



SINTEF

Rapport

Undersøkelser av fordeler og ulemper ved landstyrt ROV-inspeksjoner og -operasjoner på undervannsanlegg

Forfattere:

Christoph Thieme, Esten I. Grøtli, Tony Kråkenes, Stig Winge, Aksel A. Transeth

Rapportnummer:

2025:00725 - Åpen

Oppdragsgiver:

Havindustritilsynet

Rapport

Undersøkelser av fordeler og ulemper ved landstyrt ROV-inspeksjoner og -operasjoner på undervannsanlegg

EMNEORD

Inspeksjon
Intervensjon
Integritetsstyring
Land-basert kontroll
ROV
Vedlikehold

VERSJON

1.0

DATO

2025-06-30

FORFATTERE

Christoph Thieme, Esten I. Grøtli, Tony Kråkenes, Stig Winge, Aksel A. Transeth

OPPDRAAGSGIVER

Havindustritilsynet

OPPDRAAGSGIVERS REFERANSE

2025/355

PROSJEKTNUMMER

102032846

ANTALL SIDER

47

SAMMENDRAG

Rapporten belyser utviklingen av ikke-konvensjonelle konsepter for inspeksjon, vedlikehold og reparasjon (IMR) ved bruk av fjernstyrt ROV, med særlig fokus på landbaserte kontrollrom og konsekvenser for integritetsvurdering av undervannsanlegg. Økt bruk av slike løsninger gir lavere karbonavtrykk, bedre arbeidsmiljø og økt fleksibilitet. Utfordringer knytter seg til kommunikasjonskvalitet, datagrunnlag for integritetsvurdering, tilgang på verktøy og behov for robuste prosedyrer og opplæring.

Det anbefales å sikre at valg av ROV-IMR-konsept er tilpasset operasjonens kritikalitet, å styrke opplæring og prosedyrer i tråd med Human Factors- og MTO-prinsipper, samt å følge opp kommunikasjonskvalitet som en kritisk faktor. Videre arbeid bør fokusere på erfaringer fra ROV-piloter, ny teknologi og vurdering av IMR-inspeksjonsmetoder.

UTARBEIDET AV

Christoph Thieme

SIGNATUR



KONTROLLERT AV

Knut Øien

SIGNATUR



GODKJENT AV

Maria V. Ottermo, Forskningsleder

SIGNATUR



RAPPORT NR.

2025:00725

ISBN

978-82-14-07453-6

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSIONSBESKRIVELSE
Utkast	2025-06-13	Første utkast av rapporten til kommentering av Havtil
1.0	2025-06-30	Endelig rapport

Forsidebilde ©SINTEF/TYD

Executive Summary

The purpose of this report is to examine the development of non-conventional concepts for Remotely Operated Vehicles (ROV) Inspection, Maintenance and Repair (IMR), with a particular focus on land-based control rooms (Remote Operations Centers – ROC) and the potential consequences these may have for integrity assessment of subsea facilities.

The background for this work is the Norwegian Ocean Industry Authority's (Havtil) efforts to strengthen risk-based follow-up of subsea operations in line with the Activity Regulations and the Management Regulations. There is an increasing use of non-conventional ROV IMR-solutions, particularly the use of land-based ROCs. This development offers both opportunities and new challenges that must be addressed. The industry is positive towards the technological development and emphasizes that the right tool must be used for the right situation.

This report is based on:

- A review of international and national literature.
- Interviews with industry stakeholders (oil and gas operators, service providers, system suppliers).
- A holistic assessment of the concepts and their development through a man-technology-organization (MTO) perspective, based on the collected knowledge base.

Most non-conventional ROV concepts, such as the use of unmanned surface vessels, temporary/permanent subsea garages, and ROVs deployed from shore, are currently under testing, trials and qualification. Land-based control of ROVs deployed from IMR vessels is now common practice. Some concepts are already in use on a limited scale.

Moving control rooms onshore results in changes in workflows, collaboration, and situation awareness. Strong user involvement (pilots, inspectors, technicians, and subject matter experts) is essential to ensure that the solutions function effectively in practice. Strengths of non-conventional ROV IMR concepts are:

- Lower carbon footprint and cost.
- Improved working environment for operators.
- Increased flexibility in staffing and operations.

Challenges of non-conventional ROV IMR concepts may include:

- Communication quality (latency, bandwidth, data loss).
- Loss of communication with the ROV may cause delays in IMR inspections and interventions, with potentially negative impacts on asset integrity.
- Changes in data quality, which may affect the basis for integrity assessments.
- Availability of tools and maintenance capabilities with some non-conventional ROV IMR concepts.
- Need for robust procedures and training to support new operational approaches.

Recommendations for further development of non-conventional ROV IMR concepts:

- Ensure that the choice of ROV concept is adapted to the criticality of the operation and integrity requirements, to ensure high-quality integrity assessments.
- Strengthen procedures, training, and testing in line with Human Factors and MTO principles.
- Actively involve users in the development of the concepts.
- Follow up communication quality as a key element in design and operations.

This will provide a foundation for ensuring that the development of non-conventional ROV IMR concepts supports a strengthened and more effective integrity management of subsea facilities. At the same time, it will be important to maintain continuous follow-up of technology development, work processes, and collaboration to ensure safe and robust implementation.

Future work should focus on:

- Gathering experiences from ROV pilots to further explore how non-conventional ROV IMR concepts affect operations and data collection for integrity assessment from an operational perspective using an MTO perspective.
- Mapping emerging technologies (e.g., virtual and augmented reality, artificial intelligence, and autonomy) and their potential impact on integrity assessment.
- Evaluating the effectiveness and limitations of various inspection methods used in ROV IMR operations.
- Evaluating advantages and disadvantages of traditional PDF-document-based reports and new reporting formats for inspection results and the implications for integrity assessment.

Sammendrag

Formålet med denne rapporten er å belyse utviklingen av ikke-konvensjonelle konsepter for Remotely Operated Vehicles (ROV) Inspection, Maintenance and Repair (IMR), med særlig fokus på landbaserte kontrollrom (Remote Operations Centers - ROC) og hvilke konsekvenser dette kan ha for integritetsvurdering av undervannsanlegg.

Bakgrunnen er Havindustritilsynet (Havtil) sitt arbeid med risikobasert oppfølging av undervannsoperasjoner i tråd med aktivitets- og styringsforskriftene. Det er økende bruk av ikke-konvensjonelle løsninger under ROV-IMR-operasjoner, spesielt bruk av ROC. Denne utviklingen medfører både muligheter og nye utfordringer som må håndteres. Industrien er positiv til teknologiutviklingen og vektlegger sterkt at rett verktøy må brukes i rett situasjon.

Rapporten bygger på:

- Dokumentgjennomgang av internasjonal og nasjonal litteratur.
- Samtaler med næringsaktører (olje- og gasselskaper, tjenesteleverandører, og systemleverandører).
- Helhetlig vurdering av konseptene og utviklingen gjennom et menneske-teknologi-organisasjon (MTO)-perspektiv basert på innhentet kunnskapsgrunnlag.

De fleste ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter, som bruk av ubemannet overflatefartøy, midlertidig/permanent garasje på havbunnen, og ROV satt ut fra land, er nå under uttesting og kvalifisering. Landbasert kontroll av ROV-er fra IMR-fartøy er i dag vanlig praksis. Enkelte ikke-konvensjonelle konsepter er tatt i bruk i begrenset omfang.

Flytting av kontrollrom til land innebærer endringer i arbeidsflyt, samhandling og situasjonsforståelse. Det er behov for sterk brukerinvolvering (piloter, inspektører, teknikere og fagpersonell) for å sikre at løsningene fungerer i praksis.

Styrker ved de ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konseptene:

- Lavere karbonavtrykk og kostnader.
- Bedre arbeidsmiljø for piloter, inspektører, fagpersonell m.m.
- Økt fleksibilitet i bemanning og operasjoner.

Utfordringer ved de ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konseptene kan være:

- Kommunikasjonskvalitet (latens, båndbredde, datatap).
- Tap av kommunikasjon med ROV-en kan medføre forsinkelser i IMR-operasjoner med potensielt negativ effekt på anleggenes integritet.
- Mulige endringer i datakvalitet, som påvirker datagrunnlaget for integritetsvurdering.
- Tilgjengelighet av verktøy og muligheter for vedlikehold ved noen ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter.
- Behov for robuste prosedyrer og opplæring for å håndtere ikke-konvensjonelle operasjonsformer.

Anbefalinger for videre utvikling av ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter:

- Sikre at valg av ROV-IMR-konsept er tilpasset operasjonens kritikalitet og integritetskrav for å sikre høy kvalitet på integritetsvurderingen.
- Styrke prosedyrer, opplæring og testing i tråd med Human Factors- og MTO-prinsipper.
 - Involvere brukerne aktivt i utviklingen av konseptene.
- Følge opp kommunikasjonskvalitet som et sentralt element i design og drift.

Dette vil legge grunnlaget for at utviklingen av ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter understøtter en styrket og mer effektiv integritetsstyring av undervannsanlegg. Samtidig vil det være viktig med fortsatt oppfølging av teknologiutvikling, arbeidsprosesser og samhandling for å sikre trygg og robust implementering.

Videre arbeid bør fokusere på:

- Innhenting av erfaringer fra ROV-piloter for å videre utforske hvordan ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter påvirker operasjoner og innsamling av data for integritetsvurdering fra et operativt synspunkt. Det anbefales å bruke et systemisk perspektiv slik som MTO-perspektivet.
- Kartlegging av ny teknologi (f.eks. Virtual og Augmentet Reality, kunstig intelligens, og autonomi) og konsekvenser for integritetsvurdering.
- Vurdering av effektivitet og begrensninger i ulike inspeksjonsmetoder brukt i ROV-IMR-operasjoner.
- Vurdering av fordeler og ulemper ved tradisjonelle PDF-rapporter og nye rapporteringsformater for inspeksjonsresultater og konsekvensene for integritetsvurdering.

Innholdsfortegnelse

Executive Summary.....	3
Sammendrag	5
1 Innledning.....	9
1.1 Problemstilling og prosjektformål.....	9
1.2 Prosjektavgrensing	9
1.3 Rapportstruktur	10
1.4 Forkortelser	10
2 Bakgrunn	11
2.1 Integritetsstyring og -vurdering	11
2.2 Remotely operated vehicle (ROV).....	12
2.3 ROV-IMR-operasjoner	13
2.3.1 Inspeksjonsmetoder	14
2.3.2 Intervensjon.....	14
2.4 Aktører og samhandling innen integritetsstyring og ROV-IMR-operasjoner.....	15
2.4.1 Aktører innen olje- og gasselskapene.....	16
2.4.2 Tjenesteleverandør integritetsvurdering	16
2.4.3 IMR-tjenesteleverandører	17
2.5 MTO (menneske-teknologi-organisasjon) og Human Factors	17
2.6 Regelverk og standarder	18
2.6.1 Petroleumsregelverket	18
2.6.2 NORSOK U-102 Remotely operated vehicle (ROV) services.....	19
2.6.3 DNV anbefalt praksis	19
2.6.4 Certification Scheme for Personnel (CSWIP)	19
3 Fremgangsmåte og datainnhenting	20
3.1 Dokumentgjennomgang	20
3.2 Samtaler med næringen	21
3.3 Vurdering og sammenligning av ROV-IMR-operasjonskonseptene.....	21
4 ROV-IMR-konsepter og teknisk utvikling	22
4.1 K1. Konvensjonelle ROV-IMR-operasjoner fra IMR-fartøy	24
4.2 K2. ROV satt ut fra ubemannet overflatefartøy.....	25
4.3 K3. ROV satt ut fra offshoreinnretning	26
4.4 K4. ROV med permanent garasje.....	26
4.5 K5. ROV med midlertidig utsatt garasje.....	28
4.6 K6. ROV satt ut fra land.....	29
5 Status og planer for bruk og videre utvikling av ulike ROV-IMR-konsepter	31

5.1	Omfang og erfaringer med de ulike ROV-IMR-konseptene	31
5.1.1	På den norske sokkelen	31
5.1.2	Internasjonalt	32
5.2	Strategier, prioriteringer og videre planer rundt de ulike ROV-IMR-konseptene	32
5.2.1	Olje- og gasselskap	32
5.2.2	System- og tjenesteleverandører	33
6	Vurdering av ROV-IMR-operasjonskonseptene	34
6.1	Ytelses- og risikopåvirkende faktorer	34
6.2	Arbeidsflyt i de forskjellige ROV-IMR-konseptene.....	37
6.3	Sammenligning av ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter med konvensjonelt konsept..	40
7	Konklusjon og anbefalinger	44
7.1	Videre arbeid.....	45
	Referanser	46

1 Innledning

1.1 Problemstilling og prosjektformål

Havtil ser en økende bruk av IMR-operasjoner (Inspection, Maintenance and Repair) som gjennomføres med Remotely Operated Vehicles (ROV) styrt fra landbaserte kontrollrom (Remote Operation Center - ROC). Formålet med studien er å kartlegge og belyse dagens praksis og fremtidige utviklingstrender knyttet til ikke-konvensjonelle ROV-IMR-operasjoner. Havtil ønsker å undersøke omfanget av inspeksjoner og operasjoner som i dag utføres fra land, samt planlagte tiltak og strategier for videre bruk av ROC. Videre skal studien identifisere fordeler, ulemper og risiko ved bruk av ROC sammenlignet med ROV-IMR-operasjoner utført fra IMR-fartøy (konvensjonelle ROV-IMR-operasjoner). Risikoaspektet omfatter mulige konsekvenser for integriteten av undervannsanlegg som kan medføre lekkasjer og svikt med storulykkepotensial. Resultatene fra arbeidet skal understøtte Havtils videre arbeid med risikobasert oppfølging, spesielt i lys av Aktivitetsforskriftens kapittel IX om vedlikehold [1] — herunder § 50 om særskilte krav til tilstandskontroll av konstruksjoner, maritime systemer og rørledningssystemer[2] — samt Styringsforskriftens kapittel II om risikostyring [3].

Bakgrunnen for oppgaven er Havindustritilsynet (Havtil) sitt arbeid med kontinuerlig forbedring av risikobasert oppfølging av aktiviteter, der konstruksjonssikkerhet er et sentralt fokusområde. Tidligere tilsyn relatert til ROV-IMR-operasjoner har avdekket avvik og forbedringsområder, særlig knyttet til leverandør-oppfølging (påseansvaret) innenfor regelverkene for sikkerhetsstyring [4], [5], samt arbeidsmiljø og ergonomisk utforming [6]. Derfor skal studien støtte Havtils arbeid gjennom seks hovedbidrag:

1. Beskrivelse av ulike ROV-IMR-konsepter, inkludert tilhørende leveranser (f.eks. inspeksjon, intervensjon), vedlikeholdsstyring av ROV-er og sensorutstyr, samt identifisering av styrker og svakheter.
2. Kartlegging av omfang og erfaringer med ulike ROV-IMR-konsepter, både på norsk sokkel og internasjonalt.
3. Kartlegging av olje- og gasselskapenes og leverandørenes strategier og videre planer for utvikling av ulike ROV-IMR-konsepter innen olje- og gassindustrien.
4. Beskrivelse av faktorer som påvirker resultatene av IMR-operasjoner, inkludert tekniske, menneskelige og organisatoriske forhold med både positiv og negativ innvirkning.
5. Beskrivelse av endringer i arbeidsflyt og samhandling mellom olje- og gasselskapene og øvrige aktører, samt konsekvenser for situasjonsforståelse og integritetsvurderinger.
6. Vurdering av konsekvenser (positive og negative) ved bruk av ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter, herunder påvirkning på integritetsvurderinger og på den samlede integriteten til undervannsanleggene.

1.2 Prosjektavgrensning

Prosjektets hovedfokus er knyttet til IMR-operasjoner, integritetsvurderinger og tilhørende datainnsamling gjennom bruk av ROV-er. Studien skal vurdere hvorvidt anvendelse av ikke-konvensjonelle ROV-er kan ha betydning for integritetstilstanden til undervannsanlegg, herunder rørledninger, subsea-templates, ventiler, X-mas trees, kompressorer, bærende konstruksjoner, og tilhørende undervannstrukturer.

Operasjoner som faller utenfor rammen av IMR, herunder installasjon av undervannsanlegg, havbunns-kartlegging, dekommisjonering og øvrige tilsvarende aktiviteter, omfattes ikke av studien.

Det foreligger enkelte forskjeller i gjennomføringen av inspeksjonsaktiviteter og øvrige IMR-oppgaver på rørledninger og undervannskabler, sammenlignet med andre typer undervannsanlegg. Inspeksjon av rørledninger og undervannskabler gjennomføres ofte ved bruk av mindre fartøy (survey-fartøy), og inspeksjonsresultatene foreligger som regel først i etterkant av en gjennomført inspeksjonskampanje.

Autonome undervannsfarkoster o.l. skal ikke belyses med mindre de utfører oppgaver som konvensjonelle ROV-er har utført tidligere.

1.3 Rapportstruktur

Kapittel 2 oppsummerer sentrale begreper og definisjoner som danner grunnlaget for rapporten. Kapittel 3 beskriver metodisk tilnærming og gjennomføring av arbeidet. Kapittel 4 svarer ut hovedbidrag 1 gjennom en beskrivelse ulike ROV-IMR-konsepter (konvensjonelle og ikke-konvensjonelle), samt relevante teknologiske utviklingstrekk. Kapittel 5 svarer ut hovedbidrag 2 og 3 ved å oppsummere dagens bruk av ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter, samt å beskrive videre planer og strategier for utvikling og bruk av slike konsepter. Kapittel 6 vurderer det innhentede informasjonsgrunnlaget og svarer ut hovedbidrag 4, 5 og 6.

1.4 Forkortelser

AID	-	Autonomous Inspection Drone
AUV	-	Autonomous Underwater Vehicle
CP	-	Cathodic Protection
CRIOP	-	Crisis Intervention and Operability analysis
CSWIP	-	Certification Scheme for Personnel
CTD	-	Conductivity, Depth and Temperature
FPROV	-	Fall Pipe ROV
FPSO	-	Floating Production Storage and Offloading
Havtil	-	Havindustritilsynet
HOP	-	Human and Organisational Performance
IMCA	-	International Maritime Contractors Association
IMR	-	Inspection, Maintenance and Repair
LARS	-	Launch And Recovery System
MTO	-	Menneske-Teknologi-Organisasjon
NORSOK	-	Norsk sokkels konkurranseposisjon
OIM	-	Offshore Installation Manager
ROC	-	Remote Operation Centre, her forstått som landbasert kontrollrom
ROV	-	Remotely Operated Vehicle
R-ROV	-	Resident ROV
SDS	-	Subsea Docking Station
TMS	-	Tether Management System
UID	-	Underwater Intervention Drone
USV	-	Unmanned Surface Vessel
UVMS	-	Underwater Vehicle Manipulator System

2 Bakgrunn

Dette kapittelet oppsummerer sentrale konsepter og bakgrunnsinformasjon som brukes i rapporten og som danner grunnlaget for arbeidet. De sentrale konseptene og bakgrunnsinformasjonen omfatter:

- Integritetsstyring og -vurdering
- Remotely Operated Vehicles (ROV)
- ROV-IMR-operasjoner
- Aktører og samhandling innen ROV-IMR-operasjoner
- Menneske-Teknologi-Organisasjon (MTO) -perspektivet
- Relevante regelverk og standarder

2.1 Integritetsstyring og -vurdering

Systemintegritet for undervannsanlegg forstås som evnen til å opprettholde væskeseparasjon og sikre pålitelig drift av sikkerhets- og produksjonsutstyr (ventiler, kompressorer, med mere) [7]. Integritetsstyring har som formål å sikre at anleggenes integritet opprettholdes gjennom hele driftsfasen [8]. Dette innebærer at:

- Nødvendige sikkerhetsmarginer overholdes.
- Funksjonaliteten til kritiske komponenter ivaretas.
- Robusthet mot relevante laster tilfredsstiller fastsatte aksepterte kriterier.

