2020:01442 - Åpen

# Rapport

## Automatisering og autonome systemer: Menneskesentrert design i boring og brønn

**Forfatter(e)**
Stig Ole Johnsen, Siri Holen
Asbjørn Lein Aalberg, Knut Steinar Bjørkevoll, Tor Erik Evjemo, Gorm Johansen, Thor Myklebust, Eivind Okstad, Alexey Pavlov, Thomas Porathe.

**SINTEF Digital**
Sikkerhet og pålitelighet
2020-12-15

SINTEF Digital
Postadresse:
Postboks 4760 Torgarden
7465 Trondheim
Sentralbord: 40005100

info@sintef.no

Foretaksregister:
NO 919 303 808 MVA

# Rapport

# Automatisering og autonome systemer: Menneskesentrert design

EMNEORD:
MTO
Menneskelige faktorer
Automatisering

**VERSJON**
2020-12-15

**DATO**
2020-12-15

**FORFATTER(E)**
Stig Ole Johnsen, Siri Holen,
Asbjørn Lein Aalberg, Knut Steinar Bjørkevoll, Tor Erik Evjemo, Gorm Johansen, Thor Myklebust, Eivind Okstad, Alexey Pavlov, Thomas Porathe.

**OPPDRAGSGIVER(E)**
Petroleumstilsynet

**OPPDRAGSGIVERS REF.**
IKT2020

**PROSJEKTNR**
102022397

**ANTALL SIDER OG VEDLEGG:**
116+ 24 sider i vedlegg

**SAMMENDRAG**
Denne rapporten er basert på et oppdrag fra Petroleumstilsynet (Ptil) med tema menneskesentrert design og menneske-maskin grensesnitt i utvikling og implementering av autonome systemer innen boring- og brønn. Rapporten oppsummerer gjennomgang og funn fra prosjektaktivitetene. Via prosjektet har vi sett at automatisering generelt har vært vellykket der hvor automatisering har vært innført i veldefinerte områder, gradvis og i samspill med brukerne. I petroleumssektoren kan automatisering medvirke til bedre utnyttelse, mer effektiv boring og gi støtte til tidligere detektering av feilhendelser via automatisering av boreprosessen. En bør fortsette den positive brukersentrerte utviklingen av automatisering basert på læring fra pilotprosjekter. Det anbefales at man oppdaterer referanser til standarder som skissert i rapporten. For å ivareta HMS, bør prinsipper for meningsfull menneskelig kontroll brukes.

**UTARBEIDET AV**
Stig Ole Johnsen

SIGNATUR

**KONTROLLERT AV**
Maria Vatshaug Ottermo

SIGNATUR

**GODKJENT AV**
Anita Øren

SIGNATUR

**RAPPORTNR**
2020:01442

**ISBN**
978-82-14-06420-9

**GRADERING**
Åpen

**GRADERING DENNE SIDE**
Åpen

# Historikk

| VERSJON | DATO | VERSJONSBESKRIVELSE |
|---|---|---|
| Statusmøte 3 | 2020-06-11 | Gjennomgang struktur og innhold i statusmøte 3 |
| Statusmøte 4 | 2020-08-19 | Gjennomgang rapport i statusmøte 4, for bruk i Work Shop |
| Statusmøte 5 | 2020-10-30 | Gjennomgang av rapport i statusmøte 5 |
| Statusmøte 6 | 2020-11-23 | Gjennomgang av rapport i statusmøte 6 |
| Rapport | 2020-12-15 | Rapport versjon 2020-12-15 |

SINTEF

# Innholdsfortegnelse

# 1 Oppsummering av rapporten

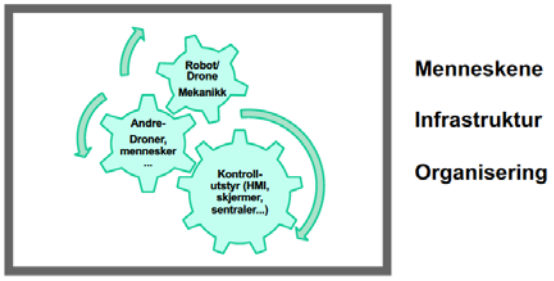
Rapporten er basert på et oppdrag fra Petroleumstilsynet (Ptil) med tema menneskesentrert design i utvikling og implementering av autonome systemer innen boring og brønn. Ptils mål med oppgaven er «å bidra til at næringen prioriterer sikkerhet og arbeidsmiljø høyt når digital teknologi blir utviklet og implementert i selskapene». Rapporten gjennomgår og samler funn fra prosjekt-aktivitetene:

- Litteraturgjennomgang av teori og erfaring fra automasjon i andre industrier
- Granskningsrapporter fra relevante områder
- Informasjonsinnhenting fra olje og gass industrien bl.a. via intervju
- Regelverk og standarder brukt av olje og gass industrien
- Workshop (med deltagere fra Ptil, industrien og prosjektgruppen)

Arbeidet er gjort i nært samarbeid med næringen, og er utført av en tverrfaglig prosjektgruppe med kunnskap fra boring og brønn, teknologi, organisasjon og menneskelige faktorer. Gruppen har bestått av ti deltakere fra SINTEF (Teknisk Kybernetikk, Petroleumsteknologi, Sikkerhet og pålitelighet, Digital/Software Engineering) og NTNU (Petroleumsteknologi og Design).

## 1.1 Sentrale begreper og kunnskap

Sikker operasjon av automatiserte systemer må ivareta mer enn pålitelige tekniske løsninger. Sikkerhet er avhengig av at et helhetlig systemperspektiv, inkludert vurdering av teknologi, organisering og menneskelige faktorer. Graden av automatisering vil sette forskjellige krav til brukerne og omgivelsene. Det tekniske systemet med brukergrensesnitt via skjermer eller mer omfattende kontrollrom må ses i sammenheng med organisering rundt bruken av systemet, som ansvarsfordeling, rutiner og mennesker med kunnskap. Også infrastrukturen rundt systemet må inkluderes, som fysiske barrierer og nødvendig teknisk støtte til operasjonene (som nettverk og sensorer), se Figur 1.1.




**Figur 1.1 Automatisering i et systemperspektiv**

Automatisering har som mål å gjøre en prosess eller operasjon automatisk, slik at den i større eller mindre grad styrer seg selv. Begrepet autonomi viser til evnen et system har til å ta egne beslutninger, uten å involvere eksterne systemer eller operatører. Design og sikkerhet av autonome systemer påvirkes av nivået på automatiseringen, "Levels Of Autonomy" (LOA). LOA kan brukes for å forstå utfordringer knyttet til sikker bruk av automatiserte systemer, se Tabell 1.1. De ulike nivåene beskriver ansvaret mellom operatøren og systemet hvor det er gradvis mindre interaksjon med menneskelige operatører for økt nivå av automatisering. Fullt ut automatiserte systemer, altså autonome systemer, styrer seg selv på basis av faste program eller på basis av kunstig intelligens (AI). Spesifikasjoner til design og styring må endres i takt med nivå på automatisering. For eksempel når operatørene har en aktiv rolle i prosessen (*in-the-loop*) har man løpende kontroll, men når man bringes inn ved behov (*out-of-the-loop*) må kontroll og forståelse etableres.

**Tabell 1.1: Oversikt over nivå av automatisering og samspillet operatør og system.**

| Nivå | Automatisering | Operatør | System |
|---|---|---|---|
| 1 | Ingen automatisering | 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 |

Økt automatisering krever økt forståelse for menneskelige faktorer (MF). Parasuraman og Riley (1997) fant at automatisering krever grundig analyse av oppgavene som skal utføres og bedre menneske-maskin grensesnitt (HMI). Automatiserte løsninger krever også tilpasset opplæring. Det krever bedre håndtering av avvik og god informasjon når automatikken bryter sammen, noe som også ble påpekt av Bainbridge (1983).

Viktige teorier for MF og hvordan man utformer sikre systemer beskrives i:

- Lee et al. (2017) «Designing for People», og i Endsley (2019) «Human Factors & Aviation Safety», med beskrivelse av samspill med menneskelige aktører og teknologien
- Barrieretenking i Reason (1999) «Organisational Accidents and Safety Culture»
- Håndtering av det uventede som beskrevet i Hollnagel et al. (2006) «Resilience engineering»

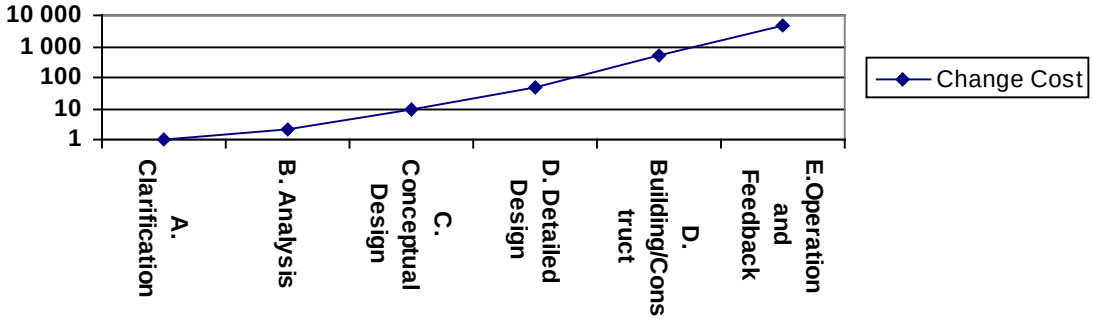
Menneskelige faktorer (MF), Human Factors (HF), har vært viktig for prosjektet. Vi har brukt definisjonen fra IEA (International Ergonomics Association): "*Human Factors is the scientific discipline concerned with the understanding of interactions among humans and other elements of a system, and the profession that applies theory, principles, data, and other methods to design in order to optimize human well-being and overall system performance*"

Oljebransjen og tilsynsmyndighetene er oppmerksomme på MF. Dette beskrives for eksempel gjennom innretningsforskriften §20, 21 og 34a som tar for seg ergonomisk utforming, grensesnittet mellom menneske og maskin, herunder informasjonspresentasjon, samt kontroll- og overvåkningssystem. Manglende oppmerksomhet på menneskelige faktorer har ledet til flere uønskede hendelser med katastrofale konsekvenser og kostnader, eksempelvis:

- Macondo, Deepwater Horizon – 11 døde, tap på over 60 milliarder USD
- Helge Ingstad – 11 Milliarder NOK som estimert gjenanskaffelseskostnad, hvor situasjonsforståelsen ikke samsvarte med omgivelsene
- Boeing 737 Max – 346 døde og store tap pga dårlig design av automatisering

En viktig forutsetning for å unngå ulykker er godt design. Systematiske analyser av tilgjengelige granskinger har anslått at en stor andel av alle uønskede hendelser skyldes dårlig design, Kinnersley (2007), Moura (2016).

Automasjonsgrad og etablering av sikre og gode løsninger gjøres mest kostnadseffektivt i tidlige faser. Figur 1.2 presenterer endringskostnader i ulike faser (Samset, 2001), og indikerer at det er kostnadseffektivt å bruke ressurser på godt design og testing tidlig. Kostnaden for prosjekt-aktiviteter og endringskostnadene øker omtrent eksponentielt.




**Figur 1.2 Endringskostnader avhengig av fase (Samset,2001).**

## 1.2 Funn fra litteraturgjennomgang og erfaring fra autonomi

Målet med litteraturgjennomgangen har vært å samle kunnskap om automatisering og autonome systemer og menneskesentrert design i boring og brønn. Vi har også samlet relevant erfaring om autonomi fra andre industrier.

Situasjonsforståelse (SA), beskrives av Endsley (1995) som tre nivåer: oppfatning av *elementer* i nåværende situasjon (nivå 1); forståelse av nåværende situasjon (nivå 2) og forståelse og forventning av fremtidig situasjon (nivå 3). Situasjonsforståelsen må være en del av design, og Endsley (2019) har skissert flere aspekter og prinsipper som bør følges i utvikling og design av automatiserte systemer, eksempelvis:

- Prioritering av pålitelighet og resiliens/robusthet av autonome og tekniske systemer
- Bruker bør alltid ha mulighet for å kunne ta styringen over systemene
- Transparente systemer som viser tilstand til de automatiserte systemene til enhver tid
- Systemenes brukergrensesnitt må gi støtte til tolkning og styring av samtidige alarmer

Ved innføring av ny teknologi er det viktig at organisasjonen har bygget opp de rette forutsetninger for å kunne håndtere ny teknologi. Vanlige svakheter er uklarheter i roller, ansvar, og kommunikasjon (Milch og Laumann, 2016). Dessuten kan det være lav risikooppfatning og bevissthet rundt nye utfordringer (Sætren og Laumann, 2015). Prinsipper for å styrke samhandling i distribuerte organisasjoner er sentralt i opplæringsprosedyrene Crew Resource Management (CRM). CRM har fått bred aksept i mange miljø og har vært prioritert i oljebransjen, maritim industri, luftfart og innen offshore helikopter (Johnsen, 2013).

Praktiske tilnærminger som bør inngå i analyse av MF i automatisering av boreoperasjoner er identifisert i «Drilling Systems Automation Roadmap Report» (DSA Roadmap, 2019):

- Oppgaveanalyse (med analyse av arbeidsoppgaver og kognitiv forståelse) for å bestemme prioriterte områder for automatisering
- Planlegging av optimal arbeidsbelastning og brukeranalyse
- Utforming av styringssystemer, informasjonsskjermer og visualiseringsverktøy for best mulig situasjonsforståelse
- Håndtering av redusert kunnskap om den automatisert bore-prosessen hos bore-personell, ved å tilpasse nødvendig informasjon i menneske-maskin grensesnitt.

Det kan være nyttig å se til andre bransjer som har lengre erfaring med automasjon, design og menneskelige faktorer. Noen læringspunkter fra luftfart, vegtransport, sjøfart og bane er:

- Brukersentrert og gradvis innføring av automasjon gir sikre løsninger
- Viktigheten av å bruke MF ved økt grad av automasjon og prioritere meningsfull menneskelig kontroll av automatikken
- Fysisk avgrensning av området for automatiserte løsninger
- Høy datakvalitet fra sikre og redundante sensorløsninger og infrastruktur må på plass for sikre og robuste løsninger
- Løpende dataregistrering og dataanalyser fra drift er viktig for risikobasert oppfølging
- Nasjonale strategier for automasjon er utviklet for luftfart, sjøfart og vegtransport. Disse er retningsgivende og kan gi trygge rammer for innføring av automatiserte systemer. En slik nasjonal strategi for industriell robotisering og for petroleumsnæringen er ikke laget i Norge

Boring er et lovende område for automatisering. Automatisering kan medvirke til bedre utnyttelse ved å muliggjøre boring i utfordrende brønner og i formasjoner der det tidligere ikke har vært mulig å bore. Det kan også bidra til mer effektiv boring og gi støtte til tidligere detektering av feilhendelser. Økt automatisering av bore-operasjonene kan imidlertid føre til at man endrer arbeidsoppgaver fra en aktiv rolle til en mer overvåkende rolle. Dette kan bidra til redusert situasjonsforståelse (*out-of-the-loop*). Tydelig informasjon om tilstanden til systemet og støtte til overgang mellom automatisk og manuell kontroll er da viktige faktorer for sikkerhet. Det kreves høy kvalitet på menneske-maskin grensesnitt, og presentasjon av de automatiserte systemene må være transparente for økt forståelse av prosessen og for å kunne forutse fremtidige handlinger.

## 1.3 Funn fra granskingsrapportene

I prosjektet er det gjennomgått ni granskingsrapporter hvor årsaker knyttet til automatiserte systemer og MF er vurdert for å samle erfaring knyttet til granskingsmetodene og årsaksforhold med forslag til tiltak. På grunn av modenhet og erfaringsnivå har vi sett på granskinger med høy grad av automasjon også fra andre områder enn petroleum. Hendelser med autonome og automatiserte systemer fra andre bransjer kan være relevant for boring og brønn når det gjelder både granskingsmetoder og funn.

**Følgende hendelser har vært gjennomgått, med tema automasjon og MF:**

1. Boeing 737 Max styrt (Endsley, 2019), (NTSB, 2019), (ECAA, 2019).
2. PSV Sjoborg og SFA, kollisjon mellom skip og plattform- Equinor (2019, 2019a).
3. KNM Helge Ingstad kollisjon (AIBN, 2019), se på granskingsmetoder og systemer
4. DP operations (Dong, Vinnem & Utne, 2017), se på systemer og alarmer
5. Trafikkulykke med Tesla (Joshua Brown) i USA – NTSB (2017)

**Følgende hendelser har vært gjennomgått med tema boring & brønn og MF:**

6. West Hercules - ADS Barents, (Ptil, 2019)
7. Macondo Blowout (US-CSB, 2016) og (Tinmannsvik et al., 2011)
8. Pryor Trust – Blowout (US-CSB, 2019)
9. Mærsk Gallant – Brønnkontrollhendelse (Mærsk Drilling, 2015)

De viktigste funnene relatert til granskningsmetodene var mangelfull bruk av MF-kompetanse og metoder. Det er lite oppmerksomhet på hvordan menneskene opplevde hendelsen. Design som årsak

er også lite omtalt i rapportene, noe som kan lede til manglende læring for å unngå lignende hendelser i fremtiden. Kvaliteten på granskingsrapporter fra uavhengige instanser som havarikommisjoner (AIBN, NTSB, CSB) var høy med tanke på helhetlig MTO-perspektiv. Særlig rapportene om Deepwater Horizon (CSB), Helge Ingstad (AIBN) oppleves som gode. PSV Sjoborg (Equinor) hadde godt systemperspektiv.

De viktigste funnene knyttet til årsaksforhold i ulykkene var at systemene ikke ga god nok informasjon og/eller ikke varslet på en måte som var forståelig for brukerne. Granskingene peker på at MF må integreres bedre i utviklingen, og brukerne må ha en mer sentral plass under design, testing og godkjenning av systemene. Systemene som ble beskrevet i flere av rapportene var fragmenterte, og det bør være bedre koordinering og integrasjon av samvirkende systemer. I flere av granskningene var det dessuten fragmentert organisering og uklar ansvarsdeling av viktige oppgaver, noe som kan håndteres gjennom bedre integrerte tekniske systemer, klarere organisering og bedre opplæring.

## 1.4 Viktigste funn fra intervjuene med industrien

I samråd med Ptil er to utviklingsprosjekter valgt ut for innhenting av informasjon fra industrien. Begge prosjektene har gått over lengre tid og omhandler automatisering og robotisering av funksjoner på boredekk. Personell involvert i prosjektene er intervjuet, og i tillegg ble eksperter på automatisering og MF i petroleumsindustrien intervjuet. Det ble identifisert både utfordringer og positive erfaringer med hensyn til brukermedvirkning og MF under disse intervjuene.

Utfordringer i forbindelse med prosjektene var:

- Komplekse grensesnitt mellom aktører og systemer
- Teknologidrevet utvikling uten brukermedvirkning førte til uhensiktsmessige systemer
- Manglende planlegging førte til dyre endringer sent i prosjektet
- Svak bruk av teknikker for å sikre meningsfull menneskelig kontroll
- Usikkerhet fra brukerne mht. hva som foregår bak systemene/automatikken
- Eksisterende alarmer ble i noen tilfeller ikke vurdert/oppdatert i forbindelse med nye systemene som ble utviklet
- Noe underprioritering av opplæring og trening som prosjektaktiviteter

Erfaringer med positiv effekt:

- Når menneskelige faktorer ble prioritert fra ledelsen
- Klar avgrensning av prosjektet mht. omfang og ansvar
- God dialog med Ptil knyttet til arbeidsprosesser og opplæring
- Tidlig og god brukermedvirkning

## 1.5 Refleksjoner knyttet til regelverksutformingen

Denne gjennomgangen diskuterer den teknologiske forankringen av regelverket. Det funksjonsbaserte regelverket og det stadig endrede aktørbildet blir deretter diskutert.

*En teknologisk forankring av regelverket*

Innholdet i forskriftene for petroleumsindustrien, tilhørende veiledninger samt standarder er ofte teknologisk forankret. Paragrafene 20 og 21 i innretningsforskriften poengterer at menneskelige feilhandlinger skal unngås, en tilnærming til sikkerhetsstyring som kan assosieres med en *safety-I*-tankegang som fokuserer på årsaker til feil. Anvendelsen av barrierebegrepet kan også illustrere en

til dels teknologisk forankring, slik det praktiseres. En noe mer *proaktiv* tilnærming til sikkerhetsledelse, som for eksempel representert i «resilience engineering»-tradisjonen samt sensemaking-perspektivet kan være nyttige komplementære rammeverk til safety-I tankegangen. Petroleumstilsynet påpeker også selv at man ser et behov for mer tydelige og anvendbare HF-standarder knyttet til automatisering, noe som aktualiserer hvordan faglig kompetanse på MF kan gjøres mer synlig ved fremtidig regelverksutforming.

*Funksjonskrav og hva som egentlig er godt nok*
Funksjonskravene i regelverket angir hvilket sikkerhetsnivå som skal oppnås, men ikke hvordan. Funksjonskravene understreker at det enkelte selskap har ansvar for å planlegge og gjennomføre sin virksomhet, slik at sikkerhetsmålene oppnås. Petroleumsnæringen per i dag kjennetegnes av flere nye aktører hvor mange har lite eller ingen erfaring med bransjen fra tidligere. Tydeliggjøring av hvilke krav regelverket setter er derfor stadig viktigere og med tanke på menneskelige faktorer og automatisering av teknologi bør standarder være en viktig ressurs. Gjennomgangen av regelverksutformingen tyder på at synliggjøring av relevante HF-standarder, og hva disse i praksis innebærer for aktørene, kan styrkes. Prosjektet har også identifisert et behov fra aktørene knyttet til et mer aktivt Petroleumstilsyn, både med tanke på tilsyn og dialog.

## 1.6 Oppsummering av sentrale standarder som bør få mer oppmerksomhet

Sentrale anerkjente standarder knyttet til interaksjonsdesign for styringssystemer som bør komme inn i regelverket er:

- ISO 9241-serien: Ergonomics of Human System Interaction
  - ISO 9241-210 (2010) Human-centred design for interactive systems
  - ISO/TR 9241-810 (2020) Robotic, intelligent and autonomous systems
- ISA 101 Human-Machine Interfaces

Alarmhåndtering er en viktig forutsetning for å kunne håndtere komplekse operasjoner, og beste praksis for alarmhåndtering bør følges opp via for eksempel EEMUA 191.

God praksis for risikovurdering og sikkerhet bør benyttes, og standarder som ivaretar dette er:

- ISO 12100 Safety of machinery
- ISO 13849 Safety of machinery - Safety-related parts of control systems
- ISO 10218 Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots

Sikring av infrastrukturen og systemene bør ivaretas via IEC 62443 standarden og sertifiseringsordninger den anbefaler basert på rammebetingelser gitt av NOROG 104.

I intervjuene beskrives et gap mellom praksis og HF-standarder. Brukersentrert utforming og meningsfull menneskelig kontroll bør komme inn som prinsipper i forbindelse med innføring av automatisering hvor mennesket fremdeles har en viktig rolle, og dette er beskrevet i IEA/ILO (2020) «*Principles and Guidelines for Human Factors/Ergonomics - Design and Management of Work Systems*».

## 1.7 Oppsummering av funn og tiltak fra workshopen

En workshop med 20 deltakere ble gjennomført i prosjektet, hvor funn i de tidligere aktivitetene og forslag til tiltak ble diskutert:

- Det er behov for økt kompetanse om menneskelige faktorer innen petroleumssektoren, både blant operatører, bestillere, ledelse, tilsyn og konsulenter/leverandører
- Teknologifokus må balanseres med brukersentrert design
- God praksis må spesifiseres med bruk av HF-standarder
- Ulykkes-granskinger bør dekke MF, menneskets opplevelse, design og formålstjenligheten av designet.
- Nesten-hendelser bør i større grad fanges opp og analyseres
- Det bør være en økt oppmerksomhet på læring av vellykkede faktorer

## 1.8 Oppsummering av de viktigste funnene og foreslåtte tiltak fra prosjektet

I det følgende har vi beskrevet de viktigste funnene fra aktivitetene, etterfulgt av en opplisting av foreslåtte tiltak.

**Sterkt teknologifokus:** Det er sterk oppmerksomhet knyttet til utvikling av teknologi (automatisering) og mulighetene denne gir for effektivitet i driftsfasen. Samtidig har vi observert at det er manglende kunnskap og oppfølging av menneskelige faktorer (MF), spesielt med tanke på kognitive forhold, situasjonsforståelse og organisatoriske faktorer, som opplæring og analyse av endrede arbeidsoppgaver. (Ergonomi – fysisk arbeidsmiljø, har vært godt behandlet). Dette kan føre til komplekse systemer som er vanskelig å håndtere for brukerne og svekke HMS.

**[T1] Øke kunnskap og oppfølging av menneskelige faktorer**

*Tiltak: Øke kunnskapsnivået om MF og nytteverdien. Kunnskap og oppfølging av MF må integreres i utvikling når ny teknologi spesifiseres og utformes i alle deler av organisasjonen*

**Brukersentrert utvikling med vekt på MF har vært vellykket og gitt positiv framdrift:** Utviklingsprosjekter for automatiserte systemer som har vært opptatt av brukersentrert utvikling gir positive tilbakemeldinger med engasjerte brukere. Beste praksis bør underbygges og styrkes mer. Generelt vet vi at bransjer som har rettet oppmerksomheten mot brukersentrert utvikling og menneskelige faktorer har etablert høyt sikkerhetsnivå og effektive systemer med høy nytteverdi.

**[T2] Økt prioritering av brukersentrert utvikling.**

*Tiltak: Økt prioritering av brukersentret design, støttet av god praksis (Som beskrevet av ILO/IEA (2020), og standardene som eksempelvis ISO 11064, ISO 9241, og ISA 101).*

**Behov for økt oppmerksomhet på meningsfull menneskelig kontroll:** Automatisering kan bidra til å overføre kjedelige, farlige, vanskelige og skitne operasjoner fra operatører til maskiner/automatikk, men også redusere involvering og forståelse fra brukerne. Atomatisering kan gi god økonomisk effekt. Automatisering kan lede til mer komplekse systemer, og brukerne forstår ikke alltid det som foregår i systemene. Det kan gjøre at det er vanskelig å ta over kontrollen og nå en sikker tilstand når systemene feiler. Dette krever oppmerksomhet på at menneskelige operatører må kunne gripe inn, forstå situasjonen og ta kontroll når automatikken svikter.

**[T3] Meningsfull menneskelig kontroll.**

*Tiltak: Teknologi må designes slik at det støtter «meningsfull menneskelig kontroll».*

**Datainnsamling fra automatiserte systemer kan være mangelfull**: Erfaring fra innføring av automatiserte systemer indikerer at det ofte er mangelfull datainnsamling og historikk. På

operatørnivå, men også til overordnet myndighetsnivå. Dette kan lede til at man kan mangle data som gjør at man mangler et viktig grunnlag for risikobasert tilsyn.
**[T4] Datarapportering og analyser for styrking av risikobasert utvikling.** *Tiltak: Sørge for systematisk datarapportering og mulighet for analyser av drift***.**

**Svak læring mellom granskinger og utvikling/design/tilsynspraksis på menneskelige faktorer**: Når man gransker hendelser er det ofte gjennomgang av tekniske forhold, og lite analyse av menneskelige forhold (som situasjons-forståelse hos de involverte) og design av systemene. Manglende involvering av MF-kompetanse i granskningsgruppene kan føre til at granskingene ikke avdekker MF årsaker eller rotårsaker knyttet til dårlig MF i utforming. Dette kan gjøre at en ikke får tilstrekkelig læring knyttet til MF, og på mangelfull design.
**[T5] Gransking bør inkludere MF og designbeslutninger:** *Tiltak: Granskinger av uønskede hendelser bør inkludere kunnskap om MF, og vurdering av design.*

## 1.9 Oppsummering av forslag til videre arbeid

I det følgende har vi listet forslag til videre arbeid om har dukket frem på basis av diskusjoner underveis i prosjektet og som bør prioriteres. Forslagene er beskrevet i vedlegget:

- [V1] Gjennomgang av mulige hull og repeterende funn fra ulykkes-granskinger.
- [V2] Utredninger om strategi for robotisering og automatisering generelt som inkluderer boring og brønn på nasjonalt nivå.
- [V3] Gjennomgang av behov for prioritering av helhetlig MTO i forbindelse med integrasjon og fjernstyring av kritiske systemer.
- [V4] Dybdestudie fra RNNP, analyser hendelser fra autonome systemer.
- [V5] Læring av vellykkede transformasjonsprosjekter (automatisering/digitalisering).
- [V6] Tilsynsserie knyttet til bruk av MF i forbindelse med automatisering/digitalisering.
- [V7] Detaljert analyse av utvikling av automatiserte boreoperasjoner.

# 2 Innledning

Denne rapporten er basert på et oppdrag fra Petroleumstilsynet (Ptil) utført av SINTEF og NTNU, med tittel: *IKT2020 - Automatisering og autonome systemer: Menneskesentrert design og menneske –maskin grensesnitt i utvikling og implementering av autonome systemer.* Oppdraget var å innhente og sammenfatte kunnskap om menneskelige faktorer i utvikling, testing, implementering og bruk av ny automatisert teknologi/autonome systemer som vil være nyttig/kritisk for bore- og brønnoperasjoner. Vi har i denne rapporten samlet kunnskap og erfaring relatert til automatiserte systemer både i petroleumsbransjen og andre bransjer, og har vurdert relevant regelverk og standarder for den norske petroleumsnæringen. Forkortelser og begreper er forklart i appendiks A.

Både prioritering og avgrensninger har vært knyttet til sikkerhet og menneskesentrert design innen boring- og brønn, hvor design som del av et utviklingsløp har vært plassert i henhold til anbefalte standarder fra Ptil (som eksempelvis ISO 11064). Dette utviklingsløpet er i tråd med strukturen i regelverket som går fra overordnede premisser til detaljer; fra Rammeforskriften, via Styringsforskriften, Innretnings- og Aktivitets-forskriften til Teknisk og operasjonell forskrift.

Denne rapporten dokumenterer resultatet fra oppdraget. Rapporten består av:

- Oppsummering av rapporten
- Innledning med gjennomgang av sentrale begreper og kunnskap
- Litteraturgjennomgang
- Gjennomgang av granskningsrapporter
- Innsamling av erfaring fra industrien
- Refleksjoner og forslag knyttet til tilsyn og regelverksutforming knyttet til automatisering
- Relevante standarder og retningslinjer
- Workshop – automatiserte systemer og menneskelige forhold
- Funn med forslag til tiltak og videre arbeid

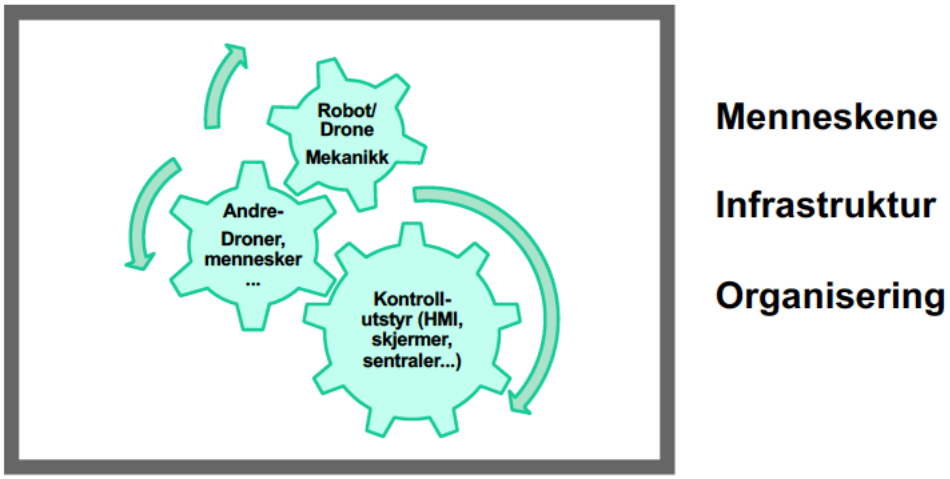
Arbeidet er gjort i nært samarbeid med næringen, og er utført av en tverrfaglig prosjektgruppe med kunnskap fra boring og brønn, teknologi, organisasjon og menneskelige faktorer. Gruppen har bestått av ti deltakere fra SINTEF (Teknisk Kybernetikk, Petroleumsteknologi, Sikkerhet og pålitelighet, Digital/Software Engineering) og NTNU (Petroleumsteknologi og Design). Funnene fra prosjektaktivitetene er til dels like fra litteraturgjennomgangen, granskinger, intervju og workshop. Gjentakende funn fra de forskjellige aktivitetene styrker konklusjonene. Funn og konklusjoner er sporbare. Foreslåtte tiltak, som Brukersentrering-T3 er rammet inn med haker [T3].

Resultatet er basert på induktive analyser (dvs. analyser bygget på empiri) samt deduktive analyser (dvs. basert på relevant teori om menneskelige faktorer) i tillegg til prosjektgruppens vurdering. Arbeidsformen har vært basert på aksjonsforskning, hvor praksis og hva aktørene virkelig gjør underbygger konklusjonene (kredibilitet).

## 2.1 Prosjektavgrensing - automatiserte systemer i boring og brønn-operasjoner

Sikker operasjon av et system, består av mer enn bare teknisk sikkerhet. Med systemer mener vi det tekniske systemet, tilhørende brukergrensesnitt (via skjermer eller mer omfattende kontrollrom), organisering rundt bruken av systemet (det vil si ansvarsfordeling, opplæring og rutiner), menneskelige aktører involvert i styring av systemet og infrastrukturen rundt systemet (for

eksempel fysiske barrierer, og eventuell teknisk infrastruktur som støtter operasjonene som sensorer, og kommunikasjonsnettverk). Figur 2.1 skisserer systemperspektivet.




**Figur 2.1: Automatisering i et systemperspektiv**

Automatisering har som formål å gjøre en prosess eller operasjon automatisk, slik at den 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 autonome systemer styrer seg selv. Vellykket automatisering må baseres på realistiske krav til mennesket, teknologi og organisasjon (MTO). Dette omfatter også ansvar, opplæring og gode prosedyrer/rutiner som folk kan etterleve.

Ptils mål med oppgaven er «*å bidra til at næringen prioriterer sikkerhet og arbeidsmiljø høyt når digital teknologi blir utviklet og implementert i selskapene*».

Systemer som skal utføre aktiviteter automatisk kan feile og systemenes operasjon er ofte avhengig av rutiner og opplæring rundt bruken av systemene. Det er kjent at BOPen (Blow Out Preventer) i DeepWater Horizon ulykken ikke fikk stengt ned brønnen. Etter utblåsningen, da Emergency Disconnect System (EDS) skulle aktiveres, utspant det seg forvirring i kontrollrommet med tanke på tillatelse for å utløse EDS (US-CSB, 2016). Den grundige beskrivelsen av hendelsene i kontrollrommet, illustrerer hvor viktig det er å dokumentere detaljert hvordan aktørene håndterte og opplevde hendelsen. Hendelsesforløpet illustrerer at god håndtering av uønskede hendelser krever mer enn bare teknologi, det krever menneskelige handlinger støttet av organisering, inkludert tydelig ansvarsfordeling og prosedyrer som man har trent på.

## 2.2 Forskjellige nivåer av autonomi

Autonomi involverer evnen et system innehar til å ta egne beslutninger, uten å involvere eksterne systemer eller operatører. Det refereres ofte til ulike nivåer av autonomi eller "Levels Of Autonomy" (LOA). Det finnes mange slike klassifiseringer (Vagia et al., 2016). Klassifiseringene er ofte tilpasset forskjellige områder, og er i varierende grad standardisert innen fagfeltet. Det kan derfor være greit å oppsummere de forskjellige nivåene innen autonomi med en forenklet tabell, Tabell 1.1. Den er basert på SAE (2018) fra bilbransjen. LOA er viktig overordnet utgangspunkt for å utforme systemene med grensesnitt og prosedyrer. Inndelingen er grov, og må suppleres med

detaljerte analyser. Automatisering er en egenskap for hele systemet, se Bradshaw et al. (2013), med et samspill mellom alle MTO komponentene. LOA kan gi et nyttig utgangspunkt for diskusjoner om autonomi, Onnasch et al. (2014), Corbato et a. (2018), Kaber (2018) og Endsley (2018).

**Tabell 2.1: Overordnet oversikt over nivå av autonomi og samspillet operatør og system.**

| Nivå | Autonomi | Operatør | System |
|---|---|---|---|
| 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 |

Økt automatisering krever økt forståelse for menneskelige faktorer (MF). Parasuraman og Riley (1997) fant at automatisering krever grundig analyse av oppgavene som skal utføres og bedre menneske-maskin grensesnitt (HMI) tilpasset LOA. Automatiserte løsninger krever også tilpasset opplæring. Det krever bedre håndtering av avvik og god informasjon når automatikken bryter sammen, noe som også ble påpekt av Bainbridge (1983).

