

2019:01284 - Åpen

Rapport

Bruk av droner i nordområdene

HMS forhold knyttet til bruk av droner i petroleumsaktiviteten i nord

Forfattere

Trond Bakken

Sture Holmstrøm, Stig Ole Johnsen, Mariann Merz, Esten Ingar Grøtli, Aksel Transeth, Petter Risholm (SINTEF), Rune Storvold (NORCE)



Rapport

Bruk av droner i nordområdene

HMS forhold knyttet til bruk av droner i petroleumsaktiviteten i nord

3EMNEORD:
Droner
Nordområdene
HMS

VERSJON

1.0

DATO

2019-12-09

FORFATTER(E)

Trond Bakken

Sture Holmstrøm, Stig Ole Johnsen, Mariann Merz, Esten Ingar Grøtli, Aksel Transeth, Petter Risholm (SINTEF), Rune Storvold (NORCE)

OPPDRAGSGIVER(E)

Petroleumstilsynet

OPPDRAGSGIVERS REF.

ST 22 Droner

PROSJEKTNR

102021245

ANTALL SIDER

68

SAMMENDRAG

Bruk av droner i nordområdene

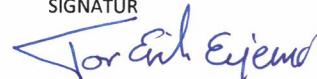
Formålet med denne rapporten er å vise eksempler på bruk av fjernstyrte og autonome droner i petroleumssektoren og vise hvilke utviklingstrender innen droneteknologi som er viktige. Utfordringer og muligheter for bruk av droner i nordområdene er spesielt vektlagt. Teknologi for og anvendelser av flyvende droner, droner på havoverflaten og droner under vann er behandlet i denne rapporten. Bakkegående droner som kan brukes om bord på en plattform og små droner for innvendig inspeksjon av prosessutstyr har vært utenfor rammene av rapporten. Vi har i rapporten beskrevet hvordan droner brukes i dag og noen oppgaver droner kan løse. Rapporten beskriver noen overordnede utfordringer ved bruk av droner innen petroleumsvirksomheten og forslag til tiltak.

UTARBEIDET AV

Trond Bakken

SIGNATUR**KONTROLLERT AV**

Tor Erik Evjemo

SIGNATUR**GODKJENT AV**

Sture Holmstrøm

SIGNATUR**RAPPORTNR**

2019:01284

ISBN

978-82-14-06264-9

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
0.1	2019-10-04	Første utkast oversendt til Petroleumstilsynet

0.2	2019-10-25	Andre utkast oversendt Petroleumstilsynet
-----	------------	---

0.3	2019-11-17	Tredje utkast oversendt Petroleumstilsynet
-----	------------	--

0.4	2019-11-27	Endelig utkast med tiltaksliste oversendt Petroleumstilsynet
-----	------------	--

1.0	2019-12-09	Endelig rapport
-----	------------	-----------------

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	5
Innledning og metoder	9
1.1 Prosjektavgrensing	9
1.2 Rammebetingelser	11
1.3 Viktige definisjoner, forkortelser og begreper	12
1.4 Metode og gjennomføring	14
1.4.1 Litteraturstudie og gjennomgang av forskningsprosjekter	14
1.4.2 Datainnsamling - Intervju	15
1.4.3 Sårbarhets- og risikovurdering	15
1.4.4 Kompetansedeling	15
2 Dagens status for droner – bruk og pågående forskning i Norge	16
2.1 Kort status og oversikt over dronebruk i spesifikke områder	16
2.1.1 Ubemannet metro	16
2.1.2 Autonom vegtransport	17
2.1.3 Autonomi innen sjøfart	18
2.1.4 Autonomi innen luftfart	18
2.1.5 Undervannsdroner	20
2.1.6 Overflatedroner	23
2.1.7 Luftdroner	25
2.2 Kontroll av droner og bruk av kontrollsentraler	28
2.3 Kritisk funksjonalitet og tilhørende teknologier (på dronen)	28
2.3.1 Autonomi - Luft, undervanns og overflate	28
2.3.2 Ytelse, tilgjengelighet og infrastruktur	29
2.3.3 Lokalisering	32
2.3.4 Kollisjonsunngåelse	33
2.3.5 Kommunikasjon	35
2.3.6 Sikkerhetsfunksjoner	37
2.3.7 Oppdragsspesifikke systemer	37
2.4 Pågående forskning knyttet til dronebruk	38
2.5 Regelutforming	41
2.6 Ansvar og praksis i Norge	43
3 Luftbårne droner i nordområdene og arktiske strøk	45
3.1 Lys, klima og værmessige utfordringer	45

3.1.1	Utfordringer med luftfartøyet	45
3.1.2	Utfordringer operativt	46
3.1.3	Personell og HMS utfordringer	46
3.2	Kommunikasjonsinfrastruktur	47
3.3	Status og trender	47
3.4	Mellomvare og kontrollsystemer.....	49
3.5	Potensialet i drone operasjoner i nordområdene og Arktis	49
4	Innsamlede erfaringer og utviklingstrekk med vekt på HMS fra intervjuene	49
5	Risiko og trusler ved bruk av droner	52
5.1	Oversikt over risikobildet	52
5.1.1	Viktige retningslinjer for sikker bruk av droner	53
5.2	Sårbarheter og risikoreduserende tiltak	53
5.2.1	Effekt av fagnettverk for systematisk forbedring av sikkerheten	54
5.3	Pålitelighet, HMS forhold og uønskede hendelser	55
5.3.1	Pålitelighet og HMS forhold.....	55
5.3.2	Typer av uønskede hendelser	56
5.4	Praksis for vurdering av operasjoner - herunder risikovurderinger	56
5.4.1	Praksis og retningslinjer for droner til sjøs og under vann	56
5.4.2	Praksis og retningslinjer for droner i luft.....	57
6	Utfordringer og forslag til tiltak.....	58
6.1	Utfordringer innen planlegging og operativ drift hvor droner er involvert.....	58
6.2	Utfordringer knyttet til samdrift	59
6.3	Teknologiske utfordringer.....	60
6.4	Spesielle utfordringer knyttet til nordområdene.....	60
6.5	Forslag til tiltak.....	61
6.5.1	(Tiltak T1) Systematisering av risiko, farer, feilsituasjoner ved droner og dronesystemer - Krav til robuste og trygge teknologiske løsninger.....	62
6.5.2	(Tiltak T2) Kompetanse og erfaringsdeling gjennom felles fagnettverk, krav, retningslinjer, konferanser og workshops.....	62
6.5.3	Andre tiltak - Tiltak T3-T6	63
7	Referanser.....	65

Sammendrag

Formålet med denne rapporten er å vise eksempler på bruk av fjernstyrte og autonome droner i petroleumssektoren og vise hvilke utviklingstrender innen droneteknologi som er viktige. Utfordringer og muligheter for bruk av droner i nordområdene er spesielt vektlagt. Teknologi for og anvendelser av flyvende droner, droner på havoverflaten og droner under vann er behandlet i denne rapporten.

Vi har i rapporten beskrevet hvordan droner brukes i dag og oppgaver dronene kan løse fremover. Rapporten beskriver utfordringer ved bruk av droner innen petroleumsvirksomheten og forslag til tiltak.

Droner bidrar allerede til verdiskaping og helse-, miljø og sikkerhet (HMS) i petroleumsindustrien i dag. For eksempel til undervannsoperasjoner hvor undervannsdroner brukes til en rekke oppgaver, slik som installasjon, inspeksjon, vedlikehold, overvåkning, osv. Et utviklingstrekk er at det blir økende grad av autonomi i droner. Undervannsdroner styres som regel fra et bemannet skip, men det blir stadig større muligheter for å kunne styre og overvåke operasjoner med undervannsdroner fra land. Norske teknologiselskaper er i dag verdensledende på utvikling og bruk av autonome skip, undervannsdroner og undervannsteknologi.

Det er i dag liten bruk av droner på havoverflaten innenfor petroleumssektoren, men det er mye forskning og utvikling innen autonome skip i maritim sektor, noe som har posisjonert oss som en verdensledende aktør og etter hvert kan det være mulighet for autonome overflatefartøy innenfor havovervåking, logistikk og som overflatefartøy for undervannsoperasjoner.

Luftbårne droner har det siste tiåret hatt en rivende teknologiutvikling med stadige nye anvendelser. Innen petroleumssektoren har luftbårne droner til nå i hovedsak vært brukt til inspeksjon av områder som er vanskelig tilgjengelig. Luftbårne droner er i dag i all hovedsak manuelt styrt med liten grad av autonomi. Droneoperasjoner krever oftest minimum to operatører, hvorav en styrer selve dronen mens den andre styrer nyttelasten til dronen – som regel et kamera for inspeksjon. Også innenfor luftbårne droner forventes det en gradvis utvikling mot mer autonome systemer, hvor dronen selv håndterer krevende flyving og håndterer kollisjonsunngåelse.

Utviklingen av teknologi og løsninger for undervannsdroner har i lengre tid vært drevet av behov innenfor petroleumssektoren og de etablerte teknologiselskapene har lang erfaring med droneoperasjoner med den tilhørende risikoen. Selv om det er mulighet for disruptive løsninger også innenfor denne sektoren, kan det forventes en gradvis og kontrollert overgang til mer autonome løsninger. Utviklingen innen luftbårne droner har tidligere i stor grad vært styrt av militære behov, men et voksende sivil marked har gjort teknologien mer tilgjengelig. Teknologien er derfor ikke utviklet spesielt for industrielle droneoperasjoner, og har ikke hatt fokus på de spesielle kravene til robusthet og redundans som er nødvendig for sikre droneoperasjoner i petroleumssektoren. Sikkerheten har i stor grad vært ivaretatt ved svært restriktiv bruk av luftbårne droner.

Denne rapporten gir en overordnet oversikt over identifiserte risikoer forbundet med droneteknologi og droneoperasjoner. Kritiske delteknologier ved droner er kommunikasjon med kontrollrom og operatør og lokalisering (bestemme dronens egen posisjon). Mekanisk robusthet i forhold til røft miljø og håndtering av feilsituasjoner er også kritisk for bruk i industrielle sammenhenger. Videre er operatørgrensesnitt, både i forhold til droneoperatør og kontrollrom svært viktig for å gjennomføre sikre droneoperasjoner. I henhold til tidligere praksis i petroleumsbransjen, som er risikobasert og funksjonsorientert, så har vi foreslått å detaljere og systematisere de viktigste utfordringer knyttet til droner og droneoperasjoner.

Grovt sett, så er utfordringer med drone og dronebruk knyttet til:

- **Teknologi** – Droner utgjør svært avanserte og komplekse systemer hvor en rekke delteknologier skal fungere sammen. Det er utfordrende å oppnå høy robusthet for kritiske teknologier som kommunikasjon, lokaliseringssystemer, sensorsystemer og kollisjonsunngåelse.
- **Planlegging og operativ drift** – Petroleumsindustrien vil kunne se et skifte over til større grad av autonomitet i dronene som brukes, økt bruk av droner, samt økt bruk av landbaserte kontrollrom. Dette gjør at den operasjonelle kompleksiteten øker, og øker krav til operasjonell planlegging og grensesnitt mot menneskelige operatører.
- **Samdrift av flere droner og bemannede fartøy** – Petroleumsbransjen vil kunne gå fra en driftsituasjon som normalt er preget av nokså få fartøyer rundt offshoreinstallasjoner til et relativt stort antall mindre og større droner i lufta, på vann og under vann.
- **Robust og sikker bruk** med rutiner, kunnskap, organisering og forventninger til menneskelige aktører. Droneoperasjoner må risikovurderes, og det må være kompetente operatører på plass som blir støttet av brukervennlig teknologi, gode rutiner og meningsfull menneskelig kontroll når det uventede skjer. Dårlig brukergrensesnitt har vært en kilde til uønskede hendelser.
- **Nordområdene** – Det er flere utfordringer i forbindelse med lave temperaturer, vind og skydekke i nordområdene og spesielt i Arktis. Elektronikk som brukes i droner er normalt ikke designet for svært lave temperaturer. Ising på vinge og propeller kan føre til tap av luftbårne droner.

Basert på det som er kommet i frem i rapporten av utfordringer, risiko og teknologi så har vi foreslått noen tiltak for aktørene i petroleumsnæringen (hvor Ptil er inkludert). Detaljert i avsnitt 6.5, oppsummert er tiltakene:

- **Aktørene i petroleumsnæringen bør ta initiativ til at risiko, farer, feilsituasjoner og feilhåndtering ved bruk av droner systematiseres.** En slik systematisering kan danne grunnlag for bransjens krav til robust teknologi, herunder integritet og redundans. Dronebrukerne innen petroleumsnæringen bør samle statistikk om årlig dronebruk ut fra den loggføringen som er et krav for RO2 og RO3. Videre vil det være et nødvendig underlag for det enkeltes selskaps risikovurdering av droneteknologi og droneoperasjoner, og vil danne grunnlag for operasjonelle føringer hos oljeselskapene.
- **Aktørene i petroleumsnæringen bør etablere et fagnettverk for sikker bruk av droner.** Et fagnettverk kan blant annet ta ansvar for å utarbeide krav, retningslinjer og forslag til tekniske løsninger for å intensivere utviklingen av robust og sikker droneteknologi og -operasjoner i tråd med myndighetenes strategier. Et slikt forum kan arrangere periodiske eller årlige konferanser med fokus på sikker bruk av droner i petroleumsvirksomheten, med gjennomgang av erfaringer, utfordringer og muligheter.
- **Aktørene i petroleumsnæringen bør gjennomføre vurdering av behovet for sikring i samarbeid med operatørene** knyttet til bruk av droner for luft (vann/under vann) – med vurdering av behov for tiltak som eksempelvis å øke sikringssonen rundt petroleumsinstallasjoner og -anlegg
- **Aktørene i petroleumsnæringen bør systematisere erfaringer fra ROV-bruk,** bør være en pådriver for samarbeid med andre sektorer og ta i bruk relevante **test- og treningsanlegg** og legge til rette for relevante **kurs og treningsmuligheter** i forbindelse med innføring og bruk av droneteknologi.

Executive summary

The purpose of this report is to show examples of the use of remote controlled and autonomous drones in the petroleum sector and to show important development trends in drone technology. The challenges and opportunities for using drones in the northern areas are particularly emphasized. Technology and applications of flying drones, sea level drones and underwater drones are covered in this report.

We have described in the report how drones are used today and looked at some tasks drones can solve. The report describes some of the challenges of using drones in the petroleum industry and proposing actions.

Drones are already contributing with added value and HSE in the petroleum industry today, especially for underwater operations where subsea drones are used for a variety of tasks (installation, inspection, maintenance, monitoring, etc.). Subsea drones are usually controlled from a manned ship, but there is an increasing opportunity to control and monitor operations with subsea drones from land. Norwegian technology companies are today a world leader in subsea drones and underwater technology, and a trend is an increased level of autonomy in the drones.

There is currently little use of surface drones in the petroleum sector, but there is much research and development within autonomous vessels in the maritime sector and eventually there may be the possibility of autonomous surface vessels in sea monitoring, logistics and as surface vessels serving underwater operations.

Over the past decade, airborne drones have had rapid technological development with new applications. In the petroleum sector, airborne drones have so far mainly been used for inspection of areas that are difficult to access. Today, airborne drones are mainly manually controlled with a small degree of autonomy. Drone operations require often a minimum of two operators, one of which controls the drone itself while the other controls the drone's payload - usually a camera for inspection. For airborne drones, a gradual development towards more autonomous systems is expected, where drones handle flight and collision avoidance.

The development of technology and solutions for subsea drones has long been driven by needs in the petroleum sector and the established technology companies have long experience with drone operations and the risks associated. Although disruptive solutions are possible in this sector as well, a gradual and controlled transition to more autonomous solutions can be expected. Technology development in airborne drones has previously been largely driven by military needs, but an increasing civil market has made technology more accessible. The technology has therefore not been developed specifically for industrial drone operations and has not focused on requirements for robustness and redundancy needed for safe drone operations. Safety has largely been safeguarded by the very restrictive use of airborne drones.

This report provides an overall overview of identified risks associated with drone technology and drone operations. Critical technologies for drones are communication with control room and operator and location (determine the drone's own position). Mechanical robustness in relation to rough environment and handling of error conditions are also critical in the industrial contexts. Furthermore, operator interface, both in relation to drone operator and control room, is very important for safe drone operations. In accordance with previous practices in the petroleum industry, which are risk-based and function-oriented, we have proposed to detail and systematize the most important challenges related to drones and drone operations.

Roughly speaking, challenges with drone and drone use are related to:

- **Technology** - Drones are highly sophisticated and complex systems where a variety of technologies shall work together. Achieving high robustness for critical technologies such as communications, location systems, sensor systems, and collision avoidance is challenging.

- **Planning and operations** - The petroleum industry will see a shift to greater degree of autonomy, increased use of drones and increased use of land-based control rooms. This increases operational complexity and increases requirements for operational planning and interfaces with human operators.
- **Co-operation of several drones and manned vessels** - The petroleum industry may move from a situation that is normally characterized by quite few vessels around offshore installations to a relatively large number of smaller and larger drones in the air, on water and underwater.
- **Challenges related to safe use** with routines, knowledge, organization and expectations of human actors. Drone operations must be risk-assessed, and there must be competent operators in place who are supported by user-friendly technology, good routines and meaningful human control when the unexpected happens. Unsatisfactory user interface has been a source of unwanted events.
- **Northern Territories** - There are several challenges associated with low temperatures, wind and cloud cover in the Northern Territories and especially in the Arctic. Electronics used in drones are not normally designed for very low temperatures. Icing on the wing and propeller can cause loss of airborne drones.

Based on what is stated in the report on challenges, risk and technology, we have proposed actions for the actors in the Petroleum sector (where Ptil is included). The summarized actions are:

- **The actors in the Petroleum sector should take the initiative to detail and systematize risks and dangers, errors and handling of errors regarding the use of drones.** Such systemization can form the basis for the industry's requirements for robust technology, including integrity and redundancy, and will be a necessary basis for the individual company's risk assessment of drone technology and operations. The users should collect and report data in line with requirements for RO2 and RO3.
- **The actors in the Petroleum sector should establish a professional network for safe use of drones in the industry.** A professional network may be responsible for drawing up requirements, drawing up guidelines and suggestions for technical solutions to intensify the development of robust and secure drone technology and operations in line with governmental strategies.
- **The actors in the Petroleum sector should consider the need for further securing the area around oil platforms** related to the use of drones for air (surface/subsea) - with assessment of actions such as increasing the security zone around oil installations.
- **The actors in the Petroleum sector should systematize experiences from the use of ROV's,** should be a driving force for collaboration with other sectors, facilitate relevant **focused courses and good training** opportunities and establish **test and training facilities** for the sector.

Innledning og metoder

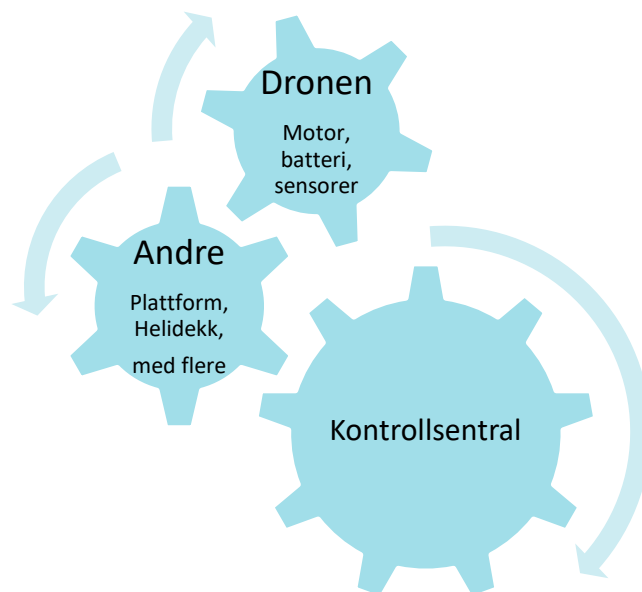
Denne rapporten er basert på en utlysning fra Petroleumstilsynet (Ptil) som ønsker å få utredet bruken av tilgjengelig droneteknologi og utviklingstrender for bruk av droneteknologi i nordområdene. Eksempler på bruk som ble nevnt var overvåkning (som is, oljelekkasjer, gjenstander på kollisjonskurs) og inspeksjoner (innvendig og utvendig). Området for dronebruk er både på innretningen, i nærhet av innretningen og på lang avstand (over 50 km fra plattformen). Ptil ønsket å utrede risikoforhold ved bruk av droner ut fra et bredt perspektiv som omfattet menneske, teknologi og organisasjon (MTO). Elementer som spesifikt ble nevnt var: behov for kompetanse, opplæring, beslutningsstøtte og evt. fremmedgjøring. Potensielle farer og risiko ved bruk av droner (også langtrekkende), og eventuelle risikoer forbundet med militære aktiviteter i nordområdene. Tap av kontroll over dronen, herunder tap av kommunikasjon eller navigasjon og evt. risikoer ved at andre tar kontroll over dronen. Kollisjonsfare med innretning eller andre objekter. Risikoer forbundet med maskin-maskin og menneske-maskin kommunikasjon og behov for standardisering av design og drift. En ønsket også en gjennomgang av relevant regelverk.

1.1 Prosjektavgrensning

I denne studien er omfanget begrenset til bruk av ubemannede fartøyer, droner, i petroleumsaktiviteten i nord. Droner kan her være ubemannede fartøyer i luft (Unmanned Aerial Vehicle, UAV), på overflaten (Unmanned Surface Vehicle, USV) og under vann (Unmanned Underwater Vehicle, UUV).

En drone er et fjernstyrt eller autonomt system. Systemet omfatter dronen, styringssystemet for dronen, kommunikasjon og interaksjon opp mot kontrollsentraler eller kontrollsystem med menneskelige aktører og kommunikasjon mot andre (Figur 1):

- Styrings- og planleggningssystem for drone, inklusivt brukergrensesnitt for styring av drone fra kontrollsentral (operatør)
- Kommunikasjon mellom drone og land og mellom drone og plattform
 - Kommunikasjon mot ekstern infrastruktur (f.eks. kontrollsentraler)
 - System for lokalisering av drone (GPS og andre lokale systemer) herunder sikkerhetssystemer for droner (kollisjonsunngåelse, tap av GPS)



Figur 1: Droner i et systemperspektiv – interaksjon med kontrollsentral og andre aktører

Automatisering er en prosess med formål å gjøre et fenomen/operasjon automatisk, slik at det i større eller mindre grad styrer seg selv. Begrepene autonomi og automatisering brukes i stor grad om hverandre. Det er definert forskjellige nivå av automatisering med forskjellige nivå av interaksjon med mennesker, hvor fult autonome systemer styrer seg selv, se det påfølgende avsnittet om "grad av autonomi", se også Vagia et al (2016) for en oversikt over begrepsbruken. Vi har vurdert bruk av droner ut fra et bredt perspektiv som omfatter menneske, teknologi og organisasjon (MTO) – som inkluderer behov for opplæring, trening, prosedyrer, rutiner, krav til teknologi og organisatoriske ansvarsforhold.

Vi har vært spesielt opptatt av HMS konsekvenser av dronebruken for den aktuelle installasjonen, og har da basert oss på Ptil's definisjon av HMS «... omfatter sikkerhet, arbeidsmiljø, helse, ytre miljø og økonomiske verdier (deriblant produksjons- og transportregularitet)».

Bruk av droner har vært i tilknytning til offshore oljeinstallasjoner, dvs.:

1. På plattformen
2. I nærheten av plattformen (dvs. innenfor 500 meter sikkerhetssonen – skilt på LOS/BLOS)
3. Utenfor plattformen (dvs. utenfor 500 meter sikkerhetssonen – skilt på LOS/BLOS)

Grad av autonomi

Selv om alle droner kontrolleres uten en pilot om bord så vil ulike farkoster kreve ulik grad av involvering fra en operatør som befinner seg f.eks. i et kontrollrom på land eller befinner seg i nærheten av dronen (f.eks. på et skip eller en plattform). Autonomi involverer evnen et system innehar til å ta egne beslutninger (uten å involvere eksterne systemer eller operatører) om aksjoner det foretar som en del av en gitt oppgave. Det refereres ofte til ulike nivåer av autonomi eller "Levels Of Autonomy" (LOA).

Det finnes mange slike klassifiseringer (Vagia et al, 2016). De er ofte tilpasset forskjellige typer transport, slik som bil, skip eller luftbåren drone, og er i varierende grad standardisert innen fagfeltet. Det kan derfor være greit å oppsummere de forskjellige nivåene innen autonomi med en forenklet tabell basert på SAE (2016) fra bilbransjen.

Tabell 1: Overordnet oversikt over nivå av autonomi og samspillet pilot(fører) og drone.

Nivå	Autonomi	Piloten / fører	Dronen
1	Ingen autonomi	Alle operasjoner	Advarer, beskytter
2	Begrenset støtte	Styrer (In-the-loop)	Veileder, støtter
3	Taktisk, overvåker	Involvert – overvåker hele tiden "On-the loop"	Styrer innenfor veldefinerte grenser
4	Automatisert støtte Strategisk	"Out-of-loop" avbruddsstyrt, blir spurt av systemet	Opererer selvstendig, men kan gi tilbake kontrollen
5	Autonom	Fullstendig "out-of-loop"	Opererer selvstendig – går selv til sikker tilstand

Flere ulike faktorer påvirker graden av autonomi som er mulig å oppnå for en gitt robot eller farkost, inkludert:

- Tilgjengelig situasjonsforståelse (via sensorer og sensor-fusjon)
- Krav og begrensninger for menneske og maskin samarbeid
- Mulig presisjon i (kollisjonsfri) baneplasslegging
- Mulig presisjon i styresystem
- Evne til å korrigere for usikkerhet
- Evne til å detektere og kompensere for feil og uønskede ytre påvirkninger.

Ofte så vil et system endre graden av autonomi i løpet av en operasjon. For en drone, så vil ofte start og avslutning på oppdraget involvere bistand eller overvåking av operatør, mens følgende av planlagt bane kan være en autonom funksjon.

1.2 Rammebetingelser

Rammebetingelser for bruk av droner i luft, på vann og under vann er skissert i flere strategidokumenter. Fra myndighetenes side bl.a. Samferdselsdepartementet, har det vært et uttalt mål å fjerne hinder som forsinkes bruk av innovasjon og ny teknologi (bl.a. for autonome skip). En har derfor satt av midler til uttesting og forbedring av droner via pilotprosjekter og forskning, med det sterkeste søkelys på det maritime området. Sentrale dokumenter for utviklingen og bruk av droner er Nasjonal Transportplan 2018-2029, Regjeringens havstrategi "Ny vekst, stolt historie - " (2017) og Norges Dronestrategi (2018).

For droner på vann og under vann har det vært et fokus fra myndighetene på at Norge skal være i forkant med hensyn til bruk av autonome fartøyer. Myndighetene og sjøfartsdirektoratet har derfor arbeidet med å videreutvikle lovverket, bl.a. satt søkelys på å fjerne lovmessige hinder for bruk av autonome skip, ref. Lov om havner og farvann, og sjøfartsdirektoratet har startet med å utvikle regelverk for å støtte opp under sikker og miljøvennlig autonom sjøtransport. Direktoratet baserer seg på dokumenterte driftskonsepter (Concept of Operations – CONOPS) som bl.a. består av beskrivelse av operasjon, slik som rute, autonomigrad, bemanning, styring og ansvar. Dessuten vil det kreves risikovurderinger (Pre HAZID, risikovurderinger; HAZID) og systemet skal testes og godkjennes av uavhengig tredjepart før det settes i drift.

For droner i luft er viktige rammebetingelser Norges dronestrategi (2018), Luftfartstilsynets "Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv" Lovdata (2015) og EASAs nye forordning som regulerer droneoperasjoner og sertifisering av droner (EASA 2019).

Fra den Norske dronestrategien kan nevnes:

- Ønsket om å styrke sikkerhetsarbeidet bl.a. ved at droneoperatørene blir en del av sikkerhetskulturen som ellers preger luftfarten
- Arbeidet for å fremme offentlig sektors bruk av droner, bl.a. forsvarlig bruk i redningsoperasjoner, overvåking i miljøforvaltningen
- Legge til rette for forskning og teknologiutvikling bl.a. testing og utvikling av droneflygning under krevende klimatiske forhold

Fra Lovdata (2015) "Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv" forutsettes at droneoperasjoner følger kravene i henhold til de generelle krav og begrensninger som gjelder for alle RPAS-operatører (RO), det vil si RO1, RO2 og RO3.

Når det gjelder bruksområder og risikoområder ser det ut til at det er luftbårne droner som dominerer. Dette vil i noen grad reflekteres i rapporten ved at enkelte kapitler handler mer om luftbårne droner enn overflate- og undervannsdroner.

Militære operasjoner følger ofte eget regelverk og utføres ofte i egne øvelsesområder eller krigsteater, og er ikke en del av denne studien. Erfaringer fra militær operasjoner kan derimot være nyttige og er tatt med i studien der det er formålstjenlig.

Mobile roboter, herunder roboter som beveger seg ved hjelp av hjul og/eller belter, er ikke en del av denne studien. Ut ifra aktiviteter hos flere store petroleumsselskaper så er det en mulighet for at mobile roboter kan bli viktige innen inspeksjon og vedlikehold, samt situasjonsforståelse og håndtering av hendelser – blant annet på fjerntliggende og normalt ubemannete installasjoner.

NORCE er en av de med mest erfaring og kunnskap om operasjoner med luftbårne droner i arktiske strøk, og har derfor vært ansvarlig for Kap. 3.

I denne rapporten bruker vi både begrepet nordområde og Arktis og vi benytter oss av definisjonene som er brukt i Nordområdestrategien (2017) hvor Arktis strekker seg mellom polarsirkelen og Nordpolen, mens Nordområdene ikke begrenses klart av Polarsirkelen.