En generisk integritetsstyringssyklus, som er vist i Figur 2.1, gjennomgås regelmessig som en del av systematisk integritetsoppfølging. Basert på vedlikeholdsprogram og risikovurdering planlegges en inspeksjonskampanje som tar hensyn til trusler mot systemintegriteten, parametere som påvirker degraderingsmekanismer, samt tilstand vurdert i tidligere faser av styringssyklusen (steg 1). Trusler forstås bredt. De kan være både tilsiktet og utilsiktet. Eksempler er korrosjon (intern og ekstern), erosjon, sprekkdannelse, utmatting, driftsbelastninger, temperatur, trykk, skade, deformering, begroing, fremmede objekter, kvalitetsavvik, installasjonsrelaterte forhold [8], [9]. Risikovurderingen tar hensyn til kritikaliteten av utstyr, tidligere inspeksjonskampanjer og erfaringer fra lignende anlegg over tid. Dermed benyttes også undervannsanleggets historikk, inkludert tidligere funn og gjennomførte intervensjoner i steg 1. Risikovurdering og risiko-basert vedlikehold er forankret i Havtils forskrifter, ref. kapittel 2.6.1.

Steg 2 er selve inspeksjonen av undervannsanlegg for å samle inn data. For å gjennomføre datainnsamling til integritetsvurderingen må overflaten ofte klargjøres for inspeksjon, enten ved skylling eller ved mekanisk rensing. Anvendte inspeksjonsmetoder er oppsummert i kapittel 2.3.1. Etter gjennomført datainnsamling vurderes integriteten til undervannsanlegget (steg 3). Dersom det avdekkes behov for tiltak, gjennomføres intervensjoner som beskrevet i kapittel 2.3.2. Resultatene fra steg 3 og eventuelle tiltak i steg 4 danner grunnlaget for neste iterasjon av integritetsstyringssyklusen.



Figur 2.1: Generisk integritetsstyringssystem basert på [7].

2.2 Remotely operated vehicle (ROV)

Remotely Operated Vehicle (ROV), eller fjernstyrt undervannsfartøy, er definert i bransjestandarden NORSOK U-102 [10] som:

“An unmanned, underwater vehicle that is controlled from the surface by a pilot via a cable and is, in itself, a collection of equipment used in water with an ability to observe the surroundings and, in certain circumstances, intervene/interact with underwater infrastructure.”

Videre defineres et **ROV-system** som:

“System which comprises of the ROV [...], the handling system, the surface control system and all associated equipment.”

En ROV styres normalt av en ROV-pilot via joystick. ROV-er kan være utstyrt med én eller flere manipulatorarmer for å utføre intervensjonsoppgaver, og benyttes til et bredt spekter av operasjoner – fra inspeksjon til installasjon og vedlikehold av undervannsutstyr. Styringssignaler og data overføres gjennom en kabel, ofte omtalt som umbilical, tether eller navlestreng – begreper som i praksis brukes om hverandre. I denne rapporten benyttes primært betegnelsen umbilical.

Det finnes ulike måter å kategorisere ROV-er på [10], [11]. NORSOK U-102 [10] bruker kategoriseringen vist i Tabell 2.1. Ulike ROV-kategoriseringer overlapper til en viss grad. For eksempel skilles det både i NORSOK U-102 [10] og Cappocci m.fl. [11] mellom **inspeksjonsklasse-ROV** og **arbeidsklasse-ROV**. I henhold til Cappocci m.fl. [11] kan arbeidsklasse-ROV videre deles inn i to underkategorier (tilsvarende *Class III* i NORSOK U-102):

- **Lett arbeidsklasse:** Veier typisk 100–1500 kg, er ofte helelektrisk (med unntak av hydraulikk for manipulatorarm), og kan operere ned til 3000 meter. Brukes til rengjøring, inspeksjon samt til- og frakopling av utstyr.
- **Tung arbeidsklasse:** Veier opptil 5000 kg, har hydraulisk aktivering og kan operere ned til 6000 meter. Benyttes ved bore- og konstruksjonsoppgaver.

Inspeksjonsklasse-ROV-er kan deles inn i følgende kategorier [11] (tilsvarende *Class I* og *Class II* i NORSOK U-102):

- **Micro/håndholdt:** Veier 3–20 kg, benyttes nesten utelukkende til inspeksjonsformål, og kan settes ut manuelt.

- **Medium:** Veier 30–120 kg, og kan i tillegg utføre enklere intervensjonsoppgaver.

Arbeidsklasse-ROV-er og medium inspeksjonsklasse ROV-er er ofte utstyrt med egne systemer for utsett og innhenting (Launch And Recovery System, LARS), samt for kabelhåndtering (Tether Management System, TMS). LARS muliggjør sikker sjøsetting og opphenting av ROV-en, mens TMS sikrer kontrollert håndtering av umbilical under operasjon. For å utføre spesialiserte oppgaver kan ROV-er utstyres med en **skid** – en modulær ramme som monteres på ROV-en eller senkes separat. Skiden kan inneholde hydrauliske enheter, spyleverktøy, sensorer eller annet spesialutstyr.

Tabell 2.1: Klassifikasjon av ROV-er iht. NORSOK U-102 [10].

Kategori	Beskrivelse
Class I	Pure observation
Class II	Observation with payload option
Class II A	Observation class vehicle with payload option
Class II B	Observation class vehicle with light intervention, survey and construction capabilities
Class III	Work class vehicles
Class III A	Standard Work Class Vehicle
Class III B	Advanced Work Class Vehicle
Class IV	Towed and Bottom Crawling vehicle
Class IV A	Towed Vehicles
Class IV B	Bottom Crawling Vehicles
Class V	Prototype or development vehicles
Class VI	Autonomous Underwater Vehicles (AUV)
Class VI A	AUVs Weighing < 100 kg
Class VI B	AUVs Weighing > 100 kg
Class VII	High speed survey vehicles
Class VIII	Fall pipe ROV (FPROV)

Autonomous Underwater Vehicle (AUV) betegner ubemannede undervannsfartøy som opererer autonomt over lengre tidsperioder. AUV-er benyttes tradisjonelt til rørledningsinspeksjon og kartlegging av sjøbunn, og har som regel en mer hydrodynamisk utforming enn ROV-er.

Etter hvert som teknologien har utviklet seg har skillet mellom ROV og AUV blitt mindre tydelig, for eksempel i teknologiutviklingsprosjektene [12], [13], [14]. Det har i tillegg ført til nye hybridformer og tilhørende begreper, herunder:

- **UID** – Underwater Intervention Drone
- **AID** – Autonomous Inspection Drone
- **UVMS** – Underwater Vehicle Manipulator System
- **RROV** – Resident ROV

2.3 ROV-IMR-operasjoner

ROV-IMR-operasjoner kan enten være inspeksjoner eller intervensjoner:

- **Inspeksjon** innebærer å observere og samle inn data om tilstanden til en struktur eller komponent, med formål å avdekke skader, slitasje, begroing, sprekker, korrosjon og lignende forhold.
- **Intervensjon**, derimot å utføre en aktiv handling som påvirker eller endrer en struktur, for eksempel ved å reparere, justere, bytte ut eller manipulere utstyr.

Skillet mellom inspeksjon og intervensjon er imidlertid ikke alltid entydig. Ved visuell inspeksjon kan det for eksempel være nødvendig å fjerne begroing for å muliggjøre tilstandsvurdering — en aktivitet som i seg selv representerer en form for intervensjon. DNV-standardene [8], [15] gir en god oversikt over oppdragstyper og tilhørende teknologier, og danner også et relevant referansegrunnlag ved utvikling og vurdering av ikke-konvensjonelle IMR-konsepter.

2.3.1 Inspeksjonsmetoder

Det kan brukes ulike inspeksjonsmetoder [8], [16], [17] i følgende kategorier:

- **Visuell inspeksjon ved hjelp av kamera:** Benyttes for å detektere korrosjon, sprekker og mekaniske skader (f.eks. på jackets, plattformbein, stigerør og utstyr i vannsøylen), samt for å evaluere tilstand på overflatebelegg (coating). Bildemateriale fra kamera kan også anvendes til fotogrammetri og 3D-modellering.
- **Hydroakustikk- og sonarbasert inspeksjon (multibeam m. m.):** Benyttes blant annet til inspeksjon av rørledningsposisjon og frispenn, samt til kartlegging av sjøbunnstopografi og sedimentforflytning.
- **Stabbing:** Benyttes for å måle spesifikke egenskaper ved en struktur eller komponent ved hjelp av en sensor eller måleprobe som fysisk presses mot eller inn i objektet. Dermed er det en kontaktbasert inspeksjonsmetode. Eksempler inkluderer bruk av CP-probe (cathodic protection, katodisk beskyttelse) for å indikere nivået av katodisk beskyttelse, eller stabbing av anoder for å kontrollere om de er porøse eller nedbrutt.
- **Elektromagnetisk- og ultralydbasert inspeksjon:** Benyttes for å detektere sprekker, korrosjon og defekter i materialer og sveiser, samt for å måle veggtykkelse og avdekke strukturelle skader.
- **Flooded member detection:** Benyttes for å oppdage vanninntrenging i strukturelle elementer.
- **Pipe-tracker:** Benyttes for å lokalisere rørledninger under havbunnen og vurdere eventuell posisjonsendring.
- **Laserbasert inspeksjon:** Benyttes lignende som hydroakustikk- og sonarbasert inspeksjon, men benytter laserlys og krever kortere avstand til objektet. Egner seg godt for høyoppløselig 3D-modellering og presis posisjonsmåling av undervannsstrukturer.
- **Spesielle kjemiske sensorer:** Benyttes for å detektere hydrokarboner eller andre kjemikalier i vannet.
- **Conductivity, Depth and Temperature (CTD) sonde:** Benyttes for å måle miljøparametere som trykk, salinitet og temperatur.

Man kan her skille mellom kontaktløse inspeksjonsmetoder, som benytter f.eks. kamera eller sonar, og kontaktbaserte inspeksjonsmetoder, hvor sistnevnte som betegnelsen tilsier, krever fysisk kontakt med strukturen som inspiseres.

2.3.2 Intervensjon

Intervensjon benyttes som del av forebyggende vedlikehold, for eksempel til:

- Rensing eller rengjøring.
- Testing av ventiler og andre komponenter.
- Kalibrering av sensorer og instrumenter.

Her inngår både kontaktløse og kontaktbaserte inspeksjonsmetoder, som beskrevet i forrige avsnitt, som en integrert del av forebyggende vedlikeholdsaktiviteter.

I tillegg benyttes intervensjon til korrigerende vedlikehold, og omfatter:

- Reparasjon.
- Utskifting av defekte deler.

- Sveising og tetting av hull.
- Fjerning av sediment og uønsket materiale.
- Hot-stabbing: til- eller frakopling av hydrauliske eller elektriske verktøy og systemer mens disse er under trykk og i drift.

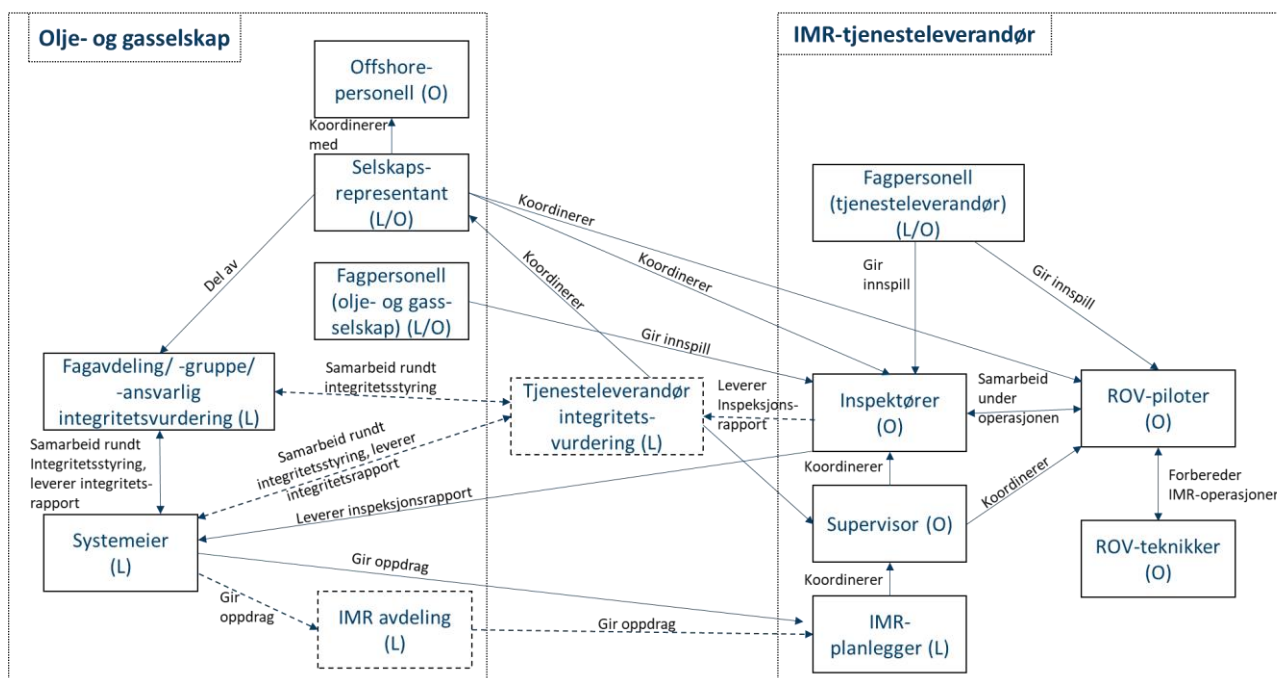
2.4 Aktører og samhandling innen integritetsstyring og ROV-IMR-operasjoner

Flere aktører samhandler ved planlegging og gjennomføring av ROV-IMR-operasjoner. I tillegg bidrar ulike aktører i arbeidet med integritetsvurdering. Aktørene tilknyttet ROV-IMR-operasjoner kan tilhøre samme olje- og gasselskapet, men i mange tilfeller er det tjenesteleverandører som utfører en eller flere oppgaver. Oppsummeringen er lagd basert på samtale (ref. kapittel 3.2). Det kan forekomme mindre variasjoner mellom olje- og gasselskaper med hensyn til benevnelse og organisering, avhengig av selskapets størrelse og type innretninger de opererer. Stegene som nevnes referer til integritetsvurderingssyklusen som er vist i figur 2.1.

Som forenkling er det i denne rapporten antatt at ROV-IMR-operasjonene er utført av tjenesteleverandører. Tjenesteleverandørene kan hovedsakelig deles inn i to grupper:

- Tjenesteleverandører som utfører integritetsvurdering og -styring.
- Tjenesteleverandører som utfører IMR-operasjonene.

Enkelte selskaper har imidlertid egne ROV-er med tilhørende personell og utstyr. Figur 2.2 oppsummerer dagens aktørbilde med indikasjon på samhandling og lokasjon. Mulige endringer i aktørbildet og samhandling ved bruk av ikke-konvensjonelle ROV-IMR-operasjoner diskuteres i kapittel 6.2.



Figur 2.2: Oversikt over aktører innen ROV-IMR-operasjoner og integritetsvurdering. Stiplede linjer indikerer at det er stor forskjell angående bruk av aktøren. (L) indikerer at aktøren er på land, (O) at aktøren er offshore, i tilfelle (L/O) så er aktøren enten på land eller offshore.

2.4.1 Aktører innen olje- og gasselskapene

Systemeier (eng. asset owner) er ansvarlig for å sikre at undervannsanlegget er i samsvar med kravene, og at driften skjer med et forsvarlig risikonivå. Eierne har ansvar for å igangsette nødvendige ROV-IMR-operasjoner for å vurdere (Steg 1), og ved behov gjenopprette, tilstanden til undervannsanlegget (Steg 3). Ofte er det ulike systemeiere for rørledninger, undervannskonstruksjoner og undervannskontrollsystemer.

Fagavdelinger, faggrupper, fagansvarlig integritetsvurdering støtter systemeieren i gjennomføringen av oppgavene (Steg 1 og Steg 3). Avhengig av selskapets størrelse kan dette være organisert som en egen avdeling, en gruppe eller enkeltpersoner som bistår med oppfølging av undervannsanlegg. Dette omfatter blant annet identifisering av inspeksjonsbehov, planlegging av ROV-IMR-operasjoner og -tokt, samt rapportering. I enkelte tilfeller kan også andre faggrupper og fagansvarlige involveres, for eksempel geologer, teknikere innen undervannskontrollsystemer og andre relevante spesialister.

IMR-avdeling eller IMR-gruppe finnes i enkelte selskaper som egne enheter, med ansvar for å koordinere selskapets IMR-behov med egne og innleide fartøy fra tjenesteleverandører. De mottar behov for ROV-IMR-operasjoner og planlegger deretter tokt i samhandling med fagansvarlige og systemeier. De er derfor involvert i stegene 1 til 4.

Selskapsrepresentant er til stede under ROV-IMR-operasjonen (Steg 2 og 4) og fungerer som bindeledd mellom IMR-tjenesteleverandøren og andre aktører, for eksempel offshorepersonell på innretninger og andre fartøy i området. I tillegg følger selskapsrepresentanten operasjonen og gir innspill og svar til supervisoren, ROV-pilotene og inspektøren ved behov. Selskapsrepresentanten befinner seg enten om bord på IMR-fartøyet (spesielt ved operasjoner innenfor 500-meterssonen), eller på land.

Offshorepersonell som offshore installation manager (OIM), kontrollromsoperatører, kranoperatører, kaptein og mannskap på IMR-fartøy og kapteinen på støttefartøy er involvert i ROV-IMR-operasjoner (Steg 2 og 4) på forskjellige måter gjennom selskapsrepresentanten – spesielt ved ROV-IMR-operasjoner innen 500 m sonen.

OIM har ansvar for innretningen og skal derfor godkjenne arbeid på undervannsanlegget. Kontrollromsoperatørene må være kjent med operasjonen gjennom arbeidstillatelsessystemet. Kapteinen på IMR-fartøy og kranoperatører bidrar til effektiv håndtering av ROV-ene. Andre fartøy, som støttefartøy tilknyttet innretningen, må i enkelte tilfeller koordineres i forbindelse med ROV-IMR-operasjonene.

Fagpersonell (olje- og gasselskap) tilkalles i enkelte tilfeller ved behov, for eksempel geologer, materialteknikere eller andre spesialister. Under ROV-IMR-operasjonene (Steg 2 og 4) er deres tilstedeværelse ofte kun nødvendig i en begrenset periode.

2.4.2 Tjenesteleverandør integritetsvurdering

Tjenesteleverandør integritetsvurdering bistår olje- og gasselskaper i selve integritetsstyringen ved å overta enkelte oppgaver, eller bidra i gjennomføringen av dem. Eksempler på slike oppgaver er risikovurdering, bistand i utarbeidelse av vedlikeholdsprogram, planlegging av IMR-program for kommende periode (Steg 1), samt gjennomføring av integritetsvurdering basert på innsamlet data (Steg 3). Integritetsvurdering og arbeidet med integritetsrapporten utføres i tett samarbeid med olje- og gasselskapet. Olje- og gasselskapets størrelse og type innretninger er avgjørende for omfang og involvering av denne typen tjenesteleverandør.

