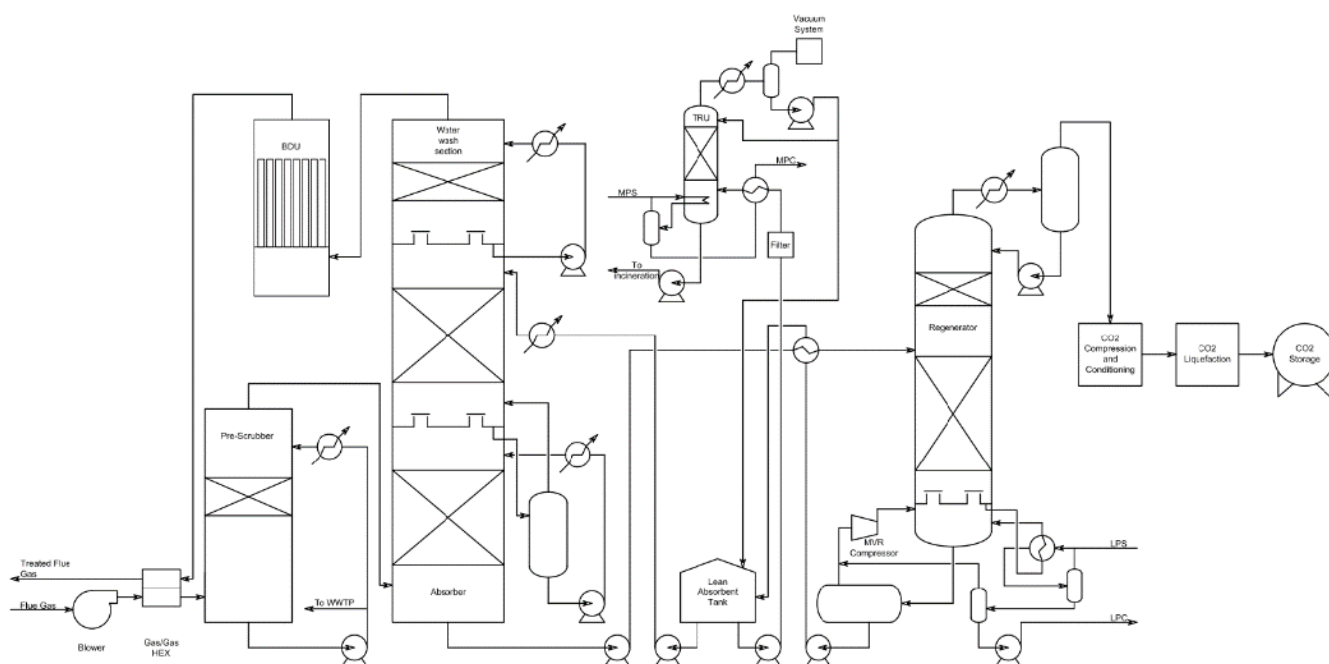
Figur 4-12: Blokkskjema for linje K3.

Strøm produsert i dampturbinene levers ut på strømmettet og fjernvarme produseres til bydelene Holmlia, Bjørndalen og sentrum.

4.4.2 Beskrivelse av CO₂-fangstanlegget

Fangstanlegget vil bli knyttet til produksjonsanlegget før eksisterende skorsteiner. I samarbeid med Shell designer Technip/FMC fangstanlegget for FOV og bruker Shell sin egen proprietære teknologi og amin som kalles DC-103. En vifte øker trykket på røykgassen for å drive den gjennom det nye anlegget. Etter viften blir røykgassen varmevekslet med røykgass som har vært gjennom «absorber» og kjølt i direkte kontakt med vann (DCC). I den nedre delen av «absorberen» sildrer en aminløsning motstrøms nedover i røykgassen og CO₂-en bindes kjemisk til aminet. I øvre del av «absorberen» vaskes røykgassen med vann slik at aminer ikke skal slippes ut til atmosfæren. Etter «absorberen» ledes røykgassen gjennom et BDU-filter som fjerner eventuelle aminrester før den ledes gjennom en varmeveksler og til eksisterende skorstein.

CO₂-rikt amin pumpes fra bunnen av «absorberen» til «desorber» hvor aminet blir varmet opp. Da frigjøres CO₂ fra aminet, og amin med lavt CO₂-innhold pumpes tilbake til «absorber» og brukes på nytt. Forurensinger i røykgassen vil føre til at aminløsningen gradvis degraderer. For å motvirke dette er anlegget designet slik at en sidestrøm kontinuerlig behandles i en enhet for gjenvinning av amin («Thermal Reclaimer Unit», TRU). I TRU kokes aminet av og forurensingene blir liggende igjen, og når aminet igjen kondenseres kan det brukes på nytt.



Figur 4-13: Forenklet flytskjema over fangstanlegget hos FOV.

CO₂ i gassfase strømmer ut av toppen på «desorber» til kompressoren hvor gassen trykkes opp i flere trinn. Konfigurasjon av kompressorene er ikke avklart. Etter det siste kompressortrinnet fjernes oksygen og vann fra CO₂-en, først i et prosesssystem hvor hydrogen brukes til å omdanne oksygen til vann, og deretter i en «molecular sieve»-pakke som fjerner vann. CO₂-en blir deretter gjort flytende vha. en ekstern kjølekrets og lagret i fire liggende buffertanker som har kapasitet til å lagre en dags produksjon av CO₂.

Tankbiler vil frakte flytende CO₂ fra buffertankene på Klemetsrud til mellomlageret på Kneppeskjær i Oslo havn. Bilenes drivstoff er p.t. planlagt å være biodiesel, men andre utslippsfrie alternativer vil antakelig bli tilgjengelig i løpet av realiseringsfasen. Mellomlageret består av 16 liggende tanker med diameter på 4 m og lengde på ca. 27 m og vil ha et operasjonsvolum på 5520 m³ flytende CO₂, tilsvarende litt i overkant av fire dagers CO₂-produksjon. Tankene vil bli isolert med doble vegger og vakuum for å begrense varmeinntrengning fra omgivelsene og dermed unngå unødig oppvarming/fordamping av CO₂ i mellomlageret. Mellomlageret vil også være utstyrt med et system for å kondensere CO₂ som fordamper i mellomlageret. Fra mellomlageret vil flytende CO₂ bli transportert i rør i kulvert til kaifronten og via lastearmer for sikker tilkobling til skipet. I tillegg vil det være et landstrømanlegg slik at skipets hovedmaskineri kan være avslått og batteriene lades under lasteoperasjonen.

4.4.3 Støttesystemer

I de etterfølgende kapitlene er en del av fangstaleggets støttesystemer beskrevet.

4.4.3.1 Varme

CO₂ bindes til kaldt amin og frigjøres når aminet varmes opp. For å få et fungerende system må vann brukes til å fortynne aminet, og dette bidrar til det store oppvarmings- og nedkjølingsbehovet ved CO₂-fangst med aminer.

Varmen fra avfallsforbrenningen på Klemetsrudanlegget produserer damp som utnyttes til strømproduksjon og fjernvarme. Fangstanlegget trenger mellomtrykksdamp til TRU-en og lavtrykksdamp til

«desorberen» og leverer kondensat tilbake til forbrenningsanlegget. Fjernvarmebehovet er sesongavhengig. Når behovet er stort må fangstanlegget levere tilbake så mye som mulig av energien i dampen som forbrukes. For å gjøre dette så energieffektivt som mulig vil det bli installert en stor varmepumpe i kjølesystemet. Det kan likevel i enkelte perioder, spesielt om vinteren, være nødvendig å redusere CO₂-fangsten for å dekke fjernvarmebehovet.

4.4.3.2 Kjøling og varmepumpe

Kjølesystemet på Klemetsrud består av to kjølekretser, en lukket og en åpen. Når det er behov for varmen (dampen) som fangstanlegget bruker i fjernvarmenettet, vil det bli kjørt en varmepumpe på 60 MW (ca. 16 MW el. forbruk). Det varme kjølevannet fra fangstprosessen går igjennom fordampere i varmepumpen og blir kjølt ned. Varmepumpen leverer igjen varmtvann til fjernvarmenettet. Etter varmepumpen går den lukkede kjølekretsen til luftkjølepakken hvor kjølevannet blir videre nedkjølt i luftkjølere med vannspray fra den åpne kjølekretsen. Den åpne kjølekretsen bruker avløpsvann fra både forbrenningsanlegget, fangstanlegget og kommunalt vann. På sommeren er det minimalt behov i fjernvarmenettet og hele kjølebehovet dekkes av luftkjølepakken.

4.4.3.3 Trykkluft

Fangstanlegget vil ha egne anlegg for produksjon av arbeids- og instrumentluft, både på Klemetsrud og på Kneppeskjær.

4.4.3.4 Strømforsyning

FOV må øke tilførselskapasiteten på Klemetsrud med omtrent 37 MW for å dekke strømforbruket til fangstanlegget. De største forbrukerne er varmepumpa, kompressorer og røykgassvifte. Hafslund vil utvide eksisterende nettstasjon og trafo som ligger ved siden av «busstomta» og det legges nye tilførselskabler på 11 kV.

På Kneppeskjær er det ikke nødvendig å øke kapasiteten til nettstasjon eller trafo.

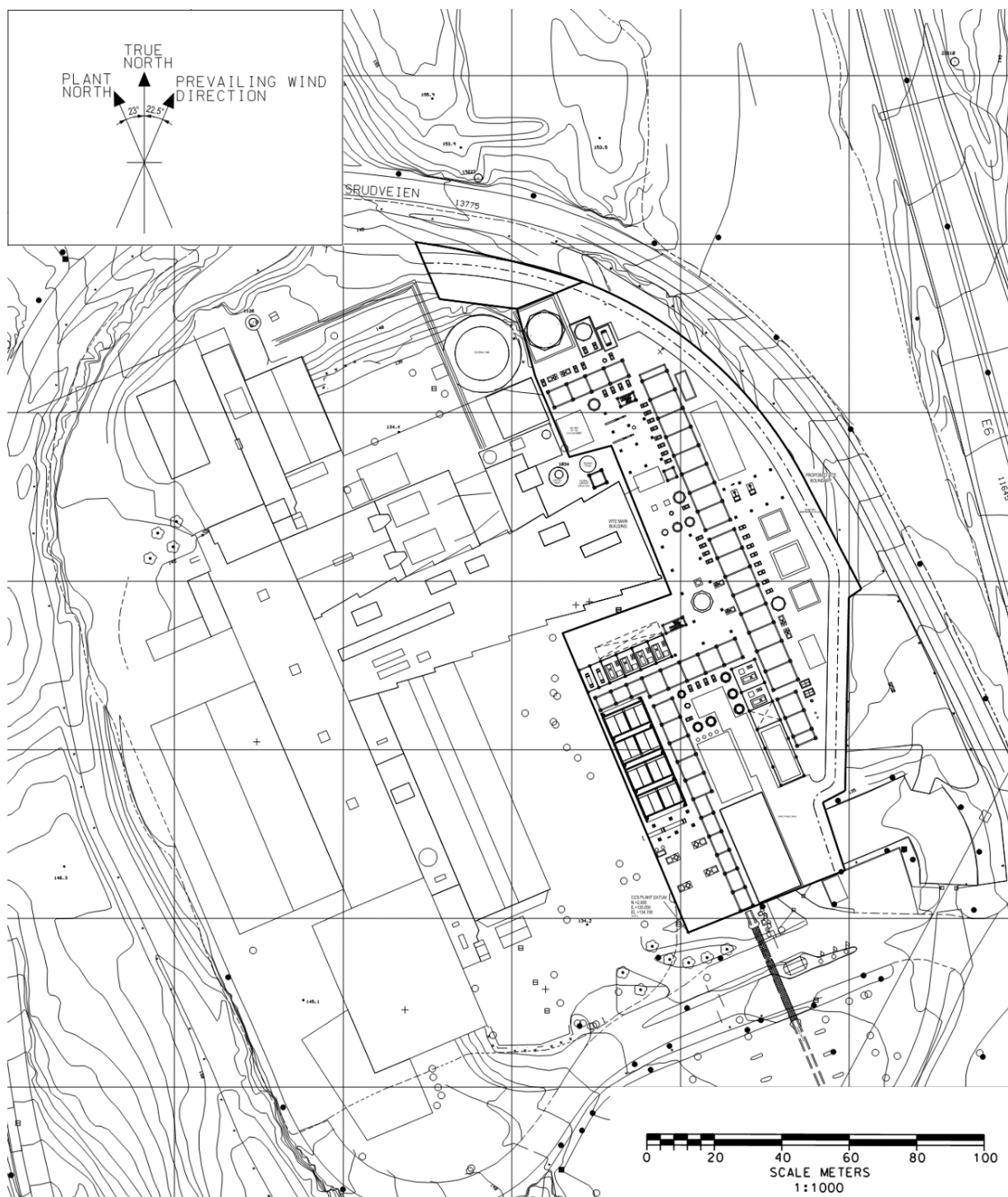
4.4.4 Bygg, anlegg og situasjonsplan

De forskjellige anleggsdelene skal bygges på tre adskilte områder. To av dem ligger nær hverandre på Klemetsrud og det siste i Oslo havn.

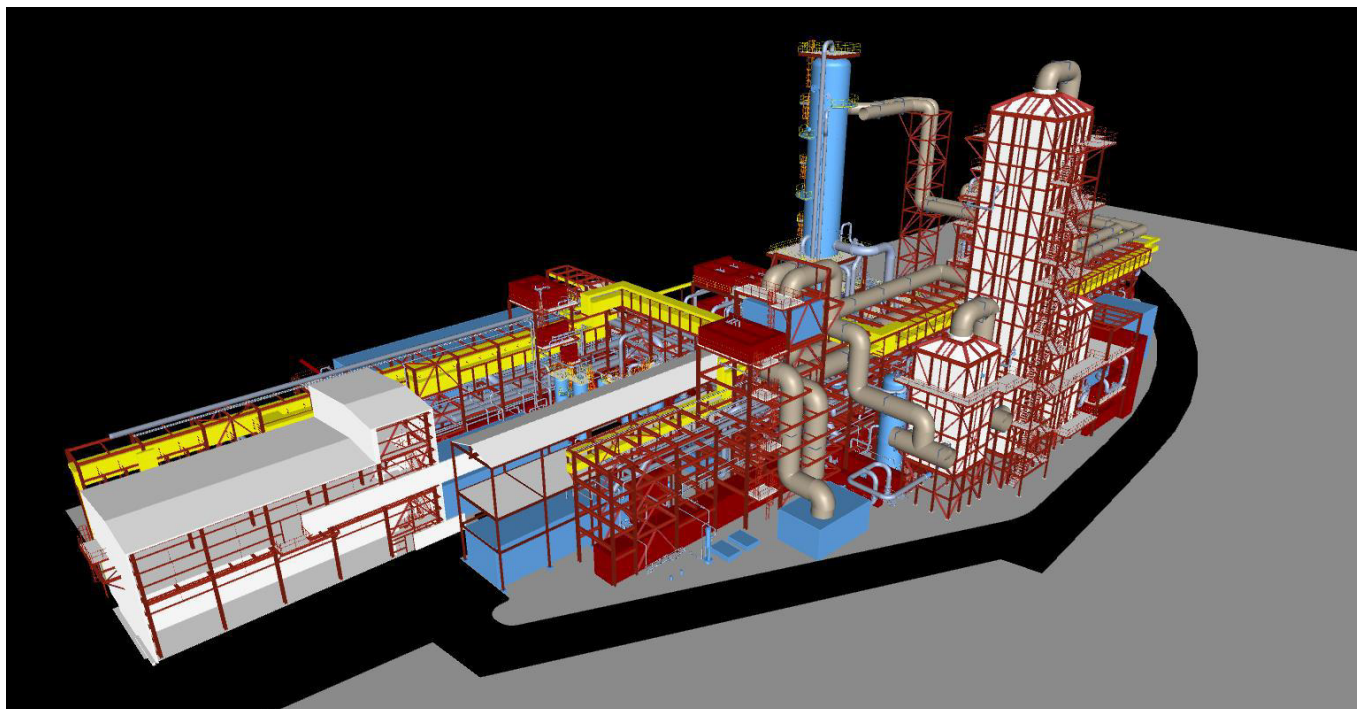
4.4.4.1 Fangst og kompresjon

Fangst- og kompresjonsanlegget vil bli plassert der det i dag er en liten kolle mellom forbrenningsanlegget og E6 og der administrasjonsbygget ligger nå. Kollen må derfor sprenges bort, området planeres og administrasjonsbygget må rives. Administrasjonsbygget er det ikke lenger behov for og vil ikke bli erstattet.

FOV skal uavhengig av dette prosjektet lage et nytt kontrollrom på Klemetsrud og det vil bli klargjort for de behov fangstanlegget vil ha.



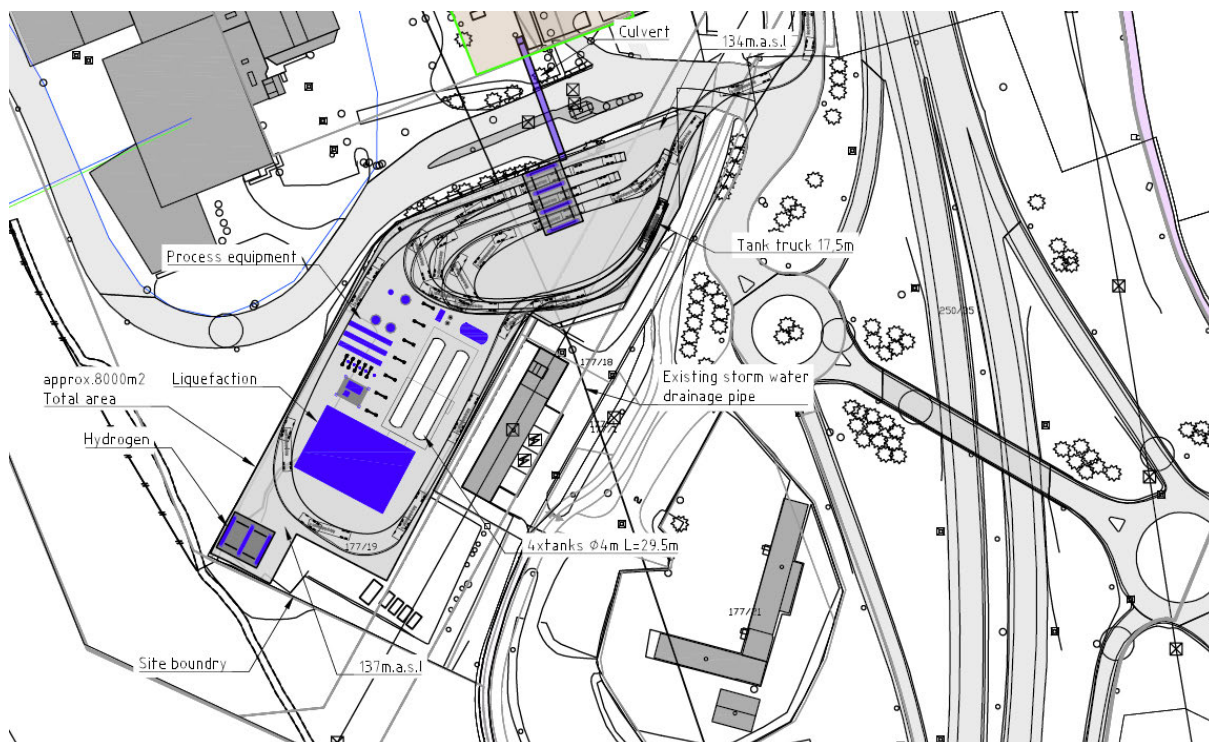
Figur 4-14: Situasjonsplan av området med fangst- og kompresjonsanlegget. Figuren er fra den originale DG3-rapporten fra høsten 2019 og reflekterer ikke endringer som er gjort av layout i april 2020.



Figur 4-15: 3D-bilde av det planlagte fangstanlegget sett fra sørøst. Figuren er fra den originale DG3-rapporten fra høsten 2019 og reflekterer ikke endringer som er gjort av layout i april 2020.

4.4.4.2 Flytendegjøring, buffertanker og lasting

Flytendegjøringsanlegget, CO₂-buffertankene og arealer for fylling av tankbiler for transport av CO₂ til havna vil ligge på arealene hvor det er bussparkering i dag. FOV har på plass en intensjonsavtale med Oslo kommune om relokalisering av bussparkeringen slik at dette arealet kan frigjøres til prosjektet. Totalt benyttes omtrent 8 000 m² av busstomta.



Figur 4-16: Situasjonsplan over busstomta med flytendegjøring, buffertanker og anlegg for lasting av tankbiler.



Figur 4-17: Bilde av det nye mellomlageret og fangstalegget sett fra busstomta fra sørvest. Figuren er fra den originale DG3-rapporten fra høsten 2019 og reflekterer ikke endringer som er gjort av layout i april 2020.



Figur 4-19: 3D-bilde fra nordvest som viser mellomlageret på Kneppeskjær og CO₂-skipet i bakgrunnen.

4.4.5 Byggbarhet

Veien til Klemetsrud setter begrensning på hvor stort og tungt utstyr som kan fraktes fra havna til byggeplassen. Den største enheten som er planlagt transportert hel er «desorberen» (ca. 5,5 x 35 m). Større enheter enn dette må bygges på stedet slik som «absorber», DCC-enheten og BDU-filteret. På grunn av kostbar mobilisering av de største kranene vil FOV forsøke å gjøre tunge løft i kampanjer.

FOV har sammen med TechnipFMC gjennomført arbeidsmøter om byggbarhet og har sett på kompliserte løft, rekkefølge og samtidighet. Det er estimert et behov på omtrent 25 000 m² riggområde. 10-12 000 m² kan være tilgjengelig like nord for Klemetsrudanlegget (Figur 4-20), resten må leies lenger unna. Stensrud, omtrent 3 km unna, er identifisert som en mulighet og samtaler om leie er startet. [REDACTED]

[REDACTED] Antallet brakkerigger er ifb.

FOVs oppdaterte konsept i april 2020 noe redusert på grunn av endret arrangement av fangstanlegget og følgelig mindre installasjonsarbeid.



Figur 4-20: Riggområde like nord for fangstanlegget.

4.4.6 Endringer av de tekniske løsningene fra konseptstudiet

De viktigste endringene i de tekniske løsningene i FOV sitt prosjekt som er gjort siden avsluttet konseptstudie (DG2), er vist i Tabell 4-3. Eventuelle endringer i kontraktsformat, justering av forventet tillegg, m.m. er ikke gjengitt her.

Tabell 4-3: De viktigste endringene i de tekniske løsningene i FOV sitt prosjektkonsept fra DG2 til DG3 høsten 2019.

Beskrivelse av endring (Omformulert av Gassnova for økt lesbarhet)	Konsekvens for CAPEX / MNOK
Endring av plassering av lasteområde for tankbiler på Klemetsrud.	■
Bytte av transportløsning for CO ₂ fra Klemetsrud til Oslo Havn fra rørledning til tankbiler	■
Redusert effekt på varmepumpe fra 70 til 60 MW	■
Endring av lokasjon for utskipningsterminal fra Kongshavn til Kneppeskjær (begge steder er innenfor området til Oslo Havn).	■ ■ ■
Brownian Diffusion Unit (BDU) inkludert i design av fangstanlegget	■
Endring av røykgasskomposisjon og -mengde for å ta høyde for mulige svingninger. Har bl.a. medført 2 stk TRU og økt kapasitet for å skille ut vann og H ₂ S fra røykgassen	■
Økt kapasitet av anlegg for demineralisert vann med 10 m ³ /t	■
Designtemperatur for luftkjølere endret fra 25 til 27°C	■

FOV har også gjort endringer som påvirker OPEX, blant annet har endringen fra rørtransport til tankbiler økt OPEX med ■ MNOK/år, mens en revurdering av vedlikeholdsbehovet har redusert OPEX med ■ MNOK/år. Netto har FOV redusert sin OPEX med ca. ■ MNOK/år siden DG2.

Tabell 4-4: De viktigste endringene i de tekniske løsningene i FOV sitt prosjektkonsept fra opprinnelig DG3-rapport høsten 2019 til oppdatert konsept i april 2020.

Beskrivelse av endring	Konsekvens for CAPEX / MNOK
Omplassering av utstyr og optimering av anleggets layout. Reduksjon av kostnader som en følge av reduserte mengder bulkmaterialer og reduserte byggekostnader.	■
Fjernet K1/K2 scrubber. Netto reduksjon av kostnader fordi scrubber ikke lenger er med i arbeidsomfanget (noen utstyrskomponenter har økt i kapasitet og kostnad).	■
Forenklet løsning for trykkavlastning og trykkbeskyttelse, samt fjerning av en TRU fra arbeidsomfang. Netto reduksjon av kostnader pga redusert arbeidsomfang.	■
Optimering av utstyr, oppdaterte tilbud mottatt for varmepumpe, kjølepakke og pakke for behandling av spillvann (maksimal omgivelsestemperatur for dimensjonering av kjølere er redusert fra 27°C til 21°C for å spare plass, se også siste punkt i tabell 4-3).	■
Reduserte priser fra TechnipFMC.	■
Redusert antall anleggsbrakker som en følge av optimert bemanningsplan.	■

4.5 Northern Lights' transport- og lagerprosjekt

Dette kapitlet inneholder en forkortet beskrivelse av NLs transport- og lageranlegg hentet fra deres DG3-rapport [6].

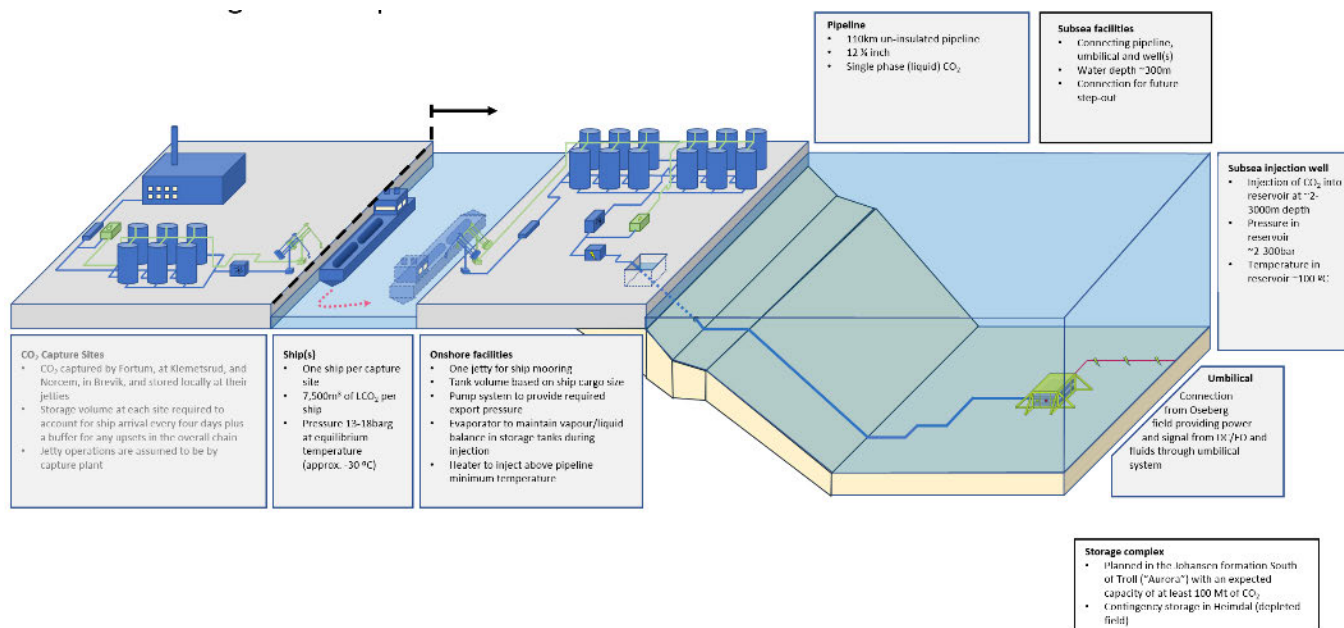
4.5.1 Innledning

Equinor har sammen med partnerne Shell og Total jobbet som et integrert team med forprosjektet, og planlegger å etablere et eget «Joint Venture»-selskap for realiseringen av transport- og lageranlegget. NL planlegger en utbygging i to faser: Utbyggingsfase 1 er planlagt med en kapasitet på inntil 1,5 Mt CO₂/år med en driftsperiode på 25 år. Utbyggingsfase 2 er planlagt med en kapasitet på inntil 5 Mt CO₂/år. Det er i utgangspunktet kun utbygningsfase 1 og 10 år av driftsperioden som inngår i demonstrasjonsprosjektet for fullskala CO₂-håndtering.