1.3 Viktige definisjoner, forkortelser og begreper

Tabell 2: Forkortelser og begreper

Forkortelse	Beskrivelse
ADS-B Automatic dependent surveillance—broadcast	ADS-B bruker satellitt-basert Global Navigation Satellite System (GNSS) for å beregne flyets posisjon, og sender relevante data til andre fly som er utstyrt med ADS-B (slik som flytype, høyde og hastighet). ADS-B sees på som den mest lovende teknologien for å integrere droner inn i den kommersielle bemannede luftfarten
AGV Automated Guided Vehicle	Bakkegående fartøy som kan kjøre på egenhånd/automatisk.
AI Artificial Intelligence	Ideelt sett er AI/Kunstig intelligenssystemer noe "som kan lære, resonere og handle på egen hånd. De kan ta egne beslutninger i møte med nye situasjoner på samme måte som mennesker og dyr kan". En beskrivelse for dagens status er "et systems evne til å korrekt tolke eksterne data, å lære av slike data, og å bruke denne kunnskapen til å oppnå spesifikke mål og oppgaver gjennom fleksibel tilpasning".
AIS Automatic Identification System	Automatisk identifikasjonssystem
ATEX ATmospheres EXplosibles	ATEX-direktivet anvendes for utstyr som benyttes i eksplosjonsfarlige områder, inkludert utstyr som er designet for å forhindre eksplosjoner. Utstyret kan være delt inn i sikkerhets kategorier: <ul style="list-style-type: none"> - Kategori 1 (for sone 0) maksimum beskyttelse; - kategori 2 (for sone 1) forhøyet bruk av beskyttelse; - kategori 3 (for sone 2) normalt omfang av beskyttelse
ATM Air Traffic Management	Lufttrafikk- og luftromsledelse, inkludert lufttrafikkstyrings- og flysikringstjenester og andre nettverksfunksjoner for lufttrafikkstyring
AUV Autonomous Underwater Vehicle	Autonom undervannsdroner. Ofte torpedoforment.
BLOS Beyond Line-Of-Sight	Flyging med ubemannet luftfartøy utenfor synsrekkevidde for pilot og/eller observatør.
BVLOS Beyond Visual Line Of Sight	Undergruppe/spesifisering av BLOS, samme kriterier som BLOS. Definisjoner av BLOS og BVLOS er hentet fra Luftfartstilsynet (2019).
COLREGS	Internasjonale regler for å hindre kollisjon på sjøen
CONOPS Concept for operations	Operasjonsplan
DoS Denial of Service	Data-angrep som består av overbelastning så maskinen feiler eller stopper

DVL Doppler Velocity Log	Akustisk sensor som estimerer farten til fartøyet relativt til sjøbunnen. Sammen med en IMU (inertial measurement unit) kan dette brukes til å lokalisere fartøyet
Droner	I denne rapporten brukes ordet «droner» kollektivt for å beskrive alt fra manuellstyrte, fjernstyrte til autonome systemer som kan brukes i luft, på havoverflaten og under vann.
EASA European Aviation Safety Agency	Europeisk luftfartsmyndighet som regulerer sivil luftfart Europa.
EO Electro Optical	Et EO-kamera er et "tradisjonelt kamera", altså et som "ser" elektromagnetiske bølger i det synlige spekteret
EVLOS Extended Visual Line of Sight	Flyging med luftfartøy som ikke har fører om bord utenfor pilot eller fartøysjefs synsrekkevidde, der visuell kontroll opprettholdes ved bruk av observatør
EO/IR Electro-Optical/Infra-Red	Optiske/infrarøde sensorer for å identifisere objekter
GDPR	General Data Protection Regulation,
GNSS Global Navigation Satellite System E.g., GPS	GNSS står for Global Navigation Satellite System, en fellesbetegnelse for satellittnavigasjonssystemer som det amerikanske GPS (Global Positioning System), russiske GLONASS, det kinesiske BeiDou og det europeiske Galileo.
GPS Global Positioning System	GPS er utviklet av det amerikanske forsvaret og er et satellittbasert posisjonerings- og navigasjonssystem som gir nøyaktig stedfesting i tre dimensjoner.
HAZID	HAZID er en systematisk metode for å vurdere og identifisere risiko ved et system eller en aktivitet. Ordet er et akronym for HAZard IDentification
HD High Definition	Høy oppløsning (f.eks. 1920*1080)
HMI Human Machine Interface	Grensesnittet mellom mennesket og maskin
HMS	Helse, Miljø og Sikkerhet
IATA	The International Air Transport Association
ICAO	International Civil Aviation Organisation
IMU Inertial Measurement Unit	Sensor for å måle akselerasjon, vinkelhastighet og i noen tilfeller orientering
IR Infra Red	Et IR kamera "ser" varmeutstråling (infrarødt)
LBL (Long Baseline Localisation)	Akustisk posisjonering
LiDAR Light Detection And Ranging	Sensortype basert på lyssignaler
LOA	Levels of Autonomy
LOS Line-Of-Sight	En situasjon hvor en har uhindret sikt mellom sender og mottaker.
MBR Maritime Broadband Radio	Maritimt bredbånd
MEL Minimum Equipment List	Angir komponenter eller systemer som kan være ute av funksjon når en flyging på begynnes samt angir de betingelser som da må oppfylles.
MTBF	Mean Time Between Failures
NAOC National Air Operations Centre	Nasjonale Luftoperasjonssenteret
NDT Non-Destructive Testing.	Ikke-ødeleggende utprøving

NOTAM (NOtice To AirMen)	Informasjon til flygende personell, om viktige forhold vedrørende flygning
OIM Offshore Installation Manager	Plattformsjef
Ptil	Petroleumstilsynet
ROV	Remotely Operated Vehicle
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System
Risiko	Med risiko menes konsekvensene av virksomheten med tilhørende usikkerhet, ref Rammeforskriften (2019), § 11 Prinsipper for risikoreduksjon – veiledning.
RMZ Radio Mandatory Zone	Luftrom der det er krav til radiokommunikasjonsutstyr
SESAR	Single European Sky Air Traffic Management (ATM) Research programme
SJA	Sikker Job Analyse
SLAM Simultaneous Localization and Mapping	Metode for å bygge kart av omgivelsene og samtidig finne posisjonen til f.eks. en drone i dette kartet.
SWIR	Short Wave Infra Red
TCAS Traffic Collision Avoidance System	Et system som er designet for å redusere antall hendelser og kollisjoner i luften.
Trussel	En mulig uønsket handling som kan gi negativ konsekvens for en entitets-sikkerhet
UAS Unmanned Aircraft System	UAS inkluderer dronen/UAVen og bakkesystemet, samt kommunikasjonen mellom de to
UAV Unmanned Aerial Vehicle	UAV er ofte brukt på same måte som luftbåren drone
UID Underwater Intervention Drone	Omfatter typisk undervannsdroner som kan operere uten kabel og som har mulighet for å kunne gjøre intervensjon.
USV Unmanned Surface Vehicle	Autonome systemer som kan brukes på havoverflaten
USBL (Ultra Short Baseline Localisation)	Lokaliseringssystem for undervannsdroner
UTM Unmanned air Traffic Management	Trafikkhåndteringssystem for luftbårne droner
UUV Unmanned Underwater Vehicle	Omfatter alle undervannsdroner: ROV, AUV, UID, osv.
VLOS (Visual Line Of Sight)	Flyging med luftfartøy som ikke har fører om bord som kan gjennomføres slik at luftfartøyet hele tiden kan observeres uten hjelpemidler som kikkert, kamera, eller andre hjelpemidler, unntatt vanlige briller
VTOL Vertical Take Off and landing	Vertikal avgang og landing

1.4 Metode og gjennomføring

1.4.1 Litteraturstudie og gjennomgang av forskningsprosjekter

En del av rapporten er basert på litteraturstudier og gjennomgang av forskningsprosjekter nasjonalt (via forskningsdatabasen til forskningsrådet), og noe internasjonalt for å gi et så korrekt som mulig bilde av aktuell status og hva vi kan forvente oss fremover.

Litteraturstudien har fokusert på HMS, risikoer og erfaringer fra drift. Nøkkelord som er brukt har vært "unmanned", og modene som er søkt på har vært "aviation", "sea", "road" og "rail" med fokus på "safety" og "security".

1.4.2 Datainnsamling - Intervju

Prosjektet har gjennomført 8 intervjuer med forskjellige interessenter innen droneaktiviteter relatert til olje og gassindustrien. Intervjuene er utført anonymt med et ønske om å få frem reelle problemstillinger og utfordringer med droneaktivitet i dag og i fremtiden. Områder som ble diskutert var forventninger og argumenter for bruk av droner, kunder og aktører, hva hindrer/forsinker spredningen av droner, hvordan vurderer dere risikoen ved bruk av droner og hvordan bør vi lære om god HMS og forbedre HMS løpende? Resultatene fra intervjuene er beskrevet i kapittel 4.

1.4.3 Sårbarhets- og risikovurdering

Metoder brukt i sårbarhets- og sikkerhetsvurderinger er basert på standarder og etablerte metoder som bl.a. beskrevet i Rausand og Utne (2009), hvor barriereperspektivet er en viktig metode, se også Ptil (2017). Perspektivene i sårbarhets- og risikovurderingene er basert på Lund & Aarø (2004), hvor forbedring av sikkerhet er avhengig av breddetiltak som omfatter både tekniske, menneskelige og organisatoriske faktorer, for eksempel design som reduserer tekniske feil, muligheten for meningsfulle menneskelige aksjoner, regelverk og god praksis.

Begrepet risiko brukes ofte som et uttrykk for kombinasjonen av sannsynlighet for og konsekvensen av en uønsket hendelse, Norsk Standard NS 5814. Denne definisjonen har vært brukt i en del vitenskapelige artikler om autonome løsninger. Petroleumstilsynet definerer risiko som "Risiko er konsekvensene av virksomheten med tilhørende usikkerhet", ref. Veiledning til Rammeforskriften (2019) i § 11 Prinsipper for risikoreduksjon. Konsekvens er et samlebegrep for alle konsekvenser, dvs. skade på eller tap av menneskers liv og helse, miljø og materielle verdier, men inkluderer også tilstander og hendelser som kan gi eller føre til denne typen konsekvenser. Med tilhørende usikkerhet menes her usikkerhet relatert til hva konsekvensene av virksomheten kan bli. Gitt beskrivelsen av konsekvensene ovenfor, så relaterer usikkerheten seg til både hvilke hendelser som kan inntreffe, til hvor ofte de vil inntreffe, og til hvilke skader på eller tap av menneskers liv og helse, miljø og materielle verdier de ulike hendelsene kan gi.

En trussel defineres som en mulig uønsket handling som kan gi negativ konsekvens for en entitets sikkerhet, NS 5830 (2012). Begrepet «entitet» er benyttet som et forenkende samlebegrep. En entitet kan for eksempel være et fysisk objekt, et individ, en organisasjon, en stat, en gruppering, en virksomhet eller en annen enhet som hensiktsmessig passer inn i den aktuelle sammenhengen.

Vi bruker bl.a. barrierer for å håndtere risikoer og trusler, og baserer oss da på begreper fra Ptil i deres notat om "Prinsipper for barrierestyring i petroleumsvirksomheten" (Ptil (2017)). Hovedpunktene i barrierestyringen er å identifisere feil, fare- og ulykkessituasjoner for deretter identifisere barrierene (med funksjoner, elementer og ytelseskrav), både tekniske, organisatoriske og operasjonelle.

1.4.4 Kompetansedeling

Prosjektet har vært utført i dialog med Ptil og faglige presentasjoner fra relevante studier har vært delt med Ptil i flere workshops. Det gjelder for eksempel

- Risikoer i autonome systemer – presentasjon gitt av Stig Ole Johnsen
- UAS Technology for the Oil and Gas Industry – presentasjon gitt av Mariann Merz
- Metodikk for design av autonome operasjoner – presentasjon gitt av Aksel A. Transeth
- Droneprosjekt med Statnett – presentasjon gitt av Aksel A. Transeth
- Relevante risikoer og MTO -tiltak for autonome systemer – presentasjon gitt av Stig Ole Johnsen

For ytterligere deling av kompetanse vil det utarbeides et paper som planlegges presentert på ESREL/PSAM konferansen i 2020 (European Safety and Reliability-/Probabilistic Safety Assessment and Management Conference).

2 Dagens status for droner – bruk og pågående forskning i Norge

Bruk av droner til industrielle anvendelser er økende. Bruk av droner i luft har økt med 100% hvert år de siste årene (Quilter et al., 2017). Generelt brukes droner for å erstatte eksisterende farlige operasjoner, operasjoner hvor HMS kan bli forbedret, eller operasjoner som kan gjennomføres billigere eller bedre.

Undervannsbaserte droner via ROVER brukes mye i næringen, og har kommet på et modenhetsnivå som ennå ikke har oppnådd på sjøoverflaten eller i luften. En forventer at droner i luft og på overflaten vil få økt bruk i oljenæringen i tiden fremover. En har i Norge satset på økt bruk av droner på sjø og på veg med mange ambisiøse prosjekter.

Den hyppigste brukskategorien generelt er foto og video. Det gjelder mest for droner i luft, men også for undervannsdroner. Foto/video opptak av omgivelser, kritiske operasjoner i forbindelse med opplæring, løpende informasjon, støtte til krisehåndtering er flere aktuelle bruksområder. Her inngår inspeksjon av kritiske komponenter eller kritisk utstyr for å øke HMS, unngå å eksponere mennesker for risiko, redusere kostnader eller øke kvaliteten av oppgaveutførelsen via 3D avbildninger eller teknologi som ultralydsinspeksjon. Eksempler på ytterligere bruk er gassdeteksjon, inspeksjon av flammefårn, partikkelmålinger, inspeksjon av vindmøller/havvind-stasjoner eller inspeksjon av understell på plattformer. Andre områder er inspeksjon av større lagringstanker hvor en unngår å bygge større stillaser og hvor kvaliteten på observasjonene kan økes ved bedre dokumentasjon og automatisk dataanalyse ved bruk av blant annet maskinlæringsteknikker.

Deteksjon og overvåking av kritiske områder som isfjell, eller overvåking av større områder er også viktige bruksområder. Her kan automatikk raskt oppdage avvik eller drive overvåking av oljeutslipp, generell miljøovervåking (utslipp, sediment, plankton, etc.), batymetri, kartlegging av havbunn og inspeksjon av rørledning. Videre kan ROV brukes til inspeksjon, vedlikehold og reparasjon av subsea olje- og gass installasjoner. Droner i luft og under vann kan brukes for å støtte datakommunikasjon i forbindelse med spesielle operasjoner eller kriser.

I forbindelse med fjernstyrte eller ubemannede plattformer kan en ta i bruk en drone for å få oversikt, fremfor å sende ut en uteoperatør eller en kan levere småpakker til bemannede plattformer i stedet for å bruke helikopter.

2.1 Kort status og oversikt over dronebruk i spesifikke områder

Erfaring med innføring av ny teknologi, bl.a. innen luftfart, har vist viktigheten av systematisk læring. Når den kumulative erfaringen har blitt fordoblet, har antall ulykker blitt redusert med en fast prosent, Duffey & Saul (2002), Johnsen & Håbrekke (2009). Vi må påpeke at det har vært sterkest fokus på pilotutprøving av autonom vegtransport og autonom sjøtransport i Norge, hvor det samtidig har vært utvikling og tilpassing av regelverket.

I det følgende har vi dokumentert erfaring fra bruk av droner på sjø, luft, veg og bane som har overføringsverdi til olje og gasssektoren.

2.1.1 Ubemannet metro

Ubemannet metro har vært operativt siden 1980. Det er ingen bemanning i metroene/togene, som er fjernstyrte via bemannede kontrollsentraler. Ved starten av 2019 var det ubemannede metroer i 37 byer med

48 linjer, totalt 674 km. Ett nærliggende eksempel er bybanen i København, som er ubemannet og styrt via en bemannet kontrollsentral. I forhold til sikkerhet kan nevnes:

1. Ingen kjente ulykker fra de har vært operative siden 1980 til 2019
2. Banespor har vært isolert fra annen trafikk – så banen gå på reserverte spor
3. Stengsler mot sporet og doble dører for å hindre at trafikanter kommer i sporet eller setter seg fast
4. Sentralt kontrollrom med kontinuerlig bemanning under drift, med overvåking av all trafikk og avvikshåndtering
5. Manglende systematisk datarapportering og dokumentasjon av mindre hendelser – det finnes ingen statistikk som systematiserer og oppsummerer bruken med antall passasjerer og transportlengde på internasjonalt nivå. Det finnes heller ingen omforent standard taksonomier for datarapportering knyttet til mindre hendelser.

Erfaring som kan og bør overføres til denne rapporten for droner (sjø, luft) er behovet for å definere operasjonsområde slik at risikoen blir så liten som mulig, etablere barrierer som hindrer uønskede hendelser, sikre at det er kontrollrom som kan gripe inn når det uventede skjer og etablere systemer for datarapportering og læring av hendelser.

2.1.2 Autonom vegtransport

Ubemannet/autonom transport har vært operativ i pilotprosjekter og forskning lenge. Det er flere eksempler, vi har bl.a. sett på autonome roboter (Automated Guided Vehicles – AGV) til varetransport ved St. Olav hospital hvor de startet drift i 2008/2009. I forhold til sikkerhet kan nevnes:

1. Ingen kjente ulykker fra 2008/2009 til 2019
2. Transportområdet er bygd i kjelleren, delvis isolert fra annen trafikk.
3. utfordringer med at AGV med sensorer ikke har klar forståelse av egne dimensjoner, og ikke oppdager eller ser objekter eller annen trafikk, for eksempel sykler, paller eller ser under gaffeltrucker. Problemet med gaffeltrucker er at det er høyt mellomrom mellom undersiden av gaflene og bakken, noe som gjør at sensorene ikke "ser" trucken.
4. AGVene sier ifra om at de kommer slik at gående og andre trafikanter kan ta hensyn, noe som påvirker tilliten til systemene og minsker fremmedgjøringen
5. Sentralt kontrollrom med kontinuerlig bemanning under drift, med overvåking av all trafikk og avvikshåndtering
6. Manglende systematisk datarapportering og dokumentasjon av mindre hendelser – ingen taksonomier for datarapportering, utfordringer med å få oversikt pga. manglende datafangst
7. Søkelys på læring og etablering av barrierer – eksempler på barriere er at man setter "skjørt" under gaffeltrucker så de ses av sensoren på AGVene

Erfaringen fra trafikk på regulære veier er bl.a. samlet inn fra Google Cars fra 2008:

1. Google Cars har kjørt 2,208,199 km – ulykkesraten er 1,36 pr million km, ca. 1/3 av tilsvarende for bemannet trafikk. Dette illustrerer viktigheten av datarapportering for å kunne si noe om risikonivået. Innføring av mer autonomi indikerer at det er mulig med reduksjon av ulykkesraten. I Norge er det 3 dødsfall pr. milliard kjørte km generelt på veinettet, mens i USA er det 7,3 dødsfall. Det indikerer at flere tiltak som opplæring og regelforbedring må settes i verk for å øke sikkerheten, ikke bare teknologi.
2. Nye typer ulykker – "rage against the machine" hvor andre bilister kolliderer med autonome biler fordi de ikke oppfører seg som forventet
3. Krever investeringer i infrastruktur for å sikre at det autonome kjøretøyet får støtte
4. Autonome personbiler er i stor grad bemannet med fører som sitter og passer på. Det kan nevnes at reaksjonstiden før mennesket tar over ("out of the loop") varierer fra 2 til 26 sekunder – dvs. det er utfordringer med designet for å ta over kontrollen slik det er designet i dag

5. Det er etablert delvis datarapportering og dokumentasjon av hendelser fra myndighetene (NTSB – National Transportation Safety Board)
6. Autonom gruvetransport har vært operativ siden 2008, med god HMS erfaring. Det er pågående pilotprosjekter i Norge med god erfaring fra drift i 2019
7. Erfaringen med sensorer og programvare (AI – Artificial Intelligence) brukt i autonome kjøretøy er at det er vanskelig å oppdage/tolke alle hindre/utfordringer i trafikken, og det er en generell forventning om at det tar lengere tid (industriestimater på over 12 år) før systemene har kommet på et slikt nivå at de kan levere full autonomi, eks. Wozniak (2019). Derfor er det nødvendig med avgrensninger i operasjonsområdet og utbygging av støttende infrastruktur for å kunne utnytte autonome kjøretøy fullt fremover.

Erfaring som kan overføres er behovet for å definere operasjonsområde slik at risikoen blir så liten som mulig, bygge ut og tilpasse infrastruktur til autonome kjøretøy, kvaliteten på sensorer og systemer er under utvikling, etablere barrierer som hindrer uønskede hendelser, sikre at det er kontrollrom som kan gripe inn når det uventede skjer, etablere systemer for datarapportering og læring av hendelser og at sikkerheten økes ikke bare av teknologi.

2.1.3 Autonomi innen sjøfart

Norge har vært svært proaktiv for å få etablert autonome løsninger innen sjøfart, og er blant de ledende aktørene internasjonalt. Det er etablert 3 testområder for autonome skip i Norge. Tidligere var det 6 testområder totalt på verdensbasis, men dette har endret seg nå. Av interessante pilotprosjekter kan nevnes Yara Birkeland som skal være operativ fra 2020-2021. Skipet er på 75 meter og vil frakte 150 containere, noe som vil fjerne ca. 40.000 lastebiler/år fra vegnettet. Det er planlagt en gradvis overgang til autonom styring av Yara Birkeland, med bemannet operasjon i starten støttet av kontrollsentral på land. Andre prosjekter er bl.a. Asko som skal bygge to sjødroner som skal erstatte 150 daglige trailerturer mellom Østfold og Vestfold. De skal krysse Oslofjorden elektrisk og utslippsfritt fra 2024. De elektriske og autonome fraktestøyene skal ha plass til 16 semitrailere. Anslåtte utslippsbesparelser på 5.000 tonn CO². Samtidig spares veiene for to millioner kjørte kilometer i året. I Trondheim er det planlagt en pilot, AutoFerry, som er en ubemannet ferje med tilkøpling til kontrollsentral som vil operere lokalt fra 2020, etter at en pilotferje har vært testet i 2019. Det er lite erfaring fra større autonome skip, men noe erfaring fra ubemannede ferjer hvor det har vært noen ulykker med overbelastning. Det er en del erfaring med mindre autonome overflateskip brukt f.eks. til kartlegging, seismikk, som har fungert bra innen sine områder. Wrobel et.al. (2017) har gått gjennom 100 skipsulykker og vurderer risikoen om skipene var ubemannet/autonome. Analysen er spekulativ, men indikerte at sannsynligheten for uhell vil reduseres med autonome skip, men konsekvensene kan bli større f.eks. ved grunnstøting eller brann på grunn av at mennesker ikke er der og kan improvisere eller håndtere ulykken på stedet. Mindre autonome overflatefartøyer har vært i bruk for seismikk og overvåkningsformål med god erfaring, bl.a. med oppdrag rundt Jan Mayen.

2.1.4 Autonomi innen luftfart

Bemannet med automatiserte funksjoner.

Det har vært en stor grad av automatisering innen luftfart, og dagens piloter får støtte av mange automatiserte funksjoner. "Vanlig" luftfart har en ekstrem høy sikkerhet. Flyselskap innen IATA hadde ingen store ulykker (hull losses) i 2012 og 2017. Luftfarten støttes av utbygd infrastruktur, systematisk datarapportering, kontrollsentraler, standardiserte fly, omfattende regelverk, fokus på "the science of Human Factors", systematisk opplæring og stort fokus på læring av ulykker. Det er fremdeles behov for menneskelig inngripen dvs.: "Human in the loop" og utfordringer med å etablere situasjonsforståelse i forbindelse med avvik. Det er flere eksempler på ulykker som er en konsekvens av automatikk, f.eks. Boeing Max ulykkene i 2018 og 2019.

UAS-Unmanned Aircraft Systems.

UAS har vært operativ siden 1970 for overvåkningsformål. Erfaring fra store (industrielle) droner hvor Department of Defense (DoD) har samlet inn data ref. Waraich et al. (2013), Hobbes et al. (2014) er:

1. Ca. 100 ganger høyere ulykkesrate med UAS enn med fly med pilot, ca. 50-100 UAS hendelser pr. 100,000 flytimer, men ca. 1 hendelse med pilotert fly pr. 100,000 flytimer. Viktigste rot-årsak til disse ulykkene er dårlig design av styringssystemet og menneske-maskin grensesnitt (Human Machine Interface – HMI) grunnet svak Human Factors kunnskap.
2. Feilraten – uttrykt ved tid mellom feil/”Mean Time Between Failures” har vært kort, dvs. 1,000 timer mens den er ca. 100,000 timer for bemannede fly, dvs. feilraten er vesentlig dårligere for droner

For mindre droner er fordelingen av tilfeldige feil (pr. 1000 feil) fra (Petritoli et al. 2017):

1. Motor (Power plant 411)
2. Styringssystem fra basestasjon (Ground Control system 273)
3. System for navigasjon (Navigation system 146)
4. Elektrisk system (Electronics 67) ; Struktur (mainframe 54) ; Last (Payload 53).

Når det gjelder sårbarheter (security) er uønskede hendelser fra Valente (2017) and Altawy et al. (2016):

- Ta over kontrollen av dronen via GPS spoofing, eller bakdører (også mulig i store fly som Boeing 787) /hacking
- Dronen ustabil/styrter/kolliderer (hacking/DoS)
- Tap av kommunikasjon – lås ut eieren eller manipuler video
- Ta private-data (bilder, video) – data lagres andre steder f.eks. i USA eller Kina
- Forstyrre regulær flydrift ved hjelp av droner, som vist på Gatwick
- Smugling
- Regulære bevisste angrep via droner, eksempelvis angrepet i Saudi Arabia i september 2019 (Saudi Arabia, 2019)

Teknologi for autonomi betyr dessverre også at det blir enda enklere å utføre sabotasje- eller terroraksjoner med bruk av droneteknologi, f.eks. det som skjedde i Saudi Arabia i 2019 som rammet 50% av oljeproduksjonen i en kort periode eller tilsvarende det som skjedde på Gatwick Airport 19-21 desember 2018, og som påvirket mer enn 140 000 passasjerer og over 1000 flygninger, ref. "Gatwick Airport drone incident" fra Wikipedia i 2018 (Gatwick, 2018). Det betyr at tersklene blir lavere og at det blir økt behov for vurdering og sikring rundt det som er sårbar infrastruktur.

Det har allerede i lengre tid vært mulig å forhåndsprogrammere en drone til å fly via et sett navigasjonskoordinater, men utviklingen går i retningen av at man også kan gjøre dette uten å være avhengig av satellitnavigasjonssystemer. Vi står nå i starten av en teknologiutvikling som i overskuelig fremtid gjør det mulig å bruke relativt billige droner med og uten nyttelast for å forstyrre og ødelegge samfunnskritiske funksjoner og infrastruktur. I tillegg kommer ikke legitim overvåkning av kritisk infrastruktur og personer.

Data fra ulike sensorer som radar/LIDAR, GPS, bevegelsessensorer, IR kamera, akustiske sensorer, avstandssensorer og andre datakilder som eksempelvis AIS og værtjenester skal brukes på best mulig måte for å gi navigatørene informasjon om omgivelsene. Man kan tenke seg at sammen type algoritmer og teknologi til en viss grad også kan brukes for å avdekke uønsket aktivitet (droner, personer, kjøretøy) eller mistenkelig oppførsel rundt sikkerhetskritisk infrastruktur (e.g. demninger, trafo-stasjoner). Utfordringen er å sette sammen systemer som er billige nok til at de kan utplasseres mange steder, pålitelige, robuste (mot dårlig vær, hacking) og krever lite vedlikehold. Innhenting av informasjon er bare en del av bildet. Hvordan man skal reagere på uønsket aktivitet er en annen utfordring. Hendelsen på Gatwick Airport (Gatwick, 2018) og under NATO-øvelsen Trident Juncture, TU Trident Juncture (2018), viste at det nødvendigvis ikke er så

lett å håndtere bruk av droner, særlig ikke i urbane eller tettbebygde områder. Bruk av droner vil kunne gå ut over sikkerheten til mennesker eller infrastruktur i nærheten. Med høyere grad av autonom funksjonalitet vil de kunne bli lettere å bruke, og det blir vanskeligere å finne ut hvem som står bak da operatøren ikke trenger å fjernstyre dronen direkte, men bare kan starte en pre-programmert rute. Økt kapasitet med tanke på rekkevidde og løftekapasitet betyr også at kommersielt tilgjengelige droner kan brukes til å frakte eksplosiver og initiere sprengkraften på steder og til tider hvor følgene kan være katastrofale.

Intel har vist frem sin dronesvermteknologi i underholdningsøyemed i "Drone Light Shows", Shooting Star Wikipedia (2019), både under Super Bowl i 2017 og olympiske leker i 2018. SINTEF vil i tidsperioden 2019-2021 ha en viktig rolle i utviklingen av sverm- og autonomiteknologi i EU prosjektet Ingenious (2019). Svermene skal bidra i søk- og redningsoperasjoner i katastrofesituasjoner, og deres oppgaver er bl.a. å opprettholde kommunikasjonsnettverk, bidra med relative navigasjonsløsninger, og å finne savnede. En potensiell fare er at fremtidig ondsinnet bruk av slik teknologi kan styre store svermer som det er vanskelig å forsvare seg mot. Slike små droner utgjøre også en potensiell trussel ved at de kan brukes i spionasje. Et eksempel på en liten drone, som riktignok ikke er kommersielt tilgjengelig, er Black Hornet (Black Hornet, 2019). Den veier ca. 33 gram, men kan fly i opptil 25 minutter og sende bilder i HD-kvalitet til operatøren.

Det er nærmest ubegrenset hva en kan tenke seg å bruke droner til og det er som oftest ikke teknologien som setter begrensninger, men heller kost nytte analyser, regelverk og sikkerhet. I det følgende skal vi se nærmere på forskjellige kategorier av droner og hva de kan tenkes brukt til.

2.1.5 Undervannsdroner

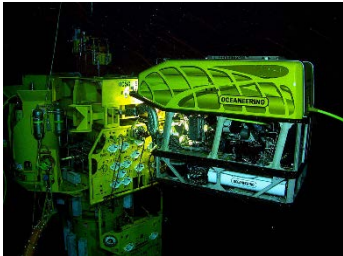



Ubemannete undervannsfartøy (UUV, Unmanned Underwater Vehicle) for bruk i olje- og gassindustrien har typisk vært representert av ROV (Remotely Operated Vehicle) som opererer med fjernstyring via kabler. Disse ble introdusert på syttitallet og kan brukes både til inspeksjons-, overvåknings- og intervensjonsoperasjoner. Det er anslått store gevinster ved å bruke droner til vedlikeholdsoppdrag, ref. TU (2019b).