Ofte vil et system endre graden av autonomi i løpet av en operasjon. For valg av automatiseringsnivå må man ta hensyn til menneskelige begrensninger og muligheter. For eksempel som beskrevet i prinsippene fra «Fitts list» (De Winter et al., 2014; Lee et al., 2017):

Mennesket håndterer godt

- komplekse vurderinger,
- læring
- improvisasjon
- tilpasse seg
- oppdage mønsteravvik

Automatisering håndterer godt

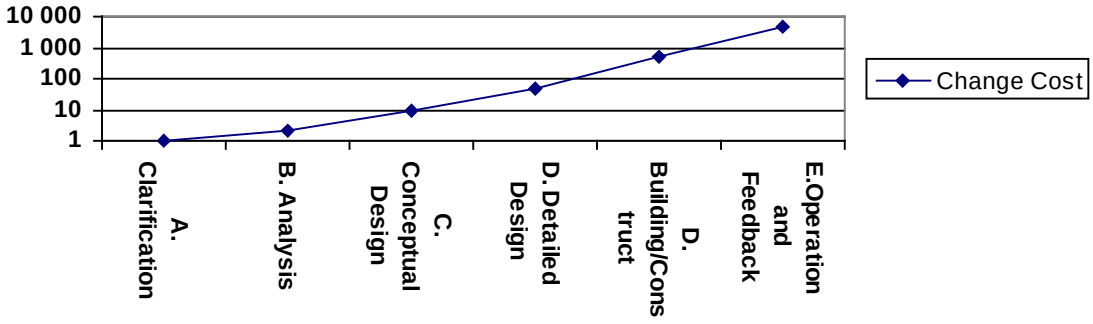
- å samle inn og tolke sensordata likt fra gang til gang
- hurtig respons
- utmattende oppgaver
- å følge detaljerte instruksjoner likt

Viktige tema for fremtidig automatisering er fleksibel og tilpasset automatisering, det vil si at man kan endre graden av autonomi avhengig av behov/kunnskap, og adaptiv autonomi hvor en kan endre graden av autonomi avhengig av status for operatøren (stressnivå, trøtthet og oppmerksomhet), og bruk av AI. Dette krever imidlertid gode analyser og kan lede til at operatørene ikke forstår hva som foregår, gi uheldig «feedback» og lede til ulykker.

## 2.3 Effekt av tiltak og forbedringer

Oppdraget fra Ptil prioriterer tidlig fase for ny teknologi, det vil si designfasen. En har stor påvirkningskraft i tidlige faser, som konseptvalg, prosjektavgrensninger, analyser og design. I disse fasene velger man hva som skal gjennomføres og hvordan en skal gå frem. Dette gjelder både ferdige løsninger (som må integreres) og utvikling/tilpassing av ny teknologi. Med tanke på effekt og kostnader knyttet til tiltak og forbedringer er det derfor viktig at en prioriterer de tidlige fasene, ikke minst fordi påvirkningskraften er størst og endringskostnadene øker omtrent eksponentielt

(spesielt når det er snakk om endringer og feilretting offshore). Vedlagte Figur 2.2 presenterer endringskostnader ut fra erfaring (Samset, 2001). Endringskostnaden kan være 1-10 USD som del av analysen, 10-100 USD under design, 100-1,000 USD under bygging og 1,000-10,000 USD i drift. Dette gjelder både byggeprosjekter, programvareprosjekter og endringsprosjekter.




**Figur 2.2 Endringskostnader avhengig av fase, Samset (2001).**

Påvirkningsmulighetene er størst under de tidlige fasene A, B, C og reduseres deretter til å være mindre, med større kostnader.

## 2.4 Ulykker og menneskelige faktorer i et MTO-perspektiv

Ulike teorier og modeller eksisterer for å forklare hvorfor ulykker skjer. Historisk har risiko og årsaker til ulykker blitt forstått fra ulike perspektiver, fra at det er hovedsakelig mennesket som gjør feil, til at ulykker er mer sammensatt av tekniske, organisatoriske og menneskelige forhold. I de siste tiårene er det dermed vokst frem en større bevissthet på at det er nødvendig med et helhetlig MTO-perspektiv når man skal forstå og forebygge ulykker, dvs. et systemperspektiv. Dagens perspektiv er at menneskelige feilhandlinger[1] er en konsekvens av sammensatte årsaker knyttet til for eksempel dårlig utforming (design), organisatoriske, tekniske eller menneskelige rammebetingelser (Dekker 2002; 2004). Dette innebærer at man må ta hensyn til MTO-faktorer både i utvikling av nye systemer og under drift og operasjon.

Begrepet menneskelige faktorer (MF) (eller Human Factors - HF) er definert av IEA(2000) - International Ergonomics Association: "*Human Factors (or Ergonomics) is the scientific discipline concerned with the understanding of interactions among humans and other elements of a system, and the profession that applies theory, principles, data, and other methods to design in order to optimize human well-being and overall system performance*" . I denne rapporten er HF brukt i sammenheng med spesifikke metoder og standarder, mens MF er brukt som et bredere begrep som omfatter også aspekter knyttet til menneskelige faktor utover konkrete metoder.

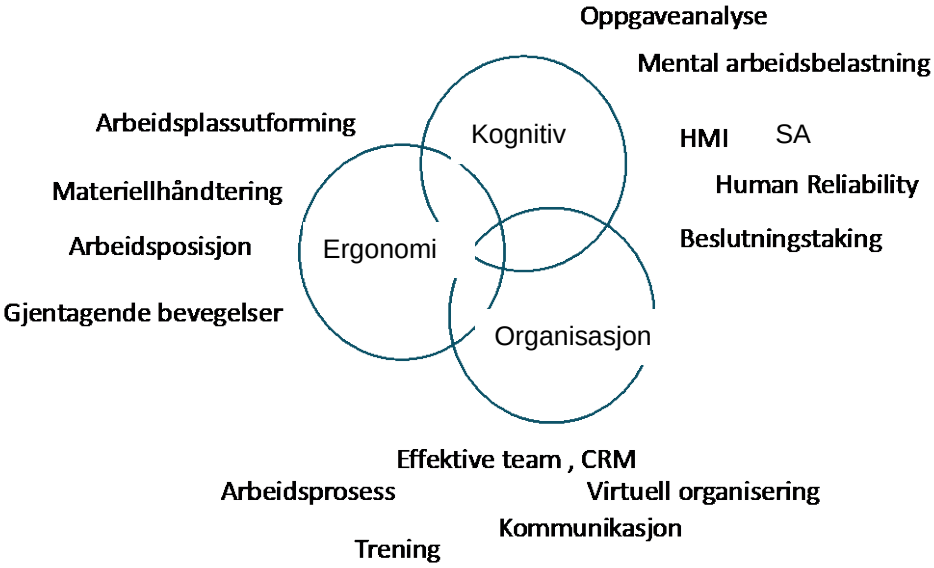
Menneskelige faktorer kan deles inn i flere områder som skissert i Figur 2.3:

- Kognitive faktorer (oppfattelse og tenkning), som omfatter oppgaveanalyse, mental arbeidsbelastning og situasjonsforståelse (SA)

[1] «*Human Error*» er et omstridt begrep som tidligere har blitt mye brukt. I dag er tolkningen av begrepet endret fra et syn der mennesket er årsaken til feilhandlinger til at begrepet indikerer at utformingen av systemet ikke er optimalt: «*Human error is a symptom of problems with the system, being an effect rather than a cause*» (Dekker, 2002).

- Ergonomisk faktorer, som omfatter fysiske forhold, temperatur, luftkvalitet, arbeidsplassutforming, arbeidsposisjon etc.
- Organisatoriske faktorer, som omfatter arbeidsprosesser, kommunikasjon, CRM, samarbeid i gruppe

En systematisk gjennomgang av et ti-talls prosjekter på norsk sokkel som så på borebu/kontrollrom avdekket at menneskelige faktorer knyttet til områdene kognitive og organisatoriske faktorer var svakt behandlet mens fysisk ergonomi var godt behandlet (Johnsen et al. 2017), se Figur 2.3.




**Figur 2.3: Menneskelige faktorer i MTO begrepet, (Karwowski, 2012)**

En viktig forutsetning for å unngå ulykker er godt design. Dette kommer bl.a. frem i Norman (2013), som sier «*Human Error? – No, poor Design*». En kritisk gjennomgang av større ulykker og granskingsrapporter fant flere rotårsaker som kunne ledes tilbake til design (Gard, 2020). Systematiske analyser av tilgjengelige granskinger har anslått en stor andel alle uønskede hendelser skyldes dårlig design (Kinnersley et al., 2007; Moura et al., 2016). Likevel vurderes sjeldent design som en del av granskingene.

Viktige teorier for MF og hvordan man utformer sikre systemer beskrives i:
- Lee et al. (2017) «Designing for People», og i Endsley (2019) «Human Factors & Aviation Safety», med beskrivelse av samspill med menneskelige aktører og teknologien
- Barrieretenking i Reason (1999) «Organisational Accidents and Safety Culture»
- Håndtering av det uventede som beskrevet i Hollnagel et al. (2006) «Resilience engineering»

Dette er sentrale perspektiver fra bl.a. Dekker (2019) – «Foundations of Safety Science».

Barrierestyring er et viktig perspektiv som brukes i petroleumssektoren for å øke sikkerheten rundt oljeutvinning (Ptil, 2017). Teknikken og perspektivene er svært godt egnet for prosess-industrien, og er godt tilpasset drift med fysiske barrierer. Perspektivet legger også til rette for ivaretagelse av organisatoriske og operasjonelle faktorer, og kan ytterligere styrkes i kombinasjon med metoder som setter mennesket i sentrum. Ofte er flere perspektiver nødvendig for å forstå uønskede hendelser og hvordan man kan håndtere de, eksempler på dette er samlingen av metoder i Rosness

et al., 2010. Læring og utvikling fra vellykkede hendelser er godt beskrevet i Buckingham og Goodall (2019).

For å håndtere uventede hendelser i autonome systemer, har man i økende grad brukt prinsipper fra resilient praksis. Autonome systemer er avhengige av gode data fra sensorer, men sensorer kan feile og gi mangelfull informasjon. Dessuten kan det oppstå situasjoner som automatikken ikke kan håndtere. Resilient praksis er basert på prinsipper som redundans, fleksibilitet, reduksjon av kompleksitet og oversikt over sikkerhets-marginer (Hollnagel et al., 2006).

## 2.5 Viktighet og effekt av menneskelige faktorer

Oljebransjen og tilsynsmyndighetene har oppmerksomhet på menneskelige faktorer, for eksempel gjennom innretningsforskriften §20, 21 og 34a. Forskriften tar for seg ergonomisk utforming, grensesnittet menneske-maskin herunder informasjonspresentasjon, samt kontroll- og overvåkningssystem. I Norge har det vært en tendens til å være opptatt av fysisk ergonomi, og man har til dels sett på ergonomi som dekkende for området MF. MF er imidlertid et omfattende fagområde. Viktige områder innen MF ved økt automatisering er kognitive og organisatoriske forhold. MF i sin bredde påvirker arbeidsmiljø, sikkerhet, effektivitet og produktivitet og er et sentralt element når teknologi skal innføres.

Liten oppmerksomhet på MF har ledet til flere uønskede hendelser med betydelige katastrofale konsekvenser og kostnaden. Hendelser som nevnt i denne rapporten er bl.a.:

- Macondo, Deepwater Horizon – 11 døde, tap på over 60 milliarder USD
- Helge Ingstad – 11 Milliarder NOK som estimert gjenanskaffelseskostnad
- Boeing 737 Max – 346 døde, store finansielle tap

## 2.6 Strategier og rammer knyttet til automatisering og autonomi generelt

I det følgende gir vi en oversikt over rammer gitt av strategiske dokumenter som beskriver veivalg knyttet til automatisering og autonomi.

Det er forskjellig grad av modning og holdninger til autonomi i petroleumsindustrien, og vi finner ikke overordnede strategidokumenter for automatisering innen området fra myndighetene, derfor har vi i det følgende sett på strategier for autonomi fra andre områder.

Luftfart har gått foran med å innføre automatiserte løsninger. På veg har automatisering vært innført for personbiler, busser og transport med et høyt aktivitetsnivå internasjonalt. I Norge har strategier og rammer for økt grad av automatisering og autonome systemer vært knyttet til spesifikke områder som vegtransport og maritim industri. Det er laget en strategi for luftbårne droner, men for andre områder mangler det eksplisitte strategier og tiltak på nasjonalt nivå, f.eks. innen industriell automatisering. Bruk av droner innen petroleumssektoren, i nordområdene, er diskutert i Bakken et al. (2019) og Johnsen et al. (2020), etter oppdrag fra Ptil.

Norsk industri har lenge hatt som strategi å snu trenden med utflagging (dvs. å sette ut produksjon til utlandet) ved å ta i bruk kostnadseffektiv robotteknikk og digitalisering. Prioriterte områder har bl.a. vært robotsveising (innen skipsfart, laksemerder og stålunderstell for oljeplattformer), mobile roboter (for transport og håndtering), automatisert boring og hiv-kompensering i kransystemer. Oljeindustrien har gått foran med hensyn til bruk av automatiserte undervannsfartøyer, som ROVer,

som er fjernstyrte og delvis automatiserte robotløsninger. Der har Norge blitt en ledende internasjonal aktør.

Innen automatisert boring har industrielle aktører vært opptatt av mekaniske spesialbygde maskiner: Top Drive som er boremaskinen som roterer borestrengen; vinsjen som heiser borestrengen opp og ned; Jern roughneck som brukes til sammen-skruing / fra-skruing av elementene til borestrengen; og maskiner som henter frem og håndterer elementene til borestrengen.
I tillegg kommer systemer og rutiner som støtter operatøren med bedre informasjon og styrings.

Oljeindustrien har også satset på fjernstyring og fjernstøtte innen utvalgte områder, som eksempel på Ivar Aasen plattformen som styres fra land.

Internasjonalt har fjernstyring og fjerndrift større utbredelse enn i Norge. I prosessindustrien generelt har trenden med fjernstyring/fjerndrift pågått over de siste 20 år, med gode erfaringer. Systematisering av erfaringer fra petroleumssektoren og prosessindustrien når det gjelder HMS effekten av fjernstyring mangler.

Automatisering og robotisering er relevant for flere områder, men det er krevende økonomisk å etablere robuste og sikre automatiserte systemer med høy sikkerhet samt at det krever investeringer i infrastruktur.  Aspekter ved automatisering har blitt beskrevet i Regjeringens strategi for kunstig intelligens- KI (2020).

Rammer og utviklingsplaner for bruk av autonome systemer i luft, på vann og under vann er skissert i flere strategidokumenter. Fra myndighetenes side, bl.a. fra Samferdselsdepartementet, har det vært et uttalt mål å fjerne hinder som forsinker bruk av ny teknologi (bl.a. for autonome skip). En har derfor satt av midler til uttesting og forbedring av automatiserte farkoster via pilotprosjekter og forskning. Sentrale dokumenter for utviklingen og bruk av autonome farkoster/droner er Nasjonal Transportplan 2018-2029, Regjeringens havstrategi "Ny vekst, stolt historie - " (2017) og Norges Dronestrategi (2018), som behandler luftbårne droner.

Automatisering av system på skip er allerede i økende bruk, og Norge er ledende på feltet med flere opprettede testområder langs kysten, Autonome skip (2019). Myndighetene har arbeidet med å utvikle lovverket, bl.a. er det satt søkelys på å fjerne lovmessige hinder for bruk av autonome skip, ref. Lov om havner og farvann (som har kommet i ny versjon i 2020). Sjøfartsdirektoratet har dessuten startet med å utvikle regelverk for å støtte opp under sikker og miljøvennlig autonom sjøtransport.

Sjøfartsdirektoratet baserer seg på risikovurderte driftskonsepter hvor første trinn, avgrensning av området via «Concept of Operations» – CONOPS, er sentralt element (Sdir, 2020). Dessuten vil det kreves risikovurderinger (Pre-HAZID, HAZID), testing og godkjenning av uavhengig tredjepart før automatiserte løsninger settes i drift. DNV-GL (CG-0264, 2018) har en detaljert beskrivelse av CONOPS som blant annet beskriver operasjonen med rute, autonomigrad, bemanning, styring og ansvar.

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. Ett eksempel på dette, fra Lovdata (2015) er "Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv". Der etablerer man veldefinerte krav om kompetanse og sertifisering for å operere forskjellige typer av automatiserte droner.

# 3 Litteraturgjennomgang og erfaring fra automatiserte løsninger

Formålet med dette kapittelet er å identifisere kunnskapsbase og trender innenfor automatisering og sikkerhet, basert på god internasjonal praksis og forskning. Vi har innledet med en oversikt over anerkjent teori om menneskelige faktorer. Deretter er erfaring og god praksis fra automatisering og autonomi fra sjø, luft, veg og bane beskrevet, etterfulgt av funn om teknologi og autonome løsninger innen boring og brønn. Vi har avsluttet med en oppsummering av funn og foreslåtte tiltak.

## 3.1 Menneskelige faktorer i systemutvikling og under drift

I dette avsnittet presenterer vi forskningslitteratur om MF relevant for automatiserte systemer. Hovedsakelig er litteraturen fra andre domener enn petroleum og boring og brønn, men prinsippene er overførbare. Litteraturgjennomgangen starter med sentrale begrep som situasjonsforståelse og meningsdannelse. Også menneske-maskin-grensesnitt og alarmer er systemer som må utvikles med tanke på brukeren, og ved innføring av automatisert teknologi blir dette særlig viktig. Deretter har vi sett på organisatoriske faktorer, og til slutt presenterer vi metoder og perspektiver som kan brukes under utvikling av automatiserte systemer som ivaretar MF i et MTO-rammeverk.

### 3.1.1 Situasjonsforståelse (SA) og meningsdannelse

Situasjonsforståelse (situation awareness - SA) er et begrep som brukes om forståelsen som en person har gjennom om en hendelse. Situasjonsforståelse kan ses i sammenheng med feilhandlinger som å ikke oppfatte kritiske signaler relatert til prosessen som overvåkes, utilstrekkelig tolkning av informasjon, utilstrekkelig forståelse av eget og andres ansvar og manglende kommunikasjon i team. Begrepet er ofte brukt i forbindelse med menneskers interaksjon med automatiserte systemer.

Endsley (1995) beskriver SA på tre nivåer; oppfatning av *elementer* i nåværende situasjon (nivå 1) forståelse av nåværende situasjon (nivå 2) og forståelse og forventning av fremtidig situasjon (nivå 3). Ekstern påvirkning som har betydning for situasjonsforståelse kan være arbeidsbelastning, "fatigue" og stress (Kaber et al., 1998).

Situasjonsforståelse som begrep brukes i mange sammenhenger. Det brukes i olje og gass, kjernekraft, sjøfart, politi, luftfart (piloter/trafikk-kontroll), helsevesenet, krisehåndtering, ulykkes-granskinger og av militæret. Fra luftfart har man sett at automatisering kan føre til redusert situasjonsforståelse (Endsley 1996, 2015). Dette knyttes til at mennesker som over lengre perioder skal overvåke prosesser der de ikke skal aktivt kontrollere systemene kan oppleve utfordringer med oppmerksomhet grunnet at de ikke lengre er aktive i arbeidsprosessene (*out-of-the-loop*).

For å fokusere på tema innen SA skiller man av og til mellom prosessen for å etablere situasjonsforståelse (SA-prosess) og selve situasjonsforståelsen. SA-prosess kan også beskrives som meningsdannelse (sensemaking). I rapporten bruker vi «Sensemaking» på prosessen for å oppnå SA, og henspiller til måten mennesker henter informasjon fra omgivelsene og setter denne sammen til et helhetlig bilde av en situasjon, og deretter handler i tråd med denne forståelsen. «Sensemaking» er et flyktig begrep, og det er også den verden aktørene søker å danne en forståelse i. Rammeverket søker å fange aspekter av denne flyktigheten, som aktørers søken etter orden, retroperspektive tolkninger, begrunning og rasjonalisering av hendelser, og hvordan antagelser om underliggende faktorer påvirker tolkninger av situasjoner (Weick, 2001). For å få en helhetlig forståelse av hvordan mennesker kan komme til å handle i ulike situasjoner må man dermed inkludere både menneskelige, tekniske og organisatoriske faktorer i analysen. «Sensemaking» er

også tett knyttet til resiliente systemer (robusthet), og de to konseptene understøtter hverandre (Kilskar et al., 2019). I Figur 3.1, har vi plassert sensemaking som et resultat av utforming (design) og opplæring i en sammenheng med eksisterende organisering, teknologi.


**Figur 3.1: «Sensemaking» påvirkes av design, trening og omgivelser og er prosessen for SA (SMACS, 2020)**

Utilstrekkelig situasjonsforståelse er identifisert fra flere bore-hendelser. En studie som så på SA hos bore-personell i trykktester som ble gjennomført før Macondo-ulykken, fant en sammenheng mellom manglende forståelse av kritiske signaler og utilstrekkelige mentale modeller av hendelsen (Robert et al., 2015). Svikt i forståelsen var relatert til manglende informasjon og misforståelser. Årsakene til utilstrekkelige situasjonsforståelsen knyttes til arbeidsbelastning, arbeidsmiljø, forstyrrende elementer og liten erfaring.
I en annen analyse av borerelaterte ulykkeshendelser ble det funnet at 67% av hendelsene kunne knyttes til oppfatning av elementer i situasjonene (nivå 1 SA). Henholdsvis 20% og 13% av ulykkene kunne knyttes til nåværende situasjon (nivå 2 SA) og fremtidig situasjon (nivå 3 SA), Sneddon et al., (2013). Denne studien fant at spesielt høyt stressnivå og «fatigue» kunne føre til dårligere situasjonsforståelse for bore-personellet.
Granskingsrapporter bør vurdere situasjonsforståelsen som en av flere menneskelige faktorer. For eksempler på metoder som underbygger SA-perspektivet, vises til CIEHF (2020) og AIBN (2019). Ut fra viktigheten av SA under en ulykke, bør granskninger analysere SA, [T5].

Selv om økende grad av automatisering fører til lavere arbeidsmengde, har problemer med situasjons- og systemforståelse oppstått som en følge av automatisering (Borst et al., 2010). Flyulykker har skjedd grunnet piloters manglende forståelse av de autonome systemene (Endsley, 2012). Tvetydig informasjon, uklarheter i intensjoner og lite hensiktsmessig håndtering av uventede hendelser knyttes til mangler ved situasjonsforståelsen. En studie som så på sammenheng mellom automatisering, arbeidsbelastning og situasjonsforståelse i simulerte eksperimenter med flygeledere fant at høy grad av automatisering førte til lang reaksjonstid for flygelederne når det kom til å oppdage konflikter i systemet (Edwards et al., 2017).

Teorien knyttet til situasjonsforståelse, (Endsley, 1995; 2019) og «sensemaking» (Weick, 2001) er en del av MF som kan brukes for å få bedre design og løsninger for automatiserte systemer. Brukerne bør involveres i utvikling for å sjekke ut deres situasjonsforståelse i kritiske operasjoner [T2]. Endsley (2019) har skissert syv prinsipper fra SA som bør hensyntas i utvikling og design av automatiserte systemer [T3]:

- Pålitelighet og resiliens/robusthet er særlig viktig for autonome og tekniske systemer
- Bruker bør alltid ha mulighet for å kunne ta styringen over systemene
- Systemene må være transparente og vise tilstand til de automatiserte systemene til enhver tid
- Opplæring må være tilstrekkelig for å gi forståelse og underbygge tillit
- Unngå å øke kognitiv belastning, arbeidsbelastning og forstyrrende elementer, og gjør oppgaver enkle å gjennomføre.
- Alarmbeskjeder må være utvetydige
- Systemenes brukergrensesnitt må gi støtte til tolkning, styring og vurdering av samtidige alarmer

Endsley (2019) påpeker også at testing og validering av design av brukergrensesnitt er en kritisk del av utvikling, og at dette må inkludere (i) både normale og unormale hendelser, herunder også automatiseringsfeil og gjenvinning, (ii) et representativt utvalgt av brukere som ikke har vært involvert i utviklingen og (iii) test på objektive mål på menneskelig ytelse, som for eksempel hvilke handlinger som gjøres, tidsbruk, arbeidsbelastning og situasjonsforståelse.

Siden boring offshore er en dynamisk aktivitet er det viktig at operatørenes situasjonsforståelse og samarbeid fungerer best mulig. Iversen et al. (2013) gjennomførte en simulering av en delvis automatisert boreoperasjon. De analyserte hvordan uventet oppførsel fra de automatiserte systemene kan føre til «*mode confusion – i.e. when the actual automation mode of a system differs from the user's expectation*», dvs. brukerne forstår ikke hva som foregår i systemet, noe som kan lede til feilhandlinger. Resultatene indikerte at det var en sammenheng mellom graden av automatisering og risiko for feilhandlinger. De påpekte at olje og gassbransjen kan lære fra luftfart som har forsket på problemstillingen.

### 3.1.2 Menneske-maskin grensesnitt (HMI) og alarmer

Selv om automatisering som konsept søker å fjerne mennesket fra prosessen, vil det i de fleste automatiserte løsninger være en forventning om at mennesket skal ha en overvåkende rolle, og dermed skulle kunne gripe inn ved behov. Det er derfor nødvendig å anvende teknologi som legger til rette for at dette kan skje på en hensiktsmessig måte. Dette skjer gjennom menneske-maskin grensesnittet (*Human Machine Interface - HMI*) som operatører bruker for å samhandle med de automatiserte systemene og prosessene. Dette grensesnittet må presentere informasjon på en slik måte at menneskene som skal overvåke systemene har den rette informasjon til å forstå hva som faktisk skjer, presentert til rett tid og på rett plass. Et rammeverk som beskriver interaksjon mellom borere og automasjon i boreprosessen finnes i de Wardt et al., (2016) og Wylie et al., (2018).

Ved utvikling av automatiserte prosesser er det nødvendig å evaluere om man introduserer nye muligheter for feil (Flaspöler et al., 2009). Mange automasjon-menneske grensesnitt gir ikke nok informasjon om statusen til det autonome systemet, og lite tilbakemelding om tilstanden til systemet som skal kontrolleres, Endsley, (2012, 2017, 2019). Eksempelvis kan man miste taktil informasjon om systemene og prosessene når menneskene fjernes fra de fysiske prosessene som vibrasjoner,

lyder og lukter. Systemene kan også gi for mye informasjon, det er derfor viktig å følge prinsipper om meningsfull menneskelig kontroll, og som nevnt av Endsley (2019), for eksempel unngå å øke kognitiv belastning, arbeidsbelastning og forstyrrende elementer.

Erfaringer fra luftfart viser at det er viktig å unngå unødvendig bruk av alarmer, (Endsley, 2019). For mange alarmer kan medføre usikkerhet og utfordringer med å avgrense hva problemet virkelig gjelder. Uhensiktsmessige alarmer er også en kjent problemstilling fra petroleumsnæringen og fra det maritime området. For eksempel har det vært flere hendelser med dynamisk posisjoneringssystemer hvor uhensiktsmessige alarmer har bidratt til ulykker (Dong et al., 2017). Hensiktsmessige alarmer må, i et menneske-automasjons grensesnitt, oppleves ekte og relevante, og operatører må kunne iverksette effektive og gode beslutninger basert på disse (Wylie et al., 2016).

IT/OT-løsninger kan fungere som beslutningsstøtte og hjelpe operatører å identifisere problemer, men det er en utfordrende oppgave å designe slike løsninger for dynamiske systemer i offshore olje- og gassproduksjon (OESI, 2016). I automatisering av bore-operasjoner blir menneske-maskin grensesnittet (HMI) pekt på som en av de viktigste faktorene for suksessfull drift (Wylie et al., 2016). Design og presentasjon av rett informasjon har blitt fremhevet som en viktig årsak til at kritiske signaler blir oppfattet i bore-og brønnoperasjoner (Roberts et al. 2015).

Basert på kunnskap fra automatisering i luftfart oppsummerer Endsley (2017) fire sentrale punkter for hensiktsmessig design av menneske-automasjon grensesnitt og funksjoner:

- HMI må presentere nødvendig informasjon for beslutningstaking
- Informasjonen må være tydelig og presentere tilstanden til systemet, inkludert moder og systemgrenser
- Systemet må gi støtte i overgang mellom moder, og fortelle om det er nødvendig med skifte mellom automatisk eller manuell operasjon
- Systemet må gi informasjon om hva automatikken gjør, for økt forståelse av prosessen og for å kunne forutse fremtidige handlinger

Endsley (2017) peker også på at kompleksitet, involvering og arbeidsbelastning vil ha fundamental innvirkning på interaksjon mellom mennesket og det automatiserte systemet. Kompleksitet vil ofte være en konsekvens av mange funksjoner og moder som legges inn i systemet, og kan føre til uventet oppførsel fra systemet og dertil mangelfulle mentale modeller av systemet hos brukere. Dette vil igjen føre til manglende mulighet til å tolke informasjon og forutse nødvendige handlinger.

Visualisering av komplekse prosesser kan legge til rette for bedre mentale modeller hos bore-personell (Wylie et al., 2016). Når man integrerer flere systemer i automatiserte boreprosesser, må man sørge for at informasjonen fra prosessene presenteres på en forståelig måte for bore-personell. De skal overvåke systemene, men må ikke overbelastes av for mye av informasjon (Thorogood, 2009). Ofte er disse systemene levert av ulike leverandører, og systemene skal både kunne kommunisere med hverandre og presentere koordinert informasjon til operatørene.

I automatisering av boreoperasjoner er det utviklet noen løsninger som kan understøtte samspillet mellom borepersonell og de tekniske systemene, for eksempel automatiserte prosedyresystemer (Dashevskiy et al. 2020) og beslutningsstøtte i utregninger av posisjoner i retningsboring (Chmela et al. 2020). Utvikling av teknologi til beslutningsstøtte kan føre til bedre situasjonsforståelse og

bedre interaksjon mellom menneske og automasjon, men det er nødvendig at også disse systemene blir utviklet basert på metoder som tar hensyn til menneskelige faktorer [T3]. Teknologien bør bli utviklet i medvirkning med brukere [T2] og man må sørge for at testing og validering blir gjennomført.

Det forskes også på dynamiske metoder for tilpasning av automatiserte systemer. For luftfart har man undersøkt muligheten for å bruke «*eye-tracking*» for å identifisere situasjoner der øyebevegelsene tilsa at pilotene opplevde "*automation surprise*" – dvs. at piloten ikke forstår informasjonen som automatiseringen gir (Dehais et al. 2015). Også bruk av nevrofysiologiske signaler har blitt brukt for å tilpasse automatikken til stressnivået til operatørene. Et forsknings-prosjekt på adaptiv automasjon brukte stress-signaler fra kontrolltårns-operatører for å aktivere et forenklet brukergrensesnitt og redusere alarmer når operatørene opplevde kognitiv overbelastning (Aricò, 2016). Teknikken må imidlertid brukes med omhu, men kan være et viktig verktøy når systemer designes for å understøtte meningsfull menneskelig kontroll [T3].

### 3.1.3 Distribuerte organisasjoner

Distribuerte organisasjoner er relevant i flere sammenhenger i tilknytning til automatisert boring. Operasjon og drift av olje-og gassinstallasjoner er i stor grad distribuerte eller sammensatte med ulike aktører og underleverandører involvert i operasjoner som operatører, kontraktører, rigg-eiere, og ulike serviceleverandører. Det er også en utvikling mot integrerte operasjoner internt i operatørselskaper der flere funksjoner flyttes til land. Generelt vil det sammensatte aktørbildet i operasjoner og prosjekter føre til flere utfordring, særlig knyttet til kommunikasjon, uklarheter i roller og ansvar, felles forståelse for måloppnåelse, integrasjon av systemer og data fra flere leverandører, og utfordringer knyttet til datasikkerhet. I utvikling av ny teknologi for denne bransjen er det derfor særlig viktig at man legger til rette for samarbeid og kommunikasjon mellom de nødvendige aktørene, at brukerperspektivet blir ivaretatt fra start, og at alle leverandører har samme forståelse for måloppnåelse i prosjektet (de Wardt, 2016). For eksempel bør det være enighet om at den automatiserte teknologien skal forbedre sikkerhet og operasjonell ytelse, og at automatisering i seg selv ikke er et selvstendig mål.

Eksperter på menneskelige faktorer involvert i utviklingsprosjekter kan også sette søkelys på vanlige utfordringer i interorganisatorisk samarbeid og kompleksitet som for eksempel uklarheter i roller og ansvar, og manglende kommunikasjon (Milch og Laumann, 2016). I en studie av Sætren og Laumann (2014) fulgte forskerne et prosjekt som utviklet og implementerte automatisert boring, for å se på aksept for den nye teknologien blant bore-personell. I denne studien konkluderer forfatterne med at det kunne være et for høy tillit for den nye teknologien, noe som førte til lav risikooppfatning og bevissthet rundt mulige utfordringer. Bore-personell stolte i høy grad på at de fikk tilstrekkelig informasjon fra utviklerne. I en tilknyttet studie fant imidlertid forskerne at utviklerne hadde lav forståelse for hvem sluttbrukerne var før implementering og testing av teknologien (Sætren et al., 2016). Dette skyldtes utilstrekkelig koordinering av informasjon knyttet til menneskelige faktorer i utvikling av teknologien og prioritering av den tekniske delen av sikkerhet i motsetning til for eksempel brukervennlighet. Dette ledet til økte kostnader, lav brukervennlighet, og dårlig brukerforståelse av risikoer og sikker bruk av systemet.

Samarbeid under utvikling og testing av automatiserte systemer mellom leverandører av utstyr og operatørene, og involvering av brukere er altså en viktig forutsetning for sikker utvikling av

programvare [T2]. For å kunne ivareta dette perspektivet når det er motstridende målsetninger i utvikling av ny teknologi (for eksempel mellom effektivitet og brukerens muligheter og forutsetninger for å forstå automatisert teknologi) kan det være nødvendig å ha eksperter på menneskelige faktorer involvert i prosjektene i hele gjennomføringen [T1] (Sætren og Laumann, 2015).

### 3.1.4 Organisatoriske forhold ved innføring av ny teknologi

Med ny teknologi vil organisering av arbeid og menneskets rolle endres. Løsninger for automatiserte boreoperasjoner innebærer at færre personer kreves for å gjennomføre operasjonene, og det vil være endrede arbeidsoppgaver. Det vil være nødvendig å undersøke hvordan disse arbeidsoppgavene utformes slik at de tar hensyn til menneskets muligheter og begrensninger. I luftfart har man funnet at systemene som i utgangspunktet oppfattes å være "nesten helt trygge" likevel utfordrer de organisatoriske grensene og praksis når autonome systemer innføres (Oliver et al., 2017). Det er i ukjente og uventede situasjonene problemer med automasjon oppstår. Dette må håndteres også på et menneskesentrert nivå og på et organisatorisk nivå med samspill mellom flere aktører, ikke bare gjennom teknologiutvikling. Det er derfor viktig å tillate iterativ utvikling hvor man innfører endringer gradvis og lærer på flere nivå [T2].

Opplæring, tillit til endringsprosessen og teknologien er organisatoriske faktorer som er viktig å ta hensyn til i forbindelse med innføring av automatiserte og autonome systemer.

Antagelsene og planer som ligger til grunn for nye arbeidsprosesser må være i samsvar med kompetansen og forventninger til brukerne, noe som kan ivaretas med brukersentrert utvikling og trinnvis innføring av ny teknologi. Tilrettelegging for god læring i organisasjoner er viktig for å unngå uønskede hendelser. Iversen et al. (2013) fant i en studie som benyttet simuleringer av et automatisert boresystem at det kan være en fordel med kunnskap hos bore-personell som går utover den kunnskap som er vanlig i dag. De anslår at det vil være nødvendig med mer dyptgripende teoretisk og praktisk opplæring og kompetanse om nedihulls-fenomener, og forståelse for design og drift av autonome kontrollsystemer.

Når bore-personell ikke lengre manuelt deltar i bore-operasjoner kan kunnskap om operasjonene forvitre. Dette kan motvirkes med gode og oversiktlige menneske-maskin grensesnitt. Misforståelser og forventningsfeil kan knyttes til utforming av prosedyrer, overlevering av informasjon mellom individer og team. Opplæring som bygger på situasjonsforståelse og menneskelige faktorer kan gi bedre samhandling (Antonovsky et al. 2014). Opplæring i slike ikke-tekniske faktorer via Crew Resource Management (CRM)-opplæring vil være relevant for godt samarbeid mellom operatørene. CRM-opplæring er prioritert fra oljebransjen (IOGP, IWCF) maritim industri, luftfart og offshore helikopter, se også Johnsen (2013).

### 3.1.5 MTO-perspektiver i utvikling

Prioritering av effektivisering kan føre til et overfokus på teknologiutvikling uten at sikkerhet blir tilstrekkelig tatt vare på. Det kan være utfordringer med å bruke MF når kunnskapsnivået er lavt og budsjettet er knapt, og et av de viktigste tiltakene for å få tilstrekkelig oppmerksomhet på MF er krav og oppfølging i regelverket (HSE, 2015), men også bransjen selv må følge opp MF.

For tilstrekkelig inkludering av MF er det viktig å se sikkerhet i et perspektiv som setter forståelse av operasjonelle betingelser, teknologiske forutsetninger og den enkelte operatørs oppgaver i sammenheng. Det er ikke nok å fokusere på et av disse elementene da det er i interaksjon mellom de ulike aktører og funksjoner man kan legge til rette for sikkert arbeid. Dette er også et grunnleggende prinsipp i barrierestyring hvor samspillet mellom tekniske, organisatoriske og operasjonelle barriere elementer skal kunne ivareta barrierefunksjoner (Ptil, 2017). Barrierene skal, ifølge Styringsforskriften §5, benyttes for å oppdage tilløp til hendelser, hindre utvikling av et hendelsesforløp og begrense skader. Innføring av automatiserte systemer vil påvirke barrierefunksjoner og elementer, for eksempel vil noen barrierefunksjoner flyttes fra arbeidsprosesser utført av mennesket til IT/OT-systemer. Dette innebærer endringer i utforminger av barrieresystemene og ansvarsfordeling. Barriere-perspektivet vil kunne hjelpe å analysere hvorvidt barrierefunksjoner svekkes eller styrkes i denne endringen, og om verdiene man vil beskytte (menneske, miljø, utstyr) blir mer eller mindre sårbare etter implementering av automatiserte systemer.