Lagring av CO₂ på norsk kontinentalsokkel er regulatorisk underlagt "Forskrift om utnyttelse av undersjøiske reservoarer på kontinentalsokkelen til lagring av CO₂ og om transport av CO₂ på kontinentalsokkelen" (lagringsforskriften). Kongen i statsråd besluttet 11. januar 2019 å tildele utnyttelsestillatelse nr. 001 (EL001) for CO₂-lagring på norsk sokkel til rettighetshaver Equinor som også er utpekt som operatør. Tildelt areal er ulisensiert i forhold til petroleumsløven og omfatter blokkene 31/4 (del), 31/5 (del), 31/7 (del), 31/8 og 31/9 (del).

For å verifisere brønn- og reservoarmessige antakelser, har NL boret en verifikasjonsbrønn som en del av forprosjektet som har påvist sandstein og akseptabelt lagringspotensial i Johansen-formasjonen.

Figur 4-21 viser en oversikt over hvordan skip, mottaksterminal og injeksjonssystem er tenkt.



Figur 4-21: Oversikt over NLs transport- og lageranlegg.

4.5.2 Skip

NL har utviklet en skipstype for transport av flytende CO₂, Figur 4-22, som ligger tett opptil designet av trykksatte LPG-skip. Dette gjør det mulig å benytte seg av eksisterende markeder for bygging av skip og dermed få konkurransedyktige tilbud for skip egnet for transport av flytende CO₂.



Figur 4-22: Illustrasjon av CO₂-transportskip med lastekapasitet 7500 m³.

Basert på skipslogistikkstudier og markedsevalueringer har NL valgt en lastekapasitet på 7 500 m³. For å transportere omkring 400 000 t CO₂/år fra ett fangstanlegg er teoretisk minste lastekapasitet mellom 5 500 og 6 000 m³ men et større skip muliggjør et relativt standard design for skip av denne typen. For å sikre fleksibilitet og en tilstrekkelig oppetid i transporten av CO₂ vil det benyttes to skip i CCS-kjeden med både ett og to fangstanlegg. I sitt arbeid med prekvalifisering og innhenting av tilbud fra skipsverft har NL fått bekreftet at valgt størrelse ikke er kostnadsdrivende. I tillegg til å kunne frakte flytende CO₂ vil skipet kunne frakte LPG, men det er ikke planlagt å skifte mellom ulike typer last under normal drift. Viktige designparametere for skipet er oppsummert i Tabell 4-5.

Tabell 4-5: Utvalgte designparametere for transportskipet.

Designparameter		Gassnovas kommentar
Designlevetid	Minst 25 år	
Flaggstat	Norge	
Lastevolum	7500m ³	2 x isolert «type-c» tank
Designtrykk og –temperatur lastetanker	19 barg / - 35°C	Designtrykk er tilsvarende som et trykksatt LPG-skip
Maksimal dypgående og lengde	8,5 m og 130 m	
Maksimal fart	14 knop	Skipet må seile med minimum 8,5 og 10 knops fart (henholdsvis for Norcem og FOV) for å rekke frem og tilbake mellom mottaksterminalen og fangstanlegget før mellomlageret hos fangst går fullt. Skipets fart vil avpasses til produksjonen av CO ₂ hos fangstaktørene.
Drivstoff	LNG	LNG er valgt pga. lave CO ₂ -utslipp og lav OPEX. Et fremdriftssystem basert på en hybridløsning mellom LNG og batteri kan oppnå enda lavere utslipp av CO ₂ og samtidig redusere støy fra skipet ved inn- og utseiling i havnene. En kost-nytte-vurdering av en hybridløsning vil bli gjort etter at NL har mottatt tilbud på byggingen av slike skip (analyse forventes utført i mai 2020).

En hybridløsning krever en batterikapasitet på 2,2 MWh installert på skipet. På mottaksterminalen vil det bli bygget et landstrømsanlegg til lading av eventuelle batterier og drift av skipets øvrige systemer (maksimal effekt på 1 MW). Tilsvarende anlegg finnes også på fangstanleggenes utskipningsterminaler.

En forutsetning for å bruke denne typen skip er at det lar seg gjøre å bygge lastetankene med en ståltype med nikkelinnhold mellom 0,85 % og 2,5 %. Dette gir stålet høyere strekkfasthet (690 N/mm² istedenfor 410 N/mm²) og muliggjør dermed større tankdiameterer. Bruk av et slikt tankmateriale krever avvik fra reglene til *International Association of Classification Societies (IACS)* og *International Gas Carrier Code (IGCC)*. NL har sammen med DNV GL (medlem av IACS) sannsynliggjort at et slikt avvik vil bli akseptert. Dette er foreløpig blitt håndtert gjennom en *General Approval for Ship Application (GASA)* og et avvik fra klassekravene vil først bli formalisert i realiseringsfasen.

Det vil ikke bli installert anlegg for rekondensering av CO₂ som fordampet som en følge av varmeinntrengning mens skipet seiler. Varmeinntrengningen forventes å være lav slik at trykkopp-bygningen i tankene også vil være lav. Tankene utstyres med ventiler for trykkregulering (i tillegg til sikkerhetsventiler), men det er ikke planlagt at CO₂ skal slippes ut til atmosfæren under normale driftsforhold. Det gjøres videre mange tilpasninger i designet av lastesystemet for å redusere risiko for dannelse av tørris i sikkerhetsventiler og i systemene for lasting og lossing.

4.5.3 Mottaksterminal for CO₂

Mottaksterminalen for CO₂ vil bli lokalisert ved Naturgassparken på Ljøseyna i Øygarden kommune på Vestlandet. Området ved Naturgassparken er allerede blitt utviklet med bl.a. et produksjonsanlegg for LNG og et fiskeoppdrettsanlegg. Mottaksterminalen legges nært disse anleggene. En illustrasjon av mottaksterminalen er vist i Figur 4-23 og terminalen vil bl.a. omfatte:

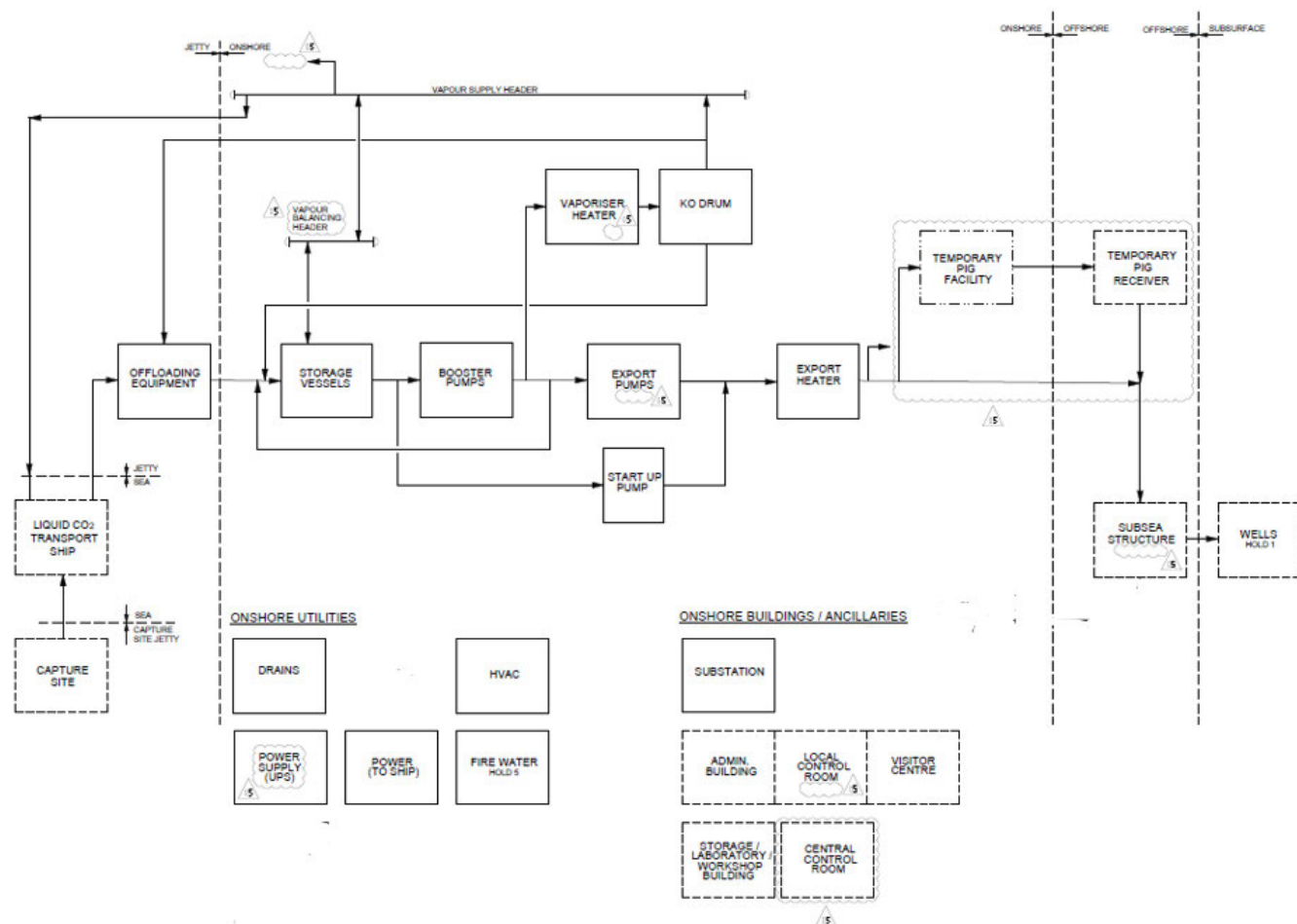
- Kai for mottak av skip med CO₂
- Mellomlagringstanker for flytende CO₂
- Lastearmer og utstyr for transport av flytende CO₂ fra skip til mellomlagringstankene og retur av CO₂-gass til skip
- Pumper for opptrykking av flytende CO₂ til nødvendig injeksjonstrykk
- Elektriske varmevekslere for oppvarming av flytende CO₂ til +1°C (som reserveløsning hvis oppvarming med sjøvann feiler)
- Målesystemer for kvalitetskontroll av CO₂
- Hjelpesystemer
- Administrasjonsbygg med lokalt kontrollrom, kontorer, besøksområde og verksted med laboratorium.

Kapasiteten til mottaksterminalen vil være inntil 1,5 Mt CO₂/år, men basert på mottak av CO₂ fra FOV og/eller Norcem, har NL basert sine OPEX estimater på 400 000 eller 800 000 t CO₂/år.



Figur 4-23: Illustrasjon av mottaksterminalen ved Naturgassparken.

Figur 4-24 viser et blokkskjema med de ulike systemene på mottaksterminalen.



Figur 4-24: Blokkskjema for mottaksterminalen.

4.5.3.1 Mellomlager for CO₂

Tolv tanker med indre diameter på ca. 6 m og høyde 31 m vil utgjøre mellomlageret som muliggjør rask lossing av skipene og jevn injeksjon av CO₂ i det geologiske lageret. Samlet er mellomlager-tankenes kapasitet 8250 m³, noe som tilsvarer lastekapasiteten til ett skip pluss 10 % margin for å unngå å måtte tømme tankanlegget fullstendig før oppstart av en losseoperasjon.

Tankene vil ha et designtrykk på 21,8 barg og en designtemperatur fra -46°C til +50°C. Driftsområdet er basert på Gassnovas designbasis og vil være fra 13 til 18 barg med flytende CO₂ ved sin likevektstemperatur på -30,8°C til -20,8°C. Tankene vil bli isolert for å unngå ekstern kondensering og etterfølgende ising. Unntaksvis vil det kunne oppstå situasjoner hvor lageranlegget stenges i flere dager og varmeinntrenging vil føre til trykkoppbygging i mellomlagertankene. Det kan da være nødvendig å slippe ut noe CO₂ kontrollert fra gassfasen i tankene.

For å opprettholde trykkbalanse mellom skipets tanker og mellomlagertankene under losseoperasjonen, vil CO₂ i gassform bli ført i et eget rør tilbake til skipet. Når skipet ikke er koblet til mellomlagertankene, vil en liten sidestrøm av den CO₂ som pumpes inn i rørledningen, fordampe og føres tilbake til mellomlagertankene for å opprettholde trykket.

Det vil bli benyttet én lastearm for overføring av flytende CO₂ fra skip til mellomlagertankene på mottaksterminalen, én lastearm for retur av gassfase CO₂ fra mellomlagertankene, og én reserve-lastearm som kan brukes til begge formål etter behov. En kapasitet på om lag 800 t/time er lagt til grunn for dimensjonering av lastesystemet.

4.5.3.2 Injeksjonssystemet

Ved normal injeksjon er det nødvendig å øke trykket på den flytende CO₂-en til minst 45 barg for å sikre at den er superkritisk og for å overvinne trykkfallet i rørledning, brønn og reservoar. Ved oppstart etter at brønnen har vært stengt, vil det i noen tilfeller være nødvendig å øke trykket til 145 barg for å overvinne trykket som kan ha bygget seg opp i brønnen. Opptrykkingen gjøres med et pumpesystem nedstrøms mellomlagringstankene som består av flere boosterpumper og injeksjonspumper med variabel hastighet. Injeksjonssystemet er designet for å kunne operere mellom 400 000 t CO₂/år og 1,5 Mt CO₂/år (tilsvarende 45,6 til 171 t CO₂/time), men det vil være mulig å operere med en rate ned mot 17 t/time for å håndtere situasjoner med mottak av små mengder CO₂ (f.eks. ved innkjøring av fangstanlegg ved første gangs oppstart av CCS-kjeden).

For å unngå ising i tunnelen der havbunnsrørledningen kommer i land, vil den flytende CO₂-en bli varmet opp ved bruk av elektriske varmevekslere til en temperatur over 1°C. Det er i tillegg lagt til rette for å sirkulere sjøvann i tunnelen, noe som vil kunne redusere behovet for elektrisk oppvarming betydelig. Hvor effektiv og robust oppvarmingen med sjøvann blir vil først avklares i driftsfasen.

4.5.3.3 Hjelpesystemer

Omfanget av hjelpesystemer er holdt til et minimum:

- Intet fast nitrogensystem. CO₂-gass vil bli brukt til spyling av prosesssystemer for å fjerne urenheter og vil suppleres med nitrogenflasker og midlertidig utstyr etter behov.
- Ferskvann vil bli levert fra den kommunale forsyningen til administrasjonsbygget, verkstedet, kai og området rundt landfallet for rørledningen.
- Avløp skal kobles til eksisterende renseanlegg i Naturgassparken.
- Ventiler vil være elektrisk drevet. Derfor behøves ingen sentrale systemer for instrumentluft, nitrogen eller hydraulikk. Der det er behov vil hydraulisk kraft forsynes av lokale hydraulikpakker, f.eks. til lastearmene og utvalgte ventiler.

- Ingen avløpsbehandling eller systemer for behandling av overflatevann er lagt inn i designet fordi det ikke finnes kilder til forurensning av overflatevannet. Utstyr som krever oljekjøling, hydraulikkolje eller fett for smøring vil utstyres med dryppskuff for å sikre at eventuelt søl kan samles opp og håndteres.

4.5.3.4 Strømforsyning

Kraftforsyningen til anlegget kommer fra strømnettet (BKK), og en oppgradering av dette vil være nødvendig for å levere det estimerte kraftbehovet på inntil 10 MW for en kapasitet opptil 1,5 Mt CO₂/år. Hovedsakelig vil kraften gå til oppvarming av den flytende CO₂-en før den går i havbunnsrørledningen dersom sirkuleringen av vann i tunnelen der rørledningen kommer i land, feiler. Landstrøm (maksimalt kraftbehov på 1 MW ved 690 V og 60 Hz) vil bli levert til skipet når det ligger til kai.

4.5.3.5 Kai

Kaien vil bli lagt nær sørspissen av Ljøsøyna hvor det vil bli etablert en steinfylling som vil føre til selve kaien. Den vil bli bygget i betong og fundamentert på stålkjernerpeler.

Kaien og terminalen vil bli sikret i tråd med ISPS-koden med én felles adgangskontroll ved terminalens hovedinngang.

Skip med en lengde på opptil 130 m og med maksimal dypgang på 8,5 m vil kunne benytte kaien.

4.5.3.6 Administrasjonsbygg

Administrasjonsbygget vil inneholde et verksted, laboratorium, lager, kontorområde, lokalt kontrollrom, kantine og besøksfasiliteter. Hovedinngangen til mottaksterminalen vil ligge i umiddelbar nærhet til administrasjonsbygget. Bygget vil også fungere som det viktigste samlingsområdet ved eventuelle hendelser, og store grupper av besøkende og ansatte kan pga. byggets plassering og design oppholde seg trygt der ved en eventuell stor CO₂-lekkasje.

Det lokale kontrollrommet vil fungere som hovedkontrollrom i oppstartperioden fram til stabil drift oppnås. For optimalisering av bemanningsnivå og kostnader, forventes det at kontrollromsansvaret for normal drift overføres til eksisterende kontrollrom på Sture-terminalen som drives av Equinor.

4.5.3.7 Byggbarhet

Omfanget av bygging på stedet vil bli minimert ved å benytte mest mulig prefabrikerte konstruksjoner og enheter. Mellomlagertankene vil bli levert fullisolerte og ferdig overflatebehandlet fra fabrikk.

NL planlegger å transportere mellomlagertankene og andre elementer til prosessanlegget med båt til Naturgassparken. Hver tank veier rundt 200 tonn og installasjon av mellomlagertankene regnes som den mest utfordrende aktiviteten under byggingen og innebærer en serie løft med mobilkraner fra transportskipene til et lay-down område og til slutt på plass.

4.5.3.8 Grunnarbeider

Området ved Ljøsøyna består av steinete åser av granittisk gneis med høyder opp til ca. 40 m over havet og skrånende fjelloverflater i sjøen. Etter sprengning og avsetting av fast fjell, vil området bli jevnet og komprimert med knust fjell. Prosessutstyr, rør og bygninger vil bli installert på betong-fundamenter.

Bergskjæringen vil ligge i en avstand på 26 m fra selve terminalen for å sørge for tilstrekkelig sikkerhetsavstand for fremtidige utvidelser mens terminalen er i drift. Overskuddsmasser vil bli fylt ut i Ljøsysundet.

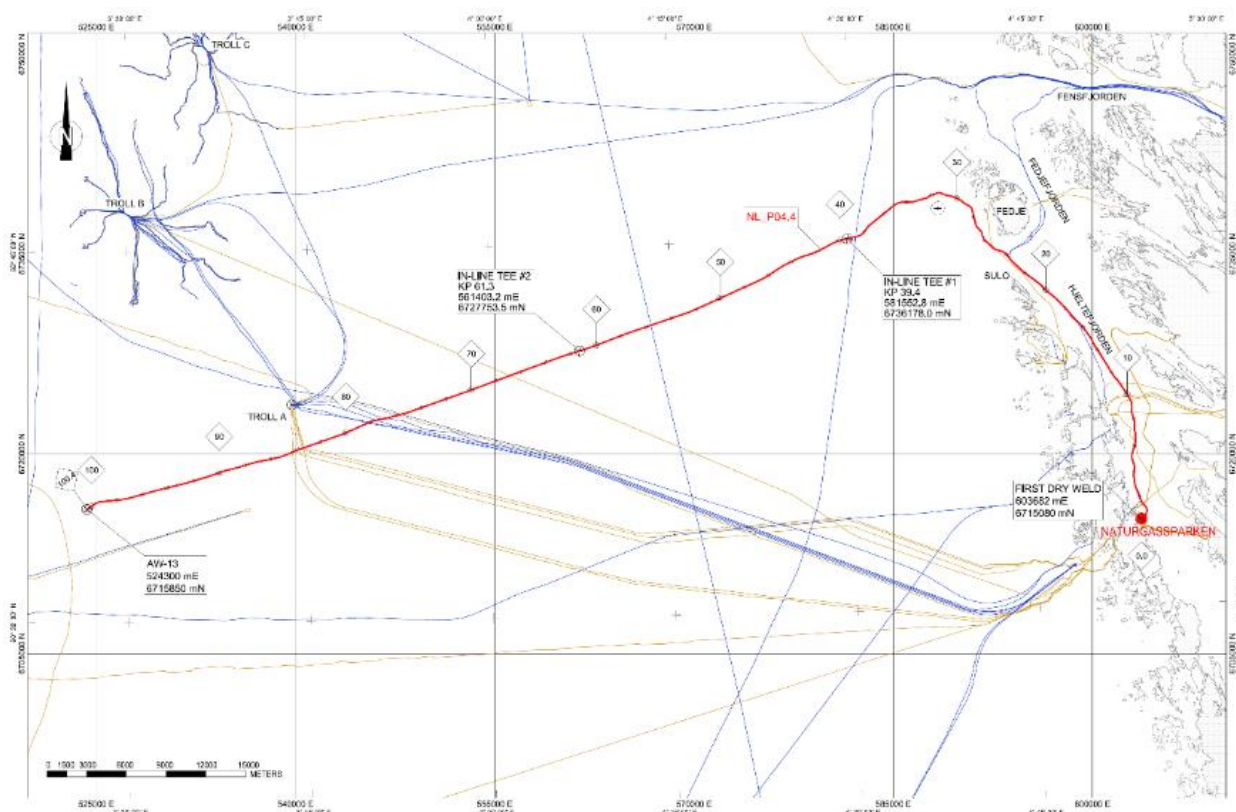
Noe mudring er nødvendig i et område rundt en eksisterende brygge og for fylling for adkomstveien. Analyser av de planlagte mudrede massene viser noen mindre forurensninger. De mudrede massene fra begge steder vil bli deponert og dekket til i den dypeste delen av Ljøsysundet.

4.5.4 Rørledning

Rørledningen vil ha et designtrykk på 290 barg (ved 10 m.o.h.) og ha en ytre diameter på 12 $\frac{3}{4}$ tommer. Med en slik diameter vil det la seg gjøre å transportere inntil om lag fem millioner tonn CO₂ pr. år i væskefase. Lengden er på ca. 100 km og traseen er visst i Figur 4-25. Materialet i rørledningen er av typen karbon-manganstål, med "sour service"-egenskaper (dvs. tåler høyere innhold av bl.a. H₂S i CO₂-en). NL har allikevel valgt å klassifisere rørledningen for "sweet service" for å forenkle installasjonen ved å utnytte mer av veggtykkelsen til avstiving av rørledning.

Det vil bli etablert et landfall for rørledningen via en 540 m lang tunnel fra mottaksterminalen til sjøbunnen i Hjeltefjorden (ca. 260 m vanddyb). Tunnelen vil ha en diameter på 24 tommer for å kunne sirkulere sjøvann langs røret for dermed å unngå at det fryser på utsiden av røret.

Der rørledningen møter mottaksterminalen vil det bli plassert en nødavstengningsventil for å kunne isolere rørledningen med trykksatt CO₂.



Figur 4-25: Rørledningstraseen fra mottaksterminal til injeksjonsbrønn i Aurora-lisensen.

De første 7 km av rørledningen vil ha designtemperatur på -30°C, mens den resterende delen av rørledningen vil ha designtemperatur på -20°C. Dette gjøres for å muliggjøre en reduksjon i dagens krav til oppvarming av CO₂-en til 1°C på land. Systemet skal videreutvikles tidlig i realiseringsfasen.

Rørledningen vil bli holdt på plass og bli dekket av steinfylling, men også noen steder bli gravd ned i sjøbunnen for beskyttelse mot tunge fiskeredskaper (spesielt sørvest for Trollfeltet).

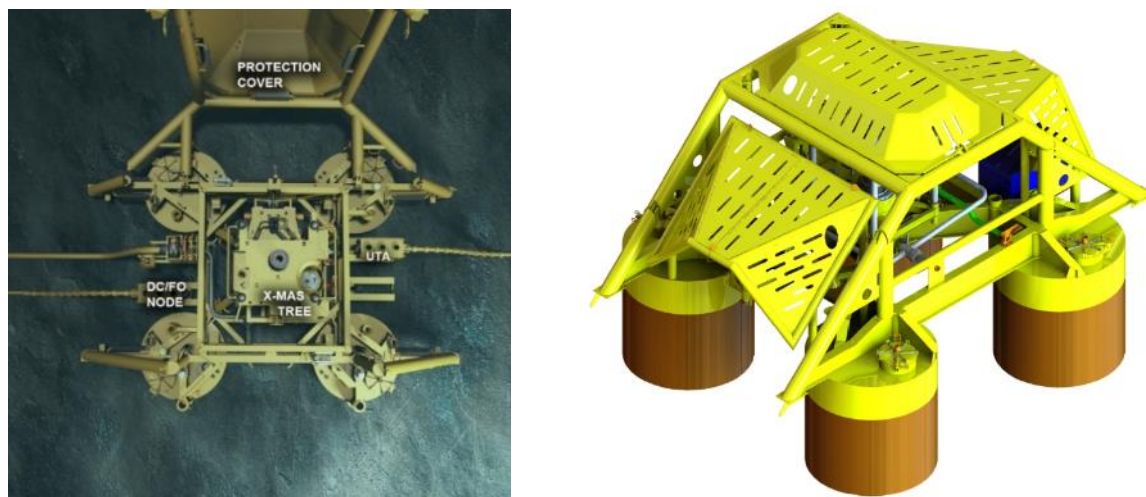
I enden av rørledningen vil det bli installert en «Pipeline end manifold» (PLEM) som sammen med et seks tommer rørstykke («spool») benyttes for å koble til brønnen. Ny rørledning til fremtidige brønner vil kunne forbindes med rørledningen via PLEM. En beskyttelsesstruktur vil bli installert over PLEM og steinfylling vil bli brukt for å stabilisere beskyttelsesstrukturen.

Flere aktuelle installasjonsentreprenører er identifisert for å installere både etter rullemetoden og S-lay-metoden. Alle er tidligere blitt brukt av Equinor.

4.5.5 Havbunnsutstyr

En satellittstruktur med en enkelt brønn er valgt og NL vil gjøre verifikasjonsbrønnen om til injeksjonsbrønn. Brønnrammen er produsert av Aker Solutions og ble installert på havbunnen i oktober 2019 (vist i Figur 4-26). Satellittstrukturen er laget for å koble avgreningen som kommer fra rørledningen/PLEM og kontroll- og kraftkablene til havbunnsutstyret og ventiltreet på brønnen. Det vil være mulig å viderekoble kontroll- og kraftkablene for styring av eventuelle nye brønner via satellittstrukturen.

For å kunne opprettholde lave injeksjonsrater vil en strupeventil bli installert som en del av et vertikalt ventiltre («X-mas tree» i Figur 4-26). Ventilen vil gi tilstrekkelig høyt trykkfall fra rørledningen til brønnen og dermed sikre at rørledningen kan opereres med høyt trykk som sikrer énfase strømming.