I de senere år har også AUV (Autonomous Underwater Vehicle) blitt tatt noe i bruk. AUV er ofte torpedoformete fartøy som kan dekke store områder og lange strekninger, mens ROV typisk brukes lokalt innenfor et begrenset område. En ROV er oftest kablet til et overflatefartøy, mens en AUV opererer kabelløst. Utviklingen går mot at ROVer skal kunne operere i større grad uten å ha et overflatefartøy tilgjengelig. Dette er viktig bl.a. ifm bruk i nordområdene hvor vær og is kan skape utfordringer for overflatefartøy. I juni 2017 ble verdens første kommersielle ROV-operasjon med en "fastboende" arbeidsklasse ("work-class") ROV utført fra IKM Subseas lokaler i Norge, OE (2017). Et annet utviklingstrekk for UUV er at det kommer fartøyer som innehar en kombinasjon av egenskaper til ROV og AUV. Dette inkluderer delvis kabelløse ROVer, og undervannsdroner som kan reise over lengre strekninger og samtidig ha mulighet til å gjøre intervensjon – se f.eks. dronen fra det norske selskapet Eelume AS (2019) i tabellen under. En ROV har typisk to robotarmer montert forrest på fartøyet. En av armene brukes ofte til å holde fast fartøyet, mens den andre armen utfører operasjoner (f.eks. skru på ventil, børste, m.m.). Det er en trend at robotarmer til UUVer går fra å være styrt med hydraulikk til å ha elektriske motorer.

I de siste par årene har små ROVer kommet ned i en prisklasse som gjør at også privatmarkedet kan kjøpe og ta i bruk droner til privat bruk. Disse dronene kan typisk gå ned til maks 100 meters dybde.

Det forekommer mange begreper knyttet til ulike typer UUV. "E-ROV" omfatter at ROVen går på batteri. UID (Underwater Intervention Drone) har blitt etablert av Equinor som en felles betegnelse på UUV som typisk kan operere uten kabel og kunne gjøre intervensjonsoppdrag.

Tabell 3: Undervannsdroner

Type	Eksempel	Egenskaper
<p>Tradisjonell ROV</p>	 <p>ROV fra Oceaneering. Foto fra Wikipedia (2019)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 1-2 armer for intervensjon. Brukes typisk til inspeksjon og vedlikehold. • Kablet til overflate eller annen infrastruktur. • Høy-båndbredde kommunikasjon til overflaten vha. kabel. • Opererer innenfor et begrenset område. • Stor manøvrerbarhet
<p>Tradisjonell AUV</p>	 <p>AUV fra Kongsberg Maritime. Foto: Kongsberg (2017)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Opererer uten kabel og innenfor et større område • Svært begrenset kommunikasjon til overflaten (pga. mangel på kabel) • Liten manøvrerbarhet • Fremdrift vha propell i bakenden • Maks dybde eksempel: 3 000 m
<p>Seaglider AUV (Seaglider, 2018)</p>	 <p>Seaglider AUV fra Kongsberg Maritime. Foto: Kongsberg.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kan operere over svært store avstander • Opererer store deler av tiden uten å kommunisere med overflaten • Svært liten manøvrerbarhet • Fremdrift vha små endringer i oppdrift og bruk av ror • Max dybde eksempel: 6 000 m
<p>UUV – nye konsepter</p>	 <p>Eelume vehicle. Illustrasjon: Eelume.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kombinere mulighet for å forflytte over store avstander med intervensjonsegenskaper, Eelume AS (2019) • Stor manøvrerbarhet • Foreløpig ikke i kommersiell drift • Eksempel på en UID

<p>UUV – nye konsepter</p>	 <p>"Freedom ROV" fra Oceaneering. Foto: Oceaneering (2019)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • "AUV"-aktig form og kan flytte seg over store avstander (200 km+) • Verktøybyttesystem i forkant og bakkant for blant annet ventiloperasjoner.
<p>Mini-ROV - forbrukermarkedet</p>	 <p>Gladius Mini fra Chasing Innovation (2019). Foto: Chasing Innovation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ROV med kamera for forbrukermarkedet • Max dybde 100 m • Relativt lav kostnad (~15 000 NOK i 2019)
<p>Mini-ROV – proffmarkedet</p>	 <p>Drone fra Blueye (2019). Foto: Blueye Robotics.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ROV med kamera for proffmarkedet • Max dybde i eksemplet er 150 m. Mini-ROVer finnes også for større dybder • Kan brukes som observasjons-ROV ifm oppgaver utført av større ROVer, eller for å komme til hvor større ROVer ikke får plass • Enkelte mini-ROVer har enkle armer

Undervannsdroner er per i dag viktige verktøy for inspeksjon og vedlikehold på olje- og gassanlegg under vann (heretter kalt "subseanlegg"). ROVer i forskjellige størrelser brukes til blant annet inspeksjon og overvåking og overvåking av subseanlegg. De brukes også til rensing, tilkobling/frakobling av slanger (hotstab-operasjoner), samt å skru på ventiler. Større ROVer kan også bistå ifm. installasjon og modifikasjon av infrastruktur under vann. To operatører er gjerne involvert samtidig – en operatør styrer armene til ROVen, mens den andre styrer selv ROVen. Work class-ROVer har ofte to armer hvor den ene er for å holde seg fast og stabilisere. De fleste operasjoner styres av operatører som befinner seg på et overflatefartøy. ROVen har da en kabel som går opp til overflatefartøyet. Oceaneering og IKM er blant selskapene som også har løsninger for å styre ROVen fra land, men foreløpig er slike operasjoner begrenset i omfang og det er ofte personell tilgjengelig offshore som kan ta over styringen av ROV ved behov. ROVer brukes i all hovedsak til å gjøre arbeid innenfor et begrenset område i nærheten av tilhørende overflateskip. Dette står i kontrast til AUVer som brukes til kartlegging og overvåking av større områder – f.eks. i forbindelse med miljøovervåking, kartlegging av havbunn og inspeksjon av rørledninger under vann.

Det forventes at det operasjonelle med undervannsdroner kommer til å endre seg i fremtiden og denne utviklingen er allerede i gang. Med fastboende droner kan det bli mindre behov for overflatefartøy og dermed behov for færre folk offshore.

I andre bransjer er det blant annet økt bruk av ROV innen havbruk for å inspisere ankerkjettinger og nøter i fiskeoppdrettsnæringen. De senere årene har det kommet ROVer som er sterkt redusert i pris sammenlignet med tidligere år. Dette har åpnet opp for mulighet for bruk av ROV til rekreasjonsformål ala det vi har sett for bruk av luftbårne droner de senere årene. Reduksjonen i pris gjør også terskelen lavere for at annet næringsliv kan benytte seg av ROVer.

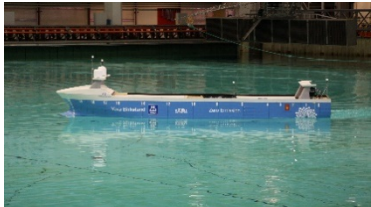




2.1.6 Overflatedroner


Flere ulike type overflatefartøy og bøyer som kan være aktuell for petroleumsindustrien er listet opp i Tabell 4. Mindre ubemannede overflatefartøy ble i begynnelsen hovedsakelig brukt i militære anvendelser, men har etter hvert blitt benyttet i en rekke sivile anvendelser f.eks. hydrografi, batymetri, seismikk, og lignende. Etter hvert har det også blitt utviklet teknologi for førerløse skip, altså nyttfartøy som normalt ville måtte registreres i et nasjonalt eller internasjonalt skipsregister.

Norge er en av de ledende nasjonene på maritim autonomi – det vil si teknologi som gjør at et fartøy kan seile selv, uavhengig av menneskelig interaksjon. Norsk Forum for Autonome Skip (NFAS) ble opprettet i 2016 og er en interessegruppe for personer og organisasjoner med interesse for temaet "autonome skip". Verdens første testområde for autonome fartøy ble opprettet i Trondheim i 2016, og det har senere blitt opprettet flere områder både i Norge og i andre land. I Norge er det kystverket som vurderer relevante testområder, mens Sjøfartsdirektoratet utvikler regelverket, (Autonome skip, 2018).

Internasjonalt arbeides det blant annet for å få på plass et felles regelverk for å muliggjøre internasjonal autonom skipsfart. Norge var en av initiativtagerne og medforslagsstillerne som medførte at autonome skip ble satt på dagsorden i FNs sjøfartsorganisasjon IMO (International Maritime Organization), se (Autonome skip, 2018)

Tabell 4: Ulike kategorier overflatedroner

Type	Eksempel	Egenskaper
Ubemannet eller autonomt lasteskip	 <p>Model av Yara Birkeland (Foto: SINTEF)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Uten fasiliteter nødvendig for mannskap er mer plass frigjort til last • Uten mannskap er det mindre viktig med rask seilas. Kan seile saktere og ankomme "just-in-time" og sparer dermed drivstoff og slipper mellomagring på havn
Ubemannede eller autonome ferger	 <p>Falco fra Finferries (Foto: Rolls-Royce)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • System som kan gå fra kai, gjennomføre planlagt rute, og legge til kai igjen automatisk • Ved full autonomi kan systemet også unngå uventede hindringer underveis på en sikker og forutsigbar måte. Se Falco (2018)
USV (med motor)	 <p>Mariner fra Maritime Robotics (Foto: Maritime Robotics)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Rask og manøvrerbar • Utgjør liten fare for omgivelsene • Kan utstyres med nyttelast og sensorer for over vann, men også ned under vann • Eksempelapplikasjoner: Hydrografi, batymetri, gi posisjonsreferanse for AUV, etc.
USV (uten motor)	 <p>USV fra AutoNaut (Foto: SINTEF)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Lang rekkevidde • Mindre manøvrerbar • Lav fart • Utgjør fare for omgivelser • Brukes typisk til miljøovervåkning
Bøyer	 <p>OCEANOR SEAWATCH fra Fugro (Foto: SINTEF)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Forankret eller drivende • Liten fare for omgivelser • Brukes gjerne til miljøovervåkning, eller måling av vær og bølger

<p>USV (andre nye konsepter)</p>	 <p>Drone fra Greenfish AS (Foto: Greenfish AS)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sylinderformet, enkelt design • Med relativt få thrustere kan denne typen droner både bevege seg langt, og kunne manøvrere i mindre områder • Elektrisk drift
---	--	---

Verdens første autonome og helelektriske frakteskip, “Yara Birkeland”, er under bygging og det er estimert at skipet skal erstatte mer enn 40.000 årlige lastebilturer med gjødsel fra Herøya til Brevik og Larvik. Tilsvarende planlegger matvaredistributøren ASKO autonome og helelektriske lasteferger over Oslofjorden som skal spare 1 million veikilometer årlig.

Autonome skip vil endre risikobildet, Wróbel et al (2017). Forfatterne gikk gjennom 100 skipsuhell (basert på eksisterende design) og vurderte konsekvensene av autonomi på hendelsene. Vurderingen var at sannsynligheten for uhell kunne reduseres ved innføring av autonomi, mens konsekvensene kunne øke på grunn av at mennesket ikke var tilstede. Hendelser med mulig økt konsekvenser var grunnstøtinger og brann. Studien kan kritiseres ut fra at det er basert på eksisterende design av skip, og at bruksområdet og last ikke er avgrenset til det som er aktuelt for autonome skip. Dette er imidlertid en ekspertvurdering som bør brukes i forbindelse med fremtidig design og utforming av operasjonsområdet for autonome skip. For å forhindre kollisjoner og andre uhell vil autonome skip blant annet utstyres med sensorer som radarer, GPS og infrarøde kameraer som skal gi et mest mulig fullstendig bilde av omgivelsene, i tillegg til systemer som tar beslutninger om kurs og fart, samt støtte fra landbaserte kontrollrom. Menneskelig kontroll vil være en viktig faktor i forbindelsen med innfasing av autonome skip.





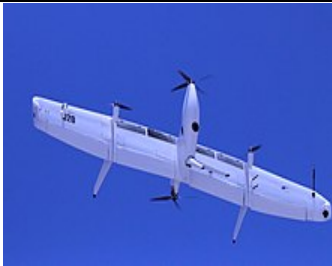
2.1.7 Luftdroner




Å fly som fuglen har fasinert mennesker i mange hundre år, og utvikling av ubemannede luftfartøy har omtrent like lang historikk som bemannede luftfartøy. I luftfartens barndom var det bemannede fly som utviklet seg raskest, men etter hvert som teknologien utviklet seg fikk bemannede fly et stort innslag av automatiserte funksjoner, slik som autopilot. Ubemannede luftfartøy har utviklet seg langs flere akser, der militær bruk og modellflyaktivitet har vært de viktigste gjennom mange år. De militære har i stor grad vært karakterisert ved at de ligner på fly og var teknologisk godt utstyrt. Modellfly ble brukt som en hobby og begrenset bruken til å være innenfor synsvidde.

Regelverket for fly var slik utformet at en i mange år forventet at kun store droner som i stor grad kunne tilfredsstillende kravene til bemannede fly var de første som ville kunne operere sammen med bemannet lufttrafikk. Det er mulig at det blir slik, men i de senere år har prisen på teknologien i mindre droner blitt drastisk redusert slik at bruksområdene og antallet droner som opererer har økt kraftig og vokst til å bli langt flere enn typiske store militære droner. En kan si at modellflysegmentet har eksplodert og blitt tatt i bruk i mange profesjonelle sammenhenger, og forventningene om å kunne operere sammen med bemannet trafikk øker.

I hovedsak skiller en mellom droner som ligner mest på fly, såkalte "Fixed-wing" og de som har flest likhetstrekk med helikopter, spesielt i forhold til hvordan de lander og tar av. Videre er flyhastighet, rekkevidde, muligheter til å ta last eller sensorer viktige egenskaper. Flere ulike typer flyvende droner som kan være relevante inn mot ulike petroleumsapplikasjoner har blitt utviklet, som oppsummert i Tabell 5.

Tabell 5: Ulike kategorier med flyvende droner som kan være relevante for Petroleumsindustrien

UAV type	Eksempel	Egenskaper
Fastvinge	 <p>PX-31 fra Maritime Robotics Illustrasjon: Maritime Robotics</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Høy hastighet og lang flytid • Mellomstor/stor lastekapasitet • Må opprettholde en relativt høy minimumshastighet • Plasskrevende å ta av og lande
Elektrisk Helikopter	 <p>Scout B1-100 fra Aeroscout. Foto: CC BY-SA 3.0 (Wikipedia tema: "Aeroscout Scout B1-100")</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Lav/moderat hastighet og flytid • Liten/moderat lastekapasitet • Kan sveve i ro i luften (hover) • Enkelt å ta av og lande • Høy mekanisk kompleksitet • Sikkerhetsutfordringer med lange, spinnende blader.
Multikopter	 <p>BG-200 fra Nordic Unmanned Foto: Nordic Unmanned</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Lavere hastighet og flytid • Liten til medium lastekapasitet • Kan sveve i ro i luften (hover) • Enkelt å ta av og lande
Aerostats	 <p>ObliX airship drone av AerobotX. Foto: Daniel Wibbing, aerobotX Inc.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Lang flytid • Lav hastighet (typisk max 3 m/s) • Liten/moderat lastekapasitet • Kan sveve i ro i luften (hover) • Enkelt å ta av og lande
Vertikal TakeOff og Landing (VTOL)	 <p>Swift020/021 VTOL av Swift Engineering. Foto: CC BY-SA 4.0 (Wikipedia topic "Unmanned aerial vehicle")</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mellomlang rekkevidde • Høye hastigheter • Mellomstor/stor lastekapasitet • Kan sveve i ro i luften (hover) • Enkelt å ta av og lande • Høy mekanisk kompleksitet

<p>Droner for personelltransport</p>	 <p>Drone fra Ehang Foto: NORCE</p>	<p>Under utvikling og pilottesting – flere store kommersielle aktører</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ehang – Kinesisk drone med 16 uavhengige motorer • Robust design, svikt av flere komponenter håndteres • 2000 testflyvninger, laget for uvær (sterk vind) • Testfase i Kina i slutten av 2019, og 2020 – planlagt med personelltransport av 2 personer • Godkjent kommersiell bruk vil ta lang tid, spesielt personelltransport under krevende klimatiske forhold
<p>Droner for krevende værforhold</p>	 <p>Schiebel Camcopter S-100 Foto: Stahlkocher, CC BY-SA 3.0.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Dronen S-100 kan fly opptil ti timer sammenhengende • Bære både sensorer og andre former for last opptil 50 kg • Rekkevidden opptil 200 km • Droner kan ikke redde noen opp fra havet, men kan brukes til bredt søk og andre ressurser kan få informasjon fra dronesensorene
<p>Angrepsdroner</p>	 <p>Anvil drone av Anduril Industries. Foto: Anduril Industries</p>	<p>Ambolten (The Anvil) er en drone som produseres av Anduril Industries, dronen har sensorer for å oppdage, følge og angripe andre droner. Dronen er laget for å være robust – og er utviklet for militæret i USA.</p>

I Norge opereres luftbårne droner rimelig fritt innen visuell avstand i dagslys, under 120 meter vertikalt, 150 meter fra spesielle arrangement, militære områder og lignende og 5 km fra flyplass. I tillegg utføres en del flyginger med dispensasjon fra regelverket etter søknad og risikovurdering.

Eksempler på bruk innen olje og gass har vært inspeksjoner av flammertårn, inspeksjoner av understell og inspeksjoner av lagringstanker. Bruken har vært drevet fram pga. ønske om bedre HMS for å unngå å eksponere personell for risiko og ønske om økt grad av effektivisering og kvalitet (f.eks. dokumentbarhet).

2.2 Kontroll av droner og bruk av kontrollsentraler

Tilgjengelige droner er ikke fullt autonome og må kontrolleres via menneske maskin grensesnitt. Kvaliteten og kompleksiteten av disse grensesnittene varierer f.eks. fra styring av enkle droner via mobiltelefoner/nettbrett til styring av mer komplekse operasjoner av større droner via kontrollrom eller kontrollsentraler. Slike kontrollsentraler brukes for styring av undervannsdroner og for styring av større droner på sjø.

Regelverk og standarder for utvikling av kontrollsentraler er etablert i olje og gass næringen. Ut fra erfaringen med droner og fokus på risikoområder, er det en del områder som bør følges opp spesielt – for eksempel ”menneske maskin grensesnitt”, bruk av video (CCTV) og alarmstandarder for håndtering av avvik.

Viktige regelverk i den forbindelsen er:

- Innretningsforskriften (2019), §21 om menneske-maskin-grensesnitt og informasjonspresentasjon og §34a om kontroll- og overvåkingssystem spesielt mht. alarmer
- TOF (2019) – Forskrift om tekniske og operasjonelle forhold på landanlegg i petroleumsvirksomheten §21 om menneske-maskin-grensesnitt og informasjonspresentasjon, §23 om ergonomisk utforming, §33 a) om kontroll- og overvåkingssystem, §45 om prosedyrer

Relevante standarder er ISO serien 11064: ”Ergonomic design of control centres ” og for god praksis – verifikasjon og validering, CRIOP (2011).

2.3 Kritisk funksjonalitet og tilhørende teknologier (på dronen)

I dette kapitlet vil vi beskrive kritisk funksjonalitet og tilhørende teknologier. Noen ting er felles for flere typer droner, mens andre funksjonaliteter er spesifikke for en eller noen dronetypene.

2.3.1 Autonomi - Luft, undervanns og overflate

Slik vi ser det så kan autonomitet for en drone brukt i anvendelsene som omhandles i denne rapporten deles inn langs to akser:

- Autonomi ifm. bevegelsesstyring. Dette dreier seg om hvor og hvordan dronen beveger seg. Det kan også inkludere interaksjon med omgivelsene hvis dronen er utstyrt med f.eks. robotarmer. Det er hovedfokus på denne akse i denne rapporten.
- Autonomi ifm. nyttelasten som dronen har om bord. Dette er i hovedsak knyttet til analyse av dataen som dronen samler inn.

I fremtidige systemer vil vi se at autonomi i forbindelse med bevegelsesstyring og nyttelast knyttes sammen for at droner skal bli bedre i stand til å løse oppdrag mer på egen hånd.

Luft

Det har i senere år vært en rivende utvikling innen blant annet sensorer, dataprosessingsenheter og miniatyrisering av disse. Dette har vært en medvirkende årsak til at luftbårne droner har en stadig økende grad av autonomitet i og med at gode sensorer som kan hente inn data er avgjørende for at dronen skal kunne "se" og unngå hindringer. Dagens luftbårne droner er i hovedsak manuelt styrt av en operatør, men det kommer stadig flere autonome funksjoner. Graden av autonomi som en luftbåren drone kan operere på i dag er avhengig av – i likhet med for undervannsdroner og overflatedroner – kompleksiteten av oppdraget som dronen skal utføre og kompleksiteten av miljøet som dronen skal operere i. Mange av dagens luftbårne droner kan relativt enkelt settes opp til å kunne fly i et "gressklippermønster" høyt over et angitt område, og enkelte droner kan settes til å følge etter et menneske i relativt kompliserte miljø (f.eks. på en sti med trær). Men utfordringer knyttet til vind, regn, tåke, snø, osv. setter fortsatt operasjonelle begrensninger på i hvor stor grad droner kan operere autonomt.

Undervann

Dagens ROV-operasjoner er i stor grad manuelt styrte. Det finnes likevel noe autonom/automatisk funksjonalitet slik som at ROVen kan holde seg i ro automatisk og kjøre over en viss strekning automatisk. En operatør overvåker da operasjonen og griper inn ved behov. Utviklingen går mot høyere grad av autonomitet på undervannsdroner, samt at undervannsdronene skal kunne være fastboende ved olje- og gassinstallasjoner under vann. Den samme utviklingen ser vi innen bl.a. fiskeoppdrett hvor enkelte selskaper f.eks. Mørenot Aquaculture Robotics, se Mørenot (2019), leverer ROVer som skal bo i en fiskemerde for å kontinuerlig rense nota i fiskemerdene. Fastboende undervannsdroner vil kunne åpne for mye større interesse og nytte av autonome funksjoner på undervannsdroner.

Overflate

Det finnes allerede i dag på plass automatiske funksjoner for skip, f.eks. når det gjelder det å legge til kai, men det er foreløpig få eksempler på autonome skip i drift. Status per i dag kan f.eks. illustreres med følgende eksempler.

- Norled-fergen Folgefonn fra Wärtsilä seiler automatisk mellom tre havner i Hordaland (Folgefonn, 2018). Det betyr at kaptein eller navigatør ikke trenger å gjøre noe så fremt ikke noe uforutsett skjer. Systemet er altså ikke autonomt da det ikke kan tilpasse seg uventede hendelser.
- Rolls Royce Maritime og fergeselskapet Finferries har demonstrert at bilfergen Falco kan seile autonomt. Flere hindringer var lagt inn underveis i ruten, slik at fergen måtte bruke informasjon fra sine sensorer for å tolke trafikkbildet og agere deretter.

Mindre overflatefartøy er gjerne styrt ved at man sender eller forhåndsprogrammerer såkalte "waypoints" eller målkoordinater som dronen skal seile innom. Alternativt kan en operatør fjernstyre den mer direkte via radiosignaler dersom avstanden tillater det.

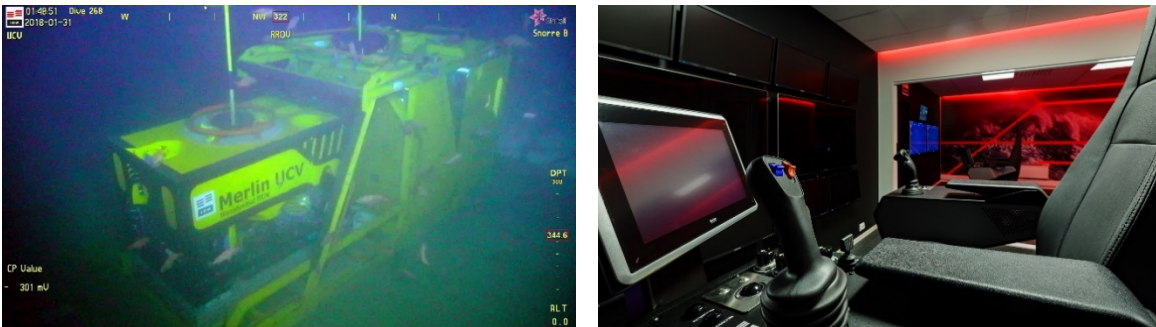
2.3.2 Ytelse, tilgjengelighet og infrastruktur

Ytelse og tilgjengelighet referer til i hvilken grad droner kan operere og løse oppdrag på en effektiv måte og hvilke faktorer som påvirker hvorvidt en drone kan være tilgjengelig for å gjøre en operasjon gitt værforhold og andre faktorer.

"Fastboende" droner og tilgjengelighet

Konseptet om en fastboende drone ("resident drone") som kan opereres fra en kontrollstasjon langt unna har blitt veldig populært blant ulike typer industri de siste par årene selv om kommersielle anvendelser er relativt få enn så lenge. Dette gjelder både for bruk i luft og under vann. Foreslåtte løsninger inkluderer gjerne en basestasjon eller "drone-garasje" som kan ha varierende grad av funksjonalitet. Garasjen kan f.eks. beskytte dronen mot miljøet rundt, den kan lade dronen, og brukes for høyhastighets dataoverføring fra/til dronen. I tillegg kan dronegarasjen ha mulighet til å gi lett vedlikehold av dronen (f.eks. vaske sensorer, bytte batteri). Enkelte garasjer er bygget med et system for å åpne/lukke garasjen. Dette kan f.eks. være i form av en "skuff" som luftbårne droner kan lande/lette på.

Fastboende droner kan øke tilgjengeligheten for bruk av dronen innen et gitt område betraktelig sammenlignet med hvis dronen må flys/kjøres inn fra et annet område, og/eller hvis en operatør må dra ut til operasjonsstedet med dronen. Fastboende droner stiller nye krav til dronen og omkringliggende infrastruktur. Slike krav inkluderer bl.a. at dronen må kunne operere over lengre tid uten behov for vedlikehold utført av mennesker. Figur 2 viser en fastboende undervannsdroner som opererer på Snorre B.



Figur 2: Fastboende ROV fra IKM med tilhørende kontrollrom på land. Foto: IKM.

Ulike konsepter for "fastboende" droner

Enkelte droner er designet for å være "fastboende" i området hvor de skal operere. Dette betyr at det ikke er behov for at en operatør drar ut med dronen for at den skal kunne operere i et område. I stedet holder dronen til i området over en viss tidsperiode, og dronen har en eller annen form for infrastruktur som gjør at den f.eks. ikke går tom for energi mens den oppholder seg i området sitt. Det finnes ulike typer konsepter for dronesystemer som kan operere uten at en operatør er i umiddelbar nærhet. Enkelte av disse er implementert, mens andre er foreløpig mer på tegnebrettet. Noen av disse konseptene er som følger:

- *Fastboende droner:* En drone har en "garasje" og kan operere innenfor et avgrenset område. Dronen holder seg i området som garasjen er. Dette finnes for undervanns- og luftbårne droner i dag.
- *Flyttbar dronegarasje:* Dette inkluderer både dronegarasjesystem som settes midlertidig ut i et område og hentes tilbake etter relativt kort tid, og dronegarasjer som er permanent mobile (f.eks. en dronegarasje i en brannbil). Dette kan være f.eks. i forbindelse med at personell skal ut i et område for å jobbe. De kan dermed ta med seg drone og dronegarasje og la dronen jobbe i området (enten autonomt eller styrt fra fjerntliggende kontrollrom) mens personellet gjør noe annet.
- *Droner som kan forflytte seg mellom garasjer:* Dronen er ikke avhengig av å holde seg i området hvor dens opprinnelige garasje er, men kan i stedet bevege seg mellom garasjer og dermed dekke et mye større område. Dette finnes trolig ikke i kommersiell drift, men det jobbes med løsninger for bl.a. undervannsdroner.
- *Droner som kan sendes ut langt fra området de skal operere i:* Et eksempel er konsepter for undervannsdroner hvor de sendes fra land og skal tilbakelegge nokså store avstander ut til anlegg langt fra land for å kunne gjøre arbeid der og etterpå returnere til land.
- *Droner opererer ut fra andre typer droner:* Et eksempel her er at en overflatedrone kan ta med seg en luftbårne drone ut til havs for å gjøre inspeksjon av en vindmølle. Når inspeksjonen er ferdig så lander den luftbårne dronen på overflatedronen og de returnerer.

Luftbårne droner – ytelse og tilgjengelighet

Mulig ytelse og tilgjengelighet på en drone vil i stor grad begrense hva slags bruk og tjenester som er hensiktsmessig. En droneplattform velges (eventuelt utvikles spesielt) basert på kriteriene som ligger til grunn for planlagt bruk. Viktige faktorer som tas med i betraktningen, og som kan bidra til økt eller redusert tilgjengelighet, inkluderer:

- Beredskapstid
- Værbestandighet
- Operasjonelle hastigheter
- Maksimum nyttelast
- Maksimum flytid
- Maksimum rekkevidde
- Begrensinger i regelverk (som VLOS og manglende ATEX godkjenning)

Airobotics (2019) er blant de som har kommet lengst i å utvikle kommersielle løsninger for fastboende luftbårne droner. Deres løsning har blitt godkjent for å fly autonome BVLOS operasjoner innenfor enkelte områder av Civil Aviation Authority of Israel (CAAI), Civil Aviation Safety Authority (CASA) i Australia og av Federal Aviation Administration (FAA) i USA. Selskaper som blant annet Percepto (2019) og Skydio (2019) jobber også med løsninger for fastboende luftbårne droner. Det finnes også andre aktører på markedet og bl.a. Nordic Unmanned, KVS Technologies og SINTEF har på oppdrag for Statnett utviklet en prototype for autonom fastboende drone for inspeksjon på trafostasjoner (Haugstad, 2018).