Systemteori er et annet helhetlig perspektiv som brukes av sikkerhetseksperter, og flere fareanalysemetoder er utviklet basert på dette perspektivet. Systemteori er basert på at man ikke kan isolere og analysere kun enkelte deler av systemet uten å miste forståelsen for hvordan systemet oppfører seg når de ulike aktørene og komponentene samvirker. Eksempelvis bruker Systems-Theoretic Accident Model and Process (STAMP) dette perspektivet (Leveson, 2011). Fareanalysemetoden Systems Theoretic Process Analysis (STPA) og granskningsmetoden Causal Analysis based on Systems Theory (CAST) er basert på STAMP (Leveson, 2011, 2019). STPA har blant annet blitt demonstrert i utvikling av autonome systemer som robotiserte løsninger brukt i romfart (Leveson, 2011) og autonome skip (Wróbel et al. 2017). Eksempler på bruk i risikovurderinger sammenliknet med andre metoder for autonome skip, er diskutert i Nilsen et al. (2018) og Torkildson et al. (2019). CAST avdekker sammenhenger og samspill mellom teknologi og menneskelige kontrollmuligheter, se f.eks. Leveson (2016) – «CAST Analysis of the Shell Moerdijk Accident».

CIEHF (2020) gir en oppdatert oversikt over metoder brukt innen MF for å lære fra uhell. Der er også "Human Factors Analysis and Classification System (HFACS)" trukket frem. HFACS er et rammeverk for analyse av menneskelige feilhandlinger basert på Reasons modell om latente og aktive feil (Reason, 1990; Wiegmann og Shapell, 2001). Rammeverket ble opprinnelig utviklet for det amerikanske forsvaret for analyse av luftfartsulykker, og har blitt brukt til å analysere ulykker i sivil luftfart (Wiegmann og Shapell, 2001), og i andre bransjer. Organisatorisk påvirkning, forutsetninger for handlinger og analyse av de aktuelle handlingene inngår som en del av HFACS. Metoden støtter MF perspektivet i granskinger [T5], sammen med de som nevnes i CIEHF (2020).

«Resilience Engineering (RE)» er en tilnærming som analyserer evnen til å håndtere det uventede i et dynamisk system, og hvordan man kan gå til en sikker tilstand ved hjelp av et helhetlig MTO perspektiv (Hollnagel, 2006). Denne tilnærmingen forsøker å lære av det som går bra og fungerer, og kaller det Safety-2 (for å utfylle Safety-1 perspektivet som baserer seg på å lære av det som går galt). RE vurderer de dynamiske sider ved ulike aktører, teknologi, organisasjoner og kan benyttes for å undersøke hvordan variasjoner kan representere både muligheter, men også utfordringer ved innføring av automatisering. RE har blitt utbredt på tekniske områder som programvareutvikling for å sikre robuste systemer. RE/Resiliens har fått stor utbredelse på overordnet nivå i FN og EU, (Pęciłło, 2016). RE kan også bidra med prinsipper inn i utvikling av AI systemer for å få til bedre

kontroll og sikkerhet. Eksempel på det er å bruke prinsippet om «reduksjon av kompleksitet», ved å dele inn i flere komponenter. Flere AI-komponenter som håndterer enkle funksjoner kan gjør at det kan bli lettere å forstå og kontroller, framfor å ha et helintegrert AI system.
En litteratur-gjennomgang av status for autonome systemer i 2020 («state of the art»), påpekte fire utfordringer med automasjon: 1) tilgang på pålitelige og robuste systemer, 2) grensesnitt mot menneskelige aktører, 3) behov for AI som støtter robusthet og sikkerhet og 4) pålitelighet i ustrukturerte omgivelser, (Johnsen & Kilskar, 2020).

En har observert at automatiserte systemer ofte har liten toleranse for feil eller det uventede i omgivelsene. Det kan skyldes at de har sensorer som ikke fanger all informasjon eller at systemene/automatikken ikke forstår nye situasjoner. Det har derfor blitt økt oppmerksomhet på prinsipper fra «Resilience Engineering» som kan brukes for å lage mer robuste automatiserte systemer [T3b].

Kvalitetssikring av utviklingsløpet trengs, spesielt knyttet til menneskelige faktorer under design og drift.  CRIOP (2011) en ofte brukt metode for å gjennomføre uavhengig kvalitetssikring (Aas & Skramstad 2010). CRIOP er en MTO metode som bidrar til verifisering og validering av muligheten til sikker kontroll og drift av kontrollsystemer og kontrollrom, basert på utviklingsmetoden ISO 11064 og barriereperspektivet. En viktig del av CRIOP er en kvalitetssikring av dokumenter som oppgaveanalyser, arbeidsbelastnings-analyser, arbeidsmiljø/ergonomi, kvalitet av alarmer og HMI. Metoden bør benyttes tidlig, under avklaring og detaljert design i tillegg til bruk under drift. Når metoden benyttes tidlig, gjør det at mangelfull design kan rettes opp så tidlig og billig som mulig.

Andre metoder og tilnærminger som bør inngå i analyse av menneskelige faktorer i automatisering av boreoperasjoner er identifisert i «Drilling Systems Automation Roadmap Report» (DSA Roadmap, 2019). Det er:

- Oppgaveanalyse (med gjennomgang av arbeidsoppgaver og kognitiv forståelse) for å bestemme prioriterte områder for automatisering
- Planlegging av optimal arbeidsbelastning og brukeranalyse
- Utforming av styringssystemer, informasjonsskjermer og visualiseringsverktøy for best mulig situasjonsforståelse
- Planlegging for å motvirke oppmerksomhetssvikt ("complacency")
- Håndtering av redusert kunnskap om den automatiserte prosessen hos bore-personell ved å innpasse nødvendig informasjon i HMI
- Håndtering av bore-personells tillit til systemet relatert til statusmeldinger, alarmer og systemets pålitelighet
- Kommunikasjon av usikkerheter og hensikter i automatisering til borepersonell for å legge til rette for gode mentale modeller av prosessen

Teorien vi har identifisert gir klar støtte til viktigheten av økt kunnskap om menneskelige faktorer [T1], viktigheten av avgrensning av hva som automatiseres [T3a], viktigheten av brukersentrert utforming [T2] viktigheten av meningsfull menneskelig kontroll [T3] og god praksis for granskinger.

## 3.2 Automatiserte løsninger innen transport med overføringsverdi

I det følgende har vi dokumentert erfaring fra bruk av automatiserte løsninger på sjø, luft, veg og bane som har relevans og overføringsverdi til petroleumssektoren og boring og brønn. Det er alle områder som har erfaring med automatisering, de prioriterer sikkerhet. Spesielt luftfart har bygd ut fagområdet MF med god praksis.

Vi har listet opp erfaringer fra transportdomenene i hovedsak fra perioden 1980 til 2020. I avslutningen oppsummerer vi erfaringer som har overføringsverdi til automatisering av boring og brønn.

### 3.2.1 Ubemannet Metro

Ubemannet Metro har vært operativt siden 1980. 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. Relatert til sikkerhet kan nevnes:

- Ingen kjente ulykker eller alvorlige HMS hendelser fra de har vært operative siden 1980 til 2020
- Operasjonsområdet har vært avgrenset. Banespor har vært isolert fra annen trafikk – så banen går på reserverte spor. Det er fysiske stengsler mot sporet og doble dører for å hindre at trafikanter kommer i sporet eller setter seg fast
- Sentralt kontrollrom med kontinuerlig bemanning under drift, med overvåking av all trafikk og avvikshåndtering
- 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 omforente taksonomier for datarapportering knyttet til mindre hendelser

Erfaring som kan overføres, er behovet for å definere operasjonsområde slik at risikoen blir så liten som mulig, etablere barrierer og beskyttelser som hindrer uønskede hendelser samt å sikre at det er kontrollrom eller aktører som kan gripe inn når det uventede skjer.

### 3.2.2 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. Mht. sikkerhet kan nevnes:

- Ingen kjente ulykker i perioden fra 2008/2009 til 2020
- Transportområdet er i hovedsak lagt til en egen kjelleretasje, men AGVene tar også heisen opp til bestemte hentesoner. Bevegelsesområde for AGVene er delvis isolert fra annen trafikk
- Sensorene på AVG har ikke klar forståelse av egne dimensjoner og har begrenset synsområde. De kan ikke alltid oppdage eller se objekter eller annen trafikk, for eksempel sykler, paller eller gaffeltrucker. Problemet med gaffeltrucker er at det er høyt mellomrom mellom undersiden av gaflene og bakken, noe som gjør at sensorene ikke ”ser” trucken
- Det har vært søkelys på læring og etablering av barrierer for å redusere uønskede hendelser– eksempler på barriere er at man setter "skjørt" under gaffeltrucker så de ses av sensoren på AGVene
- AGVene kommuniserer, de «snakker», dvs. de sier ifra om at de kommer, slik at gående og andre trafikanter kan ta hensyn, noe som påvirker tilliten til systemene og minsker fremmedgjøringen

- Det er etablert et sentralt kontrollrom med kontinuerlig bemanning under drift (2 personer), med overvåking av all trafikk og avvikshåndtering
- Det er manglende systematisk datarapportering og dokumentasjon av mindre hendelser – ingen taksonomier for datarapportering, utfordringer med å få oversikt pga. manglende datafangst

Erfaringen fra autonome systemer med bl.a. trafikk på regulære veier er samlet inn av flere aktører og har økt kunnskapen om autonome systemer, som listet opp i det følgende:

- Google Cars har samlet data fra 2008. Google Cars hadde fra 2009-2015 kjørt 2208199 km – ulykkes-raten er 1.36 pr. million km, ca. 1/3 av tilsvarende for bemannet trafikk (Teoh et al. 2017). Dette illustrerer viktigheten av datarapportering for å kunne si noe om risikonivået. Innføring av mer autonomi indikerer at det er mulig med reduksjon av ulykkes-raten. 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 kan settes i verk for å øke sikkerheten, ny teknologi som autonomi gir ikke i seg selv høyere sikkerhet – det må støttes av flere tiltak
- Det har vært usikkert om implementering av automatiserte løsninger innen kritiske områder har økt sikkerheten, som eksempel vises til rapporten fra QCS (2019) knyttet til at Tesla innførte automatisert støtte av styring – via «Autosteer Driver Assistance System». De første rapportene indikerte at autopilot (Autosteer) gir 40% reduksjon i ulykker, mens en grundigere analyse av dataene indikerte at aktiveringen av Autosteer økte kollisjonsraten med 59%. Det er derfor viktig å ha god uavhengig datarapportering som er kvalitetssikret
- Bilprodusenten Tesla har installert delvis automatiserte funksjoner i deres biler. Data for bruken samles inn av Tesla og brukes til utvikling og læring for å få sikrere og bedre systemer. Dette er brukertesting satt i system, noe som kan lede til en positiv utvikling på sikt
- Det har dukket opp nye typer ulykker – "rage against the machine" hvor andre bilister kolliderer med autonome biler fordi de ikke oppfører seg som forventet (Teho et al. 2017)
- Det er etablert delvis datarapportering og dokumentasjon av hendelser fra myndighetene i USA (NTSB – National Transportation Safety Board). Det er gjort i Norge i forbindelse med pilotprosjekter for utprøving av autonome busser og autonome biler. Erfaringene indikerer at autonome løsninger krever økte investeringer i infrastruktur for å sikre at det autonome kjøretøyet får støtte for å unngå kollisjoner
- 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 knyttet til å ta over kontrollen slik det er designet i dag (Eriksson et al., 2017)
- Autonom gruvetransport har vært operativ siden 2008, med god HMS erfaring. Det er pågående pilotprosjekter i Norge med god erfaring fra drift i 2019, se www.hfc.sintef.no møte mai, 2019 om Brønnøy Kalk
- 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. Det er en generell forventning om at det tar lengre tid. Ekspertvurderinger er at det tar 10 år før systemene har kommet på et slikt nivå at de kan levere full autonomi (Wozniak, 2019; CNBC, 2019). Derfor er det nødvendig med avgrensninger i operasjonsområdet og utbygging av støttende infrastruktur for å kunne utnytte autonome kjøretøy og autonome løsninger.

Erfaring som kan overføres til andre områder er:

- Avgrense operasjonsområde slik at risikoen blir så liten som mulig og bygge ut og tilpasse infrastruktur til autonome operasjoner

- Kvaliteten på sensorer og systemer er under utvikling – feiltolkning skjer, så systemene bør være mer robuste (f.eks. redundante) og man bør etablere barrierer som hindrer uønskede hendelser
- Autonome systemer kan svikte, derfor må man sørge for at det er kontrollrom eller aktører som kan gripe inn når det uventede skjer
- Etablere systemer for datarapportering og læring av nye hendelser
- Sikkerheten økes ikke bare av teknologien, men av en helhetlig MTO tilnærming

### 3.2.3 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 3 test-områder for autonome skip i Norge i 2020. Tidligere var det 6 test-områder totalt på verdensbasis, men dette har økt vesentlig i løpet av 2020. Av interessante pilotprosjekter kan nevnes Yara Birkeland som skal være operativ fra 2021. Skipet er på 75 meter og vil frakte 150 kontainere, 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 ombord 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 fraktefartøyene skal ha plass til 16 semitrailere. Anslåtte utslippsbesparelser på 5.000 tonn $CO_2$. Samtidig spares veiene for to millioner kjørte kilometer i året.
I Trondheim er det planlagt en pilot, AutoFerry, som er en ubemannet ferje med tilkopling til kontrollsentral som vil operere lokalt fra 2021, etter at en pilotferje har vært testet i 2020. Det er lite erfaring fra større autonome skip, men noe erfaring fra ubemannede ferjer hvor det har vært noen ulykker knyttet til overbelastning.

Det er en del erfaring med mindre autonome overflateskip brukt f.eks. til kartlegging og 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. DNV–GL har gjennomført en risikovurdering av autonome skip for EMSA – European Maritime Safety Agency, hvor problemstillinger som manglende alarmer, sensorsvikt og «out of the loop» problemer ble trukket frem som mulige risiko-områder. Foreslåtte tiltak var bl.a. bedre alarmer, prioritering av robusthet (resilience), økt oppmerksomhet på HMI grensesnitt, og økt bruk av verifikasjon og validering, (DNV-GL, 2020).

ROVer har vært brukt lenge innen petroleumssektoren, og det er laget standard for bruken NORSOK U-102 (2003). Vi har ikke funnet systematiske oversikter over ROV hendelser, noe er rapportert av IMCA (The International Marine Contractors Association). Det har vært enkelthendelser med brudd i kabel som har styrt/holdt oppe ROV, og det har vært påpekt manglende formelle metoder for risikovurderinger ved bruk av ROVer.

Ut fra den begrensede erfaringen med autonome/automatiserte skip er det tidlig å komme med erfaring som kan overføres. Noen læringspunkter er å:

- Definere operasjonsområder slik at risikoen blir så liten som mulig, og å bygge ut og tilpasse infrastruktur til autonome operasjoner
- Det må planlegges for at autonome systemer kan svikte og da sørge for at det er kontrollrom eller aktører som kan gripe inn når det uventede skjer
- For drift bør man etablere gode alarmer og godt HMI som bidrar til bedre situasjonsforståelse
- Det bør etableres systemer for datarapportering og læring fra nye hendelser
- Risiko må vurderes og håndteres når det kan ta tid før menneskelige aktører å gripe inn. Eksempler er grunnstøting, brann eller kollisjoner,

### 3.2.4 Autonomi innen luftfart – bemannet luftfart og fjernstyrte droner

**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 og persontransport i fly er den tryggeste transportformen. Flyselskapene innen International Air Transport Association (IATA) hadde ingen store ulykker («hull losses») i 2012 eller i 2017. Automatiseringen innen luftfart har vært gjennomført gradvis med støtte av systematisk forskning innen MF, og må karakteriseres som vellykket ut fra et sikkerhetsperspektiv.

Grunnen til det høye sikkerhetsnivået skyldes godt utbygd infrastruktur, systematisk datarapportering, kontrollsentraler, standardiserte fly, omfattende regelverk, prioritering av HF-metoder, grundig testing og sertifisering, systematisk opplæring og god læring etter ulykker. Det er imidlertid fremdeles behov for menneskelig inngripen og det har oppstått utfordringer med å etablere situasjonsforståelse i forbindelse med avvik, når pilotene har vært «out of the loop» og så skal komme inn igjen.

**Ubemannet – UAS-Unmanned Aircraft Systems – styring fra kontrollsenter**
UAS har vært operativ siden 1970 for overvåkningsformål. Det er samlet inn data fra store (industrielle) droner via Department of Defense (DoD). Analysene av innsamlede data fra Waraich et al. (2013) og Hobbes et al. (2014) viser:

- **Det er ca. 100 ganger høyere ulykkes-rate 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 kunnskap om MF.
- **Det er ca. 100 ganger høyere feilrate med UAS enn med «vanlige» fly.** Feilraten – uttrykt ved tid mellom feil (”Mean Time Between Failures”) har vært kort 1000 timer mens den er ca. 100 000 timer for bemannede fly, dvs. feilraten er vesentlig dårligere for droner, Petritoli et al. (2017).

Sikring (security) er umodent når det gjelder UAS. Det er foretatt kartlegginger av uønskede hendelser (Valente, 2017; Altawy et al., 2016). Det som kan skje er at andre aktører kan ta over kontrollen av en fjernstyrt drone og få den til å lande eller styrte og bli ødelagt. Det er lav terskel for å ta over datakommunikasjonen slik at du får tilgang til data som sendes mellom dronen og operatøren. Siden UAS er fjernstyrte kan de uten større risiko for droneoperatøren brukes til å ødelegge produksjonsutstyr ved at de styrter eller frakter eksplosiver (eller flammekastere – noe

som er tilleggsutstyr for noen droner). Angrepet på Saudi Arabia i 2019, reduserte oljeproduksjonen i verden med 5% i to uker, SaudiArabia (2019), Singh (2019).

Regulær flytrafikk har også blitt forstyrret av droner/UAS. Et ofte sitert eksempel er det som skjedde på Gatwick Airport 19.-21. desember 2018. Da var det forstyrrelser av flytrafikk ved at droner opererte i nærheten av flyplassen. Det påvirket mer enn 140 000 passasjerer og over 1000 flygninger (Gatwick, 2018). Økt bruk av droner og autonome løsninger betyr at tersklene for intenderte hendelser blir lavere og at det blir økt behov for vurdering og sikring rundt sårbar infrastruktur som f.eks. olje og gass anlegg og flyplasser.

Erfaring som kan overføres til andre områder er:

- sikkerhetsnivået blitt ekstremt høyt ved at automatisering er gradvis innført. Personell er redusert, men pilotene har fått en viktig rolle med å håndtere det uventede og komplekse.
- prioritering av MF
- godt utbygd infrastruktur med kontrollsentraler bemannet 24 timer 7 dager i uka
- systematisk datarapportering,
- omfattende regelverk med prioritering av grundig testing og sertifisering,
- systematisk opplæring og god læring etter ulykker.

## 3.3 Autonome løsninger i offshore boring og brønn

I boring er det utstrakt bruk av landbaserte operasjonssentre som i varierende grad styrer aktiviteten i forbindelse med boreoperasjoner. Avanserte verktøy brukes for å styre utstyr fra operasjonssentre langt unna riggen. Over de siste tiårene har stadig flere og mer sofistikerte løsninger for automatisert boring og håndtering av boreutstyr blitt innført, og dette har gradvis endret de tradisjonelle arbeidsoppgavene fra manuell operasjon av maskineri til databaserte løsninger (Ciavarelli, 2016). Det er flere grunner til at boring er et spesielt velegnet område for utvikling og bruk av automatiserte løsninger (Godhavn, 2011):

- Automatisering gir mulighet for å bore mer utfordrende brønner og i formasjoner der det tidligere ikke har vært mulig å bore i.
- Boring har potensiale (i forhold til effektivisering) for mer robotisering og automatisering fordi det er i varierende grad modernisert sammenlignet med andre industrier
- Boring innebærer bruk av tungt maskineri for å håndtere rør og annet utstyr. Ved økt bruk av robotisering og fjernstyring kan mennesker fjernes fra farefull eksponering.
- Boring innebærer alltid en viss risiko og feil/uhell kan få enorme konsekvenser både for menneske, miljø, involverte organisasjoner og utstyr. Ved økt bruk av robotisering og fjernstyring kan mennesker fjernes fra farefull eksponering fra slike hendelser.

Basert på Godhavn (2011) kan de automatiserte løsningene for boring grovt deles inn følgende områder, hvor hvert område har varierende grad at autonomi, som behandles i det følgende:

1) Offline modeller
2) Datainfrastruktur og kvalitetssikring
3) Maskinhåndtering
4) Økt grad av automatisering
5) Automatisert boring
6) Automatisert slamhåndtering
7) Automatisert brønnkontroll

### 3.3.1 Offline modeller

Boring er en kompleks operasjon hvor bruk av modeller er utbredt. Modeller brukes for å simulere hele eller deler av utstyret og prosessen. Dette kan brukes offline for testing av utstyr og prosesser, for planlegging og opplæring før en operasjon eller før neste steg i en operasjon. Eksempler på bruk er blant annet valg av slamegenskaper eller planlegging av hvordan brønnen skal bores.

En utfordring med bruk av modeller, er at den er en forenkling av virkeligheten. En modell vil aldri kunne gjenspeile virkeligheten fullstendig, og det er vanskelig å sikre at alle parametere er hensyntatt. Selv for nøyaktige og komplekse modeller med god parameter-tilpasning vil endringer i driftsbetingelser og forhold under selve boreprosessen føre til unøyaktigheter i modellen. Slike tilpasninger blir ofte ikke godt nok ivaretatt under bruk. Det vil alltid også være en avveining mellom kompleksiteten til modellen på den ene siden og krav til ytelse på den andre. Det er derfor viktig å involvere brukere med detaljkunnskap om de prosessene som skal modelleres i hele utviklingsløpet og sørge for at modellene testes før de tas i bruk. Dette bør ivaretas via brukersentrert utvikling [T2].

### 3.3.2 Datainfrastruktur og kvalitetssikring

For å kunne bruke automatiserte boreløsninger vil det sette større krav til bruk av sensorer, datakvalitet, pålitelighet og datakommunikasjon (Godhavn, 2011). Ofte er data lagret hos de aktørene som tilbyr ulike tjenester, for eksempel retningsboring, slamhåndtering, sementering, brønnverktøyshåndtering og noen ganger også andre tjenester som MPD (*managed pressurised drilling*) og sirkuleringssystem. Dette fører til utfordringer for felles tilgang til og kvalitetssikring av data, noe som også har ført til at operatørene i større grad har startet initiativer for å adressere problemene ved hjelp av integrerte plattformer.

Sensorer tilbys av ulike leverandører, og data fra disse må kvalitetssikres og sammenstilles på en fornuftig måte slik at man kan bygge tillit til dataene. En må også sikre at dataegenskaper som integritet, kompletthet, konsistens, tilgjengelighet, punktlighet etc. ivaretas for å sikre at systemene opereres på en sikker måte (Data Safety Guidance Version 3.2, 2020). Forsinkelser i tid og rom mellom verktøy i brønnen og modeller er en av de mest utfordrende aspektene i automatisert boring, ifølge (Sugiura 2015). Med lav båndbredde er det utfordrende å bruke modellene i sann tid (f.eks. for overføring av data fra borekronen opptil overflaten). En ser nå en utvikling mot at det introduseres og kommersialiseres «*wired pipe*», som vil gi sanntids data fra brønnen under boring, Equinor (2018). Dette vil kunne løse noen av utfordringene knyttet til tidsforsinkelse og lav båndbredde.

Introduksjonen av teknologi som 5G kan gi større muligheter for datainnsamling fra mange komponenter som kan gi økt støtte til overvåkning, optimalisering og fjerndrift. Etter hvert som verden digitaliseres og gjøres "smartere", settes det større krav til datainfrastruktur. Store datamengder leder til behov for effektiv tilgang og akseptable responstider. Data må distribueres og deles ikke bare mellom installasjonen og eventuelle operasjonssenter på land, men også mellom et komplekst økosystem av ingeniørselskaper, utstyrs- og borevæskeleverandører, bore- og vedlikeholds-firma og konsulenter som bidrar. Datadelingen fører til nye utfordringer knyttet til å ivareta data-sikkerheten mellom de ulike aktørene og mellom OT og IT systemer. Denne delingen fordrer at man har utført sikkerhetsanalyser og har gode systemer og prosedyrer som ivaretar sikring

og sikkerhet mellom alle aktørene i økosystemet som beskrevet. Denne integrasjonen av systemer må håndteres både via tekniske, organisatoriske og MF tiltak som skissert i [T3c].

### 3.3.3 Maskinhåndtering

Boring innebærer bruk av tungt maskineri for håndtering av rør og rørformede komponenter. Utviklingen er kommet langt med hensyn på robotisering på boredekk, hvor det per i dag fins både semi- og full-automatiserte systemer for håndtering av rør. I slike system inngår gjerne flere roboter; f.eks. boredekksrobot for flytting av rør og utstyr på dekk, pipe handler for sammensetting av rør, «*iron roughneck*» for gjengeforbindelser og elevator for heving og senkning av rør. Utstyret som håndteres er tungt og det er tidvis store krefter i sving, og fjernstyring og automatisering gir mulighet for å eliminere det meste av tilstedeværelse av mennesker på boredekk som igjen bidrar til økt sikkerhet. Imidlertid er det fortsatt noen komplekse operasjoner hvor manuelt arbeid er nødvendig, for eksempel reparasjoner og flytting av mindre deler. Det settes store krav til synkronisering av maskinene, både med tanke på fart og plassering, samt åpning og lukking av endeverktøy, og dette kan være en utfordring å forutse og programmere for alle mulige situasjoner. I følge Flemisch (2012), er det viktig at automatisering sentreres om å oppnå den mest effektive balansen mellom menneske og maskiner. I et slikt miljø med tungt maskineri vil det være mye å hente på å fjerne mennesket fysisk fra prosessen, gitt at fjernstyringen kan håndteres på en sikker og effektiv måte.

Med økt grad av fjernstyring foregår mer av styringen via skjermer framfor fysisk overvåkning. Enkelte steder planlegges det å flytte bore-kabinen bort fra boredekk. Da blir det viktig å ha systemer som gir god oversikt – og man må kunne beholde oversiktsbildet av prosessen når man ser bare på skjerm. Ved økt grad av automatisering, som skissert med LOA, vil borer kunne få en rolle som innebærer mer overvåkning enn aktiv styring. (Dvs strategisk overvåkning og bekrefting av sekvenser av operasjoner.) Det kan utløse utfordringer knyttet til eierskap og kunnskap om prosessen. Hvis man får en hendelse hvor systemet feiler og det kreves at borer griper inn enten for å rette feil eller for å få prosessen i gang igjen manuelt, kan det være problematisk dersom borer ikke har kompetansen eller forståelsen for hva som kreves. Dette vil spesielt være et problem der man har et system som har fungert godt over lang tid og man etter hvert stoler så blindt på systemet at man ikke ser behov for å forstå de bakenforliggende prosessene eller ikke har trening i å gjøre jobben manuelt. Det er derfor viktig at brukerne involveres i utvikling [T2], og at systemene utformes for å ivareta meningsfull menneskelig kontroll [T3].

### 3.3.4 Økt grad av automatisering

Diskusjonen videre og beskrivelse av eksempelprosjektene (Case 1 og 2 i avsnittet om «Innsamlede erfaringer») illustrerer hvordan det jobbes med fjernstyring og automatisering av deler av boreprosessen. Dette gir et bilde av hva sentrale aktører ser som realistisk på relativt kort sikt. En detaljert analyse av om hvorvidt fullt ut automatiserte boreoperasjoner er teknisk, sikkerhetsmessig og økonomisk mulig er utenfor rammene av denne rapporten. Vi ser ingen konkrete tekniske hindringer for å oppnå dette, men økende kompleksitet og sårbarhet vil gi utfordringer som krever løpende læring, og brukerne/operatørene må være med, det må settes av nok tid og det må lages en stegvis prosess mot dette målet. Vi ser det også som nødvendig både å videreutvikle og oppgradere hardware, algoritmer, sensorer og dataoverføringssystemer. Detaljer er avhengig av case, men vi ser for oss at spesielt i krevende brønner vil automatisering kreve mer nøyaktige og pålitelige målinger av det som skjer nede i brønnen, med en kombinasjon av bedre datakvalitet og bedre algoritmer for

håndtering av gjenværende mangler i datakvalitet. Vi har derfor foreslått videre arbeid innen dette området, [V7].

### 3.3.5 Automatisert boring

Offline modellene kan brukes i sann tid under operasjonen med direkte kobling til kontrollsystemene som styrer eller overvåker boreoperasjonen. Et eksempel er automatisert retningsboring hvor man borer ikke-vertikale brønner. Dette innebærer boring langs en planlagt bane mot et bestemt mål. Her fins det løsninger som innebærer avanserte modeller hvor vinkler beregnes og sendes ned til en lokal regulator som bruker tilbakekobling fra ulike sensorer for å oppnå ønsket borevinkel (Matheus and Naganathan, 2010). Det er også flere andre eksempler på teknologier som bidrar til automatisert boring, for eksempel automatisk optimalisering av bore-parametere som WOB (weight on bit), ROP (rate of penetration) og vibrasjoner som forstyrrer boreprosessen (Nystad, 2020). Andre systemer fokuserer på å unngå rykkvise torsjonssvingninger på borestrengen basert på målinger av borestrengs-rotasjon og dreiemoment (Kyllingstad, 2010). Automatisk MPD (managed pressurised drilling) og DG (dual gradient drilling) er systemer som muliggjør raskere og mer nøyaktig regulering av bunntrykket i borehullet (Godhavn, 2011). Drilltronics (Florence and Iversen, 2010) og eControl (Rommetveit et. al., 2010) er eksempler på kommersielt tilgjengelige produkter, hvor avanserte datamodeller brukes for å overvåke og i enkelte tilfeller styre boreutstyret. I tillegg til å bistå borer med beslutningstaking, kan flere oppgaver utføres automatisk, som for eksempel passiv beskyttelse av barrierer og ivaretagelse av begrensninger for brønn, utstyr og prosess, samt aktiv styring av maskineri.

Autonome system er, som tidligere nevnt, intelligente innretninger som kan utføre oppgaver uten menneskelig intervensjon. Systemet kjenner da sine "muligheter" og sin "tilstand". Systemet kan da velge mellom et sett av alternative aksjoner og utføre disse etter gjeldende regler. For at dette skal være mulig er systemet avhengig av tilgang på en realistisk modell av den nåværende tilstanden til prosessen og dets eget oppførsel i interaksjon med omverdenen – typisk kalt en "Digital tvilling" (Rosen, 2015). Uttrykket "Digital tvilling" ble gjort allmenn kjent av NASA (NASA, 2012) og ble definert som følger: "*A digital twin is an integrated multiphysics, multiscale simulation of a vehicle or system that uses the best available physical models, sensor updates, fleet history, etc., to mirror the life of its corresponding flying twin.*"

For et boresystem vil en altså i tillegg til de avanserte matematiske modellene som ligger til grunn, koble på mer data om de fysiske egenskapene. Et slikt sanntidssystem vil gi bedre forståelse av hva som skjer i prosessen til enhver tid, noe som både vil kunne bidra til tidligere og mer pålitelig oppdagelse av farlige hendelser og til å styre operasjonen mer optimalt slik at en kommer raskere til målet. Tidligere og mer pålitelig oppdagelse skyldes både at systemet i seg selv hjelper til med tolking og forståelse av målinger, og at automatiserte operasjoner utføres likt for hver gang en sekvens repeteres og dermed gjør det mye enklere å oppdage avvik.

En utvikling som har betydning for bruk av modeller, er at dette kan bidra til flytting av funksjoner til operasjonssenter på land. Dette krever at systemer på riggen blir robuste nok og kan fjernstyres slik at det blir unødvendig med tilstedeværelse av eksperter på riggen. Her kan det også være snakk om operasjonssenter på flere fysiske lokasjoner, hvor noen har ansvar for modellering og parameterisering, andre for planlegging og andre igjen for operasjon. Dette vil føre til endringer av

roller og ansvar for involverte aktører ved ny teknologi og dette kan påvirke kvaliteten på prosessene.

En digital tvilling er et dynamisk konsept som gjerne øker i kompleksitet gjennom livssyklusen. Modellene må ha like høy grad av robusthet og fleksibilitet som det modellerte systemet, blant annet må det videreutvikles på linje med det operative systemet. Det må ha evne til å håndtere feil i inputdata og tilpasning til virkelige observasjoner. På lik linje med et virkelig system kan det føre til manglende innsikt og forståelse for systemet, som igjen kan føre til feil og hendelser, spesielt i situasjoner der mennesket må overstyre det autonome systemet. Det er en kjent problemstilling at automatiserte system er dårligere til å håndtere uventede hendelser enn erfarne operatører. Ved høy grad av automatisering får menneskelige operatører mindre trening og erfaring i å operere uten automatikken. Disse forholdene krever en stegvis og robust implementering der en på hvert steg sikrer at de automatiske systemene kan håndtere uventede situasjoner på et tilfredsstillende nivå, [T2].

### 3.3.6 Automatisert slamhåndtering

Slamsystemet består av utstyr om bord som bidrar til lagring, miksing, sirkulasjon og rensing av borevæske. Slamstyring har tradisjonelt vært en manuell prosess med 2-4 personer involvert, med noe hjelp fra maskineri. Med en manuell prosess eksponeres operatørene for kjemikalier og andre farer, samt at presisjonen på mikseprosessen ofte blir dårligere enn når dette automatiseres. Testing av automatiserte løsninger, blant annet på Valhall WIP (Water Injection Platform) har vist lovende resultater både med hensyn til forbedret arbeidsmiljø for involverte operatører, effektiv miksing, redusert utslipp til miljø og kostnadsbesparelser. Valhall WIP er en såkalt kategori 3 slamhåndteringssystem, hvor hele slamhåndteringsprosessen er automatisert med minimal menneskelig overvåking. Til sammenligning er kategori 1 et helmanuelt system, mens kategori 2 er overvåket fra et kontrollrom eller en operatørstasjon (Gunnerod et al., 2009).

### 3.3.7 Automatisert brønnkontroll

Brønnkontroll handler om å ha oversikt og kontroll over uventede innstrømninger av hydrokarboner til brønnen, som i verste fall kan resulterer i høyt trykk og utblåsning. Tap av brønnkontroll kan gi katastrofale skader både på mennesker og utstyr.

Brønnkontroll inkluderer overvåkning av ukontrollerte innstrømninger til brønnen og prosedyrene for å forebygge og håndtere slike hendelser (Godhavn et al., 2011). Ved å sammenligne strømnings- og trykkmålinger i sann tid med beregninger fra hydrauliske modeller av brønnen uten innstrømning eller slam-tap kan man detektere slike uønskede hendelser på et tidligere stadium sammenlignet med deteksjon basert bare på slamtanksnivå og målinger av slamretur. På denne måten kan man ta aksjon tidligere og potensielt redusere konsekvensene. Deteksjon kan gjøres gjennom direkte observasjon av trender av faktiske målinger opp mot verdier predikert fra modeller. Dette kan gjøres av borere, støttepersoneller eller automatisk via et deteksjons-program basert på modellen.

Dette er komplekse systemer som kan feil, dersom MF ikke er hensyntatt i utviklingen (Ciavarelli, 2016). Overdreven tillit til at systemene kan håndterer alle situasjoner kan også skape problemer. Hvis det oppstår en hendelse hvor systemene faller ut eller ikke fungerer som tiltenkt, vil mennesket

kunne mangle både den nødvendige støtten fra systemet og den nødvendige treningen som kreves for å ta over og styre systemene manuelt. Utvikling av slike systemer krever derfor at vi prioriterer menneskesentrert design når slike systemer innføres, via brukersentrert utvikling [T2] og sørger for at prinsipper som «meningsfull menneskelig kontroll» brukes, [T3].

## 3.4 Oppsummering av litteratur og erfaring med automatiserte løsninger

Boring er et lovende område både for bedre utnyttelse av data og bruk av roboter på boredekk for å håndtere tunge og farlige operasjoner. Automatisering kan medvirke til bedre utnyttelse av oljeressursene ved å muliggjøre boring i utfordrende brønner og i formasjoner der det tidligere ikke har vært mulig å bore. Det kan også føre til mer effektiv boring og gi støtte til tidligere detektering av feilhendelser gjennom tekniske løsningene for i boreprosessen. Det er imidlertid viktig å ha en realistisk balanse mellom teknologi og brukersentrert utvikling, siden mennesker forventes å være en del av systemene i flere år til, f.eks. er ekspertenes vurdering at fullt autonome biler er ikke realistiske innen en tidsperiode på 10 år (fram til 2030) (Wozniak, 2019; CNBC, 2019). Dette understøttes av litteraturgjennomganger, som påpeker at det er utfordringer med pålitelighet i ustrukturerte omgivelser, (Johnsen & Kilskar, 2020).

Menneskesentrert utvikling, med metoder som tidlig identifiserer utfordringer som kan oppstå under boreoperasjoner, altså i design og utvikling, må benyttes. For å kunne ivareta menneskelig interaksjon med systemet, og tillate meningsfull menneskelig kontroll bør man ha eksperter på menneskelige faktorer involvert i prosjektene i hele gjennomføringen og sørge for brukermedvirkning fra start, noe som krever kunnskap om MF [T1] og brukersentrering [T2]. Luftfart er et område med høy sikkerhet, og har ledet an i utviklingen av fagområdet MF, med helhetlig MTO-tenking. De har etablert praksis og bruk av metoder fra situasjonsanalyse (SA), kontroll av automatiserte systemer og helhetlig opplæring.