2.4.3 IMR-tjenesteleverandører

IMR-tjenesteleverandørene utfører selve ROV-IMR-operasjonene, de eier fartøyet og stiller med nødvendig personell. I enkelte tilfeller er IMR-tjenesteleverandøren tett knyttet til ROV-systemleverandøren, dersom de inngår i samme konsern. Det forekommer derfor at IMR-tjenesteleverandører prøver ut ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter i samhandling med olje- og gasselskapene.

IMR-fartøy har mellom to og tre ROV-er om bord. Surveyfartøy og mindre fartøy har som regel én eller to ROV-er om bord. Størrelsen og utstyr på fartøy avgjør hvor mange ROV-IMR-operasjoner som kan gjennomføres samtidig.

IMR planleggere mottar bestilling på IMR-tjenester og planlegger selve ROV-IMR-operasjonene i samarbeid med systemeier og IMR-avdelingen (Steg 1, 2 og 4). Planleggingen innbefatter fremgangsmåten, metoder og verktøy som skal benyttes samt estimert varighet for operasjonen.

Vanligvis styres ROV-en av to **ROV-piloter** under en ROV-IMR-operasjon (Steg 2 og 4). Én pilot styrer manipulatoren på ROV-en, for eksempel for å forberede overflatene for inspeksjon, for å utføre hot-stab, betjene ventiler, m.m. Den andre piloten styrer selve ROV-en og sørger for at ROV-ens umbilical ikke setter seg fast i undervannsanlegget. Under enkelte operasjoner kan den andre piloten styre ROV-ens andre arm.

Inspektøren er ansvarlig for å samle inn data som brukes for integritetsvurderingen (Steg 2 og 3). Inspektøren veileder ROV-pilotene til aktuelle inspeksjonssteder/-punkter av interesse og er i samme kontrollrom som ROV-pilotene. For å kunne utføre oppgaven kreves det at inspektøren har god kjennskap til undervannsanlegget og de aktuelle truslene som gjelder for anlegget. Inspektørene er vanligvis sertifisert i henhold til CSWIP-DIV-7-95 Part 2 [18]. Ved mindre komplekse inspeksjoner kan en ROV-pilot ivareta inspektørrollen.

ROV-tekniker er ansvarlig for å forberede verktøy på ROV-en og for å vedlikeholde ROV-en mellom operasjonene (Steg 2 og 4). Forskjellige verktøy benyttes for å utføre ulike ROV-operasjoner, for eksempel for å betjene ventiler, utføre hot-stab, eller forberede overflater for inspeksjon. Vedlikeholdsoppgaver omfatter rengjøring av ROV-en etter operasjoner, rengjøring, kalibrering og utskifting av sensorer, påfylling av hydraulikkolje, utskifting av slitte deler, reparasjoner, m.m. I mange tilfeller kan ROV-pilotene også ivareta teknikerrollen.

Supervisoren koordinerer og støtter de ulike ROV-mannskapene (Steg 2 og 4). Det er vanlig at to ROV-er benyttes samtidig. Supervisoren fungerer som bindeledd mellom mannskapene og følger operasjonene tett for å sikre at det ikke oppstår konflikter eller problemer som for eksempel at umbilicalene floker seg sammen.

Fagpersonell (tjenesteleverandør) tilkalles i enkelte tilfeller ved behov, for eksempel geologer, materialteknikere eller andre spesialister. Under ROV-IMR-operasjonene (Steg 2 og 4) er deres tilstedeværelse ofte kun nødvendig i en begrenset periode.

2.5 MTO (menneske-teknologi-organisasjon) og Human Factors

Menneske-Teknologi-Organisasjon (MTO) er et systemperspektiv, som bygger på forståelsen av at ulike faktorer i et system kan virke sammen på komplekse måter, og derfor må analyseres helhetlig [19]. MTO-tilnærmingen benyttes for å analysere samspillet mellom menneskelige, tekniske og organisatoriske faktorer. En vanlig utfordring ved anvendelse av MTO er at de enkelte elementene (M, T og O) analyseres isolert, i såkalte silo-analyser, uten tilstrekkelig fokus på samspillet mellom dem. En helhetlig vurdering

krever innsikt i alle tre områdene, samt forståelse for hvordan faktorer innenfor disse påvirker hverandre gjensidig for å forstå hele systemet

MTO-tilnærmingen er spesielt relevant ved ROV-IMR-operasjoner, ettersom det omfatter både samhandling på tvers av ulike organisasjoner og anvendelse av ny teknologi og ikke-konvensjonelle arbeidsformer. Et helhetlig systemperspektiv er derfor nødvendig.

Human Factors er fagfeltet som belyser menneskelig yteevne i samspill med tekniske og organisatoriske faktorer i utvikling og drift av systemer. Helt grunnleggende for Human Factors er identifisering og forståelse av forhold som påvirker menneskelig ytelse [20]. Dette omfatter blant annet:

- Faktorer knyttet til selve arbeidet som utføres (f.eks. tilgjengelig tid og utforming av kontrollpanel).
- Personellrelaterte faktorer (f.eks. belastning og kapasitet).
- Organisatoriske faktorer (f.eks. roller og bemanning).

Begrepet **Human and Organisational Performance** (HOP) har i økende grad fått fotfeste blant norske olje- og gasselskaper. HOP representerer en ledelsesfilosofi som har som mål å styrke lederes forståelse for operasjonelle behov hos personell. Dette skal bidra til læring og utvikling av sikkerhetsarbeidet, og samtidig styrke robustheten i operasjonene [21].

2.6 Regelverk og standarder

Norsk regelverk og sentrale standarder som er relevante for gjennomføring av ROV-IMR-operasjoner er listet opp nedenfor og beskrives kort i det følgende:

- Petroleumsregelverket
 - Aktivitetsforskriften
 - Styringsforskriften
- NORSOK U-102:2020 Remotely operated vehicle (ROV) services
- DNV anbefalt praksis
 - DNV RP-F116 Integrity Management of Submarine Pipeline Systems
 - DNV RP-0002 Integrity Management of Subsea systems
- Øvrige standarder
 - CSWIP
 - International Maritime Contractors Association (IMCA). Det finnes relevante standarder hos IMCA, som ikke var tilgjengelig utenfor medlemskap, derfor inngår de ikke her.

2.6.1 Petroleumsregelverket

Ifølge Havtil er tilsynets oppfølging av ROV-IMR-operasjoner hovedsakelig hjemlet i følgende deler av petroleumsregelverket:

- **Aktivitetsforskriften §§ 50** om særskilte krav til tilstandsovervåkning av konstruksjoner, maritime systemer og rørledningssystemer [2].
- **Styringsforskriftens kapittel II** om risikoreduksjon [3].
- **Aktivitetsforskriftens kapittel IX** om vedlikehold [1].

Forskriftskravene er utformet som funksjonelle krav og de skiller ikke mellom aktiviteter som utføres over og under vann.¹ Dette innebærer at det i utgangspunktet ikke åpnes for lavere kvalitetskrav til inspeksjon, vedlikehold, risikostyring mv. under vann. Følgelig tar forskriftene heller ikke eksplisitt stilling til ikke-

¹ I den grad «under vann» omtales, gjelder det alltid bemannede operasjoner (dykking).

konvensjonelle ROV-IMR-konsepter. Veiledningene til forskriftene viser flere steder til anerkjente standarder som kan benyttes for å oppfylle det påkrevde sikkerhetsnivået. Regelverket viser imidlertid ikke direkte til noen av de standardene som vurderes som mest relevante for ROV-IMR-operasjoner.

Havtils forskrifter gir likevel opphav til flere temaområder og stikkord som inngår i grunnlaget for litteratursøk og dialog med industrien knyttet til oppgavens problemstillinger (ref. kapittel 3). Eksempler på slike områder er planlegging, risikovurdering, sikkerhetstiltak, beredskap, kompetanse, opplæring, inspeksjon, instrumentering, aldring m.m.

2.6.2 NORSOK U-102 Remotely operated vehicle (ROV) services

Bransjestandarden NORSOK U-102 [10] stiller en rekke tekniske, operasjonelle og administrative krav til ROV-operasjoner, samt kompetansekrav for personell. Videre gir standarden en klassifikasjon av ROV-er i åtte hovedkategorier med tilhørende underkategorier, som vist i Tabell 2.1 ovenfor. Kategoriene reflekterer i noen grad økende kompleksitet i teknologi og operasjon.

Kontroll fra land omtales kort i standarden, og følgende fremheves:

- Landbasert kontrollrom (ROC) skal være fullt ut kapabelt til å kontrollere ROV-en.
- Gode rutiner bør etableres for kommunikasjon mellom land og offshore.
- Prosedyrer må være på plass for å håndtere kommunikasjonstap og beredskap.

2.6.3 DNV anbefalt praksis

To sentrale DNV-standarder knyttet til integritetsstyring under vann er:

- **DNV-RP-0002:** *Integrity management of subsea production systems* (2019/2021) [8].
- **DNV-RP-F116:** *Integrity management of submarine pipeline systems* (2021) [15].

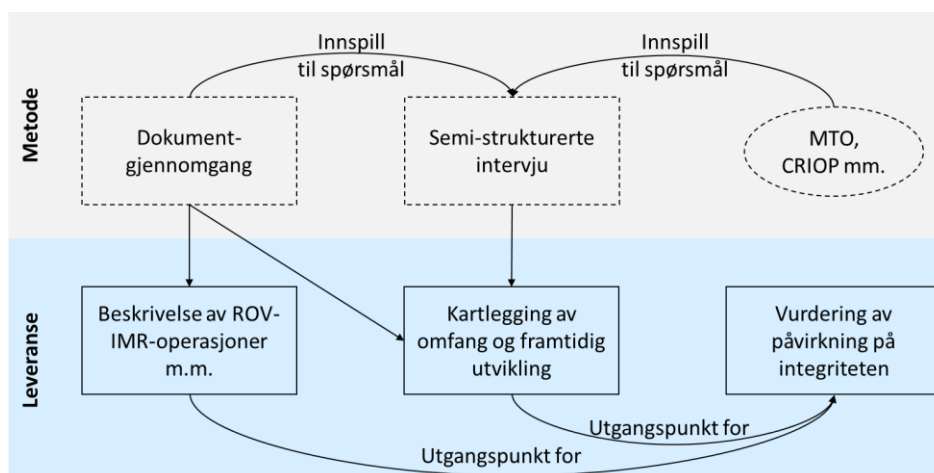
Begge standardene fremhever ROV som et anbefalt og nødvendig hjelpemiddel for integritetsstyring under vann, med særlig fokus på inspeksjon. Selve styringen av ROV-er omtales ikke i standardene, og styring fra land nevnes følgelig ikke. Roller og samhandling er heller ikke tema i standardene. DNV-standardene gir likevel en god oversikt over oppdragstyper og teknologier som inngår i grunnlaget for litteratursøk og dialog med industrien (ref. kapittel 3).

2.6.4 Certification Scheme for Personnel (CSWIP)

CSWIP-DIV-7-95-Part 2 [18] ligger til grunn for sertifisering av ROV-inspektører. Den skal sikre at inspektørene oppfyller et definert minstekrav med hensyn til ferdigheter og kunnskap knyttet til inspeksjonsmetoder, inspeksjonsteknikk, opptaksutstyr, inspeksjonsplanlegging og forståelse for operasjonene de skal gjennomføre. Standarden beskriver to sertifiseringsgrader – 3.3U og 3.4U – der 3.4U bygger på 3.3U og krever mer kunnskap og erfaring, spesielt angående dykkeoperasjoner. Det stilles krav til helse, relevant arbeidserfaring, treningskurs og bestått skriftlig og praktisk eksamen. Sertifikatene som utstedes er gyldige i fem år.

3 Fremgangsmåte og datainnhenting

En vesentlig del av informasjonen som denne oppgaven etterspør er spredt på flere kilder. En dokumentgjennomgang danner grunnlaget for både gjennomføringen av samtalene og beskrivelsen av ulike ROV-konsepter. Selskapene selv har betydelig informasjon, herunder fremtidsvisjoner, strategier samt erfaringer knyttet til styrker og svakheter med ikke-konvensjonelle ROV-konsepter. Denne informasjonen er innhentet via samtaler gjennomført som semi-strukturerte intervjuer. Samtalene komplementerer funnene fra dokumentgjennomgangen, jf. Figur 3.1. Vurderingen av ROV-konseptene og eventuelle endringer er gjennomført på et overordnet nivå, basert på det samlede informasjonsgrunnlaget.



Figur 3.1: Metodisk tilnærming til arbeidet i rapporten.

3.1 Dokumentgjennomgang

Dokumentgjennomgangen er basert på nasjonale og internasjonale prosjekter, fagrapporter, dokumenter fra Havtil og relevante organisasjoner, samt akademisk litteratur. Litteratursøk er gjennomført i databasen OnePetro² som er olje- og gassindustriens tekniske litteraturdatabase. Følgende stikkord er brukt i søket (søk etter engelskspråklige dokumenter):

- IMR, Inspection Maintenance Repair, Intervention
- Integrity assessment, Asset Integrity
- ROV, Remotely Operated Vehicle, Underwater Vehicle, Underwater Robot
- Challenges, Risk, Safety, Human factors, Innovation
- Remote Operation Center, Resident, Garage

Alle identifiserte dokumenter ble vurdert med hensyn til relevans. Dokumenter som omtaler ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter, deres utvikling, deres utbredelse, svakheter, styrker, faktorer som påvirker operasjonen og hvordan endringene påvirker situasjonsforståelse og resultat av ROV-IMR-operasjonene er vurdert som relevant. I tillegg ble det valgt ut dokumenter som beskriver integritetsvurdering av undervannsanlegg, samt tekniske, menneskelige og organisatoriske faktorer i tilknytning til ROV-IMR-operasjoner og erfaringer fra drift av ulike ROV-systemer.

Relevante dokumenter ble benyttet i beskrivelsene og vurderingene gjennom rapporten for å gi et mest mulig utfyllende bilde der dette ble vurdert som hensiktsmessig.

² <https://onepetro.org/>.

3.2 Samtaler med næringen

Det ble gjennomført samtaler med næringsaktører, inkludert olje- og gasselskaper, tjenesteleverandører og systemleverandører. Samtalene ble gjennomført i et semistrukturert intervjuformat [22], der informantene besvarte åpne spørsmål knyttet til noen utvalgte hovedtemaer, beskrevet i en samtaleguide. Samtaleformatet ble valgt fremfor formelle intervjuer for å legge til rette for en åpen og god dialog rundt oppgaven. Ved behov ble forhåndsdefinerte underspørsmål benyttet for å innhente ytterligere relevant informasjon. Samtaleguiden ble utarbeidet med bakgrunnsinformasjonen fra dokumentgjennomgangen og relevante metoder som CRIOP (Crisis Intervention and Operability Analysis) [23] og MTO-perspektivet. Havtil ga innspill til utforming av samtaleguiden.

Samtalene ble gjennomført digitalt og varte i om lag 1–1,5 time. Én representant fra SINTEF ledet samtalen, støttet av en presentasjon som inneholdt spørsmålene og relevant bakgrunnsinformasjon. To personer tok notater underveis. Både samtaleguiden og presentasjonen ble sendt til selskapene i forkant, slik at de kunne velge relevante deltakere og forberede seg. Etter samtalen ble notatene sendt til selskapene for å sikre at informasjonen var korrekt gjengitt. Ved utsending av notatene stilte SINTEF i tillegg enkelte korte oppfølgingsspørsmål.

Selskapene som ble invitert til en samtale ble valgt ut i samarbeid med Havtil. Totalt ble det gjennomført ni samtaler. Selskapene valgte selv hvilke personer som skulle delta. De totalt 24 deltakerne inkluderte IMR-avdelingsledere, fagansvarlige innen undervannsanlegg, fagingeniører, systemutviklere, myndighetskontakt, prosjektledere, prosjektingeniører og ROV-piloter. Samtalen var planlagt gjennomført på norsk, men noen selskap foretrakk å gjennomføre samtalen på engelsk. Følgende selskaper deltok i samtalene:

- Olje- og gasselskap
 - AkerBP
 - Equinor
 - Norske Shell
 - Gassco
 - Vår Energi
- IMR tjenesteleverandører og systemleverandører
 - Oceaneering
 - IKM
 - Saipem Norway (Sonsub)
 - Reach Subsea

En enkel kvalitativ analyse er gjennomført for å trekke ut relevant informasjon om aktivitetsnivå, utvikling av ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter, planer, strategier og faktorer som påvirker integritetsvurderingen. Vi benyttet tematisk analyse for å gruppere informasjonen i koder, en metode som brukes for å identifisere, analysere og beskrive mønstre i et datasett [24]. På grunn av begrenset antall samtaler, har det ikke vært mulig å gjennomføre en statistisk analyse.

3.3 Vurdering og sammenligning av ROV-IMR-operasjonskonseptene

Ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter vurderes kvalitativt opp mot og sammenlignes med konvensjonelle ROV-IMR-operasjoner. Kriteriene for vurderingen er basert på formålet med arbeidet, som er å belyse hvordan bruk av ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter kan påvirke integritetsvurdering. I tillegg er kriteriene videreutviklet og konkretisert basert på innspill fra samtalene, der aktørene har fremhevet faktorer de anser som særlig viktige. Vurderingen danner grunnlag for de videre anbefalingene og for konklusjonen.

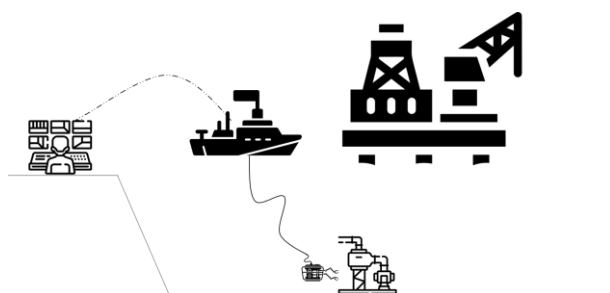
4 ROV-IMR-konsepter og teknisk utvikling

Dette kapitlet beskriver ROV-IMR-konsepter som er i bruk i dag, samt konsepter som er under utvikling og uttesting. Kapitlet bruker eksempler på konsepter, som er åpent tilgjengelig på nett. Dersom andre selskaper har lignende konsepter som ikke omtales her, innebærer det ikke at disse er mindre relevante eller av lavere kvalitet. Informasjonen som ligger til grunn for beskrivelsene er hentet fra dokumentgjennomgangen, for eksempel Dalhatu m.fl. [25], [26], Offshore magasinet's spesialrapport [27], Safesub-prosjektet [13], og informasjonen innhentet gjennom samtale.