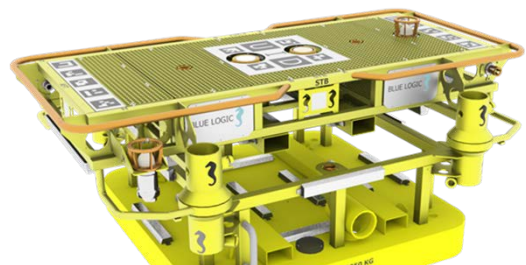
Undervannsdroner – ytelse og tilgjengelighet

Tilgjengeligheten i forbindelse med bruk av dagens undervannsdroner for intervensjon er styrt av værforholdene på overflaten siden de aller fleste undervannsdroner for intervensjon krever at et overflatefartøy med ROV-piloter er tilgjengelig i området hvor ROVen skal operere. Fremtidens UIDer vil i mye større grad kunne for kunne operere på tross av ulike vær- og isforhold på overflaten – for eksempel ved å være stasjonert ute på undervannsanleggene. Dette vil kunne redusere responstiden betraktelig – spesielt i nordlige områder hvor vær og is kan blokkere tilgangen for overflatefartøy i lengre perioder. Det forventes at en UID gjerne kan dekke større områder og vil derfor kreve noe tid for å kunne bevege seg fra et anlegg til et annet.

En UID som opererer kabelløst vil være begrenset av batteritiden. Avhengig av hvilken ladeløsning (evt. batteribyttesløsning) som velges så vil dette kunne påvirke responstiden til UID betraktelig om ikke dette hensyntas når man definerer hvordan UIDen skal operere, f.eks. hvis man lar UIDen gå nesten tom for batteri før den lades så kan den måtte tilbringe mye tid ved laderen før den er klar for bruk igjen. Mulige løsninger for dette inkluderer å ha flere UIDer tilgjengelig (en slik løsning vil kunne være kostnadsdrivende) eller nødhurtiglading (en slik løsning sliter typisk på batteriene mer enn ved "normal" ladetid). Equinor har nylig inngått kontrakt med et selskap som heter Saipem i forbindelse med fastboende undervannsdroner, Saipem (2019). Enkelte av disse dronene skal kunne operere trådløst samtidig som de skal kunne gjennomføre intervensjonsoperasjoner. Oceaneering har utviklet en drone som kalles "Freedom" og skal kunne forflytte seg på avstander opptil 250 km mellom hver lading og samtidig ha mulighet til å gjøre intervensjonsoperasjoner, se Oceaneering(2019b). Kombinasjonen av å være i stand til intervensjonsoperasjoner samtidig som farkosten kan forflytte seg over lengre avstander er også utgangspunktet for fartøyene fra selskapet Eelume. En slik kombinasjon av intervensjons- og lang forflytningsevne står i kontrast til det som har vært standarden tidligere hvor undervannsdroner som kunne forflytte seg langt typisk var torpedoformete farkoster som i hovedsak var bygget for kun inspeksjon og overvåkning.

Equinor er blant selskapene som jobber for å standardisere dronegarasjer slik at droner fra ulike leverandører kan benytte seg av samme dronegarasjer. I denne omgang omfatter slike dronegarasjer dockingstasjoner (Figur 3). Så langt kan denne ladeløsningen leverer 2 kW og dronegrensenitt er testet med droner fra bl.a. SAAB Seaeye, Oceaneering, Saipem og Stinger.

Ytelsen til dagens ROVer er i stor grad knyttet til ROV-operatørens ferdigheter. Strømninger under vann og til dels dårlig sikt kan gi utfordringer ved operasjoner som krever høy grad av nøyaktighet (f.eks. skru på ventil eller "hot-stab"-operasjoner). Slike forhold kan føre til at operasjonen tar svært lang tid eller i verste fall fører til skade på utstyr. Det er forventet at en høyere grad av autonomitet i slike operasjoner vil kunne avlaste ROV-operatører ifm. operasjoner som krever svært nøyaktig og tidvis rask og reaktiv styring av ROV-arnet. Dette



Figur 3: Dockingstasjon fra Blue Logic (Illustrasjon: Blue Logic).

vil dermed kunne redusere høye krav til robotarmstyringsferdigheter hos ROV-operatører, og heller la operatørene fokusere på overordnede aspekter knyttet til oppdraget som skal utføres.

Overflate – ytelse og tilgjengelighet

De første ubemannede og autonome lasteskip og lasteferger er under utvikling eller bygging. F.eks. bygges verdens første autonome og helelektriske frakteskip, "Yara Birkeland", men generelt er autonome skip foreløpig ikke i kommersiell drift. Det er derfor for tidlig å snakke om ytelse og tilgjengelighet, men det forventes at disse etter hvert er tilsvarende som for dagens konvensjonelle bemannede skip.

Motoriserte USV har særlig blitt benyttet innen forsvar og sikkerhet, men har i senere tid også funnet en del applikasjoner innen miljøovervåking, habitatkartlegging, hydrografiske undersøkelser, undervannsarkeologi, inspeksjon ved kabel og rørlegging, etc. Operasjonsområdet er typisk i grunt farvann på grunn av disse anvendelsene. Operasjonstiden for disse er svært forskjellig, og begrenses gjerne av hvor mye drivstoff som er tilgjengelig ombord. Rekkevidden ved direkte fjernstyring er typisk noen km, men målkoordinater kan også sendes over f.eks. mobilnett eller satellitt og rekkevidden for fjernstyring er da mer eller mindre ubegrenset.

USV som er drevet av sol-, vind eller bølger kan ha ekstremt stort operasjonsområde, f.eks. er det demonstrert at det er mulig å krysse Atlanterhavet, TU Sailbuoy (2018). Seildroner kan f.eks. tilbakelegge i snitt 100 km per dag, med hastighet fra 2-8 knop. USV drevet av fornybar energi brukes hovedsakelig til oseaniske og atmosfæriske observasjoner.

2.3.3 Lokalisering

Lokalisering – eller *selvlokalisering* – handler om å lokalisere en drone relativt til et koordinatsystem som ikke er fast på dronen (f.eks. relativt til en infrastruktur). For at droner skal kunne bevege seg til definerte steder så må dronen i de fleste tilfeller ha en forståelse av sin egen posisjon relativt til hvor den skal bevege seg. Lokalisering er også viktig for å kunne posisjonsreferere dataopptakene som gjøres fra dronen, samt hvis dronen skal planlegge og utføre en bevegelse i kjente omgivelser. Posisjonering brukes ofte som et synonym til lokalisering. I dette dokumentet tilstreber vi å bruke lokalisering for å unngå misforståelser, siden posisjonering også kan forstås som en aktivitet for å styre farkosten til et bestemt sted eller en bestemt posisjon.

Luft

Nøyaktig lokalisering om bord på dronen er kritisk for å kunne utføre oppdrag hvor dronen skal ha en høy grad av autonomitet. Lokalisering er også svært nyttig for automatisk planlegging og gjennomføring av autonom flyvning og kan redusere risikoen for kollisjon hvis dronen i tillegg har et kart av omgivelsene tilgjengelig.

Den mest brukte teknologien for nøyaktig lokalisering over vann i dag er Global Navigation Satellite System (GNSS), ofte i kombinasjon med treghetsnavigasjon – Inertial Navigation System (INS) – for å gi en viss toleranse mot korte brudd eller forstyrrelser i GNSS signalet. INS genererer mindre nøyaktige posisjonsoppdateringer basert på bruk av sensorer som akselerometer og gyroskop og har lang fartstid som navigasjonsverktøy i ulike typer fartøy. For oppdrag utendørs som krever høy nøyaktighet representerer Real-Time Kinematics (RTK) GNSS den beste løsningen, og kan gi nøyaktighet på centimeternivå. Det har vært og er svært mye forskningsaktivitet på systemer som kan gi lokaliseringsinformasjon uten bruk av GNSS. Blant slike typer av systemer så er "Simultaneous Localization and Mapping" (SLAM) hvor en drone kan bruke sensorer om bord dronen (f.eks. et kamera og/eller en laser-basert sensor) for å bygge et kart av omgivelsene samtidig som dronen finner sin posisjon i kartet. Kommersielle SLAM-løsninger for luftbårne droner er på vei inn i markedet og blant annet det australske selskapet Emesent (2019) er kommet langt på dette området.

Undervann

Nøyaktig lokalisering under vann gjøres i dag i hovedsak med bruk av ekstern infrastruktur som enten er montert på havbunnen eller på støttefartøy på overflaten. Typisk infrastruktur er enten akustisk posisjoneringssystemer (f.eks. Long Baseline Localisation (LBL) fra Sonardyne) eller optiske markører slik som AruCo. I løpet av det siste året har det begynt å komme løsninger på markedet som ikke er avhengig av ekstern infrastruktur for å kunne lokalisere farkoster under vann. Slike løsninger bruker sensorer om bord på dronen (f.eks. kamera og/eller laser-sensorer) for å forstå hvordan dronen beveger seg i forhold til omgivelsene. Fordelen med å fjerne avhengigheten av ekstern sensorinfrastruktur kan være med på å redusere kostnader og systemkompleksitet. Doppler velocity log (DVL) er en akustisk sensor som estimerer farten til fartøyet relativt til sjøbunnen. Sammen med en Inertial Measurement Unit (IMU) kan dette brukes til å lokalisere fartøyet. Det gjøres også mye utviklingsarbeid innen SLAM – spesielt for luftbårne droner, men også for undervannsdroner – hvor hensikten er at man vha. sensorer om bord på dronen kan bygge et kart av omgivelsene til dronen samtidig som dronen finner sin egen posisjon i disse omgivelsene. Selskaper slik som EIVA og ROVCO utvikler slike SLAM løsninger basert på optisk kamera teknologi som er integrert på undervannsdroner. Utviklingen går i retning av å utnytte komplementære sensorer, f.eks. optiske og akustiske, for å få mer nøyaktige lokaliseringsestimater over større avstander. Optiske sensorer har høy oppløsning, men har problemer med dempingen av elektromagnetiske signaler i vann. Akustiske sensorer på den andre siden har lav oppløsning, men fungerer robust over lange avstander under vann. Sonardyne tilbyr blant annet et system som fusjonerer/sammenstiller data fra LBL (Long baseline localisation), DVL og LiDAR for subsea metrologi.

Overflate

Overflatefartøy bruker i hovedsak GNSS i kombinasjon med INS for å bestemme sin egen posisjon. For å sikre seg mot GNSS utfall, eller tilsiktet forstyrrelse av GNSS signaler, er det høyst aktuelt å ta i bruk andre sensorer og infrastruktur for lokalisering. Dette vil særlig gjelde på ubemannede skip hvor konsekvensene kan bli veldig fatale. Nær f.eks. oljeplattformer finnes det ekstra infrastruktur som gir informasjon om fartøys posisjon og orientering relativt til plattformen. Informasjonen kan f.eks. benyttes for holde fartøy rolig på overflaten (såkalt dynamisk posisjonering). Det forgår mye forskings- og utviklingsarbeid på hvordan man kan bruke ekstra sensorer om bord (f.eks. EO kamera, IR kamera eller radar) for å lokalisere skipet i forhold til kjente land- eller sjømerker. Presis lokalisering er spesielt viktig nær kyst og infrastruktur for å unngå kollisjon.

2.3.4 Kollisjonsunngåelse

Luft

På samme måte som det er ulike nivåer av autonomi for droner, så finnes det også ulike nivåer av systemer for kollisjonsunngåelse. Vi kan differensiere mellom 4 ulike systemer med økende grad av kompleksitet. Denne inndeling er inspirert av ICAO (2015):

1. **Oppdag og informer** – Dette systemet oppdager en mulig kollisjon og informerer en ansvarlig operatør eller et eksternt system.
2. **Oppdag og anbefal løsning** – Dette systemet oppdager en mulig kollisjon og anbefaler en løsning/manøver til en ansvarlig operatør eller et eksternt system.
3. **Oppdag og unngå** – Dette systemet oppdager en mulig kollisjon og styrer dronen for å unngå kollisjonen autonomt eller eventuelt forhindrer operatøren i å styre dronen mot kollisjon.
4. **Reaktiv kollisjonsunngåelse** – Dette systemet er aktuelt for å unngå kollisjon mellom/med veldig dynamiske (raske) objekter med ukjent eller usikker bane. Ny anbefalt bane beregnes hyppig basert på siste tilgjengelige sensorinformasjon (som ofte inkluderer kamerabilder). Resultatet er en sekvens med mindre banejusteringer.

Vi ser at det er kritisk at den valgte strategien for kollisjonsunngåelse er i samsvar med graden av autonomi for dronen.

Selve sensorteknologien som brukes for kollisjonsunngåelsesformål kan deles inn i to hovedkategorier:

- Samarbeidende metoder
- Ikke-samarbeidende metoder

I den første kategorien finner vi blant annet to mye brukte systemer innenfor dagens luftfart, Traffic Alert and Collision Avoidance System (TCAS), og Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B). TCAS sender og mottar informasjon via transponder, og kan dermed vite posisjonen på andre fly utstyrt med TCAS. Moderne versjoner av dette systemet (TCAS II) gir kommando for kollisjonsunngåelse når kollisjon er nært forestående. ADS-B bruker satellitt-basert Global Navigation Satellite System (GNSS) for å beregne flyets posisjon, og sender relevante data til andre fly som er utstyrt med ADS-B (slik som flytype, høyde og hastighet). ADS-B sees på som den mest lovende teknologien for å integrere droner inn i den kommersielle bemannede luftfarten. Felles for alle samarbeidende metoder er at de er lite egnet til å unngå kollisjon med objekter og infrastruktur som ikke er utstyrt med samme type teknologi.

Ikke-samarbeidende metoder inkluderer radar, lidar, kameraer, akustiske systemer og infrarøde systemer.

Undervann

ROVer – og UIDer – opererer gjerne i nærheten av infrastruktur på havbunnen. Det er derfor viktig at undervannsdronene styres slik at de ikke kolliderer med annen infrastruktur. Slik kollisjonsunngåelse ordnes per i dag i all hovedsak av at en eller flere operatører styrer UIDen direkte. Kollisjonsunngåelse er mindre viktig for operasjoner med AUVer da disse gjerne opererer i mer åpent farvann – f.eks. ifm. inspeksjon av rørledninger eller kartlegging av større områder. Trenden er at UIDene blir mer autonome, så det forventes at de også vil utstyres med sensorer og autonome styringssystemer som automatisk håndterer kollisjonsunngåelse. I områder hvor man har detaljerte 3D-kart av omgivelsene kan det være en fordel om man har nøyaktig lokalisering av UIDen i dette kartet for å kunne unngå kollisjoner. Dette gjøres typisk ved hjelp av akustiske posisjoneringssystemer slik som LBL (Long baseline localisation) eller USBL (Ultra short baseline localisation). Dette krever at man har installert akustiske transpondere i området man skal navigere i. Risikoen med denne type teknologi oppstår når 3D kartet ikke er en riktig representasjon av den fysiske virkeligheten, f.eks. hvis det er kommet til nye objekter som ikke er blitt oppdatert i kartet eller hvis objekter slik som andre UIDer beveger seg i samme område. Sonarer og optiske kamera integrert på fartøyet kan brukes for å detektere slike objekter. Sonardyne tilbyr sonarer navigasjon og objektunngåelse. Sonarer tilbyr relativt lav-oppløselige data slik at det er vanskelig å skjønne hva det er man er på vei til å kolliderer med, men kan detektere objekter på lang avstand slik at man tidlig kan gjøre justeringer for å unngå kollisjon. Optiske sensorer, f.eks. LiDAR fra 3D at Depth eller Pathfinder fra CathX, kan tilby mer detaljert informasjon som gjør det mulig å gjenkjenne objekt, samt å navigere i nærfeltet til andre objekter. Fusjonering av komplementære data fra akustiske og optiske kamera vil være med på å øke robustheten til å forutse og unngå kollisjoner.

Overflate

Kollisjonsunngåelse vil være en svært viktig del av utviklingen av autonome overflatefartøy, og da spesielt for autonome skip. Ikke bare er det viktig å detektere, følge og forutsi andre objekters bevegelse på overflaten, men ved en potensiell kollisjonsfare må man agere på en forutsigbar måte for å minimere risikoen for kollisjon. Bemannet skipsfart skal følge navigasjonsreglene for sjøfart som internasjonalt er nedfelt i "International Regulations for Preventing Collisions at Sea" (COLREGS). Det arbeides nå med å få på plass regelverk som også er tilpasset introduksjonen av autonome skip. For deteksjon og følgende av andre fartøy og objekter er naturlig at man benytter seg av flere typer sensorer om bord (EO kamera, IR kamera og radar), men det kan også være aktuelt å utveksle informasjon mellom skip eller at informasjon mottas fra sentrale kilder. Automatisk identifikasjonssystem (AIS) brukes i dag som et antikollisjonshjelpemiddel i skipsfarten, men systemet er lite pålitelig da informasjonen som utveksles ikke nødvendigvis er korrekt og fordi det kun er fartøy over en viss størrelse som er pålagt å bruke AIS utstyr under seilas.

2.3.5 Kommunikasjon

I denne seksjonen omtaler vi systemer for kommunikasjon mellom droner og andre enheter (f.eks. kontrollrom, eller en operatør på bakken). Muligheter og begrensninger med kommunikasjonsforbindelsen mellom droner og andre enheter vil være styrende for nødvendig grad av autonomitet i dronen (Grythe, Reinen og Transeth, 2015). Hvis man har tilgjengelig en forbindelse med høy stabilitet, lav forsinkelse og høy båndbredde så er det mulighet for full manuell fjernstyring av dronen, mens hvis det er tidvis lite eller ingen mulighet for forbindelse så krever dette at dronen har en mye høyere grad av autonomitet.

Luft

For pålitelig kontroll av en ikke-autonom drone, så er en robust og sikker kommunikasjonsløsning mellom dronen og operatøren kritisk. Det vil være naturlig å anta at bruk av droner i petroleumsindustrien vil stille spesielle krav både til redundans og høy integritet i kontroll-linken for å forhindre tap av kontroll på grunn av teknisk svikt eller fiendtlig inngripen.

For de fleste oppdrag kreves toveis kommunikasjon, delt inn i "Uplink" og "Downlink" data. Uplink data inkluderer data relatert til navigasjon og kontroll av dronen og downlink data inkluderer telemetri og data fra nyttelasten (som for eksempel video).

Hovedkategorier av trådløs kommunikasjonsteknologi for luft til luft kommunikasjon inkluderer:

- Direkte (terrestrial) radiokommunikasjon
- Mobilnettverk/Trådløse nettverk
- Radio releet via satellitt
- Free Space Optics (FSO)

Oppnåelig rekkevidde med bruk av disse teknologiene avhenger av utstyret ombord i dronen samt av miljøfaktorer som terreng, vær og atmosfæriske forhold. FSO har kort rekkevidde (typisk mindre enn 8 km) men høy båndbredde (flere Gbps). Radiokommunikasjon påvirkes av værforhold, mens satellittkommunikasjon ikke er pålitelig nær pol-områdene (over 70 grader). Satellittkommunikasjon medfører også forsinkelser som fører til krav om direkte (terrestrial) kommunikasjon for operasjon i travelt luftrom.

Kontroll av droner og overføring av data kan også skje via mobilnettverk (LTE/4G og 5G) og trådløse lokale nettverk (WLAN). Det først og fremst 5G teknologi som har såpass lav forsinkelse at man kan fjernstyre enheter som krever umiddelbar respons. Teknologien er foreløpig et sterkt begrenset dekningsområde.

For operasjoner utenfor rekkevidden av både mobilnettverk, trådløse lokale nettverk og direkte radio linker, så er ekstra infrastruktur nødvendig for å opprettholde kommunikasjonen. Alternativer inkluderer radio releet av satellitter (SATCOM), andre mobil-nettverk og dedikerte rele- noder (for eksempel en annen drone). Frem til nå så har SATCOM vært den fortrukne BLOS kommunikasjonsløsningen ettersom den er globalt tilgjengelig (unntatt over 70 grader).

Teknologi utviklet spesielt for bruk i øde områder og/eller i pol-regionene (over 70 grader) begynner også å bli tilgjengelig. Kongsberg Seatex og Radionor tilbyr en løsning for pålitelig maritim høyhastighets-kommunikasjon som heter Maritime Broadband Radio (MBR).

Undervann

Kommunikasjon med undervannsdroner løses på flere forskjellige måter. For ROV er det mest vanlig å kommunisere direkte til et overflatefartøy via kabel. ROV-kabel kan også være koblet til infrastruktur under vann og styres fra land. Det finns også løsninger hvor kabelen er koblet til en sender/mottaker på overflaten, og at signalene overføres via satellitt eller 4G til et landbasert kontrollrom. Uten kabel mellom drone og overflaten er kommunikasjonsmulighetene noen helt andre. Akustisk kommunikasjon brukes i stor grad, men

har svært begrenset båndbredde. For kommunikasjon over korte avstander har det blitt utviklet bl.a. optiske løsninger som gir betydelig høyere båndbredde – dette kan være en egnet løsning for dronegarasjer hvor dronen kan laste av store mengder data etter f.eks. et inspeksjonsoppdrag. Equinor sitt arbeid med free space optics (Sonardyne BlueCom kommunikasjon) er relevant. Elektromagnetisk kommunikasjon under vann er også tenkelig, men er teknologisk lite utviklet. Generelt trengs en overflate-releestasjon (bøye) eller et undervanns kablet aksesspunkt for å kommunisere med enheter i luft.

Oceaneering har utviklet en undervannsdrone som kalles "E-ROV" ifm. en kontrakt for Equinor hvor det benyttes 4G for kommunikasjon til operatørrom på land, Oceaneering(2019c). E-ROV går på batterier og har en medbrakt "garasje" som kan settes ut når støttefartøy på overflaten er i området som undervannsdronen skal operere. Det går en kabel fra dronegarasjen opp til en bøye på overflaten med 4G-antenne. Dronen har dermed ingen kabel til støttefartøyet og dronesystemet hentes opp igjen av støttefartøyet når det skal returnere.

Overflate

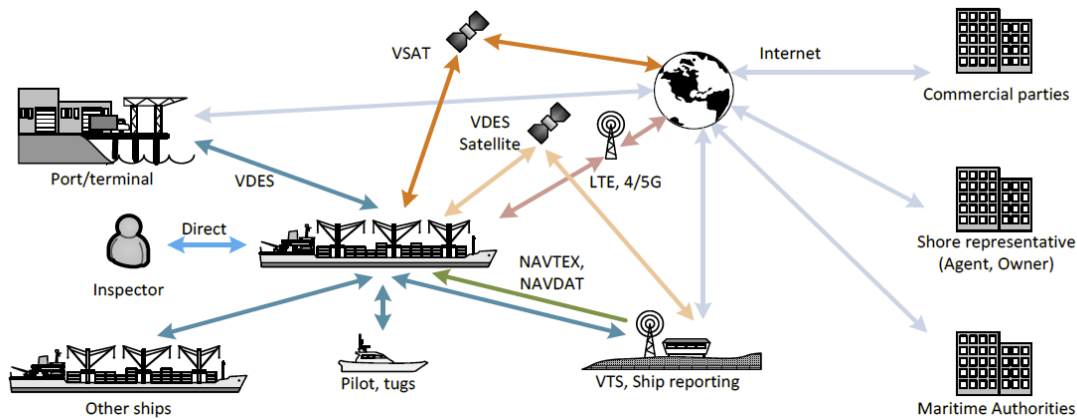
Mulige kommunikasjonsløsninger for overflatefartøy er illustrert i Figur 4. Det er planer om å utvikle en rekke produkter innenfor det som heter VHF Data Exchange (VDES), blant annet mobile stasjoner på fartøy, infrastruktur på land og satellitter for å øke dekningsgraden. Til eksempel vil Norsat-2 testsatellitt ha en omløpsperiode på 98 minutter, hvorav 20 minutter vil gi dekning selv i nordlige deler av nordområdene (Arktis).

VDES vil løse mye i forhold til e-navigasjonstjenester, men har veldig begrenset kapasitet, særlig når det gjelder båndbredde. Smarte antenner bruker mange antenneelementer sammen og gjør det mulig å bruke signalprosesseringsalgoritmer til å styre antennes retningsvinkel. Denne teknikken kalles stråleforming (eng: beam forming). Et eksempel på et slikt system er Kongsbergs Seatex og Radionor som tilbyr en løsning som kalles Maritime Broadband Radio (MBR). MBR har en rekke fordeler, blant ved at det kan inngå i et IP-nettverk, kan fungere BLOS, med mer.

Kommunikasjon via satellitt utover e-navigasjonstjenester er også mulig. Dette er systemer som vanligvis har god dekningsgrad global sett, men lav båndbredde og stor tidsforsinkelse. Slike satellittsystemer eller tjenester refereres gjerne til som Very Small Aperture Terminal (VSAT) eller Mobile Satellite Service (MSS), og det finnes en rekke leverandører, deriblant Inmarsat og Iridium.

Mobilnettverk som LTE/4G og 5G benyttes også. Nye generasjoner mobilnettverk har høy båndbredde, men krever at man er forholdsvis nært land, eventuelt i dekning av basestasjoner på oljeplattformer hvor dette er bygd ut. Utover disse systemene så finnes NAVTEX, NAVDAT som blant annet brukes til Vessel Traffic Service (VTS).

Mindre overflatefartøy vil typisk bli fjernstyrt manuelt ved direkte radiokommunikasjon, mens målkoordinater kan sendes over tidligere nevnte mobilnettverk der disse har dekning, eller over satellitt utenfor disse områdene.



Figur 4: Mulige kommunikasjonsløsninger for overflatefartøy (Illustrasjon: SINTEF)

2.3.6 Sikkerhetsfunksjoner

Luft, undervanns, overflate

Vi kan skille mellom sikkerhetsfunksjoner som er beregnet på å beskytte omgivelsene fra å bli påført skade, og sikkerhetsfunksjoner som er beregnet på å beskytte dronen og utstyret om bord. I den første kategorien som omhandler funksjonalitet for å unngå skade på omgivelser finner vi:

- ATEX godkjent design (kun luft og overflate)
- Redundant kommunikasjonslink
- Redundant motorkraft
- Cybersecurity
- Funksjonalitet som sikrer at dronen ikke påfører skade på omgivelser ved tap av fremdrift og/eller kontroll.

I den andre kategorien, som omhandler overlevelse av utstyr og data, finner vi:

- Funksjonalitet som begrenser skadeomfang ved sammenstøt (for flyvende droner kan dette være en fallskjerm)
- Funksjonalitet som forhindrer at dronen forsvinner i havet ved tap av motorkraft (e.g. løsninger som gjør at dronen flyter etc.).

2.3.7 Oppdragsspesifikke systemer

En del applikasjoner krever teknologi/funksjonalitet som er veldig spesifikk for oppdraget de skal utføre. Som et eksempel nevnes ikke-ødeleggende utprøving (engelsk: Non-destructive testing (NDT)). NDT er en gruppe teknikker eller metoder for å evaluere egenskapene til materialer uten å skade materialet. De mest vanlige teknikkene er visuell inspeksjon, magnetpulverprøving, radiografiprøving, penetrantprøving, virvelstrømprøving eller ultralydprøving. Ultralydprøving og virvelstrømprøving er utfordrende for flyvende droner da det krever at dronen har kontakt med materialet. Scout Drone Inspection, Scout (2019), er et norsk firma som utvikler luftbårne dronebaserte NDT-løsninger for lukkede miljø, f.eks. skipstanker, og det er et stort søkelys på å utvikle og forbedre kontaktbaserte NDT løsninger for flyvende droner internasjonalt.

For at industrien skal kunne nyttiggjøre seg av potensialet med de enorme datamengdene som droner kan generere så kan automatisk dataanalyse være en løsning. Slik dataanalyse vil blant annet være relevant for å detektere korrosjon på stålkonstruksjoner (se f.eks. Holm et al (2019)), oppdage sprekker og gjøre andre funn som er relevant i forbindelse med for eksempel inspeksjons- og overvåkningsarbeid. Slike systemer er også relevante i søk- og redningsoperasjoner hvor droner kan samle inn timevis av video av havoverflate i søk etter en savnet person. I og med at dagens industrielle inspeksjoner i all hovedsak gjøres manuelt så vil det

kreve et skifte for å kunne godkjenne inspeksjoner som utføres delvis eller helt automatisk med hensyn på analyse av innsamlet inspeksjonsdata.

2.4 Pågående forskning knyttet til dronebruk

I det følgende har vi beskrevet pågående forskningsprosjekter for bruk av droner, og planer for utvikling og bruk fra myndigheter, bransjen, operatører og produsenter. På et overordnet nivå ser vi at forskningen og planer knyttet til bruk av droner er sterkt økende, og økningen er ca 100% årlig knyttet til luftbårne droner.

Autonome droner/skip på overflaten er sterkt prioritert av nasjonale myndigheter og forskningsrådet hvor visjonen er å etablere Norge som en av de fremste internasjonale aktørene. Bruk av droner under vann er en etablert industri innen olje og gass-sektoren. Forskning innen bruk av droner til luft øker, men framdrift av regelverk og industriell satsing ligger tilbake for den maritime industrien. Bruk av autonome maritime systemer har bl.a. fått midler via senter for fremragende forskning (SFF), AMOS (senter for autonome marine operasjoner og systemer) ved NTNU. Senteret har et høyt aktivitetsnivå, i rapporten fra senteret for 2018 (AMOS, 2018) listes det opp bevilgninger til autonome maritime systemer via AMOS alene på ca. 323 Mill NOK (hvor luftbårne droner er holdt utenfor siden den delen dekkes opp av oversikten over luftbårne droner. I tillegg kommer støtte til autonome skip via andre kanaler.

Forskningsrådet har økt finansiert F&U for luftbårne droner i perioden fra 2008 til 2021 som vist i Tabell 6.

Tabell 6: Investeringer til luftbårne droner fra forskningsrådet

Periode	Finansiering
2008-2012	35,9 Mill NOK
2013-2017	56,7 Mill NOK
2018-2021	119,3 Mill NOK

Det er en klar økning i perioden med bevilgede midler til luftbårne droner. Når vi går gjennom de enkelte prosjektene, er det svak/liten fokus på sikkerhet (Safety&security) og utvikling av regelverk og rutiner knyttet til god praksis. Flere pilotprosjekter burde ha blitt etablert.