Også innføring av autonom vegtransport har gitt viktig erfaring for å kunne forstå utfordringene med innføring av autonome løsninger, et eksempel er at sensorene i dag gir ikke god nok styringsinformasjon i komplekse og krevende operasjoner. Også ved automatisering av systemer for boring og brønn vil det være behov for større krav til datakvalitet, pålitelighet og data-kommunikasjon for sensorer. Sensorer tilbys av ulike leverandører, og data fra disse må kvalitetssikres og sammenstilles på en fornuftig måte slik at man kan bygge tillit til dataene. I tillegg vil sensorer og systemer som understøtter autonome operasjoner vil også kunne svikte, så det er viktig å analysere behovet for «resilience»/robusthet, altså evne til å håndtere avvik og gå til en sikker tilstand når mennesker ikke kan gripe inn [T3b].

Automatisering av bore-operasjonene som fører til at man endrer arbeidsoppgaver fra en aktiv rolle til en mer overvåkende rolle kan bidra til redusert situasjonsforståelse (*out-of-the-loop*). I tillegg kan autonome systemer som bruker eksempelvis digital tvilling øke i kompleksitet gjennom livssyklusen. Dette kan føre til manglende innsikt og forståelse av systemet, som igjen kan føre til feil og hendelser, spesielt i situasjoner der mennesket må overstyre det autonome systemet. Det er derfor nødvendig at brukerne er i sentrum under utvikling av systemene, noe man har god erfaring med fra luftfart. I denne bransjen har også automatisering har blitt innført gradvis, og det er et sterkt regelverk som fokuserer på grundig testing, verifikasjon og validering. Brukersentrering leder også

til bedre brukserfaring og brukertilfredshet, (Vredenburg et al. 2002), og i mange tilfeller høyere produktivitet (Beuscart-Zéphir, 2007; Sethi, 2008) [T2].

Muligheten for redusert situasjonsforståelse ved innføring av automatiserte systemer påvirker også måten man må tenke på under utvikling siden man må sørge for at systemene (f.eks. HMI) alltid presenterer nødvendig informasjon for beslutningstaking. Tydelig informasjon om tilstanden til systemet og støtte til overgang mellom automatisk og manuell kontroll er viktige faktorer, noe som krever høy kvalitet på menneske-maskin grensesnittet. I tillegg må presentasjon av de automatiserte systemene være transparente for god forståelse av prosessen og for å kunne forutse fremtidige handlinger. Det kan ivaretas ved å bruke prinsippet om meningsfull menneskelig kontroll [T3].

En annen utvikling som har betydning for endrede roller og ansvar ved bruk av mer automatiserte systemer og modeller i boreoperasjoner er at enkelte funksjoner kan flyttes fra riggen til operasjonssenter på land. Dette krever at automatiske systemer på riggen blir robuste og pålitelige nok og kan fjernstyres slik at det blir unødvendig med tilstedeværelse av eksperter på riggen. De automatiserte systemene kan derfor ikke ses isolert, men må ha støtte fra infrastruktur, interaksjon med kontrollsentraler og andre aktører (droner eller andre innretninger), slik at de får hjelp til egen styring [T3a]. En mer distribuert fordeling av oppgaver mellom ulike kontrollfunksjoner må også ivaretas gjennom analyse av oppgavefordeling under utvikling, samt gjennom prosedyrer og opplæring. Ved bruk av distribuerte operasjoner og ulike leverandører er det derfor viktig at man ikke kun fokuserer på de teknologiske systemene, men også følger opp innføring av autonome systemer med organisatoriske grep [T3c].

Fra autonom vegtransport og luftfart har vi også sett nødvendigheten av løpende dataregistrering og analyser av rike data fra drift, slik at man kan kartlegge hva som fungerer og få et godt grunnlag for å kunne analysere uønskede hendelser. Datainnsamling bør omfatte ulike typer data (også videoopptak) som kan sammenstilles for å gi et helhetlig bilde av hendelsene [T4].

Autonome systemer består altså av teknikk (droner, infrastruktur), organisasjon (med risikovurderinger, prosedyrer, ansvar) og mennesker (som må ha kunnskap og settes i en situasjon slik at de kan utføre meningsfull menneskelig kontroll). Avgrensninger blir da særlig viktig for å legge til rette for sikker bruk av autonome løsninger, for eksempel tydelighet i hva systemene kan brukes til og hva som er sikkert operasjonsområde (ODD - Operational Design Domain), se Tabell 3.1. ODD er derfor en nøkkel til sikker drift (Berman, 2019), og må utformes slik at risikoen for uønskede hendelser blir så lav som mulig. Dette inkluderer analyse av hvilke systemer og oppgaver som passer å automatisere, og å sørge for å beskytte mot uønskede hendelser, f.eks. via barrierer. Dette er relevant for utvikling av automatiserte bore-operasjoner, hvor det ofte er deler av prosessen som kan automatiseres, eksempelvis delvis robotisering av boredekk og innføring av delvis automatiserte styringssystemer.

Tabell 3.1 knytter de ulike nivåene av automatisering med ODD.

- For nivå 1 med ingen automatisering vil behovet for avgrensning (ODD), støtte fra infrastruktur og støtte fra HMI/Alarmer være som før.
- For nivå 2, 3 og 4 må man vurdere avgrensning (ODD), støtte fra infrastruktur og støtte fra HMI/alarmer, der hvor automatikken tar over og vurdere hva som skal gjøres ved overgangen mellom automatikken og mennesket og hva som skal gjøres ved feil.

- For nivå 5 med autonome systemer er ODD viktig på linje med støtte fra infrastruktur. Det forutsettes her at det er mulig å gå til en sikker tilstand ved feil. Alarmer og kontroll må vurderes særskilt, for her vil det kanskje bare være kontrollsenter på overordnet nivå (som f.eks. fra dagens overordnede trafikksentraler/nødsentraler) hvor det er behov for nød-utrykninger/nødhjelp når det skjer kollisjoner/sammenbrudd/brann eller andre uønskede hendelser.

**Tabell 3.1: Nivå av autonomi og behov for støtte fra ODD, Infrastruktur og HMI/Alarmer**

| Nivå-Autonomi | Operatør | System | ODD | Infras. | HMI |
|---|---|---|---|---|---|
| 1-Ingen autonomi | Alle operasjoner | Advarer, beskytter | Som før | Som før | Som før |
| 2-Begrenset støtte | Styrer (In-the-loop) | Veileder, støtter | Vurder | Vurder | Vurder |
| 3-Taktisk, overvåker | Involvert – overvåker hele tiden "On-the loop" | Styrer innenfor veldefinerte grenser | Økt | Økt | Økt |
| 4-Automatisert støtte Strategisk | "Out-of-loop" avbruddsstyrt, blir spurt av systemet | Opererer selvstendig, men kan gi tilbake kontrollen | Økt+ | Økt+ | Økt+ |
| 5-Autonom | Fullstendig "out-of-loop" | Opererer selvstendig – går selv til sikker tilstand | Økt++ | Økt++ | Nytt-Avvik |

# 4 Gjennomgang av granskningsrapporter mht. metoder og funn for boring og brønn

Vi har gjennomgått ni granskingsrapporter hvor vi har vurdert autonomi og MF for å samle erfaring knyttet til 1) granskingsmetodene og 2) rotårsaker med forslag til tiltak. For hver av granskningene har vi vurdert om granskingen har vært bred nok, det vil si om den har sett på samspillet mellom menneskelige, teknisk og organisatoriske faktorer. Spesielt om MF har vært inkludert og om granskingen vurderer årsaker fra design. Granskingsrapportene er valgt i samarbeid med Ptil. Hver hendelse er oppsummert på 2 sider.

På grunn av modenhet og erfaringsnivå har vi sett på granskinger med høy grad av automasjon også fra andre områder enn petroleum Hendelser med autonome og automatiserte systemer fra andre bransjer kan være relevant for boring og brønn når det gjelder både granskingsmetoder og funn. Gjennomgangen vil derfor behandle rapporter fra luftfart (med automatiserte styrings- og sikkerhets-systemer), skipsfart (med høyt automatiserte systemer som dynamisk posisjonering, brosystemer,) veitransport (automatiserte biler) og ikke minst hendelser fra petroleumssektoren (boring og brønn). Avslutningsvis har vi sammenfattet sentrale hovedpunkter fra alle gjennomgangene.

**Følgende hendelser har vært gjennomgått, med tema automasjon og MF:**

1. Boeing 737 Max styrt (Endsley, 2019), (NTSB, 2019), (ECAA, 2019).
2. PSV Sjoborg og SFA, kollisjon mellom skip og plattform- Equinor (2019, 2019a).
3. KNM Helge Ingstad kollisjon (AIBN, 2019), se på granskingsmetoder og systemer
4. DP operations (Dong, Vinnem & Utne, 2017), se på systemer og alarmer
5. Trafikkulykke med Tesla (Joshua Brown) i USA – NTSB (2017)

**Følgende hendelser har vært gjennomgått med tema boring & brønn og MF:**

6. West Hercules - ADS Barents, (Ptil, 2019)
7. Macondo Blowout (US-CSB, 2016) og (Tinmannsvik et al., 2011)
8. Pryor Trust – Blowout (US-CSB, 2019)
9. Mærsk Gallant – Brønnkontrollhendelse (Mærsk Drilling, 2015)

Følgende tema og momenter er beskrevet i forbindelse med gjennomgangene:

- **Beskrivelse** av hver hendelse, tidspunktet den inntraff samt de umiddelbare konsekvensene og potensialet i hendelsen.
- **Mandat og bruk av metoder i granskningen**, som for eksempel hvem gransket hendelsen, om det var en intern granskning, eller om den var utført av en ekstern part og belyse om kvaliteten kan ha blitt påvirket av måten granskningene ble organisert. Dette kan ha hatt betydning for om granskningene ga forståelsen av hvilken situasjonsforståelse aktørene hadde. Denne forståelsen kan være sentralt for å identifisere organisatoriske og tekniske tiltak.
- **Årsaker relatert til automatisering og MF** hvor vi ser på bakenforliggende årsaker (som design). Kan metodene i granskningene avdekke hvorvidt menneskelige faktorer var tilstrekkelig ivaretatt i utviklingsfasen av systemene som var involvert i ulykkene?
- **Diskusjon og læringspunkter** ut fra mandat og årsaker

## 4.1 Boeing 737 Max

**Beskrivelse av hendelsene**

Vedlagte beskrivelse er basert på Endsley (2019) "Testimony to Congress", og gjennomgang av ulykkesrapportene fra de to fatale hendelsene med det nyutviklede Boeing 737 Max flyet, (NTSC, 2019 og ECAA, 2019). I oktober 2018 styrtet Lion Air Flight 610 i sjøen utenfor Indonesia, rett etter avgang og alle de 189 ombord ble drept. I mars 2019 styrtet Ethiopian Airlines Flight 302 etter avgang fra Addis Abeba, og alle 157 ombord ble drept. De som gransket hendelsene med Boeing 737 Max flyene identifiserte feil i styringssystemet som kilden til ulykkene. MCAS - Maneuvering Characteristics Augmentation System, var et nytt automatisert styringssystem på Boeing 737 Max som gjorde at flyet ble lagt i stup for å få styringsfart for å unngå «stall». Denne manøveren (stupet) skyldtes feil, eller feiltolkninger fra sensorer. På Boeing 737 Max flyene ble MCAS aktivert med signal fra kun én AOA-sensor (angle of attack), mens i andre fly (f.eks. US Air Force KC-46) sammenlignes signal fra to uavhengige sensorer. I tillegg var systemet satt opp for å korrigere kontinuerlig og ikke kun én justering pr. gang, som benyttet i US Air Force flyene. Dette medførte for Boeing 737 Max flyene en gjentatt korrigering basert på feil informasjon fra sensor uten at pilot kunne gripe inn manuelt.

**Mandat og bruk av metoder i granskningen**

Granskinger er gjennomført av flere aktører, bl.a. av NTSC i Indonesia (National Transportation Safety Committee), ECAA (Ethiopian Civil Aviation Authority) i Etiopia og NTSB (National Transportation Safety Board i USA. Ulykkes-rapporten fra ECAA setter søkelys på «design» feil, mens NTSC og NTSB har sett mer på helheten. MF eksperter var involvert i granskingene.

**Årsaker relatert til automatisering og MF**

NTSC (2019) påpekte feil i utforming av nye kraftigere motorer som kunne gjøre at flyet kunne steile og feil i design av styringssystemene (MCAS). Også sertifisering, vedlikeholdsrutiner, og handlingene til pilotene om bord ble beskrevet som medvirkende faktorer. ECAA (2019) påpekte feil med utformingen av MCAS-programvaren i flyet, og som et viktig læringspunkt ble det påpekt: *"The regulator shall confirm that all probable causes of failure have been considered during functional hazard assessment"*. NTSB (2019) påpekte at feil i systemene ledet til mange alarmer og varslinger som forvirret pilotene ombord. Viktige behov fra NTSB (2019) relatert til design og menneskelige faktorer er:

- "*Develop robust tools and methods, with the input of industry and human factors experts, for use in validating assumptions about pilot recognition and response to safety-significant failure conditions as part of the design certification process.*"
- "*Develop design standards, with the input of industry and human factors experts, for aircraft system diagnostic tools that improve the prioritization and clarity of failure indications (direct and indirect) presented to pilots to improve the timeliness and effectiveness of their response."*

For resertifisering av flyene har man krevd redesign av systemene og satt som krav at piloter skal gjennomgå simulatortrening. Tilsvarende konklusjoner finner vi også fra Endsley (2019) sin gjennomgang av de to ulykkene i en høring for kongressen i USA, hvor Endsley påpeker følgende:

- Det er behov for oppmerksomhet på bruk av HF-standarder og metoder som bl.a. inkluderer systematisk oppgaveanalyse med involvering av brukerne i utvikling og evalueringer osv.
- Behov for kompetanse om MF under utvikling og bruk av HF-metoder under design.
- Behov for brukertesting med relevant vurdering av menneskelig yteevne, og sertifisering.

**Diskusjon og læringspunkter**
Ulykkesrapportene gir et bredt og sammensatt bilde av hva som hendte. Rapportene påpeker flere lag av årsaker til ulykkene, noe som viser viktigheten av en bredt faglig sammensatt gruppe i granskning. Utforming av systemene var ikke godt nok tilpasset brukerne, og feil design av styringssystemer og programvare (MCAS) medførte at piloter vanskelig kunne agere riktig i aktuell sikkerhetskritisk situasjon. Ulykken er forsøkt simulert i etterkant, men selv i simulator (når årsaken var kjent), mistet flyet 8000 fot i høyde før pilotene greide å kontrollere flyet. Den forventede handlingen fra pilotene ville med andre ord ikke ha forhindret at ulykken skjedde i en høyde på under 8000 fot. Dette viser viktigheten av design basert på meningsfull menneskelig kontroll og systematisk testing og sertifisering av nye løsninger. Ulykken demonstrerer også viktigheten av systematisk opplæring og simulatortrening av kritiske scenarioer i forbindelse med automatisering.

**Tre hovedpunkter fra granskingen:**
- Viktigheten av bredde i granskingen, spesielt å få med eksperter med HF-kunnskap som kan identifisere avvik fra god praksis, og vurdere utforming/design [T5]
- Svakheter i utformingen og design av styringssystemet – det var ikke godt nok tilpasset brukeren/piloten i kritiske situasjoner og fulgte ikke anerkjente standarder [T2], [T3]
- Viktigheten av sertifisering, opplæring og testing av kritiske scenarioer basert på kunnskap om menneskelige begrensninger [T3]

## 4.2 PSV Sjoborg og Statfjord A (kollisjon mellom skip og plattform pga. DP posisjonstap)

Vedlagte hendelsesbeskrivelse baserer seg på Equinor (2019) og Equinor (2019a).

**Beskrivelse av hendelsen**
Natt til fredag 7. juni 2019 kl. 01:50 mistet forsyningsskipet Sjoborg DP posisjonen i forbindelse med en lasteoperasjon på Statfjord A og kolliderte med installasjonens boreskaft sør og livbåtstrukturen. Det kom inn mer enn 20 DP alarmer i løpet av 45 minutter før hendelsen, som man ikke forsto. Statfjord A var underlagt en revisjonsstans og hadde 276 personer ombord. Skader på livbåtstasjonen medførte at 218 personer ble evakuert med helikopter til omkringliggende installasjoner. Hendelsen medførte en forsinket oppstart av Statfjord A med 17 dager. Ingen personer ble skadet i forbindelse med hendelsen, men en matros på Sjoborg ble truffet av en lasteslange da tauet slangen var festet i rør og slangen gikk over bord. Dersom en annen del av slangen, eksempelvis koblingen eller weak-link, hadde truffet matrosen kunne hendelsen endt fatalt.

**Mandat og bruk av metoder i granskningen**
Hovedformålet med granskingen var å bidra til en konstruktiv læringseffekt for å forhindre gjentakelser og for å forbedre HMS nivået. Mandatet til granskningsgruppen var:
- Klarlegge hendelsesforløpet og bakgrunnen for forløpet
- Identifisere utløsende og bakenforliggende årsaker, samt årsaker knyttet til læring og styring
- Identifisere avvik fra styrende dokumentasjon
- Identifisere barrierer som har sviktet og manglet, samt barrierer som har fungert
- Vurdere varslings- og beredskapsmessige forhold
- Vurdere hendelsens totale potensiale
- Sjekke for tilsvarende hendelser/forhold og erfaringsoverføring fra disse

- Gi anbefalinger og foreslå tiltak relatert til hendelsen/forholdet

Granskningsgruppen hadde i sitt arbeid en systemorientert tilnærming. Dette betød at granskningen ikke nødvendigvis skulle peke på enkeltstående feil som årsaker, men heller fokusere på systematiske forhold i den grad det eksisterte. Eksempler på dette kunne være omstendigheter som tillot en serie av tekniske feil å inntreffe, grunnlag for feilaktige beslutninger under operasjon, designmessige forhold, operasjonell praksis eller organisatoriske forhold.

**Årsaker relatert til automatisering og MF**
Etter gjennomgang av ulykkesrapporten (Equinor, 2019) og presentasjoner (Equinor, 2019a) fremhever vi følgende momenter:

- Utilstrekkelig kvalitet i systemintegrasjon medvirket trolig til at mannskapet på bro og i maskinkontrollrom var i en uoversiktlig situasjon. Systemintegrator har overordnet ansvar for koordinering og integrasjon av ulike systemer slik at disse virker sammen som ett DP-system.
- Før denne hendelsen kom det inn relativt mange alarmer over et forholdsvis kort tidsintervall (20 DP alarmer i løpet av 45 minutter). Det var også noen alarmer som forsvant samt at noen alarmtekster ikke ga en helhetlig beskrivelse av problemet. I sum vurderes det som utfordrende for mannskapet å kunne forstå alarmenes konsekvens og behov for eventuell aksjon.
- Alarmene ble ikke opplevd som alvorlige nok til å avbryte operasjonen. Den manglende opplevelsen av en unormal situasjon hos mannskapet, samt at en kritisk alarm ikke hadde blitt formidlet til mannskap på bro og i maskinkontrollrom, kan ha medvirket til dette. Ansvaret og rolleforståelsen ble ikke trukket frem – ansvaret for DP lå på brua hos kaptein/styrmann. Man så et klart behov for å øke HF-kunnskapen knyttet til alarmer og alarmhåndtering, samt systematisk opplæring for å forstå eksisterende alarmer.

**Diskusjon og læringspunkter**
Selv om granskningen hadde en bred systemorientert tilnærming, ble det ikke trukket eksplisitte forbindelser tilbake til designfasen i denne granskningen. Det synes imidlertid tydelig at det var avvik i forhold til design av alarmfilosofi. I alarmstandarder som EEMUA 191 angis det at maks antall alvorlige alarmer som kan håndteres er 6 alarmer pr. time, ikke 20 i løpet av 45 minutter som her. Dårlig kvalitet på alarmsystem og alarmer medførte at kvalitet, mengde og frekvensen av alarmer ga et uoversiktlig bilde av situasjonen i forkant av kollisjonen. Siden det også var manglende opplæring knyttet til alarmsystemene og håndtering av alarmene var det et krevende situasjonsbilde for operatørene.

Likeledes er systemintegrasjon og systemtesting av helheten en viktig del av designarbeidet, noe som maritim industri ofte er svak på (Danielsen et al., 2019). Under igangkjøringsfasen er det normalt at skipsverftet har denne rollen, mens rederiet overtar rollen i driftsfasen. Systemintegratorens betydning gjennom fartøyets livsløp understrekes av at moderne DP-fartøy bygges med flere relativt komplekse software-baserte systemer. Systemintegrasjon må følges opp og testes etter hvert som systemene endres og vedlikeholdes. Manglende helhetlig integrasjon av mange systemer medførte at mannskapet på bro og i maskinkontrollrom kom i en uoversiktlig situasjon som ble vanskelig å håndtere.

**Tre hovedpunkter fra granskingen:**

- Granskingen ble foretatt ut fra en systemorientert tilnærming i arbeidet, med vurdering av tekniske forhold, beslutninger, praksis, operasjonelle og organisatoriske forhold. Dette bør være en tilnærming til granskinger som bør egne seg for boring og brønn
- I utvikling av systemene på Sjoborg var det manglende oppmerksomhet på helhetlig integrasjon av systemene. Dessuten manglende livssyklus-tankegang i forhold til programvareoppdatering og systemintegrasjon. Ett nødvendig tiltak er å samordne informasjon fra viktige systemer [T3c]
- Det var mangelfull utforming av alarmer, med påfølgende mangelfull opplæring [T3]

## 4.3 KNM Helge Ingstad

**Beskrivelse av hendelsen**

Fregatten Helge Ingstad (HI) og tankbåten Sola TS kolliderte i Hjeltefjorden kl: 04:01:15 den 8. november 2018. Det var syv personer på broen til Helge Ingstad denne natten. Ansvarlig «*officer of the watch*» (OOW) hadde tatt over ansvaret kl: 03:56, kort tid før kollisjonen. Tankbåten Sola TS hadde fire personer på brua, inklusiv losen. Sola TS forlot Sture-terminalen kl: 03:36. Trafikken på Hjeltefjorden ble på dette tidspunkter overvåket av Fedje sjøtrafikksentral (VTS). Tre andre skip var i nærheten av Helge Ingstad og Sola TS så det var et sammensatt trafikkbilde. Det oppstod ingen alvorlig personskader under ulykken, men fregatten sank og er senere kondemnert. Opprinnelig kostnad for fregatten var 4,000 Mill NOK, og anskaffelseskostnaden for et nytt skip er anslått til 11,000 Mill NOK. Kostnadene for berging og fjerning er ikke tatt med.

**Mandat og bruk av metoder i granskningen**

Granskingen ble gjennomført av Statens havarikommisjon, den offentlig undersøkelses-kommisjonen i Norge, som publiserte del 1 av sin granskingsrapport i 2019 (AIBN, 2019). Granskningsgruppen var tverrfaglig sammensatt med HF-kompetanse, og tema som sikkerhetskultur, situasjonsforståelse og kognitive & organisatoriske utfordringer ble diskutert i rapporten. Formålet var å kartlegge årsakene til hendelsen og hvordan aktørene forstod situasjonen mens den utviklet seg, dernest å identifisere forslag til tiltak uten å sette søkelys på personlig skyld. Vi har gått gjennom rapporten med sentrale aktører i havarikommisjonen og i sjøforsvaret.

**Årsaker relatert til automatisering og HF**

Ulykken var påvirket av systemene på broen som fartøyene benyttet (elektroniske kart, radar, VHF radio) og menneskelige faktorer. Tidspunktet for hendelsen (midt på natten like etter vaktskiftet) og situasjonsforståelsen til de involverte hadde avgjørende betydning for utfallet. Følgende sentrale faktorer blir vurdert til å ha påvirket ulykken:

- Manglende analyse og design av bro basert på oppgaveanalyse (Dvs. Human Factors baserte designstandarder)
- Dårlig utforming av bro med styringssystemer. Ansvarlig på broen (OOW) kunne ikke se sin egen posisjon på kart (ECDIS)/radar mens han benyttet VHF. Installering av VHF ble gjort i etterkant på Helge Ingstad (som en oppdatering) uten brukermedvirkning fra erfarne sjøoffiserer. Installering av VHF ble endret på en av båtene hvor det var en erfaren bruker på brua da oppdateringen skulle gjøres. VHF ble da plassert nær ECDIS/Radar slik at ansvarlig kunne se sin egen posisjon mens man kommuniserte via VHF. Det er totalt fem båter i samme klasse.
- Tidspunktet for ulykken, kl: 04:01 på natten, 5 minutter etter vaktskiftet, var krevende pga. at det var på natt, og fordi det var mye trafikk. (Det kom tre motgående båter på babord side)

- Manglende analyse av arbeidsbelastning for de som var på broen med mange alarmer (noe som gjorde at opplæring og trening ble gjennomført i parallell med krevende navigering på natt)
- Høy mental arbeidsbelastning på Helge Ingstad før ulykken med 8 alarmer i løpet av de 10 siste minuttene før ulykken i kombinasjon med mye trafikk. Alarmer var knyttet til tre båter på babord side. (Sola TS kom fra styrbord side)
- Høyt støynivå på broen, ikke i tråd med anbefalte ergonomiske standarder, noe som gjorde det utfordrende å få til felles situasjonsforståelse
- Vanskelig å observere båten de kolliderte med siden den fremste delen av Sola TS fra broen og fremover (hele 200 meter) var i mørke og ikke opplyst av lyskastere. Det var ellers påpekt at 3 av de 7 på broen hadde godt/adekvat syn
- Sola TS registrerte ikke at de kastet loss i ECDIS systemet før en tid etter at de forlot kaien, noe som gjorde at ECDIS systemet på Helge Ingstad i perioder hadde ukorrekt informasjon og indikerte Sola TS som et objekt som fortsatt lå ved land
- Svak kritisk intervensjon fra Fedje Trafikksentral for å oppdatere situasjonsforståelsen til alle involverte aktører og manglende klarhet i nød-prosedyrer

**Diskusjon og læringspunkter**
Mange elementer knyttet til MF og design har blitt avdekket i granskningen av Helge Ingstad-ulykken. Granskningsteamet var bredt sammensatt og hadde et systemperspektiv. Denne ulykken var ikke direkte relatert til automatisert styring, men man kan se relevante svakheter i de avanserte teknologiske støttesystemene som bidro til at ulykken kunne skje. Ved gjennomgang av flere skipsfartsulykker, har vi sett at kvaliteten på styringssystemene på broen ikke har vært optimal, og at f.eks. utforming og bruk av elektroniske kart-systemer (ECDIS) har vært bakgrunn for flere ulykker (Johnsen et al., 2019). Utforming av brosystemet var ikke godt nok tilpasset brukerne, antageligvis på grunn av manglende analyse og design av bro (kontrollrom), og som en følge av dette var ikke plassering og utforming av elektroniske kart (ECDIS) og radar hensiktsmessig i forhold til VHF. For høyt "støynivå" på broen vanskeliggjorde kommunikasjon, og uhensiktsmessig alarmfilosofi og design av alarmsystem på bro medførte mange forstyrrende alarmer kort tid umiddelbart før ulykken. Manglende samhandling mellom Helge Ingstad, Sola TS og Fedje trafikksentral om nødsituasjonen/prosedyrer pga. mørke og usikkerhet rundt observasjoner/omstendigheter gjorde også at hendelsen ikke ble håndtert tilfredsstillende.

**Tre hovedpunkter fra granskingen:**
- God faglig bredde i granskingen, ved at situasjonsforståelsen til aktørene som var involvert ble grundig gjennomgått og etterprøvd, dokumenterte beste praksis [T5]
- Svakheter ved utforming av broen og arbeidsmiljøet (støy, plassering og kvalitet av utstyr, mange alarmer). Sammen med arbeidsbelastningen på aktørene som var involvert i sikkerhetskritiske operasjoner ledet dette til fragmentert samhandling og dårlig forståelse på Helge Ingstad, noe som bør ivaretas via bedre brukersentrert design [T2] og bedre oppmerksomhet på systemer som støtter meningsfull menneskelig kontroll [T3]
- Manglende rolleforståelse, uklart ansvar og dårlig muligheter for delt situasjonsforståelse under krisen ledet til manglende intervensjoner mellom aktørene, noe som bør ivaretas via bedre integrasjon av viktig systemer og bedre organisatorisk samarbeid [T3c]

## 4.4 Ni DP-hendelser

Den vitenskapelige artikkelen "Improving safety of DP operations: learning from accidents and incidents during offshore loading operations" av Dong et al. (2017) beskriver årsaker til ni Dynamisk Posisjonering (DP)-relaterte ulykker som skjedde i årene 2000-2011. De ni ulykkene er relatert til kollisjon og "drive-off"-hendelser, og er rapportert til Petroleumstilsynet.

En "drive-off" hendelse er en hendelse som kan kategoriseres som "tap av posisjon", hvor fartøyet blir skjøvet fra sin utgangsposisjon pga. thruster-krefter, som igjen kan føre til kollisjon. Feil informasjon om posisjon, DP-kontrollfeil, thruster-feil, og operatørfeil kan være primær eller sekundær årsak til tap av posisjon. Ulykkene som er gjennomgått skjedde under lasting, enten ved direkte overføring som ved tandemlasting og eller ved hjelp av lastebøye. To av ulykkene førte til kollisjon, tre var rene "drive-off" hendelser, mens fire er kategorisert som "annet". Seks av ulykkene skjedde under lasting, én ulykke under tilkobling, én ulykke under frakopling, og én ulykke ved tilkomst.

**Mandat og bruk av metoder i granskningen**
Ulykkesrapportene for de ni ulykkene har i artikkelen blitt gjennomgått ved hjelp av en MTO-analyse. Hvilke detaljerte metoder som er brukt i de ni rapportene er ikke utdypet. MTO-analysen består av tre basismetoder:

(i) et strukturert hendelses-årsaks diagram; en beskrivelse av hendelsesforløpet, utløsende årsaker og rotårsaker identifiseres og plasseres vertikalt over hendelsene. Utløsende årsaker er ofte tekniske og menneskelige, mens rotårsaker ofte kan knyttes til organisatoriske faktorer,
(ii) en endringsanalyse; beskriver hvordan hendelsene i ulykkeskjeden er avvikende
(iii) en barriereanalyse; identifiserer menneskelige tekniske og administrative barrierer som har feilet eller er manglende.

Hovedspørsmål i analysen er:

- Hva kunne ha brutt hendelsesskjeden?
- Hva kunne organisasjonen ha gjort tidligere for å ha motvirket/forhindret ulykken?

**Årsaker relatert til automatisering og HF**
Et hovedfunn er at ulykkene knyttes til en kombinasjon av tekniske, menneskelige og organisatoriske faktorer. *Tekniske årsaker* knyttet til hardware, software og design av DP-system er funnet i alle ulykkene. Eksempler inkluderer programvare-feil i DP-kontrollsystem, feil i dieselgenerator, feil i referansesystem for posisjon og feil i hjelpemaskineri.
*Menneskelige feil*, som inkluderer DP-operatører i den skarpe enden, design-team og vedlikeholdsteam, er knyttet til interaksjon med de tekniske årsakene og faller under tre kategorier:

- En initierende handling som fører til feil i systemet.
- Responshandling hvor man søker å møte en feil i systemet, særlig ved teknisk feil eller eksterne situasjoner som værforhold eller skip på kollisjonskurs.
- Latent handling, hvor en handling påvirker (men ikke initierer) en teknisk feil, f.eks. under utførelse av vedlikehold.

*Organisatoriske faktorer* er relatert til ulike aktører involvert i utvikling og drift av DP systemer, som operatør, verifikasjonsorgan, selgere og myndigheter. Operatørorganisasjonen er involvert i syv av ni ulykker gjennom utilstrekkelig opplæring, manglende prosedyrer, manglende inspeksjoner

osv. Verifikasjonsorgan er medvirkende når feil ikke blir oppdaget under testing, og selgere er involvert i tilfeller der utstyr har blitt feil tilpasset og ikke godt nok fulgt opp etter installasjon.

**Diskusjon og læringspunkter**
Fem av ulykkene har utilstrekkeligheter og feil i forbindelse med utvikling og implementering av programvare som medvirkende årsak. Disse ulykkene var forårsaket av kombinasjoner av flere medvirkende årsaker og de designrelaterte årsakene er presentert i Tabell D.1 (vedlegg). Informasjonen som er gitt om de spesifikke ulykkene i artikkelen er noe tvetydig og generisk, for eksempel brukes begrepet "utilstrekkelig design av DP system" som er lite konkret. Men på et overordnet nivå beskrives årsakene som utilstrekkelig informasjon til programvare-designteam og uhensiktsmessig utforming av menneske-maskin grensesnitt for presentasjon av informasjon og utforming av alarmer. Disse årsakene kan blant annet ses i sammenheng med utfordringer knyttet til samarbeid mellom ulike aktører og manglende kompetanse om menneskelige faktorer i utvikling. Manglende barrierer for identifikasjon og håndtering av faresituasjoner knyttes til utilstrekkelig testing etter installasjon av ny DP-programvare, og manglendefunksjonalitet i programvare for å avdekke feil input.

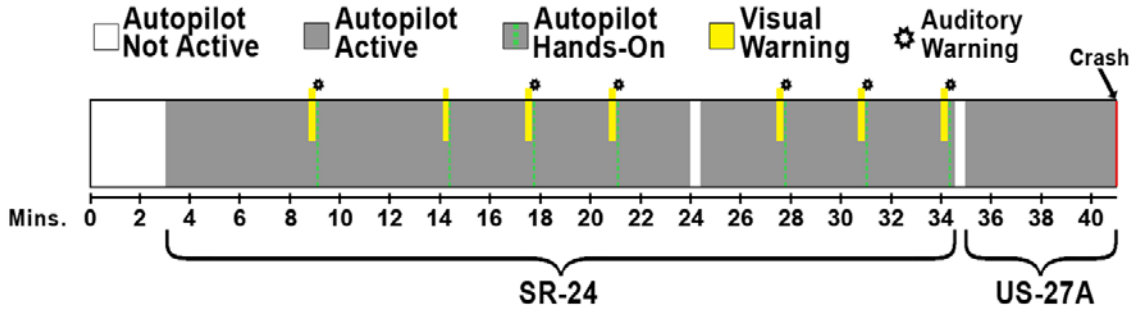
For å motvirke årsakene som identifiseres i ulykkene i fremtiden, forslår forfatterne å benytte fareanalysemetoder som går utover et pålitelighetsbasert perspektiv når man designer DP-systemer. Faktiske systemfunksjoner bør inkluderes i analysene og vurderes opp mot målsettinger for design av systemene. For eksempel foreslås STPA (Systems Theoretic Process Analysis) som er et perspektiv som inkluderer både menneskelige, tekniske og organisatoriske faktorer. Slike perspektiver bør brukes som input til hvilke bruker-case som bør utvikles av brukere og utviklere for testing av systemene i tidligfase. Andre områder som bør forsterkes ifølge studien er fokuset på helhetlig barrierestyring (MTO), relevant risikoinformasjon som bakgrunn for beslutningstaking og utvikling av online risikoovervåkning og beslutningsstøttesystem.

**Tre hovedpunkter fra granskingene:**
- Manglende helhetlig design/utforming av styringssystemene – nøkkelinformasjon mangler - utilstrekkelig ergonomisk design av styringssystemene, og utilstrekkelig menneske-maskin grensesnitt - vanskelig å få total-oversikt («situation at a glance»).
- Alarmer er vanskelig å forstå og kan gi dårlig situasjonsforståelse og bør derfor utformes i tråd med etablerte standarder for å sikre meningsfull menneskelig kontroll [T3].
- Komplekse systemer som krever at systemet valideres, testes og sertifiseres med utgangpunkt i kritiske scenarioer under utvikling og etter installasjon. Det var også manglende mulighet i programvare for å avdekke feil input

## 4.5 Fatal trafikkulykke med Tesla (Joshua Brown) i USA – Gransket av NTSB

**Beskrivelse av hendelsen**
Kollisjonen skjedde 16:60 lørdag 7. Mai, 2016, da en 2015 Tesla modell S, på US Highway 27A, kolliderte med en trailer som svingte på tvers av fartsretningen til Teslaen. Traileren var ca. 20 meter lang, farget hvit, og det var stor klaring mellom understellet på traileren og veien, slik at det var utfordrende for sensorsystemet til Teslaen å oppdage hindringen. Teslaen kjørte ca. 120 meter etter kollisjonen. Føreren av Teslaen, Joshua Brown, 40 år, døde øyeblikkelig under kollisjonen. (Denne hendelsen har ofte blitt referert med navnet på føreren). Den totale lengden av kjøreturen til Teslaen var på 41 minutter, autopiloten i Teslaen var slått på og aktivert i 37 minutter, mens føreren

hadde hånda på rattet i totalt 25 sekunder i den perioden autopiloten var slått på (se vedlagte figur 4.1.) Hendelsen er beskrevet i egen rapport, se NTSB (2019) og presentasjon NTSB Price (2019).




**Figur 4.1: Logg over advarsler og når føreren hadde hånda på rattet, NTSB Price (2019).**

**Mandat og bruk av metoder i granskningen**
Granskingene ble gjort av NTSB (The National Transportation Safety Board) i USA som er en uavhengig granskingskommisjon for transportulykker. NTSB påpekte at det var utfordringer med å samle data til ulykkesanalysen, noe som medførte at NTSB anbefalte at datainnsamling og datarapportering fra autonome systemer bør prioriteres og være mer i fokus.