Figur 4-26: Illustrasjon av satellittstrukturen med sugeankre og trålbekyttelse som ble installert i oktober 2019. Bildet til venstre viser satellittstrukturen sett ovenfra med trålbekyttelsen åpen. Fra Equinor.

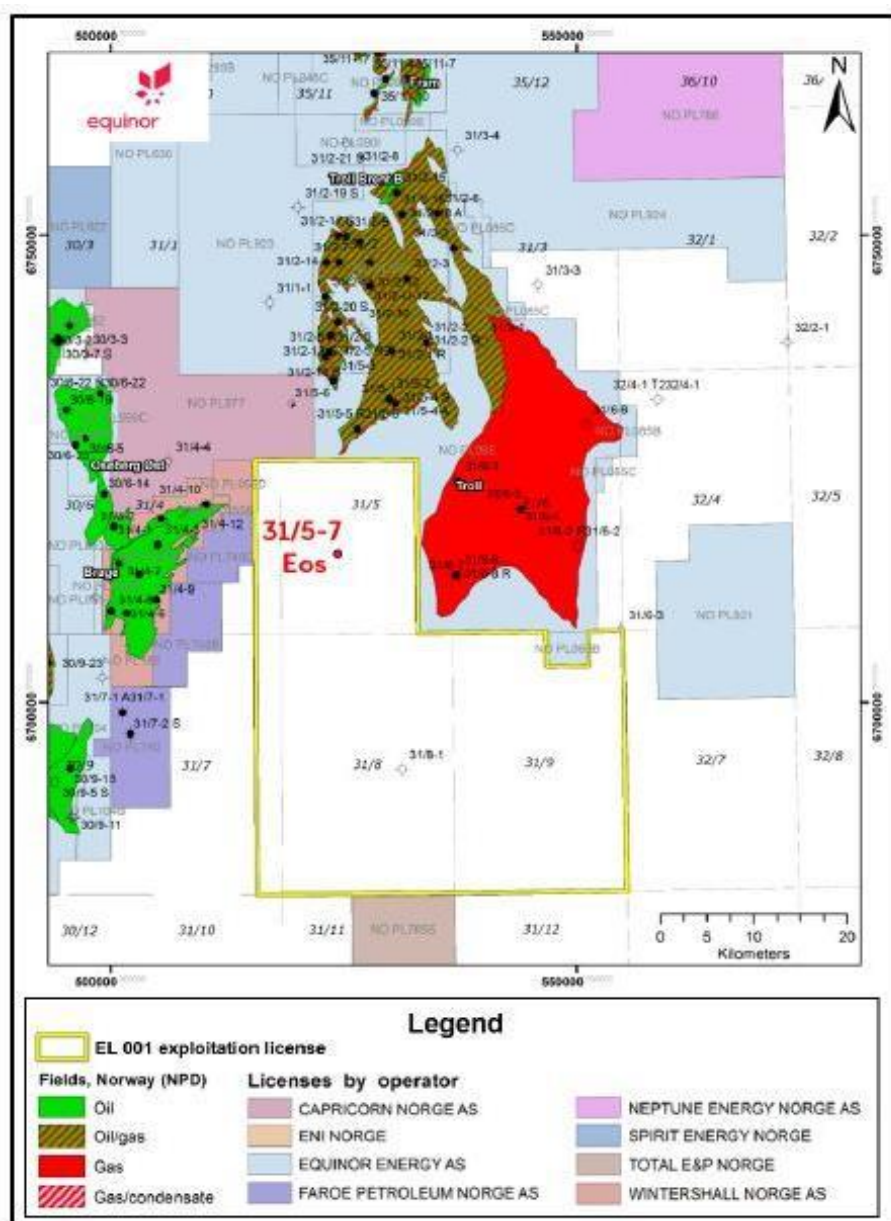
4.5.6 Kontroll- og kraftkabler

Det vil bli installert en kontrollkabel og en kraftkabel mellom satellittstrukturen og Oseberg A-plattformen for å styre og overvåke havbunnsutstyret fra Oseberg Feltcenter. Begge kablene vil være 35,6 km lange. Kontrollkabelen vil føre hydraulisk kraft til styring av ventiler og MEG til testing av barrierer på brønn-hodet og hydrat-inhibering dersom det unntaksvis viser seg nødvendig. Kraftkabelen vil føre likestrøm og fiberoptiske signaler til drift av og kommunikasjon med instrumenter og ventiler.

På Oseberg A-plattformen vil kablene bli trukket inn gjennom et eksisterende trekkerør («J-tube») fra havbunnen opp til dekket hvor de blir avsluttet i et koplingskap.

4.5.7 Injeksjonsbrønnen

Verifikasjonsbrønnen vil bli gjenbrukt som injeksjonsbrønn og har brønn nummer 31/5-7. Brønnen har fått navnet «Eos» og ble boret til 2 900 m total dybde mellom desember 2019 og februar 2020 for å påvise sandstein og lagringspotensiale i Johansen-formasjonen. Brønnen ble boret vertikalt og er midlertidig plugget etter brønntesting. Mot slutten av realiseringsfasen vil NL bore et sidesteg inn mot reservoaret. Ved å gjenbruke brønnen unngår man å måtte bore en ny injeksjonsbrønn. Begge boreoperasjonene krever bruk av en halvt nedsenkbar boreplattform på grunn av et vanddyp på ca. 300 m. Standardisert rør- og kompletteringsutstyr vil bli brukt så langt det er mulig for å redusere kostnadene. Brønn-lokasjonen er vist i Figur 4-27.



Figur 4-27: Lokasjon av brønnen 31/5-7 «Eos» og kart over Utnyttelsestillatelse EL001 (Aurora).

Det er av flere grunner ønskelig å opprettholde kontinuerlig injeksjon av CO₂ fra mottaksanlegget delvis pga. strømningsforholdene i rørledningen og havbunnsanlegget med brønnhodet, men også i brønnen. Dette er også gunstig for å unngå tilbakestrømning av saltvann, CO₂ og sandpartikler fra reservoaret tilbake til nederste delen av brønnen. NL har vurdert det slik at en injeksjonsstrategi basert på kontinuerlig injeksjon er mer robust enn batch-vis injeksjon med hyppig stopp og start.

For å sikre en jevnest mulig injeksjon av CO₂ vil NL utvikle en injeksjonsfilosofi basert på bl.a. følgende:

- Kontinuerlig injeksjon med en strømningsrate som sikrer en-fase strømning i rørledning og brønn. Trykket levert fra injeksjonspumpene vil variere mellom 45 og 145 barg. Laveste trykk for å kunne opprettholde CO₂-strømning i en-fase som væske, er beregnet å være 45 barg (ved innløpet til rørledningen).
- Tilpasset anløpsfrekvens for skipene i den grad det er mulig slik at det er tilstrekkelig kapasitet i mellomlageret når nytt skip ankommer.
- Løpende justering av injeksjonsraten basert på prediksjoner for mengde CO₂ klar for eksport fra fangstanleggene (som beskrevet i eget vedlegg til avtalene om tilskudd til fangst og transport/lagring av CO₂).

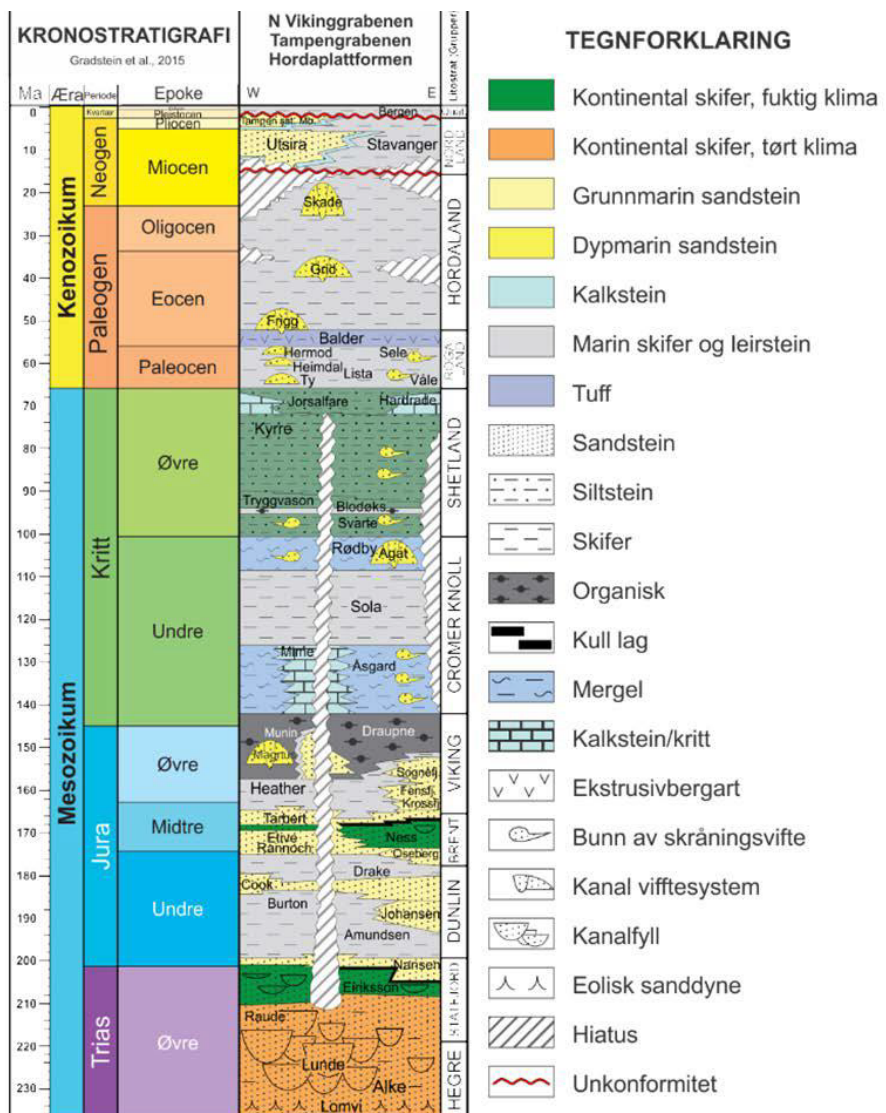
4.5.8 Lagringskompleks for CO₂

Lagringsforskriften definerer et lagringskompleks som «*lagringslokalitet og de geologiske omgivelser som kan ha betydning for sikkerheten ved lagringen*». Dette prosjektet vil inkludere blant annet det primære lagringsreservoaret (Johansen-formasjonen), potensielle sekundære lagringsformasjoner (Cook-formasjonen) og den primære impermeabel skiferforseglingen som ligger over disse (Drake-formasjonen). Disse formasjonene er vist i Figur 4-28.

Tillatelse til bruk av dette CO₂-lagringskomplekset vil bli formalisert mellom Northern Lights partnerskapet og den norske stat gjennom Plan for utbygging og drift (PUD) med tilhørende konsekvensutredning (KU). Innsending av PUD er planlagt til våren 2020 etter gjennomført høring og behandling av høringsuttalelsene til konsekvensutredning.

Dunlingruppen er den primære lagringsenheten. CO₂ vil bli injisert i vannfylt porøs og permeabel sandstein i Johansen-formasjonen og vil bli lagret der og i den overliggende Cook-formasjonen. Tett, impermeabel skifer i Drake-formasjonen utgjør den primære forseglingen av lageret. Alle tre formasjonene tilhører Dunlingruppen og er godt kjent fra olje- og gassbrønner i området rundt Aurora-lisensen.

Vannfylte sandsteiner i de overliggende Brent- og Vikinggruppene anses som mulige, fremtidige injeksjons- og lagringsmuligheter. Tette skifre i Brent- og Vikinggruppen som Ness-, Heather- og Draupneformasjonene, vil utgjøre ytterligere forseglingslag. Draupneformasjonen er kjent som forseglingen til Trollfeltet og andre hydrokarbonfelt i Nordsjøen og anses som pålitelig forsegling også for CO₂. NL har ingen konkrete planer om å lagre CO₂ i de grunnere enhetene, men på grunn av det store potensialet kan det på lang sikt bli aktuelt å lagre CO₂ i disse sandsteinsenheterne.



Figur 4-28: Oversikt over de geologiske formasjonene i området. Johansen-formasjonen i Dunlin-gruppen (Undre-Jura) er det primære lagringsreservoaret i CO₂ lagringskomplekset som også inkluderer den impermeable Drake-formasjonen.

Data fra Eos brønnen ble samlet inn med kabeloperasjoner (flere typer måleinstrumenter), fra kjerneprøver og via en produksjonstest. Mindre data ble samlet inn enn hva som er vanlig ifb. en olje og gass letebrønn hvor analyser vanligvis pågår i flere trinn over flere måneder.

I Cook- og Johansen-formasjonene ble det registrert totalt 173 m med sandstein med gode reservoaregenskaper.

En produksjonstest ble utført hvor saltvannet fra Johansen-formasjonen ble pumpet ut i omtrent 36 timer hvorpå brønnen ble stengt for å måle tiden det tok før reservoartrykket kom tilbake til sitt opprinnelige nivå. Jo kortere varighet, jo lettere kan væske bevege seg gjennom reservoaret og følgelig er permeabiliteten større. Eos-brønnen returnerte til det opprinnelige nivået innen noen få minutter, noe som bekrefter fra god til meget god porøsitet og permeabilitet.

NL vurderer at resultatene fra Eos-brønnen bekrefter at lagringspotensialet i Johansen og Cook-formasjonene er større enn den lagringskapasiteten som kreves for en injeksjonsrate på 1,5 Mtpa. Hvor mye av formasjonene som kan brukes og kommersialiseres for tredjeparts volumer vil avhenge av antall injeksjonsbrønner.

NL bekrefter også at risikoen for lekkasje er lav og risikoeksponeringen mot Troll-lisensen anses også som lav.

Resultatene fra Eos-brønnen vil analyseres videre og danne grunnlaget for Northern Lights PUD-søknad og investeringsbeslutning..

4.5.8.1 Overvåkning av CO₂ lagringskompleks

NL har utført en lekkasjerisikoanalyse for å identifisere og rangere risiko for lekkasje til sjøbunnen gjennom henholdsvis brønner (injeksjonsbrønnen og eksisterende brønner fra petroleums-virksomheten), samt eventuelle geologiske svakhetssoner. Denne analysen viser at det generelt er liten risiko for lekkasje til sjø, men at eksisterende brønner utgjør en større risiko enn geologiske svakhetssoner.

Hovedstrategien for overvåkingsplanen er todelt og er beskrevet i NLs konsekvensutredning:

- Primær overvåking av injeksjonsbrønn:
 - Overvåking av injisert mengde CO₂ og CO₂-rate på brønnhodet
 - Overvåking av temperatur og trykk i brønnen for å oppdage endringer i reservoarbetingelser og eventuelle lekkasjer i eller nær brønnen.
- Sekundær overvåking av undergrunnen:
 - Seismikkinnsamlingskampanjer for å overvåke endringer i undergrunnen (4D-seismikk).
 - Passiv seismikkovervåking utover det eksisterende Norwegian National Seismic Network (NNSN) er under vurdering og vil, dersom det blir aktuelt, fokusere direkte på injeksjonsoperasjonen.

Resultatene fra aktive og passive seismikkmålinger vil bli brukt til å bekrefte og oppdatere reservoarforståelsen og indikere om CO₂ skulle bevege seg ut av lagringskomplekset. Frekvensen til de aktive seismiske innsamlingene vil bli bestemt ut fra modellering av CO₂-ens utbredeshastighet i undergrunnen og vil kunne bli oppdatert underveis i overvåkingsprogrammet.

4.5.9 Endringer av de tekniske løsningene fra konseptstudiet

De viktigste endringene i de tekniske løsningene i NLs prosjektkonsept etter avsluttet konseptstudie (DG2) er vist i Tabell 4-2.

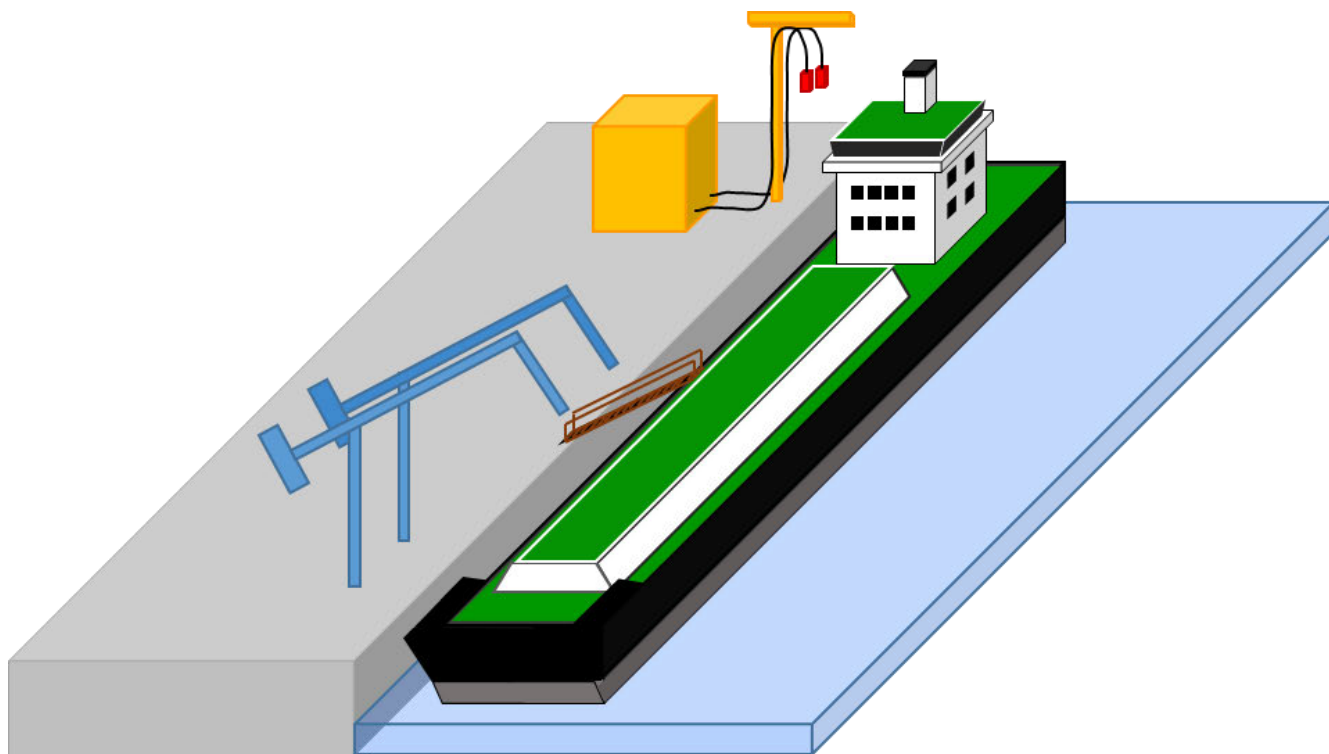
Tabell 4-6: De viktigste endringene i de tekniske løsningene i NL sitt prosjektkonsept fra DG2 til DG3.

Beskrivelse av endring (Omformulert og oversatt til norsk av Gassnova for økt lesbarhet)	Konsekvens for CAPEX / MNOK
Forenklet design av mottaksterminalen, bl.a med færre hjelpesystemer	■
Kortere rørledning og mindre steindumping	■
Kontroll- og kraftkabler fra Oseberg A istedenfor fra land	■

Utover endringene med konsekvens for CAPEX har NL gjort mindre endringer som har gitt en netto reduksjon i OPEX på omkring ■ (for CCS-kjeden med både FOV og Norcem).

4.6 Grensesnitt

Gassnova har ledet og koordinert arbeidet med å modne grensesnitt mellom aktørene. Gassnovas designbasis og studieavtalene fordeler arbeidsomfanget mellom fangstaktørene og transport- og lageraktør slik at skillet, såkalt «battery limit», går mellom kaikanten ved fangstanleggets utskipnings-terminal og det fortøyde transportskipet. I tilknytning til «battery limit» har fangstaktørene ansvaret for å designe, bygge og drifte alle systemer og installasjoner som står på land, mens transport- og lageraktør har ansvaret for å designe, bygge og drifte transportskipet. Figur 4-29 viser en skisse av transportskipet liggende til kai hos fangstaktøren.



Figur 4-29: Illustrasjon av grensesnittet mellom fangstanlegg og skip. Lastearmer for overføring av CO₂ til/fra skipet er vist i blått og løsning for landstrøm er vist i oransje.

Der arbeidsomfanget til aktørene møtes, oppstår det fysiske eller funksjonelle grensesnitt som krever samarbeid. Som en følge av prinsippene i avtalene om tilskudd til fangst og transport/lagring av CO₂ (hvor et viktig premiss er at hver aktør vil ha et kontraktuelt forhold kun til staten), er det ingen kommersielle eller juridiske forpliktelser i grensesnittet mellom aktørene.

Aktørene har hatt ansvar for å modne grensesnitt mot de andre aktørene i prosjektet. Gassnova har koordinert arbeidet ved hjelp av regelmessige møter i Teknisk komité for CCS-kjeden. Programvaren PIMS Interface Management er blitt brukt til å styre arbeidsflyten knyttet til identifisering og modning av grensesnittene. Prosjektet har dratt nytte av at flytende gasser har vært industrielt håndtert og transport med skip i årtier. Gassnova vurderer modenheten av grensesnittene i prosjektet som god.

Tabell 4-7 viser en oversikt over de fysiske grensesnittene mellom fangstaktør og transport- og lageraktør ved avslutning av forprosjektet.

Tabell 4-7: Oversikt over status for fysiske grensesnitt mellom fangstanlegg og transportskip.

Fysiske grensesnitt	Status
Kai	<u>Avklart:</u> - Geografisk beliggenhet. - Maksimal lengde skip 130 m og maksimal dypgang skip 8,5 m. - Babord side mot kai foretrukket alle steder. - OCIMF «Mooring Equipment Guideline», 4. utgave 2018 legges til grunn ifb. fortøyning. - Landgang og fortøyningstau følger skipet. - Kran for løft av reservedeler, forsyninger, avfall osv. på skipet. <u>Uavklart:</u> - Høyde og layout av kai, inkl. plassering av pullerter og fendere.
Lastearm	<u>Avklart:</u> - Plasseres på utskipningsterminal hos fangstaktør. - To tilkoblinger nødvendig, én for lasting av flytende CO₂, og én for retur av gassformig CO₂. - Kan benytte samme lastearm for begge tilkoblingene. - Flytende CO₂ i lastearm dreneres fra høypunkt både til utskipningsterminal og skipets manifold. - «Quick connect/quick disconnect» (QCDC) lagt inn i design. <u>Uavklart:</u> - Nøyaktig diameter på og avstand mellom, tilkoblingene. - Nødvendig operasjonshøyde og -radius («operasjonskonvolutt»).
“Ship-shore link” - løsning for sanntids-overføring av signaler mellom skip og utskipningsterminal	<u>Avklart:</u> - "SIGTTO Recommendations and guidelines for linked Ship/shore Emergency shutdown of Liquefied Gas Cargo Transfer System" legges til grunn. <u>Uavklart:</u> - Detaljert oversikt over ønskede funksjoner og signaler.
Løsning for landstrøm, inkl. kabler og løftearrangement	<u>Avklart:</u> - Plasseres på utskipningsterminal hos fangstaktør. - 690V, 60 Hz, maks effekt 1 MW. - Plugger for sammenkobling med skip IEC 80005-3 kompatible. <u>Uavklart:</u> - Nødvendig operasjonshøyde og -radius for løftearrangement.
Forsyning av ferskvann	<u>Avklart:</u> - Slangeforbindelse er tilstrekkelig. <u>Uavklart:</u> - Nødvendig trykk og kapasitet.
Brannvann	<u>Avklart:</u> - Ikke et formelt krav til utskipningsterminal hos fangstaktør siden skip har eget system for brannslukning. - Vil kobles opp via slange dersom brannvann er tilgjengelig fra utskipningsterminal.

Utover de fysiske grensesnittene har aktørene avklart følgende funksjonelle grensesnitt:

- Utstyr og systemer knyttet til lasteoperasjonen (på skip og land) designes og opereres etter prinsippene i:
 - o OCIMF Recommendation for Standardisation of Ship's manifold and associated equipment for liquified Gas carriers, 1. utgave 2017.
 - o SIGTTO Manifold Recommendations for Liquefied Gas Carriers, 1. utgave 2011.
- Fangstaktørene er ansvarlige for å inkludere støy fra skipet i sine konsekvensutredninger. NL forventer maksimalt 75 dB(A) støy generert fra skipet i løpet av en vanlig lasteoperasjon. Dette tar ikke høyde for støy ved trykkavlastning av lastearm.
- Fangstaktør er ansvarlig for å stille med personell for assistanse til fortøyning av skip.
- Fangstaktør er ansvarlig for å stille med personell for styring av lastearm og kran/vinsj for tilkobling av landstrøm.

I interimfasen og i tidlig fase av gjennomføringen må aktørene enes om prinsippene for hvordan lasteoperasjonen skal utføres, bl.a. hvordan fjerning av forurensninger fra koblingene for CO₂, drenering og frakobling av lastearm skal gjøres, hva som er maksimalt operasjonstrykk i skipets tanker ved start av lasteoperasjon m.m.

Prinsipper for samhandling mellom aktørene og avklaring av ansvarsforhold i drift er beskrevet ytterligere i eget vedlegg til avtalene om tilskudd til fangst og transport/lagring av CO₂.

4.7 Målefilosofi

Måling av mengde og sammensetning av CO₂ vil bli gjort flere steder langs CCS-kjeden. Dette er viktig for å sikre trygg og effektiv drift og for å inngå i underlag for økonomisk oppgjør rapportering av CO₂-utslipp.

Aktørene er selv ansvarlige for å identifisere relevant regelverk og for å sørge for at anleggene designes, bygges og driftes i overensstemmelse med regelverket. Noen sentrale forskrifter og forordninger som stiller krav ifb. måling er listet i Tabell 4-8.

Tabell 4-8: Sentrale forskrifter og forordninger som stiller krav til nøyaktighet for måling av CO₂.

Type måling	Eksempler på relevante krav	Forskrift/forordning
Bestemmelse av mengde ved måling av nivåforskjell i tank	Maksimal usikkerhet tilsvarende 0,5 % av tankens kapasitet	«Forskrift om krav til kalibrering av måletanker som brukes til beregning av økonomisk oppgjør»
Måling av strømningsrate	Maksimal usikkerhet 1,5 % (for det komplette målesystemet i felt ved normale driftsbetingelser)	«Forskrift om krav til målesystem for kontinuerlig og dynamisk måling av andre væsker enn vann»
Bestemmelse av mengde	Maksimal usikkerhet i mengde CO ₂ overført til lagringsanlegg 2,5%	«Forordningen om overvåking og rapportering (MR-forordningen)»

Det er i overordnet designbasis stilt krav til de måletekniske løsningene hos fangstaktørene for å sikre at ulike selskaper kan ha ansvaret for fangst og transport/lagring. CCS-kjeden har en funksjonalitet som er slik at CO₂, som fanges av en aktør, overføres til en annen for videre håndtering. Disse kravene er:

- Det skal være mulig å bestemme mengde CO₂ som overføres til skipet (det stilles ingen krav til hvilken målemetode som skal brukes).
- Innholdet av oksygen og vann i CO₂ som overføres til skipet, skal måles løpende under hele lasteoperasjonen. Innholdet av andre kjemiske komponenter kan vurderes dokumentert på andre måter, f.eks. ved manuell prøvetaking.