Vi gikk gjennom eksisterende databaser fra forskningsrådet knyttet til droner, søkeordene gjorde at vi fikk frem flest resultater knyttet til bruk av luftbårne droner. Prosjektene er navngitt og identifisert via det engelske kortnavnet brukt i forskningsrådets database. Vi har angitt med stjerne -* - de prosjektene som også fokuserte på sikkerhet. Vi har i det følgende listet opp prosjektene med angivelse av antall på området: maritime applikasjoner, teknologiforbedringer, inspeksjon av kraftlinjer, luftkontrollsystemer, biologi/landbruk, urban planlegging, helsevesen, kartlegging/survey og samfunnsperspektiv.

- **Maritime applikasjoner (7)** *Sikker løfting mellom supply-skip og plattformer ved bruk av droner; *Sikker maritime landing for UAS; Ubemannet drift av oppdrettsanlegg for fisk, *ASSUR- UAS droner brukt for mann overbord eller oljeutslipp, *Overvåking av is og forbedret kommunikasjonsteknologi; UAS i nordområdene for oversikt over is, Innen skip – autonom inspeksjon av lagringstanker
- **Teknologiforbedringer (7):** Forbedrede batterier for droner; Utvikling av elektriske kompositt motorer for droner; Utvikling av hybride motorer for UAS; Vertikal letting og landing; Scout - Droner for inspeksjon av utstyr; Mosquito – teknologi for mini UAS; *DroneSafe – utvikling av film-droner for optak i trange og krevende miljø
- **Inspeksjon av kraftlinjer (5):** Vedlikehold; *Feilfinning via bruk av AI; *Autonom inspeksjon; *Smart Grid inspeksjon; Fjern-Inspeksjon av tre-stolper brukt til kraftfremføring.
- **Systemer for flykontroll (3):** Flykontroll av UAS; Design av Autopilot for UAS i ekstreme situasjoner, Sporing og kommunikasjon av lavtflygende UAS

- **Jordbruk/Biologiske applikasjoner (2):** Oversikt over planteparasitter; Telling av selppopulasjon
- **Urbane applikasjoner (2):** Oversikt over nybygg basert på analyser av droneovervåking; *Inspeksjon av kritisk infrastruktur – inspeksjon av betong-broer
- **Helseapplikasjoner (2):** *Bruk av UAS til rask og sikker transport av blodprodukter og biologisk material; Utvikling av kommersielle medisinske transport-tjenester
- **Geografi (1):** Måling av gravitasjon og magnetiske felt via UAS
- **Samfunnsvinkling (1):** Ansvarlig bruk av droner for nyhetsmedia

Ved gjennomgangen av de prioriterte forskningsprosjektene var det 10 av 31 som brukte forbedring av sikkerhet som et argument for prosjektene (avmerket med *) – men det var imidlertid svakt fokus på sikring (dvs. Security).

Det var overraskende at følgende områder ikke hadde fått større oppmerksomhet – UAS brukt til støtte under kriser eller storulykker; bruk av droner til rask levering av kritiske komponenter/ utstyr til vanskelig tilgjengelige områder.

Det var også overraskende lite forskning fokusert på å øke robustheten til utstyret, dvs. forbedret MTBF eller risikobasert fokus ved å forbedre komponenter med høyest feilrate. Økt industriell bruk av droner er avhengig av at dronene er robuste med tanke på vær, dvs. at de kan brukes under skiftende værforhold vinter som sommer, når det snør/regner, når det er vind.

Analysene foretatt av (Petritoli et al. 2017), identifiserte høyeste feilrater for kraftforsyning (Power plant); Kontrollsystemer (Ground Control system); Navigasjonssystemer; Elektronikken (Electronic system); Bæreramme/karosseri (Mainframe) og fraktområde (Payload).

Det var heller ikke fokus på områder som menneske-maskin grensesnittet – noe som har vært påpekt som rot årsak til hendelser med større droner ref. Waraich et al. (2013) eller Hobbes et al. (2014). Innføring av ny teknologi vil også påvirke holdninger og organisering og krever at kunnskap og regelverk utvikles i takt med teknologien, f.eks forhold som etikk, regler, standarder, rapporteringssystemer, tillit, kunnskap, meningsfull menneskelig kontroll. Disse områdene har vært svakt prioritert. Regjeringen har publisert en dronestrategi, ND (2018), den behandler ikke grundig etiske og sosiale forhold, sikring (security) eller dokumenterte sikkerhetsutfordringer.

Basert på eksisterende forskningsrådsfinansiering, er det muligheter for forbedringer, det synes å være behov for mer forskning på:

- **Etiske og sosiale utfordringer knyttet til bruk av droner**, hvordan sikkerheten kan utvikles i samarbeid mellom aktørene (dvs. myndigheter, operatører og brukere) – som eksempel hvordan en kan bygge ut samarbeidet med nettverk som UAS-Norway
- **Metoder for å bygge robusthet (resilience)** i autonome systemer dvs. hvordan droner kan håndtere uventede hendelser og gå til en sikker tilstand basert på en sårbarhetsvurdering, og pilotprosjekter hvor marginene prøves ut ved at droner kan operere med tyngre last, i tøffere klima, under lengere distanser
- **Menneskelige faktorer (Human Factors) ved etablering av kontrollsentraler/** med fokus på menneske maskin grensesnitt (HMI – Human Machine Interface) – utvikling av god praksis og etablering av retningslinjer
- **Sikker bruk av droner (Safety and Security)** – spesielt med tanke på økt bruk i industrielle sammenhenger. Det er behov for systematisk innsamling av data, utvikling og forskning for å øke pålitelighet og robusthet av systemene så de kan fungere sikkert i et industrielt miljø. MTBF bør forbedres.
- **Proaktiv utvikling av regelverk og kvalitetskontroll** for autonome systemer, basert på flere pilotprosjekter f.eks. innen luftfart med økt utprøving av droner innen kontrollert luftfart.

Eu – Luft

Det har foregått forskning på ubemannede luftfartøyer i EU nesten til enhver tid, men EU har blant annet gjennom sin Aviation Strategy (Aviation Strategy EU 2015) satset mer målrettet på regelutvikling og bruk av forskningsmidler. Forskningsprogrammene Clean Sky og SESAR har fått tildelt en del midler som er dedikert til UAV forskning. SESAR drives av en organisasjon (Joint Undertaking – SESAR JU) hvor industri, tjenestetilbydere og forskningsinstitutt er medlemmer, og satsingen på UAV har en ambisjon om å etablere et trafikkledelsessystem for UAV (Unmanned Traffic Management (UTM)) innenfor et rammeverk som de kaller U-Space. U-Space skal gi muligheter til å operere UAV på rutineoppdrag innen alle typer av luftrom, sammen med bemannede fly. Tjenesteutviklingen skjer etter et veikart som skal gjennomføres frem mot år 2030.

- U1 U-space foundation services, e-registrering, e-identifisering og geofencing.
- U2 U-space initial services, for styring av droneoperasjoner, inkludert flygeplan, flygegodkjenning, overvåkning og grensesnitt mot trafikk kontroll for bemannet lufttrafikk.
- U3 U-space advanced services, støtte mer komplekse operasjoner i trafikkerte områder med assistert konfliktoppløsning og automatisert oppdagelse- og kollisjonsunngåelsesfunksjonalitet.
- U4 U-space full services, med veldig høy grad av automasjon, konnektivitet og digitalisering for både dronen og U-space systemet.

SESAR JU organiserer for tiden prosjekter for over 1 milliard kroner som skal støtte utviklingen av U-Space. Eksempler på prosjekter:

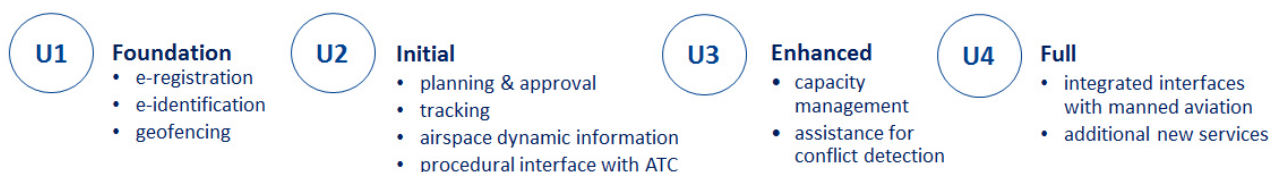
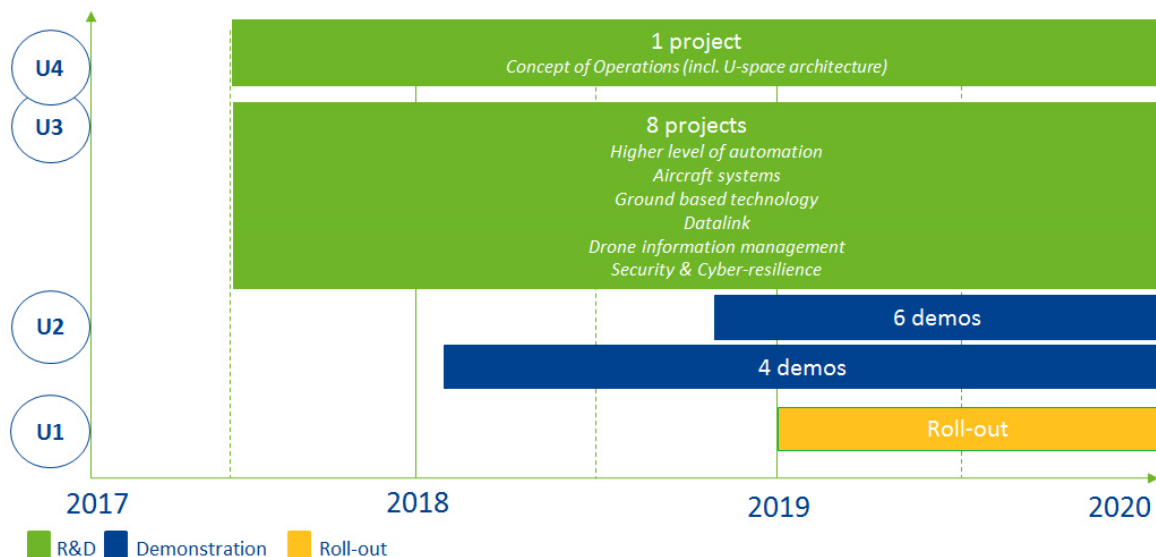
SESAR prosjekter
PODIUM (Proving Operations of Drones with Initial UTM) PODIUM har en kostnad på cirka 32 MNOK og vil: <ul style="list-style-type: none"> • Demonstrere U-space tjenester, prosedyrer og teknologi på 4 operative steder i Danmark, Frankrike og Nederland i 2018 og 2019 • Bidra med konklusjoner på modenheten til U-space tjenester og teknologi, dokumentert med testing av flysikkerhet (safety og security) og menneskelige ytelser i diverse test caser og scenarioer. • Gi anbefalinger om fremtidig implementering, reguleringer og standarder.
PROSA (SESAR Project 10) PROSA er et stort SESAR prosjekt som ser på automatisering av prosesser, spesielt for flygeledere. Ett av feltene de undersøker er integrering av større UAV i luftrom sammen med bemannede fly. Flygeledere og UAV piloter simulerte øvelser i realistiske operative miljø. De så spesielt på ytelsen til kommunikasjons- og kontrollinkene ved bruk av satellitt ved operasjoner utenfor synsvidde (BLOS). I tillegg testet de prosedyrer for situasjoner hvor de mistet kontroll- og kommunikasjonslinken.
GOF (Gulf of Finland) GOF arrangerer en rekke tester i Finland og Estland. Testene omfatter både bemannede fly og ubemannede droner. De inkluderer urbane droner til bruk for politiet, taxiflyging med ubemannede droner, langdistansedroner med mange sensorer som utfører inspeksjon av skogsområder samt inspeksjon av kraftlinjer. GOF tester også maritime operasjoner med fokus på beredskap, søk og redning og kystvakt i tillegg til godstransport (pakkelevering) over landegrensene.

Tabell 7 Eksempel på europeiske droneprosjekter

U-Space videreutvikles gjennom oppdateringer i ATM Master Plan og prosjektet CORUS lager en Concept of Operation (CONOPS) ved å konsultere alle interessene innen feltet.

U-space

A set of *new services & specific procedures* designed to support *safe, efficient and secure access to airspace for large numbers of drones.*



Figur 5: SESAR U-Space <https://www.sesarju.eu/U-space>

Et (EU) forslag (COM/2014/0207 final) til områder som krever forskning;

"The technologies which need further development and validation are:

- Command and control, including spectrum allocation and management;
- Detect and avoid technologies;
- Security protection against physical, electronic or cyber-attacks;
- Transparent and harmonized contingency procedures;
- Decision capabilities to ensure standardized and predictable behaviour in all phases of flight; and
- Human factor issues such as piloting."

2.5 Regelutforming

Luft

For droner i luft/på sokkelen gjelder Luftfartstilsynets "Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv" Lovdata (2015), der forutsettes det at droneoperasjoner følger kravene i henhold til de generelle krav og begrensninger som gjelder for alle RPAS-operatører (RO), det vil si RO1, RO2 og RO3.

ICAO (International Civil Aviation Organisation) er en FN organisasjon som har ansvar for utarbeidelse av lover og regler for luftfart i hele verden. I Europa har Kommisjonen etablert EASA (European Union Aviation Safety Agency), som den overordnede myndigheten og regelutvikleren. Luftfartstilsynet har det nasjonale ansvaret, men er underlagt EASA gjennom EØS avtalen.

Svært mange grupperinger og organisasjoner har i de siste 20 årene jobbet med internasjonal standardisering og regelutvikling for UAV. UAS International har for eksempel hatt flere aktiviteter hvor de har forsøkt å få industrien og myndighetene til å samarbeide. En slik aktivitet var for eksempel "the joint JAA (Joint Aviation Authorities – forløperen av EASA) and EUROCONTROL UAV Task Force" som utviklet "A Concept for European Regulations for Civil Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)" allerede i 2004 (JAA/EUROCONTROL 2004). Dette arbeidet omfattet de fleste sidene ved UAV, slik som design, luftdyktighet og operasjoner sammen med bemannet lufttrafikk. Militære myndigheter og NATO har kanskje vært de mest aktive, spesielt når det gjelder å ta i bruk droner. Regelutviklingen er enklere på militær side, siden forsvaret ofte kan opptre selvstendig og bruke sin militære myndighet til å utvikle egne regler og prosedyrer, begrunnet med enhver stats suverenitet. Det gjør at en ikke er avhengig av at alle nasjonene er enige før en implementerer nye regler, slik som det er for sivil luftfart som reguleres gjennom ICAO. Noe militær aktivitet standardiseres likevel, for eksempel gjennom NATO og EUROCONTROL. Her kan en vise til "EUROCONTROL Specifications for the use of military Unmanned Aerial Vehicles as operational air traffic outside segregated airspace" (EUROCONTROL, 2007). Dette er et regelverk som ble utviklet og vedtatt allerede i 2007, men gjelder kun for militære UAV.

EUROCAE WG 105: EUROCAE er en organisasjon som lager standarder for luftfarten i Europa. Luftfartsindustrien er medlemmer av EUROCAE, som drives av et sekretariat lokalisert i Paris. Arbeidet organiseres i såkalte Working Groups (WG) som hver for seg omhandler dedikerte teknologiområder.

WG-105 har oppdraget med å utvikle standarder og rådgivende dokumenter som skal resultere i sikre UAS operasjoner i alle typer luftrom. Arbeidet er organisert i fokusgrupper som blant annet ser på:

- UAS Traffic Management (UAS)
- Command, Control, Communication (C3)
- Detect and Avoid (DAA)
- Design and Airworthiness Standards
- Specific Operations Risk Assessment (SORA)
- Enhanced RPAS Automation (ERA)

WG-105 koordinerer arbeidet med RTCA SC-228, som er den nordamerikanske ekvivalenten.

EASA fikk utvidet sitt mandat til å omfatte ubemannede fly, uansett vekt, gjennom en ny Basic Regulation (Regulation (EU) 2018/1139). Her blir EASA pålagt det nye ansvarsområde, og får i oppdrag å bruke en risikobasert tilnærming til regulering av droneoperasjoner. Som en konsekvens av det utvidede mandatet har EASA laget en ny forordning som regulerer droneoperasjoner og sertifisering av droner (EASA 2019). Denne forordningen omfatter både droner som ikke behøver forhåndsgodkjenning for å operere, samt droner som krever forhåndsgodkjenning i tillegg til sertifiseringskrav til fartøy og operatør. EASA vil følge opp de nye reglene med konkrete sertifiseringskrav og forslag til hvordan sertifisering kan oppnås. Medlemslandene, inkludert Norge, har fra medio 2019 ett år på seg til å følge opp med nasjonale regler. Det kommer blant annet nasjonale regler for registrering av droner og operatører. Droner vil for eksempel måtte registreres hvis de er over 250 gram og/eller har sensorer for lyd/bilde om bord. Dronene er klassifisert i 3 forskjellige klasser;

- Åpne operasjoner - gjelder droner til hobbyaktivitet og lettere profesjonell aktivitet
- Spesielle operasjoner - gjelder droner for transport
- Sertifiserte droner - gjelder tyngre profesjonell bruk på linje med bemannet trafikk.

OGUK-UASS (2017) gir overordnede retningslinjer for bruk av luftbårne droner i offshore petroleumsindustri i Storbritannia og tar blant annet for seg sikkerhet ("safety" og "security"), planlegging og

innkjøp av dronetjenester, ledelse av offshore droneoperasjoner, droneoperatørtrening og krav til utstyr. Dokumentet gir også forslag til oppsett for operasjonsmanual for droner.

Undervann

NORSOK standard U-102 (Remotely operated vehicle (ROV) services) beskriver bestemmelser og retningslinjer for personell, utstyr og systemer i forbindelse med ROV-operasjoner i petroleumsindustrien. DNVGL SHIP TECH I-5-3 (GL, 2009) gir retningslinjer for konstruksjon av ROV og AUV.

Overflate

Når det gjelder konstruksjon av skip med nye eller uvanlige former og egenskaper kan disse unntas fra reglene "Den internasjonale konvensjon om sikkerhet for menneskeliv til sjøs (SOLAS)", dersom sikkerheten vurderes å være minst like sikker som i dag, Sdir (2017). Skipet vil da i helhet bli vurdert basert på "IMO MSC.1/Circ.1455 Guidelines for the approval of alternatives and equivalents as provided for in various IMO instruments".

Når det gjelder operasjon og drift, vil bruk av autonome skip kunne komme i konflikt med eller påvirkes av blant annet Skipssikkerhetsloven (LOV-2007-02-16-9), Bemanningsforskriften (FOR-2009-06-18-666), Navigasjonsforskriften (FOR-1975-12-01-5), Forskriften om forebygging av sammenstøt på sjøen (FOR-1975-12-01-5) og Sjøloven (LOV-1994-06-24-39), Sdir (2017).

2.6 Ansvar og praksis i Norge

Formålet med dette avsnittet er å si noe om ansvarsområder og eksisterende regelverk med tilhørende praksis. I utgangspunktet er det operatøren og OIM på installasjonen som har ansvaret for sikkerheten. Dette ansvaret gjelder den eksisterende bruk og pilotutprøving av droner på luft, på vann og under vann på installasjonene.

Droner på vann og under vann

Sjøfartsdirektoratet (SD) er myndighet for kontroll, godkjenning og sertifisering av skip og arbeider med regelverk for automatisering og autonome skip både nasjonalt og internasjonalt. Navigasjonsreglene for sjøfart er definert og beskrevet i COLREG - "International Regulations for Preventing Collisions at Sea", som autonome skip må forholde seg til. COLREG kan skape utfordringer for autonome skip, se Porathe (2019). For autonome skip, viser SD til "IMO MSC.1/Circ.1455 Guidelines for the approval of alternatives and equivalents as provided for in various IMO instruments" – det legges opp til en risikobasert godkjenningsprosess av autonome skip med trinnene:

1. Development of a preliminary design
2. Approval of the preliminary design
3. Development of final design
4. Final design testing and analyses; and
5. Approval (Det planlegges med tredje-parts uavhengig verifikasjon under dette punktet).

Når det gjelder arbeidstakere er det slik at om man jobber fra en fast innretning gjelder petroleumsloven, og jobber man på et fartøy gjelder sjøfartslovgivningen som avhenger av flaggstat. Ved bruk av flerbruksfartøyer med ROV kan det være flere regelverk som gjelder. De som opererer ROV er unntatt fra de strengeste kravene, skipsarbeidsloven gjelder bl.a. ikke fullt for ROV personell. Ptil har hjemmel til å stille sikkerhetskrav overfor fartøy som anvendes i petroleumsvirksomheten.

ROV styres fra kontrollrom om bord på skipet, via navlestreng som går fra skipet til ROVen. Vi har ikke hatt muligheter til å foreta en systematisk analyse av hendelser med ROV, eller funnet vitenskapelige publikasjoner som gir en samlet oversikt over hendelser og uhell med ROV. Det har imidlertid vært uhell hvor ROV (på syv tonn) har revet seg løs fra navlestrengen og styrtet på havbunnen mellom ventiler og sub-sea rør).

Norsk Olje og gass definerer arbeid med ROV som sikkerhetskritisk arbeid, og definerer det som kritiske arbeidsoperasjoner som skal ha arbeidstillatelse nivå 1.

En ny versjon av Lov om havner og farvann (LOV-2019-06-21-70) ble kunngjort i 2019 og vil tre i kraft fra 2020. Formålet er at "Loven skal fremme sjøtransport som transportform og legge til rette for effektiv, sikker og miljøvennlig drift av havn og bruk av farvann, samtidig som det skal tas hensyn til et konkurransedyktig næringsliv". I lovteksten står det blant annet at en reder etter søknad kan få tillatelse fra samferdselsdepartementet til autonom kystseilas.

Droner i lufta

Basert på EASA lovgiving er det Luftfartstilsynet som har ansvaret for å arbeide med regelverk for droner i luft. Det er laget regelverk for bruk av droner i luft Lovdata (2015). EU har nylig vedtatt to nye forskrifter for sikker og bærekraftig bruk av droner med trinnvis implementering fra 1. juli 2020, til noe senere, antydnet 1. Juli 2021 fra luftfartstilsynet. Dette regelverket vil bli utviklet i tråd med nye regler. De nye reglene baseres på en kategorisering av droner i tre kategorier: "open", "specific" og "certified". Kategorien "open" vil omfatte RO1 og noe av RO2; "specific" vil omfatte resten av RO2 og "certified" vil omfatte krevende operasjoner og derav RO3. Det er ikke definerte sertifiseringsstandarder i dag, og det trengs for å benytte kategorien "certified", så selv om EASA regelverket trer i kraft fra 1.7.2020 så vil det ennå ta tid før "certified" kategorien er på plass.

Siden det nye regelverket er under utvikling, forholder vi oss til dagens regelverk med RO1, RO2 og RO3 fra luftfartstilsynet, som gir klare regler for operasjon av de forskjellige dronetypene:

- RO1 droner: har en største tillatte startmasse opp til 2,5 kg og har maksimal hastighet 60 knop som skal operere utelukkende innenfor VLOS i dagslysperioden og innenfor fastsatte sikkerhetsavstander.
- RO2 droner: har en største tillatte startmasse opp til 25 kg og har maksimal hastighet 80 knop som skal operere VLOS eller EVLOS og innenfor fastsatte sikkerhetsavstander eller BLOS i samsvar lovverket.
- RO3 droner har en største tillatte startmasse på 25 kg eller mer, eller har maksimal hastighet over 80 knop eller drives av turbinmotor, eller skal operere BLOS høyere enn 120 meter, eller skal operere i kontrollert luftrom høyere enn 120 meter, ellers skal operere over eller i nærhet av folkeansamlinger i andre tilfeller (enn det som følger av § 51 tredje ledd).

For RO2 kreves det at operatøren skal ha en operasjonsmanual tilpasset kompleksiteten i virksomhetens operasjoner med:

- a) beskrivelse av virksomhetens oppbygging
- b) beskrivelse av de operasjonstyper som inngår i virksomheten
- c) prosedyrer for de operasjoner som skal utføres, inkludert risikoanalyser
- d) beskrivelse av krav til kompetanse for vedlikeholdspersonell
- e) beskrivelse av krav til kompetanse og vedlikeholdstrening for fartøysjef
- f) vedlikeholdsprogrammer
- g) oversikt over alle luftfartøy som inngår i virksomheten.

Mer spesifikt må operatøren benytte luftfartøy som det kan dokumenteres er luftdyktig. Det må kunne dokumenteres at systemet er testet for de operasjoner som fartøyet er planlagt brukt for. Det skal etableres et vedlikeholdsprogram for luftfartøyene. Teknisk flygetid for luftfartøy og kritiske komponenter skal loggføres. Vedlikehold skal utføres av teknisk personell godkjent av teknisk leder. Vedlikeholdspersonellets kompetanse til å drive vedlikehold på aktuelt luftfartøy eller system skal være dokumentert. For å kunne utføre flyging må pilot eller fartøysjef ha bestått e-eksamen. Pilot og fartøysjef må kunne demonstrere

tilstrekkelige ferdigheter til at flyging kan skje sikkert og i tråd med regelverket. Ferdighetene må holdes oppdatert gjennom vedlikeholdstrening.

Kravene for kategorien RO2 med vekt opp til 25 Kg, kan være et utgangspunkt for bruk av droner inne olje og gass da den krever prosedyrebeskrivelser, risikoanalyser, krav til systematisk kompetanse for pilot og operasjoner (vedlikehold), at utstyret er testet for den aktuelle bruken, og ikke minst logging av operasjonen slik at systematiske data blir samlet inn som utgangspunkt for rapportering og analyser.

Ansvar for sikringstiltak (Security)

Lov om nasjonal sikkerhet (Sikkerhetsloven) ble oppdatert pr 1/1-2019. Elementer som defineres som kritisk infrastruktur med spesielle utvidede sikringsbehov er under arbeid, men ansvarsforholdet for sikring er klart, og beskrives i det følgende.

Det generelle ansvaret for terrorberedskap og vurdering av trusselbildet ligger hos politiet, Forsvaret og Nasjonal sikkerhetsmyndighet (NSM). For offshoreinstallasjoner og petroleumsanlegg ligger ansvaret på operatørene. Operatørene har plikt til å etablere og håndheve sikkerhetssoner, med Petroleumstilsynet (Ptil) som tilsynsetat. Ifølge petroleumslovens bestemmelser, har rettighetshaverne plikt til å ha beredskap mot «bevisste anslag». Installasjoner og anlegg skal ha sikkerhetssone på 500 meter, både vertikalt og horisontalt, det vil si både til lands og sjøs. Operatøren har plikt til å overvåke all aktivitet i sikkerhetssonen (rammeforskriften § 57). Regler om «anrop» og varsling ved krenking av sikkerhetssonen finnes i forskriftens § 58. Ved krenking av sikkerhetssonen, skal operatøren avvise fartøy eller gjenstander så langt dette er mulig og forsvarlig. Dersom krenkingen medfører alvorlig fare for sikkerheten i petroleumsvirksomheten, kan avvisningen bestå i fysiske tiltak. Tilsvarende gjelder hvis fartøy eller gjenstander utenfor sikkerhetssonen medfører slik fare (§ 59).

3 Luftbårne droner i nordområdene og arktiske strøk

Å operere droner under arktiske forhold gir noen unike utfordringer både teknologimessig og for personell som skal operere utstyret. I dette kapitlet vil vi belyse utfordringene assosiert med å operere i arktiske strøk, status på teknologiske og operative løsninger og identifiserte gap og utfordringer. Tilslutt vil vi peke på mulighetsrommet og potensialet for bruk av droner i forbindelse med petroleumsvirksomhet i Arktis.

3.1 Lys, klima og værmessige utfordringer

Helårsoperasjoner i Arktis krever evne til å operere sikkert i både dagslys og i mørke. Utstyret og personell må tåle kulde om vinteren ned til –20 til –40 C avhengig av operasjonsområde.

3.1.1 Utfordringer med luftfartøyet

Når temperatur går under frysepunktet vil valg av materialer blir viktig da disse endrer egenskaper i forhold til mykhet og sprøhet. Vibrasjonsdempere av gummi vil endre egenskaper, dette kan påvirke fartøyets evne til å operere. Autopilot og sensorene til disse er som regel montert på gummidempere for å isolere dem fra vibrasjoner forårsaket av motorer og propeller. IMU-sensorene som autopiloten bruker for å stabilisere luftfartøyet vil feile hvis vibrasjonene er for sterke. Isolasjon på ledninger og kabler blir stiv og sprekker når de bøyes noe som kan føre til kortslutninger. Elektronikk er ofte kun testet ned til 0 grader i utgangspunktet, men utstyr med utvidet temperaturområde er ofte tilgjengelig. Smøremidler i servoer og lagre er ofte ikke tilpasset lave temperaturer. Det meste av tilgjengelig hylleware i dag er ikke designet for operasjoner i kulde så grundig verifikasjon av utstyr er nødvendig før det tas i bruk.

3.1.2 utfordringer operativt

Skyer i arktiske strøk er ofte lave i høyde og ising kan forventes på aerodynamiske flater og propeller, noe som reduserer løft og effektivitet. Dette har vært observert på droner operert på Svalbard og på drivisen både om vinter, vår og på sommerstid. Det forskes på løsninger for håndtering av ising ved bruk av isofobe belegg (f.eks grafen) og strømførende karbonbelegg som smelter av is. Dette er løsninger på prototypestadiet og er ikke implementert på droner i normal operativ drift per i dag. For å unngå tap av droner pga. ising i dag gjøres dette med overvåkning av temperatur og luftfuktighet, bruk av værmelding og sensorer for å detektere ising (vil sees på kamera f.eks). Overvåkning av flyets ytelse vil også indikere ising, for eksempel vil behov for økt motorkraft for å holde høyde og flyhastighet være en god indikasjon. Ved bruk av forbrenningsmotor med forgasser er forgasserising et forventet problem. I dette tilfellet vil lett oppvarming av inntaksluft kunne forebygge forgasserising.

Høy vind skaper turbulens rundt installasjoner og skip. Skal dronene opereres ut fra skip eller plattformer bør det velges design som er mer robuste for turbulens. Generelt er det da gunstig med droner som har høyere disk last på en multirotor og vingelast på fastvinge. Dette innebærer at såkalt "X8" konfigurasjon vil tåle mer turbulens enn en "Octo" konfigurasjon selv om sistnevnte trolig er ca 20-30% mer effektiv. Se Figur 6 for eksempel på "Octo" og "X8"-konfigurasjon.