**Årsaker relatert til automatisering og MF**
Det var sammensatte grunner til ulykken, men viktigst etter vår vurdering var:

- For stor tillit til den autonome kjøreløsningen fra føreren av Teslaen, og manglende opplæring for å sikre riktig bruk av automasjonsløsninger
- Traileren overholdt ikke vikeplikten og stoppet ikke for trafikk fra høyre. Traileren hadde også høy klaring over bakken som gjorde at det var vanskelig for sensorene i Teslaen å detektere den
- Dårlig design/utforming av autonomi på Tesla siden løsningen tillot at bilen kjørte i høy hastighet uten at føreren hadde hendene på rattet (forså vidt i strid med det som sto i kjøre-instruksen fra leverandøren Tesla)
- Infrastruktur ikke tilpasset autonom løsning ved f.eks. at det ikke var kommunikasjon mellom bilene som trafikkerte – (vehicle-to-vehicle -V2V), trailer hadde ikke «skjørt» under så det var vanskelig for sensorene på Tesla å identifisere at det var en hindring fra trailer, og sensorene fra Tesla hadde ikk godt nok «synsfelt».

**Diskusjon og læringspunkter**
Generelt har NTSB påpekt følgende utfordringer med økt grad av autonome løsninger:

- De autonome systemene bør utformes slik at systemene kan gi en total statusoversikt til fører/pilot (dvs. kan få situasjonsforståelse ved et raskt blikk); systemene må kunne gi alarmer i forkant av en farlig situasjon; systemene bør være robuste (resiliente) slik at de kan gå til en sikker tilstand eller sørge for at en har et "fail-safe" system
- Brukerne må trenes i korrekt bruk av autonome systemer og få korrekt mistillit/tillit, dvs. brukerne må opprettholde manuell kunnskap slik at de kan ta over i en eventuell krisesituasjon

Tidligere analyser angir at intervensjon fra fører i en slik situasjon kan ta mellom 2-29 sekunder, og da bør det være umulig å fjerne hendene fra rattet med så høye hastigheter. Dessuten manglet det redundante sensorer som kunne gi bedre oversikt – dette ble «single point of failure» når sensoren ikke oppdaget traileren.

**Tre hovedpunkter fra granskingen:**

- Føreren hadde for høy tillit til det automatiserte kjøresystemet fra Tesla, og var direkte eksponert for feiltolkninger fra sensoren, pga svak redundans [T3b] dårlig MF kontroll [T3].
- Utforming (design) av systemet var ikke tilpasset de sikkerhetskritiske oppgavene som ble utført [T3]. Manglende redundante sensorer og infrastruktur [T3a]
- Den løpende datainnsamlingen og rapporteringen fra sensoren i bilen under hendelsene før og under ulykken bidro til forståelse, læring og tiltak av hendelsen [T4].

## 4.6 West Hercules

**Beskrivelse av hendelsen**

Den 16.1.2019, kl.22:46 ble den nedre stigerørspakken "Lower Marin Riser Package" (LMRP) utilsiktet frakoblet idet bunnhulls-strengen skulle passere ned gjennom utblåsningsventilen (BOP). Det var ADS (Automatic Disconnect System) som feilaktig koplet fra LMRP og BOP (Blow Out Preventer). Kutteventilen i BOP ble automatisk aktivert i forbindelse med frakoplingen av LMRP, og væsken (sjøvann) fra stigerør ble drenert ut (dumpet) i sjøen. Kutteventilen kuttet ikke borestrengen pga. vektrør som befant seg i kutteventilen under aktiveringen. Hendelsen oppstod mens brønnen var sikret med foringsrør og sementplugg i bunnen. Det var ikke fare for utslipp fra reservoaret. Hadde hendelsen oppstått på et senere tidspunkt med hydrokarboner til stede, kunne situasjonen medført utslipp til ytre miljø (Ptil, 2019).

**Mandat og bruk av metoder i granskningen**

Hendelsen ble gransket av Ptil og Seadrill, den siste med deltagelse fra Equinor. SINTEF har kun sett Ptils rapport (Ptil, 2019). Ptil mener at Seadrill sin rapport ikke beskriver det fullstendige potensialet i hendelsen, men anser at rapportene i hovedsak har sammenfallende observasjoner. Ptil har gransket direkte og bakenforliggende årsaker, herunder historikk for flere år tilbake av bruk av ADS. Granskingen ble gjort fra land og Ptil gjennomførte intervjuer av 20 personer. I tillegg baserer granskingen seg på tekniske undersøkelser gjort av aktørene selv.
En Synergi-sak (1092560) på ADS (Automatic Disconnect System) ble opprettet i 2012. Granskningsgruppen fra Ptil finner imidlertid ingen dokumentasjon i 2019 på at de påpekte manglene i Synergirapporten om behov for risikoevalueringer og brukermedvirkning i realiteten har blitt fulgt opp. Ptil vurderer ADS som et sikkerhetskritisk system i sin gransking.

**Årsaker relatert til automatisering og MF**

Hendelsen inntraff som følge av at ADS feilaktig koplet fra LMRP og BOP under forberedelse til boring av en ny seksjon. ADS systemet er et automatisk system som skal kople fra stigerør (riser) hvis kommunikasjon mellom BOP og riggen ikke er tilstrekkelig ivaretatt under operasjonen. ADS fungerer da som en sikkerhetsbarriere ved behov for hurtig frakopling ved eksempelvis dårlig vær og skal da også sikre brønnen ved at BOP stenger. Årsakene til hendelsen var bl.a. følgende:

- Mangelfull risikostyring: Gjennomførte HAZOP inkluderte ikke vurderinger av usikkerhet knyttet til menneskelige og organisatoriske forhold, som behov for nødvendig opplæring/erfaring med ADS hos ansvarlig personell, og betydningen av merarbeid dette systemet medførte i forbindelse med montering og bruk. Et vesentlig punkt var at en operatør lokalt på riggen installerte/justerte ventilen, og at eksisterende prosedyre for dette var mangelfull.

- Manglende prosess for kvalitetskontroll av den automatiserte funksjonen som ADS innebar fra borekontraktør sin side.
- En feilmontert utløserventil på ADS medførte at systemet ga feilaktig signal om frakopling av LMRP fra BOP uten at forholdene lå til rette for dette. (ADS gir signal om frakopling dersom vinkel på flexjoint overstiger en på forhånds-satt vinkel, 6 grader i dette tilfellet.)
- Endringsstyring MOC – Manglende styring knyttet til oppgradering av BOP og installering av ADS på West Hercules. Høyt arbeidspress/arbeidsomfang på riggen i kombinasjon med manglende prosedyrer og kunnskap om ADS.
- «På-se» plikt - Mangler ved utøvelse av påseplikt blant annet knyttet til kompetanse og risikovurderinger.
- Vedlikehold – Mangler i vedlikeholdsrutiner for ADS-systemet.

**Diskusjon og læringspunkter**
Granskingen har lite oppmerksomhet på design. Det gis ingen detaljer vedrørende den direkte årsaken til ulykken annet enn at det sies at det" skyldes en feil-montert ventil (trigger valve). Det er ikke klart beskrevet når denne ventilen ble feil montert. (Ventilen ble montert/justert av personell om bord). Siden det ikke blir beskrevet hvordan feilmonteringen er gjort, er det også vanskelig å si om designet kunne eller burde vært annerledes, slik at det for eksempel ville vært umulig å montere ventilen feil. Selv om granskingen ikke går direkte inn på dette punktet, påpekes avvik i opplæring og prosedyrer.

Om design av BOP kontrollsystem beskriver granskingsrapporten: " Det var ikke tilstrekkelig kjent i organisasjonen at kutteventilen ville stenge når LMRP ble koblet fra BOP pga. aktivering av ADS, selv om kontrollsystemet for BOP var satt i en modus der den ikke skulle stenge." Rapporten forfølger ikke dette punktet nærmere. Det forblir uklart om dette er en designsvakhet i det totale kontrollsystemet. Beskrivelse av denne aktiveringen og strategien burde vært vurdert i forkant.

Rapporten påpeker at prosedyrer relatert til testing, montering og vedlikehold av ADS fremstår som mangelfulle. Det er uklart om designet er av en slik art at det er tatt høyde for periodisk testing. Det er også nevnt at det ble gjort målinger under monteringen om bord som ikke stemte med resultater etter FAT-. Det synes også å være manglende validering og prosess for kvalitetskontroll av den automatiserte funksjonen som ADS innebar fra borekontraktør sin side (HF-operasjonelt). I tillegg var det mangelfull opplæring og tidligere erfaring med bruk av systemet hos ansvarlig personell met tanke på ADS, samt forståelse for de organisatoriske forhold og merarbeidet dette systemet medførte.

**Tre hovedpunkter fra granskingen:**
- Manglende vurdering av design-beslutninger [T5]. Granskingen beskriver ikke hvorfor ventilen ble feilmontert og om det kan skyldes mangelfullt design. Likeledes beskrives ikke hvorfor systemet er utformet slik at kutteventilen vil stenge når LMRP kobles fra BOP pga. aktivering av ADS, selv om kontrollsystemet for BOP var satt i en modus der den ikke skulle stenge. Systemet burde ha vært laget slik at det ble gjort tydelig at BOP ble aktivert når ADS ble aktivert.
- Manglende forståelse, prosedyrer, testrutiner og opplæring knyttet til installering og bruk av ADS (Automatic Disconnect System) – herunder risikovurdering av feil i ADS og vurderinger av menneskelige faktorer som oppgaveanalyse og arbeidsbelastning [T3].

- Manglende ivaretagelse av på-se plikt knyttet til design, risiko-vurderinger og gjennomgang av FAT for ADS. Det burde ha vært klargjort som rammebetingelse at ADS skulle komme ferdig montert av kompetent personell siden dette er krevende [T3].

## 4.7 Macondo-blowout

**Beskrivelse av hendelsen**

Den 20. april 2010 inntraff en olje- og gassutblåsning på den flyttbare boreinnretningen Deepwater Horizon på Macondofeltet i Mexicogulfen. Ulykken medførte tap av 11 menneskeliv og et oljeutslipp på nærmere fem millioner fat olje, i tillegg til et økonomisk tap på anslagsvis 61.6 milliarder USD. Hendelsen inntraff da mannskapet på riggen var i ferd med å komplettere en brønn for midlertidig "abandonment". Det vil si at brønnen skulle forlates i sikker tilstand slik at en produksjons-innretning kunne returnere for ferdigstilling og start av produksjon fra denne på et senere tidspunkt.

**Mandat og bruk av metoder i granskningen**

Macondo-hendelsen er grundig analysert med flere granskingsrapporter. I tillegg til Tinmannsvik et al., (2011) har vi brukt granskingen som ble gjennomført i etterkant foretatt av U.S Chemical Safety and Hazard Investigation Board (US-CSB, 2016), hvor eksperter på Human Factors deltok. Dette er en uavhengig gransking på linje med granskinger fra den norske havarikommisjonen, og avdekker behovet for MF. SINTEF var bl.a. engasjert av Ptil i 2010-2011 for systematisering av ulike granskninger umiddelbart i etterkant av Macondo-ulykken, og andre, tidligere tilsvarende ulykker. Hensikten var å bygge et kunnskapsgrunnlag og bidra til læring og forbedring som kunne redusere muligheten for at noe lignende kunne inntreffe på norsk sokkel (Tinmannsvik et al., 2011). Prosjektet hadde en tverrfaglig tilnærming til MTO. STEP-metoden ble benyttet for kartlegging av hendelser, samt forløp og interaksjon/kommunikasjon mellom aktørene. Menneskelige faktorer, som f.eks. dårlig kommunikasjon, var med å bidra til at forløpet av hendelsen ble som den ble.

**Årsaker relatert til automatisering og MF**

Ulykken var sammensatt og kompleks. Både barrierer og samspillet mellom tekniske, organisatoriske og operasjonelle barriereelementer sviktet. En sentral komponent som BOPen greide ikke å stenge ned brønnen. Da man etter hvert forsøkte å aktivere EDS fungerte heller ikke det systemet. Det er vanskelig å peke på enkeltfaktorer. Vi kan trekke frem noen deler av systemet som indikerer svikt knyttet til MF.

- *Brønnspark pågikk i omtrent 45 minutter uten at offshore- eller onshorepersonell oppdaget det, selv om dataene indikerte at et brønnspark var på gang (*Tinmannsvik et al., 2011). Dette tydet på både et mangelfullt design og manglende situasjonsforståelse eller "sensemaking". Brønnovervåkningssystemet på Deepwater Horizon var ikke godt nok innøvd.Ett eksempel «Personellet om bord på riggen måtte utføre manuelle beregninger av mengde borevæske i stedet for å ha automatisk måling av netto volumstrøm fra brønnen ettersom volumstrøm ble dirigert utenom instrumenteringen. Mangelfulle systemer og situasjonsforståelse kan ha bidratt til dette.»
- Mht. situasjonsforståelsen: Det ble utført samtidige operasjoner som hindret (en kontinuerlig) overvåkning av data i kritiske faser av operasjonen. Personell fra operatør, borekontraktør og serviceselskap var ikke årvåkne nok i forhold til muligheten for tap av brønnkontroll ved fortrengning av borevæske fra brønnen (noe som ble utført som ledd i "negativ brønntest" av nedihulls sement-plugg). Personellet på boreriggen hadde ikke tilstrekkelig erfaring og trening i å tolke uregelmessige trykk i "negativ trykktest". Det var manglende kommunikasjon mellom

operatør og borekontraktør, både før og under den endelige fortregningsfasen (negativ trykk-test).

**Diskusjon og læringspunkter**

Det er mange læringspunkter knyttet til MF fra Macondo-hendelsen. Vi har tatt fram de som ble prioritert av kommisjonen (hentet fra US-CSB, 2016):

- MF var utilstrekkelig ivaretatt i forhold til HMS og risikovurderinger.
- Manglende integrering av MF i design og drift: "*the lack of effective integration of human factors into the design, planning and execution of drilling and completions activities … and it illustrates a demonstrable gap in US offshore regulation and guidance to incorporate more robust management of human factors*"
- Human factors vs. design er nevnt og det påpekes bl.a. at API 75 er mangelfull når det gjelder: *"Human factors program requirements for the design, planning, execution, management, assessment, and decommissioning of well operations for the prevention of major accidents, as well as in the investigation of accidents and near-misses"*
- Utfordringene knyttet til selskapenes HMS roller og ansvar ble påpekt: "*While BP and Transocean had corporate polices for risk management and risk reduction, neither assumed effective responsibility for ensuring their implementation at Macondo."* og *"A 2012-2013 multinational audit in the North Sea identified the interface of operator and drilling contractor safety management systems as a major issue of international concern"*
- Granskingsrapporten fra US-CBS påpeker *"… highlighting the need for (1) improved industry guidance for performance metrics of barriers and safety systems and (2) active monitoring of real-time barrier indicators…".* Behov for bedre overvåking av systemene, som kan tenkes gjort ved en kombinasjon av forbedringer relatert til sensorer, software for tolking og presentasjon av målinger (inkl. pålitelige alarmer), samt å ha bedre støtte til operatører.

Utforming og bruken av systemer på Deepwater Horizon var bl.a. ikke godt nok tilpasset brukerne. MF og prosesser hadde ikke har vært tilstrekkelig hensyntatt i utviklingsfasen av systemene ombord på boreriggen. Dette viste seg blant annet gjennom mangelfull situasjons-forståelse basert på eksisterende brønnovervåkningssystem. Kritiske skjermvisninger var avhengig av at riktig person så på riktig data til riktig tid. Opplæring var også mangelfull, og samhandling og kommunikasjon mellom de forskjellige grupper var sviktende. Personell hadde lite erfaringer i å tolke uregelmessige trykkmålinger under negativ trykktest og mangelfull ferdighetstrening i samhandling i forbindelse med komplekse tekniske systemer.

**Tre hovedpunkter fra granskingen:**

- Viktige momenter knyttet til helheten kom frem i US-CSB (2016) sin gransking. De fikk frem bredden og kompleksiteten av ulykken og pekte på viktige MTO faktorer. De var uavhengige og hadde breddekunnskap [T5].
- Mer oppmerksomhet på MF i design/utforming [T3].
- Opplæring og rutiner som støtter løpende risikovurdering og samhandling i distribuerte grupper, inklusive forståelse av alarmer [T3c].

## 4.8 Pryor Trust - Blowout og påfølgende riggbrann

**Beskrivelse av hendelsen**

Den 22. januar 2018 inntraff en utblåsning fra gassbrønn og påfølgende brann på boreriggen ved Pryor Trust 0718, som er et landbasert olje- og gassfelt liggende i Pittsburg County, Oklahoma, USA (US-CSB, 2019). Brannen drepte fem arbeidere som oppholdt seg inne i borekabinen på riggen. Utblåsningen skjedde omtrent tre og en halv time etter at borestrengen ble fjernet ("tripping") fra brønnen. Årsaken til utblåsningen var svikt i både primærbarrieren (hydrostatisk trykk utøvd av boreslam) og sekundærbarrieren ved aktivering av BOP. Det siste skyltes mangelfull påvisning av brønninnstrømning.

**Mandat og bruk av metoder i granskningen**
U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board (US-CSB) gransker hendelser med formål å avdekke årsaker og utgi sikkerhetsanbefalinger i etterkant av hendelser innen petroleums- og kjemisk industri. Utblåsningen fra Pryor Trust brønnen 1H-19 ble gjenstand for en detaljert årsaksanalyse som endte opp i 13 hovedgrupper av årsaker, hvorav flere var påvirket av "human in the loop" (menneskelige faktorer). Analysen fremstår som en detaljerte beskrivelser av årsakssammenhengene med referanser til anbefalte tiltak for hver av årsakene. US-CSB utviklet også et eget Bow-Tie diagram som illustrerer de planlagte barrierene for å hindre en utblåsning. Flere av årsakene til hendelsen ble knyttet til svikt i disse barrierene. Årsaksanalysen er videre dokumentert i et ACCIMAP-diagram som er lagt i vedlegg til granskningsrapporten. ACCIMAP-analysen plasserer også ansvaret for de ulike årsaksfaktorene i organisasjonen, blant de involverte aktørene.

**Årsaker relatert til automatisering og MF**
Av viktig årsaker og medvirkende MF-faktorer kan nevnes:

- Underbalansert boring ble utført uten nødvendig planlegging, utstyr, ferdigheter eller prosedyrer, og dermed var ikke forutsetningene for en korrekt håndtering av brønnen når primærbarrieren for å hindre gassinnstrømning ble opphevet til stede.
- Borer hadde ikke nødvendig opplæring i å bruke ny prosedyre for tripping som skulle støtte overvåkning av mulig gasstilstrømning under operasjonen.
- Utstyret var satt opp annerledes enn normalt under trekking av borestreng, noe som førte til forvirring og feiltolking av brønndata underveis og at en mulig indikasjon på gasstilstrømning ble oversett.
- Borer på både dag- og nattskift valgte å slå av alarmsystemet, som en mulig indikasjon på gasstilstrømningen og nær forestående utblåsning kunne vært avdekket med. Alarmsystemet var ikke hensiktsmessig designet for å varsle personell om farlige forhold under forskjellige driftstilstander (f.eks. boring, sirkulasjon og trekking av borestreng) og ga mange "falske" alarmer, noe som sannsynligvis også førte til at borerne valgte å slå av hele systemet.
- Operatør hadde ikke spesifisert krav til barrierer ved underbalansert boring, og da heller ikke krav til hvordan borepersonell skulle svare ut en tapt barriere i aktuell brønntilstand. Dette bidro til at boreriggen og dens mannskap hverken var utstyrt med eller operasjonelt godt nok forberedt til å utføre slike operasjoner.
- Basert på ulykkesrapportene og analysene i ettertid, ser vi klart at menneskelige faktorer og prosesser heller ikke har vært tilstrekkelig hensyntatt i utviklingsfasen av systemene som var involvert i denne ulykken.

**Diskusjon og læringspunkter**
Hendelsen bærer tydelig preg av en manglende situasjonsforståelse mht. brønnkontroll og evne til å oppfatte den reelle tilstanden til brønnen under trekkeoperasjonen. Brønnen ble underbalansert

under operasjonen uten at dette ble tilstrekkelig observert og forstått. Basert på rapporten ser en at menneskelige faktorer og prosesser ikke har vært tilstrekkelig hensyntatt i utviklingsfasen av systemene som var involvert i denne ulykken. Det var uhensiktsmessig design av alarmsystemet som medførte mange "falske" alarmer under operasjon, noe som bidro til at borer ofte slo av systemet. Mannskapet på feltet var heller ikke trenet til denne type operasjon, og nødvendig planlegging og forberedelse for dette ble ikke utført i forkant. Planlegging, opplæring og gjennomføring av operasjonen var ikke tilpasset de eksisterende systemene, rutinene og kunnskapsnivået. Operatørene fanget ikke opp at mengden av borevæske som strømmet ut av brønnen (gjennomstrømming) ikke stod i forhold til volumet som ble pumpet ned i brønnen fratrukket volumet av selve borestrengen når denne ble trukket ut av brønnen. Dette var egentlig et tydelig tegn på innstrømming og mulig gassvolum i brønnen, men ingen klarte å oppfatte dette før det var for sent (ref. ACCIMAP analysen i granskingsrapporten).

**Tre hovedpunkter fra granskingen:**

- Utforming av boresystemene og alarmsystemet var mangelfulle med lite oppmerksomhet på menneskelige faktorer, alarmsystemet slås av under kritiske operasjoner [T3].
- Manglende opplæring i forkant av sikkerhetskritisk operasjon og manglende situasjonsforståelse underveis.
- Manglende risikovurdering og planlegging av en sikkerhetskritisk operasjon, med manglende etablering og oppfølging av barrierer.

## 4.9 Mærsk Gallant - Brønnkontrollhendelse

**Beskrivelse av hendelsen**

Et brønnspark på ca. 12 $m^3$ inntraff på riggen Maersk Gallant i forbindelse med dynamiske poretrykkstester med MPD (Managed Pressure Drilling) utstyr. Et problem her var at sensoren som måler trykket på oppstrømsiden av MPD-choken (PT4) begynte å vise for høy verdi slik at MPD-ventilen åpnet seg. Når borer ser at målt trykk nær borekronen (MWD) og pumpetrykk faller samtidig med unormalt utslag på torque, stenger han en ventil i BOP, en UPR (upper pipe ram) av typen VPR (variable pipe ram), for å sikre brønnen mot brønnspark. Senere viser det seg at UPR-en ikke er tett slik at det lekker opp mot MPD-ventilen og PCD-en (pressure control device, som tetter annulus rundt borestrengen under boring). Når ventiler knyttet til PCD-en ikke lar seg åpne, trolig pga. trykket fra brønnen, bestemmer boredekk at ventilene skal stå lukket, men denne beskjeden kommer ikke fram til PCD-operatør som åpner ventilen manuelt. Dette gir overflow på trip-tankene som oppdages, men ikke forståes. Flere ventiler åpnes og lukkes før borer til slutt gjenvinner kontroll ved å stenge annular BOP.

**Mandat og bruk av metoder i granskningen**

Mandatet for granskningen var å gjennomgå hendelsen med formål å identifisere utløsende og bakenforliggende årsaker til hendelsen som kunne bidra til læring, samt å forhindre gjentagelser i hht. styringsforskriften §20. Granskningsteamet anvendte hovedprinsippene i "Kelvin TOPSET" rotårsaksanalyse i kombinasjon med en tidslinje. Metoden setter søkelys på teknologi, organisasjon, menneske, sammenlignbare hendelser, miljø (omkringliggende hendelser) og tid. Det er en stegvis prosess som inkluderer fasene planlegging, granskning, analyse, etablering av anbefalinger og rapportering. Metoden fanger opp "human factors" operasjonelt, slik som manglende kommunikasjon, situasjonsforståelse, risikoforståelse hos ulike personellgrupper i hendelsen.

**Årsaker relatert til automatisering og MF**

Rapporten angir følgende rotårsaker: Utilstrekkelig risikoforståelse og utilstrekkelig planlegging; Utilstrekkelige robusthet ved opprigging av kabel til trykksensor PT4; Alarmfunksjoner for trykksensorer ikke tilstrekkelig robuste; Utilstrekkelig informasjon om stengevolum for BOP funksjoner; Manglende kompetanse og erfaring; Mangelfulle etterlevelse av MPD prosedyrer; Utilstrekkelig kommunikasjon; Utilstrekkelig pålitelighet av BOP, UPR og VBR.

Følgende forhold vurderes som de mest sentrale i tilknytning til automatisering og MF:

- Feil i måle-verdier fra sensor gjør at den automatisk styrte MPD-ventilen åpner for mye slik at trykket i brønnen blir for lavt. Manglende redundans og brønnhodetrykk blir nevnt.
- Manglende situasjonsforståelse, som trolig har sammenheng med at MPD-systemet tilfører betydelig kompleksitet, medførte at riktig reaksjon ble forsinket. Inkonsistens mellom ulike målinger ble ikke forstått og operatørene forstod de automatiske systemene for dårlig.
- Dårlig kommunikasjon mellom selskapene, mulig knyttet til manglende bekreftende kommunikasjon og uklare kommandolinjer eller mistillit mellom ulike personer.
- Mangelfull etterlevelse av prosedyrer, blant annet tillatelse av to trykkreduksjoner før innstrømning under den første er sirkulert ut.
- Prioritering av effektivitet, på å få jobben gjort, kan ha ført til noen av problemene.

**Diskusjon og læringspunkter**
I rapporten vises det til flere rotårsaker med spesifikke tiltak, men det virker ikke som det stilles spørsmål ved hvorfor det er så mange bidrag til denne ulykken. Det er flere aspekter som kan knyttes til at design av systemene burde ha vært bedre tilpasset operatørene for å få oversikt over situasjonen. For eksempel ble ikke alarmer om full trip tank forstått, og boredekk hadde ikke god nok oversikt til å både oppdage og forstå hva som skjedde. Det var også inkonsistens mellom tre sensorer som ser ut til å være innenfor MPD-utstyret og som ikke utløser noen alarm, noe som tyder på at en mer robust algoritme bør utvikles.

Også ansvarsavklaring for roller er viktig og henger sammen med det å ha et godt og oppdatert overordnet bilde av situasjonen. I situasjoner med komponenter med ulike leverandører må helheten ivaretas, og det er naturlig å tenke at både borer og MPD-ansvarlig bør ha oversikt over hele situasjonen og kommunisere om dette når ting endrer seg. Likeledes er tilrettelegging for god kommunikasjon under operasjoner viktig med mange aktører. Under MPD er det vanlig at flere selskaper enn vanlig er involvert på riggen, slik som personell fra MPD-leverandør og leverandørene av RCD (*rotating control device*). Pga. plassbegrensninger oppholder disse seg typisk i egne kontor-containere med radioforbindelse til boreren på samme eller ulike kanaler, noe som kan gjøre kommunikasjonen vanskeligere. Så lenge riggen ikke er designet for MPD er det vanskelig å gjøre noe med dette.

Skjerm(er) som viser overordnet bilde av det fysiske systemet er nyttig for å kunne oppnå enklere oversikt og oppmerksomhet på avvik og kritiske situasjoner. Dette er spesielt viktig ved MPD der det er flere aktører, flere rør, ventiler og pumper, og flere prosedyrer enn vanlig; Tidligere erfaring er at oversiktsbilder er nyttige for borer og MPD-ansvarlig, men at de ikke utvikles og testes før det er for sent til å gi nødvendig oversikt i kritiske situasjoner.

**Tre hovedpunkter fra granskingen er:**

- Sviktende design/utforming av systemer (skjermer), alarmer, samarbeid, og fysisk organisering av arbeidsplasser for å gi god oversikt over hva som skjer – som leder til manglende situasjonsforståelse (knyttet til MPD) for borer [T2] [T3].
- Dårlig kommunikasjon og samhandling mellom aktørene som er involvert – (noe som tyder på mangelfulle prosedyrer og opplæring, trening på kritiske scenarioer) samt dårlig fordeling av oppgaver mellom aktører (kritiske oppgaver bør ikke spres ut over mange aktører med krav om høy presisjon i kommunikasjonen) [T3c].
- Dårlig utforming/design av alarmfilosofi, og mangelfulle alarmer. Alarm for full trip tank ble ikke oppdaget og borer får for mange alarmer i borebua under hendelsen og klarer ikke å fange opp at trip tank er full [T3].

## 4.10 Oppsummering av resultater fra gjennomgang av granskingene

Generelt kan man si at læring fra hendelser er en utfordrende prosess (ESReDA, 2015). For at denne prosessen skal fungere må den bestå av flere trinn som: *Rapportering* (i denne sammenheng kan vi spørre om alle relevante hendelser rapporteres), *Analyse* (er det en bred nok MTO-analyse som inkluderer HF), *Planlegging* av tiltak som faktisk forbedrer sikkerheten, *Gjennomføring* av tiltakene, og *Overvåkning* av om tiltakene er effektive, følges opp og om det blir læring. Med hensyn til læring kan den påvirke individer og organisasjoner. På individnivå vurderes vanligvis læring om sikkerhet på fire nivå (Kirkpatrick, 1979): (1) Personlig vurdering av læringen (tilfredsstillende, ikke tilfredsstillende); (2) Har man lært noe nytt; (3) Skjer det endringer i adferd, eller hadde læringen noe å bety for adferd; (4) Er det organisasjonsmessige effekter – ble sikkerheten bedre.?

I tabell 4.1 har vi laget en oppsummering over funn på Granskingsmetode og Årsaker. Vi har delt granskingene i to områder, i) områder med høy grad av automatisering og ii) fra boring og brønn.

**Tabell 4.1: Oppsummering av funn fra granskingene**

| Case | Granskingsmetode | Årsaker med forslag til tiltak [Tx]. |
|---|---|---|
| **Høy automatisering** | | |
| Boeing 737 Max styrt | God bredde med MF og vurderte utforming/design som en del [T5]. | Utforming ikke tilpasset brukerne; Behov for sertifisering, og testing av kritiske scenarioer; [T2]; [T3]. |
| PSV Sjoborg - SFA, kollisjon | God bredde i granskingen med helhetlig MTO vurdering; | Utforming av brosystemet var fragmentert med mange forskjellige systemer; Mange forskjellige alarmer som ikke ble forstått (mangelfull opplæring). [T3]; [T3c]. |
| KNM Helge Ingstad kollisjon | God bredde i granskingen med vurdering av situasjons-forståelse [T5]. | Svakheter i utforming av oppgaver på bro (støy, kvalitet og plassering av kritisk utsyr, alarmer, arbeidsbelastning); Manglende klarhet i roller og felles situasjonsforståelse – mangelfull intervensjon. [T2]; [T3]; [T3c]. |
| DP operations | Ingen merknader | Manglende helhetlig MF utforming av styrings-systemene for å gi god oversikt i alle situasjoner; Alarmer ofte vanskelig å forstå; Mangelfull testing av kritiske scenarioer i kombinasjon mangelfull trening av bro-besetning. [T3]; [T3c]. |
| Tesla (Joshua Brown) | Den grundige data-innsamlingen økte forståelsen for hendelsen [T4]; | Fører hadde for høy tillit til autonome systemet; Systemet var dårlig utformet slik at det var mulig å overlate for mye kontroll til autonomien. Infrastrukturen rundt den autonome løsningen var ikke tilpasset autonom bilkjøring; [T3a]; [T3]. [T3b]; [T4]. |
| **Fra Boring og Brønn** | | |
| West Hercules - ADS Barents | Manglende vurderinger av design av ventil/ kontrollsystem; [T5]. | Manglende opplæring, vurdering av arbeidsbelastning og forståelse og risikovurdering av ADS; Manglende ivaretakelse av på-se ansvar i forbindelse med implementering og bruk av ADS. [T3]; |
| Macondo Blowout | Bredde i granskingen med MF og MTO vurdering; | Manglende oppmerksomhet på MF i design/utforming; manglende opplæring knyttet til samhandling i grupper. [T3]; [T3c]. |
| Pryor Trust – Blowout | Ingen merknader | Utforming av systemene mangelfulle med sviktende MF utforming (alarmsystem slått av) som gir manglende situasjonsforståelse; manglende planlegging av kritisk operasjon; manglende opplæring i forkant. [T3]. |
| Mærsk Gallant – Brønn | Ingen merknader | Sviktende design for å gi helhetlig forståelse (manglende design av informasjon/HMI for oversikt, dårlig fysisk utforming av møteplasser); Dårlig kommunikasjon mellom sentrale aktører (lite bekreftende kommunikasjon) –Dårlig utforming av alarmer. [T2]; [T3]. [T3c]. |

## 4.11 Granskningsmetode

Mandatet for granskningene er gjennomgående ganske likt for de hendelsene fra petroleums-industrien vi har sett på, et gjennomgående trekk er at man finner det man leter etter, og man kan spørre om det er ønskelig (Lundberg et al., 2009).

De større, mer omfattende hendelsene, som f.eks. Macondo-hendelsen har blitt gransket av uavhengige havarikommisjoner – slike granskinger har god bredde med et bredt tverrfaglig sammensatte granskningsteam hvor man har ønsket å belyse hendelsen fra ulike fagområder og/eller perspektiver. Her har funn knyttet til MF-årsaker og læring også i større grad blitt fremtredende i konklusjonen. Dette er derimot i mindre grad gjeldende i selskapsinterne granskinger, hvor det synes å mangle kompetanse innen Human Factors (som f.eks. hvordan situasjonsforståelse etableres og beste praksis for utforming av HMI-Human Machine Interface). Det mangler ofte informasjon i rapportene om kompetansebakgrunn til medlemmene av granskningsteamet. I typiske selskapsgranskninger er det vanlig å oppføre navn og stilling/rolle (representant fra firma/tilknytning). I kun et mindretall av granskningene, som de fra Ptil, Statens havarikommisjon og NTSB i USA, er det informasjon om kompetanse til medlemmene i granskningsgruppen.

Granskinger fra type «havarikommisjon» (f.eks. U.S Chemical Safety and Hazard Investigation Board) fremstår som modne og grundige på grunn av bredden i perspektiver, uavhengighet fra aktørene, faglig tyngde og vekt på å forstå handlingsmønsteret. Det synes å være en fordel at granskinger gjennomføres av uavhengige aktører, uten noe å forsvare, basert på et systemperspektiv med en bredde i kompetanse, ofte også hvor kognitive psykologer med kunnskap om MF er med i granskningsteam.

I tillegg til å klarlegge det konkrete hendelsesforløpet, er avdekking av de direkte (utløsende) og bakenforliggende årsakene til hendelsen sentralt. Like viktig er å anbefale tiltak for å forhindre at noe tilsvarende skal inntreffe igjen. Bruk av metoder i granskningene varierer. En tidslinje som dokumenterer aktiviteter og delhendelser fra planlegging, eller perioden like i forkant av hendelsen, via hendelsesforløpet frem til normalisering av situasjonen etter hendelsen, er vanlig. Refleksjoner knyttet til utforming/design mangler ofte i rapportene.

**Anbefalinger – granskingsmetoder**

I forbindelse med gjennomgangen av granskningsrapporter har vi også sett på andre relevante analyser og rapporter om læring fra hendelser. I rapporten fra Sikkerhetsforum (2019), «læring etter hendelser» er det foreslått to momenter som spesielt samsvarer med våre observasjoner:

- **Anbefaling 1** [T5]: Granskingsteamet bør ha kompetanse om menneskelige faktorer, organisatoriske forhold og virksomhetsstyring på lik linje med teknisk kompetanse. (Dette bør inn i eksisterende retningslinjer og prosedyrer for granskinger.)
- **Anbefaling 2** [T5]: Selskapene og myndighetene bør bruke granskingsmetoder der spørsmålet for granskingen er ‘hvorfor ga det mening å handle som de gjorde?’ i stedet for ‘hva gjorde de feil?'

I tillegg vil vi komme med følgende anbefalinger:

- **Anbefaling 3 Vurder design under granskinger** [T5]**.** Granskingsteamet bør om mulig vurdere om utformingen/designet av systemet hadde svakheter som ledet til ulykken- f.eks. gir

designet god oversikt, er systemet designet/utformet med flere signaler om hva som er status i prosessen?

- **Anbefaling 4: Uavhengighet.** Større granskinger bør gjennomføres av eller i samarbeid med uavhengige aktører. Lokale granskinger kan med fordel involvere eksterne ressurser som gjør at gruppen blir mer uavhengig.
- **Anbefaling 5: Vurder grad av etterpåklokskap og repeterende funn,** [V1]**.** Etter en hendelse kan det være enkelt å påpeke at den uønskede hendelse skyldes manglende risikovurderinger eller manglende tiltak knyttet til en risiko, siden vi vet hva som skjedde. «Manglende risikovurdering» kan derfor være et enkelt punkt å ta frem, men hva er den underliggende årsaken? Hvorfor ble risikoen som sannsynlighetene/konsekvensene ikke håndtert? Likeledes har vi sett at det er del funn som går igjen i ulykkes-rapporteringen år etter år. Vi savner refleksjon over funn som gjentas – det er enkelt å trekke frem «manglende etterlevelse» - men er det manglende metoder som gjør at det ikke skjer endringer, eller er det uklart hvem som skal/bør lære? Er det operatørene, de som gransker, tilsynsmyndighetene eller de som utformer regelverket/prosedyrer?