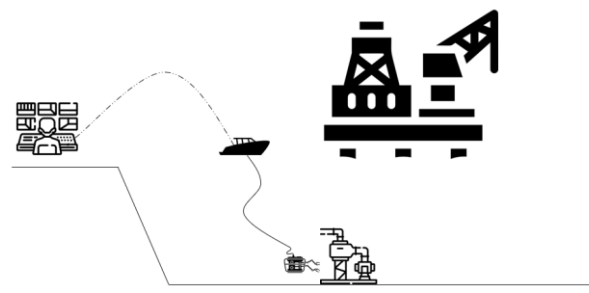
I [13] foreslås det å kategorisere nye operasjonelle ROV-konsepter basert på følgende kategorier:

- **Utplaseringskonsepter:** Beskriver hvordan ROV blir satt ut til operasjon. Se Figur 4.1 for en oversikt over utplaseringskonsepter som beskrives i denne rapporten.
- **Kommunikasjons- og ladekonsepter:** Omfatter konsepter for energi- og datakommunikasjon mellom ROV og kontrollrom. Trådløs kommunikasjon kan være akustisk (lav båndbredde, lengre rekkevidde) eller optisk (høyere båndbredde, lavere rekkevidde). Eksempler inkluderer:
 - Konvensjonell operasjon, der ROV har energi- og kommunikasjonsforbindelse via umbilical til IMR-fartøy (og eventuelt satellittkommunikasjon mellom ROC og IMR-fartøy).
 - Kommunikasjon og energitilførsel fra undervannsgarasje, der garasjen enten har ekstern, kablet energitilførsel, eller er utstyrt med et større batteri og trådløs kommunikasjon (via bølge) til IMR-fartøy og/eller ROC.
 - Trådløse undervannsfartøyer som lader ved behov.
 - Hybride løsninger, der undervannsfartøyet kan veksle mellom å operere med og uten umbilical for lading og energi.
- **Overvåkings- og kontrollkonsepter:** Omfatter ulike løsninger for styring og overvåking av ROV-operasjoner. ROV-er med umbilical muliggjør kontinuerlig styring og overvåking, mens ROV-operasjoner uten umbilical krever en høyere grad av autonomi i ROV-en, og dermed mer sporadisk involvering fra kontrollsenter. Eksempler inkluderer:
 - ROC
 - Mobil ROC i for eksempel kontainer
 - Kontrollrom på IMR-fartøy
 - Kontrollrom på offshoreinnretning
 - En kombinasjon av de nevnte

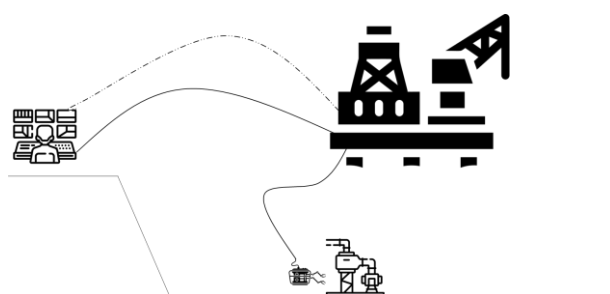
Denne rapporten har fokus på ROV-IMR-operasjoner fra ROC, og vi tar derfor utgangspunkt i dette overvåkings- og kontrollkonseptet. ROV-IMR-konseptene kategoriseres i det påfølgende hovedsakelig etter hvilken type utplaseringskonsept som benyttes. Utplaseringskonseptene i Figur 4.1 er primært utviklet med fokus på ROV-IMR-operasjoner på undervannsanlegg med begrenset geografisk omfang. For IMR-oppgaver som omfatter inspeksjon og overvåking av lang lineær infrastruktur, slik som rørledninger, vil noen av konseptene fortsatt være relevante (K1, K3, og K5). Ved bruk av konsept K1 (konvensjonelt IMR-fartøy) så kan også umbilical-frie inspeksjons-ROV-er, dvs. en AUV, benyttes.



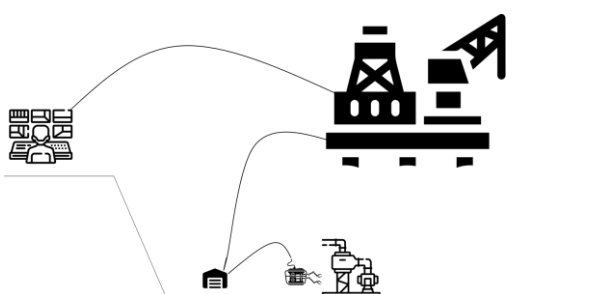
K1. Konvensjonelt ROV-konsept med IMR-fartøy.
ROV er forbundet med IMR-fartøy via umbilical. ROV-mannskap om bord IMR-fartøy. Trådløs kommunikasjon til land mulig.



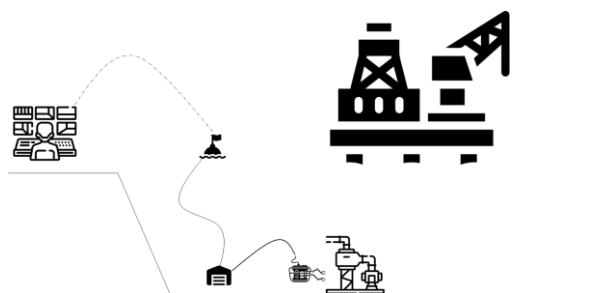
K2. ROV satt ut fra ubemannet fartøy.
ROV tilkoblet ubemannet fartøy via umbilical. Trådløs forbindelse til land.



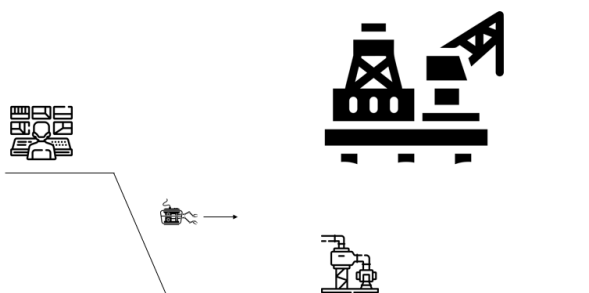
K3. ROV satt ut fra offshore innretning.
ROV styrt via umbilical. Trådløs eller kablet kommunikasjon til land.



K4. ROV med permanent garasje.
ROV oftest koblet til undervannsgarasje med umbilical. Kablet forbindelse til land.



K5. ROV med midlertidig utsatt garasje.
Umbilical mellom ROV og bøye (på havoverflaten). Trådløs forbindelse til land.



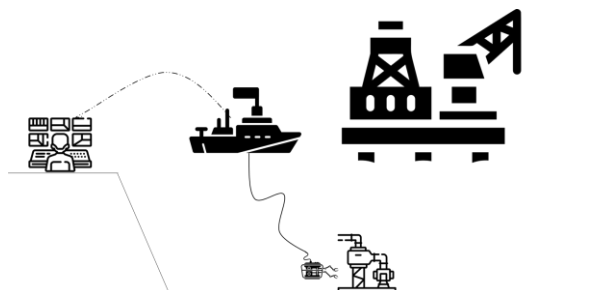
K6. ROV satt ut fra land.
ROV må operere uten kommunikasjon til land, bortsett fra hvis den f.eks. går til overflaten eller kan kommunisere via infrastruktur på havbunnen.

Figur 4.1: Oversikt over ROV-IMR-konsepter (K1-K6). Alle konseptene kan involvere, tidvis umbilical-fri tilkobling til ROV, men bruk av umbilical er vanligst, bortsett fra i K6 (ROV satt ut fra land). Stiplede linjer indikerer trådløs kommunikasjon, hele linjer indikerer dataoverføring gjennom kabel og umbilical.

4.1 K1. Konvensjonelle ROV-IMR-operasjoner fra IMR-fartøy

Det mest utbredte og dermed «konvensjonelle» konseptet for ROV-IMR-operasjoner er at ROV settes ut og styres fra et stort bemannet overflatefartøy – IMR-fartøy. Umbilical går fra IMR-fartøyet til ROV-en og muliggjør styring og overvåking av ROV-operasjonene. ROV-mannskapet, inspektør og relevant IMR-fartøymannskap befinner seg da i samme kontrollrom og kan koordinere tett under forberedelse og gjennomføringen av ROV-IMR-operasjonen.

Selv om det er fullt mannskap om bord på IMR-fartøyet for operering av ROV-ene, er det i enkelte tilfeller også mulig å styre og overvåke ROV-IMR-operasjonene fra land. Dette muliggjør blant annet involvering av eksperter som ikke er offshore, og kan frigjøre kapasitet om bord på IMR-fartøyet. Dataoverføring via satellitt eller mobilnett mellom IMR-fartøyet og land kan imidlertid gi redusert kvalitet på live-bildeoverføringen (f.eks. pikselering av bildet), noe som i enkelte tilfeller krever at video og bilder lastes ned på land etter opptak.



Figur 4.2: Konvensjonelt konsept for ROV-IMR-operasjoner.

ROV-IMR-operasjoner omfatter ofte flere lokasjoner som ligger utenfor rekkevidden til ROV-en fra én posisjon av IMR-fartøyet. I slike tilfeller tas ROV-en opp, og IMR-fartøyet flyttes til neste operasjonsområde.

Det er også gjennomført forsøk med bruk av en AID, et autonomt inspeksjonsklasse-ROV, i samspill med arbeidsklasse-ROV fra IMR-fartøy. Et eksempel er et samarbeid mellom Aker BP, Deep Ocean, Remota, Argus Remote System og Vaarst³. I dette oppsettet kunne AID-en overvåkes og ved behov styres fra Remotas operasjonsrom på land.

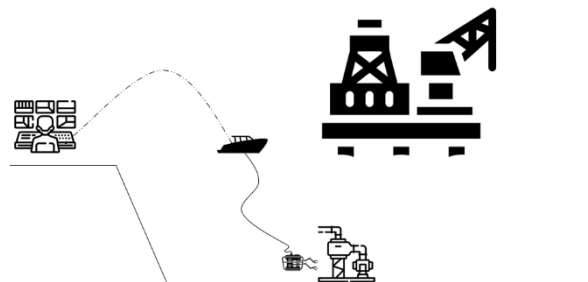
Noen styrker (+) og svakheter (-) ved konseptet er:

- + Relativt enkelt å flytte ROV-en mellom lokasjoner ved å ta den opp og flytte IMR-fartøyet til ny lokasjon.
- + Bruk av ROV fra et støttefartøy kan bidra til å øke utnyttelsesgraden av fartøyet istedenfor å mobilisere IMR-fartøy.
- + De fleste operative roller i ROV-IMR-operasjonen (kaptein på støttefartøyet, ROV-piloter, inspektør og supervisor) er samlet fysisk om bord. Dette rapporteres av enkelte som en styrke som gir mer sømløs og effektiv kommunikasjon ved planlegging og ved håndtering av eventuelle uforutsette hendelser underveis.
- + Tekniker er tilgjengelig om bord og kan ved behov reparere ROV-en eller skifte utstyr.
- Et IMR-fartøy i nærheten av en innretning utgjør en risiko for kollisjon.
- IMR-fartøy for konvensjonelle ROV-IMR-operasjoner er forholdsvis store, medfører høye driftskostnader og betydelige utslipp av klimagasser.

³ Offshore Magazine, 2024, Autonomous drone passes initial inspection trials at North Sea Alvheim Field, <https://www.offshore-mag.com/business-briefs/equipment-engineering/article/14303700/deepocean-autonomous-drone-passes-initial-inspection-trials-at-north-sea-alvheim-field>, besøkt 30. mai 2025.

4.2 K2. ROV satt ut fra ubemannet overflatefartøy

Det utvikles og testes løsninger for å kunne sette ut (og ta opp) ROV fra ubemannet overflatefartøy (USV, eng: unmanned surface vessel). Konseptene varierer fra bruk av ROV med umbilical, til undervannsfartøy med intervensjonsegenskaper uten umbilical. ROV-en opereres typisk fra et ROC, som enten kan være permanent lokalisert, eller midlertidig flyttet til området der USV-en legger til kai. ROV-en klargjøres og vedlikeholdes på land før utsending med USV-en, og når den returneres. I enkelte tilfeller kan også verktøybytter og lignende operasjoner utføres automatisk om bord på USV-en.



Figur 4.3: Konseptskisse for ROV satt ut fra ubemannet overflatefartøy.



Figur 4.4: Reach Subsea med partnere er et eksempel på teknologi hvor ubemannet overflatefartøy brukes i kombinasjon med ROV. Bildet er gjengitt med tillatelse fra Reach Subsea.

Eksempler på teknologi innen denne konseptkategorien inkluderer blant annet *Reach Remote 1* fra Reach Subsea med partnere. Dette omfatter et 24 meter langt USV med en arbeidsklasse-ROV om bord, styrt og overvåket fra ROC⁴, se Figure 4.4.

Et annet eksempel er «Aquanaut»⁵ fra Nauticus Robotics — et undervannsfartøy med intervensjonsegenskaper uten umbilical, som settes ut og hentes inn med et USV. Siden *Aquanaut* ikke er forbundet med umbilical, er kommunikasjonen til og fra fartøyet mer begrenset. Dette innebærer at operasjonene i større grad må utføres autonomt, sammenlignet med mer konvensjonelle løsninger der ROV-er styres kontinuerlig fra et ROC.

Aquanaut-konseptet kombinert med USV å ha noe lavere teknologimodenhet enn Reach Remote 1. Sammenligningen av Aquanaut-konseptet og Reach Remote 1 baseres på at Reach Remote 1-fartøyet er levert i mai 2025 og utstyres med ROV til pilotprosjekt med bl.a. Equinor og TotalEnergies⁶. Nauticus Robotics har rapportert sin andre “acceptance test” med Aquanaut i basseng i februar 2025⁷. Mens for kombinasjon av Aquanaut og USV så har de 10. juni annonsert et samarbeid fremover med USV-leverandør Open Ocean Robotics⁸.

⁴ Offshore Magazine, januar 2025, Reach Subsea prepares first uncrewed vessels for multi-field North Sea surveys, <https://www.offshore-mag.com/vessels/news/55263218/reach-subsea-prepares-first-uncrewed-vessels-for-multi-field-north-sea-surveys>, besøkt 30. mai 2025.

⁵ Nauticus Robotics, Product Sheet, “Aquanaut – the future of underwater robotics”, <https://nauticusrobotics.com/aquanaut/>, lastet ned 29.05.2025.

⁶ Maritimt Magasin, mai 2025, Reach Remote 1 2025-05, <https://maritimt.com/reach-remote-1-2025-05>, besøkt 13. juni 2025.

⁷ Offshore Energy, februar 2025, US autonomous subsea robot enters acceptance testing phase, <https://www.offshore-energy.biz/us-autonomous-subsea-robot-enters-acceptance-testing-phase/>, besøkt 13. juni 2025.

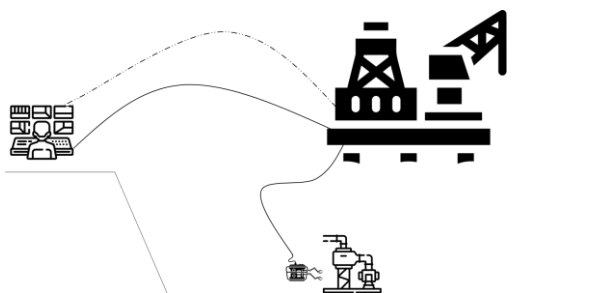
⁸ Offshore Energy, juni 2025, Nauticus Robotics and Open Ocean Robotics team up on subsea asset monitoring, <https://www.offshore-energy.biz/nauticus-robotics-and-open-ocean-robotics-team-up-on-subsea-asset-monitoring/>, besøkt 13. juni.

Noen styrker (+) og svakheter (-) ved konseptet er:

- + Gir mulighet for å flytte ROV mellom undervannsanlegg ved å ta opp ROV-en fra ett anlegg og sette den ut ved et annet. Det er tilsvarende som ved konvensjonelle ROV-IMR-operasjoner.
- + Kan gi lavere driftskostnader og redusert miljøavtrykk sammenlignet med bruk av et (stort) bemannet IMR-fartøy. I tillegg kan et USV normalt mobiliseres enklere og med kortere varsel enn et IMR-fartøy.
 - Hvis et IMR-fartøy likevel befinner seg i området der ROV-en trengs, og operasjonen kan utføres i en periode der fartøyet uansett er tilgjengelig, kan disse fordelene være mindre.
 - Mulighet for å sette ut ROV er vær- og sjøtilstandsavhengig, spesielt når det brukes mindre USV.

4.3 K3. ROV satt ut fra offshoreinnretning

Noen offshoreinnretninger (oljeplattformer, Floating Production Storage and Offloading (FPSO)) kan ha én eller flere mindre ROV-er (f.eks. < 30 kg) som kan settes ut for inspeksjon i området rundt innretningen og på infrastruktur knyttet til innretningen (f.eks. stigerør). Konseptet kan innebære at ROV med midlertidig operasjonscontainer og tilhørende personell sendes offshore, hvor ROV-en deretter opereres enten fra innretningen eller fra et ROC. ROV-en sjøsettes ved hjelp av kraner om bord på innretningen eller fra dykkerdekk (plattform) for hånd (kun mindre ROV-er).



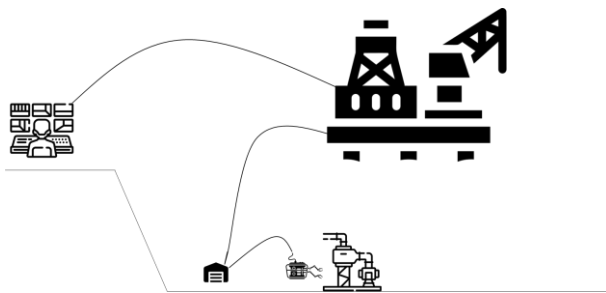
Figur 4.5: Konseptskisse for ROV satt ut fra offshoreinnretning

Noen styrker (+) og svakheter (-) ved konseptet er:

- + ROV-en kan settes ut relativt raskt og benyttes fleksibelt.
- ROV-personell må oppholde seg på offshore-innretningen.
- Operasjonscontainere som benyttes offshore kan ha dårlig inneklima.

4.4 K4. ROV med permanent garasje

Kjennetegnet for dette konseptet er at ROV-en er stasjonert i arbeidsområdet over lengre tid — typisk i flere måneder mellom hver gang den tas opp. ROV-en har tilhørende infrastruktur i form av en «garasje», som benyttes for energiforsyning og kommunikasjon med kontrollrom på land og offshore. Garasjen kan også inneholde ulike verktøy som ROV-en kan hente og benytte under operasjoner. ROV-er som opererer fra slike garasjer omtales gjerne som residente ROV-er, eller «fastboende» ROV-er. I denne rapporten benyttes betegnelsen permanent garasje, selv om både garasjen og ROV-en i praksis må tas opp med jevne mellomrom for vedlikehold siden ROV-er er tilknyttet et felt.



Figur 4.6: Konseptskisse for ROV med permanent garasje.

Permanente garasjer muliggjør kablet kommunikasjon mellom offshore and ROC. Verdens første kommersielle landstyrte operasjon med en arbeidsklasse ROV ble gjennomført av IKM Subsea (R-ROV) i 2017

på Snorre B-feltet til Equinor⁹. ROV-en som ble brukt var en ROV med tilhørende garasje. Industrien arbeider med å forlenge tiden mellom nødvendig vedlikehold.

Det finnes ulike former for ROV-er med permanent garasje. Enkelte er alltid koblet til en umbilical (f.eks. R-ROV fra IKM), andre er designet for å kunne operere både med og uten umbilical (f.eks. Hydrone-R fra Saipem¹⁰, og Sabertooth fra Saab¹¹), mens enkelte opererer hovedsakelig uten umbilical. Når ROV-en kan bevege seg over større avstander uten umbilical, åpner dette for at ROV-en kan forflytte seg autonomt mellom undervannsanlegg. I slike tilfeller vil det kunne være behov for gasjer på hvert anlegg, og det må gjøres en kost-nyttevurdering av om slik infrastruktur er hensiktsmessig. Det er ikke kjent for oss at konsepter der ROV kan bevege seg mellom undervannsanlegg og gasjer er operasjonalisert i særlig grad. Slike løsninger vil trolig være mest hensiktsmessige for felt med flere undervannsanlegg spredt over et relativt begrenset område.