Ved påvisning av CO₂ som ikke tilfredsstiller kravene til renhet, er det aktøren som har CO₂-en innenfor sitt anlegg som er ansvarlig for å fjerne CO₂-en (sannsynligvis ved utslipp til luft).

Gassnova har ikke stilt egne krav til nøyaktigheten på måling av mengde og sammensetning av CO₂ da dette er ivarettatt i de relevante forskriftene og forordningene.

Følgende målinger vil gjøres av mengde CO₂ gjennom CCS-kjeden:

- Ved lasteoperasjonene hos fangstanleggets utskipningsterminal vil fangstaktørene bestemme mengde CO₂ overført til skipet vha. strømningsmåler (FOV) og nivåforskjell i mellomlagertankene (Norcem). Skipet vil på sin side bestemme mengde CO₂ lastet vha. nivåforskjell i skipets tanker.
- Det forventes ingen utslipp av CO₂ fra skipet underveis til mottaksterminalen. Ved overføring av CO₂ til mellomlageret hos NL vil skipet igjen bestemme mengde CO₂ losset vha. nivåforskjell i skipets tanker.
- På mottaksterminalen vil strømningsraten bli målt på innløpet til rørledningen og på havbunnsinstallasjonen.

Ved hver lasteoperasjon vil fangstaktørene dokumentere sammensetningen av CO₂ basert på målinger og beregninger. Når CO₂ ankommer mottaksterminalen til NL vil sammensetningen bestemmes vha. målinger før den overføres til mellomlagertankene der.

4.8 Overkapasitet i CCS-kjeden

Det er vanlig at industrielle anlegg designes med ulike former for marginer for ta høyde for tekniske usikkerheter og dermed sikre at anleggene yter som forutsatt. Slike marginer kalles ofte for designmarginer og er gjerne knyttet til kapasiteter, strømningsrater, trykk, temperatur, fysiske mål osv. For å redusere kostnadene er CCS-kjeden generelt designet med liten bruk av designmarginer, men i noen tilfeller har Gassnova eller aktørene selv vurdert det som hensiktsmessig å legge til grunn marginer/overkapasitet, se Tabell 4-9.

Tabell 4-9: Marginer/overkapasitet i CCS-kjeden.

	Teoretisk minimum	DG3-løsningen	Kommentar
Designmarginer hos FOV	0%	5-10%	FOV har selv valgt å legge til designmarginer.
Skipets lastekapasitet	5 500-6 000 m ³	7 500 m ³	Fordi den valgte lastekapasiteten ligger innenfor et utbredt markedssegment for skipsbygging (LPG-skip) har NL vurdert det som gunstig for prisen på skipet [6] (s. 76). Estimert for et slikt skip er på samme nivå som Gassco fant ifb. konseptstudiet, men lastekapasiteten har blitt betydelig høyere. NL mottok kommersielle tilbud på skipene i mars 2020 og fikk da bekreftet at den valgte lastekapasiteten ikke er kostnadsdrivende.
Kapasitet mottaksterminal	400 000 t CO ₂ /år	1,5 Mt CO ₂ /år	Valgt av Gassnova i samråd med NL for å sikre at CO₂ fra tredjeparter kan lagres uten modifikasjon av mottaksterminalen. Kostnaden knyttet til denne overkapasiteten er lav og først og fremst knyttet til dimensjoneringen av varmevekslere og pumper (jf. NLs brev til Gassnova LE-PM673-NCD-00036, datert 24.april 2018).
Diameter på havbunns-rørledningen	4-6 tommer	12 tommer	Valgt av NL og Gassnova i fellesskap, for å muliggjøre lagring av inntil 5 Mt CO₂/år. Den minste størrelsen som er vurdert av NL er 8 tommer, som er den minste dimensjonen som tillater lagring av 1,5 Mt CO₂/år. En rørledning med 12 tommer diameter er estimert til å koste om lag [REDACTED] mer enn en rørledning på 8 tommer (ref. NL dokument PM673-NL-Y-RA-00002). For lagring av 400 000 t CO₂/år vil en rørledning på 4-6 tommer være tilstrekkelig (estimert av Gassnova), men kostnaden for en slik rørledning er ukjent.

I tillegg til de identifiserte elementene i tabellen over vil også injeksjonsbrønnen ha en form for overkapasitet fordi det er sannsynlig at den kan håndtere mer CO₂ enn hva FOV og/eller Norcem kan levere. Brønnens kapasitet er p.t. ikke kjent, men Equinor skriver at resultatene bekrefter at lagringspotensialet i Johansen og Cook-formasjonene er større enn den lagringskapasiteten som kreves for en injeksjonsrate på 1,5 Mtpa. Hvor mye av formasjonene som kan brukes og kommersialiseres for tredjeparts volumer vil avhenge av antall injeksjonsbrønner.

5 Teknologivurderinger

Prosjektets primære effektmål er å gi kunnskap som viser at det er mulig og trygt å gjennomføre fullskala CO₂-håndtering. Med utgangspunkt i dette effektmålet har prosjektet søkt å begrense bruk av uprøvd teknologi med unntak av der det gir stor merverdi. På den måten legges det best mulig til rette for en forutsigbar gjennomføring av prosjektet. Dette har i tidligere prosjektfaser i særlig grad påvirket valg av termodynamisk tilstand for mellomlagring og transport av CO₂, samt valg av et overordnet konsept basert på en mottaksterminal på land med rørledning til injeksjonsbrønnen fremfor direkteinjeksjon fra skip.

Hver aktør har i noen tilfeller vurdert det som hensiktsmessig å basere sine tekniske løsninger på uprøvd/umoden teknologi. En kort beskrivelse av teknologisk løsning og status i fangstprosjektene og transport- og lagerprosjektet er oppsummert i henholdsvis Tabell 5-1 og Tabell 5-2. Aktørene og Gassnova har vurdert eventuell restrisiko ifb. bruk av umoden teknologi som håndterbar i gjennomføringen av prosjektet.

Tabell 5-1: Status for bruk av uprøvd/umoden teknologi innen fangstprosjektene ved avsluttet forprosjekt.

Aktør	Teknologielement	Status
Norcem	Aker Solutions' Advanced Carbon Capture (ACC) teknologi for CO ₂ -fangst	Tidligere har teknologien blitt testet med en langvarig pilot finansiert av bl.a. CLIMIT, samt vært gjennom en omfattende kvalifisering ifm. CCS-prosjektet på Mongstad. I forprosjektet har DNV GL og Aker Solutions gjort en skrivebordsstudie for å lukke noen mindre usikkerheter. Teknologikvalifisering er avsluttet og «Statement of qualified technology» utstedt av DNV GL.
Norcem	Varmegjenvinning fra CO ₂ kompressoren	Teknologien omfatter nye driftsbetingelser for en spesifikk kompressor fra MAN. Aker Solutions, MAN og DNV GL har i forprosjektet gjort en skrivebordsstudie som viser at det er lite restrisiko forbundet med de nye driftsbetingelsene. Teknologikvalifisering er avsluttet og «Statement of qualified technology» utstedt av DNV GL.
Norcem	Varmegjenvinning med røykrørkjeler	Røykrørkjeler for varmegjenvinning har blitt brukt i forskjellige industrier i mange år, men ikke i sementindustrien. Testing er utført på Norcems anlegg for å verifisere varmeovergangstall, groing i rørene osv. Teknologikvalifisering er avsluttet og «Statement of qualified technology» utstedt av DNV GL.
FOV	Shells Cansolv aminteknologi for CO ₂ -fangst	Pilottesting utført med aktuell teknologi og virkelig røykgass hos FOV (> 2000 timer i drift). Teknologikvalifisering er avsluttet og «Statement of qualified technology» utstedt av DNV GL.

Tabell 5-2: Status for bruk av uprøvd/umoden teknologi innen transport og -lagerprosjektet ved avsluttet forprosjekt.

Aktør	Teknologielement	Status
NL	Bruk av høyfast stål i skipets lastetanker	Det er utført detaljerte analyser av tankenes design og tester av materialer. En "General Approval for Ship Application" (GASA) er innhentet fra et klaseselskap. Følgende aktiviteter er utestående og vil bli gjort i neste fase: - Kvalifikasjon av materialleverandører og produksjonssteder - Bekrefte konstruksjonsmetoder - Innhente endelig godkjenning for avvik fra IGC-koden
NL	Ikke-metalliske materialer i CO ₂ service	Erfaring fra Shells CCS-anlegg Quest (Canada) viser at CO₂ kan trenge inn i noen typer ikke-metalliske materialer. Det vil bli utført tester for å bekrefte kompatibilitet av de aktuelle ikke-metalliske materialene med CO₂.
NL	Laserspektrometer til analyse av urenheter i CO ₂	Equinor har ingen erfaring med laserspektroskopi som analysemetode for CO₂. Det vil bli utført tester. Flere reserveløsninger finnes i form av andre analyseteknologier.
NL	Driftsbetingelser for injeksjonspumpene på mottaksterminalen.	Driftsbetingelser for injeksjonspumpene avviker fra tidligere erfaring i Equinor (Melkøya og Sleipner). Et teknologikvalifiseringsprogram er definert og vil bli avsluttet før realiseringsfasen.
NL	Bruk av elektrisk drevne ventiler på mottaksterminalen	Nylig kvalifisert i Equinor, ingen ytterligere aktiviteter planlagt.
NL	Brønnmaterialer	Materialer i brønnen vil bli eksponert for CO₂ og formasjonsvann (svært korrosivt). Tester er utført og materialer er kvalifisert iht. Equinors arbeidsprosesser.

6 Verdiøkingsprosess

6.1 Aktørenes verdiøkingsarbeid

De tre aktørene har gjennomført verdiøkingsprosesser med den hensikt å redusere kostnader, øke verdi eller redusere usikkerheter av sine egne prosjekter. Tidlig i forprosjektet arrangerte hver aktør dedikerte gjennomganger tilrettelagt av prosjekteksternt personell for å identifisere og klassifisere mulige forbedringer til prosjektet. Basert på kost-nytte-analyser er de mulige forbedringene utredet videre og i noen tilfeller innarbeidet i løsningene som er presentert ved avsluttet forprosjekt.

Aktørene har vedlikeholdt og rapportert oversikt over status i verdiøkingsarbeidet. De viktigste verdiøkningene som er innarbeidet i hver aktør sitt prosjekt, er angitt i oversikten over endringer som er gjengitt i kapittel 4.3.6, 4.4.6 og 4.5.9 for henholdsvis FOV, Norcem og NL. Mange mulige forbedringer lar seg vanskelig kvantifisere og det totale omfanget av verdiøkingsarbeidet lar seg ikke tallfeste. I hvilken grad aktørene har lyktes med sitt verdiøkingsarbeid er nærmere vurdert i evalueringsrapportene [7] og [8].

6.2 Gassnovas verdiøkingsarbeid

Gassnova har i samråd med aktørene implementert følgende verdiøkende tiltak i forprosjektet:

- Koordinering av antakelser/metodikk ifm. risikovurderinger knyttet til uhellsutslipp av CO₂.
- Tilrettelegging for deling av teknisk informasjon mellom aktørene (f.eks. knyttet til tekniske løsninger for måling av urenheter i CO₂).
- Redusert krav i overordnet designbasis til regularitet/tilgjengelighet av fangstanlegg (fra 96 % til 85 %).
- Redusert krav i overordnet designbasis til å ha måleutstyr for bestemmelse av mengde CO₂ lastet på skip (måleutstyr erstattet av «metode»).
- Endret krav i overordnet designbasis til spenning for landstrøm fra 440 V til 690 V (forenkende for alle aktører).
- Innført krav til at egne besøkssentre bør unngås og at eksisterende fasiliteter bør brukes så fremt det er mulig.

Gassnova har også vurdert mulige synergier og alternative løsninger knyttet til CCS-kjeden:

- Samlokalisering av mellomlager i Brevik.
- Reduksjon i fangstanleggenes mellomlager ved realisering av begge fangstanlegg.
- Felles design av flytendegjøringsanleggene hos Norcem og FOV.
- Felles anlegg for rensing av CO₂ på NLs mottaksterminal.
- Etablering av spesifikke krav til regularitet for fangstanleggene og lageranlegget.
- Felles innkjøp på tvers av aktørenes prosjekter.

Vurderingene er oppsummert i de etterfølgende underkapitlene.

6.2.1 Samlokalisering av mellomlager i Brevik

Gassnova har vurdert om det vil være hensiktsmessig å samlokalisere begge fangstantørenes mellomlagre for CO₂ hos Norcem i Brevik, gitt at CCS-kjeden realiseres med begge fangstanlegg.

Fordelene med en slik samlokalisering ville vært:

- Begge transportskip ville ha hentet CO₂ fra samme utskipningsterminal, noe som ville ha gjort at mellomlageret kun behøvede å lagre CO₂ i om lag to dager (fremfor fire som ligger til grunn i nåværende løsning). Dette ville ha gitt lavere CAPEX for CCS-kjeden totalt.

- FOV ville ikke ha behovd å etablere en utskipningsterminal. Dette ville ha gitt lavere CAPEX for CCS-kjeden totalt.
- Norcems mellomlager ville i så fall ha blitt bygget for å kunne ta imot CO₂ levert med tankbil fra tredjeparter.

For å frakte CO₂ fra FOVs anlegg på Klemetsrud til Brevik vil man ha måtte benytte om lag 40 tankbiler, noe som ville ha medført en betydelig OPEX som langt overstiger reduksjonen i CAPEX, samt økte CO₂ utslipp.

Denne alternative løsningen er derfor ikke blitt bearbeidet videre i forprosjektet. Ytterligere dokumentasjon finnes i vedlegg [3].

6.2.2 Reduksjon i fangstanleggenes mellomlager ved realisering av begge fangstanlegg

Gassnova har vurdert om det vil være hensiktsmessig å redusere størrelsen på fangstaktørenes mellomlagre for CO₂, gitt at CCS-kjeden realiseres med begge fangstanleggene. I nåværende løsning legges det til grunn at to skip vil transportere CO₂ fra fangstanleggene til mottaksterminalen. Fangstanleggenes mellomlagre er designet for en kapasitet tilsvarende fire dagers produksjon av CO₂ ved fangstanleggets designkapasitet. Kravet om fire dagers lagringstid er basert på at hvert fangstanlegg betjenes av ett skip hver.

Dersom de to skipene henter CO₂ fra *begge* fangstanleggene på hver rundtur, vil tiden mellom hver henting kunne reduseres fra om lag fire til om lag to dager. Dette betyr at det kan være mulig å redusere antall mellomlagertanker hos hver fangstaktør med en tilhørende reduksjon i CAPEX som er grovt estimert til 150-250 MNOK (totalt for begge fangstanlegg). Fordi begge skip må utvide sin seilingsrute, noe for å dekke begge fangstanleggene, vil drivstofforbruket øke noe.

Den største ulempen med å redusere størrelsen av mellomlagrene er at CCS-kjeden blir mer sårbar for forsinkelser knyttet til skipstransporten. Det kan fort føre til at fangstanleggene må levere mindre CO₂ til mellomlager for å hindre at det går fullt.

Denne alternative løsningen bør eventuelt utredes videre tidlig i realiseringsfasen dersom begge fangstanlegg skal realiseres. Ytterligere dokumentasjon finnes i vedlegg [3].

6.2.3 Felles design av flytendegjøringsanleggene hos Norcem og FOV

Gassnova har vurdert om det vil være hensiktsmessig om flytendegjøringsanleggene hos Norcem og FOV får felles design som kan muliggjøre felles innkjøp og lavere kostnader.

Norcem planlegger å gjøre CO₂-en flytende ved å komprimere CO₂ til omkring 70 bar for deretter å kjøle den ned med sjøvann. I flere trinn vil trykket så bli redusert til 15 barg og dermed også temperaturen til -26°C slik at CO₂ kondenserer til væskefase. Denne løsningen er tett integrert med selve aminanlegget og er en del av Aker Solutions teknologi.

FOV planlegger å komprimere CO₂ til omkring 40 barg og deretter benytte en ekstern kjølekrets til å kjøle ned CO₂ til den kondenserer. Denne løsningen er svært utbredt innen gassindustrien og er prinsipielt annerledes enn løsningen Norcem har valgt.

Siden Norcems løsning er patentert av Aker Solutions og tett integrert med aminanlegget, vurderer Gassnova det som uaktuelt å innføre et krav om felles design av flytendegjøringsanleggene.

6.2.4 Felles anlegg for rensing av CO₂ på NLs mottaksterminal

Gassnova har vurdert om det vil være hensiktsmessig å fjerne dagens krav i overordnet designbasis om at fangstanleggene må rense CO₂ for å møte strenge krav og heller kreve et felles renseanlegg på NLs mottaksterminal.

Begge fangstaktørene ble tidlig i forprosjektet bedt om å vurdere den potensielle besparelsen for deres anlegg dersom det ikke blir stilt krav til CO₂-ens renhet. FOV oppgav en mulig besparelse i CAPEX og OPEX tilsvarende 30 MNOK totalt over en 10 års periode. Norcem oppgav at de ikke så noen mulig besparelse fordi rensing av CO₂ i stor grad skjer som en del av prosessen for flytende-gjøring.

NL oppgav at et prosesssystem for å rense CO₂ på mottaksterminalen hos NL krever at CO₂ som mottas i flytende form, først må fordampes for deretter å renses og rekondenseres. En slik løsning vil være kostbar.

Gassnova vurderer det slik at det ikke er noen kostnadmessig gevinst for prosjektet å innføre felles rensing på mottaksterminalen.

6.2.5 Etablering av spesifikke krav til regularitet for fangstanleggene og lageranlegget

I mandatet er Gassnova bedt om å «vurdere om det bør etableres spesifikke krav til regularitet for henholdsvis fangst- og lagerdelen av kjeden basert på regularitetsanalyser og en kost-/nytte-vurdering»

Som drøftet i kapittel 8.3 har alle aktørene dokumentert i analyser at det er sannsynlig at anleggene kan oppnå en høy oppetid/tilgjengelighet. Samtidig skal anleggene designes og bygges i henhold til vanlig industriell praksis, og det legges opp til begrenset redundans. Det forventede nivået for tilgjengeligheten vurderes som fornuftig, sett i lys av prosjektets første effektmål. Mekanismene som per i dag er på plass i avtalene om tilskudd til fangst og transport/lagring av CO₂, ivaretar anleggenes og CCS-kjedens tilgjengelighet for driftsfasen. Gassnova vurderer det som lite hensiktsmessig å innføre spesifikke krav til regularitet.

6.2.6 Felles innkjøp på tvers av aktørenes prosjekter

Gassnova har vurdert om det vil være hensiktsmessig i noen grad å gjøre felles innkjøp på tvers av aktørenes prosjekter.

NL har gjort et arbeid på vegne av aktørene for å belyse muligheter for optimaliserte innkjøp og lavere total kostnader for prosjektet dersom:

- En aktør kjøper materiale og utstyr på vegne av de andre.
- En aktør etablerer en rammeavtale som alle aktører kan gjøre avrop på.

At fangstaktørene i forprosjektet var i en konkurransesituasjon la begrensinger på å utforske mulighetsrommet. Konklusjonen var at det på det stadiet ikke ble identifisert nok potensielle besparelser til å legge slike felles innkjøp til grunn i prosjektet. Partene har etter Stortingets eventuelle beslutning om tilskudd mulighet for å revurdere om det likevel er formålstjenlig å samarbeide om felles innkjøp.

7 Systemutprøving og oppstart

Etter at anleggene i CCS-kjeden er mekanisk ferdigstilte, men før avslutning av realiseringsfasen, vil det gjøres systemutprøving for å bekrefte at nødvendig funksjonalitet er på plass før anleggene settes i drift.

Alle aktører vil gjøre systemutprøving på sine systemer til og med lastearmene på kaia. Systemutprøvingen består av inspeksjoner, verifikasjoner, testing og oppstart av prosesssystemer, hjelpesystemer, elektriske systemer og instrumentering. Dette gjøres uten å introdusere CO₂ i anleggene og betyr at NL kan utføre sin systemutprøving uavhengig av om fangstanleggene er klare til å levere CO₂.

Utover mottaksterminalen vil NL også klargjøre havbunnsrørledningen stegvis:

- Fylling med inhibert sjøvann
- Rengjøring og innvendig måling og kontroll (vha. «pigging»)
- Trykktest (til 333,5 bar)
- Erstatte sjøvann med nitrogengass og tørke rørledningen (vha. «pigging»)
- Fortrenge nitrogengass med CO₂-gass (vha. «pigging», behov for 650 tonn CO₂)
- Trykksetting/pakking av rørledning til fullt trykk (behov for 6450 tonn CO₂)

Pga. behov for store CO₂-mengder for å utføre de siste to stegene i klargjøringen av rørledningen, vil det først gjøres etter at fangstanleggene har begynt å levere CO₂.

Aktørene vil utarbeide detaljerte prosedyrer for systemutprøving og oppstart i løpet av realiseringsfasen.

Førstegangs oppstart av CCS-kjeden vil omfatte følgende steg:

1. Test av tilkobling mellom skip og fangstanleggets utskipningsterminal (tilkobling av bl.a. lastearmer, «ship-shore link» og landstrøm). Dette kan gjøres når skipet er operativt og systemutprøving av utstyret på kaia hos fangstanleggene er avsluttet, men fangstanlegget trenger ikke å ha CO₂ klar for lasting.
2. Testlasting av CO₂ til skip fra fangstanleggets utskipningsterminal.
3. Akseptansetest av fangstanlegget hvor en betydelig mengde CO₂ vil bli mellomlagret over en tidsperiode som krever minst en lasteoperasjon.
4. Første fylling av lageranlegget med CO₂ (rørledning og mottaksterminal). Avhengig av mengde CO₂ som gjøres tilgjengelig hos fangstanlegget ifm. punkt 2 og 3 over, kan første fylling av lageranlegget med CO₂ starte i parallell med disse aktivitetene.

En detaljert beskrivelse av første gangs oppstart av CCS-kjeden vil bli utarbeidet i løpet av realiseringsfasen.

8 Drift og vedlikehold

8.1 Driftsfilosofi

8.1.1 Overordnet filosofi

Aktørene er selv ansvarlige for å drifte sine nye anlegg. Alle deler av kjeden vil normalt være i drift døgntkontinuerlig, og hos fangstaktørene vil driften bli samordnet med driften av hovedproduksjonen. Alle deler av CCS-kjeden vil bli designet og bygget med høy grad av automatisering for å redusere behovet for bemanning.

Begge fangstaktørene forutsetter at hovedproduksjonen deres vil bli prioritert høyere enn fangstanlegget dersom det oppstår behov for prioritering av ressurser eller at fangstanlegget skaper negative konsekvenser for hovedproduksjonen.

8.1.2 Fangstanleggene

Alle nye installasjoner i forbindelse med fangstalegget vil bli styrt fra de sentrale kontrollrommene hos FOV og Norcem. Hos FOV inkluderer dette også styringen av mellomlageret på Oslo Havn. Begge fangstaktører mener at en ny feltoperatørstilling i skiftordning er nødvendig, samt en eller to «CCS ingeniører». Inspeksjoner vil jevnlig bli utført på alle de nye anleggene i tråd med vanlig driftsprinsipper.

Fangstanleggenes utskipningsterminaler vil bli driftet av respektive havnemyndigheter, dvs. Grenland Havn og Oslo Havn, men fangstaktørene har ansvaret for at havnefasilitetene og utskipnings-terminalene er i en forfatning som muliggjør trygg lasting av CO₂. Skipet kan ankomme utskipnings-terminalene når som helst på døgnet, og fangstaktørene er ansvarlige for å støtte skipet fra land ifb. fortøyning, oppkobling av landstrøm og utføringen av lasteoperasjonen (forventet varighet syv til tolv timer om lag hver fjerde dag). I de tilfeller hvor fangstaktørene ikke stiller med eget personell til lasteoperasjonen, vil tilbydere av relevante tjenester bli benyttet (fangstaktørenes ansvar).

FOV sitt mellomlager på Oslo Havn vil normalt være ubemannet, men FOV vil sørge for at en operatør fra Klemetsrud er tilstede på utskipningsterminalen på Oslo Havn når skipet ankommer og gjennom lasteoperasjonen.

FOV har lagt opp til inntil ■ tankbiltransporter per dag med CO₂ fra Klemetsrud til Oslo Havn. Disse tankbilene vil bli bemannet av sjåførere i en skiftordning. Det vil ta om lag 20-30 minutter å overføre innholdet i tankbilen til mellomlageret, noe som betyr at en tankbil er tilkoblet eller i ferd med å koble til/fra store deler av tiden. Sjåførene vil være ansvarlig for tilkobling, overføring av CO₂, og frakobling, mens kontrollrommet på Klemetsrud overvåker operasjonen.

8.1.3 Transport- og lageranlegget

Mottaksanlegget vil være delvis bemannet med seks til åtte stillinger i dagskift knyttet til driften av anlegget. Dette personellet vil deles med andre anlegg i nærheten for å optimaliser bemanningen. NL antar at Equinor vil være operatør av lageranlegget på vegne av eierselskapet.

Det vil være et lokalt kontrollrom på mottaksanlegget slik at dette kan bemannes og opereres lokalt, men anlegget vil også kunne fjernstyres fra et sentralt kontrollrom med døgntkontinuerlig bemanning (f.eks. fra Sture eller Kollsnes). Oseberg feltsenter vil operere brønnen under ned-stengning og oppstart av injeksjonen, mens kontrollrommet på land vil kontrollere injeksjonsraten ved hjelp av strupeventilen på havbunnsinstallasjonen under normal drift.

Driften av skipene planlegges satt ut til et eksternt selskap i tråd med vanlig praksis i bransjen.

For å sikre mest mulig effektiv utnyttelse av anleggene i CCS-kjeden og for i størst mulig grad å unngå nedstengning av injeksjonsbrønnen, vil NL opprette en funksjon som ivaretar driftsplanlegging for transportskipene og lageret, hvor fangstaktørene vil ha en rett til å levere inntil 5400 m³ flytende CO₂ hver fjerde dag. Prinsippene for samhandlingen mellom fangstaktørene og transport- og lageraktør er gitt i eget vedlegg til avtalene om tilskudd til fangst og transport/lagring av CO₂, og detaljerte prosedyrer vil bli utarbeidet innen oppstart av CCS-kjeden.

8.2 Vedlikeholdsfilosofi

8.2.1 Overordnet filosofi

Aktørene er selv ansvarlige for å vedlikeholde sine nye anlegg og vil utvikle risikobaserte vedlikeholdsstrategier i realiseringsfasen. Vedlikeholdet vil så langt som mulig bli gjort tilstandsbasert, dvs. når overvåking av relevant informasjon om utstyrskomponenter og systemer tilsier at vedlikehold er nødvendig, f.eks. utvikling i trykk, temperatur og vibrasjoner.

Så langt det er mulig vil planlegging av vedlikehold bli koordinert på tvers av aktørene i tråd med prinsippene nedfelt i eget vedlegg til avtalene om tilskudd til fangst og transport/lagring av CO₂.

8.2.2 Fangstanleggene

Daglig vedlikehold vil bli utført av vedlikeholdspersonell på dagskift. Norcem planlegger å utvide sin vedlikeholdsorganisasjon mens FOV vil leie inn en kontraktør eller utstyrsleverandør. I forbindelse med mer omfattende eller komplisert vedlikehold vil begge aktører leie inn eget personell. Vedlikehold av tankbilene som FOV vil bruke til transport av CO₂ til Oslo Havn, er leverandøren av transporttjenesten sitt ansvar.

Planlagt vedlikehold vil fortrinnsvis bli utført når det er ingen eller redusert tilgang på CO₂ fra hovedproduksjonen.