## 4.12 Årsaker fra granskningene

Mange granskingsrapporter fokuserer i hovedsak på tekniske og organisatoriske forhold, og lite på menneskelige begrensninger og muligheter. Når man ikke har analysert menneskelige forhold som hvordan de brukte systemer eller forstod situasjonen - hvordan kan man da identifisere tekniske forbedringer og/eller organisatoriske forbedringer? Dersom granskingen beskriver aktørenes situasjonsforståelse underveis, kan man bedre forstå støtten fra teknologien/systemene og støtte fra organisasjonen. Dessuten er granskninger ofte naturlig nok opptatt av den spisse enden, og ikke på beslutninger knyttet til utforming (design), f.eks. hvorfor ble systemet laget slik at det var mulig å montere en komponent feil?

Fra systematisering av årsaker, læring og tiltak, har vi identifisert:

- dårlig situasjonsforståelse hos de involverte i den spisse enden
- dårlig samhandling i distribuerte grupper
- dårlig utforming av utstyr og dårlige alarmer som av og til blir slått av
- mangelfull/krevende opplæring
- manglende rapportering av automatiseringsfeil som leder til for høy tillit

**Anbefalinger - årsaker fra granskingene**

**Anbefaling (a): MF kompetanse må være med når systemene innføres/lages** fra tidligste faser hvor automatisering diskuteres og planlegges [T1]. Formålet med det er bl.a. å ta hensyn til menneskelige muligheter og begrensninger (IEA/ILO, 2020), ISO 11064.

**Anbefaling (b): Brukersentrert utforming bør være prioriterte aktiviteter i utviklingen** av systemene der hvor mennesker styrer eller skal gripe inn [T2]. I slike prosjekter må utviklingen av systemene (design) følge etablerte metoder for Human Factors dvs. utforming basert på oppgaveanalyse, standarder for HMI, trinnvis/iterativ brukersentrert utforming, og systematisk brukertesting underveis (se ISO 11064).

**Anbefaling (c): Meningsfull menneskelig kontroll** [T3]). I et komplekst system bør helheten analyseres godt før spesifikke områder bygges/programmeres. Systemene må kunne gi en totaloversikt på en enkel måte, dvs. «situation at a glance». Derfor er det viktig med godt interaksjonsdesign (se ISO 9241 og ISA 101). Innovasjonsdrevet eller brukerdrevet design må suppleres av oppgaveanalyser og sikkerhetsanalyser for å ivareta sikkerheten (Smith et al., 2020) og metoder for interaksjonsdesign (Hollifield et al., 2008). Vurdering av mental arbeidsbelastning og bemanning er en naturlig del av utviklingsprosessen for systemene og bør inngå som en del av stresstester/gjennomgang av kritiske scenarioer.

**Anbefaling (d): Koordinert utvikling av samvirkende systemer/Helhetlig integrasjon** [T3c]. Brukeren bør kunne få totaloversikt over kritiske områder på en enkel måte. Når flere systemer blir automatisert må brukerne overvåke flere systemer, noe som krever at grensesnittene er utviklet på en standardisert måte og presenterer sikkerhetskritisk informasjon på en samordnet måte. Dette kan for eksempel håndteres ved koordinert utvikling av styringssystem (Danielsen et al., 2019), eller ved å lage standarder for samordnede grensesnitt (Nordby et al., 2019).

**Anbefaling (e): Opplæring i samhandling i distribuerte grupper og simulatortrening bør prioriteres** [T3c] **–** som for eksempel bygd på prinsipper fra CRM - Crew Resource Management. Eksempler på områder som ble nevnt fra Deepwater Horizon var eksempelvis mindre erfaring og trening i å tolke uregelmessige trykkmålinger under negativ trykktest (behov for å sjekke med andre), mangelfull kognitiv- og ferdighetstrening i samhandling i forbindelse med komplekse tekniske systemer og manglende kommunikasjon mellom operatør og borekontraktør under negativ trykktest. Kritiske scenarioer bør spesielt gjennomgås der hvor det er involverte fra flere organisasjoner/ flere steder.

**Anbefaling (f): Kritiske systemer bør sertifiseres eller gjennomgå en systematisk verifikasjon og validering med deltakelse fra brukerne.** [T3]
Som en del av rutinene for testing bør systematisk verifikasjon og validering gjennomføres i flere trinn, a) under problemdefinisjon, b) under utforming/design/prototyping for å sikre at systemet har god brukerforankring og løser de viktigste problemene. Deretter bør en grundig systemtest med gjennomgang av et bredt spekter av kritiske operasjoner/situasjoner utføres for å sikre at systemet håndterer uventede hendelser (CRIOP, 2011). Brukertesting under utforming/design er særlig viktig da det har lavere kostnader og kan sikre at riktig tilnærming kommer på plass tidlig.

**Anbefaling (g): Alarmfilosofi må være på plass** for kritiske systemer. Alarmfilosofi blir mer viktig i forbindelse med automatisering [T3]. Når man automatiserer fjernes mennesket fra detaljstyringen, og kommer inn når noe uventet har skjedd som automatikken ikke håndterer. Alarmfilosofi bør derfor inngå under utformingen av hele systemet og planlegges tidlig, ikke som et problem i etterkant. Manglende og dårlig alarmhåndtering er en gjenganger i granskningsrapportene. Ofte har alarmene blitt slått av fordi de forstyrrer operatøren, da pga. at det er for mange, eller uforståelige alarmer som ikke er til å stole på. EEMUA 191 angir at man kan håndtere 6 alarmer pr. time, dvs. en alarm pr 10 minutter. Det er et krevende mål, og dette forutsetter innsats fra starten av utviklingen.

**Anbefaling (h) Økt grad av automasjon kan kreve mer støtte fra omgivelser/infrastruktur** [T3a]**.** I forbindelse med økt grad av automasjon er det viktig at en dokumenterer operasjonsområdet og forutsetninger for sikker drift, som beskrevet i ODD – (Operational

Domain/utforming av operasjonsområdet), hentet fra SAE (2018). Erfaring fra sikker operasjon av automatiserte oppgaver generelt tilsier at operasjonsområdet må være avgrenset og tilrettelagt for at sensorer skal kunne oppdage hindringer, at trafikk fra mennesker begrenses/hindres, og at det må være en form for kontrollsentral, som må være bemannet for å løse problemer. Automatiserte systemer må kunne gå til sikker tilstand ved feil eller avvik.

# 5 Innsamlede erfaringer og utviklingstrekk med vekt på HMS fra intervjuene

Formålet med denne aktiviteten var å samle inn og analysere erfaringer og utviklingstrekk knyttet til automatiseringsprosjekter i petroleumsbransjen. Relevante prosjekter og industriaktører ble valgt ut i samarbeid med Ptil. Vi intervjuet også eksperter innen automatisering og MF for å få frem erfaringer og utviklingstrekk. Vi valgte eksperter som er ansatt i selskapene (og arbeider med standardisering) og som har vært involvert i mange utviklingsprosjekter i petroleumsbransjen over flere år.

I det følgende har vi beskrevet fremgangsmåten, beskrevet case-prosjektene, bruk av metoder og standarder. Vi har beskrevet utfordringene med prosjektene, vellykkede faktorer og til slutt – forslag til konklusjon – hva kan vi lære? I beskrivelsene er det forskernes analytiske betraktninger som synes. Der det er direkte gjengivelse av temaer fra intervjuene er dette indikert med bruk av "informantene beskrev", "én operatør påpekte", "i det ene prosjektet ble det beskrevet" og lignende språkbruk.

Vi utarbeidet intervjuguide i samarbeid med Ptil, for blant annet å kartlegge metoder som brukes for å ivareta operatørens rolle, sikkerhet og mulighet for meningsfull interaksjon med det automatiserte systemet. Punktene som ble gjennomgått under intervjuene var:

- Kort bakgrunn om Ptil-prosjektet (dette oppdraget), deretter fra informantene om deres prosjekt og bruk av metoder
- Beskrivelse av systemet, formål, risikoanalyser, prosessen, organisering - forankring (fra brukere, fra MF eksperter)
- Hvordan samarbeider utviklere med brukere av systemet (under utforming, testing, etc.)? Er brukertesting gjennomført (bl.a. av sikkerhetskritiske scenarioer?) Hvilke fagkompetanser inkluderes i utviklings/designfase?
- Hvordan fordeles ansvaret lokalt (boredekk/borebu) / sentralt i det nye systemet?
- Hvilke metoder og standarder benyttes, f.eks. for alarmhåndtering, for å lage optimale brukergrensesnitt (f.eks. High Performance HMI)?
- Hvordan planlegges og integreres opplæring/trening og oppbygging av ny kompetanse (samarbeid med flere aktører, overvåkning av automatiserte oppgaver)?
- Prosjekt-erfaringer (forbedringer med systemet, endringer av arbeidsprosessene) og hvordan blir det med alarmhåndtering og håndtering av uventet hendelser («Out of the loop»)?
- Hvordan gjennomføres systemintegrasjonen med alle de andre systemene?
- Hvordan er samhandling og dialog med tilsynsmyndighetene?

I samråd med Ptil har vi gått i dybden på to caser (utviklingsprosjekter) som omhandler automatisering av ulike funksjoner/deler av boredekk. Dette er to prosjekter som har gått over lengre tid, med en rekke delprosjekter og -systemer. De to casene vil først kort bli belyst i dette avsnittet, men funnene som senere presenteres vil ikke bli relatert direkte til hvilken case det gjelder, og heller ikke til aktørene. I tillegg er en del av funnene basert på erfaring fra lignende prosjekter, særlig gjelder dette funn fra intervjuene med uavhengige HF-eksperter. Totalt er det gjennomført 10 intervjuer med 27 informanter, alle gjennomført digitalt (via Microsoft Teams). Fordelingen av informanter er som følger:

- To operatører, med seks informanter
- Én riggeier, med tre informanter
- Fem systemleverandører, med 14 informanter

- To uavhengige HF-eksperter (dvs. to informanter)

## 5.1 Om caseprosjektene – beskrivelse og formål

Under følger en kort beskrivelse av caseprosjektene ADC og Performinator. Prosjektene samlet omhandler områdene: (1) Prosessbasert beslutningstøtte, (2) Semi-automatisert systemer (parameterovervåking) og (3) Robotisering av boredekk.
Caset "Automatic Drilling Control (ADC)" dekker (1) Prosessbasert beslutningstøtte og (2) Semi-automatisert systemer; mens Performinator-prosjektet dekker (1), (2) og (3)-Robotisering av boredekk.

### Case 1: Automatic Drilling Control (ADC)

Prosjektet ADC består av en rekke delprosjekter med tilhørende systemer som søker å oppnå en automatisert kontroll av boreprosessen. Det er særlig knyttet til å gi en automatisert støtte til driller, heller enn å robotisere selve boringen. ADC består av datainnsamling fra bl.a. rør, automatiserte beregninger og målinger, historiske data og kalkuleringer. Det er utarbeidet en digital tvilling av brønnen som bidrar til å gjøre beslutninger i operasjon basert på datastrømmen. Den digitale tvillingen benyttes også for kontroll av boreutstyr. Ptil (2019b) omtaler ADC som et eksempel på økt bruk av digital brønnplanlegging og automatiserte boreoperasjoner. Implementering av ADC fører til at borer får mer beslutningsstøtte enn det som er vanlig ved tradisjonell boring. Målet med dette er å forbedre operasjonell sikkerhet og operasjonell effektivitet. Informantene fra ADC-prosjektet omtaler prosjektet selv som et "software-prosjekt" heller enn et robotiseringsprosjekt.

### Case 2: Performinator

Performinator-prosjektet prøver ut robotisering og effektivisering av tunge operasjoner på boredekket. Prosjektet omhandler en rekke endringer (Ptil, 2020);

- Robotisering av rørhåndtering på boredekk og rørdekk (5 elektrisk styrte roboter)
- Flytting av drillerbua (drillers cabin) til kontormodul på andre siden av riggen
- Kameraovervåkning av boredekk ved fjernstyring fra bore-bua (drillers cabin)
- Robotgjerder for automatisk/elektrisk inngjerding av boredekk med sensorer for å unngå personell i rød sone
- Reduksjon i antall manuelle løft, redusert fare for personell skader på boredekk og rørdekk, samt redusert antall løfte- og kranoperasjoner.
- Det planlegges for ny drillers cabin på andre siden av riggen (fjernstyring av boredekk)
- Bytte ut det gamle borekontrollsystemet med et nytt rørhåndteringssystem som oppfyller digitaliseringsstrategi (fullt robot-rørhåndteringssystem som består av en verktøypakke og et nytt automatisert borekontrollsystem for å muliggjøre autonom boring).

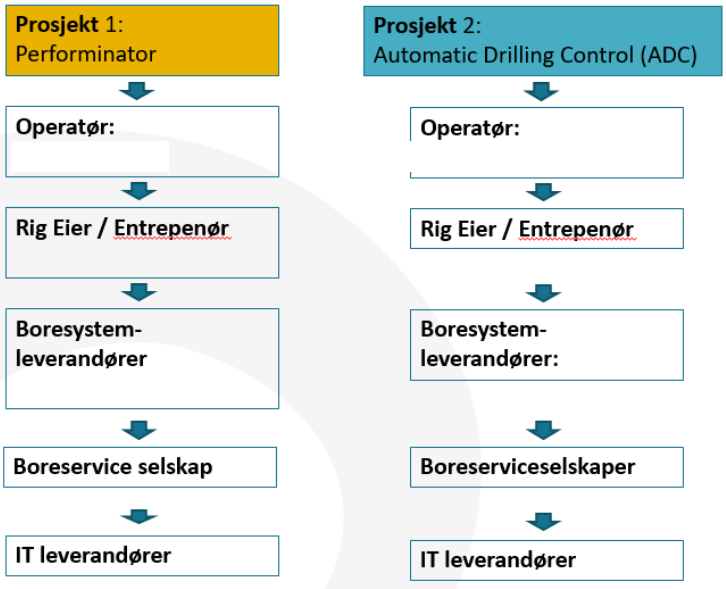
### 5.1.1 Formål med prosjektene

Prosjektene har ifølge informantene hatt som formål å øke både sikkerhet og effektivitet. Automatisering antas å kunne bidra til positive effekter særlig knyttet til fjerning av "de fire D-ene"; dvs. overlate til automatikken det som er Dirty, Dangerous, Dull, og/eller Difficult. Robotisering av boredekk vil særlig knyttes til å redusere/fjerne eksponering (fare, miljøskader og stress) fra personell, mens fjernkontroll av boreoperasjon vil redusere eksponering for storulykkesrisiko fra

personell i borebua. Prosjektene, og de ulike leverandørene, ser ut til ha noe ulike tilnærminger og ulike utgangspunkt. Noen ønsker å begrense detaljstyring og avlaste operativt personell, mens andre uttalt arbeider mot å fjerne mennesket på sikt (redusere menneskelige feil og HMS eksponering). Hos begge prosjektene er beslutningstaking fortsatt hos eksempelvis borer når det automatiserte systemet stopper opp. Begge prosjektene omhandler følgelig på et overordnet nivå prosessorientert beslutningsstøtte og semi-automatiserte prosesser, og er fortsatt er avhengig av kontinuerlig overvåkning fra borer. Dette betyr at menneskelige og organisatoriske aspekter ved systemene vil være viktig å håndtere i både utviklings- og driftsfase.

Det har vært litt ulik fremgangsmåte og prosjektorganisering i de to prosjektene. Et av prosjektene har bestemt å ha én hovedleverandør, mens det andre prosjektet har benyttet seg av ulike leverandører. I begge tilfellene har systemene har blitt koordinert via en prosjektleder. Det har også være litt ulik fremgangsmåte med tanke på utvikling. Dette gjelder både designmetodikk, hvilke aktører som hentes inn og hvilke standarder og metoder som benyttes. Dette kan være både en styrke og en svakhet, og bør være et utgangspunkt for å diskutere beste praksis i prosjektgjennomføringer.

Endringer, utvikling og drift av boresystemene har deltakelse fra flere aktører. De to prosjektene i dette prosjektet styres av operatør, men systemet skal til syvende og sist opereres av en riggeier. Det er boresystemleverandører som spesialiserer seg på automatisert/robotisert teknologi som bidrar med utviklingsløsningene. Operatørene eier prosessene og driver prosjektene fremover. Som vist nedenstående figur, er det flere ledd og aktører involvert i utviklingsløpene. Grensesnittene mellom aktørene, og utfordringer knyttet til dette ble fremhevet i flere av intervjuene. (Dette vil bli beskrevet nærmere i det følgende).




**Figur 5.2 Prosjektene som er utvalgt som case. Faksimile: PTIL.**

## 5.2 Metoder, standarder og retningslinjer benyttet i prosjektene

I intervjuene har vi etterspurt standarder, retningslinjer eller spesifikke metodikker som er anvendt under utviklingen av systemene, spesielt metoder for å ivareta menneskelige faktorer, design,

ergonomi og risiko ved systemet. Metodene og teknikkene som brukes styrer både kvaliteten av prosjekt-gjennomføring og kvaliteten av systemets utforming. Med metoder i denne sammenheng, mener vi beskrivelse av prosesser (dvs. aktiviteter som beskrevet i ISO 11064), mens med teknikker mener vi beskrivelse av hvordan løsninger utformes (som f.eks. oppgaveanalyse, barriereanalyser, interaksjonsdesign etc.)

Totaliteten i intervjumaterialet indikerer en fragmentering på metoder, teknikker og standarder som benyttes av de forskjellige aktørene avhengig av hvilken faglig bakgrunn de har. Det varierer avhengig av om de har en bakgrunn fra teknisk sikkerhet, Human Factors eller design. Noen metodiske standarder nevnes, for eksempel ISO 11064 (2000), ISO9241 (2020) og standarder fra Norsk Designråd (2020). Disse standardene behandler forskjellige tema og forskjellige deler av utviklingen. Ut fra diskusjonene om opplæring, testing, alarmhåndtering og interaksjonsdesign virket det som om en manglet forståelse for hvordan disse aktiviteten skulle plasseres i utviklingsløpet. Det ble tatt opp at rutiner/arbeids-prosesser/ansvar kom inn sent, men at prosjektene fikk positiv støtte fra Ptil til å diskutere dette tidligere i prosjektet. Som regel bruker man grovt sett 1/3 av ressurser på utvikling (programmering); 1/3 på rutiner/organisering og 1/3 på testing (brukertesting, systemtesting). En slik totaloversikt over behov for innsats syntes å mangle fra prosjektene. Planlegging av rutiner og testing kom noe sent, og omfanget syntes å være noe uklart. Utforming av ansvar/arbeidsrutiner og testing bør planlegges og skisseres tidlig i prosjektet – ikke som de siste aktivitetene, og som en konsekvens av teknisk programmering. Testing og avklaring av rutiner kan lede til behov for omprogrammering og nedringer sent, det koster mere sent enn om det har blitt gjort tidlig. Referanser til typiske utfordringer med prosjekter og estimeringsretningslinjer finnes i Nelson (2007), NavalCenter (2008), Johnsen (2008).

Teknikker som god praksis for interaksjonsdesign som f.eks. Hollifield et al. (2008) «*The high performance HMI handbook*» eller viktige tema som «*Safety Critical Task Analysis*» fra Smith et al. (2020) nevnes ikke. Heller ikke bruk av «eye-tracking» som hjelpemiddel til å utforme skjermbilder. Vi kan derfor ikke se at det har dannet seg noen omforente lister over god praksis. God brukersentrert design er viktig, men forutsetter at det er gjennomført en systematisk oppgaveanalyse og at det er etablert gode standarder for interaksjonsdesign og alarm-håndtering.

De fleste aktørene nevner *noen* anvendte standarder og retningslinjer, men det er i stor grad forskjeller mellom de ulike prosjektene. Standarden NORSOK I-005; System Control Diagram (SCD) – ble nevnt, den beskriver en måte å lage totalt systemdesign basert på funksjoner som P&ID. standarden beskriver teknikker og standard for utforming av diagrammer. Enkelte aktører har benyttet CRIOP-metoden som støtte for å komme inn på rett spor.

Eksisterende alarmfilosofier brukes ofte for de nye automatiserte systemene. Ptils standard YA-710 ble nevnt og brukes. Den er åpent tilgjengelig. Det kan skape utfordringer dersom alarmutformingen ikke blir oppdatert i systemutvikling – det ble nevnt under et intervju at «når det er 100 alarmer i det gamle systemet – blir det 100 alarmer i det nye systemet» - noe som er et eksempel på viktigheten av helhetlig omfang med gjennomtenkte grensesnitt mellom de forskjellige systemer.

Følgende standarder/retningslinjer/metodikker ble nevnt av informantene:

- ISO 11064, ISO 9241, Metodikk fra Norsk design-råd (2020) og Design Thinking fra Design Council (2007)

- Smidig metodikk (Her eksisterer ikke ISO-standarder)
- Verifikasjon og validering via CRIOP (2011)
- Alarmstandarden YA-710, EEMUA 191 og eksisterende alarmfilosofier hos kunder

## 5.3 Utfordringer i prosjektene knyttet til automatisering

I det følgende har vi beskrevet funn fra intervjuene sammen med våre vurderinger/analyser som identifiserer noen utfordringer med prosjektene. Dette er beskrevet samlet under punktene:

1. Grensesnitt mellom aktører og systemer
2. Teknologidrevet utvikling
3. Svak bruk av metoder som strukturerer prosjektarbeidet og svak bruk av teknikker for meningsfull menneskelig kontroll/MF
4. Hva foregår bak systemene/automatikken
5. Alarmhåndtering som sikrer kontroll
6. Opplæring og trening

### 5.3.1 Grensesnitt mellom aktører og systemer

Det er flere punkter som omhandler grensesnitt mellom ulike leverandører, designselskaper, operatører, boresystemoperatører, serviceselskap, riggeiere og andre organisatoriske enheter. I tillegg er det en dimensjon som delvis overlapper med denne som knyttes til grensesnittet mellom flere systemer, særlig nye systemer som skal inn i et større eksisterende nettverk av system på installasjonene. En generell påpekning vil være at operatørens på-se-ansvar i flere tilfeller med fordel kunne vært aktualisert i større grad i disse grensesnittene.

**Systemintegrasjon**

Systemene som utvikles for boredekk består ofte av en rekke undersystemer. Disse undersystemene er i flere tilfeller levert av ulike leverandører, og det er et sentralt punkt å få til et godt samarbeid både mellom bestiller og systemleverandør for å få til en hensiktsmessig integrasjon og bruk av systemene. I flere av intervjuene ble mangel på god systemintegrasjon påpekt, og også at det i seg selv er vanskelig å få til på en god måte. En av utfordringene er også at underleverandørene ut i kjeden ikke alltid kjenner til eller forstår kravene fra lovgiver.
I særlig det ene prosjektet ble det beskrevet en læringsprosess hvor operatøren etter hvert erkjente at det var komplisert og utfordrende å forholde seg til flere systemleverandører til samme boredekk. Dette ble knyttet særlig til systemintegrasjon, for eksempel at grensesnitt til bruker i form av skjermer er levert av én eller flere leverandører mens automatisert prosesskontroll er levert av en annen. Utforming av skjermer og logikk mellom skjermene er ofte forskjellig fra de ulike leverandørene, så det kan ta tid ved avvik å finne ut hva som er problemet.

Informantene mente at Ptil burde bidra til at en ble mer proaktiv med å samle folk for å diskutere systemintegrasjon og konkrete planer systematisk og så tidlig som mulig. Ifølge HF-ekspertene vi intervjuet vil det i denne sammenheng være nyttig å lage retningslinjer for flere ulike faser hvor en sørger for verifikasjon og validering på slutten av hver fase. Dette for å ha litt kraft bak kravene om å bringe folk sammen – få etablert obligatoriske «design workshops» -og prioritering av verifikasjon. En av informantene påpekte at CRIOP var en egnet mekanisme for støtte til systemintegrasjon da metoden tilrettelegger for å bringe sammen flere leverandører og fagområder.

**Samarbeid mellom systemleverandører**
Som beskrevet over er en av årsakene til utfordrende systemintegrasjon mangel på samarbeid mellom ulike systemleverandører. For eksempel kan prosjektene arte seg slik at det er ulike leverandører som har ansvar for kontrollsystemer versus et annet som har ansvar for faktisk teknologien som utvikles (f.eks. robotsystemet). Arbeidsprosessene knyttet til systemene vil derimot være ansvaret til riggeier og operatør. I et utviklingsløp bør alle involverte aktører samles for å utveksle informasjon og tenke sammen. Et punkt som har blitt trukket frem i intervjuer er at boresystemleverandørene er i konkurranse med hverandre og som en følge av dette synes det å være liten interesse for å dele negative erfaringer og utfordringer med hverandre. Det kan være prioritering av konkurransefortrinn framfor åpenhet på enkelte områder. Dette kan lede til at det tar tid før beste praksis blir utbredt, og at evnen til å håndtere avvik kan bli dårligere på grunn av lite deling av erfaringer. Brukerne har fremhevet at det å jobbe med én ansvarlig leverandør har vært en vesentlig forutsetning for å lykkes i prosjektarbeidet.

**Alarmer fra nye systemer – grensesnitt mot eksisterende systemer**
Fra flere av aktørene vi har intervjuet kan det se ut til at alarmsystemer og alarmfilosofi, samt opprydding og opplæring av alarmer, ikke alltid integreres i utviklingsprosjektene. Informantene beskriver at man ofte benytter eksisterende alarm-systemer og -filosofi. Det ser ut til at dette i noen tilfeller har ført til svært mange alarmer når de gamle alarmene har blitt koblet sammen med de nye. Informanter beskrev at det hadde forekommet nye alarmer som ikke var "intuitive", hvor det var mangelfull opplæring eller mangelfull dokumentasjon knyttet til nye alarmer og alarmtekst. Uttrykket "alt for mye alarmer" var gjentakende fra intervjuene.

Leverandørene beskrev at alarmer i forbindelse med nye systemer blir integrert med eksisterende alarmer i samlede systemer/eksisterende PLSer (Programmable logic solver) og fra SAS (Safety and automation system). Det er fornuftig at alarmer samles til felles og eksisterende grensesnitt, men dette kan bidra til at alarmene ikke blir gjennomgått på en helhetlig måte. Det virker som om dette har lite søkelys. En mulig medvirkende årsak til dette er at det kan være en stort, komplekst og arbeidsintensivt arbeid. Dette er tidkrevende arbeid, og gjøres av og til som enkeltstående gjennomganger heller enn kontinuerlig etter hvert som nye systemer og felter kommer inn. Ansvaret for tilfredsstillende alarmhåndtering vil ligge på den som har operatøransvaret/«på-se» ansvaret. Det er mange eksempler på ulykker/storulykker som skyldes dårlig alarmhåndtering. Det vil dermed være et viktig grensesnitt å avklare.

### 5.3.2 Teknologidrevet utvikling

Enkelte av informantene uttrykte stor optimisme knyttet til framtidsutsiktene for at boredekk kan automatiseres ved å la roboter overta repetitive oppgaver på boredekk, noe som også vil bidra til økt sikkerhet. Utfordringen med å involvere mennesker (bore crew) i dagens boreoperasjoner angis å være f.eks. at svake signaler på avvik lett overses pga. subjektive vurderinger. I flere av intervjuene ble det beskrevet en opptatthet av teknologiutvikling, og at det er teknologien som driver prosessene i utvikling, snarere enn brukeres behov. Følgene av dette kan være en prosess uten tilstrekkelig involvering fra brukere og kompetanse fra eksperter på menneskelige faktorer. For eksempel kom det frem under intervjuer med operatører at hendelser som har skjedd i forbindelse med systemene ikke har blitt diskutert sammen med deltakere med kunnskap om menneskelige faktorer. Det ble videre trukket frem av HF-ekspertene at flere prosjekter trekker inn kompetanse og kapasitet på det menneskelige aspektet for sent, f.eks. når 10 % av utviklingen er igjen – og da er det lite som kan gjøres med det grunnleggende designet. Særlig MF-ekspertene var opptatte av at utviklingen i for

liten grad tar hensyn til kunnskap om menneskelige faktorer (menneskelige styrker og svakheter). Utviklingen synes å være drevet frem av teknologioptimisme. Resultatene fra intervjuene viser at informantene i stor grad anser kunnskap om menneskelige faktorer som viktig hos noen systemleverandører, mens operatørene benytter i mindre grad slik kunnskap internt.

Det ble av informanter beskrevet eksempler på systemer i andre prosjekter som hadde blitt utviklet med liten grad av borefaglig eller brukerorientert input. Eksempler på systemer opprinnelig laget for boring på land, har blitt utviklet av ingeniører uten involvering av sluttbruker og informantene la vekt på at dette var veldig tungrodd for bruker(dette var tidligere erfaring, årsakene kom ikke frem.) Det har også kommet frem via intervjuene at enkelte utviklere mangler kompetanse på hvordan man involverer brukerne inn i utviklingen og testing. Dette med brukertesting ble nevnt som et eksempel, poenget bør være å finne og teste svakheter i systemet via systematiske metoder, ikke bare få enkelte brukeres aksept. De utviklerne som ble intervjuet påpekte viktigheten av å ha tilgang til brukerne og få gjennomført systematiske intervju med flere. Det ble nevnt som et positivt eksempel at utviklerne fikk satt av flere ukesverk til å gjennomføre systematiske intervju med erfarne brukerne for å samle inn og analysere erfaringer og brukerønsker. Dette ledet til bedre kvalitet av systemene.

En annen utfordring som særlig én av leverandørene trakk fram med den teknologidrevne utviklingen var at den teknologiske forståelsen i oljebransjen er lav utenfor eget virkeområde. Dette var relatert til innføring av robotisering. Leverandøren beskrev at det var utfordrende å få folk til å forstå hva roboter kan og ikke kan gjøre. Man har lang og god erfaring fra bruk av roboter i andre industrier, og mente at eksisterende risikometoder og standarder burde kunne benyttes i petroleumssektoren også. Det burde ikke være behov for noen nye standarder eller metoder spesifikt for oljebransjen.

Det ble nevnt at man hadde utviklet en "standard" robot for mange år siden, og man tilpasser litt til hver kunde. Det er noen utfordringer innen boring og brønn som ikke er i andre bransjer. Det er mye skreddersøm og ingen rigger blir da like på grunn av mye individuell variasjon. I andre industrier er trenden at man lager hyllevare som man kan selge til alle. I oljebransjen er man vant med egne løsninger. Det er derfor utfordrende for bransjen å forholde seg til standard produkter når man er vant til så mye skreddersøm.

I ett av intervjuene ble det nevnt fra informantene at det er utfordrende at regelverk, standarder og prosedyrer er tilpasset dagens (gammeldags) teknologi. Det kan gjøre at de som utfører lokalt vedlikehold og HMS-avdelinger "henger litt etter".  Når det gjelder standarder så ble det nevnt som eksempel at de som sertifiserer utstyret ombord, oppfattes til å ha liten eller ingen erfaring med robotisering. Det gjør det tungt å få sertifisert maskinene, når man bruker nye teknologi som elektriske roboter, i stedet for konvensjonelle hydrauliske maskiner for rørhåndtering. De som skal sertifisere må ha relevant kompetanse på feltet. Er denne ikke eksisterende er det både risiko og usikkerhet forbundet med teknologien, og det tar enormt mye tid i prosjektene.

Deltakelse i grupper som jobber med standardisering (ISA, ISO) kan være en god arena for å lære mer om problemstillinger og løsninger både for selskapene og myndighetene (myndighetene vil typisk delta som observatører i slike grupper.)

**Tidlig nok brukerinvolvering**
Generelt er det et inntrykk fra intervjuene at miljøene burde hatt og benyttet mer gode praksiser knyttet til tidlig og god brukermedvirkning i prosessene for teknologiutvikling. Gjennom intervjuene har vi fått høre om eksempler på avanserte og dyre systemer som aldri ble tatt i bruk på grunn av det som ble kalt mangel på eller lav kvalitet på brukerinvolvering. Tilsvarende kom det også opp eksempler på prosjekter som ble forkastet på tegnestadiet på grunn av innspill fra bruker. Dette viser hvor viktig brukerinvolvering er for å oppnå vellykkede prosjekter.

En av systemleverandørene trakk frem utfordringer knyttet til den faktiske tilgangen til sluttbruker. Dette kan sees i sammenheng med de komplekse organisatoriske grensesnittene i prosjektene. Videre peker det på behovet for å ha gode praksiser/metodikk som sørger for at de riktige aktørene møtes og samarbeider på riktige tidspunkt i utviklingsløpene.
I et av prosjektene undersøkt i denne studien var det i større grad tegn til tidlig og god brukermedvirkning.

### 5.3.3 Svak bruk av metoder som strukturere prosjektarbeidet og svak bruk av teknikker for meningsfull menneskelig kontroll

På grunn av dårlig kartlegging, kan man mangle en forståelse av hvordan den overordnede og detaljerte flyten i operasjonene skal være. Det var en del eksempler på at en måtte gjøre om deler av systemet på grunn av at man ikke hadde forstått brukerbehovene godt nok i starten. Informantene trakk frem en del utfordringer med rekkefølge og innhold i utviklings-aktivitetene i prosjektene, som nevnt tidligere, fordeling av ansvar; planlegging av arbeidsprosesser og hvordan brukertesting skulle gjennomføres.

Det var påpekt at ansvarsfordeling og arbeidsprosesser kom mer som en konsekvens av teknologien. Det ble nevnt at arbeidsprosesser oppleves som vanskelig å jobbe med. Ideelt burde man starte tidligere, men når du driver med FoU er det ofte litt uklart hvor mye som endres. Man ser at man må formalisere arbeidsprosesser bedre enn det som er gjort hittil da manglende arbeidsprosesser skaper usikkerhet og forvirring på riggen. Man sliter også ofte med å få med rigger i piloteringer for å avdekke svakheter og mangler. Innføring av ny teknologi vil alltid påvirke arbeidsprosessene, og i den grad teknologien kan justeres og tilpasses er det naturlig at det gjøres så tidlig som mulig, ikke minst for å redusere kostnadene. Enkelte av informantene ønsket at Ptil skulle hjelpe til med å sette punktet med arbeidsprosesser og opplæring på agendaen tidlig i prosessen. Vi fikk positive tilbakemeldinger fra prosjekter hvor Ptil hadde involvert seg for å få på plass ansvar for arbeidsprosesser og opplæring.

Metoder som f.eks. ISO 11064, inneholder beste praksis av hvilke aktiviteter som bør gjøres når, for å unngå resurskrevende merarbeid. Metodebeskrivelser vil også inneholde beskrivelser av hvordan oppgaver som brukertesting bør gjennomføres.

Teknikker som «eye-tracking» viktig ved at en tester ut i praktisk bruk hvordan brukerne ser på felter i skjermen for å utnytte skjerminformasjonen, og hvordan de finner fram til viktig informasjon Vi har gjennom intervjuene ikke funnet bruk av eye-tracking-teknologi for å styrke menneskelig kontroll. Verken i designfase (for eksempel for å utvikle et godt interaksjonsdesign basert på øyebevegelser) eller i driftsfase (for eksempel for å avdekke uoppmerksomhet). Eksempler på bruk av «eye-tracking» for å systematisere informasjon fra mange forskjellige

systemer finner vi i Rolls Royce sitt prosjekt om Unified Bridge (2018) og f.eks. forsvarets erfaringer knyttet til hurtigbåtnavigasjon (Hareide, 2019).

### 5.3.4 Hva foregår bak systemene/automatikken?

Et sentralt tema innenfor menneske-maskin-interaksjon er hvorvidt mennesket har en tilstrekkelig forståelse av hva og hvordan systemet utfører av beregninger/funksjoner eller ikke. For eksempel viser forskning innenfor luftfart at når automatiseringsgraden øker er det eksempler på uønskede hendelser (selv om sikkerheten i hovedsak går opp) som får en eskalering eller manglende gjenoppretting på grunn av at piloter ikke forstår hva som foregår med flyet.

Informantene påpekte at det kunne være en utfordring å forstå hva som foregikk inne i systemene i forbindelse med automatiseringen. Det de nevnte er at når du automatisere kan operatørene miste situasjonsforståelsen, og de forstår ikke hva som vil skje i neste steg. Brukerne tok opp dette under piloteringene, og de ser på dette som en av de største risikoene med ny teknologi. Operatørene bruker veldig mye tid på opplæring «onshore», i simulator og i klasserom – og vil ha instruktør de første månedene ute på riggene.

Fra informantene i vår studie ble det beskrevet at systemene slås manuelt av noen ganger når de kunne ha blitt brukt. Dette tyder på at det enten ikke er en forståelse for systemenes bruksområder, og/eller en lav tillit til systemene. I tillegg slås de automatiserte prosessene av når begrensninger overskrides, og da er det opp til fagpersonell å bestemme videre handling. Informanter beskrev at de skulle gjerne hatt mer hjelp til å bestemme videre handling gjennom kunstig intelligens, men at dette føles langt frem i tid.

Ett viktig punkt å følge opp videre er mulighetene og kunnskapen operatørene har for å ta over fra automatikken når den feiler eller slår seg av på grunn av grenseverdier. Da er det nødvendig med tilstrekkelig manuell erfaring og kompetanse for å ta over i kombinasjon med god situasjonsforståelse (med en forståelse av hva som foregår i systemene.)

### 5.3.5 Alarmhåndtering som sikrer kontroll

En god fremstilling og håndtering av alarmer er naturlig nok viktige i alle former for styring og kontroll av kritiske prosesser. Alarmer er like viktig både med og uten automatisering, men med automatisering kan man gjerne operere nærmere grenseverdiene. Dersom det automatiserte systemet svikter nær grenseverdier, blir det enda viktigere med gode alarmer og gode rutiner siden mennesket da har mindre marginer. Basert på intervjuene synes det som om systematisering av alarmhåndtering ikke er godt nok prioritert under utviklingen. Dette omfatter både grensesnitt med eksisterende alarmer, at det er mange alarmer og at alarmene er vanskelige å forstå.
Brukerne har måttet bruke lang tid på å søke etter hva feilen er. Ordlyden i alarmene er ikke forståelige for brukerne, men dette har blitt bedre etter hvert som man har påpekt det.