Det finnes ulike former for gasjer. Noen er spesielt utformet for en bestemt ROV-type og har integrert TMS for ROV-en. Et eksempel er R-ROV-systemet fra IKM, som er stasjonert på Snorre B-feltet (se Figur 4.7(a)). Andre gasjetyper er bygget for å kunne benyttes av flere typer undervannsfartøy, men har da gjerne mer begrenset funksjonalitet og utstyr. Et eksempel på dette er Subsea Docking Station fra BlueLogic (se Figur 4.7 (b)) som i hovedsak fungerer som en «ladeplate». Ulike ROV-er og andre undervannsfartøy er tilpasset for å kunne lade på slike dokkingstasjoner, blant annet *Freedom AUV* fra Oceaneering og *M-serien* fra Eelume¹². Ved integrasjon mellom Subsea Docking Station og Hydrone-R fra Saipem er det også mulig å koble til umbilical, slik at Hydrone-R kan fjernstyres av pilot. Saipem rapporterte i 2024 om kontinuerlig neddykking av deres *Hydrone-R* på Equinors Njord-felt i 167 dager.

Noen styrker (+) og svakheter (-) ved konseptet er:

- + «Alltid» tilgjengelig. Ikke avhengig av for eksempel værvindu som tillater at overflatefartøy kan operere, eller av tid som kreves for å mobilisere og flytte IMR-fartøy til området for utsetting av ROV. Dersom IMR-fartøyet allerede befinner seg i området der ROV-en trengs, vil forskjellen i responstid være mindre.
- + Kan gi lavere driftskostnader og redusert miljøavtrykk sammenlignet med bruk av et (stort) bemannet IMR-fartøy.
- Med dagens konsepter og tilgjengelig havbunnsinfrastruktur er man som regel begrenset til ROV-operasjoner på ett undervannsanlegg.

⁹ Offshore Engineer, 2017, Milestone in remote ROV control achieved in Norway, <https://www.oedigital.com/news/446329-milestone-in-remote-rov-control-achieved-in-norway>, besøkt 30. mai 2025.

¹⁰ Saipem, The new technological frontier for subsea operations, <https://www.saipem.com/en/solutions-energy-transition/robotic-solution>, besøkt 30. mai 2025.

¹¹ Saab, Sabertooth, <https://www.saab.com/products/sabertooth>, besøkt 30. mai 2025.

¹² Eelume, M-series, <https://www.eelume.com/eelume-m-series>, besøkt 30. mai 2025.



(a) IKM's R-ROV med tilhørende «garasje»,

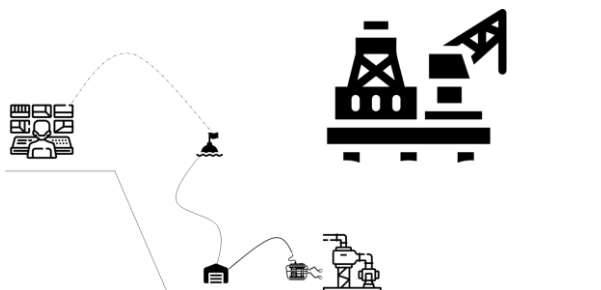


(b) Saipem's Hydrone-R med Subsea Docking Station (SDS) fra BlueLogic^{13, 14}.

Figur 4.7: Eksempler på ulike typer ROV-undervannsgarasjer. Bildene gjengitt med tillatelse fra henholdsvis IKM og Saipem.

4.5 K5. ROV med midlertidig utsatt garasje

ROV med «midlertidig utsatt» garasje omfatter konsepter hvor ROV og garasje settes ut i havet og ikke har behov for at IMR-fartøy eller andre ressurser er i nærheten under ROV-operasjoner. Det omtales som en midlertidig utsatt garasje fordi både garasjen og ROV-en kan tas opp og flyttes til et annet område ved behov. Behovet for mannskap offshore rapporteres å være lavt, så lavt som at kun én person er nødvendig for å kunne sette ut og ta opp ROV-en med garasjen, samt utføre vedlikehold ved behov.



Figur 4.8: Konseptskisse for ROV med midlertidig garasje.

Garasjen kan inneholde en batteripakke som muliggjør drift i opptil flere uker. Kommunikasjon mellom ROV og kontrollrom skjer trådløst, for eksempel via en bølge som flyter i havoverflaten og er koblet til ROV-garasjen via kabel. ROV-en kan styres fra ROC eller fra andre kontrollrom (for eksempel på IMR-fartøy).

Et eksempel på denne teknologien er *Liberty Resident System* fra Oceaneering¹⁵, se Figur 4.9. Systemet benyttes hovedsakelig for arbeidsklasse-ROV-er, men er også designet for bruk med andre typer undervannsfartøy. Tiden mellom hver gang IMR-fartøy må hente opp ROV-en og garasjen avhenger blant annet av hvilken type ROV-IMR-operasjoner som utføres. Oceaneering rapporterer for eksempel at ROV-en ble brukt i 34 dager sammenhengende for stigerørsinspeksjon uten at den måtte tas opp.¹⁶

Noen styrker (+) og svakheter (–) ved konseptet er:

- + Ikke behov for IMR-fartøy bortsett fra når garasjen og ROV-en settes ut og tas opp.

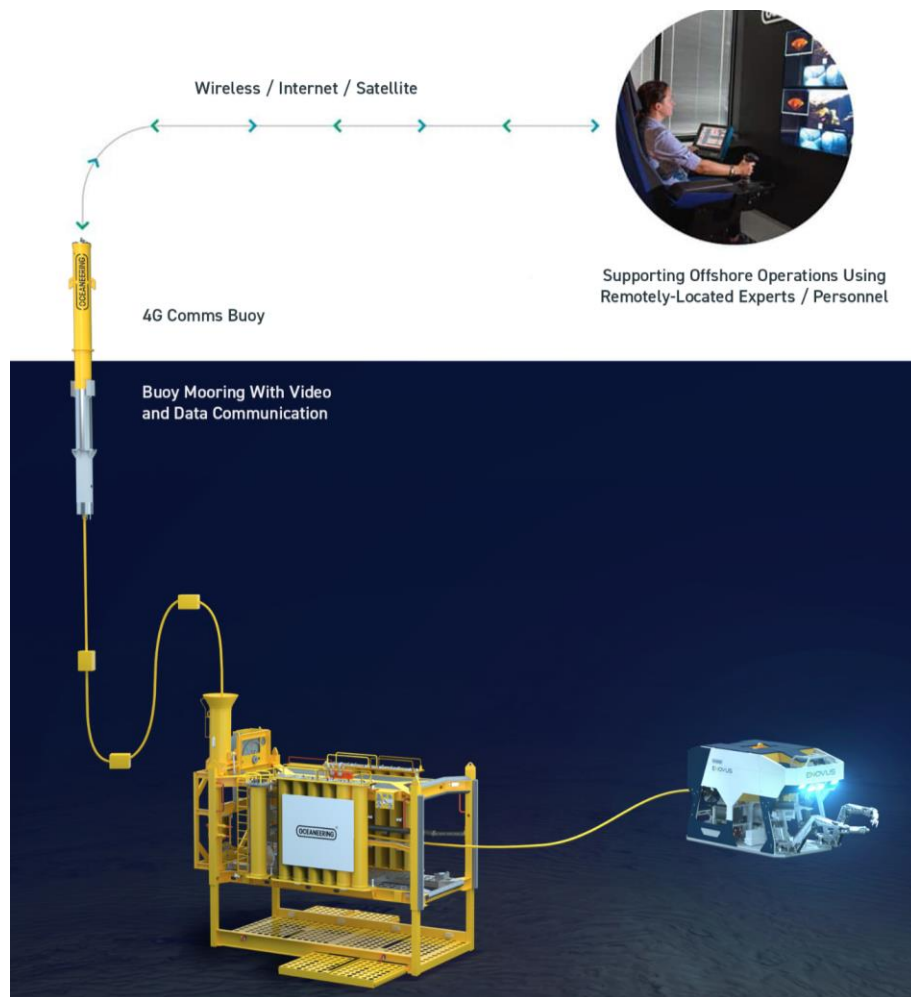
¹³ BlueLogic SDS, <https://www.bluelogic.no/news-and-media/subsea-docking-station-sds->, besøkt 30. mai 2025.

¹⁴ Blue Logic Part of World Record, <https://www.bluelogic.no/news-and-media/blue-logic-part-of-world-record>, besøkt 30. mai 2025.

¹⁵ Oceaneering, Liberty Resident System, <https://www.oceaneering.com/rov-services/next-generation-subsea-systems/liberty-resident-system/>, besøkt 30. mai 2025.

¹⁶ Oceaneering, Liberty™ E-ROV demonstrates capabilities at Snorre-A, <https://www.oceaneering.com/case-studies/liberty-e-rov-demonstrates-capabilities-at-snorre-a/>, besøkt 30. mai 2025

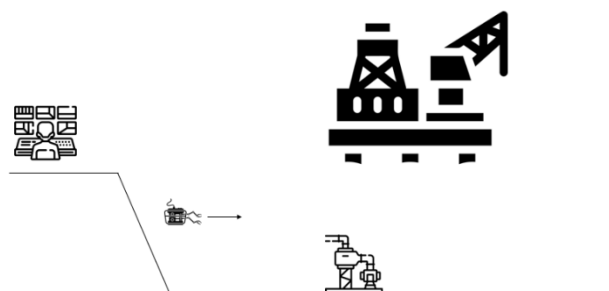
- + Kan benyttes selv når vær- og sjøforhold gjør at IMR-fartøy ikke kan operere i området, forutsatt at garasje og ROV ble satt ut i forkant.
- + Kan flyttes mellom undervannsanlegg (ved å tas opp ROV-en samt garasjen til IMR-fartøy og kjøres til nytt anlegg).
- Må tas opp oftere sammenlignet med permanente garasjeløsninger.
- Trådløs forbindelse til kontrollrom kan i enkelte tilfeller føre til redusert kvalitet på overført data (for eksempel bilder og video).



Figur 4.9: “Liberty Resident System” fra Oceaneering. Bildet gjengitt med tillatelse fra Oceaneering.

4.6 K6. ROV satt ut fra land

I dette konseptet settes ROV-en ut fra land og beveger seg autonomt til arbeidsområdet ute i havet. Konseptet kan også omfatte at ROV-ene i tillegg beveger seg mellom ulike arbeidsområder. Det kan være behov for påfyll av energi til havs, for eksempel ved bruk av fastmonterte ladeplater, som beskrevet i kapittel 4.4. På land kreves det noe infrastruktur (f.eks. kran) og personell for å sette ut og ta opp ROV-en. ROV-er som kan settes ut fra land, kan også være



Figur 4.10: Konseptskisse for ROV satt ut fra land.

egnet for å settes ut fra et fartøy. ROV-ene opererer i hovedsak uten kontinuerlig støtte fra et overflatefartøy.

ROV-pilotene sitter på land enten i en fast ROC eller i en mobil container som kan flyttes rundt sammen med ROV-en. Siden ROV-ene opererer over lengre tidsrom uten støttefartøy eller annen kommunikasjonsinfrastruktur i nærheten, kreves det at de kan operere autonomt. ROV-ene må kunne navigere trygt og effektivt, for eksempel ved å følge en rørledning eller bevege seg autonomt ut til arbeidsområdet der de skal benyttes.

ROV-ene som benyttes i dette konseptet er en hybrid mellom AUV-er, som er designet for ferdsel over lengre distanser, og ROV-er som er utviklet for intervensjon innenfor et begrenset område. Dermed egner ROV-ene seg både til inspeksjon og intervensjon på rørledninger og lokalt avgrensede undervannsanlegg. ROV-er med overnevnte egenskaper har blitt beskrevet tidligere i denne rapporten. Aquanaut¹⁷ fra Nauticus Robotics har tidligere hatt hovedfokus på operasjoner hvor ROV ble satt ut fra land. Basert på selskapets nettsider og nyhetsomtale (nevnt i fotnote i kap. 4.2) så er det noe uklart hvorvidt dette fortsatt er et hovedfokus, eller om hovedfokus er på bruk av ROV-en i kombinasjon med bl.a. USV. «Freedom AUV» fra Oceaneering, og Saabertooth fra Saab, har evne til å bevege seg over lengre avstander, og kan i tillegg lade underveis hvis egnet ladeinfrastruktur er tilgjengelig.

Noen styrker (+) og svakheter (-) ved konseptet er:

- + Dersom teknologien fungerer tilstrekkelig, kan dette avlaste pilotene ved at det er mindre behov for tett oppfølging av ROV-en under oppdrag.
- Krever avansert teknologi, høy grad av autonomi, samt evne til både lang rekkevidde og intervensjon.
- Svært begrenset kommunikasjon med ROC gjør at ROC ikke får løpende informasjon om tilstand og fremdrift i oppdraget, samt at inspeksjonsresultatene først er tilgjengelig etter ROV-en har blitt hentet opp.

¹⁷ Aquanaut fra Nauticus Robotics, <https://nauticusrobotics.com/aquanaut/>, besøkt 30. mai 2025.

5 Status og planer for bruk og videre utvikling av ulike ROV-IMR-konsepter

5.1 Omfang og erfaringer med de ulike ROV-IMR-konseptene

5.1.1 På den norske sokkelen

På norsk sokkel er konvensjonelle ROV-IMR-konsepter (K1) fortsatt dominerende i bruk, anslått til 90–99 % av ROV-IMR-operasjonene. Det er vanskelig å anslå fordelingen av inspeksjonsomfang på kilometer rørledninger eller antall undervannsanlegg som inspiseres med ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter. Det er også store variasjoner mellom olje- og gasselskaper, avhengig av selskapenes størrelse og typen innretninger de opererer.

Når det gjelder ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter, er det økende interesse og aktiv testing på norsk sokkel. De fleste konseptene er fortsatt i en test- og utviklingsfase, og flere kvalifiseringsforsøk foregikk i perioden da denne rapporten ble utarbeidet. De fleste konseptene beskrevet i kapittel 4 er enten testet eller i bruk i et visst omfang. Spesielt styring av ROV-er satt ut fra konvensjonelle IMR-fartøy fra landbasert ROC (K1) benyttes i dag relativt hyppig. ROV-er, spesielt mindre enheter, som settes ut fra offshoreinnretninger (K3) benyttes også regelmessig til inspeksjon av stigerør og innretningens understell. ROV-IMR-operasjoner fra USV-er (K2), samt fra ROV-er med permanent og midlertidig utsatt undervannsgarasje (henholdsvis K4 og K5) er testet ut. Resultatene fra de tre sistnevnte ROV-IMR-operasjoner har vært benyttet i begrenset omfang innenfor integritetsvurdering. ROV-er satt ut fra land (K6) er i en tidlig fase av uttesting, men vurderes som relevante særlig for inspeksjon av rørledninger.

Alle olje- og gasselskaper som deltok i samtalene ser potensialet i de ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konseptene, og er interessert i den videre utviklingen. Flere av olje- og gasselskapene har testet ut ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter, hovedsakelig K1 - K5. Når det gjelder bruk av slike konsepter, ser man et tydelig skille mellom to grupper blant selskapene:

- De som aktivt samarbeider med tjenesteleverandører for å ta i bruk ikke-konvensjonelle systemer.
- De som inntar en mer avventende holdning og venter til konseptene er tilstrekkelig modne og kvalifiserte.

Både olje- og gasselskaper og tjenesteleverandører trekker gjerne frem redusert karbonavtrykk og lavere kostnader som viktige fordeler ved de ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konseptene. I enkelte tilfeller rapporteres det om reduksjon i karbonavtrykk på opptil 75 % sammenlignet med konvensjonelle ROV-IMR-operasjoner¹⁸. I tillegg gir landbasert personell økt fleksibilitet og komfort og lavere risikonivå sammenlignet med offshorepersonell.

Samtidig nevnes det enkelte utfordringer. I noen geografiske områder er det begrenset dekning av mobilt bredbånd, og stor avhengighet av satellittkommunikasjonssystemer som Starlink, som fremheves som en potensiell sårbarhet. For USV-er (K2) kan tilsiktet forstyrrelse av navigasjonssatellitt-signaler (jamming) være en utfordring, spesielt i nordområdene.

¹⁸ Offshore Mag, november 2020, 'Empowered' ROV provides reliable remote monitoring option <https://www.offshore-mag.com/subsea/article/14185167/oceaneering-empowered-rov-provides-reliable-remote-monitoring-option>, besøkt 12. juni 2025.

En annen utfordring som flere selskaper peker på, er påliteligheten til ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter. En systemfeil kan medføre betydelig nedetid i systemet og forsinkelser i IMR-operasjonen. Noen konsepter har imidlertid vist høy pålitelighet over lengre tidsperioder. Noen rent elektriske systemer finnes allerede i markedet eller er under utviklingen. Uttesting viser at de er like eller mer pålitelige enn konvensjonelle ROV-er. For eksempel blir det ikke noen oljelekkasjer. Men elektriske ROV-er har mindre kraftytelse. I slike tilfeller utrustes ROV-ene med hydraulikkskider.

5.1.2 Internasjonalt

Konvensjonelle ROV-IMR-konsepter er fremdeles standard i de fleste regioner. Olje- og gassindustrien beskrives generelt som konservativ. Flere av samtaledeltakerne anser at norsk sokkel er i front med testing og implementering av ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter. Det ble fremhevet at det å starte utvikling og uttesting i Norge gir et godt utgangspunkt for å få aksept og tillatelse til bruk i andre land. Som moteksempel ble det nevnt at for noen år siden var Storbritannia ledende i å teste ut autonome IMR-løsninger i Nordsjøen.

Det kan nevnes at ROV-er satt ut fra IMR-fartøy og styrt fra landbasert ROC (K1), innretningsbaserte ROV-operasjoner med ROC på land (K3), og operasjoner med ROV-er som kan frakobles umbilical, har blitt testet i andre regioner – blant annet i Mexicogolfen og i Brasil¹⁹. Generelt er det fortsatt behov for å overbevise olje- og gasselskaper om modenheten og påliteligheten til de ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konseptene. Internasjonalt må man også ta høyde for regulatoriske forskjeller mellom land og for geopolitisk risiko. Ikke alle land tillater at ROV-er fjernstyres fra et annet land, eller gir godkjenning for bruk av USV-er.

5.2 Strategier, prioriteringer og videre planer rundt de ulike ROV-IMR-konseptene

5.2.1 Olje- og gasselskap

Det forventes en økning i behovet for IMR-operasjoner, som følge av økt antall undervannsanlegg, aldring av eksisterende undervannsanlegg og tilknyttet behov for oppfølging av disse. De fleste olje- og gasselskaper har foreløpig ikke en overordnet strategi for valg av ROV-IMR-konsepter, men velger det alternativet som til enhver tid vurderes som best egnet for å gjennomføre IMR-oppgavene. Ett selskap har imidlertid et formalisert mål om å redusere antall personell offshore. Dette reflekteres også i selskapets kontrakter – for eksempel gjennom krav om at minst én ROV skal styres fra land ved IMR-operasjoner.

Alle selskaper som var med på samtalene ser for seg å ta i bruk ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter for å optimalisere integritetsstyring av undervannsanlegg. Ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter ble flere ganger beskrevet som nye eller andre verktøy i verktøykassen. Det er derfor sannsynlig at andelen ikke-konvensjonelle ROV-IMR-operasjoner vil øke i fremtiden.

Mange understreket at teknologien må være tilstrekkelig kvalifisert, blant annet gjennom dokumentert kvalitet på resultatene. Som nevnt tidligere er parameterne som kostnad, miljøfotavtrykk, tilgjengelighet, pålitelighet, behov for vedlikehold og robust kommunikasjonslink mellom land ROC og ROV-ene viktige.