Sementproduksjonen hos Norcem stanses vanligvis for planlagt vedlikehold i tre uker i februar/mars hvert år, samt for uplanlagt vedlikehold en til to ganger hvert år. Utover dette vil det erfaringsmessig forekomme uplanlagte stanser i sementproduksjonen ukentlig. Dette gir løpende muligheter til å utføre vedlikehold som normalt ville kreve nedstenging av fangstanlegget.

De tre forbrenningslinjene hos FOV stanses for vedlikehold i ca. tre uker hver sommer, typisk i perioden juni-august. Stansene planlegges slik at det alltid er en forbrenningslinje i drift.

Omfanget av reservedeler som vil være lagerført lokalt hos fangstaktørene, vil bli definert i realiseringsfasen.

8.2.3 Transport- og lageranlegget

Daglig vedlikehold vil bli utført av personell på dagskift som deles med andre anlegg i nærheten for å optimalisere bemanningen. Hvert femte år vil mottaksterminalen stenges ned for revisjonsstans. Dette vil bli koordinert med planlagt nedetid hos fangstanleggene. Tilsvarende forventes det at skipet må i tørrdock minst hvert femte år med en varighet på tre til fire uker [10].

Det forventes ikke at det må utføres en innvendig inspeksjon av rørledningen i løpet av levetiden. Som en del av programmet for å oppdage eventuelle CO₂-lekkasjer, vil det bli utført regelmessige inspeksjoner av havbunnsinstallasjonen med fjernstyrt undervannsfarkost (ROV).

I henhold til myndighetskrav til vedlikehold og inspeksjon av injeksjonsbrønner vil det jevnlig utføres barrieretesting av ventilene på brønnhodet og innvendig inspeksjoner i brønnen. Eksisterende organisasjoner og flåte av vedlikeholdsfartøyer- og utstyr vil benyttes til denne typen vedlikehold.

8.3 Tilgjengelighet

8.3.1 Innledning

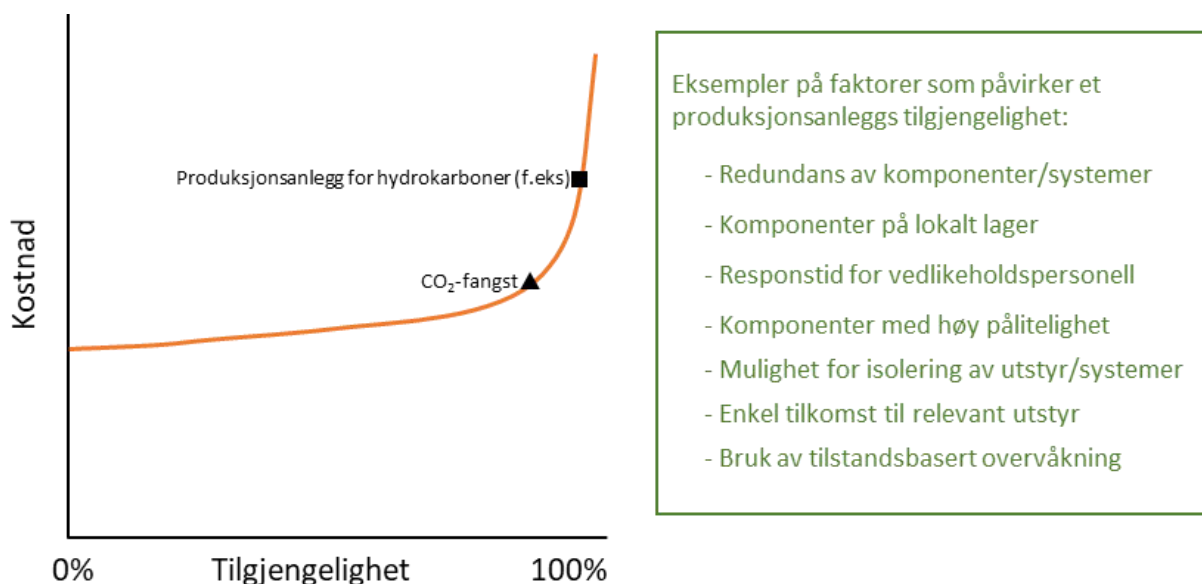
Et produksjonsanleggs ytelse kan uttrykkes gjennom anleggets pålitelighet, regularitet, oppetid, tilgjengelighet osv. For CCS-kjeden er det vurdert som hensiktsmessig å benytte begrepet *tilgjengelighet* («production availability» som definert i ISO 20815 «Production assurance and reliability management in the petroleum, petrochemical and natural gas industries») og defineres:

$$\text{Tilgjengelighet} = \text{Faktisk CO}_2\text{-mengde lagret} / \text{Planlagt CO}_2\text{-mengde lagret}$$

Den planlagte CO₂-mengden lagret er den mengden som kan fanges og lagres dersom CCS-kjeden er i full drift så lenge det er CO₂ tilgjengelig for fangst, altså ved en antakelse om at det ikke er nødvendig å gjøre vedlikehold som krever nedstengning. Den faktiske CO₂-mengden lagret blir lavere enn den planlagte mengden fordi det i noen tilfeller vil være nødvendig å stanse deler av CCS-kjeden for å gjøre vedlikehold, og fordi forsinkelser av skip og feilhendelser vil inntreffe.

8.3.2 Filosofi for CCS-kjedens tilgjengelighet

Økende tilgjengelighet for enhver form for produksjon (det være seg produksjon av hydrokarboner, sement, strøm, eller varme) krever en økende bruk av ressurser til både investering og drift. Når tilgjengeligheten som kreves blir høy, vil den ekstra ressursbruken og dermed den totale kostnaden utvikle seg tilnærmet eksponentielt, som illustrert i Figur 8-1. I ekstreme tilfeller kan det være ønskelig og nødvendig å ha redundans for et helt produksjonsanlegg, noe som gir dramatisk økt kostnad.



Figur 8-1: Illustrasjon av den generelle sammenhengen mellom et produksjonsanleggs tilgjengelighet og totale kostnader. Det forventes at tilgjengeligheten av CO₂-fangst vil være lavere enn for produksjon av f.eks. hydrokarboner pga. hydrokarbonenes høye verdi.

I forbindelse med design og planlegging av anlegg som produserer produkter av høy verdi (f.eks. hydrokarboner), eller som forplikter seg til kontinuerlige leveranser (f.eks. av strøm og varme), legges det til grunn en høy tilgjengelighet ut fra en kommersiell logikk. Siden CO₂ ennå har en lav kvotepris fungerer en tilsvarende logikk for CO₂-håndtering. Hva som er «rett» tilgjengelighet for en CCS-kjede

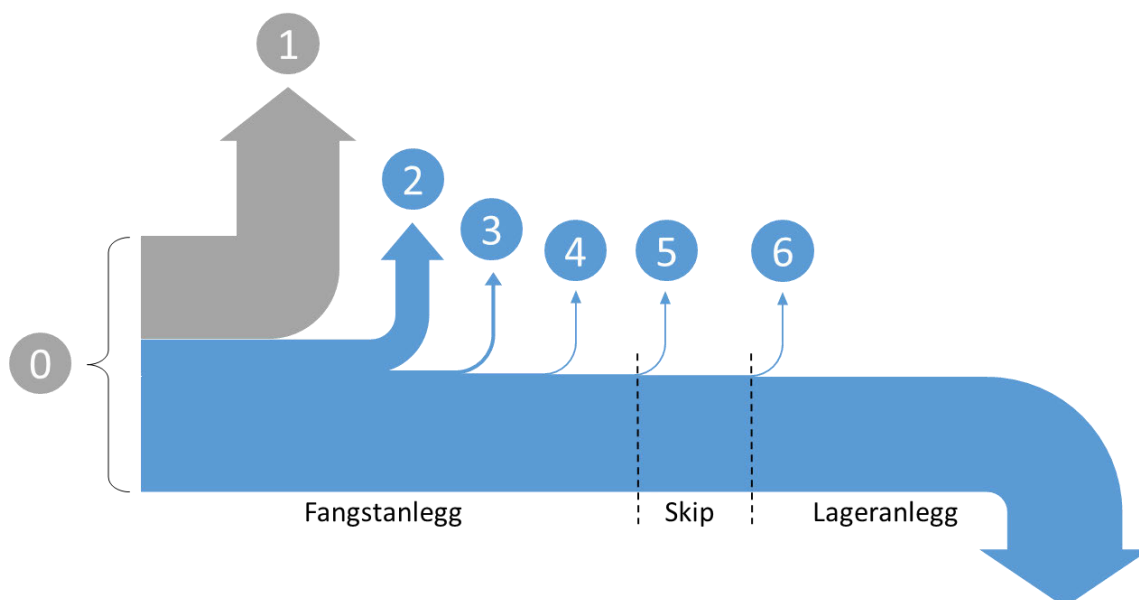
er derfor ikke klart. Følgende filosofi knyttet til tilgjengelighet er derfor lagt til grunn i prosjektet (gjennom overordnet designbasis):

- Begge fangstanlegg bør kunne fange om lag 400 000 tonn CO₂ per år for å sikre tilstrekkelig demonstrasjon av verdikjeden.
- Nedre grense på tilgjengelighet av CO₂-fangst (85 %) er innført for å unngå alt for lav utnyttelse av CCS-kjeden.
- Industriaktørene og deres teknologileverandører er selv ansvarlig for å velge et formålstjenlig design, men redundans skal begrenses.
- Utslipp av fanget CO₂ til omgivelsene bør begrenses i så stor grad som praktisk mulig (ALARP).
- Generelt følge normal industriell praksis når det kommer til design, bygging og drift av alle deler av verdikjeden.

8.3.3 Planlagt CO₂-mengde fanget og lagret

Definisjonen av «planlagt CO₂-mengde lagret» er den mengden CO₂ som ville blitt lagret hvis alle delene av CCS-kjeden drives iht. design og det ikke inntreffer noen stanser (hverken planlagte eller uplanlagte) i kjeden. Stans av hovedproduksjonen hos FOV eller Norcem regnes som utenforliggende årsak som reduserer den planlagte CO₂-mengden fanget og lagret. Tilgjengeligheten av fangst-anleggene blir således ikke «straffet» hvis aktørenes hovedproduksjon stenges ned.

Mengden CO₂ som FOV og Norcem planlegger å fange henger tett sammen med deres eksisterende produksjonsanlegg og valgte tekniske løsninger. Figur 8-2 illustrerer hvor i CCS-kjeden utslippene skjer, mens den årlige størrelsen av utslippene er estimert i Tabell 8-1.



Figur 8-2: Illustrasjon av flyt og utslipp av fanget CO₂ fra utslippskilde til geologisk lager. Det innbyrdes forholdet mellom pilenes størrelse er kun ment som en indikasjon på mengde CO₂ som slippes ut.

Tabell 8-1: Estimerte CO₂-utslipp langs CCS-kjeden ved normal drift. Alle tall angir tonn CO₂ per år.

		Norcem	FOV	Kommentar
0	CO ₂ tilgjengelig for fangst	870 000	460 200	Norcem: Figur 16 i [5]. FOV: Det er en forutsetning at FOV gjennomfører oppgraderingsprogrammet omtalt i kapittel 5.2.2 i sin DG3-rapport [4].
1	CO ₂ som ikke går inn i fangstanlegget	398 000	0	Norcem: Figur 16 i [5] og oppgitt driftstid på sementproduksjon og fangstanlegg. FOV: All tilgjengelig røykgass vil ledes til fangstanlegget.
2	Utslipp fra «absorber»	71 000	23 000	Norcem: Beregnet med tall fra [5] (Tabell 5-3 i Vedlegg 6). FOV: Beregnet fra 95% fangstgrad [4] (s. 41).
3	Utslipp fra flytendegjøring	290	4 400	Norcem: Oppgitt 40 kg/time, [5] (s. 91) FOV: Oppgitt til 1% av fanget CO ₂ [4] (s. 114).
4	Utslipp fra mellomlager	0	0	Ved normal drift vil fordampet CO ₂ i mellomlageret kontinuerlig bli flytendegjort igjen. Derfor er det normal ingen utslipp fra mellomlagrene.
5	Utslipp ifb. tilkobling & frakobling av lastearmer	< 50	< 50	Mengde estimert av Gassnova basert på antall lasteoperasjoner per år og bruk av lastearmer.
6	Utslipp ifb. tilkobling & frakobling av lastearmer	< 50	< 50	Mengde estimert av Gassnova basert på antall lasteoperasjoner per år og bruk av lastearmer.

Ved normal drift av CCS-kjeden vil små mengder av den fangede CO₂-en slippes ut ifb. selve fangsten og den videre prosesseringen og håndteringen gjennom kjeden (punkt 3 til 6 i figuren/tabellen over). Defor vil CO₂-mengden som lagres i praksis være lik mengden som fanges.

Den planlagte CO₂-mengden fanget hos FOV er 432 800 t CO₂/år, mens den hos Norcem er 401 200 t CO₂/år. Norcem har i tillegg trukket fra 1 400 t CO₂/år i sin egen beregning av planlagt CO₂-mengden fanget fordi de tar høyde for at 1 t CO₂/time må slippes ut fra mellomlageret pga. fordampning og trykkoppbygning i de timene sementproduksjonen og fangsanlegget ikke er i drift (estimert til 1 400 timer/år). Gassnova vurderer denne justeringen som for konservativ fordi en mellomlagertankene er designet for noe trykkoppbygning og skipet forventes å tømme mellomlagertankene i løpet av 3-4 dager.

Mengden CO₂ som håndteres av kjeden, vil være fordelt jevnt over året med unntak av i de periodene hvor FOV og Norcem har planlagte driftstanser. Begge aktører forventer ca. [REDACTED] årlig nedstengning av sin hovedproduksjon. Eventuelt vedlikehold av skip og lageranlegg vil bli koordinert mot disse driftstansene så langt det lar seg gjøre.

8.3.4 Faktisk CO₂-mengde fanget og lagret

Den faktiske CO₂-mengden som blir lagret, vil først være kjent når CCS-kjeden kommer i drift, men basert på RAM-analyser gjort hos aktørene er det mulig å estimere hva nåværende design vil føre til.

Årsaker til at den faktiske CO₂-mengden lagret blir lavere enn planlagte mengden kan være:

- Planlagt og ikke-planlagt vedlikehold
- Bortfall av kritiske innsatsfaktorer (som strøm)
- Forsinkelser av skip

Som en følge av kjedens oppbygning med batchvis skipstransport mellom CO₂-fangst og CO₂-lager er det implisitt noe fleksibilitet med tanke på CO₂-ens flyt gjennom kjeden. Det har sin årsak i følgende:

- a. Mellomlagre for CO₂ hos både fangst- og lageraktør fungerer som buffer.
- b. Skip har maksfart på 14 knop, men kan normalt seile i omkring 11 knop.
- c. Skip vil ha større lastekapasitet enn det som kan mellomlagres hos hvert fangstanlegg (dvs. kan fungere som midlertidig utvidelse av mellomlagringskapasitet eller hente CO₂ hos flere fangstanlegg).
- d. Injeksjonssystem med designkapasitet på omkring 170 t CO₂/time (tilsvarende 1,5 Mt CO₂/år). Injeksjonsraten kan ved behov reduseres til om lag 17 t CO₂/time, noe som er godt under de 55 t CO₂/time som tilsvarer 400 000 t CO₂/år.

Det er derfor relevant å skille mellom to typer avvik fra normal drift i kjeden:

- i) Hendelser som fører til at mindre CO₂ blir lagret, enten ved at CO₂ som kunne vært fanget ikke blir det, eller at CO₂ som er blitt fanget blir sluppet ut. Denne typen hendelser gir redusert tilgjengelighet.
- ii) Hendelser som gir nedstengning av komponenter eller systemer som ikke fører til mindre CO₂ lagret. Denne typen hendelser gir kun midlertidig utsatt lagring og ikke redusert tilgjengelighet fordi mottaksterminalen har en høyere designkapasitet enn det som trengs for å lagre CO₂ fra FOV og/eller Norcem. Eksempler på slike hendelser er forsinket skip eller feil på injeksjonspumpe som raskt rettes opp.

Aktørene har utført RAM-analyser for å estimere tilgjengeligheten av sine anlegg [6], [11], og [12]. Analysene er utført iht. ISO 20815 og resultatene er gjengitt i Tabell 8-2.

Gassco har på vegne av Gassnova gjort en uavhengig vurdering av kvaliteten på disse RAM-analysene og vurderer analysene som noe usikre, både på grunn av for lite detaljerte modeller og noen tilfeller av feil statistiske data. Alle aktører vil videreutvikle sine RAM-analyser i realiseringsfasen av prosjektet.

Tabell 8-2: Tilgjengelighet av fangst og transport/lagring.

	Tilgjengelighet	Kommentar
FOVs fangstanlegg	94,1 %	Tilgjengeligheten inkluderer planlagt vedlikehold av fangstanlegget. I utgangspunktet oppgitt til 93,5%, men justert av Gassnova på grunnlag av informasjon fra [4] siden deler av det planlagte vedlikeholdet vil utføres samtidig med revisjonsstansene for hovedproduksjonen.
Norcems fangstanlegg	96,4 %	Tilgjengeligheten inkluderer planlagt vedlikehold av fangstanlegget, basert på beskrivelser i [5] om at vedlikeholdet vil utføres når sementproduksjonen har årlig stans.
Transport- og lageranlegget	97,4 %	Største bidrag til redusert tilgjengelighet er knyttet til feil på brønn/reservoar. Selv med lav frekvens/sannsynlighet vil varigheten kunne være månedsvis. En lang nedstengning av brønnen vil føre til at fangstanleggene slutter å fange CO ₂ og dermed reduseres mengden CO ₂ om lagres.

Tabell 8-3 viser de estimerte verdiene for tilgjengelighet og faktisk CO₂-mengde lagret for kjeden som helhet.

Tabell 8-3: Tilgjengelighet av CCS-kjeden og faktisk CO₂-mengde lagret.

	Hel kjede Norcem	Hel kjede FOV	Hel kjede Norcem og FOV
Tilgjengelighet av hele CCS-kjeden	93,9 %	91,7 %	92,7 %
Faktisk CO₂-mengde lagret	376 700 t/år	396 700 t/år	773 400 t/år

Tallene som er vist i Tabell 8-2 og Tabell 8-3 er resultater av statistiske simuleringer og mange antakelser f.eks. knyttet til nedetid av hovedproduksjonen hos Norcem og FOV. Den mengden CO₂ som faktisk blir lagret når CCS-kjeden kommer i drift, kan derfor også bli både lavere og høyere enn hva som er estimert her.

9 Myndighetsforhold

9.1 Utredninger, tillatelser og samtykker

Alle de tre aktørene har selv ansvar for å innhente nødvendige tillatelser og samtykker fra relevante myndighetsorganer. De har i den anledning hatt regelmessige møter med blant annet Miljødirektoratet (MDir), Direktoratet for sivilt beredskap (DSB), Petroleumstilsynet (Ptil) og Oljedirektoratet (OD). Gassnova har deltatt som observatør når det har vært relevant og ønskelig.

I forprosjektet har alle aktører utarbeidet konsekvensutredninger (KU) for sine tiltak. De som har hatt behov for det (FOV og NL) har også utarbeidet og gjennomført høring av reguleringsplaner slik at disse har kunnet bli klargjort for politisk behandling.

FOV sin KU har vært på offentlig høring og høringskommentarer er blitt innarbeidet i det påfølgende arbeidet med reguleringsplanen. Byrådet i Oslo kommune har nå FOV sin reguleringsplan til behandling og det er forventet at denne vil være ferdig behandlet innen utgangen av 2019. Da gjenstår byggetillatelse og samtykker fra DSB og Arbeidstilsynet før byggearbeidene kan starte, samt utslippstillatelse fra Miljødirektoratet før fangstanlegget kan startes opp. Fokusområder har vært uhellsutslipp og spredning av CO₂, støy, aminutslipp, trafikale utfordringer og visuelt inntrykk av anlegget. Det er ikke avdekket forhold som tilsier at tiltaket ikke bør eller kan gjennomføres.

Norcem har ikke krav på seg til å utarbeide KU, men har valgt å gjøre det for å sikre åpenhet rundt utviklingen av sitt prosjekt. Deres KU er ferdig utarbeidet, den er sendt ut på offentlig høring og forventes ferdig behandlet primo 2020. En rekke temaer er blitt utredet, herunder utslipp til luft og sjø, støy og risiko for uhellsutslipp av CO₂. Funnene i KU-en har ikke avdekket forhold som tilsier at tiltaket ikke bør eller kan gjennomføres. Norcem har også avklart med Porsgrunn kommune at en ny reguleringsplan ikke er nødvendig for CO₂-fangstanlegget da dette ble tatt med i reguleringsplanen som ble utarbeidet i forbindelse med nytt kalksteinlager inne på Norcems fabrikkområde. Som for FOV er det da byggetillatelse og samtykker som må foreligge før bygging kan starte og utslipps-tillatelse kan gis ved oppstart av fangstanlegget.

NL har gjennomført sitt arbeid med KU i to faser der første fase gjaldt all nødvendig utredning for å kunne etablere reguleringsplan for mottaksterminalen og havbunnsrørledningen en nautisk mil ut forbi grunnlinjen. KU og reguleringsplanen har vært på offentlig høring og er nå ferdig behandlet og godkjent av de involverte kommunene Øygarden og Fedje. For NL gjenstår nå byggesøknad og samtykker før bygging av landanleggsdelen kan starte. Fase to av KU-en inneholder hele lagerprosjektet med rørledning helt fram til Aurora-området, samt havbunnsinstallasjoner, brønn og kontroll- og kraftkabler fra Oseberg A. Denne KU-en er nå sendt på offentlig høring. Den vil utgjøre en viktig del av PUD/PAD-dokumentet som skal inngå i søknad om lagringstillatelse for CO₂ og som vil bli sendt til OED i løpet av april 2020. Den mest betydelige konsekvensen av tiltaket er vurdert å være den visuelle påvirkningen av landskapet på Ljøsøyna der landanlegget skal ligge. Avbøtende tiltak er å begrense naturinngrepet mest mulig og beholde ytterste terreng og kystlinje som en skjerming mot fjorden.

9.2 Regelverk

Fangstanleggene, skip og landterminal for lageret er dekket av gjeldende helse-, miljø- og sikkerhetsregelverk og i forprosjektet har arbeidet også vært underlagt dette regelverket.

CO₂-lagringen er å anse som nybrottsarbeid og regelverket knyttet til denne aktiviteten vil nå bli anvendt for første gang. Det bemerkes at Sleipner og Melkøya har fått godkjent avvik i regelverket

fordi de har gjennomført lagring av CO₂ (Utsira og Snøhvit) i en årrekke allerede, samt injeksjon av CO₂ knyttet til petroleumsvirksomhet er hjemlet i petroleumsforskriftene. Denne forskriften regulerer imidlertid ikke lagring ifb. CCS. Regjeringen har sikret et nødvendig juridisk rammeverk ved å utarbeidet nye forskrifter, fremme loverendringer og inngå internasjonale avtaler, herunder:

- Lagringsforskriften – første gangs anvendelse og tolkning av regelverket (Utnyttelsestillatelse, Arbeidsforpliktelse, PUD/PAD)
- HMS-forskriften (fra Ptil) – knyttet opp mot lagringsforskriften og Lov om mineralutnyttelse på kontinentalsokkelen
- Londonprotokollen – definisjon av CO₂ som et avfallsprodukt og regler for transport over landegrenser
- Plan- og bygningsloven – krav om reguleringsplan og byggesak for CO₂-rør i sjø noe som er unntatt for naturgassrør

NL har vært tett på myndighetene i disse sakene for å sikre et enklest mulig regelverk både for egen del og for de prosjekter som kommer etter.

Det har vært behov for å avklare anvendelse av regelverk og det fysiske grensesnittet mellom DSB, som er ansvarlig myndighet for utstyr som håndterer CO₂ på land, og Ptil som er ansvarlig myndighet for utstyr som håndterer CO₂ i sjø, på sjøbunn og under havbunnen. Dette gjør at NL får to myndighetsorganer å forholde seg til når det gjelder oppfølging av HMS på sine anlegg. NL har hatt god dialog med begge parter som har hatt behov for avklaringer også seg imellom.

Det har pågått et arbeid i forhold til Londonprotokollen for å sikre at CO₂ kan transporteres over landegrensene i Europa. Dette vil være essensielt for å kunne sikre at tredjepartsvolumer kan tas inn til NL sin lagerinfrastruktur. Høsten 2019 ble det avklart gjennom interaksjon med IMO, som administrerer denne protokollen, at det vil være tilstrekkelig med en bilateral avtale mellom avsender og mottaker av CO₂ for å kunne transportere denne over landegrenser i Europa.

10 Helse, miljø og sikkerhet (HMS)

10.1 Faremomenter med CO₂

På alle tre lokasjoner vil det bli lagret store mengder flytende CO₂. En av de største farene forbundet med dette er at CO₂ kan lekke ut, fordampe og spre seg til omgivelsene.

CO₂ er ikke klassifisert som toksisk, men har en neurologisk påvirkning på mennesker. Akkurat som nitrogen, vil CO₂ erstatte oksygen, men til forskjell fra nitrogen, vil mennesker være utsatt for fare pga. høy CO₂ konsentrasjon lenge før farenivået for redusert O₂-konsentrasjon er nådd. Høye konsentrasjoner av CO₂ vil være livstruende. CO₂ er en tung gass som vil synke og følge terrenget når den spres. Lavtliggende områder vil derfor ha høyere risiko for økte konsentrasjoner av CO₂.

Flytende CO₂ under trykk som slippes til atmosfæren vil danne tørris. Dampskyen fra sublimert tørris kan bli svært kald og forbli kald inntil alle faste partikler har fordampet. Dette kan ved eksponering forårsake frostskaider hos mennesker og også være en trussel for utstyr og instrumenter som er følsomme for kulde.

I tilfeller av trykkfall for flytende CO₂ er det også en fare for at CO₂ i fast form kan danne tørrisplugger og forårsake tetting av utstyr inkludert sikkerhetsventiler. Fritt vann i kombinasjon med CO₂ gir en korrosiv væske. CO₂ er også et svært effektivt løsningsmiddel.

Det er viktig at alle disse egenskapene til CO₂ blir ivaretatt og håndtert på en forsvarlig måte ved design av utstyr og sikkerhetssystemer og når materialer skal velges i CCS-kjeden.

Aktørene har i sine DG3-rapporter omtalt risikoer i forbindelse med lagring og transport av flytende CO₂ på sine anlegg. Raskt trykkfall i en tank vil i ytterste konsekvens kunne føre til alvorlige hendelser som f.eks. BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion). En slik eksplosjon kan ha fatale konsekvenser og resultere i store materielle skader. Alle aktørene er kjent med og har vurdert mulige hendelser knyttet til denne type risikoer og sannsynligheten blir ansett for å være svært liten. Mitigerende tiltak er implementert i design og vil bli videre ivaretatt gjennom prosedyrer for håndtering av flytende CO₂.

10.2 HMS-gjennomganger

Teknisk sikkerhet, ytre miljø og arbeidsmiljøforhold både under bygging og drift av anleggene er vurdert iht. anerkjente metoder (HAZID, HAZOP, WEHRA, ENVID). Disse er gjennomført som workshops med relevant personell fra ulike disipliner. Gassnova har deltatt som observatør i et utvalgt av disse sesjonene. Gassnova har i samarbeid med DNV GL gjennomført HAZID og HAZOP for grensesnittet mellom fangst- og transportdelen av prosjektet. En oversikt over antall funn i disse ulike gjennomgangene, hvor mange som er lukket i løpet av forprosjekt og hvor mange som vil bli fulgt opp i neste fase er gjengitt i Tabell 10-1 nedenfor.