### 5.3.6 Opplæring og trening

Mange av informantene var opptatte av flere forhold knyttet til opplæring og trening. Generelt kan det påpekes at teknologisk utvikling gjør at enkelte plattformer og rigger må utføre mer komplekse operasjoner enn de var designet for. Et eksempel på det er "managed pressure drilling" der flere selskaper og mer utstyr enn vanlig er involvert offshore, noe som kan føre til at roller og ansvar kan bli uklare. Trening vil i disse tilfellene være ekstra viktig. Overgangen fra manuell til automatisert

oppgaveutførelse  har klare innvirkninger på kompetansekrav for brukere. Det er kanskje lettere å underkjenne betydningen av kompetanse og trening for å håndtere situasjonen når det automatisert system ikke takler utfordringen og man må gå over til manuell oppgavehåndtering.

Det er utfordrende når den menneskelige operatøren har vært «out-of-the-loop». En av systemleverandørene hadde betraktninger knyttet til at det ikke ville være behov for å trene Crew med roboters inntog. Dette kan vitne om at forståelsen for utfordringene i skjæringen mellom automatisert styring og styring fra bruker er noe lav. Informanter i studien beskrev at jobben føles nå mer og mer som en kontrollroms-jobb, og det merkes at man får mindre manuell erfaring.

Hovedinntrykket fra intervjuene er at opplæring og trening av brukere er noe underprioritert i prosjektene.  Det er en tendens til at det anses som mindre krav til trening av Crew i automatiserte system.  Det kan se ut til at flere av prosjektene mangler en standard måte å finne ut om du har kontroll på om kompetansen er god nok til å utføre oppgavene på en god måte, for eksempel basert på en oppgave-analyse og en vurdering av arbeidsbelastning. I et av intervjuene kom det frem at det blitt sendt ut boreledere offshore uten opplæring av systemene på grunn av mangelfull planlegging knyttet til ferieavvikling, vikar/stand-in og lignende.

I intervjuene beskrives det at det er liten bruk av scenariotrening, det vil si gjennomgang av kritiske hendelser/scenarioer. I et av intervjuene ble det beskrevet at de ikke hadde "kommet så langt at vi har tenkt på det".

Avanserte treningssimulatorer med svært realistisk respons og god trening av team finnes og har vært brukt før krevende operasjoner, men brukes kanskje for lite? Det er et spørsmål om hvorvidt simulatorer i større grad burde brukes for borecrew i møte med automatisert boreutstyr, og at man gjennomførte krav om sertifisering som i luftfarten. I intervjuene vi har utført var det indikasjoner på at det er variasjoner imellom selskap i hvor stor grad simulatortrening blir gjennomført. En av systemleverandørene tilbyr også simulatortrening, men det er uklart i hvilken grad det blir benyttet. En bør spørre om det er et vanskelig tids- og kostspørsmål å prioritere simulatortrening for bransjen?

Det er en generell utfordring at det utvikles relativt komplekse automatiserte systemer på ulike borerigger, som krever spesialisert trening. I møte med offshore-rotasjon, bytte av kontraktspartnere og stillingsskifter vil det kunne være et problem at systemene ikke er standardiserte. Det blir da utfordrende å sikre at borepersonell har den relevante kompetansen ved f.eks. forflytning imellom plattformer/rigger. En sertifiseringsordning for boreoperatører og bore-Crew kan være en aktuell måte å imøtekomme denne utfordringen.Fra intervjuene virker det som det er lite eller ingen *team*-trening i forbindelse med de automatisert systemene. Det kan også være slik at de foreliggende systemene er av en relativt enkel art foreløpig, og at opplærings- og treningsaspekter vil være mer aktuelle når systemene blir mer komplekse. Det er også noen positive erfaringer med opplæring og trening, som utdypes i det følgende.

## 5.4 Hvilke faktorer synes å ha vært viktige/positivt for prosjektene?

Alle aktørene som har blitt intervjuet meddelte en positivitet til at temaet menneskelige faktorer i autonome/digitaliserte systemer blir satt på agendaen. Det blir nevnt at det er behov for et kompetanseløft både hos utviklere og sertifiseringsaktører med tanke på menneskelige faktorer i

autonome systemer. Noen har også et ønske om mer myndighetskontakt i forbindelse med utviklingsprosjektene, mens andre aktører mener Ptil har vært tydelige i krav og forventninger. I begge prosjektene det er samlet informasjon om er det flere aspekter som har bidratt til at aktørene har opplevd utvikling og gjennomføring positivt. Tema som ble trukket frem var:

- Menneskelige faktorer prioritert fra ledelsen
- Klar avgrensning av prosjektet og hva som var prioriterte områder
- God dialog med Ptil
- Tidlig og god brukermedvirkning
- Positive erfaringer med ressurser avsatt til opplæring
- Nyanserte framtidsutsikter med automatisering og robotisering av boreoperasjoner
- Oppfølging av menneskelige faktorer fra operatørene er en utfordring

### 5.4.1 Menneskelige faktorer prioritert fra ledelsen

Prosjektene prioriterte menneskelige faktorer og hadde en brukersentrert tilnærming til utviklingen. En av de viktigste faktorene som ble trukket frem av informantene var at ledelsen prioriterte automasjonsprosjektet og satte av midler og ressurser til gjennomføringen, bl.a. at det ble satt av tid til mye dialog og intervju med brukerne. Informantene påpekte også at det var viktig å kunne gjennomføre prosjektet uten å ha en fastpriskontrakt, da det kom opp nye brukerbehov løpende, og det var gjensidig læring mellom aktørene.

### 5.4.2 Klar avgrensning av prosjektet og hva som var prioritert

Det ble påpekt at det var viktig at rammebetingelsene ble lagt til rette som å ha klarhet i ansvarsfordeling og begrenset antall aktører involvert, samtidig som teknologi-innføringen ble innført via klart avgrensede delprosjekter. I et av prosjektene har operatøren lagt vekt på å ha én leverandør for løsningen som leveres, og problemer med fragmenterte systemer som gir ulik informasjon reduseres. I det samme prosjektet opplevd brukeren en mer tydelig avgrensning med tanke på hva automatiseringen bidrar til under operasjoner, og hvilke områder som var prioritert.

### 5.4.3 God dialog med Ptil

De informantene som hadde hyppig dialog med Ptil gjennom møter satte pris på den dialogen, og oppfattet det som en positiv støtte for prosjektet. Ptil hjalp til med å fokusere på behovet for å tenke på arbeidsprosesser og hva innholdet av opplæringen skulle inneholde. Det var et ønske om at Ptil kunne støtte at arbeidet med ansvarsfordeling, arbeidsprosesser og opplæring ble tenkt på så tidlig som mulig (i henhold til god praksis for prosjektgjennomføring.)

### 5.4.4 Tidlig og god brukermedvirkning

Brukermedvirkning er en viktig faktor for at systemene oppleves som gode og funksjonelle under operasjon. I et av prosjektene har leverandøren brukt smidig "metodikk" der det har vært korte iterasjoner med medvirkning fra sluttbruker. Fra brukerens side har utviklerne virket lydhøre og tatt hensyn til tilbakemeldingen de har kommet med. Erfaringer er samlet fra testbrukerene, og deretter prioritert for en koordinert tilbakemelding til utvikler. Ved å involvere brukere tidligere i disse systemene har det også vært mulig å forkaste uhensiktsmessige løsninger på et tidlig tidspunkt, og det har derfor også vært et økonomisk insentiv med tidlig tilbakemelding fra brukere. I et av intervjuene ble uttalt at de senere versjoner av software "nesten ikke til å kjenne igjen" sammenlignet med det første som ble presentert. Det ble også nevnt at andre tidligere systemer laget for boring, ble utviklet av ingeniører uten involvering av sluttbruker og de er veldig tungrodde for

brukerne. Fra intervjuene har vi ikke fått beskrivelser av utfordringer med å håndtere overgang mellom automatisert operasjon og manuell styring, men at brukere opplever at manuelle erfaring har blitt redusert. Denne overgangen er en kjent problemstilling fra andre automatiserte systemer, og bør håndteres som en risiko i prosjektene underveis i utvikling og i drift.

### 5.4.5 Positive erfaringer med ressurser avsatt til opplæring

Enkelte fra intervjuene trekker frem gode erfaringer med opplæring og læring. For eksempel er det hos en utvikler et fullskala testanlegg med roboter som brukes på riggen. Brukere får her trening i boredekksprosedyrer, inkludert situasjoner hvor robotene ikke finner ut av det som skjer, og det blir nødvendig å gå i manuell modus. En viktig del av opplæringen er også redusert arbeidstempo for robotene i situasjoner der mennesker er i nærheten, siden kameraer fungerer dårlig for deteksjon av mennesker. I et av prosjektene har det også vært oppfølging av brukere av det automatiserte systemet etter implementering. Rigg-eier har hatt et eget team som har reist rundt på rigger som har innført systemet for å undersøke om systemene blir brukt som tiltenkt og at brukeren har rett forståelse av hva systemene skal gjøre. Ifølge informantene ble dette opplevd som positivt.

### 5.4.6 Nyanserte framtidsutsikter med automatisering og robotisering av boreoperasjoner

Det er delte meninger om framtidsutsiktene for automatisering og robotisering av boreoperasjoner. Robotisering av boredekk blir ansett som et bidrag til økt sikkerhet ved å la robotene overta repetitive oppgaver, og å flytte menneskene og borekabin bort fra boredekket. Full automasjon ses imidlertid som langt frem, siden riggene i dag ikke er designet for dette, og noen oppgaver må fremdeles utføres manuelt. Noen opplever at trenden som tidligere har vært mot å flytte operative beslutninger på land har snudd, og at fokuset nå er mer på å gi nødvendig støtte til borekabin. Datasikkerhet påpekes som en viktig årsak til lokal styring. Når datasikkerheten blir bedre vil det være mer trolig at flere oppgaver flyttes til land og at boring blir styrt mer som en prosess.

### 5.4.7 Oppfølging av menneskelige faktorer fra operatørene er en utfordring

Noen av de som er intervjuet opplever at det nødvendige oppmerksomhet på menneskelige faktorer ikke gjenspeiles i budsjettering av prosjektene i starten. Det er mer prioritering av teknologi-utvikling i startfasen. Selv om samarbeidet mellom aktørene fungerer godt og behovet for inkludering av menneskelige faktorer er anerkjent, er det nødvendig å sette av nok ressurser tidlig slik at disse faktorene blir godt nok vurdert og inkludert. Det vil altså være viktig at operatørene som er prosjekteiere tydeliggjør dette behovet i budsjetter og følger opp at menneskelige faktorer er en del av prosjektet. Generelt vil behovet for støtte fra ledelse i prosjektutvikling og operatørene være nødvendig for at menneskelige faktorer blir satt på agendaen i prosjektgjennomføring. HF-eksperter intervjuet beskriver at det kan synes som om ansvaret for at menneskelige faktorer blir ivaretatt i stor grad ligger på utviklerne, og at dette er lite forankret i ledelsen i oljeselskapene. Det bør bli mer oppmerksomhet på at prosjekteier prioriterer MF, med basis i retningslinjer og standarder.

## 5.5 Oppsummering av konklusjonene – hva kan Ptil og næringen lære?

Intervju-gjennomgangen viser at teknologiprosjektene i stor grad har til hensikt å øke sikkerhet. Basert på intervjuene og datainnsamlingen fremmer vi noen hovedpunkter som næringen og Ptil

kan ta med som læringspunkter for å sørge for at dette bli en realitet. De viktigste læringspunktene, og hvem det er mest relevant for er oppsummert i Tabell 5.1.

**Tabell 5.1 Læringspunkter etter innhenting av informasjon fra industrien**

| Læringspunkter | Næring | Ptil |
|---|---|---|
| Bruk av gode metoder for planlegging og styring av prosjektene; [T2]& [T3] | X | X |
| Brukersentret utvikling med ivaretakelse av brukernes ferdigheter og kunnskap [T2] | X | X |
| Tydeligere involvering av Ptil tidligere og underveis | X | X |
| Oppmerksomhet på at automatisering øker sikkerheten – men ivareta gråsonene [T3] | X | |
| Læring fra vellykkede faktorer/prosjekter [V5] | X | X |

### 5.5.1 Bruk av gode metoder for planlegging og styring av prosjektene

Metodene for å strukturere, planlegge og styre store teknologiprosjekter bør ivareta grensesnitt mellom ulike leverandører, designselskaper, operatører, boresystemoperatører, serviceselskap, riggeiere og andre organisatoriske enheter, slik at en på en hensiktsmessig måte løfter utfordringer underveis i prosjektet. Gjennomgående i slike prosjekter er den økonomiske og sikkerhetsmessige fordelen av å involvere brukerne tidlig i prosjektene. Bruk av "smidige" utviklingsmetoder, med korte iterasjoner og implementering av tilbakemeldinger synes å være gode metoder. Sikkerhet og menneskelige faktorer må imidlertid eksplisitt være en del av utviklingsløpet for at disse hensynene skal ivaretas på en tilstrekkelig måte. Dette medfører også at kompetanse omkring menneskelige faktorer må inkluderes. Arbeidsprosesser oppleves av flere som et vanskelig forhold å ta med tidlig i prosjektene, som må planlegges godt fra starten. I intervjuene indikeres det at arbeidsprosesser tas opp for sent i prosjektene. Brukersentrering [T2] og metoder som støtter meningsfull menneskelig kontroll bør støttes [T3].

### 5.5.2 Brukersentret utvikling med ivaretakelse av brukernes ferdigheter og kunnskap

Brukerne vil være en del av en operasjonell hverdag innenfor boring i overskuelig fremtid. Intervjugjennomgangen viser at det er flere forhold ved opplæring og trening som ser ut til å ha hatt for lav prioritet; oppdatering av manuell erfaring, opplæring i avanserte boresystem, mangel på sertifiseringsordninger, mangel på scenariobasert trening, utfordringer knyttet til standardisering vs. skreddersøm av teknologi, og antakelse om at det er lite trening som trengs på grunn av automatisering. Næringen og Ptil bør i større grad sørge for at utforming av systemene ikke legger for store veksler på brukerne (dvs. bruke metoder for brukersentrert utvikling [T2]) og at opplæring og trening er i samsvar med behovene, for eksempel basert på sikkerhetskritisk oppgaveanalyse eller annen strukturert metodikk igjennom utviklingsløp og i driftsfase. Dette henger også sammen med forrige punkt. Sertifisering av opplæring, prosesser og utstyr nevnes av flere aktører som en vei å gå for at utvikling av autonome boresystemer skal ivareta sikkerhet.

### 5.5.3 Tydeligere involvering av Ptil tidligere og underveis

På et generelt grunnlag er det grunn til å hevde at Ptil i større grad bør følge opp om operatørene ivaretar sitt ansvar i forbindelse med store utviklingsprosjekter rundt ny teknologi. Det ser også ut til å være ønsket av bransjen. Ut fra effektivitetshensyn bør Ptil ha mest oppmerksomhet på tidlige faser. Aktørene bør bruk gode metoder som strukturerer prosjektprosessen. Verifisering og validering av prosessen kan gi god nytte. I verifikasjon og validering kan man evaluere om aktørene trekker inn den riktige kompetansen, og om aktørene tilrettelegger for en tidlig og hyppig

brukerinvolvering. Det er viktig at det tillitsbaserte systemet suppleres med verifikasjon og valideringer. (Som eksempel på dette, ble det nevnt at MF konsulenter fikk et oppdrag om å forbedre MF i et prosjekt, ved å se på organisatoriske og operative barrierer i forkant av et Ptil tilsyn. Da tilsynet ble avlyst så ikke operatøren noen grunn til å jobbe med MF aspektene knyttet til organisatoriske og operative barrierer.)

### 5.5.4 Oppmerksomhet på at automatisering øker sikkerheten – men ivareta gråsonene

Når det gjelder hvorvidt innføringen av mer automatisert teknologi og robotisering vil bidra til høyere nivå av sikkerhet, er det viktig å påpeke det er viktig å ivareta meningsfull menneskelig kontroll for at den nye teknologien skal øke sikkerheten, [T3]. Erfaringen fra automatisering generelt viser at det har positive effekter på sikkerheten, gitt at risikoene har blitt håndtert på en god måte. Det er dog flere spørsmål ved enkelte gråsoner identifisert i intervjugjennomgangen, blant annet i hvor stor grad det er tatt høyde for risiko i fasene imellom automatisert og manuell håndtering og interaksjonen med grad av opplæring, trening og oppfriskning blant brukerne. En annen gråsone er alarmhåndtering med ny teknologi. Det er også et spørsmål i hvor stor grad prosjektene fanger opp uønskede hendelser og nesten-hendelser. Disse forholdene bør bransjen ha oppmerksomhet mot for å realisere sikkerhetseffektene.

### 5.5.5 Læring fra vellykkede faktorer/prosjekter

Flere forhold i prosjektene vi har undersøkt har vært positive for å øke sikkerhet, effektivitet og kvalitet i forbindelse med innføring og utvikling teknologiene. Eksempelvis knyttes dette til tidlig brukermedvirkning, oppfølging av trening/opplæring, avgrensninger knyttet til å bruke minst mulig leverandører, samt ledelsesprioritering. Næringen bør i større grad enn i dag prioritere å få frem vellykkede faktorer som andre aktører og prosjekter kan lære av. Dette kan skje gjennom eksempelvis å utarbeide beste praksiser og arrangere flere arbeidsmøter i regi av næringen, [V5].

# 6 Refleksjoner og forslag til tilsyn og regelverksutforming for automatisering

## 6.1 Regelverksutformingens struktur

Den norske petroleumsvirksomheten reguleres gjennom ulike lover og forskrifter og ifølge Petroleumstilsynet medfører reguleringen at aktører som skal gjennomføre sentrale aktiviteter i særskilte faser av petroleumsvirksomheten må innhente tillatelse, samtykke samt nødvendige godkjenninger for det arbeidet som skal utføres. Hensikten med et slikt regelbasert system er ifølge Petroleumstilsynet å sikre at virksomheters aktiviteter på norsk sokkel er underlagt tilfredsstillende styring og kontroll gjennom prosjektenes hele livssyklus, noe som innebærer letevirksomhet, oppstart, utbygging, utvinning samt avslutning av aktiviteter.

Petroleumsloven og arbeidsmiljøloven er de mest sentralene lovene for regulering av norsk petroleumsvirksomhet. Førstnevnte omhandler overordnede krav til sikkerhet, mens sistnevnte tar for seg overordnede krav til arbeidsmiljøet. Samtidig er det slik at Petroleumstilsynets tilsynsvirksomhet også forankres i forurensningsloven samt brann- og eksplosjonsloven, som da hører inn under tilsynets myndighetsområde. I tillegg finnes hjemmelslovene, eksempelvis forurensningsloven samt helsepersonell-loven.

Det er gjennom forskrifter Petroleumstilsynet regulerer aktiviteten på norsk kontinentalsokkel, nærmere bestemt gjennom særskilte HMS–forskrifter for petroleumsvirksomheten samt i arbeidsmiljøforskrifter. Det er fem spesifikke HMS-forskrifter som er gjeldende og tilsynet er tillagt delegert myndighet til utarbeidelse og fastsetting av innhold i forskriftene, samt håndhevelsen. De fem forskriftene er:

- Rammeforskriften
- Styringsforskriften
- Innretningsforskriften
- Aktivitetsforskriften
- Teknisk og operasjonell forskrift

HMS-forskriftenes innhold medfører at tema noen steder dekkes av flere myndigheters ansvarsområde, noe som innebærer at forskriftene må sees gjensidig opp mot og i sammenheng med hverandre, samt i forhold til hjemmelslovene.

Videre er det slik at Arbeidsdepartementet har fastsatt seks felles forskrifter til arbeidsmiljøloven, *arbeidsmiljøforskriftene*, som igjen håndheves av Petroleumstilsynet og Arbeidsdepartementet innenfor tillagte myndighetsområder. Petroleumstilsynet påpeker at kravene som er satt i disse seks forskriftene skal integreres og følges opp gjennom det helhetlige HMS-regelverket for petroleumsvirksomheten. En av arbeidsmiljøforskriftene fokuserer eksempelvis på organisering, ledelse og medvirkning hvor det stilles krav til risikovurdering, arbeidstakermedvirkning samt opplæring og planlegging av arbeidsutførelsen. Formålet er organisering og tilrettelegging av arbeidet på en slik måte at arbeidstakere sikres et fullt forsvarlig arbeidsmiljø. Videre omhandler forskriften om utforming og innretning av arbeidsplasser og arbeidslokaler (arbeidsplassforskriften) generelle bestemmelser knyttet til

fysisk utforming av eksempelvis kontorlokale hvor hensikten er å sikre arbeidstakernes sikkerhet, helse og velferd med utgangspunkt i eventuelle særskilte risikoforhold.

En viktig komponent til regelverksforskriftene er veiledningene ment å beskrive hvordan innhold i en forskrift kan oppfylles, og disse to komponentene, forskrift og veiledning, må ifølge Petroleumstilsynet sees i sammenheng for å kunne innfri krav i en forskrift på en tilfredsstillende måte. Et viktig aspekt i forbindelse med en forskrifts eventuelle ivaretakelse av eksempelvis menneskelige faktorer tilknyttet automatisering vil være anvendelsen av spesifikke normbaserte standarder i veiledningene som er ment å gi en anbefaling knyttet til hvordan forskriftskrav kan oppfylles. Det er videre slik at standarder per i dag kun er veiledende, noe som innebærer at bransjeaktører også står fritt til å velge alternative løsninger enn hva veiledningen beskriver. Imidlertid må aktører som velger en annen løsning enn veiledningens anbefalte standard kunne vise til hvordan den valgte løsningen tilfredsstiller minimumskravene i forskriften(e), noe rammeforskriftens §24 med tilhørende veiledning om bruk av anerkjente normer beskriver. Samtidig illustrerer eksempelvis veiledningen til §24 at fortolkning på vegne av den ansvarlige også spiller inn knyttet til hvilket nivå som anses som godt nok når man eventuelt velger en annen metode eller fremgangsmåte enn hva en veiledning legger opp til.

Tabell 6.1 viser regelverket i form av HMS-forskriftene og paragrafer hvor noen har referanser til standarder for menneskelige faktorer i veiledningen, og som er relevant for automatisering.

**Tabell 6.1 Regelverk og eksempler på paragrafer som eksplisitt refererer til menneskelige faktorer.**

| Regelverk | Paragrafer som referer til menneskelige faktorer | Tema relevant for Automatisering |
|---|---|---|
| Styringsforskriften | §13 Arbeidsprosesser<br>§16 Generelle krav til analyser<br><br>§18 Analyse av arbeidsmiljøet | MTO perspektiv<br>Metoder for analyse av HMS-forhold<br>Relevant bruk av automatisering |
| Innretningsforskriften | §20 Ergonomisk utforming; §21 Menneske-maskin-grensesnitt og informasjonspresentasjon; §34a Kontroll- og overvåkingssystem | Tilpasse til bruk |
| Aktivitetsforskriften | §34 Ergonomiske forhold<br>§35 Psykososiale forhold | Tilpasse til bruk |
| Teknisk og operasjonell forskrift | §21 Menneske-maskin-grensesnitt og informasjonspresentasjon; §33a Kontroll- og overvåkingssystem | Tilpasse til bruk |

Ser man på rammeforskriften, og paragraf 17 omhandler den plikt til å etablere, følge opp og videreutvikle styringssystem. Dette er et tema som er relevant for automatisering ved at brukere involveres (Tabell 6.1). Paragrafen viser til at arbeidstakere skal medvirke ved etablering, oppfølging og videreutvikling av styringssystem. Ser man på den tilhørende veiledningen til §17 står det nærmere beskrevet at arbeidstakernes erfaringer og aktive medvirkning er en vesentlig forutsetning for et velfungerende styringssystem. Imidlertid forblir detaljeringsgraden i veiledningens §17 på et overordnet nivå, men paragrafen henviser videre til §13 hvor arbeidstakernes rettigheter er nærmere regulert. Det fremgår tydelig av §13 at arbeidsgiver plikter å legge til rette for at arbeidstakernes samlede kunnskap og erfaring relevant for HMS-forhold belyses ved ulike beslutninger. Arbeidstaker må sikres reell mulighet til å påvirke

virksomhetens arbeidsmiljø og sikkerhet, og det bør ved omfattende saker også etableres konkrete planer for arbeidstakermedvirkning. Imidlertid refererer §13 igjen til arbeidsmiljøloven §4-2 og første ledd, hvor det presiseres at arbeidstakere og deres tillitsvalgte skal delta i utviklingsarbeid knyttet til utforming og organisering av arbeidsutførelsen, noe som innebærer for eksempel utforming av metoder, prosedyrer og instrukser knyttet til egen arbeidssituasjon.

Styringsforskriftens §13 omtaler også nødvendigheten av å ivareta et samspill mellom menneskelige, teknologiske og organisatoriske faktorer hvor det pekes særskilt på at den ansvarlige skal sikre at arbeidsprosessene og produktene fra disse ivaretar kravene til helse, miljø og sikkerhet. Dette innebærer at arbeidsprosesser og grenseflater mellom ulike prosesser hvor HMS spiller inn blir formalisert gjennom tydelige beskrivelser. Imidlertid er det slik at detaljeringsnivået i beskrivelsene skal tilpasses de enkelte prosessers betydning for HMS-risiko, noe som krever aktiv involvering og kompetanse hos den ansvarlige. Veiledningen til § 13 er imidlertid tydelig på hva som menes med arbeidsprosesser, med referanse til NS-EN ISO 9000. NS-EN-ISO 9004 kapittel 8 nevnes i forbindelse med hvordan en arbeidsprosess bør utformes. Veiledningen er også tydelig på at HMS og sikkerhetsmessige konsekvenser som følge av samspillet menneske, teknologi og organisasjon skal vurderes systematisk opp mot arbeidsprosessenes ulike faser. For eksempel, ved beskrivelsen av grenseflater mellom arbeidsprosesser bør avhengighetsforhold redegjøres for, noe som illustrerer detaljeringsgraden veiledningen legger opp til.

Paragraf 16 i styringsforskriften fokuserer på hvordan analyser skal gjennomføres for å sikre forsvarlige HMS-forhold. Paragrafen poengterer at den ansvarlige skal sikre at det utføres analyser som gir det nødvendige beslutningsgrunnlaget for å ivareta helse, miljø og sikkerhet. §16 viser videre til at det skal benyttes anerkjent og formålstjenlig metodikk herunder formål med analysen, forutsetninger for samt nødvendige avgrensninger som er lagt til grunn for analysen. Det stilles også krav til den ansvarlige for drift av innretning eller landanlegg at det er definerte kriterier for når oppdateringer av, eller nye analyser er nødvendige. Nye analyser kan bli påkrevd som resultat av eventuelle endringer i rammevilkårene som ligger til grunn for forståelsen av risikoen forbundet med virksomheten.

I veiledningen til §16 blir det poengtert at begrepet analyse i forskriften innebærer en vid forståelse, og at nærmere spesifiserte krav til de enkelte analysene finnes i øvrige paragrafer også i de øvrige forskriftene. Det er verdt å merke seg at veiledningen stadfester at *anerkjente* metoder og modeller vil innebære en tilnærmet vitenskapelig tilnærming til kvalitetssikring av metodevalg herunder krav til at valgt metode er uttestet og validert på forhånd. Videre spesifiserer veiledningen at dataenes representativitet, gyldighet og begrensninger skal synliggjøres. Når det gjelder formålstjenlige metoder og modeller skal den ansvarlige ta utgangspunkt i analysens formål og behov for beslutningsstøtte, noe som gir en valgmulighet for den ansvarliges del.

Ser man på styringsforskriften og §18, analyse av arbeidsmiljøet, står det beskrevet at den ansvarlige skal utføre nødvendige analyser som sikrer et forsvarlig arbeidsmiljø og gir beslutningsstøtte ved valg av tekniske, operasjonelle og organisatoriske løsninger. Fokus i §18 er imidlertid på individuelle arbeidstakerforhold, og eksempelvis ikke  mot et fremtidig storulykkepotensial knyttet til konkrete valg av tekniske løsninger hvor en høy grad av automatisering inngår. Går man nærmere inn i veiledningen til §18 blir det beskrevet mer i detalj

hvilke faktorer ved arbeidsmiljøet som skal analyseres. Men analysen av arbeidsmiljø sees i forhold til bruk av kjemikalier, eksponering for biologiske faktorer, mekaniske vibrasjoner, samt utføring av manuelt arbeid opp mot risiko for helseskadelige belastninger – tema knyttet til eksempelvis interaksjon og bruk av teknologi fra et menneskelig perspektiv nevnes ei. Imidlertid viser veiledningen til ISO 11064 del 1 som en standard som bør følges med tanke på analyse av arbeidsmiljø og utforming og bemanning av kontrollrom.

Innretningsforskriften og paragrafene 20, 21 og 34a tar for seg henholdsvis ergonomisk utforming, grensesnittet menneske-maskin herunder informasjonspresentasjon, samt kontroll- og overvåkningssystem. Begge paragrafene (20 og 21) gir generelle beskrivelser omkring intensjonen, og poengterer at det man primært ønsker å unngå er menneskelige feilhandlinger. I veiledningen til førstnevnte vises det videre til NORSOK S-002N og spesifikke kapitler, mens sistnevnte veiledning også beskriver NORSOK S-002, samt standardene EN 894 del 1-3, samt NS-EN 614 del 1 herunder konkrete tillegg. Paragraf 34a på sin side beskriver at innretninger skal ha kontroll- og overvåkingssystemer som med tilhørende alarmer varsler hendelser, avvik eller feil med betydning for sikkerheten. Videre står det at alarmer skal gis slik at de kan oppfattes og behandles på den tiden som kreves for sikker betjening av utstyr, anlegg og prosesser. Ser vi på veiledningen til §34a innleder denne med å vise til at kontroll – og overvåkningssystemer bør forholde seg til Norsk olje og gass sin retningslinje 104 (NOROG 1014) knyttet til IT-beskyttelse. Videre poengteres det at alarmer bør defineres og utformes på en slik måte at alarmene er relevante enkle å registrere og oppfatte og klart viser hvor de eventuelle avvikene og faresituasjonene har oppstått. Samtidig blir det påpekt at alarmsystemene legger til rette for undertrykking og redusering av alarmer, slik at mental overbelastning unngås under driftsforstyrrelser og ulykkeshendelser. Veiledningen viser til at standardene EN 62682 og EEMUA 191 bør benyttes.

Teknisk og operasjonell forskrift fokuserer eksplisitt på grensesnittet menneske-maskin gjennom §21, hvor det i forskriften påpekes at teknisk utstyr for å overvåke, kontrollere og styre maskiner, anlegg eller produksjonsprosesser, skal utformes slik at faren for feilhandlinger som kan ha betydning for sikkerheten unngås. Videre heter det at nødvendig informasjon skal presenteres hurtig og enkelt, og at presentert informasjon skal være korrekt og lett forståelig. Det poengteres også at informasjonssystemene skal dimensjoneres for normale så vel som kritiske situasjoner. I veiledningen til §21 poengteres at det bør utføres en analyse av menneske-maskin grensesnittet, deriblant nødvendige oppgave- og funksjonsanalyser. Veiledningen viser til at standarden NS-EN 614 del 2 bør anvendes. Videre heter det at utforming av kontrollrom bør følge ISO 11064 standarden.

## 6.2 Oppsummering - Regelverksutformingens struktur - noen refleksjoner

Basert på funn i aktivitetene i prosjektet samt struktur og innhold i dagens regelverk reflekterer vi nedenfor rundt problemstillinger knyttet til regelverk, menneskelige faktorer og automatisering. Diskusjonene er knyttet til en teknologisk forankring av regelverket, dernest et aktørbilde i bransjen med økt grad av kompleksitet, noe som gjør det naturlig å reflektere rundt i hvilken grad dette er håndterbart gjennom dagens regelverksutforming. Avslutningsvis diskuterer vi omkring det funksjonsbaserte regelverket herunder hvilket sikkerhetsnivå man skal kunne forvente blant operatører.

**En teknologisk forankring av regelverket**
Det er ofte slik at hvordan et spørsmål stilles vil som regel gjenspeiles i det svaret man mottar. Ser vi på innholdet i forskriftene, tilhørende veiledninger samt standarder ut ifra *tematisk vektlegging*, vil man kunne hevde at det i forhold som spesifikt omhandler, samt vil kunne assosieres med menneskelige faktorer og automatisering av teknologi, ofte er teknologisk forankret. Et eksempel er styringsforskriftens §18 og tilhørende veiledning hvor faktorer ved arbeidsmiljøet knyttet til eksempelvis kjemikaliebruk og eksponering for biologiske faktorer vektlegges, mens forhold vedrørende menneskelige faktorer opp mot teknologisk infrastruktur er utelatt.

Paragrafene 20 og 21 i innretningsforskriften poengterer at menneskelige feilhandlinger skal unngås, en tilnærming til sikkerhetsstyring som kan assosieres med en Safety-I tankegang hvor tanken er å identifisere kausale årsaksforhold og iverksette tiltak for å motvirke uønskede hendelser i fremtiden, som oftest gjennom å fokusere på etterlevelse (compliance). Dette gjenspeiles også i bruken av *barrierebegrepet* i deler av regelverket, for eksempel styringsforskriftens §5 hvor barrierer redegjøres for, og hvor organisatoriske barriereelementer nevnes knyttet til å opprettholde en effektiv barrierefunksjon. Anvendelsen av et barrierebegrep illustrerer en til dels teknologisk forankring også av menneskelige og organisatoriske forhold og opptatthet av å unngå feil per se. I en slik sammenheng kan man også tenke seg en noe mer *proaktiv* tilnærming til sikkerhetsledelse, noe «resilience engineering» tradisjonen samt et perspektiv slik som sensemaking representerer. En slik tilnærming kan eventuelt sees i sammenheng med å betone samt anerkjenne forståelsen av forhold som fører til at ting faktisk går bra i det daglige arbeidet. I forhold til teknisk operasjonell forskrift og §21 påpekes det jo at informasjonssystem skal både håndtere normale samt kritiske situasjoner. Paragraf 34a viser også til at man skal unngå mental overbelastning, noe som gjør at man som leser ønsker å vite hva en slik tilstand egentlig innebærer – noe som aktualiseres med tanke på økende grader av automatisering for operatørers del og interaksjonen menneske-automatisering.

Imidlertid er dagens regelverksutforming også et resultat av den kompetansen som er lagt til grunn for hva som vektlegges. Petroleumstilsynet påpeker også selv at man ser et behov for mer tydelige og anvendbare HF-standarder knyttet til automatisering, noe som også aktualiserer hvordan faglig kompetanse på menneskelige faktorer kan gjøres mer synlig ved fremtidig regelverksutforming.

**Funksjonskrav og hva som egentlig er godt nok**
Kjennetegnet ved et funksjonsbasert regelverk er å identifisere krav til funksjoner som forteller hvilket sikkerhetsnivå man forventer, samtidig som det overlates til aktørene hvordan sikkerhetsnivået oppnås i praksis. Ifølge Petroleumstilsynet er selskapene selv ansvarlige for å etterleve HMS-lovgivningen men gis samtidig frihet til selv å velge fremgangsmåte. Hensikten er å gjøre aktørene i næringen ansvarlige for planlegging og gjennomføring av operasjoner, samt i den sammenheng tilrettelegge for fleksibilitet i valg av metoder, fremgangsmåter og teknologiutvikling.

Nå er det slik at petroleumsnæringen per i dag også kjennetegnes av flere nye aktører hvor flere har lite eller ingen erfaring med bransjen fra tidligere, noe som kan medføre at man av og til ser aktører som ikke har samme forståelse av hvordan regelverket er tenkt å ivareta risiko tilsvarende tradisjonelle petroleumsaktører. Samtidig innebærer boring og brønn ofte komplekse prosesser, og i en slik kontekst, og spesielt i forhold til menneskelige faktorer er det viktig med god dialog mellom tilsynet og partene, hvor også regelverksforum vil kunne være en ressurs. Betydningen av en felles

virkelighetsforståelse mellom bransjeaktørene og Ptil må ikke undervurderes, noe funn fra workshop og intervju bekrefter.

Det er jo også et paradoks knyttet til et funksjonsbasert regelverk i en slik sammenheng – på den ene siden skal aktørene selv ta ansvar for hvordan funksjonskrav nås, samtidig som det nok er behov for å tydeliggjøre nærmere hva som eksempelvis er minste akseptable sikkerhetsnivå knyttet til interaksjonen menneske-automatisering. Spesielt vil det være viktig å tydeliggjøre hvilke krav regelverket setter, og i forhold til menneskelige faktorer og automatisering av teknologi bør standarder være en viktig ressurs, noe som aktualiserer spørsmål rundt aktuelle og tilgjengelige standarder innenfor HF-feltet (se kap. 6).