Figur 6 Kraken Octocopter (til venstre) og Fox X8 copter (til høyre). Foto: NORCE.

Fastvingedroner som kan lette og lande vertikalt (dvs. VTOL) har blitt populære og tilgjengelige de siste par årene. Disse er et kompromiss som kombinerer vertikal take-off og landing med fast-vinge fordeler som økt rekkevidde og utholdenhet. Men store flater gjør dem mer utsatt for turbulens ved take-off og landing. Slik sett vil nettbasert eller kabelkrok landing fungere bedre ved høy vind, dog kreves mer utstyr og større sannsynlighet for skader på luftfartøyet.

I arktiske strøk er det vanlig med tåke eller veldig lavt skydekke noe som gir dårlig visibilitet. Dette vil være en utfordring i forhold til manuell kontroll og sikring ved take-off og landing selv om automatikken i seg selv ikke er påvirket. Det utvikles også nye sikkerhetslag med bruk av radar, laser og maskinsyn i forhold til fin-navigasjon og autonomitet som vil kunne påvirkes av dårlig visibilitet på grunn av snø, regn eller tåke. Om vinteren vil operasjoner måtte finne sted i mørke. I mørke er det vanskeligere å bedømme avstand og orientering til luftfartøyet og man må i større grad fly automatisk. Mørkeflyging krever egne prosedyrer i operasjonsmanualen og kan kun gjøres under RO2/RO3 tillatelse med dagens regelverk.

Kalde batterier tappes raskere og har høyere indre motstand når de er kalde og evnen til å levere høy strøm reduseres. Dog er det verdt å merke seg at spesielt i forhold til strømdrevne multirotor systemer så holder batteriene godt på temperatur pga indre motstand og høyt strømtrekk hvis man starter med varme batterier.

3.1.3 Personell og HMS utfordringer

Det å operere droner under vinterlige forhold har utfordringer i forhold til pilotens evne til å kontrollere dronen effektivt og til pilotens situasjonsforståelse av omgivelsene. Faktorer som vind og kulde kan påvirke

dømmekraft hvis piloten kjøles ned og motoriske evner reduseres når ekstremitetene blir kalde. For å kompensere for dette må det gjøres tilpasninger i design av systemet og i de operasjonelle prosedyrene. Tilpasninger som gjør at arbeid på dronen som må gjøres utendørs kan gjøres med hansker på. At dronen kan kontrolleres fra oppvarmet sted, evt. at klær og sko har innebygd oppvarming og bruk av skibriller og bakkekotroller muffe som gjør at man kan bruke tynne hansker på kontrollene, det siste er kritisk ved manuell kontroll av dronen. Hetter og tykke klær påvirker synsfelt, hørsel og bevegelighet som igjen påvirker situasjonsforståelse og evne til å reagere raskt. At systemet settes opp slik at mest mulig av arbeidet kan gjøres beskyttet fra vær vil øke sikkerhet for både personell og utstyr. Gode prosedyrer og sjekklister er spesielt viktig under slike forhold, da økte stressfaktorer på grunn av de ekstreme forholdene og omgivelsene generelt øker sannsynlighet for at en glemmer å kontrollere viktige punkter med mindre man systematisk går gjennom pre-flight forberedelser. Bruk av sjekklister er standard for operasjon av selve fartøyet, men det er også viktig at dette utvikles og brukes for nyttelasten.

3.2 Kommunikasjonsinfrastruktur

Allerede på 60 grader nord går båndbredden ned på lette kommunikasjonssystemer som benytter geostasjonære satellitter og 70 grader regnes som nordlig grense. Nord for dette er Iridium eneste løsning i dag. Iridium-systemet er relativt ustabil og har lav båndbredde. Typisk i arktiske droneoperasjoner har vi hatt kommunikasjonsdropp ca. en til to ganger per time og en gjenoppkoblingstid på 1-2 minutter. Fordelen med Iridiumsystemene har vært lav vekt (under 100 gram) og global dekning. I Nordsjøen har Tampnett etablert 4G dekning som kan brukes for å strøme data og styre droner. Med 5G vil redusert forsinkelse (latency på rundt kun 1 ms) tillate direkte kontroll på lik linje med direkte radiolenke, mens 4G forutsetter en mer automatisert drone. Selv om dronene har lav båndbredde til bakkestasjon kan skip og rigger utstyres med MBR eller WIFI utstyr som tillater høy båndbredde overføring av data til brukere uten at data går veien om bakkestasjon, noe som er aktuelt i forbindelse med ishåndtering eller oljevernaksjoner. utfordringer med kommunikasjon i nordområdene er også nevnt i Fagbokforlaget (2017), Springer (2017) og Springer (2019).

3.3 Status og trender

Regulær operativ bruk av droner offshore i dag er stort sett begrenset til VLOS -operasjoner og manuell kontroll med automatisk stabilisering og feilsikring. Under vil vi beskrive muligheter som er tilgjengelige i markedet, men som ikke er tatt i regulær bruk og derfor ikke har samme grad av modenhet.

Fastvingeplattformer

Det er to konsepter for bruk av fastvingeplattformer i forbindelse med offshore operasjoner. Det ene er å operere lokalt fra skip eller installasjoner i området der dronen skal brukes, det andre er å fly fra land. Fastvingeplattformer er egnet til å kartlegge større områder raskt. Aktuelle bruksområder er søk og redning, oljevern, is-håndtering og is-navigasjon.

Offshore operasjoner

Hovedutfordringen er take-off og landing. Take-off vil kreve katapult for systemer over ca 5-7 kg (de under kastes som regel for hånd). Landing foregår ved bruk av nett eller kabelkrok på vinge. Dette gjør at en får et forholdsvis stort operasjonelt fotavtrykk i forhold til plassbruk.

Gjennomsnittsvind i Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet om vinteren er 10-12 m/s og øvre 25% av tiden 16-20 m/s. Små fast-vingefly har typisk cruise hastighet 15-25 m/s. Dette vil begrense rekkevidden til disse dronene betydelig, men til gjengjeld vil de starte i operasjonsområde og dermed være raskt på plass. I de høyere vindhastighetene vil det være stor risiko for utstyret på grunn av turbulens og skade ved landing i nett hvis en ikke treffer perfekt.

Operasjoner fra land

Droneoperasjon fra land vil kreve større rekkevidde og høyere cruise hastighet. Man vil også få høyere risiko i forhold til ising. Dronene bør minimum ha cruise hastighet på 90-120 knop (45-60 m/s) for ikke å miste for mye rekkevidde pga. vind, i tillegg bør dronen ha sensorer for deteksjon av isingsforhold. For å utvide operasjonsvinduet bør dronen også ha avisnings- eller antiisingskapasitet. Med dagens teknologi vil disse dronene være drevet med enten bensin eller diesel/parafin for å ha ønsket rekkevidde. Det vil være mest hensiktsmessig å operere fra mindre flyplass eller egen landingsstripe.

Det forskes på bruk av drivstoffceller for hybride fremdriftssystemer for denne type droner. Det er ikke så mange systemer tilgjengelig på sivil side i denne kategorien i dag, slik at modenheten på systemene i forhold til antall flytimer er lavt, dette henger noe sammen med utfordringer med luftromstilgang. Luftromstilgangen vil bli bedre med innføring av UTM (Unmanned Traffic Management) system og transponder/ADS-B løsninger samt sertifiseringsstandardene som er ventet å komme på plass i løpet av 2-3 år.

Multirotor

Multirotordroner er i dag brukt operativt for inspeksjon på installasjoner on- og offshore. De første ATEX sertifiserte dronene har kommet på markedet se Atexshop (2019b) som hevder å tilfredstille "IECEX Class 1 Division 1 or ATEX Zone 0" og Atexshop (2019a) for droner som hevder å tilfredstille "ATEX Standard Zone II and certified by independent labs". Fra Amazon (2019) beskrives en drone som "Listed for the United States Canada and Europe the unit comes with the following explosion proof ratings: Class I Divisions 1 & 2 Groups A B C D and Class II Divisions 1 & 2 Groups E F G".

Men vi kjenner ikke til at petroleumsindustrien har akseptert og tatt i bruk denne teknologien (dvs. ATEX-droner) i noe stor skala. Multirotordroner er vanligvis batteridrevne og har typisk operasjonstid på 20-60 minutter avhengig av nyttelast vekt, størrelse og værforhold. Hovedfordelen med multirotor droner er god stabilitet og veldig få bevegelige deler, stort sett kun kulelagre i motor og gjerne en kamera-gimbal. Dette gjør at disse har svært enkelt vedlikehold og derfor er rimelige i drift. Større multirotorer for frakt av last og personell er i utvikling både av nye startup-selskaper men nå også av de store produsentene som Airbus, Embraer og Boeing som alle har prototyper under utvikling som kan løfte flere hundre kilo. Den enkle mekanikken i disse systemene attraktive i utgangspunktet, men det er en utfordring i forhold til effektive energibærere for å kunne gjennomføre lengre flygninger. De første hybrid-løsningene er nå på markedet som gir multirotordroner med 4-5 timer flytid (20-30 kg klassen) men har ulempen med økt kompleksitet og bruk av bensin. Store multirotor kan være effektive for frakt fra skip til skip eller skip til rigg. Hovedfordel er lavt operasjonelt fotavtrykk. En utfordring med multirotor i arktiske strøk er at det ikke er utviklet anti-ising eller avisings systemer for propeller per i dag. Løsningene som utvikles for bruk på vinger er mer kompliserte å integrere på propeller. Ising på propeller utgjør også en HMS-risiko da is som løsner blir slynget ut i stor hastighet og utgjør fare for personell, denne faren øker med størrelsen på systemene og propellene.

Helikopter

Tradisjonell helikopter-design har mekanisk kompleksitet, men høy løfteevne og er enklere å fly med forbrenningsmotor og dermed oppnå god rekkevidde for større systemer. Mindre systemer er oftest batteridrevne. Disse kommer i alle størrelser fra 18 gram (FLIR Black Hornet) til 1000+ kg. Drift og vedlikehold er mer lik tradisjonelle lette bemannede helikoptre for de store systemene.

VTOL

Hybriden mellom multirotor og fast-vinge luftfartøy har kommet for fullt de siste par årene og har et stor potensial ved sin fleksibilitet i forhold til å rekkevidde nesten på linje med normal fast-vinge og i tillegg kan ta av og lande på et lite område som en multirotor. Typisk har disse kort flytid i multirotor modus og med sårbarhet i forhold til turbulens så er multirotor modus vanligvis brukt for take-off og landing. Den er forventet å ha et litt mindre operasjonsvindu værmessig i forhold til vind under take-off og landing, men til gjengjeld mye enklere å operere og mindre operasjonell overhead enn med fast-vinge som må nett-lande på

skip. Derfor forventes det at denne flytypen vil bli brukt i økende grad i forhold til lokalt basert overvåkning og transport både på land og offshore.

3.4 Mellomvare og kontrollsystemer

Effektiv bruk av drone avhenger av systemet som dronen inngår i. Dette er spesielt viktig i arktiske strøk der graden av automasjon og autonomi økes for å avlaste personell samt kompensere for dårligere sikt og redusere tid utstyret er utsatt for vær og kulde før og etter flygning. Systemet rundt droneoperasjon bør håndtere alle fasene av en droneoperasjon og dokumentasjons og loggekravene som kreves av forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord (Lovdata, 2015). I planleggingsfasen må NOTAM sjekkes (det vil si meldinger vedrørende viktige forhold knyttet til flyvning), hvis flygning utenfor synsvidde må NOTAM utsendes og koordinere med NAOC, værmelding sjekkes, flyforbudsområder og flykart sjekkes, risikovurdering av operasjonen gjennomføres og fly-plan lages. Mye av dette kan automatiseres og forenkles gjennom bakkestasjon og automatisert informasjonsinnhenting. Det vil også bli betydelige endringer over de neste par årene i forhold til UTM systemet som er under innføring. Eksempel på støttesystem som er fritt tilgjengelig er www.safetofly.no. I operasjons-fasen trenger man et kontrollsystem (bakkestasjon) som kan interagere med dronen og gi operatøren tilstrekkelig informasjon til at operasjonen kan gjennomføres sikkert. Behovet vil variere mye i forhold til type operasjon og type drone. Systemet bør også kontrollere kommunikasjon og nyttelastsensorene og datafangsten, prosessering av denne og distribusjon av data. Mange droner leveres med proprietære systemer for dette. Spesielt i arktiske områder kommer disse systemene til kort i forhold til mangel på integrering av kritisk støtteinformasjon som trengs for å planlegge og overvåke viktige faktorer i forhold til vær og ising eller støtte for operasjon i mørke. Systemer for ombord for prosessering, datareduksjon og automatisk analyse vil kunne redusere båndbreddebehovet i sanntidsapplikasjoner og videre distribusjon av data må tilpasses mangel på båndbredde og kommunikasjonsinfrastruktur. Mitigasjoner kan være direkte nedlasting av data til brukere innen radiorekkevidde eller rele gjennom skip, fly og installasjoner i området som har bedre kommunikasjonsinfrastruktur eller kan virke som "data mules". Slike løsninger kan i mange tilfeller legges som lag utenpå de proprietære løsningene. Siste fase av operasjonen går på logging av flygning og håndtering og analyse av data. Her er det gunstig om dette gjøres automatisk inn i en database. Dette vil gjøre det mulig å analysere ytelse og sårbarhet i forhold til vær og operative prosedyrer og dermed over tid redusere risiko.

3.5 Potensialet i drone operasjoner i nordområdene og Arktis

I forhold til petroleumsrelatert bruk av droner i Arktis, så er det samme behov og potensial for tjenester som det er utenfor arktiske strøk som beskrevet ellers i denne rapporten, men det er unike utfordringer i forhold til vær, klima, lysforhold og infrastruktur som beskrevet tidligere. I tillegg er det visse type operasjoner som vil være unike for arktiske strøk. Spesielt i forhold til håndtering av drivis og isfjell vil droner i kombinasjon med satellitt og modellering kunne brukes til å karakterisere og varsle isen eller isfjellet og driften for å sikre at det ikke vil utgjøre en trussel. Slike flygninger kan også gjennomføres før eventuelle planer om operasjoner lages for å kartlegge problematikken. Droner kan også brukes for å kartlegge forekomst av sjøfugler eller marine pattedyr i slike områder. Droner kan også utvikles til å utføre arbeid, f.eks. har droner blitt brukt til avising av vindmøller.

4 Innsamlede erfaringer og utviklingstrekk med vekt på HMS fra intervjuene

I det følgende har vi oppsummert resultater fra 8 intervju med operatører av droner, brukere av dronetjenester, utviklere og operatører av nye tjenester og interesseorganisasjoner. Dette omfatter droner i luft, på sjø og under vann. Naturlig nok er bruk av droner i en fase med mye utprøving og læring, det gjelder spesielt droner på sjø og luft mens droner under vann er et noe mer modent område.

Ett positivt moment har vært at utviklere og operatører av droneteknologi har blitt påvirket av sikkerhetstenkingen til olje og gass næringen ved at risikovurderinger og sikker arbeidspraksis har blitt

prioritert av brukerne (dvs. oljeselskapene). Dette kan lede til en positiv utvikling generelt i forbindelse med dronebruk, ved at denne sikkerhetsholdningen sprer seg til bruk av droner i andre industrier.

Nåværende og ønskede bruksområder fra intervjuene var knyttet til logistikk (leveranse av kritisk utstyr), inspeksjoner (lagringstanker, understell på plattformer, flammestårn), kartlegging (seismikk, kartarbeid) og muligheter for bruk av luftdroner til perimetersikring (f.eks. rundt landanlegg) og generell sikring (leveranser til politi og forsvar). Framtidige behov var bl.a. bruk av droner i forbindelse med oljeberedskap, økt bruk av droner til logistikk/frakt mellom båter og plattform og fra land til plattform – med økt grad av samspill mellom plattformen og dronene. Dessuten var det et ønske om å bruke droner til overvåking av is og til å finne folk (evt. droppe lettere redningsutstyr). Det ble nevnt et eksempel fra Singapore (fra rederiet Wilhelmsen) hvor de testet ut transport av viktige komponenter fra havna til skip; og hvor noen komponenter kunne lages på stedet – dvs. ved at de ble skrevet ut via 3D skriver.

Bruk av droner i luft var prioritert på grunn av å redusere risiko for personell, og evt. redusere bruk av helikopter (spesielt når helikopter ble brukt til lavtflygende inspeksjoner). Et helikopter bruker 200 liter bensin i timen, så reduksjon i bruk av helikopter kan også ha miljømessige fordeler, dersom inspeksjonsoppdrag kan overføres fra helikopter til droner. Gjennomgående var argumentene for bruk av droner knyttet til forbedret HMS, reduserte kostnader, økt effektivitet og økt kvalitet på dokumentasjonen. Operasjonen i seg selv kunne være kort, men operasjonen er krevende å planlegge i tillegg til at den krever etterarbeide.

Det har vært et ønske fra aktører i industrien om at en må kunne prøve ut den nye droneteknologien i luft mer proaktivt, uten å bli møtt med for mange hinder og begrensninger fra myndighetenes side, men heller at pilotprosjekter for utprøving blir møtt med en positiv holdning. Det kan bl.a. gi et positivt sikkerhets-driv for droner i luft ved at man gir aktiv støtte til pilotutprøving og pilotprosjekter i luft på lik linje med det som gjøres for autonom uttesting av transport på vei og autonom transport på sjø.

Følgende momenter ble trukket frem under intervjuene:

- Bruk av Sikker Jobb-analyse (SJA) i forbindelse med oppdrag fra oljebransjen har bidratt til en strukturert diskusjon av risikobildet (dvs. sannsynligheter og konsekvenser av uønskede hendelser). Dette sikkerhetsfokuset har vært nyttig for de som utvikler droneteknologien og de som skal bruke dronene, ved at det har påvirket valg av teknologi, opplæring, prosedyrer og erfaringsdeling.
- Viktig at en lager en skikkelig flyge-plan med oversikt over hvor dronen flyr, og diskuterer mulige konsekvenser av at dronen faller ned i tillegg til at man går gjennom risikoreducerende tiltak som kan være satt i system via en barriereanalyse.
- Droner for luft kan være lite robuste i forhold til bruk i all slags vær dvs. vind, regn, lave temperaturer; og de kan mangle redundans/robusthet ved feil. F.eks. ved flyvinger over befolkede områder bør svikt lede til at en vurderer redundante løsninger som trår i kraft. Operatører er positive til at det brukes systemer for sertifisering som dagens RO2 eller RO3; eller fremtidig EU sertifisering som kommer med "specific" eller "certified". Det vil gjøre at bransjen går gjennom en god modningsprosess, og vil lede til profesjonelle og seriøse aktører. Det er ønskelig at robuste droner kan bli typegodkjent for f.eks. bruk på oljeinstallasjoner – så en slipper individuell sertifisering. Dessuten vil det være en fordel om bransjen enes om standarder for sikkerhetssystemer, retningslinjer for droner av forskjellige vektclasser, og krav til kompetanse for drone-operatørene.
- Det er en viss kulturendring som skal til for å benytte droner, og av og til blir ikke droner vurdert på grunn av for lite kunnskap og erfaring. Opplæring mangler i forhold til muligheter som droner gir – det burde ha vært bransjespesifikk opplæring og sertifisering i forhold til dronebruk f.eks. innen olje & gass. Systematisk opplæring og deling av erfaring med bruk av droner, vil kunne hjelpe
- Bruk av droner på en plattform er en potensiell tenn-kilde. Oljebransjen ønsker å bruke ATEX-direktivet som setter opp retningslinjer for bruk av drone i områder med gass hvor det er risiko for

antennelse/eksplosjon. ATEX godkjente droner er en viktig faktor for ytterlige bruk av droner i prosess-områder. Det er ikke god kunnskap om tilgjengelige ATEX løsninger. En venter på flere gode sertifiserte løsninger. Operatører har selv gjort noen forenklede tester. Eksempelvis ble en enkel pilotutprøving gjennomført i en lab hvor dronen (luft) som skulle brukes ble testet/flydd i et rom med gassfylt atmosfære, uten at det ble noen antennelse. Det må også testes hva resultatet av en styrt blir på batteriene – og om det kan lede til antennelse. Fremdeles mangler kjennskap om gode industrielle løsninger for ATEX. Det er også et ønske om at en drone skal kunne oppdage (detektere) gass over en viss verdi og da gi signal (alarm) eller fjerne seg (gå til en sikker tilstand).

- Fokus på bruk av arbeidstillatelse for bruk av droner på oljeplattform. Da vil arbeidsoppgaven med dronene gjennomgå: systematisk planlegging, koordinering opp mot andre aktører og oppfølging og kontroll opp mot helikopterdekk. Rutinene har vært at det har vært flyforbud med droner 15 minutter før landing og 30 minutter etter at helikopteret har lettet.
- Security og sikring var et tema som har fått fornyet interesse i forbindelse med droneangrepet på oljeinstallasjoner i Saudi-Arabia i 2019. Det var en forventning om at dronene ble mer robuste og kunne motstå hacking. Det var en forventning om at en burde forholde seg til GDPR (General Data Protection Regulation 2016/679). Kryptert og lukket kommunikasjon ble vurdert når det var behov for det.
- Dialog med tilsynsmyndighetene (Ptil, Luftfartstilsynet, Sjøfartsdirektoratet) varierer, men ble gjennomført når det var et reelt behov – i forbindelse med å søke om tillatelse til spesielle operasjoner. Det ble påpekt at det kanskje var litt manglende ressurser hos tilsynsmyndighetene i forbindelse med bruk av ny teknologi som droner. Av og til oppfattes tilsynsmyndighetene litt anonyme og sees ikke. Luftfartstilsynet har invitert droneoperatører til å presentere sine standarder og rutiner for tilsynet, og det har vært satt stor pris på; og det har vært aktiv dialog med tilsynet knyttet til dronebruk.
- Dronenæringen synes å være under utvikling med mange nye aktører, det er en viss mangel på konsolideringer og fusjoner for å få større mer bærekraftige enheter. Det kan også være viktig å sørge for systematisk forbedring og utvikling, i tillegg til at droneoperatører som gjennomfører kritiske operasjoner bør vurdere å sertifisere seg i henhold til ISO 9001 standardene som dekke kvalitetsledelse.
- Operatørene opplever at dagens luft-droner setter høye krav til kompetanse til drone-pilotene, det er derfor behov for systematisk opplæring og trening. Vanskelige operasjoner krever erfarne drone-piloter. Det er ønskelig at dronene blir mer autonome, slik at en reduserer behovet for menneskelig kontroll. Eksempel på operasjoner som ble opplevd som krevende var inspeksjoner under plattformdekk, det krevde erfarne operatører og godt vær.
- Enkelte drone-operatørene har god erfaring med bruk av droner i forbindelse med å kartlegge oljeutslipp og generelt beredskap.
- Det er mange godkjente drone-operatører i Norge, med et tusentalls operatører med klassifisering RO1. Det er færre som har godkjenning for RO2 og RO3 se <https://luftfartstilsynet.no/droner/kommersiell-bruk-av-drone/godkjente-droneoperatører/> det er derfor viktig at man setter krav til RO2, RO3 lisens for industrielle operasjoner.

Brukere og operatører av droner har ønsket seg konkrete eksempler og god praksis for risikovurderinger og prosedyrer for bruk av droner generelt og spesifikt innen oljenæringen, slik at man bruker relevante og gode metoder og har en etablert standard som en kan følge (dvs. unngå å finne opp hjulet på nytt) i forbindelse med planlegging av droneoperasjoner. Det er også ønskelig med en viss grad av standard krav.

Det var et ønske om at det ble etablert bedre opplæringstilbud for droneoperatører i olje&gass-næringen, slik at man får fokusert på sikkerhetsaspekter (sikker jobb analyse, arbeidstillatelser) og andre elementer som er viktige for næringen.

Sentrale aktører så nytten av et fagnettverk for bruk av droner innen industrien for å dele (god og dårlig) praksis, erfaringer og innovasjoner. Fagnettverket fra UAS Norway har blitt trukket frem som en god driver for å fremme dronebruken. Viktig at brukerne (kundene) blir med i et slikt fagnettverk, slik at kundebehovene kommer frem, i tillegg til at myndighetene/tilsyn spiller en viktig rolle. Praksisen med ”no blame culture” fra luftfarten er viktig å ha som basis, slik at en får åpen og god læring for hele systemet.

I forhold til sikring av dronebruk, er det et område under utvikling hvor nye trusler kommer til syne. Det er et område hvor både operatører og tilsynsmyndigheter bør være risikobaserte og proaktive og vurderer tiltak som overvåkningssystemer, ”geofencing”, eller mere proaktive hinder (som angrepsdroner).

5 Risiko og trusler ved bruk av droner

I dette avsnitte har vi beskrevet risikobildet med sårbarheter, HMS elementer, pålitelighet, uønskede hendelser og praksis for operasjoner med risikovurderinger.

5.1 Oversikt over risikobildet

Ved gjennomgang av eksisterende erfaring og vurderinger av risikobildet med bruk av droner innen luft og droner på vann/under vann kan de viktigste elementene oppsummeres som følger:

- **Sjø-overflate:** Risikobildet preges av usikkerhet da teknologien er under utvikling, men at sannsynligheten for feil minsker ut fra at automatikken får bedre helhetsbilde, men at konsekvensen ved ubemannet drift kan øke ut fra at mennesket ikke kan gripe inn f.eks. ved brann eller grunnstøting. Dette er bl.a. diskutert i Wrobel et al (2017) som har analysert 100 skipsulykker, og vurdert sannsynligheter og konsekvenser ved fremtidig maritim autonomi. Dette risikobildet påvirkes bl.a. av operasjonsområdet og utforming av løsningen.
- **Under-vann:** Risikobildet er også her preget av usikkerhet, men undervannsdroner har vært brukt for å redusere eksponering av mennesker, dvs. at konsekvensene for menneskelige aktører er noe redusert. Nye hendelser har vært dokumentert, som at man har mistet kontrollen med undervannsdroner, som har falt ned i nærheten av sårbare deler av installasjonen (Riser).
- **Luft:** Risikobildet preges av usikkerhet, men er preget av at sannsynligheten for feil øker i forhold til bemannede flyvninger ut fra at teknologien og systemene ikke er så robuste som i luftfart forøvrig mens konsekvensene kan reduseres ut fra mindre menneskelig eksponering ombord i luftfartøyet. Gode brukergrensesnitt er viktige for mer komplekse operasjoner, se Johnsen og Evjemo (2019).
- **Bevisste angrep:** Trusselbildet er under løpende utvikling. Bruk av droner til angrep har blitt demonstrert bl.a. i Saudi-Arabia i 2019, noe som stoppet 50% av oljeproduksjonen over et par dager. Angrep kan gjennomføres fjernstyrt med billig teknologi og uten eksponering av aktørene, og dette er noe som næringen må risiko-vurdere og håndtere – også for olje og gass anlegg som ligger på landjorda.

Risikobildet endres ved at nye hendelser kan inntreffe f.eks. som ved autonome biler hvor man fikk fenomenet ”rage against the machine” ved at andre bilister kjørte inn i autonome biler da de ikke oppførte seg som forventet. Ved å automatisere og introdusere autonome løsninger, vil en kunne fjerne menneskelige operatører som har evne til å improvisere og håndtere det uventede. Når det uventede skjer må kanskje et menneske sette seg inn i en kompleks situasjon og ta over ansvaret uten å ha tilstrekkelig tid eller kunnskap om situasjonen – begrepet ”meaningful human control” har blitt brukt i den senere tid for å sette rammen for hvordan en skal planlegge med inngripen fra operatører. Nye metoder har også blitt utviklet for å kunne analysere dette kontrollaspektet som STAMP utviklet av N. Leveson ved MiT, ref Leveson (2004). En oversikt over relevante metoder blir gitt i Yang et al (2018).

Olje og gass næringen ligger langt fremme med et sterkt fokus på sikkerhet og kan påvirke drone industrien med sin sikkerhetspraksis som kan understøtte et høyt sikkerhetsnivå i forbindelse med bruk av droner. Det har bl.a. vært fokus på en risikostyrt tilnærming til regelverk og praksis. Denne praksisen fra næringen har

flere operatører tatt lærdom av, og det har ledet til at operatørene har tatt i bruk metoder som sikker jobbanalyse (SJA) og bruk av arbeidsordre som koordineres via ansvarlige når droner skal benyttes. Praksisen fra oljenæringen kan derfor bidra til økt sikkerhetsfokus generelt i droneindustrien.

5.1.1 Viktige retningslinjer for sikker bruk av droner

Felles for bruk av droner ser vi at det er viktig at en vurderer og planlegger bruk av droner ut fra å gjøre operasjonen så sikker som mulig. I CAA (2019) listes det opp ett eksempel på risikovurdering (prosess) og diskusjon av "safety-case".

En bør lage en god plan som inneholder:

- Minimumsstandarder for bruk av droner (for bruk av luftdroner innen olje og gass anbefales minimumskrav i hht. RO 2 fra luftfartstilsynet) – det kan her være nyttig å ha en liste av godkjente droner
- Beskrivelse av formål med operasjonen
- Beskrivelse av operasjonsområde (sted, område, miljø, høyde, hastighet)
- Krav til utstyr (relevante krav til sikring, robusthet og sikkerhet i hht. operasjonsområde, støy, etterlevelse av GDPR, vurdering av ATEX godkjenning, krav til menneske-maskin grensesnitt) og dokumentasjon av at systemet er testet for operasjoner som det skal brukes til
- Dokumentasjon av vedlikeholdsprogram for utstyret (inkludert kompetansekrav for de som vedlikeholder utstyret)
- Krav til operatør (for luftdroner anbefales minimumskrav for kompetanse til operatør i hht. RO2 godkjenning fra luftfartstilsynet)
- Koordinering med andre aktiviteter (f.eks. på oljeinstallasjoner arbeidstillatelse nivå 1) og informasjon til aktuelle aktører
- Risikovurderinger (både safety og security bør inngå) med forslag til sikkerhetstiltak – hvor en risikovurderer uønskede hendelser som tap av kontroll over dronen, tap av kommunikasjon; kollisjonsfare med innretning eller andre objekter basert på vekt, hastighet
- Rapportering/loggføring av flyvetid og rapportering av evt. hendelser

Slike operasjonsstandarder bør defineres og følges opp for all type dronebruk, og det bør lages et forslag for god praksis med slike retningslinjer i regi av industrien med støtte fra tilsynsmyndigheter som Ptil.