Tabell 10-1: Oversikt over antall funn i ulike HMS-gjennomganger.

Aktør	Type workshop	Antall funn	Lukket denne fase	Videre til neste fase
FOV	HAZID, ENVID, HAZOP, WEHRA, LOPA	265	219	159
Norcem	HAZID,	30	26	4
NL	HAZID, ENVID, WEHRA, HAZOP	459	260	199
Grensesnitt	HAZID	6	0	6
	HAZOP – FOV/NL	11	0	11
	HAZOP – Norcem/NL	17	0	17

Mange funn fra disse gjennomgangene er blitt lukket i løpet av forprosjektet. Gjenstående funn vil bli adressert og lukket tidlig i realiseringsfasen og er ikke ansett å ha konsekvenser for realisering av anleggene.

Norcem har i dag ikke prosessutslipp til vann/sjø, men dette vil endres etter installasjon av et fangstanlegg. Støv, kvikksølv og dioksiner assosiert med utslipp til luft i dagens situasjon vil da vaskes ut i fangstanlegget og ende opp i en vannstrøm som vil bli renses til et neglisjerbart nivå i forhold det som allerede finnes i resipienten, før den slippes til sjø sammen med brukt kjølevann. Kjølevanns-inntak og utløp vil bli designet for å minimere temperaturmessig påvirkning på miljøet og utslippene.

En del røykgasskomponenter vil også hos FOV ende i en vannstrøm som må renses. FOV har som målsetning at utslipp til vann ikke skal øke i forhold til dagens nivå og har designet et vannrenseanlegg som skal tilfredsstille dette. FOV har ikke lett tilgang til kjølevann og har designet anlegget med luftkjølere.

Landterminalen til NL har ingen prosessavsnitt som vil gi regulære utslipp til luft eller sjø.

10.2.1 Aminutslipp

Fangstaktørene har gjennomført spredningsberegninger for rensert røykgass med fokus på aminutslipp. Norcem har med Akers aminteknologi demonstrert svært lave aminutslipp gjennom 18 måneders pilottesting i mobil testenhet på reell røykgass. Spredningsberegninger hensyntatt atmosfærisk dannelse av nitrosaminer/nitraminer viser at forventede utslippskrav vil kunne nås med god margin.

Det var etter konseptfasen knyttet stor usikkerhet til hvor stort aminutslipp FOV ville få. Derfor ble det bygget et pilotanlegg på Klemetsrud for å kunne teste på reell røykgass. En testperiode på 2000 timer har vist akseptabelt lave aminutslipp. FOVs spredningsberegninger fra 2018 viste at de ville tilfredsstille forventede utslippskrav på 0,4 ppmv amin. En oppdatert spredningsberegning utført høsten 2019 viser at kravet til maksimalt innhold av amin i røykgassen ut fra pipa sannsynligvis må ligge noe lavere enn tidligere beregnet. Pilottesten har vist lavere aminutslipp under stabil drift enn det som benyttes i de oppdaterte beregningene, under 0,1 ppmv uten bruk av BDU-filter. Et BDU-filter er inkludert i det design som FOV foreslår og de er med det trygge på at alle krav til utslipp vil bli innfridd. Imidlertid vil arbeidet med oppdaterte spredningsanalyser pågå også etter avsluttet forprosjekt.

10.2.2 Støy

Ekstern støy er en utfordring både for Norcem og FOV på grunn av nærhet til boligområder. Retningslinjer for støykrav nattetid er fra myndighetene satt til 45 dB(A). Norcem oppfyller ikke dette kravet per i dag og har i sin utslippstillatelse et krav om 50 dB(A) ved nærmeste nabo. FOV ligger helt på grensen av det generelle kravet per i dag. Begge aktører har derfor hatt stort fokus og stilt strenge krav til støy fra de nye installasjonene og foreslår støyreduserende tiltak også på eksisterende utstyr. Basert på foreslått avbøtende tiltak i konsekvensutredningene er det forventet at myndighetenes støykrav vil bli overholdt.

10.2.3 CO₂ uhellsutslipp

Alle aktører har gjennomført vurderinger av uhellsutslipp av CO₂. Det er utført spredningsanalyser og risikovurderinger for dimensjonerende uhellsutslipp. Rammebetingelsene for disse beregningene er blitt avklart gjennom møter der alle aktørene har deltatt og utvekslet data og erfaringer. DSB har satt strenge risikokrav i forhold til tredjeparts eksponering av CO₂, noe som igjen leder til restriksjoner i forhold til hva tilstøtende områder kan benyttes til. Beregningene viser at alle lokasjoner tilfredsstiller DSBs krav, noe som igjen betyr at faren for skadelig eksponering for CO₂ er meget liten for den generelle befolkning som oppholder seg utenfor fabrikkområdene.

10.3 CO₂-fotavtrykk

Gassnova engasjerte DNV GL og Carbon Limits til å utvikle et verktøy for beregning av den mengde CO₂ som slippes ut når en viss mengde CO₂ blir fanget og lagret. Verktøyet er Excel-basert og bygger på prinsippene i ISO 14040 "Life Cycle Analysis – principles and framework" and ISO 14044 "Life Cycle Analysis – requirements and guidelines". Det er laget for å beregne CO₂-ekvivalenter i et 100-års perspektiv. Den funksjonelle enheten for systemet som er blitt studert, er ett tonn CO₂ lagret. Verktøyet er så blitt benyttet til å undersøke CO₂-fotavtrykket til ulike verdikjeder av fangst, transport og lagring i NCD-prosjektet. Resultatene blir presentert som totalt CO₂-fotavtrykk målt i tonn CO₂ ekvivalenter pr. tonn CO₂ lagret for verdikjeden for hvert fangststed separat og for begge sammen. Med andre ord viser resultatene hvordan lagringseffektiviteten endrer seg for de ulike verdikjedene.

Lagring av CO₂ i en støtteperiode på 10 år så vel som i anleggenes tekniske varighet på 25 år, er blitt beregnet. I det siste tilfellet er CO₂-fotavtrykket for lageranlegget allokert til hele lagerkapasiteten på 1,5 Mt/år.

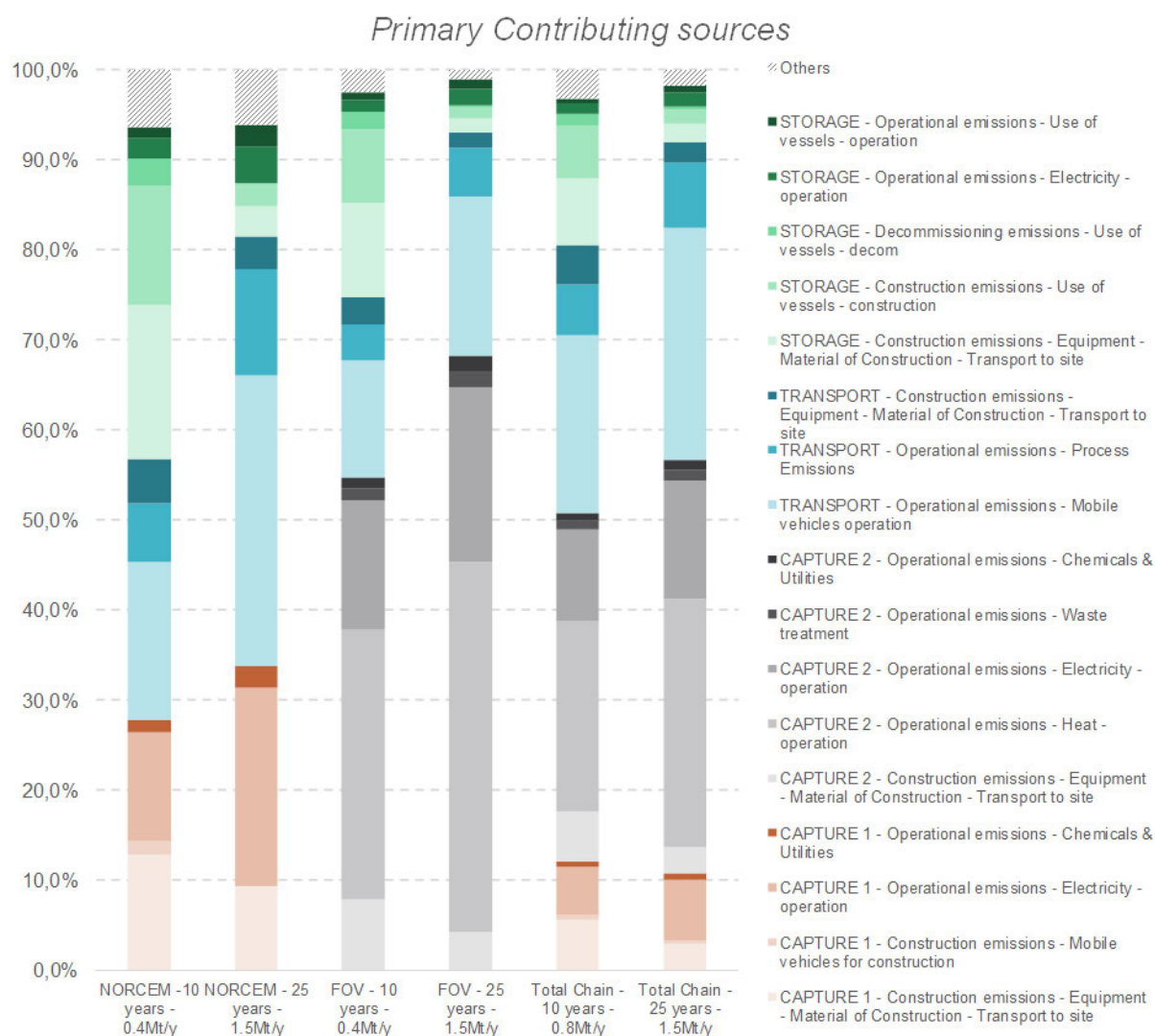
Tabell 10-2: Beregnet CO₂-fotavtrykk for de ulike alternative CCS-kjedene.

Beregnete CO ₂ -fotavtrykk (t CO ₂ ekvivalenter utslipp/t lagret)	Hel kjede Norcem	Hel kjede FOV	Hel kjede Norcem og FOV
25 år drift + Full utnyttelse av mottaksterminalens kapasitet (1,5 Mt CO ₂ /år)	0,047	0,103	0,077
10 år drift + Delvis utnyttelse av mottaksterminalens kapasitet (0,4/0,4/0,8 Mt CO ₂ /år)	0,087	0,14	0,10
25 år drift + Full utnyttelse av mottaksterminalens kapasitet (1,5 Mt CO ₂ /år) + BioCCS	-0,053	-0,397	-0,223

En CCS-kjede med Norcem har et CO₂-fotavtrykk som er omtrent halvparten av fotavtrykket til en CCS-kjede med FOV uavhengig av om fangst og lagring foregår over 10 eller 25 år; 0,047 og 0,087 t_{CO₂,e} for Norcem mot 0,103 og 0,14 t_{CO₂,e} for FOV; begge målt pr. tonn CO₂ lagret. Den viktigste forskjellen på Norcem og FOV sine prosjekter er den mulighet Norcem har til å utnytte restvarme fra røykgassen, mens FOV må ta damp fra sin fjernvarmesyklus og erstatter den med strømforbruk i store varmepumper. I en større sammenheng er det allikevel slik at begge disse kjedene har et mindre CO₂-fotavtrykk enn tilsvarende fangst- og lagringsprosjekter som har vært studert til nå andre steder globalt. Dette skyldes primært at norsk strøm har et minimalt CO₂-fotavtrykk samt at det har vært fokus på å velge tekniske løsninger med lavt fotavtrykk i alle ledd i kjeden.

Det faktum at halvparten av avfallet som brennes i Klemetsrudanlegget er av biologisk opprinnelse, er også blitt vurdert. I Tabell 10-2 er dette angitt som «BioCCS». En CCS-kjede basert på fangst hos FOV vil da bidra med å ta ut 0,4 t_{CO₂,e} fra atmosfæren for hvert tonn som blir lagret. Norcem har mye mindre biologisk avfall i sitt brensel, noe som gjør at en mye mindre del CO₂, (ca. 0,050 t_{CO₂,e}) tas ut av den biologiske syklusen for hvert tonn som lagres. Ved å fange CO₂ fra begge fangststeder i 25 år og allokere lagringsinfrastrukturen også til andre CO₂-kilder opp til 1,5 Mt lagerkapasitet, vil det til sammen ekstraheres mer enn 0,2 t_{CO₂,e} CO₂ fra atmosfæren pr. tonn CO₂ lagret.

Figur 10-1 nedenfor viser en %-vis fordeling av de største bidragsyterne for de seks første verdikjedene som beregnet i Tabell 10-2.



Figur 10-1: Relativ sammenligning av de viktigste bidragsyterne i 6 beregnede verdikjeder der «Capture 1» er Norcem, «Capture 2» er FOV og Total Chain er en kombinasjon av begge. De ulike scenariene langs x-aksen tilsvarer de alternative CCS-kjedene med fangst fra Norcem, FOV, og begge anlegg (kalt «NORCEM», «FOV», og «Total Chain» i figuren).

Her vises det tydelig at det overordnet sett er FOV («Capture 2») sitt damp- og strømforbruk som er de største bidragsyterne til CO₂-fotavtrykket, men også at utslipp fra skipstransporten er betydelig, samt at lageret får en øket betydning når driftstiden reduseres til 10 år og infrastrukturen bare utnyttes for de volumene som fanges hos respektive Norcem, FOV eller begge.

Som en følge av at FOV i april 2020 oppdaterte sitt konsept med noe reduserte mengder er det sannsynlig at CO₂-fotavtrykket for byggefasen, beregnet på grunnlag av den originale DG3-leveransen, vil være noe lavere.

11 Interimfasen

Interimfasen er definert som perioden etter studieavtalen med en industriaktør går ut, frem til eventuell Stortingsbeslutning om tilskudd er formalisert ultimo 2020.

11.1 Interimfasen for fangstaktørene

Interimfasen for fangstaktørene er regulert av en endringsordre til studieavtalen, og begynner 31.10.19 og ender 31.12.2020.

Som et risikoreducerende tiltak i forbindelse med en eventuell gjennomføring etter en positiv stortingsbeslutning i desember 2020, har både Norcem og FOV planlagt en rekke aktiviteter i interimfasen. Dette innebærer aktiviteter som bidrar til å redusere aktørenes risiko og gi dem trygghet til å forplikte seg til prosjektet.

Norcem har planlagt aktiviteter som:

- Utvikle og forhandle kontrakter med underleverandører
- Gjennomføre gevinstrealiseringsaktiviteter
- Assistanse ifb. kvalitetssikrers arbeid ved KS2
- Avklaringer og arbeid knyttet til grensesnitt, fortrinnsvis mot transport og lagring
- Forberedelse av organisasjon og styrende dokumenter for gjennomføringsfasen
- Arbeid med myndighetstillatelser
- Videre arbeid med kontraktstrategier for gjennomføringsfasen
- HMS-plan for gjennomføringsfasen
- Møter og arbeid ifb. med avklaringer fra OED

FOV har planlagt aktiviteter som:

- Regulatorisk arbeid og myndighetstillatelser
- Videre utvikling av styrende dokumenter
- Kontrakts- og innkjøpsarbeid mtp å redusere kostnader i gjennomføringsfasen
- Forberede HMS- og kvalitetsdokumenter for gjennomføringsfasen
- Avklaringer og arbeid knyttet til grensesnitt, fortrinnsvis mot transport og lagring
- Gevinstrealiseringsaktiviteter
- Assistanse ifb. med kvalitetssikrers arbeid ved KS2
- Videre modning av bygg- og anleggsomfanget
- Videre testing på pilotanlegget for ytterligere læring rundt amindegradering.

Aktørene skal månedlig rapportere status til Gassnova igjennom interimfasen. Månedrapportene vil beskrive arbeidet som har blitt gjort, kostnadsrapportering, status på HMS og myndighetsrelaterte oppgaver, risikovurderinger og avbøtende aktiviteter, status på gevinstrealiseringsoppgaver, eventuell status på eksterne grensesnitt og eventuell annen informasjon.

I tillegg planlegges det møter hver annen måned etter Gassnova har gjort ferdig sin evaluering, møtestart i januar 2020. Utover måndesrapporteringen skal aktørne kun levere en oppsummerende sluttrapport ved endt interimfase.

11.2 Interimfasen for transport- og lageraktøren

Studieavtalen med NL varer frem til milepæl M15 *Informere Støttegiver om utfallet av «Conditional DG3» (CDG3)* som er planlagt den 30.04.20. Interimperioden starter 01.05.20 og vil være regulert av en tilleggsavtale til studieavtalen som innebærer følgende:

NL skal:

- arrangere månedsmøter og utstede månedsrapporter
- fortsette med sin deltakelse i de komiteer som er opprettet
- fortsette å yte støtte til gevinstrealisering
- modne tekniske, organisatoriske og kommersielle grensesnittene mot andre aktører

Gassnova skal fortsette som observatør i NLs «Management of Change»-prosess.

Begge parter skal sørge for forsvarlig kommunikasjon, oppbevaring og sikkerhetskopiering av dokumenter og annet materiale av betydning for studiene.

For å oppnå sin fremdriftsplan vil NL i interimfasen forberede mest mulig av realiseringsfasen. Sentrale aktiviteter er videre analyser av data fra testbrønnen, utarbeidelse av anbudsdokumenter (ITT) og igangsetting av anbudsprosesser der det er aktuelt, samt forberedelse oppstart av NL som eget selskap (Joint Venture) umiddelbart etter Stortingets beslutning om å gi tilskudd.

NL påpeker at sammenlignet med et normalt olje- og gassprosjekt, er det ingen styrende dokumenter/prosedyrer på plass for driftsfasen. Disse skal modnes og tilpasses for et CO₂-anlegg i løpet av interimperioden.

Aktiviteter i iterimfasen er i følge Northen Lights plan:

- Aktiviteter ifb. myndighetsprosesser
 - PUD/PAD godkjenningssprosess mot Oljedirektoratet
 - Forberedelse av søknad om lagringstillatelse fra Miljødirektoratet inkludert oppdatering av miljørisikoanalyse etter boring av verifikasjonsbrønn.
- Forberedelser for anskaffelser
 - Havbunnsutsyr
 - Installasjon av havbunnsutsyr
 - Kraftkabel
 - Installasjon av kraftkabel
 - Kontrollkabel
 - Installasjon av kontrollkabel
 - Rørledning - materialer
 - Rørledning - detail design
 - Rørledning - installasjon
 - Kartlegging og forberedelse av havbunnen for installasjon av rørledning
 - Tunnellboring (ifb. rørledningens landfall)
 - Entreprenørarbeid for administrasjonsbygging
 - Mottaksterminal - utstyr
 - Skip
- Detaljengineering for landanlegg og kai (fortsettelse av engineering kontrakt)
- EPC Oppstart av EPC (Engineering, Procurement & Construction) for landanlegg i 4. kvartal (etter at forslag til Statsbudsjett offentliggjort)

12 Prosjektgjennomføring

Statens oppfølging av prosjektet er beskrevet i det sentrale styringsdokumentet [2].

12.1 Norcems gjennomføringsplan

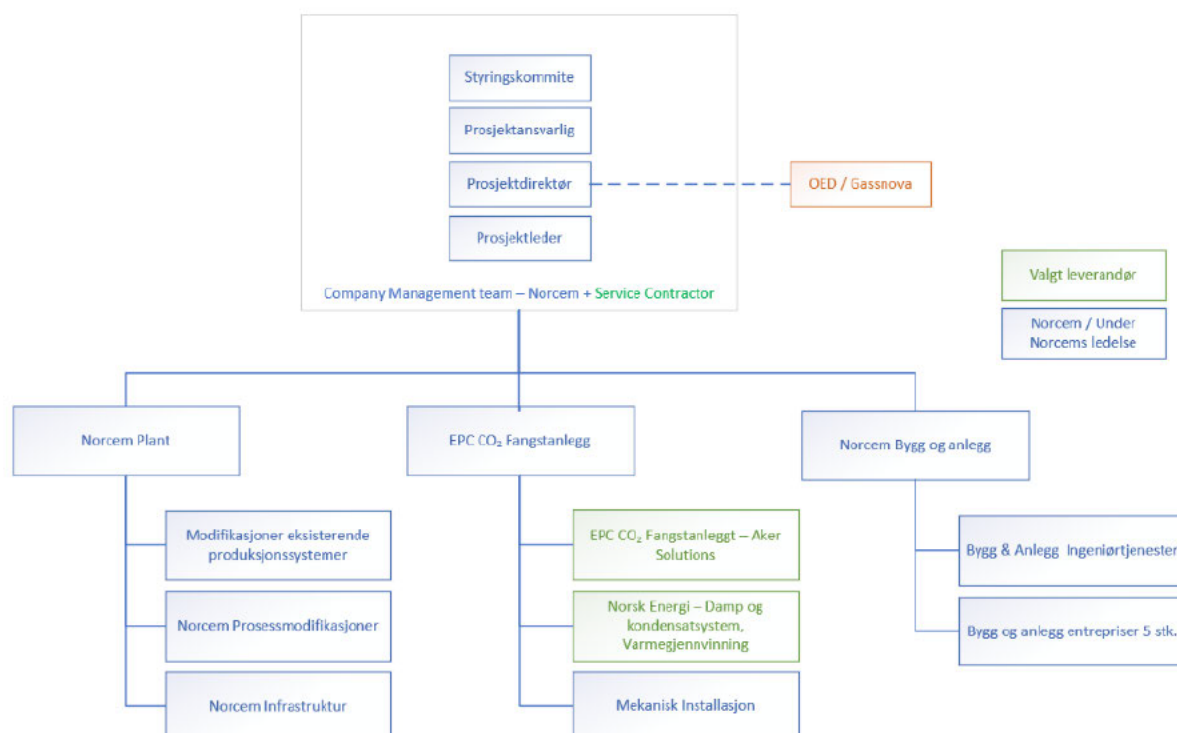
Norcems gjennomføringsmodell er basert på Norcems avtale med staten om tilskudd til fangst av CO₂ og HeidelbergCements og Norcems ledelsessystemer og prosedyrer for prosjektgjennomføring.

Gjennomføringsplanen definerer hvordan prosjektet og prosjektfasene er planlagt gjennomført, måles, kvalitetssikres og avsluttes. Gjennomføringsplanen konsoliderer underleverandørenes prosjektgjennomføringsmodeller. Tabell 12-1 gjengir en oversikt over Norcems nøkkeldokumenter for prosjektgjennomføringen.

Tabell 12-1: Nøkkeldokumenter for Norcems prosjektgjennomføring (utover deres DG3-rapport).

Revisjon	Dokumentnummer	Dokumentnavn
03	NC03-NOCE-A-TA-0003	Project Execution Plan
02	NC03-NOCE-A-TA-0004	Communication plan
06	NC03-NOCE-A-FD-0001	Procurement & Contract Strategy w attachments.
03	NC03-PERI-F-GL-0001	Norcem Kostnadsnedbrytningsstruktur (CBS)
02	NC03-NOCE-A-TB-0002	Delivery Schedule for Engineering Procurement Construction and Commissioning
04	NC03-NOCE-Q-AD-0002	Quality and Risk Management Plan

Figur 12-1 viser hvordan Norcem vil organisere sitt prosjekt i realiseringsfasen.



Figur 12-1: Organisasjon og ansvar i realiseringsfasen hos Norcem.

Spesielle hensyn vil tas for å ha kontroll på grensesnitt, områdekontroll og overordnet plan. Norcem har selv ansvar for overordnet design og installasjon av elektriske støttesystemer, instrumentering, kontrollsystemer og ferdigstilling av anlegget.

Fangstanlegget vil bli satt i en EPC-kontrakt («Engineering, Procurement, and Construction») til Aker Solutions ASA. Under Aker Solutions ledelse vil Norsk Energi levere damp- og konsensatsystemer og løsning for varmegjenvinning fra sementproduksjonen. Andre betydelige kontraktspakker er bygg- og anlegg og modifikasjon av sementproduksjonen.

Kontraktsstrategien gjør det mulig for Norcem å gjennomføre nødvendige modifikasjoner av sementfabrikken før installasjonsarbeidet med det nye fangsanlegget starter.

12.2 FOVs gjennomføringsplan

I realiseringsfasen vil prosjektet bli ledet av en prosjektorganisasjon etablert av FOV, basert på erfaringer fra andre store industriprosjekter og fra forprosjektet. Ekspert fra teknisk konsulent («Owners Engineer») vil ha en sentral rolle i ledelsen av prosjektet og supplere organisasjonen med nødvendig kompetanse.

Prosjektet vil bli gjennomført i henhold til Fortum City Solutions prosjektmodell.

Tabell 12-2 gjengir en oversikt over Norcems nøkkeldokumenter for prosjektgjennomføringen.

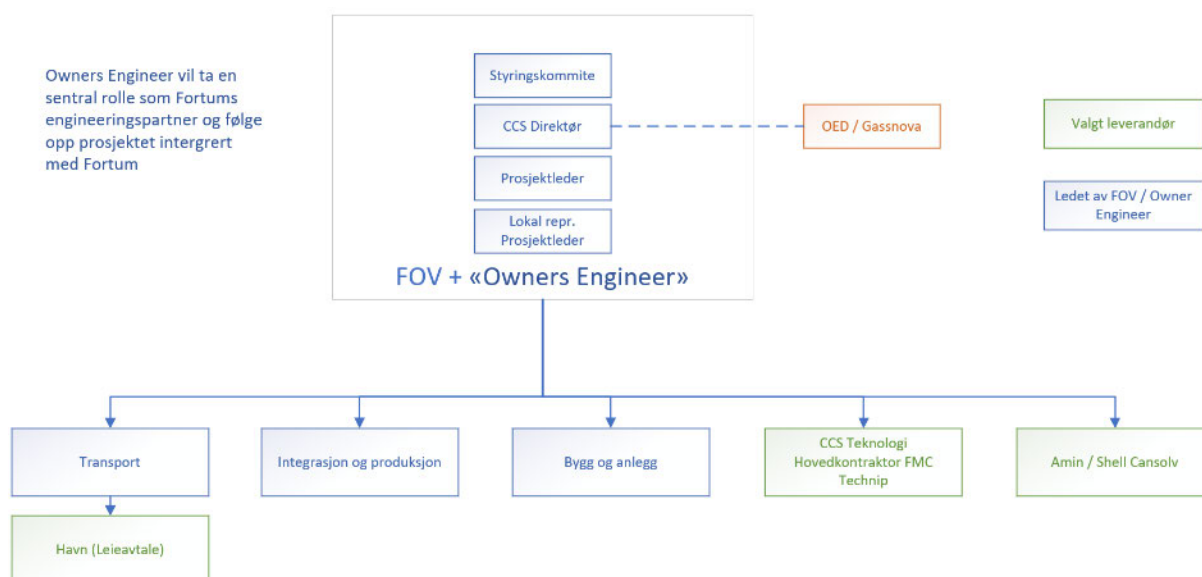
Tabell 12-2: Nøkkeldokumenter for FOVs prosjektgjennomføring (utover deres DG3-rapport).

Revisjon	Dokumentnummer	Dokumentnavn
02	NC03-KEA-A-FD-0002	Project execution method
05	NC03-KEA-B-FD-0001	Procurement Strategy
05	NC03-KEA-Q-TB-0001	Quality plan

Prosjektet er planlagt gjennomført som et EPCIC-prosjekt («Engineering, Procurement, Construction, Installation and Commissioning»). I denne modellen er TechnipFMC definert som hovedkontraktør.

Andre betydelige kontraktspakker er bygg og anlegg, integrasjonsarbeid, samt transport av CO₂ fra Klemetsrud til Oslo havn.