Enkelte selskaper nevnte at også datakvaliteten er en viktig faktor i beslutningen. Spesielt dersom data kun blir tilgjengelig etter at ROV-inspeksjonen er gjennomført. Eller om det uansett er nødvendig å sende ut et

¹⁹ Offshore Mag, august 2023, Operators ramping up AUV/ROV efforts offshore, <https://www.offshore-mag.com/vessels/article/14296152/operators-ramping-up-auv-rov-efforts-offshore>, besøkt 12. juni 2025.

IMR-fartøy for å utføre vedlikehold, vil ikke-konvensjonelle konsepter i slike tilfeller kunne ha begrenset nytteverdi.

Når det gjelder tilgjengelighet av ROV-IMR-operasjoner, ble det nevnt at ROV-er med garasje (K4 og K5) kan være en fordel om vinteren, når været ofte er for dårlig til å sjøsette og løfte ROV-er. Dette vil kunne åpne for bedre kontinuitet i integritetsovervåkingen gjennom vintermånedene.

5.2.2 System- og tjenesteleverandører

System- og tjenesteleverandører retter seg i stor grad etter behovene og ønskene til olje- og gasselskapene. Dette innebærer at det er behov for tett samarbeid mellom leverandørene og olje- og gasselskapene for å videreutvikle og tilpasse de ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konseptene til fremtidige behov. Trenden med landbasert kontroll ser ut å fortsette. Flere tjenesteleverandører er derfor i gang med å bygge ut sine kapasiteter for å støtte landbasert kontroll av ROV-er, både med tanke på operasjoner fra konvensjonelle IMR-fartøy (K1) og fra USV-er (K2).

Flere behov ble nevnt som leverandørene har lagt merke til:

- Mer fleksible løsninger som også kan brukes kostnadseffektivt på små og mellomstore undervannsanlegg.
- Tilrettelegging for ROV-er med permanent garasje i nye feltutbygginger, som en integrert del av driftskonseptet.
- Utvikling av bedre løsninger for intervensjon, slik at ikke-konvensjonelle ROV-er blir mer fleksible og uavhengige med hensyn til verktøybruk.

Det ble også påpekt at kostnad ikke bør være den eneste faktoren som avgjør om ny teknologi tas i bruk. Andre aspekter som bedre datakvalitet, nye metoder for innsamling og analyse av data, samt mulighet for hyppigere tilstandsovervåking ble trukket frem som faktorer som bør inngå i kost-nytte-vurderingene.

I en artikkel i Offshore magasinet [27, p. 48 ff.] om ROV-IMR-operasjoner fra USV-er beskrives en visjon der ROC-en skal kunne håndtere ulike typer systemer fra forskjellige leverandører. ROC-en anses som en mulighet for økt samhandling på tvers av disipliner, noe som vil kunne bidra til flere innovative løsninger. Ifølge artikkelen er det mulig at dette vil føre til etablering av nye roller lokalisert i ROC-en for å øke fleksibiliteten i operasjonene. En slik utvikling vil kreve økt samarbeid og tillit på tvers av aktørene i industrien.

6 Vurdering av ROV-IMR-operasjonskonseptene

Dette kapittelet beskriver SINTEFs vurdering av ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter. Kapittel 6.1 oppsummerer sentrale ytelses- og risikopåvirkende faktorer relatert til ROV-IMR-operasjoner. Kapittel 6.2 bygger på disse og beskriver vurderingen av endringer i arbeidsflyt. Kapittel 6.3 oppsummerer vurderingen av ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter basert på utvalgte kriterier.

6.1 Ytelses- og risikopåvirkende faktorer

Ytelsespåvirkende faktorer kan defineres som "forhold som er identifisert å ha signifikant betydning for funksjoner og elementers evne til å fungere som tiltenkt" [28, p. 12]. Ytelsespåvirkende faktorer omfatter mennesker, teknologi og organisasjon og samspillet mellom disse.

Human Factors utfordringer

Ho m.fl. [29] oppsummerer noen utfordringer knyttet til Human Factors som ble identifisert i 2011, og som påvirker ytelsen og effektiviteten av ROV-operasjoner. Disse utfordringene er:

- Redusert sensorisk informasjon og romlig forståelse.
- Kontroll og navigering av ROV-er.
- Arbeidsmengde og situasjonsforståelse.
- Tillit til ROV-en og ROV-ens pålitelighet.

Siden artikkelen ble publisert har det blitt jobbet med disse utfordringene. Ny teknologi har blitt utviklet og tatt i bruk, men utfordringene er fremdeles aktuelle. Ett selskap fremhevet at de har integrert kontrollrom i fartøyet og at arbeidsforholdene for ROV-mannskapet er veldig gode og mye bedre enn å jobbe fra container, som har vært standard kontrollrom i mange år. Den fysiske utformingen av kontrollrommene er ansett som mye bedre nå enn for ti år siden. Derfor har mange selskap speilet landbaserte kontrollrom etter de kontrollrommene som er på IMR-fartøy eller lignende fartøy.

Situasjonsforståelse er et sentralt begrep og kan defineres som «oppfatning av elementene i miljøet innenfor en gitt tids- og romlig ramme, forståelsen av deres betydning, og projeksjonen av deres status i nær fremtid» [30]. Situasjonsforståelse i sammenheng med ROV-IMR-operasjoner omfatter flere viktige aspekter:

- Situasjonsforståelse blant ROV-pilotene under en operasjon: Hvor er ROV-en? Hvor er umbilical-en? Hvor er andre ROV-ene? Hvordan er informasjonen strukturert på skjermen?
- Situasjonsforståelse for inspektøren, og fagpersonell i samspill med pilotene: Er det et relevant funn på skjermen? Hvor befinner funnet seg? Hvordan har tilstanden endret seg siden forrige inspeksjon?
- Situasjonsforståelse mellom ROV-piloter, supervisor, selskapsrepresentant, offshorepersonell på offshoreinnretningen og landbasert personell under en ROV-IMR-operasjon: Hvor er ROV-en? Hvilken oppgave utføres på undervannsanlegget? Er undervannsanlegget i en sikker tilstand? Hvor er IMR-fartøyet?

ROV-IMR-operasjoner gjennomføres med distribuert situasjonsforståelse. Det betyr at informasjonen er fordelt mellom flere mennesker og systemer som gir et større bilde av situasjonen [31]. Teorien om distribuert situasjonsforståelse belyser hvordan informasjon deles og hvordan samhandling foregår mellom ulike aktører – eller agenter – i et system. Ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter kan føre til at informasjon spres mellom flere aktører, noe som kan øke kompleksiteten knyttet til situasjonsforståelse.

Ny teknologi, mennesker og organisasjon

Noen informanter fokuserer på *fordelene* ved ny teknologi. De påpeker at personell kan bli slitne og utmattet (fatigued) under inspeksjon hvor de kan tilbringe flere dager foran en skjerm. Det er utfordrende for inspektører å opprettholde oppmerksomheten og få med seg alle detaljer, for eksempel under rørlednings-inspeksjoner. Ny teknologi kan bidra til mer konsistente inspeksjoner, noe som ikke alltid kan garanteres ved bruk av manuelle ROV-IMR-operasjoner utført av piloter. Det understrekes også at teknologien blir stadig bedre.

Noen typer innretninger eller spesifikke ønskede resultater kan fortsatt kreve menneskelig inngripen for å finne feil eller for å manøvrere ROV-en eller annet verktøy trygt inn på riktig sted. Ett eksempel er navigering av ROV-er inn i strukturer som gjør det mulig å få et mer inngående innblikk i de indre delene av anlegget. I SINTEFs vurdering er det derfor viktig å tilrettelegge for menneskelig bruk av systemene, slik at oppgavene kan oppfylles på riktig måte og med god kvalitet.

Andre informanter peker også på *utfordringer* knyttet til ny teknologi. Det fremheves at fullt automatisert datainnsamling under inspeksjoner har sine begrensninger. For eksempel kan det være nødvendig å gjennomføre tilleggsinspeksjoner dersom datakvaliteten er utilstrekkelig eller når det er behov for å inspisere spesifikt utstyr nærmere, for eksempel ved mistanke om en mindre lekkasje eller skade. Dersom dataene kun analyseres i etterkant av toktet, kan dette forsinke oppdagelsen av mulige trusler. Dette vil kunne føre til at slike funn håndteres forsinket, samt svekke tilliten til automatisert datainnsamling.

Utne m.fl. [32] viser til «kjerne-motsigelsen» med autonome (høy-automatiserte) operasjoner. Kjerne-motsigelsen er at jo høyere graden av automatisering er, desto mindre behov og krav stilles det til piloten under normal drift. Men dersom noe uforutsett skjer, stilles det plutselig høye krav til piloten, som må forstå situasjonen raskt uten å ha vært tett involvert tidligere i operasjonen. Simulering og trening er nødvendig for å utvikle effektive piloter. Når man utvikler høy-automatiserte systemer, må det derfor tas hensyn til at ROV-pilotene må håndtere slike situasjoner. Ytelsespåvirkende faktorer som bør tas i betraktning omfatter for eksempel miljøforhold, situasjonsforståelse og alarmer, type operasjon, kommunikasjon (inkl. ROV-kontrollrom), usikkerheter, utstyr, prosedyrer, erfaring og ekspertise, m.m.

Johnsen m.fl. [33] gir veiledning om hva man burde ta hensyn til i utformingsfasen av fjernstyrte systemer med ROC, hvor brukerinvolvering er et av de sentrale momentene. I flere av samtalene kom det frem at det ble tatt hensyn til disse temaene ved utforming av ikke-konvensjonelle konsepter. Det er imidlertid ikke mulig å konkludere fra samtalene om det er ivarettatt i alle konseptene og om graden er tilstrekkelig.

Når inspektører samtidig fungerer som ROV-piloter, kan dette være utfordrende, da det stilles høye krav til både presisjon og konsentrasjon. For eksempel kan det bli krevende å håndtere umbilical samtidig som man gjennomfører en kompleks ROV-IMR-operasjon. Kabelen kan for eksempel sette seg fast i en anode, noe som kan føre til at ROV-en låser seg fast i en undervannsstruktur. Inspeksjoner bør alltid inkludere et dedikert sett med øyne som utelukkende fokuserer på skjermen med formål å inspisere. Det argumenteres for at styring av ROV-er en kompleks operasjon som krever full oppmerksomhet fra begge ROV-pilotene.

Det understrekes at inspektørene har ansvaret for hele leveransen – fra datainnsamling og rapportering til oppdatering av databaser, ferdigstilling av arbeidsunderlag og arbeidspakker. Én informant argumenterte for at jo nærmere inspektørene er selve arbeidet, desto mindre blir feilmarginen. Når inspektøren er fysisk til stede, for eksempel om bord sammen med ROV-pilotene eller dykkerne, blir leveranseprosessen mer effektiv. Det gir mulighet til å vurdere objektet fra flere perspektiver dersom den opprinnelige tilnærmingen ikke gir ønsket resultat, eller dersom et funn krever videre undersøkelse på stedet.

Arbeidsmengden (eng: workload) er en viktig faktor når det gjelder menneskelig ytelse og situasjonsforståelse [29]. Arbeidsmengde defineres som de påkrevde oppgavene et menneske må utføre for å oppnå misjonens mål [34]. Arbeidsmengden kan ha både positive og negative konsekvenser for ROV-IMR-operasjoner. Det er antatt at det finnes en optimal arbeidsmengde for hver oppgave, som er avhengig av og kan modereres gjennom forskjellige drivere. Hooey m.fl. [34] beskriver fire hovedfaktorer som påvirker arbeidsmengden:

- Miljø (siktforhold, kompleksitet, usikkerhet, stressfaktorer).
- Oppgaven (oppgavekrav for mennesket, tidsavhengige krav, oppgavestruktur).
- Utstyr (fartøy, verktøy, kvalitet på dataforbindelse og -overføring).
- ROV-pilotene (ferdigheten ifm. oppgaven, individuelle forskjeller).

I forbindelse med landbasert kontroll av ROV-er kan man anta at usikkerheten reduseres, da operasjonsmiljøet er mer stabilt (ingen bølger, godt innneklima). Samtidig påpekes det at dataforbindelse og -overføring er en svært viktig driver for arbeidsmengden. Det nevnes flere faktorer som inngår i driveren, som latens og variasjon i latens, båndbredde, pålitelighet av forbindelsen og tilgjengelighet av forbindelsen (inkl. korrumperte signaler og blokkerte signaler). Variasjon i latens ble fremhevet i samtalene som en faktor som er avgjørende for presis og effektiv håndtering av ROV-en.

Viktigheten av å kunne gripe inn umiddelbart framheves også. Gjennomgang av video i etterkant kan fungere bra. Men dersom en hendelse krever umiddelbar inngripen, og videoen først blir gjennomgått etter at fartøyet har forlatt området, kan det innebære økt risiko for både utstyr og miljø, i tillegg til potensielt høyere kostnader ved fornyet mobilisering. På den annen side er det ikke alltid mulig å følge opp funn umiddelbart. I noen tilfeller er ikke ROV-en tilbake på samme sted før neste kampanje.

Det påpekes også at utrente øyne – eller piloter som er opptatt med selve manøvreringen – kan overse viktige detaljer. Det støttes av litteraturen [34], hvor det fremheves at lite erfaring med oppgaver og dårlig familiaritet med systemet er drivere i arbeidsmengden og kan medføre forsinkelser eller dårligere kvalitet. Trening kan motvirke dette i noen grad. I samtalene ble det uttrykt av enkelte at fleksibiliteten av ROV-IMR-operasjoner fra ROC kan medføre at pilotene, inspektørene og andre eksperter jobber på flere anlegg og dermed har mindre erfaringer og kunnskap (familiaritet) om anlegget som det skal gjennomføres ROV-IMR-operasjoner for. Dette vil da øke arbeidsmengden og kan ha negative konsekvenser.

Fjernstyring vs. tilstedeværelse offshore

I økende grad er selskapsrepresentanter plassert på land, noe som kan skape utfordringer. Forsinket kommunikasjon og lavere kvalitet på videostrømmen gjør det vanskeligere å identifisere problemområder i tide. Dette kan føre til at operasjonen må gjennomføres saktere, eller at observasjoner må gjennomgås i ettertid basert på opptak.

Det er et ønske blant flere selskaper å flytte mer folk på land. Ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter og økt bruk av landbasert kontrollrom innebærer å flytte personell fra offshore til land. Arbeidstidsbestemmelsene skiller seg mellom offshore og land. Ved flytting til land må man kanskje gå over til tre-skiftordning for å opprettholde 24-timers drift av ROV-ene.

Én informant så ikke noe problem med å kombinere åtte- og tolvtimersskift offshore og land, da de har øvd mye på rotasjon. Dette medfører behov for tilpasning av bemanningsstrategier, arbeidstidsordninger og opplæringsrutiner for å sikre robust drift. Situasjonsforståelsen kan påvirkes av skiftordningen, slik SINTEF ser det. Når det benyttes tre skiftbytter på land i stedet for to, kan det føre til at misforståelser forplanter seg. I tillegg kan skiftene bemannes av ulikt personell, noe som kan svekke den kontinuerlige situasjons-

forståelsen. Når det gjelder samhandling mellom den landbaserte ROC-en og offshoreenheter (IMR-fartøy eller offshoreinnretning), oppstår det også betydelig flere kontaktpunkter enn før. Dette kan bidra til klarhet rundt ansvarsforhold og en fragmentert situasjonsforståelse. Slike forhold er særlig kritiske under intervensjonsoperasjoner, men også ved inspeksjoner som krever tett samhandling.

Flere framhever i samtalen at det er mye bedre arbeidsmiljø på land fordi ting ikke beveger seg, og man påvirkes ikke av dårlig vær og høye bølger. Det understrekes at det ikke er behagelig å jobbe i en container. Det er bedre plass på land og lettere tilgang til toalett og andre fasiliteter.

Noen påpeker at den fysiske utformingen av arbeidsplassen er god på IMR-fartøy. Én forteller at ROV-piloter har samme oppsett offshore på IMR-fartøy og på land, som samme stoler, kontrollere, joysticks, osv. En fordel med konvensjonelle ROV-IMR-operasjoner er at man i større grad kan skjerme seg fra andre forstyrrende elementer, for eksempel familiestress. En annen fordel med å være på et IMR-fartøy eller en innretning, er at da kan personell diskutere problemstillinger og kontakte hverandre ved behov. Hvis folk drar hjem, til hotell, osv., flyttes fokuset bort fra jobben.

Det påpekes også at det kan oppstå problemer ved sykdom blant offshore-personell. Én informant påpekte at det medfører at man strekker det langt før man sier ifra at man er syk. Dårlig vær kan også skape problemer med å få personell ut offshore. På land kan man enklere fylle på med folk ved behov. Det påpekes også at det er bedre for hjemmesituasjonen til mange ansatte å jobbe på land.

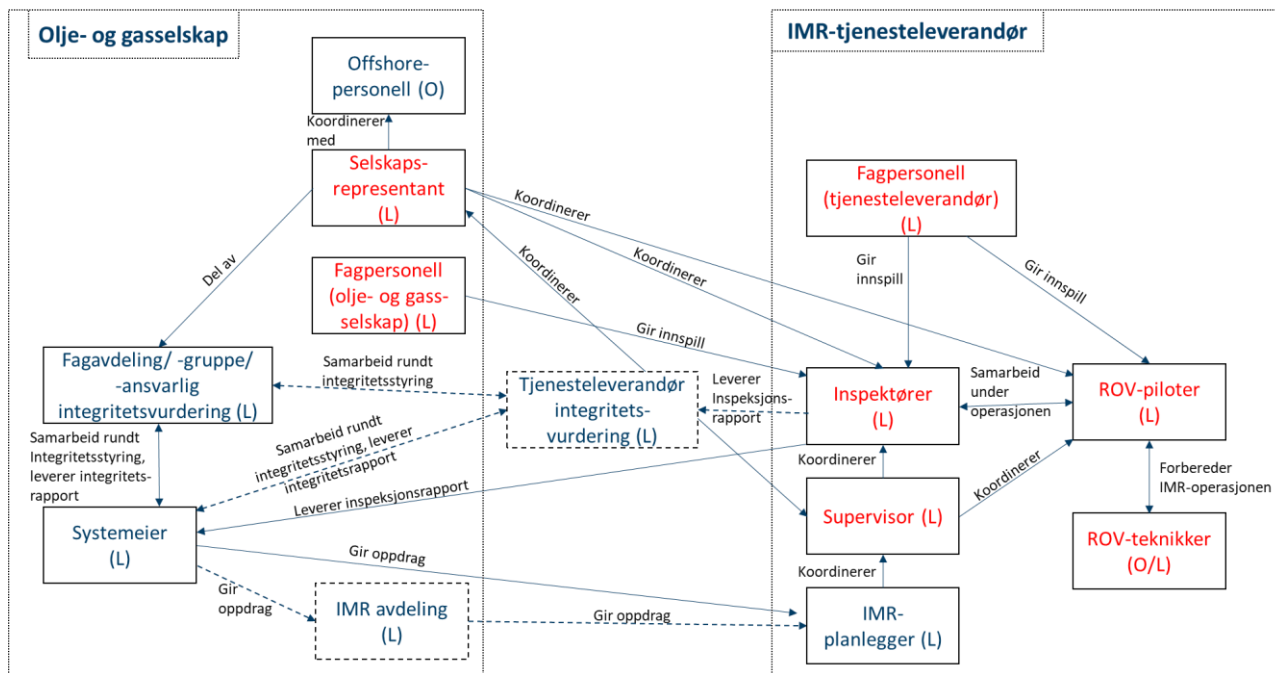
Flere fremhevet også fordeler ved at alle involverte er samlet i ett rom både før og under operasjonen (ROV-piloter, inspektører, selskapsrepresentanter, eksperter, kranførere osv.). Kommunikasjonen blir enkel og rask, og det skaper en felles og bedre situasjonsforståelse. Ved at alle ser på samme skjerm, kan inspektøren enkelt peke ut spesifikke punkter som skal inspiseres, unngås osv. Dette er spesielt viktig ved mindre erfarne ROV-piloter, men også relevant i andre situasjoner. Det påpekes at dette kan forhindre feil, forsinkelser, sikkerhetsproblemer og høye kostnader. Det framheves at dette gjelder særlig i komplekse operasjoner hvor samhandling mellom ulike typer utstyr, eksempelvis ROV, fartøy og kran er nødvendig.