5.2 Sårbarheter og risikoreduserende tiltak

I det følgende har vi oppsummert erfaringer fra sårbarheter, bevisste angrep og forslag til risikoreduserende tiltak. Nivået på sikring er under utvikling, men sikring (security) bør være et tema i enhver risikovurdering i forbindelse med bruk av droner.

I det følgende har vi listet opp sårbarheter fra Valente (2017) og Altawy et al (2016). I tillegg har vi foreslått risikoreduserende tiltak. Det viktigste er forså vidt at risikoen vurderes ut fra bruksområdet, ved bruk av droner innen VLOS er en del av disse sårbarhetene ikke relevante:

- Ta over kontrollen av dronen via GPS spoofing (forfalsking av adresser/jamming). Risikoen bør vurderes, og om det er reelt bør alternative eller redundante mekanismer for posisjonsangivelse benyttes. Risikoreduserende tiltak er f.eks. kryptering av GPS-signalet.
- Ta over kontroll via kommunikasjonskanalen når den er svak kryptert. Risikoreduserende tiltak er kryptering av kommunikasjonskanal og bruk av autentiseringsmekanismer.
- Ta kontroll over dronen via bakdører i programvaren/via hacking (det var f.eks. bakdør i programvaren til Boeing 787 som gjorde at du kunne ta over kontrollen). Risikoreduserende tiltak kan være sertifisering av programvare, testing av robusthet via "read team attack".

- Sørge for at dronen blir ustabil/styrter/kolliderer ved å injisere forfalskede data eller sørge for overbelastning (Denial of Service attacks) Risikoreduserende tiltak er kryptering av kommunikasjonskanal og bruk av autentiseringsmekanismer.
- Tap av kommunikasjon – lås ut eieren fra kommunikasjonskanalen eller manipuler video som brukes til å styre drone. Risikoreduserende tiltak er kryptering av kommunikasjonskanal og bruk av autentiseringsmekanismer.
- Ta data fra dronen (bilder, video) kan være forretningshemmeligheter eller private data. For noen droner lagres data i sky-løsninger plassert i USA eller Kina. Risikoreduserende tiltak kan være kryptering av data, bruk av autentiseringsmekanismer og vurdering av hvor data skal lagres.
- Forstyrre regulær flydrift ved hjelp av droner. Risikoreduserende tiltak kan være ”geo-fencing”, fysiske forsvarsmekanismer, regelverk.
- Smugling av forskjellig utstyr via droner (narkotika) over grenser eller til beskyttede områder (fengsel smugling). Risikoreduserende tiltak kan være mekanismer for å oppdage droner (radar, via lyd – lage app på mobil som identifiserer lydsignatur fra drone), mekanismer for å hindre droner å trenge inn.
- Regulære bevisste angrep via droner. Eksempler på dette var droneangrepet mot Saudi-Arabia 14/9-2019 med 10 droner ("Fixed wing" droner med jetmotor – hvor dronen var fylt med eksplosiver) se Digital Trends (2019) og TU (2019). Her kan også komme hendelser med miljøaktivister som kan aksjonere for å dokumentere hva som foregår eller ønsker å forstyrre en inntrenging (på land/eller på sokkelen). Første steg bør være en risikovurdering og diskusjon av tiltak for å oppdage og hindre denne type angrep.

For sårbare installasjoner bør det komme på plass:

- Systemer for ”geofencing” og forbud for droneflyving (eks. 5 km sikkerhets-soner som for eksisterende flyplasser)
- Systemer for å oppdage droner som bryter denne grensen

Industrielle droner bør ha muligheter for kryptert kommunikasjon og autentiseringsmekanismer, og skal følge GDPR.

Et viktig steg for å få oversikt over dronebruken er å få etablert registrering og oppfølging av litt større droner. Nytt regelverk kommer medio 2020, og der spesifiseres det at alle droner over 250 gram skal registreres.

5.2.1 Effekt av fagnettverk for systematisk forbedring av sikkerheten

Innen olje og gass-sektoren har en opplevd svært god effekt av å etablere og videreutvikle fagnettverk som fokuserer på utvikling av sikkerheten. To eksempler fra oljebransjen er:

- Forum for helikoptersikkerhet. Dette fagnettverket har vært en viktig arena som har bidratt til at helikoptersikkerheten for offshore helikoptertransport i Norge har vært blant den beste i verden. Forumet har blitt kopiert og opprettet for landbasert helikoptertrafikk i Norge, og tilsvarende forum har blitt opprettet i UK (Bye et al 2018).
- Kapteins-forum, et nettverk som har blitt etablert for å forbedre sikkerheten for supply-skip. Sikkerhets-effekten av forumet har blitt diskutert bl.a. via Antonsen et al. (2008).

Noen nettverk som er relevante er:

- UAS Norway: Norges største bransjeorganisasjon for luftbårne droner. Det vedtektsfestede formålet for UAS Norway er å være en nøytral og uavhengig organisasjon med det formål å fremme utvikling og sikker anvendelse av ubemannede luftfartøy i Norge, og arbeide for gode rammevilkår innenfor dette virksomhetsområdet og være kontaktpunkt mot myndigheter nasjonalt og internasjonalt. UAS

Norway organiserer bedrifter og enkeltpersoner som har et profesjonelt forhold til droner, annen ubemannet luftfart og tilknyttet teknologi. De har ca. 900 medlemsbedrifter. Arrangerer årlige brede konferanser om bruk av droner. Nettsted: www.uasnorway.no

- HFC - Human Factors in Control, er et fagnettverk som er etablert av SINTEF, Equinor, IFE, DNV-GL og HCD i samarbeid med Petroleumstilsynet. Fagnettverket fokuserer på menneskelige faktorer og har fokusert på digitalisering, kontrollsystemer, autonomi og fjernstyring. Nettverket arrangerer to møter hvert år. Nettsted www.hfc.sintef.no
- SPRINT Robotics Collaborative (SPRINT): SPRINT er en verdensomspennende organisasjon som jobber for å fremme robotikk (og deriblant droner) for bruk innen inspeksjon og vedlikehold. Olje- og gassnæringen er per i dag tungt representert i SPRINT med bl.a. Gassco, Equinor, AkerBP, Shell, Total og Chevron som medlemmer. SPRINT arrangerer fra og med 2018 en årlig internasjonal konferanse innen roboter og droner for inspeksjon og vedlikehold. Nettsted: www.sprintrobotics.org.
- Norsk Forening for Vedlikehold (NFV): Inspeksjon og vedlikehold er et av områdene hvor droner bidrar i dag og forventes og bidra betydelig mer i årene fremover. NFV er en viktig forening i Norge innen inspeksjon og vedlikehold i Norge og etablerte i 2017 en årlig konferanse med fokus på droner og roboter i inspeksjon og vedlikehold. Dette har blitt en arena hvor bransjen kan dele muligheter og utfordringer knyttet til droner i blant annet olje- og gassnæringen. Nettsted: www.nfv.no
- Norsk nettverk for robotikk og automatisering i inspeksjon og vedlikehold (RINVE-nettverket): RINVE ble etablert i 2017 og er delfinansiert av Norges Forskningsråd. Nettverket ledes av SINTEF og har som formål å bidra til at norske leverandører og sluttbrukere kan kapitalisere på mulighetene som ligger i droner og roboter for inspeksjon og vedlikehold. Nettsted: www.sintef.no/RINVE.

5.3 Pålitelighet, HMS forhold og uønskede hendelser

I det følgende har vi beskrevet pålitelighet og HMS forhold, fulgt av beskrivelse av uønskede hendelser.

5.3.1 Pålitelighet og HMS forhold

Generelt er forventet tid mellom feil for luftbårne droner (Main Time Between Failures – MTBF) ca 1 000 timer (Petritoli et al. 2017). Det er ca. 100 ganger høyere enn for bemannede fly.

For å kategorisere svikt inne spesifikke områder kan vi dele inn droner i områdene: motor; styringssystem fra basestasjon; system for navigasjon; elektrisk system, dronestruktur/"mainframe" og last. Basert på 1000 feilhendelser (tilfeldige ikke angrep) er fordelingen som følger: motor (Power plant 411); styringssystem fra basestasjon (Ground Control system 273); system for navigasjon (Navigation system 146); elektrisk system (Electronic system 67); dronestruktur (mainframe 54) og last (Payload 53).

Slike data bør være utgangspunkt for vedlikeholdsplaner og vedlikeholdsprogram for utstyret, og bør være en del av risikovurderingene i forbindelse med bruk av droner.

Erfaringer med bruk av større dronesystemer (UAS) fra myndigheter i USA (Waraich et al. 2013), dokumenterer at ca 100 uønskede hendelser skjer ved 100,000 flytimer, mens ved bemannede flygninger er det 1 hendelse pr 100,000 flytimer. Viktigste rot-årsakene er knyttet til svakt fokus på Human Factors i utforming av styringssystemene i basestasjonene (Ground Control) dvs. lite fokus på grensesnitt mellom menneske og maskin, Waraich et al. (2013), Hobbes et al. (2014). Forslag til retningslinjer for å forbedre dette er etablert, ref. Kaber et al. (2019), teknikker som også er planlagt brukt i forbindelse med autonome skip, i tillegg til at det har påvirket utviklingen av menneske-maskin grensesnitt for større luftbårne droner.

Krav til menneske-maskin grensesnitt er avhengig av operasjonstype og teknologi, men det er viktig at området vurderes.

I forhold til generelle HMS forhold kan det nevnes at støy fra droner må holdes innenfor grenseverdier på frekvens og volum. Grenseverdier for støyeksponering er $L_{EX,8h}$ 85 dB, satt av arbeidstilsynet for daglig støyeksponeringsnivå, mens maksimalverdien er 130 dB, se Forskrift om vern mot støy på arbeidsplassen (2006). Design av maskineri og propeller påvirker lydfrekvens og lydvolument.

Konsekvensene av dronesvikt er avhengig av type operasjon (f.eks. fotografering, varetransport eller inspeksjon), omgivelser (f.eks. om det er muligheter for antennelse, gass tilstede), og energi i dronen (vekt, hastighet). EASA (2016) har bl.a. anslått sannsynligheter for kritiske skader på mennesker (1% når dronen veier 250 gram, men 50% når dronen veier 600 gram).

5.3.2 Typer av uønskede hendelser

For å videreføre en risikobasert praksis også ved bruk av droner bør man få oversikt over type uønskede hendelser og frekvensen de opptrer med. Dvs. en bør få frem en liste over uønskede hendelser og få en tallmessig kvantitativ oversikt over bruken av droner total, altså en systematisk rapportering i tråd med systematikken som er etablert i RNNP. Systematisk rapportering av dronebruk i oljenæringen vil være en konsekvens av at en følger praksis for droner etter regelverket fra Luftfartstilsynet for RO 2 eller RO 3 fra Luftfartstilsynet.

For å systematisere oversikt over uønskede drone-hendelser, kan man også beskrive hendelsene som en definert fare eller ulykke (DFU) eller lignende: kalt "Dronehendelse". Spesifikke uønskede hendelser kan da være:

- Drone-påkjørsel (kollisjon), med innretning, mennesker, helikopter eller andre objekter; med mulige HMS konsekvenser
- Drone-fall hendelse – drone faller ned, synker (svikt i motor eller lignende)
- Drone svikt – tilfeldig feil (ute av kontroll av operatør)
- Drone svikt – angrep, f.eks. så kontrollerte og landet Iran en amerikansk drone ved å manipulere GPS adresseinformasjon, Altawy (2017); Konsekvensene kan være skade på personer eller utstyr, tap av konfidensiell forretningsmessig eller privat informasjon
- Drone initiert gnist/brann

5.4 Praksis for vurdering av operasjoner - herunder risikovurderinger

I det følgende har vi beskrevet elementer av praksis for vurdering av operasjoner for droner på sjø og luft.

5.4.1 Praksis og retningslinjer for droner til sjøs og under vann

For UAV operasjoner under vann er det praksis med bruk av droner basert på NORSOK standarden U-102 fra 2003.

For operasjoner på sjø har sjøfartsdirektoratet laget retningslinjer – bl.a. skal driftskonseptet beskrives i tillegg til grundig risikovurdering, som Pre HAZID, detaljerte risikovurderinger; HAZID. Systemet skal testes og godkjennes av uavhengig tredjepart før det settes i drift. Direktoratet baserer seg på dokumenterte driftskonsepter (Concept of Operations – CONOPS) som bl.a. består av beskrivelse av operasjon:

- Rute hvor fartøyet skal gå med antatt trafikkbilde
- Hvilken type operasjon som er tiltenkt
- Hvilken grad av autonomi som er tiltenkt
- Hvor, om og når personer skal om bord i fartøyet
- Tiltente kommunikasjonslinjer
- Landbasert kontrollstasjon for kontroll og eller overvåkning
- Beredskap; Hvilke sikre tilstander (MRT) har fartøyet tilgjengelig i en normalsituasjon
- Energiforsyning

- Håndtering av passasjerer i normalsituasjon
- Kommunikasjon med andre fartøy
- Ansvarsbeskrivelse for operasjonen

Området er under utvikling og aktuelle pilotprosjekter vil gjennomføre i nær dialog med myndighetene.

5.4.2 Praksis og retningslinjer for droner i luft

For operasjoner med luftbårne droner har luftfartstilsynet laget en struktur basert på vekt og klassifisert dronene i tre kategorier RO1, RO2 og RO3 som nevnt tidligere. Operatører med erfaring fra helikopterbransjen har etablert et godt samarbeid med luftfartstilsynet og har utformet operasjonsmanualer og praksis som kan deles med bransjen. I det følgende har vi beskrevet innholdet i en operasjonsmanual for å få frem bredden av tema som bør inngå som basis for god praksis og hvor retningslinjer bør etableres:

- **Organisasjon og ansvar:** formål, organisasjon/organisasjonskart, forsikring, ansvar/ledende personell (som operativ leder, teknisk leder, kvalitetssjef, fartøysjef, observatør, sensoroperatør).
- **Godkjente typer** operasjoner inklusiv beskrivelse av tjeneste- og hviletid.
- **Risikoanalysemodell**, sikkerhetsmål, rutiner for hendelsesrapportering & intern, sikkerhetsgranskning, risikovurdering med oversikt over rute, grad av autonomi, hastighet, høyde (vekt/energi), oversikt over uønskede hendelser med vurdering og etablering av barrierer for å redusere sannsynligheten og redusere konsekvensene av uønskede hendelser (som eks. energi ved dronesvekt og fall av drone).
- **Nød-prosedyrer:** tap av radiosignal, "fly away", brann, tap av motorkraft, inntrengere i operasjonsområdet.
- **Generelle operative prosedyrer og begrensninger:** forberedelser før flyging, rutine for godkjenning/aksept av oppdraget, verifisering av at oppdraget ligger innenfor gitte tillatelser, varsling; vær-restriksjoner, MEL, krav knyttet til operasjonsområdets beskaffenhet, operasjoner i nærheten av flyplasser/helikopter-landing, operasjoner i kontrollert luftrom og luftrom med RMZ, Operasjoner i fbm. restriksjons- og fareområder, EVLOS, BLOS, FPV (First Person View), prosedyrer for bruk av VHF-radio.
- **Generelle prosedyrer ved flyging:** værforhold, bekledning, samband og kommunikasjon, briefing av berørt personell, dokumentasjon som skal være tilgjengelig under operasjoner, valg av avgangs- og landingsplass, valg av alternativ landingsplass, vurdering av andre kjente farer, prosedyrer etter flyging, loggføringsrutiner, lagringsrutiner.
- **Prosedyrer etter flyging:** loggføring, lagring.
- **Ulykker, hendelser og uhell:** handlingsinstruks og rapporteringsprosedyrer ved ulykker, hendelser og uhell.
- **Spesifikasjoner og begrensninger for spesifikt utstyr (bestemte dronetypen):** risikoanalyse, godkjente operasjonstype, godkjent last.
- **Spesielle operasjoner:** nærflyging, EVLOS, BLOS med beskrivelse av prosedyrer, operasjonelle farer og begrensninger og risikoanalyser.
- **Krav til personell:** dronepiloter, observatører, hjelpere og annet involvert personell.
- **Opplæring og vedlikehold av kompetanse:** teoretisk opplæring, praktisk opplæring, utsjekk på spesielle oppdragstyper, vedlikehold av kompetanse, rutiner for vedlikehold av sertifikater/ferdigheter.
- **Vedlikeholdsrutiner** herunder oppdatering av software og firmware, vedlikeholds-syklus, batterier (laderutiner, oppbevaring, kassering)

I tillegg er det laget maler og praktiske rapporteringsrutiner som omfatter:

- Sjekkliste for drone
- Hendelseslogg

- Vedlikeholds-logg
- Fartøylogg
- Batterilogg
- Pilotlogg
- Varslingsark ved hendelse

6 utfordringer og forslag til tiltak

Som vi har vært inne på tidligere i denne rapporten så gir droner under vann, på vann og i lufta svært mange muligheter innen petroleumsindustrien generelt og for nordområdene – og sammen med muligheter kommer også utfordringer. Disse utfordringene dreier seg blant annet om modenhet til tilgjengelig teknologi og modenhet av operasjonell bruk av denne teknologien. I dette kapitlet så tar vi for oss noen av de sentrale utfordringene og kommer med forslag til tiltak.

Undervannsdroner har vært i operativ drift i industrien i årtier, men i det siste har det også kommet nye elementer knyttet til slike droner som skaper nye utfordringer og krever tiltak. Dette dreier seg blant annet om økt grad av autonomi og at dronene kan opereres fra kontrollsentraler på land, i stedet for fra overflatefartøy i nærheten av dronene. Luftbårne droner og overflatedroner er relativt nytt i petroleumsindustrien og industrien må derfor jobbe med å etablere rutiner for trygg og effektiv bruk av slik ny teknologi. Rutiner og retningslinjer må håndtere selve teknologien (tekniske krav), grensesnittet opp mot menneskelige aktører (som styrer og blir eksponert) og organisatoriske tiltak (som ansvar, kompetansekrav, krav og rutiner).

6.1 utfordringer innen planlegging og operativ drift hvor droner er involvert

Bransjen har lang erfaring med planlegging og drift av operasjoner som involverer undervannsdroner, men blant annet økt grad av autonomi i undervannsdronene vil kunne endre hva som må hensyntas ifm. hvordan operasjoner planlegges og utføres. Økt grad av landbaserte kontrollrom for operasjoner med undervannsdroner vil også kunne påvirke drift og planlegging, og behov for gode grensesnitt ved fjernstyring kan øke.

I motsetning til operasjoner med droner under vann så er det relativt nytt med bruk av luftbårne droner i petroleumsindustrien. Her ser vi derfor behov for økt bruk av pilotprosjekter med deling av erfaring som en nyttig mekanisme, i tråd med strategier fra myndighetene (Norsk Dronestrategi, 2018).

Det er viktig å ha gode rutiner og retningslinjer på plass for å kunne effektivt og trygt håndtere droneoperasjoner når for eksempel gassalarmen på et offshore anlegg blir aktivert eller andre hendelser oppstår. Rutiner og retningslinjer må være på plass for å sikre trygge operasjoner både i normalsituasjon og når det uventede oppstår. Dette gjelder blant annet noen tilfeller hvor man må sikre seg best mulig mot kollisjon mellom drone og infrastruktur og personell på petroleumsanlegg. Sistnevnte gjelder spesielt for tyngre droner og droner i stor hastighet (typisk f.eks. fastvingedroner). Konsekvensen av kollisjoner mellom lettere luftbårne droner og infrastruktur på et petroleumsanlegg kan være svært liten og i enkelte tilfeller er dronene designet for slik kontakt/kollisjoner, men i andre tilfeller kan konsekvensen være mer alvorlig (f.eks. for større droner). Vi ser derfor at det her er et behov for systematisk utvikling av retningslinjer og risikovurderinger for droneteknologi og operasjonell bruk av droner som kan deles mellom aktørene og at erfaring med uønskede hendelser eller risikoforhold bakes inn i risikovurderingene.

Bruk av overflatedroner i petroleumsindustrien er i hovedsak på konsept- og teststadiet. Overflatedroner kan være del av større operasjoner hvor dronene kan bidra med f.eks. å sørge for kommunikasjon mellom undervannsdroner og droner og personell over vann, eller å bidra til å bringe sensorer og utstyr (f.eks. undervannsdroner) til ønskete lokasjoner. Dette åpner for nye muligheter i forbindelse med

offshoreoperasjoner og det vil kreve at bransjen opparbeider seg erfaring med muligheter og begrensninger med slik teknologi gjennom utprøving og pilotprosjekter.

Økt autonomitet for alle slags droner gir utfordringer knyttet til blant annet krav til robust teknologi, ansvarsforhold og hvordan en operatør kan oppnå en tilstrekkelig situasjonsforståelse – samt holde ferdighetsnivået vedlike – når mesteparten av en operasjon gjøres av autonome enheter. Hvordan skal man for eksempel sikre at en operatør har tilstrekkelig situasjonsforståelse til å kunne ta over en operasjon på en god måte hvis en drones autonome kontrollsystem plutselig ikke klarer å håndtere en tidskritisk situasjon. Disse problemstillingene er også relevant for blant annet bil- og flyindustrien hvor automatisering støtter, og i noen tilfeller tar over, flere og flere funksjoner til pilot/sjåfør, men hvor en har sett eksempler på ulykker som konsekvenser av dette som f.eks. Boeing 737 Max ulykkene. Dette er et område hvor myndighetene har etablert krav til ergonomi og menneske-maskin-grensesnitt ("HMI"), men hvor bransjens kompetanse og forståelse varierer.

En fellesnevner for droner i alle domener er at den nye teknologien gir utfordringer med hensyn på planlegging og drift i industrien. Disse utfordringene er knyttet til hvordan man på en trygg måte kan dra mest mulig nytte ut av de mulighetene som teknologien gir. For å kunne gjøre dette kan det bli behov for å adressere blant annet rolleavklaringer, ansvarsforhold, arbeidsordrer, grensesnitt mot andre aktører, og i noen tilfeller grensesnitt mellom drone og kontrollsystem på offshoreanlegg.

6.2 Utfordringer knyttet til samdrift

Vi forventer økt bruk av droner i petroleumsindustrien fremover. I dag er bruken av luftbårne droner noe begrenset blant annet på grunn av at man må ha ekstra personell tilstede for å styre henholdsvis selve fartøyet og nyttelasten (f.eks. et kamera). Utviklingen innen autonome og fastboende luftbårne droner kan legge til rette for betydelig økt bruk av slike droner. I tillegg kan man se for seg bruk av overflate-droner i nærheten av offshoreinstallasjoner samt at supply-skip og andre overflatefartøy har med seg luftbårne droner for å støtte i forbindelse med operasjoner (f.eks. gi beslutningsstøtte gjennom å tilby et fugleperspektiv på operasjonene som utføres).

Petroleumsindustrien offshore vil med andre ord kunne gå fra å ha en driftssituasjon preget av et nokså begrenset antall større bemannede overflatefartøy rundt en offshoreinstallasjon og et helikopter i luften nå og da til potensielt, og muligens i tillegg, ha et antall små og mellomstore droner i luften og på overflaten i samme område. Dette gir utfordringer med hensyn på effektiv koordinering og trygg samdrift – både med hensyn på koordinering mellom overflatefartøy (bemannede og ubemannede) samt koordinering av luftbårne fartøy (droner knyttet til offshoreinstallasjoner), skip og droner som flyr inn fra omkringliggende infrastruktur og/eller fra land samt helikopter – koordinert med hvilke andre operasjoner som foregår på offshoreanlegget. Det kan dermed være behov for grundige risikovurderinger og økt koordinering mellom operasjoner fra plattform, omkringliggende skip og bemannede luftfartøy. I og med at antallet enheter kan øke betraktelig samt at et antall fartøyer vil kunne operere helt eller delvis autonomt så er det naturlig å ta i betraktning behov for en større grad av automatisering av koordineringen mellom fartøyene. Her kan vi blant annet se til utviklingen innen Air Traffic Management (ATM) hvor digitale verktøy for overvåking og koordinering av ubemannede luftfartøy er kommet på markedet. Utfordringene for koordinering og samdrift vil kunne være større i områder med flere offshoreinstallasjoner, og det blir viktig å også kunne håndtere ferdse i eventuelle overgangssoner mellom ulike installasjoner. Et viktig moment knyttet til samdrift er at alle relevante aktører har tilgang til oppdatert informasjon med tilstrekkelig detaljer om operasjonene som utføres. Et økt antall fartøy i nærheten av petroleumsinstallasjoner kan i utgangspunktet gi økte utfordringer innen HMS, men på samme tid må man også ta i betraktning om muligheten med å ha ubemannede fartøyer tilstede kan flytte nødvendig personell fra off-shore til on-shore og dermed redusere behovet for mennesker i nærheten av potensielt farlige situasjoner.

6.3 Teknologiske utfordringer

Droner utgjør svært avanserte systemer hvor en rekke enkeltteknologier skal fungere sammen for å ha et velfungerende system. Kritikaliteten av hvert delsystem avhenger blant annet av hvordan totalsystemet skal fungere operasjonelt. Eksempelvis så er robust kommunikasjon mellom drone og operatør gjerne mer viktig for en fjernstyrt drone sammenlignet med for en drone med en høy grad av autonomitet. På den andre side, for en drone med høy grad av autonomitet så vil blant annet lokaliseringssystemet være en kritisk komponent da dronen i mange tilfeller vil trenge å vite sin egen posisjon relativt til omgivelsene sine.

Feil på del- og totalsystemer kan være utfordrende å håndtere på en god og trygg måte både teknisk og operasjonelt. Feil i dronesystemdesign kan føre til at hele dronen slutter å fungere fullstendig selv ved mindre feil. For å ha god HMS så kan det være viktig at dronesystemer har en jevn degradering av funksjonalitet ved feil på systemet, og at en har etablert planer for å kunne gå til en sikker tilstand.

Standardisering er en utfordring som både leverandører og sluttbrukere må bidra til å løse. Standardisering er blant annet aktuelt for hvordan delsystemer skal kommunisere og koble seg til hverandre. Et relevant eksempel er dockingsstasjoner for undervannsdroner. Equinor er blant aktørene som fremmer at bransjen bør ha en standard på tilkobling for kommunikasjon og ladning i forbindelse med dette.

Droner kan generere svært store datamengder. Lagring og effektiv håndtering av data er viktige utfordringer som må møtes. Disse utfordringene dreier seg blant annet om å kunne få tidskritisk data fra dronen levert innen ønsket frist, samt at dataen leveres i et format og inn i et system som er egnet for at sluttbrukerne av dataen skal kunne nyttiggjøre seg denne. Viktige rammebetingelser gitt via GDPR regelverket må håndteres, eierskap til data må avklares og security må håndteres, f.eks. knyttet til hvor data lagres (i sky i USA, Kina, EU).

Det er også tekniske utfordringer knyttet til sensorer, sensordata og tolkning av slik data fra droner. I så henseende dreier en utfordring seg om å kunne få tatt opp en tilstrekkelig mengde sensordata som representerer problemstillingen som skal løses (f.eks. deteksjon av korrosjon, deteksjon av "mann-over-bord") på en god nok måte. Da er det spesielt viktig å ha data fra blant annet forskjellige værforhold (vind, snø, regn, sludd, tåke, osv.) slik at man har et tilstrekkelig dataunderlag. I tillegg til gode nok data så er det også en utfordring å utvikle system for automatisk dataanalyse som gjør det mulig å tolke dataen på en god og robust måte selv om dataene kan være tatt opp i ulike værforhold. En konsekvens av utilstrekkelig mengde med riktig data og/eller feil i dataanalyse-systemene er at dataen tolkes feil. Vi utbroderer litt mer om denne konsekvensen i resten av dette avsnittet. Maskinlæring har vist seg å kunne være et kraftig verktøy for å automatisk kunne klassifisere elementer i bilde- og videodata. Feil som kan oppstå innen automatiske klassifiseringssystem for billedata er at 1) systemet har identifisert et element som ikke virkelig er der og 2) systemet har oversett et element som er i bilde. Vi kan ta et eksempel med en søk-og-redningsaksjon. I et HMS-perspektiv så vil feil i dataanalysen føre til at for eksempel en person i havet ikke blir oppdaget selv om dronen filmet området hvor vedkommende lå, eller føre til merarbeid for operatører og mindre tillit til dronedataanalyse-systemet hvis mange av bildene som dataanalyse-systemet flagger til operatøren ikke inneholder person i havet likevel.

GDPR regelverket og cyber-sikkerhet er en utfordring som må tas i betraktning. Dette omfatter flere aspekter som blant annet at man må unngå at uvedkommende kan få tak i dataen som overføres mellom drone og operatør og at ikke uvedkommende kan ta over kontroll av dronen eller på annen måte utnytte dronen til egen vinning.

6.4 Spesielle utfordringer knyttet til nordområdene

I dette kapitlet oppsummerer vi utfordringene nevnt tidligere i denne rapporten og som er spesielt relevant for operasjoner i nordområdene.

For luftbårne droner gjelder spesielt følgende i forbindelse med utfordringer knyttet til vær og klima:

- Det meste av hylleware elektronikk er ikke designet for svært lave temperaturer.
- Ising på vinge og propeller reduserer løfteevne og effektivitet og kan føre til tap av drone.
- Sterk vind skaper turbulens rundt installasjoner og skip.
- Lavt skydekke kan gi dårligere sikt for droneoperatører. Gjelder spesielt for Arktis.
- Lave temperaturer kan gi kalde batterier som tappes raskere med lavere evne til å levere høy strøm, selv om disse konsekvensene kan reduseres betraktelig ved å starte med varme batterier.
- Lave temperaturer og vind, samt behov med hensyn på en operatørs bekledding for å håndtere slike forhold, kan føre til redusert situasjonsforståelse og reduserte motoriske evner hos operatøren.