Figur 12-2 viser hvordan FOV vil organisere sitt prosjekt i realiseringsfasen.

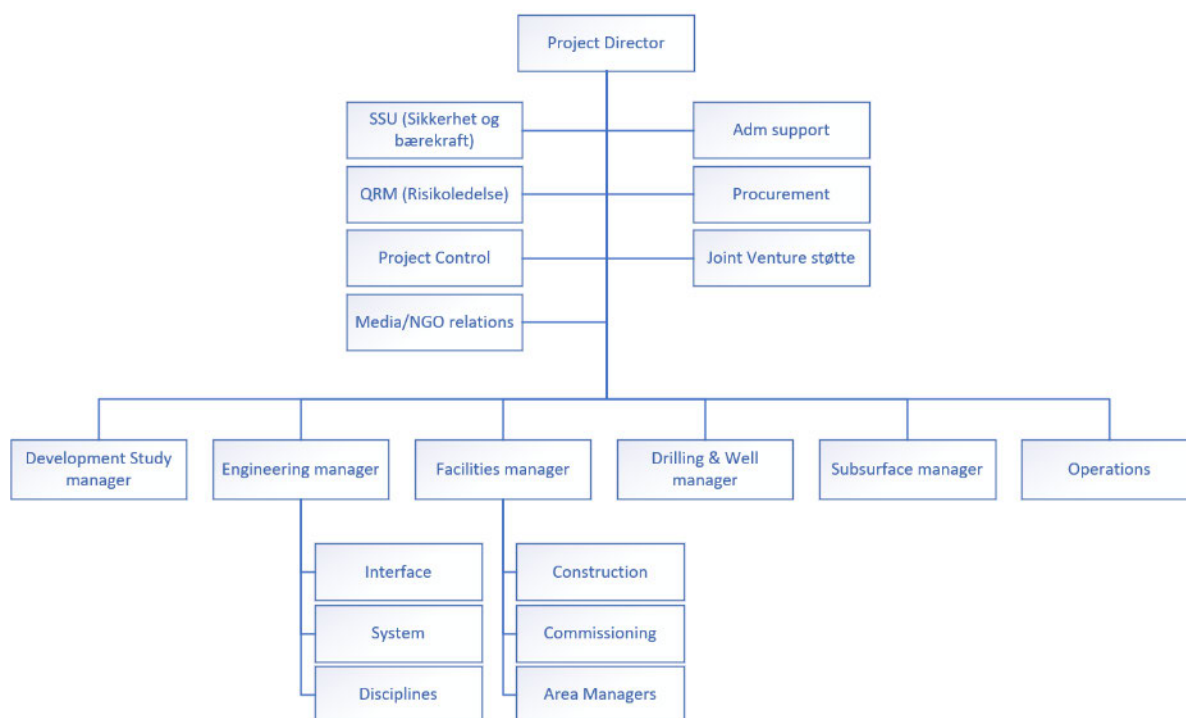


Figur 12-2: Organisasjon og ansvar i realiseringsfasen hos FOV.

12.3 Northern Lights' gjennomføringsplan

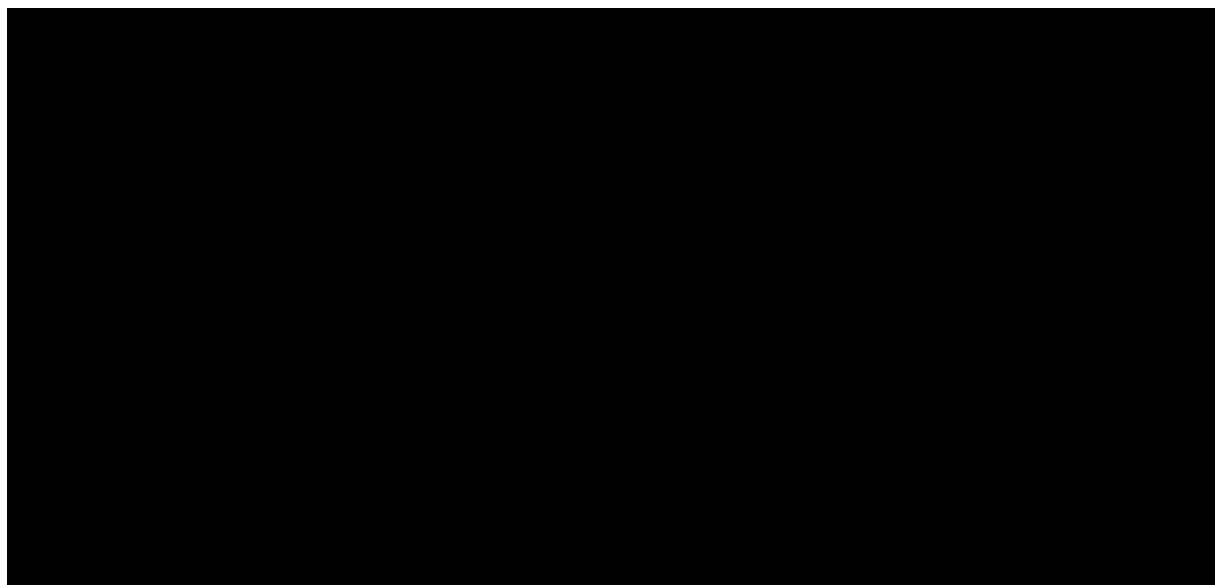
Partnerne i NL, Equinor, Sheel og Total, vil etablere et Joint Venture selskap som vil eie transport- og lageranlegget og drive forretningsutviklingen av CO₂ lageret. Selskapet vil formelt opprettes først ved Stortingets beslutning om tilskudd til transport/lagring av CO₂. Prosjektarbeidet utføres inntil videre av et integrert team fra de tre partnerne, i tråd med den etablerte samarbeidsavtalen som har ligget til grunn for studiefasen. Avtalen med staten om tilskudd til transport/lagring av CO₂ vil definere dette videre.

Equinor vil bygge og drifte anlegget på vegne av partnerne i NL. Det vil derfor være Equinors prosjektgjennomføringsmodell som ligger til grunn for gjennomføringen. Prosjektteamet vil ha deltakere fra partnerne i NL. Figur 12-3 viser hvordan NL vil organisere sitt prosjekt i realiseringsfasen.



Figur 12-3 Organisasjon og ansvar i realiseringsfasen hos NL.

Kontraktstrategien til NL er etablert basert på kategorier og erfaringer fra tidligere prosjekter, den planlagte kontraktmatrisen, vist i Figur 12-4, er nærmere forklart i NLs dokument «Project Development Strategy» (PM673-PMS-005).



Figur 12-4 NLs kontraktmatrise for realiseringen av transport- og lageranlegget.

13 Fremdriftsplan for realiseringsfasen

Dette kapittelet presenterer en sammenstilling av overordnet plan fra alle aktørene. Tidsplanen er utarbeidet med antagelse om investeringsbevilgning i Stortinget fjerde kvartal 2020.

FOV, Norcem og NL vil selv være ansvarlig for sine respektive planer for realiseringen, og et utdrag fra disse danner basis for prosjektets overordnede gjennomføringsplan.

Detaljer finnes i delprosjektenes dokumentasjon fra forprosjektet:

- FOV: NC03-KEA-B-TA-0002 "Schedule for Building and Operation"
- Norcem: NC03-NOCE-A-TB-0002 "Delivery Schedule for Engineering Procurement Construction and Commissioning"
- Northern Lights: PM673-NL-A-PG-00006 "Northern Lights FEED Report"

13.1 Prosjektmilepæler

De viktigste prosjektmilepælene er gitt i Tabell 13-1 til

Tabell 13-4.

Tabell 13-1: Stortingets beslutning om tilskudd.

Beskrivelse	Frist
Stortingets beslutning om tilskudd til fangst og transport/lagring av CO ₂	Desember 2020

Tabell 13-2: Viktige milepæler i realiseringen av FOVs fangstprosjekt.

Beskrivelse	Frist
Prosjektstart	04.01.2021
Systemutprøving ferdigstilt og klar for oppstart	28.06.2024
Akseptansetest utført	13.10.2024

Tabell 13-3: Viktige milepæler i realiseringen av Norcems fangstprosjekt.

Beskrivelse	Frist
Prosjektstart	02.01.2021
Systemutprøving ferdigstilt og klar for oppstart	31.05.2024
Akseptansetest utført	31.08.2024

Tabell 13-4: Viktige milepæler i realiseringen av NLs transport- og lageranlegg.

Beskrivelse	Frist
Prosjektstart	15.10.2020
«Target» DG4 – klart for overtagelse av systemutprøvd og nitrogenfylt anlegg til drift (før introduksjon av CO ₂)	31.01.2024
Forventet DG4 - klart for overtagelse av systemutprøvd og nitrogenfylt anlegg til drift (før introduksjon av CO ₂)	30.03.2024

13.2 Grensesnittsmilepæler

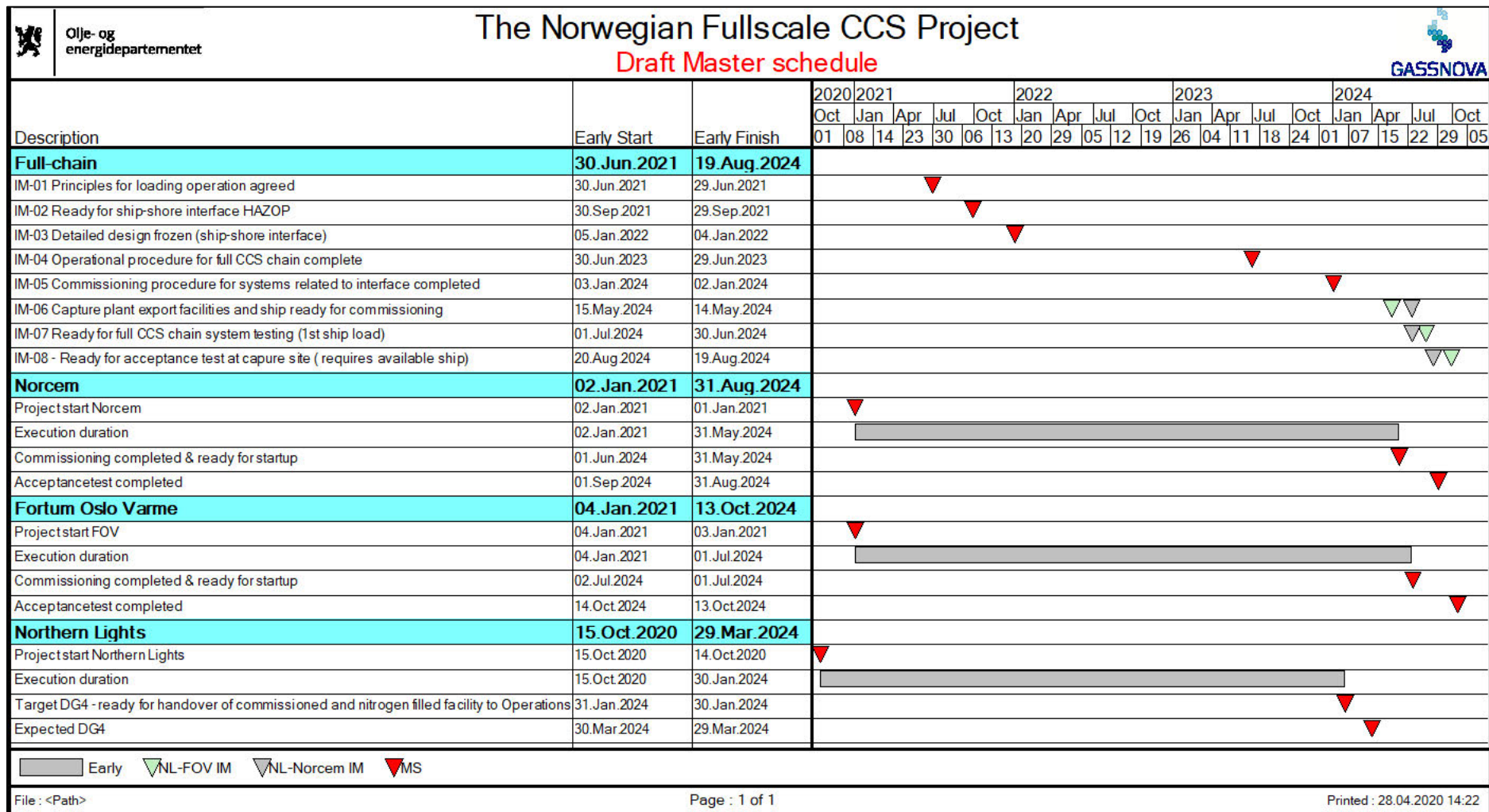
Avtalene med staten om tilskudd til fangst og transport/lagring av CO₂ vil definere hvilken part som vil ha ansvaret for koordinering av grensesnittet mellom fangstprosjektene og transport- og lagerprosjektet.

For å samkjøre den overordnede tidsplanen for demonstrasjonsprosjektet er det i aktørenes avtaler med staten opprettet milepæler knyttet til grensesnittet, gjengitt i Tabell 13-5.

Tabell 13-5: Grensesnittsmilepæler som er foreslått i avtalene om tilskudd til fangst og transport/lagring av CO₂.

Milepæl	Beskrivelse	Frist
IM-01	Prinsipper for lasteoperasjoner avklart	30.06.2021
IM-02	Klart for HAZOP på Grensesnitt	30.09.2021
IM-03	Detailed Interface Design Frozen	05.01.2022
IM-04	Ferdig utarbeidet driftsprosedyre for CO ₂ Helkjede	30.06.2023
IM-05	Ferdig utarbeidet manual for Systemutprøving av systemer relatert til Grensesnitt (ship-shore)	03.01.2024
IM-06	Fangstansvarliges eksportanlegg og Transport- og Lageransvarliges skip klargjort for systemutprøving	NL-FOV 15.05.2024 NL-Norcem 30.06.2024
IM-07	Klar for helkjede systemutprøving (testlasting)	NL-FOV 02.08.2024 NL-Norcem 01.07.2024
IM-08	Klar for akseptansetest hos fangstanlegget (forutsetter tilgjengelig skip)	NL-FOV 30.09.2024 NL-Norcem 20.08.2024

13.3 Overordnet fremdriftsplan



Figur 13-1: Utkast til overordnet tidsplan.

I Figur 13-1 vises et utkast til overordnet tidsplan. Gjennomføringsvarighet og grensesnittsmilepæler reguleres i Vedlegg C til avtalene om tilskudd til fangst og transport/lagring av CO₂. En overordnet plan for fangst, transport og lagring ferdigstilles derav etter investeringsbeslutning, med fokus på å innarbeide koordinerte grensesnittsmilepæler.

13.4 Kritisk linje og flyt

Hvert aktør har gjort selvstendige vurderinger av kritisk linje innenfor eget delprosjekt. Her inntas kritisk linje for helkjede tidsplan:

- Stortingets beslutning om tilskudd, fjerde kvartal 2020
- Mobilisering av fangstprosjektene
- Detaljert design av utstyr knyttet til grensesnittet («ship-shore») låst
- Fangstaktørenes utskipningsterminaler klargjort for systemutprøving
- Klar for systemutprøving av CCS-kjeden (testlasting)
- Akseptansetest utført

NLs initielle risikovurdering av delprosjektets tidsplan viste en aggressiv prosjektgjennomføring for å imøtekomme ferdigstillelsesdato i desember 2023. NL besluttet 24.04.2020 å endre mål og forventet dato for ferdigstillelse til henholdsvis 31.01.2024 og 30.03.2024. Dette var for å tilpasse seg fangstprosjektene samtidig med å robustgjøre egen gjennomføringsplan.

I helkjede perspektiv er transport- og lageranlegget ikke på kritisk linje da fangstanleggene planlegges ferdigstilt sommeren 2024.

Både FOV og Norcem vurderer sine respektive gjennomføringsplaner som realistiske, hvor det er lagt til grunn konservative estimer for varighetene på aktivitetene. Fangstanleggene ligger på kritisk linje da de planlegges ferdigstilt omtrent fire måneder etter transport- og lageranlegget.

13.5 Risikovurdering av overordnet fremdriftsplan

NL har identifisert et behov for å låse detaljert design av utstyr knyttet til grensesnittet mot fangstaktørene i august 2021 slik at kontrakten for bygging av skip kan settes på et modent underlag for dermed å unngå sene endringer (dette for å kunne møte NLs valgte ferdigstillelsesdato i desember 2023). Dette vurderes av Norcem og FOV som for tidlig da deres prosjekter tidligst remobiliseres i januar 2021.

Fangstanleggene planlegges ferdigstilt omtrent 4 måneder etter transport- og lageranlegget. Enhver forsinkelse vil derfor forskyve ferdigstillelse av CCS-kjeden og/eller øke ufasen på den 10-årige støtteperioden for drift av hele CCS-kjeden mellom de ulike aktørene. Gassnova har tatt initiativ til samordning av grensesnittsmilepælene i Teknisk komité, men da disse formaliseres i avtalen om tilskudd til fangst og transport/lagring av CO₂ faller oppgaven utenfor Gassnovas mandat.

13.6 Forutsetninger

Følgende forutsetninger er lagt til grunn ved utarbeidelse av aktørenes gjennomføringsplaner:

- Definerte aktiviteter gjennomføres som budsjettert og planlagt i interimfasen
- Stortingets beslutning om tilskudd kommer høsten 2020
- Realiseringsfasen starter umiddelbart etter Stortingets beslutning om tilskudd (januar 2021 legges til grunn)

14 Estimerte kostnader

14.1 Generelt

De estimerte kostnadene som er beskrevet nedenfor er som oppgitt i aktørenes DG3-rapporter og i FOVs tilfelle oppdatert i april 2020. Grunnlaget for aktørenes estimater er den modning som har skjedd frem til ferdig forprosjekt av anlegg som tilfredsstiller kravene i Gassnovas designbasis, samt hver enkelt aktørs designbasis. Det er ikke tatt hensyn til eventuelle endringer som følge av forhandlingene med staten om avtale for tilskudd til fangst og transport/lagring av CO₂, eventuelle egenandeler som ytes av aktørene, kostnader som det ikke kan ytes støtte til pga. ESA-regelverk, osv.

I tillegg er følgende ikke inkludert i noen av estimatene:

- Eventuell merverdiavgift
- Kostnader som følge av «force majeure»
- Finanskostnader
- Prisstigning fra 2019 og fremover
- Kostnadsendringer som følge av valutaendringer
- Eventuelle import- og eksportavgifter
- Alle statens og Gassnovas kostnader
- Eventuelle kostnader av uforutsette hendelser på grensesnittet mellom aktørene (f.eks. konsekvenser i helkjeden pga. vesentlige forsinkelser i ferdigstilling hos en eller flere aktører)
- Kostnader for «ekstraordinært vedlikehold» i form av nødvendige modifikasjoner/ombygginger i innkjørings- og driftsperioden
- Eventuell fremtidig avvikling av anleggene

CAPEX-estimatene omfatter estimerte kostnader i hvert enkelt delprosjekt fra Stortingets beslutning om tilskudd og inntil anleggene er ferdigstilte. OPEX påløper fra det tidspunkt hvor anleggene er ferdigstilte, og omfatter normale gjennomsnittlige kostnader og vil derfor kunne variere noe fra år til år.

Følgende begreper er brukt i etterfølgende tabeller med kostnadsestimater:

- Basiskost: Grunnestimatet, inkluderer også uspesifisert kostnader
- Forventet tillegg: Nødvendig tillegg på basiskost for å nå P50/forventet kost
- P50: Middelveien i sannsynlighetsfordeling for estimatet
- Forventet kost: «Massemiddelpunktet» i sannsynlighetsfordeling for estimatet
- P85: Kost hvor sannsynligheten for at estimatet vil være lavere er 85%
- Nøyaktighet: Bånd med 80% konfidens for estimatet, (P10-P50)/(P90-P50) i %

Tabell 14-1 viser valutaforutsetningene benyttet av aktørene.

Tabell 14-1: Valutaforutsetninger benyttet av aktørene.

Valuta	Fangstaktørene	Transport- og lageraktør
EUR	10 NOK	9,81 NOK
USD	9 NOK	8,45 NOK
GBP	11 NOK	10,96 NOK
100 SEK	95 NOK	N/A
JPY	8,5 NOK	N/A
100 DKK	130 NOK	N/A

14.2 Kostnader for alternative CCS-kjeder

Gassnova har på basis av kostnadene oppgitt i aktørenes DG3-rapporter og FOVs «FEED Update-Layout Study» [17], sammenstilt CAPEX- og OPEX-estimer for de tre alternative CCS-kjedene, som vist i henholdsvis Tabell 14-2 og Tabell 14-3.

Tabell 14-2: Sammenstilte CAPEX-estimer for de tre alternative CCS-kjedene. Alle kostnader er oppgitt i MNOK, konstante 2019-kroner uten mva.

CCS-kjede	Basiskost	Forventet tillegg	P50 *	P85	Nøyaktighet
Hel kjede Norcem	■	■	9 561	11 294	Ikke beregnet
Hel kjede FOV	■	■	10 487	11 965	Ikke beregnet
Hel kjede Norcem og FOV	■	■	13 600	15 611	Ikke beregnet

(*) NL oppgir forventet kost fremfor P50-estimat. Resultatene fra NLs kost-risk-analyse indikerer at forventet kost er 1-2% høyere et P50-estimat.

Tabell 14-3: Sammenstilte OPEX-estimer for de tre alternative CCS-kjedene. Alle kostnader er oppgitt i MNOK, konstante 2019-kroner uten mva.

CCS-kjede	Basiskost	Forventet tillegg	P50 *	P85	Nøyaktighet
Hel kjede Norcem	■	■	362	418	Ikke beregnet
Hel kjede FOV	■	■	467	529	Ikke beregnet
Hel kjede Norcem og FOV	■	■	583	657	Ikke beregnet

(*) NL oppgir forventet kost fremfor P50-estimat.

14.3 Kostnader for fangstanleggene

14.3.1 CAPEX

Fangstaktørenes egne CAPEX-estimer, som oppgitt i DG3-rapportene og FOVs «FEED Update-Layout Study», [17], er gjengitt i Tabell 14-4.

Tabell 14-4: Oppsummering av CAPEX-estimer for fangstanleggene. Alle kostnader er oppgitt i MNOK, konstante 2019-kroner uten mva.

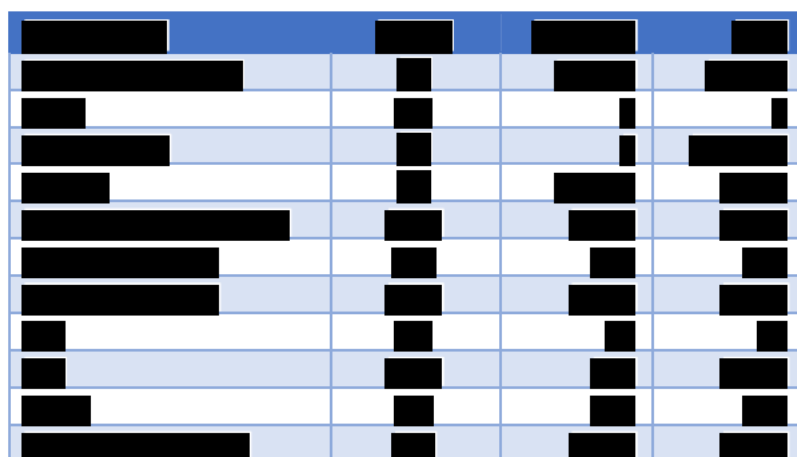
Fangstaktør	Basiskost	Forventet tillegg	P50	P85	Nøyaktighet
Norcem	2 723	14 %	3 113	3 646	-20/+21 %
FOV	3 715	9 %	4 039	4 317	-7/+9 %

estimatet til nye valutakurser. De har også oppgitt at forventet prisstiging er på 2 % fra 2018 til 2019. Norcem's estimater er derfor eskalert slik at de reflekterer de nye valutaforutsetninger samt 2019 kroner.

FOV vurderer at CAPEX-estimatet i sin helhet er et AACE klasse 2 estimat, med en nøyaktighet på -7/+9 % (basert på deres kost-risk-analyse). I DG3-rapporten sin omtaler FOV på den annen side nøyaktigheten av estimatet som +/-20% (kapittel 1.5.1 i [4]). FOV har ikke begrunnet disse forskjellene i sin DG3-rapport. FOV's estimater er i DG3-rapporten oppgitt i 2019 kroner og med nye valutaforutsetninger.

Tabell 14-6 gir en oversikt over installerte «mengder» oppgitt av Norcem og FOV. Denne viser at «prosessanlegget», dvs mengdene fra mekanisk utstyr og nedover, er større hos FOV enn hos Norcem. I forbindelse med FOV's oppdaterte konsept og estimat i april 2020, [17], har FOV foreløpig ikke utarbeidet en oppdatert oversikt over de installerte mengdene for sitt prosjekt. Tabellen under inneholder tall fra den originale DG3-leveransen fra høsten 2019.

Tabell 14-6: Oversikt over installerte «mengder» for de to fangstprosjektene. Oppdaterte mengder i FOV's prosjekt er p.t. ikke tilgjengelig og tallene representerer den originale DG3-løsningen fra høsten 2019.



14.3.2 OPEX

Fangstaktørenes egne OPEX-estimer, som oppgitt i DG3-rapportene og FOV's «FEED Update- Layout Study», [17], er gjengitt i Tabell 14-7.

Tabell 14-7: Oppsummering av OPEX-estimer for fangstanleggene. Alle kostnader er oppgitt i MNOK, konstante 2019-kroner uten mva.

Fangstaktør	Basiskost	Forventet tillegg	P50	P85	Nøyaktighet
Norcem	107	9 %	117	128	-20/+20 %
FOV	209	6 %	222	239	-8/+9 %

- Driftskostnader for nytt tredje skip [REDACTED]

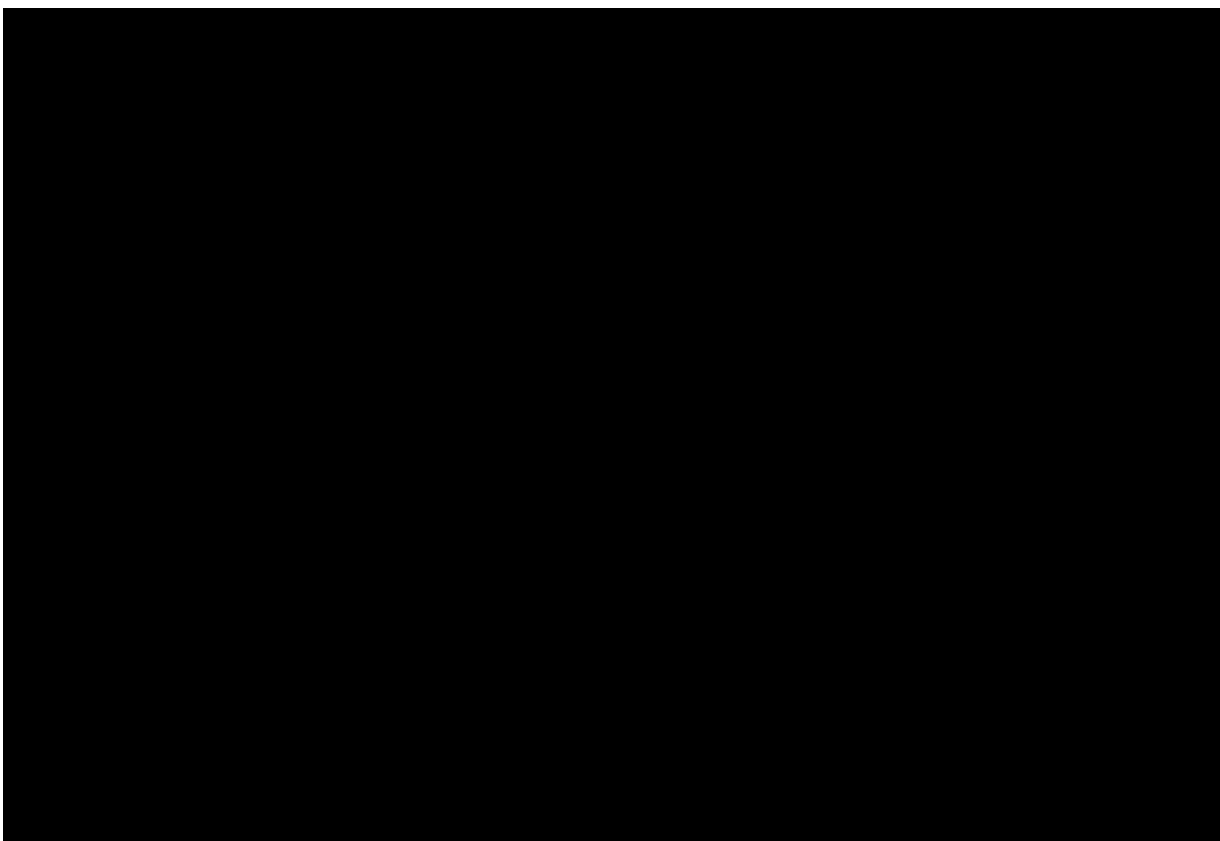
Økning i mengden CO₂ som håndteres fra 800 000 t CO₂/år til 1,5 Mt CO₂/år medfører i tillegg økte kostnader på [REDACTED] til økt bemanning, overvåkning av reservoaret, strømforbruk på mottaksterminalen, m.m. (tabell 10-20 i NLs DG3-rapport).