Ved fjernstyring fra land kan slike samhandlingsfordeler i mindre grad oppnås, noe som kan ha betydning for både effektivitet og sikkerhet i komplekse operasjoner. En utfordring som trekkes fram er at hvis én ROV styres fra land, og to ROV-er fra IMR-fartøy, kan det være krevende å samkjøre dette. Dette er fordi de to ROV-ene har pilotene i samme rom og kan ha enklere kommunikasjon, sammenlignet med tilgang til den tredje ROV-piloten. Et mulig avbøtende tiltak for dette er å etablere strenge regler for kommunikasjon.

Arbeidstakere og ROV-mannskapet sine arbeidsforhold har stor betydning for hvordan arbeidstakerne, og hele det sosiotekniske systemet, fungerer. Når det gjelder det organisatoriske (roller, ansvar, samarbeid osv.) så påpeker de fleste at det er liten forskjell på ulike konsepter rent organisatorisk, men at de tilpasser hvordan de jobber. Ikke-konvensjonelle konsepter er organisatorisk like, men flyttet til land. Det påpekes noen organisatoriske utfordringer med ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter, men at ulempene håndteres med operasjonsplanlegging.

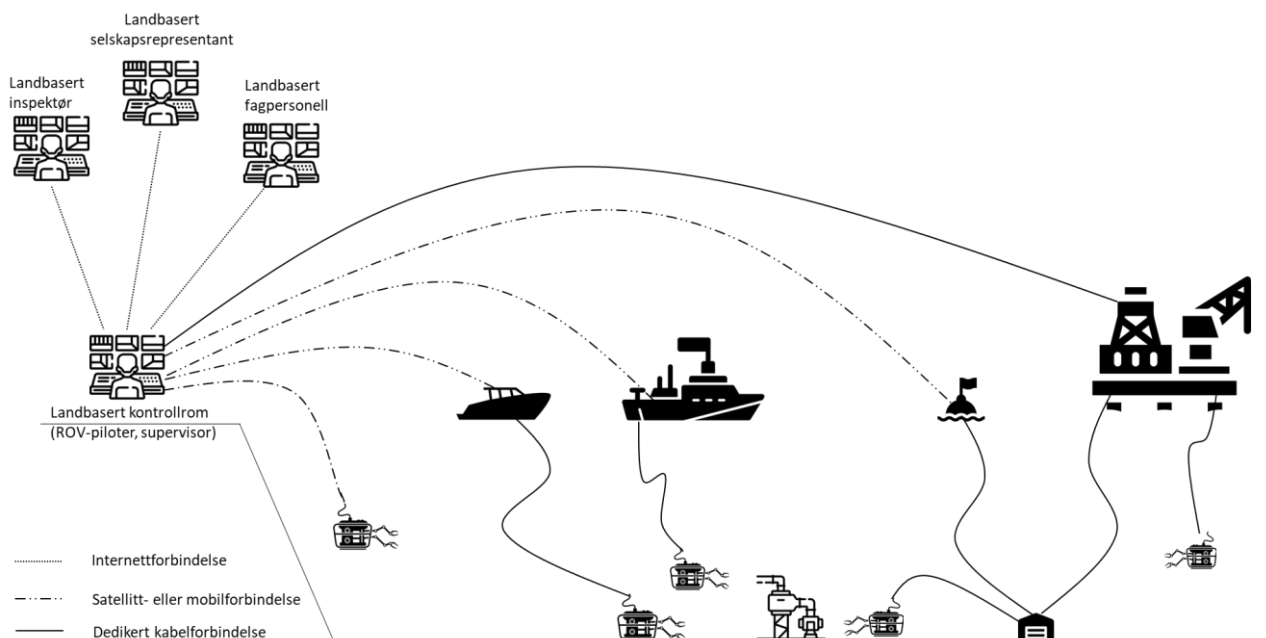
6.2 Arbeidsflyt i de forskjellige ROV-IMR-konseptene

Gjennom samtalene kom det frem at rollefordelingen er stort sett uendret ved ikke-konvensjonelle konsepter. Hovedsakelig flyttes personell som er offshore i konvensjonelle ROV-IMR-operasjoner over til land. De forventede endringene er vist i Figur 6.1 nedenfor. I rødt er det uthevet hvilke funksjoner som flyttes (delvis) til land.



Figur 6.1: Forventede endringer i aktørens plassering (i rødt) på tvers av konseptene (K2, K4, K5 og K6).

Hovedforskjellen fra konvensjonelle ROV-IMR-operasjoner blir da at de forskjellige aktørene ikke nødvendigvis sitter i samme kontrollrom. Figur 6.2 viser en oversikt over de ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konseptene og aktørenes lokasjon under en ROV-IMR-operasjon. For å oppnå god situasjonsforståelse er det nødvendig at alle aktører har god videokvalitet og god kvalitet på kommunikasjon under IMR operasjonene. Det gjelder spesielt for inspektøren og ROV-pilotene.



Figur 6.2: Sammendrag over framtidens ROV-IMR-operasjonskonsepter.

For å oppnå god kommunikasjon har system-leverandørene fremhevet at de har utviklet tilpassede kommunikasjons- og samhandlingsplattformer for å støtte høy kvalitet av kommunikasjon under ikke-konvensjonelle ROV-IMR-operasjoner. Hos noen aktører er det mulig å skru av unødvendig og mindre viktig dataoverføring for å sikre god videokvalitet og verbal kommunikasjon ved forstyrrelser av data-kommunikasjon o.l. I noen tilfeller er det tiltenkt å bruke video fra kontrollrommet slik at det er enklere å «peke på skjermen» virtuelt. Kommunikasjon er en nøkkelfaktor for situasjonsforståelse i ikke-konvensjonelle konsepter.

Det blir allerede i dag gjennomført inspeksjoner hvor inspektøren sitter på land, men det kom ikke frem om det ble brukt spesielle kommunikasjons- og samhandlingsverktøy i alle disse operasjonene. Det ble observert situasjoner hvor inspektøren ikke hadde god nok videokvalitet og måtte gjennomføre analysen etter at inspeksjonen var avsluttet. I en slik situasjon har ikke inspektøren mulighet til å påvirke datainnsamlingen og se nærmere på interessante steder igjen mens ROV-en er der. Her ble det pekt på at erfaringen til ROV-pilotene er viktig for å fange opp slike situasjoner både gjennom selv å identifisere steder som kan være interessante og gjennom å føre ROV-en saktere og nærmere inspeksjonsobjektet.

Det er nødvendig at rutiner er på plass for å bevisstgjøre ROV-pilotene når en slik situasjon oppstår, og at dette følges opp og etterleves. SINTEFs oppfatning er at dette er svært viktig. Samtalene alene er imidlertid ikke tilstrekkelig til å konkludere om slike rutiner og prosesser er på plass.

En fordel med å ha aktørene på land ble nevnt i forbindelse med at fagpersonell kun må være til stede når de trengs. De trenger ikke å være offshore i 14 dager når de trengs kun noen få dager under selve ROV-IMR-operasjonen. Dette kan ha positive effekter, siden de er mer uthvilt og kan være mer oppmerksomme under ROV-IMR-operasjonen. Samtidig ser SINTEF mulige ulemper. Blant annet kan fagpersonell og inspektører få mindre tid til å sette seg inn i operasjonen som skal gjennomføres, samt undervannsanlegget som operasjonen skal utføres på. Personellet kan også få flere og mer varierte oppgaver sammenlignet med konvensjonelle ROV-IMR-operasjoner offshore, noe som potensielt kan gi en motsatt effekt enn ønsket gjennom økt arbeidsmengde.

Som enkelte deltakere påpekte er lokalkunnskap om et undervannsanlegg viktig. Det kan gå tapt ved bruk av ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter. I tillegg til at det er mindre tid å sette seg inn i oppgavene og anleggene, kan hyppige bytter mellom ulike anlegg føre til tap av både lokalkunnskap og situasjonsforståelse. Når ROV-piloter, inspektører og fagpersonell må bytte mellom anlegg – for eksempel etter å ha gjennomført en annen inspeksjon – kan dette skje relativt raskt i en landbasert ROC. Det krever derfor tid for den enkelte å orientere seg, forstå hvor de befinner seg, og identifisere mulige forskjeller fra anlegget man inspiserte tidligere samme dag. Dette utgjør en potensiell kilde til misforståelser og feil, særlig om man forvekslinger ulike anlegg. Spesielt eldre anlegg kan være dårlig (unøyaktig) dokumentert, og i slike tilfeller kreves både tidligere erfaringsbasert kunnskap og tilstrekkelig tid til å dele informasjon mellom aktørene.

Et annet aspekt angående arbeidsflyt og situasjonsforståelse er tilgjengeligheten av ROV-ene og nødvendig verktøy. I de fleste ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter er det ikke en ROV-tekniker i nærheten og det er kun verktøy og sensorer tilgjengelig som er montert eller som er tilgjengelig i undervannsgarasje eller i USV. Det kan medføre at noen ROV-IMR-operasjoner kun kan utføres fra konvensjonelle IMR-fartøy (som vanligvis har verksted med reservedeler om bord), fordi det riktige verktøyet ikke finnes. Dermed kan det oppstå operative forsinkelser når vedlikehold eller verktøybytte ikke kan gjennomføres raskt på stedet. Systemleverandørene utvikler konsepter for å skifte verktøyene undervanns eller om bord i USV-en for å unngå dette.

De ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konseptene vil også ha konsekvenser for arbeidsflyten under inspeksjoner og intervensjoner som krever samhandling med offshoreinnretningen. Eksempler er åpning av undervannsluker med kran, ROV-intervensjoner på ventiler og lignende. I slike tilfeller er det avgjørende at ROV-piloter, supervisor, selskapsrepresentant og offshorepersonell har en felles forståelse av både oppgaven som skal utføres og den aktuelle situasjonen. Når ROV-pilotene opererer fra land og dermed befinner seg langt fra offshoreinnretningene, kan kommunikasjonen og den gjensidige forståelsen bli mer krevende. Et tema som ofte tas opp vedrørende landbasert kontroll, er at personer uten offshore-erfaring ikke alltid forstår miljøet eller hvilke konsekvenser beslutningene deres kan få.

Som omtalt tidligere i kapittel 5.2.2 peker en næringsaktør at det sannsynligvis vil utvikle seg nye roller i fremtiden, som følge av innføringen av ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter. Disse rollene vil uansett måtte ivareta dagens oppgaver, samtidig som de håndterer nye oppgaver som kan oppstå som følge av endrede arbeidsformer og teknologiske løsninger. Det er imidlertid vanskelig å forutsi nøyaktig hvilke typer roller som vil utvikle seg, og hvordan disse eventuelt vil påvirke samhandling, informasjonsflyt og ansvar i operasjonene – utover det som allerede er beskrevet i rapporten.

6.3 Sammenligning av ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter med konvensjonelt konsept

Metodene, rollene og menneske-maskin-grensesnittet som benyttes offshore i dag, videreføres i stor grad i ikke-konvensjonelle konsepter (ROC-ene). Sentrale forskjeller er at personell blir fordelt på flere lokasjoner, operasjonene er avhengige av dataforbindelse (latens og båndbredde) mellom offshore og land, samt ulikt regelverk for arbeidstid og arbeidsvilkår. Generelt er det forventet at ROV-pilotene, inspektørene og andre er mer uthvilt på grunn av kortere arbeidstid og bedre forhold på land (ingen bølger, bedre søvn osv.). Dette kan gi bedre kvalitet på datainnsamling enn konvensjonelle operasjoner, forutsatt at tilkoblingskvaliteten opprettholdes. Tabell 6.1 oppsummerer sentrale forskjeller mellom konvensjonelle og landbaserte ROV-IMR-operasjoner.

Tabell 6.1: Sammenligning mellom konvensjonelle og landbaserte ROV-IMR-operasjoner med fokus på situasjonsforståelse. (+) markerer mulige positive effekter for situasjonsforståelse. (-) markerer mulige negative effekter for situasjonsforståelsen.

Konvensjonelle ROV-IMR-operasjoner fra IMR-fartøy	Ikke-konvensjonelle IMR-ROV-operasjoner fra landbasert ROC	Mulig konsekvenser som påvirker situasjonsforståelse
12 timer skiftordning, to uker på rad	8 timer skiftordning, mandag til fredag	+ Mindre utmattelse, mer årvåken - Hyppigere skiftbytte, flere personer å forholde seg til
Mer fokus på jobben, nærmere kollegaene	Kan ta være på familieliv; hjem etter arbeidsdagen	+ Forbedret jobb-fritid balanse - Redusert fokus på jobb
Bølger, bevegelser, lite plass	Fast kontrollrom, klimatisert	+ Bedre fysisk arbeidsmiljø - Lang avstand til offshoremiljøet
Sykdom påvirker hele operasjoner	Mulig å kalle inn vikar raskt ved behov	+ Mer fleksibilitet, bedre arbeidsvilkår - Flere personer som er involvert i operasjonen
Mulig å peke direkte på skjermen og interagere med ROV-pilotene	Begrenset mulighet for direkte interaksjoner mellom personell	+ Aktørene kan enkelt kobles inn - Mulighet for misforståelser, mindre kommunikasjon
Lite latens	Mulig varians i latens og kvalitet	- Dårligere videokvalitet, forsinkelse i data-analyse, nødvendig med oppfølgings-inspeksjon

Situasjonsforståelse under datainnsamlingen har størst konsekvens for integritetsvurderingen. Forstyrrelser i datakommunikasjon kan medføre at noen aktører ikke kan følge med på operasjonen. Dette kan gi forsinkelser i integritetsvurderingen, siden innsamlet datamateriale blir tilgjengelig først etter at data er overført til land. I slike tilfeller kan det ikke utelukkes at relevante funn blir oversett med mindre ROV-pilotene har nok erfaring og ferdigheter til å identifisere funn også uten innspill fra inspektøren. Dette kan etter SINTEFs oppfatning svekke anleggsintegriteten dersom forsinkelser og mangel på datakvaliteten ikke kompenseres gjennom tekniske eller organisatoriske tiltak.

Når kommunikasjonen mellom ROV-en og ROV-pilotene er forstyrret så har de dårligere kontroll over ROV-en som kan påvirke både datainnsamlingen (inspeksjonen) og intervensjoner, samt at situasjonsforståelsen kan være redusert (jfr. kapittel 6.2). Slik SINTEF ser det kreves det god situasjonsforståelse og tett samhandling mellom den landbaserte ROC-en og offshoreinnretningen for å unngå misforståelser som kan føre til ulykker – for eksempel at feil ventil åpnes, eller at offshorepersonell ikke er klar over at en intervensjon pågår. Når intervensjoner ikke kan gjennomføres, fører det til forsinkelser i vedlikehold eller reparasjoner, noe som kan svekke anleggets integritet.

Dersom kommunikasjonen mellom ROV og ROC går tapt, kan dette kompenseres for midlertidig, for eksempel ved at ROV-en holder posisjonen eller går tilbake til garasje eller rendez-vous-punktet. Dersom kommunikasjonen med ROV-en ikke kan gjenopprettes, så vil det kreve at et konvensjonelt IMR-fartøy eller lignende sendes ut for å berge ROV-en og utføre integritetsvurderingen. Det vil da medføre en betydelig forsinkelse i integritetsvurderingen og oppfølging av integritetsstyringsprogrammet som da kan medføre svekket integritet.

Tabell 6.2 oppsummerer og vurderer de forskjellige ROV-IMR-konseptene mot konvensjonelle ROV-IMR-operasjoner fra IMR-fartøy.

Landbasert kontroll av ROV satt ut fra IMR-fartøy (K1) er ganske likt som konvensjonelle ROV-IMR-operasjoner. Begrensninger som nevnt ovenfor angående tap og forstyrrelse av kommunikasjon kan kompenseres delvis med personell ombord.

ROV satt ut fra USV (K2) er også ganske likt konvensjonelle ROV-IMR-operasjoner, men det kan være litt større utfordringer ved tap av kommunikasjon eller skade på ROV.

ROV satt ut fra offshoreinnretning (K3) kan ha noen fordeler sammenlignet med konvensjonelle operasjoner. Siden det kun brukes lettere ROV-er for slike operasjoner begrenses imidlertid mulighetene.

ROV med permanent garasje (K4) har ikke disse begrensningene, men er mindre fleksibel når det gjelder verktøy og vedlikehold. Forstyrrelser eller tap av datakommunikasjon er mindre relevant siden kommunikasjonen går gjennom en pålitelig dedikert kabel mellom innretningen og land (gitt at innretningen har en slik kabel).

ROV med midlertidig utsatt garasje (K5) er mer fleksibel enn ROV som er fast knyttet til et felt eller innretning. Samtidig er satellitt eller mobilnett kommunikasjonsbæreren, noe som kan medføre utfordringer lignende som for ROV satt ut fra USV (K2). I tillegg kan mulighet for vedlikehold og tilgjengelighet av verktøy være begrenset for ROV satt ut fra USV (K2) og ROV med garasje (K4 og K5).

ROV satt ut fra land (K6) skiller seg ut ved at det ikke er like modent som de andre ikke-konvensjonelle konseptene. Her er det også stor forskjell på mulige utforminger og kapabilitetene på ROV satt ut fra land.

Avstand til land vil ha en betydelig innvirkning på operasjonene. Forstyrrelser eller tap av kommunikasjon kan lett medføre tap av systemet og tap av innsamlet data. Utfordringer tilknyttet ROV satt ut fra land vil være lignende for de andre konseptene som bruker satellitt eller mobilnett som kommunikasjonsbærer.

Oppsummert så må det sikres at ROV-IMR-konseptet som tas i bruk samsvarer med kritikaliteten av operasjonen slik at de riktige verktøyene og ressursene er tilgjengelige. Dette er en forutsetning for at inspeksjonen og intervensjonen gjennomføres innen forsvarlige tidsrammer også om noe skjer under operasjonen og for å unngå svekkelse av integriteten. Som påpekt i kapitlene 6.1 og 6.2 så krever dette en helhetlig tilnærming til ROV-IMR-operasjonskonseptet og utforming. Operasjons- og nødprosedyrer, opplæring tilpasset behovene og utfordringer som kan oppstå under ikke-konvensjonelle operasjoner må vurderes når man setter ikke-konvensjonelle systemer i drift. Dette forutsetter tett oppfølging fra både tjenesteleverandør, systemleverandører og olje- og gasselskap for å sikre at operasjonene gjennomføres med tilstrekkelig robusthet og sikkerhet.

Tabell 6.2: Ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter sammenlignet med konvensjonelle ROV-IMR-operasjoner. Det er antatt at ROV-pilotene bruker et landbasert ROC.