For alle typer droner kan det i større og mindre grad være utfordringer med kommunikasjonsinfrastruktur siden det er svært redusert båndbredde for satellittkommunikasjon over 70 grader nord. For undervannsdroner er dette relevant for løsninger som baserer seg på kommunikasjon med f.eks. operasjonssentralen via en flytende innretning (f.eks. en bøye eller en overflatedrone). For denne typen undervannsdroner, samt overflatedroner så kan isfjell og stor bølgehøyde gi utfordringer. Stor bølgehøyde gi spesielt utfordrende blant annet for operasjoner i nærheten av offshoreinstallasjoner.

På vinteren er det mørkt store deler av døgnet og dette gir utfordringer med hensyn på situasjonsforståelse for blant annet operatører.

6.5 Forslag til tiltak

Med bakgrunn i forskning og utvikling og tilbakemelding fra sentrale dronemiljø og petroleumsindustrien har vi i det følgende identifisert utfordringer med forslag til tiltak. Tiltakene forslås i første omgang å gjelde luftbårne droner. Med innføring av overflatedroner, økt grad av autonomitet for undervannsdroner, samt økt bruk av landbaserte operasjonssentraler så er noen av forslagene til tiltak også relevante for undervannsdroner og overflatedroner. En forskjell er at for undervannsdroner er fagnettverk og konferanser mer etablert allerede.

I henhold til tidligere praksis i petroleumsbransjen som er risikobasert og funksjonsorientert så har vi foreslått et løp hvor man i første omgang identifiserer de viktigste utfordringer knyttet til droner og droneoperasjoner. Deretter setter man opp krav til droner og utarbeider retningslinjer for å forenkle måten bransjen kan forholde seg til disse kravene på. I tillegg kommer vi også med forslag til tiltak vedrørende blant annet sikring ("security"), trening, testanlegg og pilotprosjekter. De foreslåtte tiltakene er:

1. Systematisering av risiko, farer, feilsituasjoner ved bruk av droner, inkludert bruksdata og uønskede hendelser - Krav til robuste og trygge teknologiske løsninger
2. Kompetanse og erfaringsdeling gjennom felles fagnettverk, krav/retningslinjer, konferanser og workshops
3. Sikring av og rundt et anlegg der det skal brukes droner
4. Systematisering av erfaring i forbindelse med fjernstyrte operasjoner (drift, droner)
5. Testanlegg for trening og sertifisering av droneoperatører og utprøving av droneoperasjoner
6. Målrettet kurs for droneoperatører i olje og gass

Disse er forklart mer utdypende i etterfølgende underkapittel.

6.5.1 (Tiltak T1) Systematisering av risiko, farer, feilsituasjoner ved droner og dronesystemer - Krav til robuste og trygge teknologiske løsninger

Risikoer forbundet med drift og vedlikehold av prosessanlegg for olje og gass er i dag i all hovedsak velkjente, og risikovurderinger av anlegg gjøres med utgangspunkt i kjente farer (f.eks. som definert i APIRP14C for trykksatte system). Krav til integritet for og respons ved feil i tekniske systemer er vel etablert og har vært utprøvd i drift og vedlikehold gjennom flere tiår.

Luftbårne droner representerer relativt ny teknologi, og de er prøvd ut i begrensede operasjoner i prosessanlegg. Selv om mange feilmodi for droner er kjent, er det gjort lite systematisk gjennomgang av mulige feilsituasjoner og hvilke implikasjoner dette har på krav til integritet og feiltoleranser for den underliggende teknologien. Videre mangler det en systematisk gjennomgang av hvordan dronen skal respondere på egne feil, og på hva som er en sikker tilstand for en drone ved uønskede hendelser (store prosessforstyrrelser, gassalarm, brannalarm etc.) i prosessanlegget. Det er viktig å påpeke at, avhengig av hvor og når droneoperasjoner utføres (f.eks. over sjø, under plattformen eller over prosessanlegget), så kan hva som er sikker tilstand variere. En viktig forutsetning for risikobasert utvikling av transportsikkerhet er systematisk innsamling av data som dokumenterer bruk av transportsystemet (dvs. dronene) – og definisjon av hva som er uønskede hendelser som skal rapporteres. Data for RO2 og RO3 loggføres av operatørene men rapporteres ikke inn til luftfartstilsynet.

Tiltak T1	Aktørene i petroleumsnæringen bør ta initiativ til at risiko, farer, feilsituasjoner og feilhåndtering ved bruk av droner systematiseres. En slik systematisering kan danne grunnlag for bransjens krav til robust teknologi, herunder integritet og redundans. Videre vil det være et nødvendig underlag for det enkeltes selskaps risikovurdering av droneteknologi og droneoperasjoner, og vil danne grunnlag for operasjonelle føringer hos oljeselskapene. Dronebrukerne innen petroleumsnæringen bør samle statistikk om årlig dronebruk ut fra den loggføringen som er et krav for RO2 og RO3. Dronebrukerne bør setter i gang et arbeid for å definere uønskede dronehendelser som krever særskilt rapportering.
------------------	--

Resultat fra gjennomgang av relevante prosjekter og forskningsartikler (Kap. 2 og 3) og tilbakemelding fra brukerne (Kap. 4) påpeker at droneteknologien og styringssystemene må gjøres mer robuste og mer tilpasset for industriell bruk. Dette gjelder blant annet værbestandighet, brukergrensesnitt, og lokalisering. Aktørene har bl.a. ønsket at det lages minimumskrav til droner som kan brukes offshore, hvorav feilhåndtering er et viktig moment. Risiko og krav er knyttet til menneske-teknologi-organisasjon (MTO), teknologi, kunnskap, rutiner og ansvarsforhold – og minimumsstandarder i tråd med luftfartstilsynets RO2 bør etableres. Krav til kjerneteknologier som for eksempel brukergrensesnitt og lokaliseringssystemer for dronen blir viktige. Krav til f.eks. nøyaktighet, redundans og tilgjengelighet for en drones lokaliseringssystem blir viktigere jo høyere grad av autonomitet.

6.5.2 (Tiltak T2) Kompetanse og erfaringsdeling gjennom felles fagnettverk, krav, retningslinjer, konferanser og workshops

I petroleumssektoren har fagnettverk bidratt til sikkerheten bl.a. ved bedre dialog mellom brukerne, myndighetene og de som utvikler teknologien. Aktørene vi har intervjuet har vært veldig positive til å få etablert et fagnettverk for sikre droneoperasjoner, og å dele kunnskap mer målrettet gjennom konferanser utover de etablerte fagkonferansene.

Tiltak T2	Aktørene i petroleumsnæringen bør etablere et fagnettverk for sikker bruk av droner. Et fagnettverk kan blant annet ta ansvar for å utarbeide krav, retningslinjer og forslag til tekniske løsninger for å intensivere utviklingen av robust og sikker droneteknologi og -operasjoner i tråd med myndighetenes strategier. Et slikt forum kan arrangere periodiske
------------------	--

	eller årlige konferanser med fokus på sikker bruk av droner i petroleumsvirksomheten, med gjennomgang av erfaringer, utfordringer og muligheter.
--	--

Fagnettverk i andre sammenhenger har tidligere bidratt til at sikkerheten har blitt høy blant annet ved å få til bedre dialog mellom brukerne, myndighetene og de som utvikler/bruker teknologien ved at god praksis deles raskere og bedre.

Det er naturlig å vurdere om disse fagnettverkene kan bygges med bakgrunn i eksisterende nettverk og organisasjoner, hvor eksperter på sikkerhet, "security", Human Factors og aktører fra offshore helikopteroperasjoner blir involvert. Det kan være naturlig for driftsoperatørene på norsk sokkel å søke et samarbeid med andre organisasjoner og nettverk. For luftbårne droner kan et samarbeid med den norske droneorganisasjonen UAS Norway være hensiktsmessig, men det kan også være viktig å se på samarbeid med blant Norsk Forening for Vedlikehold (NFV), Norsk Forening for Ikke-destruktiv Prøving, NDT (2019), samt mindre nettverk som f.eks Robotikk og automatisering i Inspeksjon og Vedlikehold, RINVE (2019). Et fagnettverk på tvers av blant annet disse miljøene vil kunne omfavne mange relevante aktører.

Det er avgjørende at det blir en god og åpen dialog i fagnettverkene hvor alle aktører ser nytten av å dele informasjon om både gode og mindre heldige resultater. På denne måten kan man enklere få til at sluttbrukerne i industrien tar raskere i bruk ny teknologi, og at teknologien tas i bruk på en trygg måte. I forbindelse med intervjuene har flere aktører ønsket å dele sine retningslinjer med industrien, innholdet er i tråd med det som er beskrevet i denne rapporten f.eks. kapitlene 5.1.1 og 5.4.2.

En viktig funksjon for fagnettverkene blir å være en arena hvor de forskjellige aktørene i verdikjeden kan dele erfaringer og informasjon. Fagnettverkene kan også bestå av undergrupper som for eksempel tar på seg ansvaret for å lede arbeidet med å utvikle retningslinjer. Det har vist seg hensiktsmessig i andre sammenhenger at slike grupper og nettverk har personell (f.eks. ansatt i nettverket) som kan ha en støttefunksjon med hensyn på å koordinere og organisere møter, informasjonsutveksling, dokumenthåndtering, med mer. Vi kan blant annet se til den verdensomspennende organisasjonen SPRINT Robotics Collaborative som har som formål å fremme bruk av robotikk (herunder også droner) innen inspeksjon og vedlikehold. Petroleumsvirksomheten var bakgrunnen for at denne organisasjonen ble startet og den har nå spredt seg også til andre industrier. SPRINT har egne aksjonsgrupper som tar for seg spesifikke tema.

6.5.3 Andre tiltak - Tiltak T3-T6

I dette kapitlet beskriver vi andre tiltak som også bør vurderes.

Sikring av og rundt et anlegg der det skal brukes droner :

Droner kan potensielt gjøre stor skade på et prosessanlegg og det bør gjøres en vurdering av sikringstiltak (f.eks. Geofencing og muligheter for "jamming" av dronetrafikk) for den delen av olje og gass infrastrukturen som vurderes som kritisk, eller hvor konsekvensene kan bli store ved et bevisst angrep. Slike tiltak bør etableres i samarbeid mellom næringen og myndigheter, inklusiv politi og militære. Basert på dette foreslår vi følgende tiltak:

Tiltak T3	Aktørene i petroleumsvirksomheten bør gjennomføre en vurdering av behovet for sikring i samarbeid med operatørene knyttet til bruk av droner for luft (vann/under vann) – med vurdering av behov for tiltak som eksempelvis å øke sikringssonen rundt petroleumsvirksomheter og -anlegg.
------------------	--

Systematisering av erfaring i forbindelse med fjernstyrte operasjoner (drift, droner): Bruk av landbaserte kontrollrom øker, og det er viktig at disse kontrollrommene bygges med teknologi og rutiner slik

at det komplekse operasjonsbildet som involverer droner kan bli håndtert på en god og meningsfull måte av menneskelige aktører. Når det gjelder droner så har bransjen har lengst erfaring med ROV-løsninger. Det har vært uønskede hendelser med ROV-bruk. Det kan også nevnes at for bemannede skip hvor bransjen har lang erfaring med høy grad av automatisering og støttesystemer som Dynamisk Posisjonering så skjer det fortsatt uønskete hendelser. Vi foreslår at Ptil oppsummerer og systematiserer dagens erfaring med bruk av ROV innen olje og gass både ut fra å evaluere positive erfaringer (dvs. kunne lære fra vellykkede operasjoner) men også systematisere erfaring fra uønskede hendelser ved bruk av ROVer. Basert på dette foreslår vi følgende tiltak:

Tiltak T4	Aktørene i petroleumsnæringen bør systematisere rapporter og data fra bruk av høy grad av automatisering med vekt på ROV bruk. Fokus bør være på hvordan sentrale elementer i regelverket for kontroll blir fulgt, dvs: Innretningsforskriften (2019), § 21 om menneske-maskin-grensesnitt og informasjonspresentasjon og §34a om kontroll- og overvåkingssystem (herunder bruk av alarmer i forbindelse med droner og fjernstyring).
------------------	---

Testanlegg for trening og sertifisering av droneoperatører og utprøving av droneoperasjoner:

For å redusere muligheten for uønskete hendelser så er testing og trening viktige elementer. Det er store fordeler med å kunne gjøre testing og trening i realistiske omgivelser og med realistiske operasjonsscenarioer. Equinors K-lab-anlegg på Kårstø er et godt eksempel på et nyttig testanlegg. Fysisk infrastruktur og simulatorer er nyttige verktøy både for testing og trening. Basert på dette foreslår vi følgende tiltak:

Tiltak T5	Aktørene i petroleumsnæringen bør være en pådriver for samarbeid med andre sektorer og ta i bruk (og etablerer i tilfeller hvor det eventuelt mangler) test- og treningsanlegg relevant for droneoperasjoner i petroleumsvirksomhet. Et samarbeid på tvers av bransjer i forbindelse med slike testanlegg kan for eksempel tas i forbindelse med overnevnte konferanser, workshops og fagnettverk.
------------------	--

Trening i forbindelse med droneoperasjoner kan omfatte både operasjoner hvor droneoperatøren er i umiddelbar nærhet og operasjoner som styres og overvåkes fra et sentralt operasjonsrom. Trening er viktig blant annet for å kunne håndtere uønskete hendelser, samt å kunne utføre operasjoner med ny teknologi på en trygg og effektiv måte. Med økt grad av autonomitet i droner så kan det bli utfordrende å holde nødvendige operatørferdigheter vedlike siden rollen ofte kan bli å overvåke en operasjon i stedet for å styre den direkte. I de tilfeller der det skulle bli behov for å styre operasjonen i mer detalj så kan dermed dette gi utfordringer med hensyn på ferdighetsnivå så lenge ikke operatørens ferdigheter holdes vedlike gjennom jevnlig trening. Basert på dette foreslår vi følgende tiltak:

Tiltak T6	Aktørene i petroleumsnæringen bør legge til rette for relevante kurs og treningsmuligheter i forbindelse med innføring og bruk av droneteknologi. Bransjen har et høyt sikkerhetsfokus og en bør sikre at droneoperatørene har god og spesialisert kunnskap om risikoer og operasjonsprosedyrer innen olje og gass. Dette gjelder både trening for å kunne ta teknologien i bruk, samt å kunne opprettholde ferdigheter på bruk av droneteknologien for håndtering av situasjoner som vanligvis blir håndtert av autonomien i en drone. Sertifisering av droneoperatører for bruk i prosessindustri bør også vurderes.
------------------	--

Det har vært god læring fra de pilotprosjektene som er satt i gang innen vegtransport og innen sjø. Etablering av pilotprosjekter innen petroleumsnæringen med sikkerhetsfokus og deling av erfaring kan være en nyttig mekanisme. Dette er i tråd med strategier fra myndighetene (Norsk Dronestrategi, 2018) som nevner muligheter for å fremme offentlig sektors bruk av droner, bla. forsvarlig bruk i redningsoperasjoner og overvåkning i miljøforvaltningen. Mulighetene for relevante pilotprosjekter som øker beredskap og forbedrer HMS bør derfor vurderes.

7 Referanser

- Airobotics (2019) se <https://www.airoboticsdrones.com/> hentet 25/11-2019
- Altawy, R., & Youssef, A. M. (2017). Security, privacy, and safety aspects of civilian drones: A survey. ACM Transactions on Cyber-Physical Systems, 1(2), 7.
- AMOS (2018) AMOS Annual Report, ref <https://www.ntnu.edu/web/amos/newsandevents>
- Amazon (2019) se <https://www.amazon.com/Explosion-Proof-Drone-Flight-Modes/dp/B073R12C3J> hentet 25/11-2019.
- Antonsen, S., Ramstad, L. S., & Kongsvik, T. (2007). Unlocking the organization: Action research as a means of improving organizational safety. Safety Science Monitor, 11(1), 1-10
- Atexshop (2019a) fra <https://www.atexshop.com/xamen-technologies-le4-8x-dual-atex-model.html> hentet 25/11-2019.
- Atexshop (2019b) fra <https://www.atexshop.com/safe-atex-zone-0-drone-for-explosive-environments.html> hentet 25/11-2019.
- Atexshop (2019c) fra <https://www.atexshop.com/safe-atex-zone-0-drone-for-explosive-environments.html> hentet 25/11-2019.
- Autonome skip (2019) se <https://www.regjeringen.no/no/tema/naringsliv/maritime-naringer/ny-temaside/forste-kolonne/markedsadgang-og-regelverk/id2589230/>, Dato: 20.07.2018
- Black Hornet (2019) <https://www.flir.eu/products/black-hornet-prs/>
- Blueye (2019) fra <https://www.blueye.no/side/vann-og-energi> hentet 25/11-2019
- Bye, R., Johnsen, S., & Lillehammer, G. (2018). Addressing Differences in Safety Influencing Factors—A Comparison of Offshore and Onshore Helicopter Operations. Safety, 4(1), 4.
- CAA (2019) - Unmanned Aircraft System Operations in UK Airspace – Operating Safety Cases CAP 722A
- Chasing Innovation (2019) fra <https://www.chasing.com/gladius-mini.html> hentet 25/11-2019.
- COM/2014/0207 final, Communication from the Commission to the European Parliament and the Council. A new era for aviation Opening the aviation market to the civil use of remotely piloted aircraft systems in a safe and sustainable manner
- CRIOP (2011) found at www.criop.sintef.no
- Digital Trends (2019) se <https://www.digitaltrends.com/news/saudi-arabia-oil-drone-attack-commercial-uavs/>
- Duffey R and Saull J (2002), Know the Risk: Learning from Errors and Accidents: Safety and Risk in Today's Technology: Butterworth-Heinemann ISBN-13: 978-0750675963
- EASA, Prototype Commission Regulation on Unmanned Aircraft Operations – Explanatory Note, 22 August 2016, Annex 1.
- EASA (2019). Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947 of 24 May 2019 on the rules and procedures for the operation of unmanned aircraft
- Eelume AS(2019) fra <https://eelume.com/> hentet 25/11-2019.
- Emesent (2019) fra <https://emesent.io/> hentet 25/11-2019.
- EU Aviation Strategy (2015) https://ec.europa.eu/transport/modes/air/aviation-strategy_en
- EUROCONTROL (2007) <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/20070726-mil-uav-as-oat-spec-v1.0.pdf>
- Fagbokforlaget (2017) Arctic Approach – The Northern Area Program. Chapter 6 : Communication and navigation challenges in the High North
- Falco (2018) Verdens første helt autonome fergeseilas gjennomført – teknologien er 100 prosent klar. <https://www.tu.no/artikler/verdens-forste-helt-autonome-fergeseilas-gjennomfort-teknologien-er-100-prosent-klar/452610> Aksessert: 08.10.2019
- Forskrift om vern mot støy på arbeidsplassen (2006) – se lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2006-04-26-456
- For (2019) Forskrift om luftfart med helikopter – bruk av offshore helikopterdekk, 15/5-2019, se https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2019-05-14-604/KAPITTEL_9#KAPITTEL_9

- Folgefonn (2018) Nå kan Folgefonn seile automatisk fra havn til havn og legge til selv. <https://www.tu.no/artikler/na-kan-folgefonn-seile-automatisk-fra-havn-til-havn-og-legge-til-selv/452355> Aksessert: 08.10.2019
- Gatwick (2018) Gatwick Airport drone incident Wikipedia 2018 https://en.wikipedia.org/wiki/Gatwick_Airport_drone_incident
- Grythe, K., Reinen, T.A. og Transeth, A.A. (2015). Autonomy levels versus communication in an underwater environment, Proc. OCEANS 2015 Genova.
- GL (2009). Rules for Classification and Construction. I Ship Technology. 5 Underwater technology. 3 Unmanned Submersibles (ROV, AUV) and Underwater Working Machines. 2009 Edition, November 2009.
- Haugstad, R. (2018). Dette prøveprosjektet kan bety enormt mye for dyr inspeksjon av kraftlinjer. Teknisk Ukeblad. Online. <https://www.tu.no/artikler/dette-proveprosjektet-kan-bety-enormt-mye-for-dyr-inspeksjon-av-kraftlinjer/433135>
- Hobbs, A., & Shively, R. J. (2014). Human Factor Challenges of Remotely Piloted Aircraft. In 31st EAAP Conference (pp. 5-14).
- Holm, E., A.A. Transeth, O.Ø. Knudsen, and A. Stahl, Classification of Corrosion and Coating Damages on Bridge Constructions from Images using Convolutional Neural Networks, "Proc. 12th Int. Conf. on Machine Vision (ICMV)", Amsterdam, The Netherlands, 2019.
- ICAO (International Civil Aviation Organization) (2015). Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS). Sec. 10.8.4. <https://skybrary.aero/bookshelf/books/4053.pdf>
- Innretningsforskriften (2019) Forskrift om utforming og utrustning av innretninger med mer i petroleumsvirksomheten
- Ingenious (2019). First Responder, Horizon 2020. 2019 The First Responder (FR) of the Future: a Next Generation Integrated Toolkit (NGIT) for Collaborative Response, increasing protection and augmenting operational capacity
- IRIS (2018) Digitalisering i petroleumsnæringen Utviklingstrender, kunnskap og forslag til tiltak
- ISO serien 11064 – "Ergonomic design of control centres".at <https://www.iso.org>
- JAA/EUROCONTROL (2004) https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/NPA_16_2005_Appendix.pdf
- Johnsen S & Håbrekke S 2009 Can organisational learning improve safety and resilience during changes Safety, Reliability and Risk Analysis: Theory, Methods and Applications, 805-815.
- Johnsen, S.O., Evjemo T.E.: "State of the art of unmanned aircraft transport systems in industry related to risks, vulnerabilities and improvement of safety". ESREL 2019 - 29th International European Safety and Reliability Conference September 22 - 26, 2019, Leibniz Universität Hannover, Germany
- Kaber et al 2019 www.ise.ufl.edu/kaber/publications/supplemental-information-for-publications/ ref Enhancement and application of an unmanned aerial vehicle supervisory control interface evaluation technique: Modified GEDIS-UAV.pdf
- Kongsberg (2017) hentet 25/11-2019 <https://www.kongsberg.com/news-and-media/news-archive/2017/the-norwegian-armed-forces-procures-hugin-autonomous-underwater-vehicles-for-nok/>
- Leveson, N. (2004). A new accident model for engineering safer systems. Safety science, 42(4), 237-270.
- Lov om havner og farvann: Prop. 86 L (2018-2019) [/www.regjeringen.no/contentassets/bcd204c187a54039984d552138663e4f/no/pdfs/prp201820190086000dddpdfs.pdf](http://www.regjeringen.no/contentassets/bcd204c187a54039984d552138663e4f/no/pdfs/prp201820190086000dddpdfs.pdf)
- Lov om nasjonal sikkerhet (sikkerhetsloven) – trått i kraft 1/1-2019 <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2018-06-01-24/>
- Lovdata (2015) Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv (oppdatert april 2019) fra <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-11-30-1404>; BSL A 7-1

- Luftfartstilsynet (2019) Begreper og betegnelser for ubemannet luftfart, hentet 25/11-2019 fra <https://luftfartstilsynet.no/droner/kommersiell-bruk-av-drone/begreper-og-betegnelser-for-ubemannet-luftfart/>
- Lund, J., & Aarø, L. E. (2004). Accident prevention. Presentation of a model placing emphasis on human, structural and cultural factors. *Safety Science*, 42(4), 271-324
- Mørenot (2019) fra <https://www.morenot.no/aquaculture/produkt/netrobot> hentet 25/11-2019.
- Nasjonal transportplan 2018-2029 Stortingsmelding#33 www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-33-20162017/id2546287/
- NDT (2019) fra <http://www.ndt.no/> hentet 25/11 2019.
- NOU (2015:13) Lysne rapporten - Digital sårbarhet – sikkert samfunn
- Norsk Dronestrategi (2018) fra <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/norges-dronestrategi/id2594965/>
- Nordområdestrategien (2017). Nordområdestrategi – mellom geopolittikk og samfunnsutvikling. Publikasjonskode: H-2396 B. https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/strategi_nord/id2550081/
- NORSOK (2003) NORSOK standard U-102 Rev. 1, October 2003 - Remotely operated vehicle (ROV) services
- NS 5814 (2008): Krav til risikovurdering. Norsk Standard se <https://www.standard.no>
- NS 5830 (2012). Samfunnsikkerhet – Beskyttelse mot tilsiktede uønskede handlinger – Terminologi. Norsk Standard NS 5830:2012. e <https://www.standard.no>
- Oceaneering (2019) Fra <https://www.oceaneering.com/rov-services/rov-systems/> hentet 25/11-2019
- Oceaneering (2019b) fra <https://www.aftenbladet.no/lokalt/i/WbWbEG/equinor-har-tildelt-unik-kontrakt-traadlose-undervannsdrone-kan-jobbe-6-maaneder-i-dypet> hentet 25/11-2019
- Oceaneering (2019c) fra <https://sysla.no/offshore/ny-superrobot-jobber-i-nordsjoen-men-styres-fra-land/> hentet 25/11-2019
- OE (2017) Milestone in remote ROV control achieved in Norway, hentet fra <https://www.oedigital.com/subsea/item/15584-milestone-in-remote-rov-control-achieved-in-norway> 25/11-2019
- OGUK-UASS (2017) "Unmanned-Aircraft-Systems-Standards-and-Guidelines-Issue-1" fra <https://oilandgasuk.co.uk/publications/>
- Percepto (2019) hentet fra <https://percepto.co/> 25/11-2019
- Petritoli, E., Leccese, F., & Ciani, L. (2017). Reliability assessment of UAV systems. In 2017 IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace) (pp. 266-270). IEEE.
- Porathe, T. (2019): "Autonomous ships and the COLREGS: Automation Transparency and Interaction with Manned Ships". In 18th International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries - COMPIT'19. Technische Universität Hamburg-Harburg Tullamore.
- Ptil (2017) Prinsipper for barrierestyling i petroleumsvirksomheten Barrierenotat 2017 fra <https://www.ptil.no/fagstoff/utforsk-fagstoff/fagartikler/2017/barrierenotat/>
- Quilter, T., & Baker, C. (2017). The application of staring radar to the detection and identification of small Unmanned Aircraft Systems in Monaco. In Radar Symposium (IRS), 2017 18th International (pp. 1-9). IEEE.
- Rammeforskriften av 26.april 2019; fra <https://www.ptil.no/regelverk/alle-forskrifter/>
- Regjeringens havstrategi (2017) Ny vekst, stolt historie. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/ny-vekst-stolt-historie/id2552578>
- Rinve (2019) fra <https://www.sintef.no/RINVE> hentet 25/11 2019.
- Rausand, M., & Utne, I. B. (2009). Risikoanalyse: teori og metoder, TAPIR.
- SAE (2016). SAE International standard "J3016: Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems." Revised: 2016-09-30
- Saipem (2019) fra <https://www.tu.no/artikler/equinor-skal-bruke-selvgaende-tradlos-undervannsdrone-i-norskehavet/475513> hentet 25/11-2019

- Saudi Arabia (2019) - <https://www.digitaltrends.com/news/saudi-arabia-oil-drone-attack-commercial-uavs/>
- Scout (2019) fra <https://www.scoutdi.com/> hentet 25/11-2019.
- Sdir (2017) fra https://www.kystverket.no/globalassets/e-navigation/e-nav.no-2017/2017-ppt/1450-medhaug_sjofartsdirektoratet.pdf hentet 25/11-2019
- Seaglider (2018) <https://www.kongsberg.com/maritime/products/marine-robotics/autonomous-underwater-vehicles/AUV-seaglider/#technicalInformation>
- Shooting Star Wikipedia (2019) [https://en.wikipedia.org/wiki/Shooting_Star_\(drone\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Shooting_Star_(drone))
- Skydio (2019) hentet fra <https://www.skydio.com/> hentet 15/11-2019.
- Springer (2016) - Springer Polar Sciences, The Inter connected Arctic, Uarctic Congress 2016, Johannes Schmied, Odd Jarl Borch, Ensieh Kheiri Pileh Roud, Tor Einar Berg, Kay Fjørtoft, Ørjan Selvik, and James R. Parsons] Maritime Operations and Emergency Preparedness in the Arctic– Competence Standards for Search and Rescue Operations Contingencies in Polar Waters
- Springer(2019) Book on Arctic shipping - Handling the Preparedness Challenges for Maritime and Offshore Operations in Arctic Waters. (To be published late 2019.)
- TOF (2019) Forskrift om tekniske og operasjonelle forhold på landanlegg i petroleumsvirksomheten med mer (teknisk og operasjonell forskrift)
- TU Sailbuoy (2018), <https://www.tu.no/artikler/sailbuoy-ble-forste-autonome-fartoy-over-atlanteren/451678>
- TU Trident Juncture (2018), <https://www.tu.no/artikler/mistenkelig-droneflyging-og-russisk-rakettovelse-under-natos-megaovelse/449847>
- TU (2019) <https://www.tu.no/artikler/10-droner-lurte-utdaterte-forsvarssystemer-dette-vet-vi-om-dronetrusselen-mot-sarbar-infrastruktur-br/474200>
- TU (2019b) <https://www.tu.no/artikler/vil-spare-milliarder-pa-vedlikehold-med-fjernstyrt-robotkjempe/408949>
- Vagia, M., Transeth, A. A., & Fjerdings, S. A. (2016). A literature review on the levels of automation during the years. What are the different taxonomies that have been proposed?. Applied ergonomics, 53, 190-202.
- Valente, J., & Cardenas, A. A. (2017). Understanding security threats in consumer drones through the lens of the discovery quadcopter family. In Proceedings of the 2017 Workshop on Internet of Things Security and Privacy (pp. 31-36). ACM.
- Waraich, Q. R., Mazzuchi, T. A., Sarkani, S., & Rico, D. F. (2013). Minimizing human factors mishaps in unmanned aircraft systems. ergonomics in design, 21(1), 25-32
- Wikipedia (2019) hentet 25/11-2019
https://en.wikipedia.org/wiki/Remotely_operated_underwater_vehicle#/media/File:ROV_working_on_a_subsea_structure.jpg
- Wozniak (2019) <https://www.wardsauto.com/autonomous-vehicles/apple-s-woz-sees-autonomous-vehicles-long-way>
- Wróbel K Montewka J & Kujala P (2017) Towards the assessment of potential impact of unmanned vessels on maritime transportation safety Reliability Eng. & Systems 155-169
- Yang, X., Utne, I. B., & Thieme, C. A. A (2018) Review of Hazard Identification Techniques for Autonomous Operations in Norwegian Aquaculture., Psam 2018.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no