Avhengig av om transport og lagring av 1,5 Mt CO₂/år krever en ekstra brønn eller ikke blir den samlede økningen i OPEX på [REDACTED].

14.5 Kontantstrøm

Sammenstilt kontantstrøm for de tre alternative CCS-kjedene pr. løpende år og som total summerte kostnader er vist i Tabell 14-13.

Tabell 14-13: Kontantstrøm for de tre alternative CCS-kjedene per løpende år. Alle tall oppgitt i MNOK, konstante 2019-kroner, uten mva.



Det er usikkert når driftsperiodene vil starte for hver enkelt støttemottaker. I kontantstrømmene over har Gassnova forutsatt følgende:

- Driftskostnader for NL påløper fra 01.01.2024 og løper i 10 år.
- Driftskostnadene for både Norcem og FOV påløper fra starten av 4. kvartal 2024 og løper i 10 år og 3 mnd.

Grunnlaget for disse antagelsene er tidsplanene som aktørene har inkludert i sine DG3-rapporter.

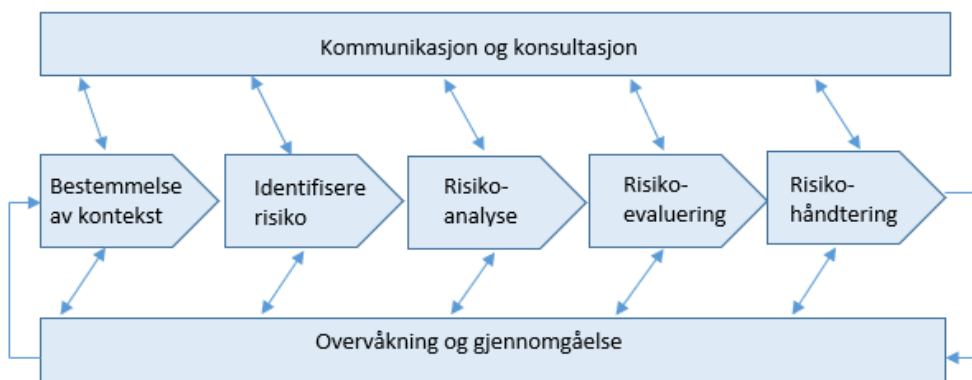
15 Risiko

Prosjektet har etablert prosesser for risikostyring som omfatter identifikasjon, evaluering og håndtering av risiko for å støtte oppnåelse av prosjektets mål. Denne tar utgangspunkt i Gassnovas

prosedyre for risikostyring (17/371). Gassnova følger de anbefalingene som er gitt for risikostyring i standarden NS-ISO 31000, og som reflekteres i denne prosedyren.

15.1 Risikostyring og prosesser

Risikostyringsprosessen omfatter aktivitetene vist i Figur 15-1.



Figur 15-1: Oversikt over Gassnovas risikostyringsprosess.

Prosedyren beskriver hvordan risikoer identifiseres og evalueres, samt hvordan avbøtende tiltak identifiseres og følges for de ulike kritikalitetene:

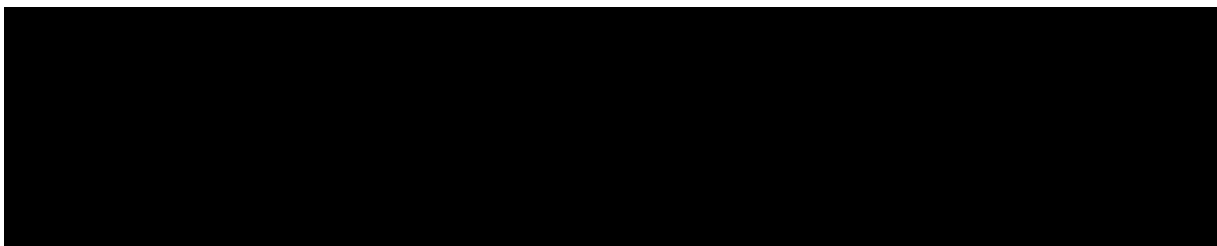
- Risikoer i rødt område er uakseptabel risiko og må håndteres.
- Risikoer i orange område vurderes som uakseptabel risiko og må håndteres.
- Risikoer i gult område vurderes om de skal håndteres.
- Risikoer i grønt område har akseptabel risiko og kan vurderes håndtert om nødvendig ut fra andre hensyn.

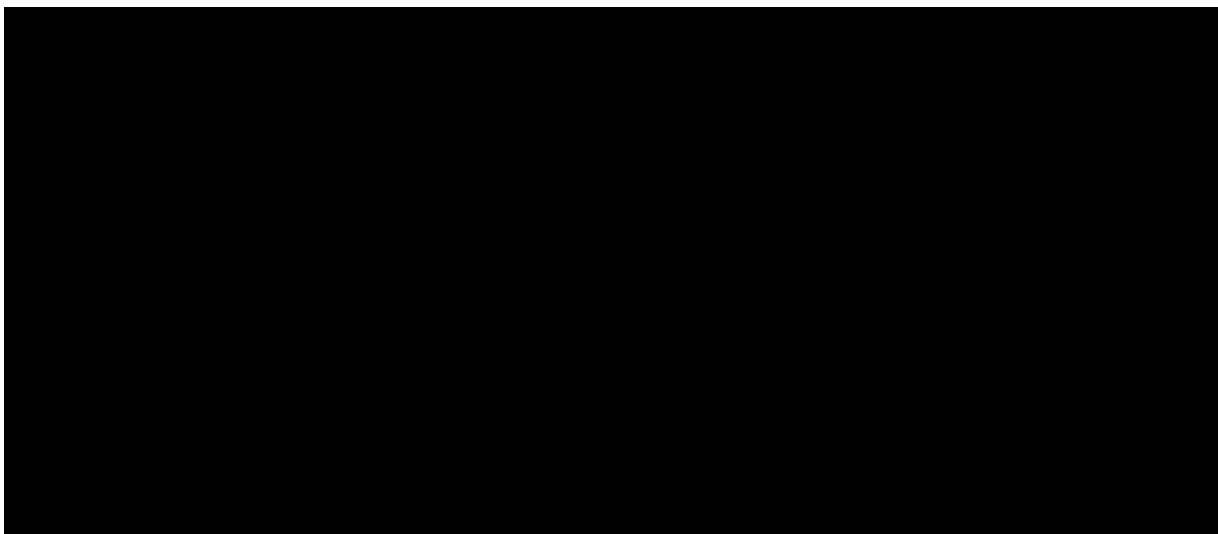
15.2 Risikomatrise

FOV, Norcem og NL er selv ansvarlig for sine respektive risikoregistre, og kritikalitets-vurderingen må sees i sammenheng med den enkeltes definerte risikoakseptkriterier. I Tabell 15-1, Tabell 15-2, og Tabell 15-3, er henholdsvis FOVs, Norcems og NLs «topp 10» risikoer for interim- og realiseringsfasen gjengitt (originalspråket beholdt). Aktørene legger noe ulike kriterier til grunn for klassifiseringen av risikoene som røde, oransje eller gule, og klassifiseringen er gjort uten å ta hensyn til avbøtende tiltak. Hver aktørs detaljerte risikomatrise med beskrivelse av de viktigste risikoene for realiserings- og driftsfasen inkl. sannsynlighet, konsekvens og risikoreduserende tiltak, finnes i aktørnes DG3-dokumentasjon:

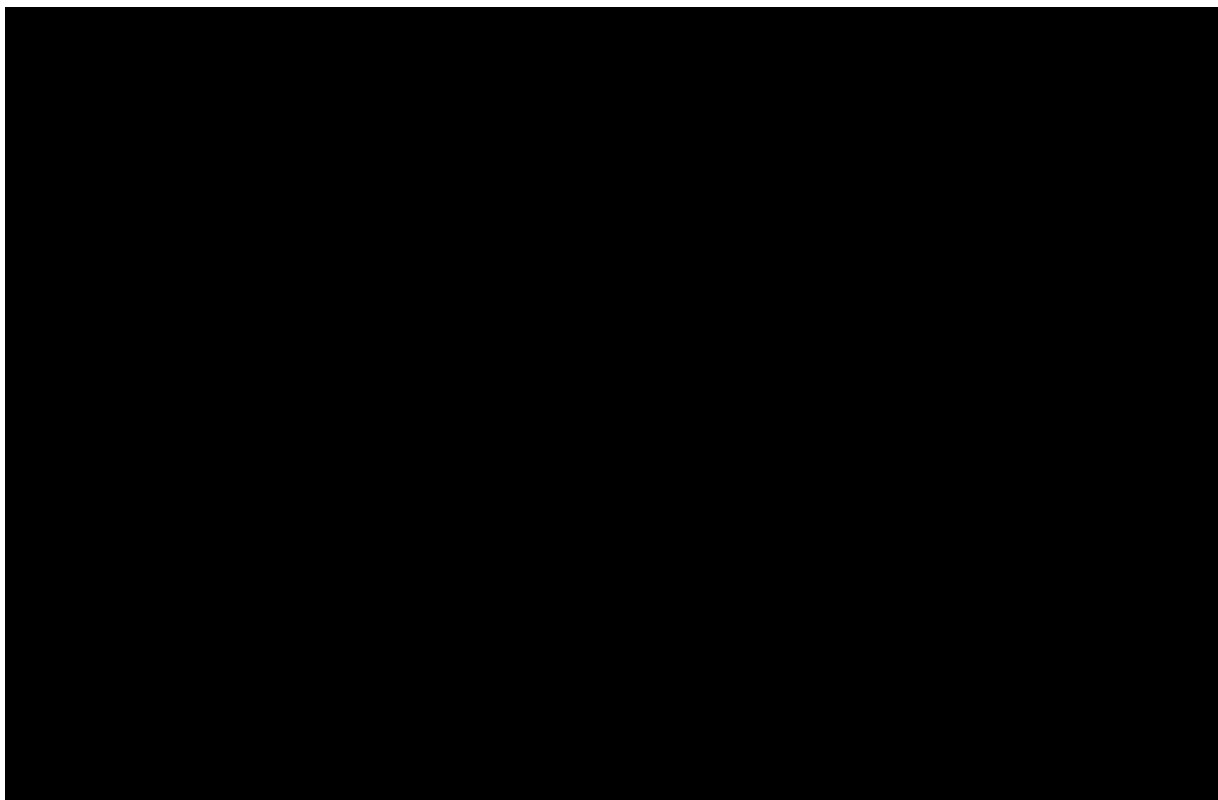
- FOV: NC03-KEA-Q-LA-004
- Norcem: NC03-NOCE-S-LA-0001
- NL: PM673-NL-A-PG-00006 "Northern Lights FEED Report"

Tabell 15-1: "Topp 10" risikoer identifisert av FOV, oppdatert ifb. FOVs «FEED Update – Layout Study» i april 2020, [17]

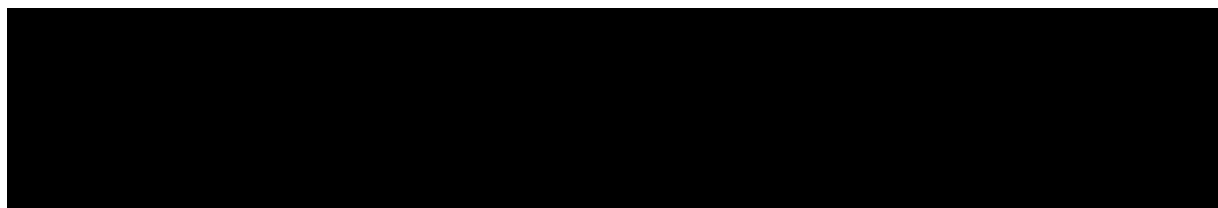


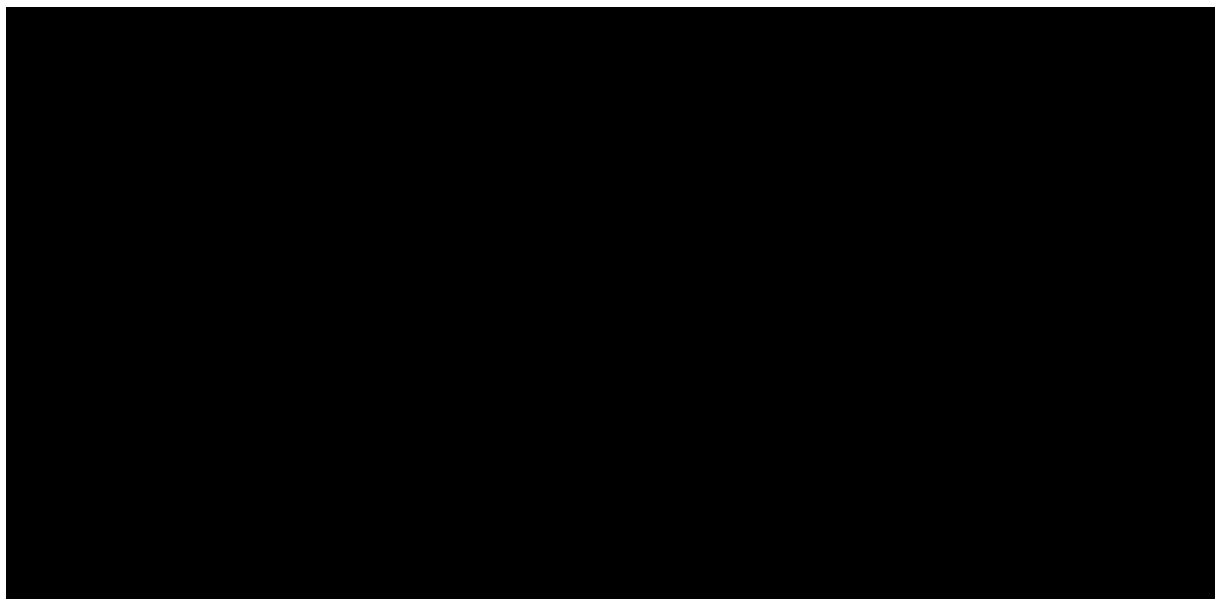


Tabell 15-2: "Topp 10" risikoer identifisert av Norcem, som originalt oppgitt i DG3-rapport.



Tabell 15-3: "Topp 10" risikoer identifisert av NL, oppdatert ifb. NLs endelige DG3-leveranse i april 2020, [6]





Risiko som ikke tilhører de individuelle delprosjektene er gitt i Tabell 15-4. I tillegg til restrisiko identifisert i evalueringen vil dette risikobildet utdypes og reflekteres sentralt styringsdokument.

Tabell 15-4: Risikoer som er knyttet til helheten i CCS-kjeden (og som derfor ikke tilhører delprosjektene) identifisert av Gassnova.

Risk ID	Title
0200	Forsinket oppstart av fangstanleggene vil kunne forsinke ferdigstillelse av kjeden
0202	Økte investeringskostnader pga usikkerhet i fremtidige valutakurser
0212	COVID-19 kan påvirke oppstart av prosjektet og aktørenes gjennomføringsplaner
0210	Uklar arbeidsfordeling mellom OED og Gassnova kan resultere i at oppgaver ikke blir fulgt opp
0197	Endringer i Gassnovas overordnede designbasis i realiseringsfasen kan medføre tilleggskostnader for staten
0192	Langvarig stans (over 2 uker) av kjeden som følge av at brønn eller skip blir utilgjengelig
0193	En stor ulykke kan medføre stans i alle deler av kjeden
0195	Offspec CO2 kan skade utstyr hos fangst og/eller transport- og lageranlegget
0201	Langvarig stans (over 2 uker) av kjeden som følge av at fangstanlegget blir utilgjengelig
0211	Manglende eller dårlig styring av grensesnittene mellom leddene i kjeden
0196	Manglende koordinering av skipsanløp kan forårsake forsinkelser i CO2-transporten og økt kost for staten
0198	Manglende funksjonalitet i grensesnittene mellom fangstanlegg og skip kan medføre endringer i systemutprøvningsfasen og ved oppstart.
0194	Optimalisering av seilingsrute hvis to fangstanlegg videreføres kan resultere i redusert mellomlager

En rød risiko er identifisert relatert til forsinkelse på fangstprosjektene som ligger på kritisk linje i realiseringsfasen. Det er en kjent differanse på omtrent fire måneder mellom ferdigstillelse av transport- og lagerprosjektet og fangstprosjektene. Avhengig av reguleringen i avtalen om tilskudd til fangst og transport/lagring vil konsekvensen av en slik differanse enten resultere i at transport- og lagerprosjektet ikke kan ferdigstilles iht. opprinnelig plan eller at den 10-årige støtteperioden for drift av hele CCS-kjeden er i ufase mellom de ulike delprosjektene, og vil således måtte håndteres av staten ved slutten av støtteperioden. Avbøtende tiltak kan være:

- Overordnet plan for fangst, transport og lagring ferdigstilles etter investeringsbeslutning, med fokus på å innarbeide koordinerte grensesnittmilepæler.
- Håndtere avviket ved å regulere inn betingelser som del av avtalen om tilskudd til fangst og transport/lagring

16 Uavhengig teknisk gjennomgang

16.1 Innledning

Etter anbefaling fra ekstern kvalitetssikrer Atkins/Oslo Economics i sin KS2 rapport fase 1 og 2 fra februar 2018, er Gassnova i mandatet fra OED bedt om å få utført en uavhengig teknisk gjennomgang:

Gassnova skal sørge for at det gjennomføres en uavhengig gjennomgang/verifikasjon av de tekniske sidene av prosjektet i forkant av investeringsbeslutning. Prosjektet skal sette av tid til en slik gjennomgang i forkant av ferdigstilling av rapporter ved framlegging av grunnlag for investeringsbeslutning.

Høsten 2018 startet Gassnova en markedsdialog med flere internasjonale engineeringsselskaper med antatt kompetanse og kapasitet til å utføre en uavhengige teknisk gjennomgang av de ulike delprosjektene og hele CCS-kjeden. I etterkant av markedsdialogen ble det utlyst en internasjonal konkurranse om å få utføre den teknisk gjennomgangen, i tillegg til verifikasjoner av gjennomføringsplaner og kostnadsestimater. Worley i Nederland (tidl. Jacobs) ble tildelt avtalen for CCS-kjeden frem til brønnhode. Som en følge av en eksisterende rammeavtale med Gassnova fikk AGR i oppdrag å gjennomgå brønn og reservoar. Worley har omfattende erfaring med arbeid i alle faser av prosjekter innen landbasert industri, infrastruktur, og olje/gass, i tillegg til å ha vært involvert i mer enn 80 studier innen CO₂-håndtering de siste 15 årene. AGR har betydelig erfaring med boring, brønn-teknologi og undergrunnsarbeid, inkludert kompetanse på CO₂-lagring.

Hele CCS-kjeden er gjennomgått med unntak av underleverandørenes dokumentasjonen av havbunnsutstyret og kontroll- og kraftkablene som inngår i transport- og lagerprosjektet. Gassnova vurderer designet av disse elementene av transport- og lagerprosjektet som hensiktsmessig og godt ivaretatt av NL.

16.2 Om gjennomgangen

Worley og AGR valgte ut og gjennomgikk en betydelig del av den dokumentasjonen som hver aktør har fått utarbeidet i løpet av forprosjektet.

I praksis er den uavhengige tekniske gjennomgangen utført som seks ulike delgjennomganger:

- Gjennomgang av Norcems fangstprosjekt (utført av Worley i juni 2019).
- Gjennomgang av FOVs fangstprosjekt (utført av Worley i juni 2019).
- Gjennomgang av overordnet designbasis (utført av Worley i juli 2019).
- Gjennomgang nr. 1 av transport- og lagerprosjektet (utført av Worley i september 2019).
- Gjennomgang nr. 2 av transport- og lagerprosjektet (utført av AGR i oktober 2019).
- Gjennomgang av grensesnittene mellom fangstprosjektene og transport- og lagerprosjektet (utført i oktober 2019).
- Gjennomgang nr. 3 av transport- og lagerprosjektet etter boring av verifikasjonsbrønn (utført av AGR i april 2020).

For å gjøre det mulig for hver aktør å håndtere eventuelle funn knyttet til sitt delprosjekt, ble alle disse gjennomgangene utført i begrensede tidsrom noen måneder før avslutning av forprosjektet til de ulike aktørene.

I sine gjennomganger har Worley vurdert det tekniske grunnlaget for prosjektet, så som myndighets-tillatelser, HMS, modenhet av tekniske løsninger, byggbarhet m.m. AGR har bl.a. vurdert modenhet

av reservoarsimulering, plassering av injeksjonsbrønnen, akseptkriteriene for testbrønnen, risiko for migrasjon av CO₂ mot Troll-lisensen m.m. Basis for vurderingene har vært Worleys og AGRs erfaring med, og forventninger til, et typisk prosjekt i avslutning av forprosjektfasen.

Worley og AGR har arbeidet uten direkte kontakt med aktørene og gjennomgangene er derfor utelukkende basert på den foreliggende dokumentasjonen på tidspunktene for gjennomgangene.

Rapportene fra Worley og AGR ble delt med aktørene umiddelbart etter gjennomgangene, og alle aktører har derfor hatt anledning til å vurdere og utbedre funnene. Ytterligere beskrivelser av bakgrunn og metodikk, sammen med rapportene fra gjennomgangene og aktørenes tilsvarende svar til samtlige kritiske funn, er dokumentert i [13] - [16].

16.3 Resultater av gjennomgangen

Den uavhengige tekniske gjennomgangen har resultert i en rekke funn og observasjoner som potensielt sett kan ha stor betydning for den videre gjennomføringen av prosjektet.

I hovedsak peker Worley på det de mener er manglende modenhet hos begge fangstprosjektene, spesielt knyttet til vurderinger av byggbarhet, HMS, og layout. Både Norcem og FOV mener mange av funnene skyldes at delprosjektene ble gjennomgått før mange dokumenter ble utgitt i endelig versjon. Begge aktørene mener selv at funnene enten er håndtert i DG3-løsningen eller vil bli håndtert i neste fase i tråd med deres modell for prosjektgjennomføring.

For transport- og lagerprosjektet er Worleys funn knyttet til manglende modenhet av konstruksjonsfilosofi for mottaksterminalen og HMS-vurderinger. AGR knytter primært sine funn til manglende dokumentasjon av resultatene fra verifikasjonsbrønnen og at kriteriene for vurdering av reservaret virker konservative. NL selv forklarer mange funn med misforståelser hos Worley og at resten av funnene fra Worley og AGR håndteres i avslutningen av forprosjektet og i neste fase i tråd med deres modell for prosjektgjennomføring. Full dokumentasjon av brønnresultatene og planer for reservoarutvikling vil håndteres av staten gjennom NLs regulertorisk prosess knyttet til CO₂ lagringsforskriften.

Gassnova understreker at funn hos samtlige aktører knyttet til manglende modenhet innen HMS kun skyldes at arbeidet hver aktør har gjort ift *myndighetsprosesser* ikke var klart beskrevet i leveransene som ble gjennomgått av Worley. Funnene knytter seg i liten grad til anleggenes og CCS-kjedens design med tanke på HMS.

I sin gjennomgang av Gassnovas designbasis og grensesnittet mellom fangstanleggene og transport- og lageranlegget har Worley ikke rapportert funn av spesiell betydning.

Gassnovas vurdering av resultatene fra den uavhengige gjennomgangen, forutsatt at aktørene håndterer funn og observasjoner som beskrevet i sine tilsvarende svar, er at det ikke har fremkommet funn som vil ha betydelige negative konsekvenser for demonstrasjonsprosjektet.

17 Referanser

- [1] «Mandat for videre planlegging og oppfølging av arbeidet med demonstrasjonsprosjektet for CO₂-håndtering i Norge», OED, oktober 2018.
- [2] «Sentralt styringsdokument - Demonstrasjon av fullskala CO₂-håndtering»
- [3] «Gassnovas gevinstrealiseringsplan – Fullskalaprojektet», 17/174-1, versjon 3
- [4] FOVs DG3-rapport, «FEED Study Report DG3», NC03-KEA-A-RA-0002, versjon 2
- [5] Norcems DG3-rapport, «FEED Study (DG3) Report», NC03-NOCE-A-RA-0001, versjon 2
- [6] NLs DG3-rapport, «Northern Lights FEED Report», PM673-NL-A-PG-00006, versjon 6
- [7] «Evaluering og rangering av fangstprosjektene ved avsluttet forprosjekt (DG3)», 19/166-4, versjon 1
- [8] «Evalueringsrapport for Transport og Lager forprosjekt ved DG3, november 2019», 19/237-1, versjon 2
- [9] «Overordnet plan for konsept- og FEED», 17/22-1, versjon 2
- [10] NLs anskaffelsesstrategi for skip, «Procurement Strategy for Shipping», PM673-NL-B-RA-00001, versjon 1
- [11] FOVs RAM-analyse, «Preliminary RAM Study Report», NC03-TEC-M-RA-0009, versjon 2
- [12] Norcems RAM-analyse, «RAM REPORT», NC03-AKER-Z-RA-0005, versjon C02
- [13] «Rapport fra uavhengig gjennomgang av FOVs fangstprosjekt», 19/229-1, versjon 1
- [14] «Rapport fra uavhengig gjennomgang av Norcems fangstprosjekt», 19/230-1, versjon 1
- [15] «Rapport fra uavhengig gjennomgang av NLs transport- og lagerprosjekt», 19/231-1, versjon 1
- [16] «Rapport fra uavhengig gjennomgang av overordnet designbasis og grensesnitt», 19/232-1, versjon 1
- [17] FOVs oppdatering av original DG3-rapport, «FEED Update - Layout Study», NC03i-FOV-A-RA-0002, versjon 1
- [18] «Vurdering av tillegg til FOVs FEED rapport datert 20.4.2020-oppdateret 30.4.20 etter ny info fra FOV», Gassnova notat, 30.april 2020

18 Vedleggsliste

- [1] Liste over Prinsipielle beslutninger og endringer
- [2] Gassnovas overordnet designbasis, «Design Basis for the CCS chain», v.5.2.
- [3] «Evaluation of alternative CO₂ logistics»