Kriterium	K1. ROV satt ut fra IMR-fartøy med landbasert ROC	K2. ROV satt ut fra ubemannet overflate fartøy	K3. ROV satt ut fra offshoreinnretning	K4. ROV med permanent garasje	K5. ROV med midlertidig utsatt garasje	K6. ROV satt ut fra land
Modenhetsgrad	Veldig moden, tatt i regelmessig bruk	Feltforsøk gjennomført og under kvalifisering	Vanlig med kontroll fra innretning, testet ut med landbasert kontroll	Testet ut i flere måneder, under kvalifisering	Testet ut i flere måneder, under kvalifisering	Under utvikling, prototype forsøk
Datakommunikasjon mellom ROC og offshore mottaker	Satellitt eller mobilnett	Satellitt eller mobilnett	Kabel til innretningen	Kabel til innretningen	Satellitt eller mobilnett	Direkte kommunikasjon mellom ROC og ROV gjennom satellitt, mobilnett eller hydroakustikk
Datakommunikasjon mellom offshore mottaker og ROV	Umbilical mellom fartøy og ROV	Umbilical mellom fartøy og ROV	Umbilical mellom offshoreinnretning og ROV	Umbilical eller hydroakustisk mellom garasje og ROV	Umbilical eller hydroakustisk mellom garasje og ROV	
Fleksibilitet mtp. lokasjon	Samme som konvensjonelt	Mer fleksibilitet, avhengig av konsept	Mindre fleksibelt	Mindre fleksibelt	Samme som konvensjonelt	Mer fleksibelt, avhengig av rekkevidde
Fleksibilitet mtp. sensorer, verktøy og operasjoner	Samme som konvensjonelt	Samme som konvensjonelt, dersom verktøy om bord	Samme som konvensjonelt	Samme som konvensjonelt, dersom verktøy i garasjen, avhengig av konseptet	Samme som konvensjonelt, dersom verktøy i garasjen, avhengig av konseptet	Samme som konvensjonelt, avhengig av utforming
Tilgjengelighet av fag-personell og eksperter	Økt tilgjengelighet	Økt tilgjengelighet	Økt tilgjengelighet	Økt tilgjengelighet	Økt tilgjengelighet	Mindre tilgjengelighet
Hyppighet av inspeksjoner	Samme som konvensjonelt	Samme som konvensjonelt	Hyppigere mulig	Hyppigere mulig	Hyppigere mulig	Avhengig av utformingen
Mønstringstid	Samme som konvensjonelt	Raskere	Raskere	Raskere	Raskere dersom allerede i område	Raskere
Mulighet for reparasjon av ROV-en	Samme som konvensjonelt	Mindre mulighet, må seile tilbake til kai	Samme som konvensjonelt dersom nødvendige reservedeler på innretningen	Mindre mulighet, må hente opp ROV-en og garasjen med et fartøy	Mindre mulighet, må hente opp ROV-en og garasjen med et fartøy	Samme som konvensjonelt, dersom ROV-en kan berges
Tilgjengelighet av data etter datainnsamlingen	Samme som konvensjonelt	Samme som konvensjonelt, lengre ventetid dersom tap av datakommunikasjon	Raskere	Raskere	Raskere	Samme eller lengre ventetid, avhengig av utforming

7 Konklusjon og anbefalinger

Rapporten beskriver og vurderer ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter med fokus på konsepter som bruker landbaserte ROC-er. Dette er basert på samtaler med industrien og innsikt fra vitenskapelig teori og publikasjoner. De ulike ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konseptene har styrker og svakheter sammenlignet med konvensjonelle ROV-IMR-operasjoner, som må vurderes når man planlegger ROV-IMR-operasjonene. Forstyrrelser og tap av kommunikasjon mellom ROV og ROC, og mellom ROC og andre aktører, vil ha betydning for gjennomføringen av integritetsvurderinger og utgjør en risiko. Latens, båndbredde og risiko for tap av data må vurderes for hvert konsept og operasjonstype. Stabil og robust kommunikasjon er avgjørende for å sikre god situasjonsforståelse og kvalitet i datainnsamlingen.

Samtalene med industrien viser at det er ulike syn på konvensjonelle og ikke-konvensjonelle konsepter. Det er blandede erfaringer med ikke-konvensjonelle konsepter blant olje- og gasselskapene. De fleste av informantene er positive til utviklingen av ikke-konvensjonelle konsepter og teknologi, men det er også informanter som viser til utfordringer. Holdningen i industrien er at den beste løsningen som er tilgjengelig, skal brukes. Hva som er den beste løsningen vil avhenge av hvordan olje- og gasselskapene vektlegger de ulike resultatparameterne som inngår i ROV-IMR-operasjonen. SINTEF ser et potensial for at ikke-konvensjonelle ROV-IMR-operasjoner kan forbedre integriteten til undervannsanleggene ved å muliggjøre hyppigere og mer målrettede inspeksjoner. Spørsmålet er om dette potensialet tas ut i hyppigere og bedre inspeksjoner eller i reduserte kostnader.

Valg av ROV-IMR-konsept må gjøres basert på en helhetlig vurdering av operasjonens krav, trusselbilde, kritikalitet og tilgjengelig teknologi. Riktig valg og bruk av ROV-IMR-konsept har direkte innvirkning på integritetsstyringen av undervannsanlegg. Kommunikasjonsforstyrrelser eller andre tekniske begrensninger som medfører forsinket eller mangelfull datainnsamling, vil svekke grunnlaget for integritetsvurderingen og føre til utsatt vedlikehold eller feil i risikovurderingen. Det er derfor avgjørende at konseptvalg understøtter de krav som stilles til kvalitet og robusthet i integritetsstyringen.

De fleste ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konseptene som beskrives i rapporten, er fortsatt under utprøving og kvalifisering. Samtidig har fjernstyring av ROV-er fra landbaserte kontrollsentre (ROC), hvor ROV-en er satt ut fra et IMR-fartøy, blitt en vanlig praksis. Denne utviklingen reflekterer industrien sitt behov for økt grad av fjernopererte operasjoner.

Industrien fremhever at ROV-IMR-operasjoner i stor grad gjennomføres som før, men med bruk av ny teknologi og ved at personell er flyttet til land. Etter SINTEFs vurdering vil likevel ikke-konvensjonelle ROV-IMR-operasjoner innebære endringer i spillet mellom menneske, teknologi og organisasjon. Dette krever at teknologien kvalifiseres for menneskelig bruk, og at tilhørende arbeidsprosesser også gjennomgår kvalifisering. Dersom menneskelige eller organisatoriske aspekter ikke ivaretas, kan det medføre økt risiko under operasjoner og over tid svekke integriteten til undervannsanlegget.

Det er avgjørende at olje- og gasselskapene, tjenesteleverandører og systemleverandører har en felles forståelse av styrker og begrensninger ved de ulike konseptene, slik at teknologiene tas i bruk på en hensiktsmessig måte. I dette arbeidet bør også ledere og ROV-piloter, inspektører og annet relevant personell involveres, slik at sluttbrukerne har en bevissthet rundt både teknologienes muligheter og sin egen rolle i systemet.

Overgangen til landbaserte kontrollrom for ROV-IMR-operasjoner medfører en rekke potensielle utfordringer knyttet til Menneske–Teknologi–Organisasjon (MTO) og Human Factors, som må adresseres for

å sikre trygge og effektive operasjoner. Enkelte av disse utfordringene har allerede blitt hensyntatt av systemleverandørene i utformingen av løsningene.

SINTEF har imidlertid ikke kunnet kartlegge i hvilken grad brukerne har vært involvert i utviklingen av de ikke-konvensjonelle konseptene som for tiden er under utprøving. Brukerinvolvering i slike prosesser er essensielt for å sikre at løsningene oppleves som hensiktsmessige i praksis, og at de støtter operatørenes behov og arbeidsoppgaver. Dette gjelder spesielt når personell er lokalisert flere steder og har forskjellige informasjonsbehov, som for eksempel ROV-pilotene, inspektørene, personell på offshoreinnretningen.

Uavhengig av graden av involvering til nå, er det avgjørende å sikre at de ikke-konvensjonelle ROV-systemene tas i bruk på en riktig og sikker måte. Ved å anvende prinsippene for Human Factors Engineering i både design- og driftsfasene, kan man optimalisere både menneskelig ytelse og systemets samlede effektivitet. Dette oppnås ved å utvikle løsninger som er intuitive, sikre og støttende for brukerens situasjonsforståelse og beslutningstaking.

7.1 Videre arbeid

Arbeidet har enkelte begrensninger. Rapporten har hovedsakelig sett på landbaserte ROC-er, og har i liten grad belyst andre relevante teknologiske utviklingstrekk, for eksempel bruk av Virtual eller Augmented Reality, kunstig intelligens for å identifisere trusler, samt økende grad av autonomi i undervannsoperasjoner. SINTEF anbefaler at det gjennomføres en systematisk kartlegging av disse teknologiene for å vurdere deres potensielle innvirkning – både positive og negative – på integritetsvurderinger. En slik kartlegging vil kunne bidra til bedre forståelse av hvordan fremvoksende teknologi påvirker samspillet mellom menneske, teknologi og organisasjon, og kan danne grunnlag for videre utvikling av robuste og sikre løsninger.

I våre samtaler med industrien var deltakelsen fra ROV-piloter begrenset. Dette er en svakhet, ettersom disse pilotene har betydelig kunnskap og erfaring knyttet til ROV-IMR-operasjoner og innsamling av data for integritetsvurderinger. Derfor var det i begrenset grad mulig å innhente deres operative perspektiver. SINTEF anbefaler derfor at det gjennomføres en egen kartlegging av erfaringer, synspunkter og forventninger blant ROV-piloter angående bruk av ikke-konvensjonelle ROV-IMR-konsepter. MTO-perspektivet og perspektivet om distribuert situasjonsforståelse bør inngår i den kartleggingen. Dette vil kunne gi verdifull innsikt i hvordan slike konsepter påvirker den praktiske gjennomføringen av operasjoner og kvaliteten på integritetsvurderingene. Særlig med tanke på hvordan ulike roller, teknologiske grensesnitt og informasjonsstrømmer påvirker felles situasjonsforståelse og beslutningstaking.

Visuell inspeksjon med kamera og inspeksjon ved hjelp av sonar er de mest brukte metodene i dagens IMR-praksis. I samtalene med industrien og dokumentgjennomgangen ble det identifisert flere begrensninger ved disse metodene. Et eksempel er vurdering av offeranoder, som ofte kan fremstå som intakte ved visuell inspeksjon, selv om de i realiteten er nært oppbrukt. På bakgrunn av dette anbefaler SINTEF at det gjennomføres en studie hvor man vurderer effektiviteten til ulike inspeksjonsmetoder, med særlig vekt på deres evne til å gi et presist bilde av tilstand og integritet. En slik studie vil kunne bidra til mer treffsikre integritetsvurderinger og danne grunnlag for forbedret inspeksjonspraksis.

Det ble også påpekt at måten integritetsvurderinger rapporteres og lagres på, kan forbedres. I dag leveres rapportene som PDF-dokumenter, noe som kan gjøre det utfordrende å følge opp integritetstilstanden over tid. Nye og alternative løsninger som bedre synliggjør utviklingen av anleggets integritet, bør derfor utforskes og vurderes.

Referanser

- [1] Havtil, *Aktivitetsforskriften Kapittel IX - Vedlikehold (§§45-51)*. 2018. [Online]. Available: <https://www.havtil.no/regelverk/alle-forskrifter/aktivitetsforskriften/IX/45/>
- [2] Havtil, *Aktivitetsforskriften § 50 Særskilte krav til tilstandskontroll av konstruksjoner, maritime systemer og rørledningssystemer*. 2018. [Online]. Available: <https://www.havtil.no/regelverk/alle-forskrifter/aktivitetsforskriften/IX/50/>
- [3] Havtil, *Styringsforskriften Kapittel II - Risikostyring (§§4-6)*. 2015. [Online]. Available: <https://www.havtil.no/regelverk/alle-forskrifter/styringsforskriften/II/4/>
- [4] PTIL, 'Tilsynet med Statoils ivaretagelse av sikkerhet på konstruksjoner i drift på Sleipner-feltet', Petroleumstilsynet, Stavanger, Norway, 2018.
- [5] Havtil, 'Tilsynet med Equinor - Styring og gjennomføring av IMR fartøyoperasjoner', Havtil, Stavanger, Norway, Tilsynsrapport 2024/603, 2024.
- [6] PTIL, 'Rapport etter tilsyn med Seadrill sin styring av arbeidsmiljø på West Phoenix', Petroleumstilsynet, Stavanger, Norway, 2022.
- [7] DNV, 'INTEGRITY MANAGEMENT AND CONDITION MONITORING OF PIPELINES AND SUBSEA EQUIPMENT (2020/1022) - 2020/1022: How digital tools and solutions can improve Subsea Integrity Management', Havtil, 2020–1137, Rev. 0, 2020.
- [8] DNV, *DNV-RP-0002 Integrity Management of Subsea systems*, DNV-RP-0002, Høvik, Norway., 2021.
- [9] Wood, 'Guideline to Subsea Integrity Management - Wellhead to Topsides ESDV', Havtil, J003108-01-IM-REP-001, 2020.
- [10] NORSOK, *NORSOK U-102:2020 Remotely operated vehicle (ROV) services*, NORSOK U-102:2020, 2020.
- [11] R. Capocci, G. Dooly, E. Omerdić, J. Coleman, T. Newe, and D. Toal, 'Inspection-Class Remotely Operated Vehicles—A Review', *JMSE*, vol. 5, no. 1, p. 13, Mar. 2017, doi: 10.3390/jmse5010013.
- [12] A. A. Transeth, I. Schjølberg, A. M. Lekkas, P. Risholm, A. Mohammed, M. Skaldebø, B. O. A. Haugaløkken, M. Bjerkeng, M. Tsiourva, and F. Py, 'Autonomous subsea intervention (SEAVENTION)', *IFAC-PapersOnLine*, vol. 55, no. 31, pp. 387–394, 2022, doi: 10.1016/j.ifacol.2022.10.459.
- [13] A. A. Transeth, J. Thorstensen, A. Mohammed, J. T. Thielemann, K. Ening, E. I. Grøtli, B. O. A. Haugaløkken, M. A. Brandt, M. T. Møller, R. P. Hovland, O. S. Erland, I. B. Utne, and I. Schjølberg, 'SAFESUB: Safe and Autonomous Subsea Intervention', in *2024 20th IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA)*, Genova, Italy: IEEE, Sep. 2024, pp. 1–8. doi: 10.1109/MESA61532.2024.10704871.
- [14] P. Trslic, M. Rossi, S. Sivcev, G. Dooly, J. Coleman, E. Omerdic, and D. Toal, 'Long term, inspection class ROV deployment approach for remote monitoring and inspection', in *OCEANS 2018 MTS/IEEE Charleston*, Charleston, SC: IEEE, Oct. 2018, pp. 1–6. doi: 10.1109/OCEANS.2018.8604814.
- [15] DNV, *DNV-RP-F116 Integrity management of submarine pipeline systems*, DNV-RP-F116, Høvik, Norway., 2021.
- [16] C. Mai, S. Pedersen, L. Hansen, K. L. Jepsen, and Z. Yang, 'Subsea infrastructure inspection: A review study', *USYS 2016 - 2016 IEEE 6th International Conference on Underwater System Technology: Theory and Applications*, pp. 71–76, 2017, doi: 10.1109/USYS.2016.7893928.
- [17] F. Nauert and P. Kampmann, 'Inspection and maintenance of industrial infrastructure with autonomous underwater robots', *Front. Robot. AI*, vol. 10, p. 1240276, Aug. 2023, doi: 10.3389/frobt.2023.1240276.
- [18] CSWIP, 'CSWIP- DIV-7-95 – Part 2 Requirements for the Certification of ROV Inspectors and Underwater Inspection Controllers', TWI Certification, Cambridge, UK, 2018.
- [19] T. Kongsvik, E. Albrechsten, S. Antonsen, I. A. Herrera, J. Hovden, and P. M. Schiefelø, *Sikkerhet i arbeidslivet*. Trondheim, Norway: Fagbokforlaget, 2018.
- [20] IOGP, 'Demystifying Human Factors: Building confidence in human factors investigation', IOGP, No. 621, 2018.
- [21] IMCA, 'IN 1681 - Human and organisational performance', CRC Press, 2024. doi: 10.1201/b17126.

- [22] J. W. Creswell, *Research Design*. London, UK; New Delhi, India; Singapore: Sage Publications Inc., 2014.
- [23] S. O. Johnsen, C. Bjørkli, T. Steiro, H. Fartum, H. Haukenes, J. Ramberg, and J. Skriver, 'CRIOP: A scenario method for Crisis Intervention and Operability analysis', 2024. [Online]. Available: <https://www.sintef.no/globalassets/project/criop/2024.01.17-criop-new.docx>
- [24] V. Braun and V. Clarke, 'Using thematic analysis in psychology', *Qualitative Research in Psychology*, vol. 3, no. 2, pp. 77–101, Jan. 2006, doi: 10.1191/1478088706qp063oa.
- [25] A. A. Dalhatu, A. M. Sa'ad, R. Cabral De Azevedo, and G. De Tomi, 'Remotely Operated Vehicle Taxonomy and Emerging Methods of Inspection, Maintenance, and Repair Operations: An Overview and Outlook', *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, vol. 145, no. 2, p. 020801, Apr. 2023, doi: 10.1115/1.4055476.
- [26] A. A. Dalhatu, R. Azevedo, O. D. Udebhulu, and G. De Tomi, 'RECENT DEVELOPMENTS OF REMOTELY OPERATED VEHICLE IN THE OIL AND GAS INDUSTRY', *Holos*, 2021, doi: 10.15628/holos.2021.9422.
- [27] Offshore, 'Offshore special report - Remote inspections and operations', *Endeavor Business Media Petroleum Group*, 2025.
- [28] PTIL, 'Barrierenotatet (Memo on barriers)', *Petroleumstilsynet*, 2017.
- [29] G. Ho, N. Pavlovic, and R. Arrabito, 'Human factors issues with operating unmanned underwater vehicles', in *PROCEEDINGS of the HUMAN FACTORS and ERGONOMICS SOCIETY 55th ANNUAL MEETING*, 2011, pp. 429–433. doi: 10.1177/1071181311551088.
- [30] M. R. Endsley, 'Toward a theory of situation awareness in dynamic systems', *Human Factors*, vol. 37, no. 1, pp. 32–64, 1995, doi: 10.1518/001872095779049543.
- [31] N. A. Stanton, 'Distributed situation awareness', *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, vol. 17, no. 1, pp. 1–7, Jan. 2016, doi: 10.1080/1463922X.2015.1106615.
- [32] I. B. Utne, I. Schjøberg, and E. Roe, 'High reliability management and control operator risks in autonomous marine systems and operations', *Ocean Engineering*, vol. 171, no. 171, pp. 399–416, 2019, doi: 10.1016/j.oceaneng.2018.11.034.
- [33] S. O. Johnsen, C. Thieme, and T. Myklebust, 'Fjernstyring og fjernovervåkning av lav- bemannende skip -erfaringsoverføring fra andre industrier', SINTEF, Trondheim, Norway, 2023. [Online]. Available: <https://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.24769.57448>
- [34] B. L. Hooey, D. B. Kaber, J. A. Adams, T. W. Fong, and B. F. Gore, 'The Underpinnings of Workload in Unmanned Vehicle Systems', *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, vol. 48, no. 5, pp. 452–467, 2018, doi: 10.1109/THMS.2017.2759758.