Gjennom prosjektet er det identifisert behov for mer tydelige standarder til å støtte opp omkring veiledningene. I den sammenheng er det som nevnt ovenfor naturlig å stille spørsmålet hvorvidt standarder bør være mer enn veiledende, noe som vil innebære at man må endre noe på dagens regelverksstruktur herunder diskutere *hvor* ansvaret for oppfyllelse av funksjonskravene bør ligge. Men uavhengig av dette må det fortsatt tas stilling til hva det er som vil være *godt nok* knyttet opp mot interaksjonen menneske-automatisering i et risikoreduserende perspektiv, og hvordan dette skal tydeliggjøres ovenfor næringen. Gjennomgangen av regelverksutformingen tyder på at synliggjøring av relevante HF-standarder, og hva dette i praksis innebærer for aktørene, kan styrkes. Kan veiledninger i større grad gjøres tilgjengelig på Petroleumstilsynets nettsider, og om mulig formuleres mer i anvendt retning? Prosjektet har også identifisert et behov fra aktørene knyttet til et mer aktivt Petroleumstilsyn knyttet til en kompetanse også på teknologien som utvikles – at man i større grad fra tilsynets side også har mulighet til å gå i dialog i det daglige med tanke på etterlevelse av eksempelvis gjeldende standarder. Imidlertid vil en kontinuerlig oppdatering på den teknologiske utviklingen være noe krevende for et tilsyn.

Funnene ovenfor er også aktuelle uavhengig av om tema er HF, automatisering og regelverk. Erfaringene fra andre næringer eksempelvis transport og luftfart har vist de praktiske konsekvensene med manglende forståelse av nedsidene ved piloters interaksjon med automatiserte system, også gjennom regelverket (under tidskritiske hendelser), ref. Air France 447 og Boeing 737 Max-ulykkene.

# 7 Relevante Human Factors-standarder og retningslinjer

Formålet med dette avsnittet er å identifisere viktige metoder og "best practice" knyttet til hvordan menneskelige faktorer skal ivaretas i forbindelse med utvikling, testing og implementering av automatisering, robotisering og digitalisering. Vi ønsker å trekke frem relevante MF standarder og god praksis som reduserer kostnader og problemer med innføringen; som bidrar til å redusere risiko for storulykker i; bidrar til å redusere HMS belastninger på miljø og ansatte; og sørger for økt deling av god praksis som øker HMS.

Argumenter for å vise til standarder i regelverket er generelt:
- å forbedre praksis ved å bruke regelverket til å etablere minimums-standarder
- lettere å kunne følge opp de som henger etter med beste praksis i sektoren
- behovet for regelverkskrav når HMS konsekvensene kan bli store

Ut fra intervjuene og datainnsamlingen opplever vi at oppmerksomheten på menneskelige faktorer har blitt mindre. Nødvendig kunnskap er ikke vedlikeholdt og det er høy grad av teknologi-driv. Vi har likevel sett at økt grad av automatisering og brukersentrert utvikling fra designmiljøet har økt interessen for MF. Det er likevel et fåtall fagfolk som har kompetanse inne menneskelige faktorer/psykologi i bransjen (både i tilsyn og hos sentrale aktører.) Nødvendige standarder har ikke blitt lagt inn i regelverket. Oppmerksomhet på fysisk ergonomi (sitteplasser, lys, temperatur, luftkvalitet) er ivaretatt, men oppmerksomhet på nødvendige kognitive standarder og organisatorisk MF mangler i stor grad. Dette gapet blir mer tydelig og krevende når en øker graden av automatisering og digitalisering uten at forutsetninger for menneskets rolle blir avklart med hensyn til menneskelige begrensninger og muligheter.

Vårt forslag er at ramme- og styringsforskrift moderniseres og referere til anerkjente prinsipper «Principles and Guidelines for Human Factors/Ergonomics (HF/E) Design and Management of Work Systems» som beskrevet i IEA/ILO (2020). Brukersentrert utforming bør komme inn samen med prinsippet om meningsfull menneskelig kontroll. For å støtte brukerens forståelse bør man få på plass sentrale standarder for interaksjonsdesign ISO 9241 serien og referanse til tekniske standarder som ISA 101.

Avsnittet er i to deler – første del er knyttet til standarder for HF; deretter kort opplisting av spesifikke standarder knyttet til sikkerhet av robotisering og digitalisering.

## 7.1 Standarder og retningslinjer knyttet til menneskelige faktorer og autonomi

I det følgende avsnittet har vi beskrevet eksisterende bruk av standarder som er etablert i regelverket, fulgt av en opplisting av noen relevante standarder som mangler, fulgt av et forslag til standarder og retningslinjer til menneskelige faktorer som bør innarbeides i regelverket.

Regelverket og utvalgte paragrafer som omhandler menneskelige faktorer (gjerne som del av MTO begrepet) er listet i Tabell 7.1. Her har vi lagt inn MF standardene som nevnes i veiledningen.

**Tabell 7.1 Regelverk og paragrafer som refererer til menneskelige faktorer i dag**

| Regelverk Forskrift | Paragrafer som referer til menneskelige faktorer/ MTO | MF tema som nevnes i veiledningen |
|---|---|---|
| Ramme | §13 Tilrettelegging for arbeidstakermedvirkning<br>§17 Plikt til å etablere, følge opp og videreutvikle styringssystem | «arbeidstakere og deres tillitsvalgte skal delta i utviklingsarbeid som angår utformingen og organiseringen av arbeidet i virksomheten» men ingen tilnærming eller standard nevnes |
| Styring | §13 Arbeidsprosesser<br><br><br><br>§18 Analyse av arbeidsmiljøet | Nevner MTO, men trekker ikke frem utforming, kognitive eller organisatoriske forhold. Nevner ingen krav om kunnskap om menneskelige faktorer.<br>Refererer til NORSOK S-002N og ISO 11064 del 1. |
| Innretning | § 10 Anlegg, systemer og utstyr<br>§20 Ergonomisk utforming;<br><br><br><br>§21 Menneske-maskin-grensesnitt og informasjonspresentasjon;<br>§34a Kontroll- og overvåkingssystem | ISO 11064 for å hindre menneskelige feil<br>Trekker ikke frem kognitive/ organisatoriske forhold, NORSOK S-002N og ISO 6385<br><br>NORSOK S-002N, EN 894 og NS-EN 614<br><br>EN 62682 og EEMUA 191 |
| Aktivitet | §33 Tilrettelegging av arbeid<br>§34 Ergonomiske forhold<br>§35 Psykososiale forhold | ISO 6385<br>NORSOK S-002N |
| Teknisk og operasjonell | §7 Anlegg, systemer og utstyr<br><br><br>§21 Menneske-maskin-grensesnitt og informasjonspresentasjon;<br>§23 Ergonomisk utforming<br>§33a Kontroll- og overvåkingssystem | ISO 11064, unngå menneskelige feilhandlinger<br><br>NS-EN 614 og ISO 11064<br><br>ISO 6385<br>EN 62682 og EEMUA 191 |

Denne tabellen gir en indikasjon på dagens status for bruk av standarder i regelverket. I teksten til styringsforskriften og rammeforskriften legges det vekt på brukermedvirkning, involvering og gode arbeidsprosesser uten at det refereres til relevante standarder. Ved å trekke frem noe mere substans i veiledningene kan denne vinklingen underbygges med god praksis. Standarden Norsok S002N nevnes, en standard som er dekkende på fysisk ergonomi. Norsok-S002N ble oppdatert og kom i ny versjon i 2018, men med uenighet om innhold og noe kritikk knyttet til kognitive forhold, organisering/ansvarsfordeling, verifikasjon og validering. Kritikken ble ikke tatt til følge, og flere aktører trakk seg fra arbeidsgruppen. Når standarden revideres på nytt, bør man bl.a. referere til prinsipper for interaksjonsdesign og baseres på enighet/involvering fra de som arbeider med kognitive og organisatoriske standarder.

ISO 11064 er en anerkjent standard som beskriver god praksis for utvikling, som gjerne kan nevnes som god praksis for brukersentrert utvikling som tar hensyn til MTO perspektivet.

EN 894 og NS-EN 614 er relativt detaljerte, og har mer oppmerksomhet på rene ergonomiske forhold enn kognitive forhold. Området for standardisering kan være bredt, men vi har antatt at regelverkets bruk av standardene bør gi ramme og kontekst for arbeidet ut fra en noe bredere MTO struktur som beskrevet fra IEA/ILO (2020), dvs. basert på en utviklingsmetodikk som beskriver stegene i utviklingen med opplisting av standarder for viktige områder, hvor EN 894 og NS-EN 614 kan inngå. Inndelingen vi foreslår er delt inn i følgende to områder:

- Overordnede prinsipper og metoder for utvikling som er relevant med tanke på rammeforskriften og styringsforskriften
- Sentrale standarder for interaksjonsdesign og alarmhåndtering

## 7.2 Overordnede prinsipper og metoder

På et overordnet nivå, knyttet til rammeforskriften og styringsforskriften, har vi standarder som omhandler systemtilnærminger og brukersentrert utforming. Viktig prinsipper på dette nivået nevnes av IEA/ILO (2020):

- G1: Use a systems approach
- G2: Consider all relevant characteristics of workers: 2a. Consider demographic characteristics, physical and cognitive capabilities and limitations; 2b. Provide workers with appropriate tools, training, and control to perform work; 2c. Design work systems to be safe and to engage people in ways that maximize worker and work system safety and sustainability
- G3: Apply Participatory HF/E methodologies
- G4: Incorporate proactive measures to ensure worker safety, health, wellbeing, and sustainability
- G5: Tailor HF/E design and management of work systems to characteristics of organization
- G6: Sustain a continuous learning process for evaluation, training, refinement, and redesign.

Dette er prinsipper som er basert på god praksis og som kan inngå i regelverket. Prinsippene bør refereres i veiledningene. Eksempler er "Brukersentrert design" og «meningsfull menneskelig kontroll». Vi har sett fra konkrete prosjekter at dette gjør at teknologien raskere får solid brukerstøtte og at brukskvaliteten og forståelse for hva som foregår kan bli bedre, noe som er generelle funn (Vredenburg, 2002), men det gjør også at HMS kvaliteten til løsningen kan bli bedre.

Relevante standarder for utvikling må beskrive prosessen for utvikling og teknikker som kan gi støtte til de forskjellige oppgavene som beskrives. En overordnet beskrivelse som kan brukes på styringssystemer generelt er gitt i ISO 11064 - Ergonomisk utforming av kontrollsentre. Standarden gir også en beskrivelse av en fasedelt metode med vekt på sterk brukerinvolvering og iterativ utforming av systemene. Metoden gir rammeverk for utvikling av generelle styringssystemer, og beskriver detaljert elementer i et kontrollsenter med interaktive systemer. Metodikken er laget for å øke ytelsen og forbedre HMS, ikke bare for å «redusere sannsynligheten for menneskelige feilhandlinger» som nevnt i forskriften. Formuleringen om at ISO 11064 bør brukes bør være et nevnt tidlig (dvs rammeforskriften og styringsforskriften, rettet inn mot design og brukes for økt ytelse, bedre HMS og meningsfull menneskelig kontroll. Det bør klargjøres at «menneskelige feilhandlinger» er en konsekvens av dårlig design, (Dekker, 2002).

## 7.3 Sentrale standarder for interaksjonsdesign og alarmhåndtering

Sentrale anerkjente standarder knyttet til utforming av interaksjonsdesign knyttet til styringssystemer er gitt av ISO 9241 serien:

- 9241: «Ergonomics of Human System Interaction»,
- serien 200: «Human system interaction processes» og spesielt ISO 9241:210 (2010) «Human-centred design for interactive systems» og
- ISO/TR 9241-810 (2020) Ergonomics of human-system interaction — Part 810: Robotic, intelligent and autonomous systems.

Viktige prinsipper for menneskesentrert automasjon er listet opp i Lee et al., (2017) «Designing for People», kap. 11.5 *Fiften principles of Human-Centered Automation*. Tilsvarende prinsipper er nevnt av Endsley (2019), og i MITRE (McDermott et al. 2018). Bruk av AI har vært brukt og forventes å bli brukt ytterligere, (Bello et al., 2015; Kirschbaum, et al., 2020). Bruk av AI er under utvikling, og bør være et tema for videre arbeid, [V7]. For økt grad av automatisering og AI, er et viktig prinsipp er at bruker alltid bør ha mulighet for å kunne ta styringen over systemene, mer presist at meningsfull menneskelig kontroll må være mulig.

ISA 101 Human-Machine Interfaces (spesifikt ISA 101.01) er utgitt av International Society of Automation. Der er en relevant standard som fokuserer på viktige prinsipper for utforming av HMI, dvs. at grensesnittene mot operatørene skal være enkle og basert på oppgaveanalyse (Task Analysis). ISA-TR101.02-2019, beskriver «HMI Usability and Performance».

Standarder for interaksjonsdesign må beskrive retningslinjer for fargebruk, strukturer for dialog, støtte for å håndtere alarmer samt hvordan helhetlig oversikt gis. Det kan være viktig å ha flere informasjonskilder for å sikre høy kvalitet av situasjonsforståelse og meningsdannelse. Nyttig referanse for utforming av skjermbilder er “High-performance HMI Handbook” (Hollifield et al., 2008). Standardene understøttes av ISO 9241(f.eks.: 210), og ISA 101 Human-Machine Interfaces. Viktige prinsipper for interaksjonsdesign er å gjøre interaksjonen enkel og oppgaveorientert. Oppgaveanalyse er sentralt for alle designaktiviteter og organisering av arbeidsoppgaver og bør gjennomføres (Smith et al., 2020; Lee et al., 2017).

Relevante standarder for alarmhåndtering er dokumentert i EEMUA 191 og i standard utviklet i regi av Ptil som YA-711/710, som er åpent tilgjengelig. Teknisk orienterte standarder er f.eks. IEC 62682 Alarm Management.

## 7.4 Forslag til sentrale standarder for oppmerksomhet på menneskelige faktorer

Ut fra gjennomgangen av eksisterende standarder, funn fra intervjurunden og funn fra granskingene har vi i det følgende listet opp gap og forslag til prinsipper og standarder som bør etableres. Forslagene listet i den Tabell 7.2.

**Tabell 7.2 Forslag til oppdatert regelverk og referanser knyttet til menneskelige faktorer**

| Regelverk Forskrift | Gap med forslag til tiltak | MF perspektiver og standarder som bør komme inn i veiledningen |
|---|---|---|
| Ramme | Erfaringer fra industrien og fra granskingene styrker behovet for brukersentrert utvikling og oppmerksomhet på MF [T2].<br>I §13 og §17 mangler det mer spesifikke føringer på hvordan arbeidstakerne skal involveres i utviklingen. Ut fra god erfaring med brukersentrert utvikling bør prinsipper fra brukersentrert utvikling nevnes. | Oppmerksomhet på brukersentrert utforming, som bør komme inn som et prinsipp i forbindelse med innføring av automatisering og ved økt grad av digitalisering.<br><br>IEA/ILO (2020) bør være en sentral referanse for innføring av ny teknologi som automatisering og digitalisering |
| Styring | §13 Arbeidsprosesser, bør trekke frem brukersentrert utforming av systemer som tar hensyn til kognitive og organisatoriske forhold. Bør nevne krav om kunnskap om menneskelige faktorer. Prinsippet om meningsfull menneskelig kontroll bør komme inn. [T2]& [T3].<br><br>§18 Analyse av arbeidsmiljøet | Prioritering av brukersentrert utforming, med referanse til IEA/ILO (2020); og prinsippene i ISO 9241 serien bør komme inn (spesielt 210).<br>Brukerne må forstå systemene om de skal gripe inn dvs. «meningsfull menneskelig kontrol».<br><br>Fortsatt NORSOK S-002N & ISO 11064 alle deler (trenger ikke begrenses) |
| Innretning | For §10, Formålet med ISO 11064 er både å redusere menneskelige feil, men også å støtte menneskelig ytelse, forbedre HMS – og støtte meningsfull menneskelig kontroll [T3].<br><br>I §20 og §21 behov for mer oppmerksomhet på kognitive/ organisatoriske forhold, som nevnes i IEA/ILO (2020) og ISO 9241:210. [T2]& [T3].<br><br>I §34a kan YA710 refereres – den er presis og tar frem viktige elementer. Den er fritt tilgjengelig | Trekke frem IEA/ILO (2020), ISA 101 og ISO 9241:210 i §10 og §20 og §21<br><br>Fortsatt referanse til NORSOK S-002N og ISO 6385; EN 894 og NS-EN 614<br><br>EEMUA 191 og YA710 |
| Aktivitet | §33, §34 og §35 - oppmerksomhet på kognitive og organisatoriske forhold; | Trekke frem IEA/ILO (2020), ISA 101 og ISO 9241:210<br>ISO 6385, NORSOK S-002N |
| Teknisk og operasjonell | I §7 Anlegg, systemer og utstyr er formålet med ISO 11064 både å redusere menneskelige feilhandlinger, men også å optimalisere HMS, og etablere meningsfull menneskelig kontroll.<br>§21 Menneske-maskin-grensesnitt og informasjonspresentasjon;<br>§23 Ergonomisk utforming<br><br>§33a Kontroll- og overvåkingssystem | Generelt:<br>Trekke frem IEA/ILO (2020), ISA 101 og ISO 9241:210, fortsatt bruke ISO 11064<br><br>NS-EN 614 og ISO 11064<br>ISO 6385, ISO 9241:210,<br><br>EN 62682, EEMUA 191 og YA710 |

## 7.5 Standarder og retningslinjer knyttet til teknisk utvikling - automatisering

Det er en løpende utvikling hvor en går fra at automatiserte systemer operer isolert fra brukerne med barrierer og beskyttelse (som isolerte metrosystemer) til systemene er integrert i operativ virksomhet nært brukerne, som eksempelvis autonome kjøretøy og droner brukt til luft-transport (Guiochet et al., 2017). Alternativt at operative funksjoner flyttes og sentraliseres lengere unna produksjonsprosessen som styres. Økt innføring av automatisering og autonome operasjoner via robotisering krever gode rutiner og standarder under utvikling av løsninger og gode rutiner for risikovurderinger og operasjonelle rutiner. Vi har derfor listet opp noen retningslinjer knyttet til utvikling fulgt av opplisting av relevante standarder og praksisnotater som beskriver rammeverk for risikovurderinger og standarder for operativ virksomhet.

### 7.5.1 Standarder for utvikling av løsninger

Utgangspunktet for utvikling av standarder er basert på at man har kravspesifikasjon som beskriver systemet som helhet, dvs i et systemperspektiv som beskrevet i figur 1.1, med beskrivelse av grensesnittet opp mot brukerne, nødvendig støtte fra infrastruktur, grensesnitt mot andre autonome systemer og grensesnitt mot kontrollsystemer (om det er nødvendig.). Konseptutviklingen kan ofte være radikal innovasjon, men bør ha ivaretatt grensesnittet/kontakten mot brukerne, som skissert i det foregående f.eks. via IEA/ILO (2020) eller ISO 11064, for å sikre at prinsippene fra «Fitts list» (De Winter et al., 2014), blir ivaretatt, dvs at man passer på at menneskelige begrensninger og muligheter blir ivaretatt.

Utvikling av programvare til automatiserte systemer og autonome systemer krever også metoder og standarder, noe som varierer fra fossefalls-standarder til standarder for smidig utvikling. Metoder for innføring av systemer avhenger av om det er ferdige pakkeløsninger, eller om det kreves programmering og egen-utvikling. Standarder, retningslinjer og metoder for utvikling bør være etablert i alle utviklingsprosjekter som omfatter analyser, utvikling, testing og etablering av både gode rutiner og prosedyrer. For utvikling av kritiske systemer og programmering av automatiserte systemer er det derfor viktigst å peke på at standarder, retningslinjer og metoder må være etablert. Vi synes imidlertid at det er viktig å nevne smidig utvikling som et viktig bidrag til å lage systemer raskt og med høy kvalitet. Dette har blitt viktigere de siste årene siden man må «patche» systemet raskere og oftere pga blant annet security utfordringer.

Iterativ og inkrementell programvare utvikling som er en viktig del av smidig utvikling ble påbegynt allerede på 1950 tallet. Smidig utvikling ble satt på agendaen i 2001 med det "smidige manifestet" (Beck et al., 2001). I begynnelsen ble smidig utvikling kun benyttet til utvikling av generell programvare og brukes i dag over hele verden. Metodikken er så effektiv at den også brukes til utvikling av instrumenterte sikkerhetssystemer i andre næringer.

I 2011 startet SINTEF og NTNU utviklingen av SafeScrum (Hanssen et al., 2018), som benyttes til utvikling av kritisk programvare og instrumenterte sikkerhetssystemer. Både smidig programvareutvikling og SafeScrum involverer kunden (operatører etc.) i større grad enn vanlig programvareutvikling. Ett av prinsippene for smidig utvikling slår fast følgende prinsipp: "Vår høyeste prioritet er å tilfredsstille kunden gjennom tidlige og kontinuerlige leveranser av programvare som har verdi". SafeScrum og lignende tilnærminger har blitt mere og mere populært

innen alle sikkerhets domenene. Smidige metoder er nå i mere eller mindre grad i bruk av de fleste leverandørene. SINTEF har forespurt alle de aktuelle sertifiseringsorgan som den norske leverandør industrien bruker angående SafeScrum. Disse sertifiseringsorganene svarte at de aksepterer SafeScrum som utviklingsprosess. I de fleste prosjektene kombinerer man deler av sikkerhets livssyklusen (f.eks. Waterfall og V-modell) med SafeScrum eller lignende tilnærminger. I IEC 61508 komiteen har man endret seg fra å våre noe skeptisk i 2014 til smidige metoder; til at smidige metoder er akseptable og man tar bedre høyde for dette i neste versjon av standarden. SafeScrum er også tillatt i forhold til nåværende utgave av IEC 61508 standarden. Man må selvfølgelig tilfredsstille alle aktuelle krav og utføre alle aktuelle analyser også når man bruker smidige metoder. Dokumentasjon har lenge vært en utfordring både generelt og innen petroleumsindustrien, ikke minst når man utvikler sikkerhets-kritisk programvare. SINTEF og NTNU har derfor utviklet en smidig tilnærming til dokumentasjon ved at de har utviklet metodikk for «smidig dokumentering» av at produkter/systemer er sikre (Myklebust et al., 2018).

Det viktigste kravet i forbindelse med utvikling av automatiserte og autonome systemer er at det finnes en standard metode som definerer krav til hvordan utviklingen skal skje, og hvordan testing, dokumentasjon og prosedyrer for bruk skal ivaretas. Behovet for sertifisering, kvalitetssikring og godkjenning av systemet bør være avklart.

### 7.5.2 Standarder for risikovurderinger av automatiserte systemer (herunder robotisering)

Systematisk risikovurdering av utstyr og ny teknologi er en integrert del av regelverket, men det er likevel viktig å trekke frem eksisterende og nye standarder som bør brukes. Dessuten ser vi behov for å referere til god praksis for bruk av autonome systemer, og vil i den sammenheng vise til en standard for bruk av autonome systemer i gruvedrift som lister opp praksis for risikovurderinger og drift (Bolsin, 2018; Department of Mines and Petroleum (2015).

Relevante standarder for risikovurderinger av automatiserte/autonome systemer (og roboter) må ta utgangspunkt i maskinforskriften, Forskrift om maskiner (maskinforskriften) av 20. mai 2009. Hierarki for sikkerhetsstandarder som definerer nødvendige retningslinjer (og god praksis) for robotisering er listet opp i det følgende, fra det generelle til det mer spesifikke:

**Tabell 7.3 Hierarkisk oversikt - sikkerhetsstandarder og god praksis for robotisering er**

| Standard | Kommentarer |
|---|---|
| ISO 12100:2010, Safety of machinery — General principles for design — Risk assessment and risk reduction | Overordnet standard – se også ISO/DTR 22100-5:2020 “Safety of machinery — Relationship with ISO 12100 — Part 5: Implications of embedded Artificial Intelligence-machine learning” (AI introduserer høyere usikkerhet) |
| ISO 13849 Safety of machinery - Safety-related parts of control systems | Vurdere ulike "hazards", gir skår, kan de forhindres, diskuterer konsekvenser, osv. |
| ISO 10218:2011, Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots | Bruk av roboter i industrielle sammenhenger— Part 1: Robots; — Part 2: Robot systems and integration |
| ISO 13482:2014 Robots and robotic devices — Safety requirements for personal care robots | Standarden lister og diskuterer sikkerhetsfunksjoner som kan være relevante |
| **Standarder - security for safety** | |

| | |
|---|---|
| NOROG -104 Anbefalte retningslinjer og krav til informasjonssikkerhetsnivå i IT-baserte prosesskontroll-, sikkerhets- og støttesystemer | Overordnede retningslinjer for sikkerhet (og sikring), utviklet i samarbeid i petroleumssektoren, basert på Johnsen et al (2008). |
| IEC 62443 standards for Industrial Automation and Control Systems (IACS) security. | Viktig for sikring (security) for styringssystemer, og beskriver bl.a. sertifiseringsordninger som bør implementeres. (Standarden anbefales brukt innen petroleumssektoren i Norge). |
| **Functional safety** | |
| IEC 61508 - Functional safety of electrical/ electronic/ programmable electronic safety-related systems<br>(Den maskinspesifikke varianten er IEC 62061.) | Kan være relevant, men diskuterer ikke fysisk kontakt mellom utstyr og bruker. Den maskinspesifikke varianten er IEC 62061. |

### 7.5.3 Oppsummering av sentrale standarder som bør få mer oppmerksomhet

Sentrale anerkjente standarder knyttet til interaksjonsdesign for styringssystemer som bør komme inn i regelverket er:

- ISO 9241-serien: Ergonomics of Human System Interaction
  - ISO 9241-210 (2010) Human-centred design for interactive systems
  - ISO/TR 9241-810 (2020) Robotic, intelligent and autonomous systems
- ISA 101 Human-Machine Interfaces

Alarmhåndtering er en viktig forutsetning for å kunne håndtere komplekse operasjoner, og beste praksis for alarmhåndtering bør følges opp via for eksempel EEMUA 191.

God praksis for risikovurdering og sikkerhet bør benyttes, og standarder som ivaretar dette er:

- ISO 12100 Safety of machinery
- ISO 13849 Safety of machinery - Safety-related parts of control systems
- ISO 10218 Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots

Sikring av infrastrukturen og systemene bør ivaretas via IEC 62443 standarden og sertifiseringsordninger den anbefaler basert på rammebetingelser gitt av NOROG 104.

I intervjuene beskrives et gap mellom praksis og HF-standarder. Brukersentrert utforming og meningsfull menneskelig kontroll bør komme inn som prinsipper i forbindelse med innføring av automatisering hvor mennesket fremdeles har en viktig rolle, og rammen rundt dette er beskrevet i IEA/ILO (2020) «*Principles and Guidelines for Human Factors/Ergonomics - Design and Management of Work Systems*».

# 8 Workshop (WS) – automatiserte systemer og menneskelige forhold

Vi avholdt WS med 20 deltakere fra Ptil, SINTEF og bransjen den 29. og 30. september, for å validere og diskutere funn (fra rapporten – spesielt litteraturgjennomgang, intervju og granskinger) og diskutere relevansen av tiltak. Via workshopen ønsket vi både å identifisere felles holdninger og bygge økt forståelse for funn. Dessuten ønsket vi å identifisere forslag til tiltak som aktørene var enige om, og hvor funnene kan gjennomføres (dvs. en realitets-sjekk av at det er mulig.)

Vi har i det følgende beskrevet funn og tiltak knyttet til områdene som ble diskutert de to dagene:
Dag 1: **Menneskelige faktorer i forbindelse med utvikling** på fire områder: Balanse mellom teknologifokus og menneskelige faktorer; Bruk av standarder som ivaretar menneskelige faktorer; Fragmentert struktur på utvikling; Oppdatert regelverk.
Dag 2: **Menneskelig faktorer under granskinger** på fire områder: Bredde i granskning; Designvurderinger i granskning; Vellykkede hendelser; Nesten-hendelser.

## 8.1 Menneskelige faktorer i forbindelse med utvikling/design

Tabell 8.1 lister tema og identifiserte utfordringer fra gruppearbeidet.

**Tabell 8.1: Oversikt over gruppetema og hovedutfordringer i forbindelse med design**

| Gruppetema | Hovedutfordringer |
|---|---|
| 1 Balanse mellom teknologifokus og menneskelige faktorer | • Kostnadsreduksjoner vanskeliggjør inkludering av MF i utvikling<br>• Manglende kompetanse på MF hos flere aktører [T1] |
| 2 Bruk av standarder som ivaretar menneskelige faktorer | • Behov for bedre balanse mellom teknologi og kunnskap om MF<br>• Bruk av anerkjente metoder og standarder som ISO 9241:210; [T2] |
| 3 Fragmentert struktur på utvikling | • Manglende bestiller-kompetanse på MF [T1]<br>• Tydelighet på målene som skal drive utviklingen – er det ren teknologi eller brukerinvolvering [T2] |
| 4 Oppdatert regelverk | • Har man gode nok MF standarder for å støtte regelverket [T2]<br>• Behov for å vise til gode designprinsipper [T2]<br>• Nytt og fragmentert aktørbilde med mange underleverandører uten dyp innsikt i regelverket [T3] |

I det følgende presenterer vi hovedutfordringene og forslag til tiltak som ble identifisert i gruppearbeidet, detaljer fra diskusjonene kan finnes i vedlegg E.

### 8.1.1 Balanse mellom teknologifokus og menneskelige faktorer

Tema for denne gruppediskusjonen var hvorfor det kan oppstå et overfokus på teknologi i forhold til menneskelige faktorer i utviklingsprosjekter og hvordan man kan oppnå bedre balanse mellom de to faktorene.

**Hovedutfordringer og forslag til tiltak**

- Det er viktig at aktører i alle ledd, operatører, utviklere, brukere og myndigheter legger til rette for inkludering av menneskelige faktorer, og for at dette skal kunne iverksettes er det behov for økt forståelse og kompetanse. Myndigheter og andre ansvarlige, som bransjeorganisasjoner, bør øke oppmerksomheten på menneskelige faktorer i utvikling av

autonome systemer, for eksempel gjennom allerede eksisterende samlingsarenaer som konferanser og diskusjonsmøter som arrangeres av disse [T1].
- Menneskelige faktorer bør inkluderes i granskninger av hendelser, både hos myndigheter og selskapsinternt [T5]. Operatører kan i kontrakter tydeliggjøre ansvaret hos alle parter for både tidlig og kontinuerlig inkludering av menneskelige faktorer i utviklingsprosjekter.

### 8.1.2 Bruk av standarder som ivaretar menneskelige faktorer

Oppgaven for gruppen var å diskutere bruk av standarder som ivaretar menneskelige faktorer, bl.a. å diskutere hva som anses som beste praksis, hvilke metoder og standarder brukes i praksis, og om det er god nok kompetanse knyttet til bruken. Metode og standarder som var nevnt innledningsvis var CRIOP, standarder for «Design Thinking», ISO 9241:210, ISO 11064, IEA/ILO (2020) og alarmfilosofier (YA-710, EEMUA 191).

**Hovedutfordringer og forslag til tiltak**
- Manglende MF Kompetanse bør forbedres, dvs. behov for å øke kompetansen om Human Factors innen petroleumssektoren [T1].
- Teknologifokus som må balanseres med brukersentrert design (spesielt for sikkerhetskritiske oppgaver og håndtering av avvik) [T2].
- Manglende bruk av MF standarder, (god praksis som ISO 9241:210 må spesifiseres.) [T3].

### 8.1.3 Fragmentert struktur på utvikling

I denne gruppen ble det diskutert kompleksiteten i aktørbildet og systemer involvert i utviklingsprosjekter med ny teknologi.

**Hovedutfordringer og forslag til tiltak**
- Det er viktig å gjøre noe med den manglende bestiller-kompetanse på HF, og sørge for økt tydelighet på målene som skal drive utviklingen, slik at om brukerne blir påvirket/er en del av bildet så må HMS (inkludert HF) bli en del av prosjektet [T1].

### 8.1.4 Oppdatert regelverk og tilsyn

I gruppa ble det diskutert ulike problemstillinger knyttet til eventuelt behov for oppdatering av regelverk samt endring av fremtidig tilsynspraksis.

**Hovedutfordringer og forslag til tiltak**
- Har man gode nok MF-standarder tilgjengelig for å støtte regelverk? Tiltak handler om å identifisere gode MF standarder og få de inn i veiledning (normative referanser som sådan)
- MF tilnærming er ofte i konkurranse med andre faktorer når det gjelder hva som vektlegges internt i Ptil**,** tiltak kan for eksempel være å lære av flyindustrien hva gjelder godkjenningsprosesser og betydningen og verdien av å fokusere på MF.
- Nye aktører som kommer inn på norsk sokkel har ikke nødvendigvis like mye innsikt som tradisjonelle operatører – herunder mange aktører i komplekse system**,** tiltak vil kunne være å opprette arena på tvers av aktører herunder dialog (med for eksempel systemutviklere) for

å sikre lik forståelse også mellom alle aktørene man fører tilsyn med og Ptil, for slik å ivareta at man snakker samme språk.

## 8.2 Menneskelig faktorer under granskinger

Tabell 8.2 lister tema og identifiserte utfordringer fra gruppearbeidet.

**Tabell 8.2: Oversikt over gruppetema og hovedutfordringer under gransking**

| Gruppetema | Hovedutfordringer |
|---|---|
| 1 Bredde i granskning | • Det er for liten bredde i granskningsteam, særlig med tanke på MF kompetanse [T5].<br>• Økende grad av automatisering øker behovet for MF kurs både generelt og i granskinger [T1]. |
| 2 Design vurderinger i granskning | • Design blir sjelden vurdert i forbindelse med granskinger, men kan gi verdifull innsikt i rot-årsaker til uønskede hendelser [T5]. |
| 3 Læring av vellykkede faktorer | • Det er for lite oppmerksomhet på å dele erfaring fra vellykkede utviklingsprosesser [V5]. |
| 4 Nesten-hendelser | • Nesten-hendelser fanges ikke i god nok grad opp hverken hos myndigheter eller selskaper. |

### 8.2.1 Bredde i granskning

Temaet for denne gruppen var å reflektere rundt bredde i granskningene mht. å avdekke de vesentligste bakenforliggende årsakene til hendelsen, og at granskningene bidrar til tilstrekkelig læring og de riktige tiltakene. Med bredde i granskning tenkes her at en skal kunne legge til rette for å ivareta alle MTO-forhold med systemet i granskningen (fra designfasen til og med driftsfasen). Da må det vektlegges riktig kompetanse (bredde) i granskningsteamet (inkludere HF), og en hensiktsmessig bruk av metoder og organisering av arbeidet.

**Hovedutfordringer og forslag til tiltak**

- Det å ha granskningsteam med tilstrekkelig bredde i kompetansen ble fremhevet som en hovedutfordring. Det er viktig å sørge for at MF kompetansen er med i granskinger fra starten (så kan MF evt. få en mindre rolle i etterkant),
- En hovedutfordring er at en økende grad av automatisering på mange områder, som f.eks. innen boring og brønn, også medfører behov for kompetanseheving innen HF. Det er derfor viktig å ha relevante MF kurs både generelt og fokusert på granskinger.

### 8.2.2 Designvurderinger i granskning

Oppgaven for gruppen var å diskutere om design ble vurdert i forbindelse med granskninger, inkludert; hvordan blir utforming/design evaluert i forbindelse med granskingene? hvilken del av designet bør evalueres og hvordan kan bruk av (design) metoder og standarder evalueres i granskning? I forbindelse med oppgaven var det presisert at man i granskingen ønsket både å se på om design-prosessen var basert på god praksis og likeledes om de bakenforliggende årsaker skyldtes svakheter med designet. I det følgende har vi gått gjennom hvert tema, med en oppsummering av forslag til tiltak.

**Hovedutfordringer og forslag til tiltak**

- En viktig konklusjon var et det er relevant å gå tilbake og sjekke designet i forbindelse med granskinger, dårlig design er relevant for å forstå menneskelige feilhandlinger.
- Metodikk fra havarikommisjonen er relevant å benytte i granskinger og spesielt er SA viktig. Granskingene fokuserer som regel mest på tekniske forhold, så viktig å se om teknikken har vært designet for å understøtte oppgaver som tilfaller menneskene. Bransjen bør få større opptatthet av hva aktørene opplevde, deres forståelse, og støtten fra hele MTO systemet.
- Petroleumssektoren bør kunne referere til gode eksempler på granskinger som tar med seg vurdering av design og av situasjonsforståelse (SA) f.eks. Havarikommisjonens rapport om Helge Ingstad og Deepwater Horizon granskingen fra CSB, med fagseminarer om disse granskingene.

### 8.2.3 Læring av vellykkede faktorer

I denne gruppen ble det diskutert det at sikkerhetstenkning tradisjonelt har vært opptatt hva som har gått galt ("Safety I") i stedet for hva som har vært vellykket ("Safety II").

**Hovedutfordringer og forslag til tiltak**

- Det bør være økt prioritering på å dele erfaring fra vellykkede utviklings*prosesser* (om det er vanskelig å dele erfaringer om *produkter* som er utviklet) dvs etablere forum som "*Sharing to be better*".
- Det er viktig å ha klare ansvarsforhold - f.eks. bare én leverandør å forholde seg til.

### 8.2.4 Nesten-hendelser

Tema for denne gruppediskusjonen var nesten-hendelser i autonome systemer og hvordan disse kan fanges opp og rapporteres for forbedret læring.

**Hovedutfordringer og forslag til tiltak**

- Nesten-hendelser fanges ikke i god nok grad opp hverken hos myndigheter eller selskaper og myndighetene og næringen bør i samarbeid sette krav til hvilke data som skal logges for kritiske automatiserte systemer og som kan gi informasjon om kritiske hendelser.

## 8.3 Oppsummering av viktigste funn og tiltak fra WS

Workshopen var en arena for å diskutere de forskjellige problemstillingene som ble prioriterte. De viktigste funnene og forslag til tiltak:

- **Manglende MF Kompetanse bør forbedres,** [T1] dvs. behov for å øke kompetansen om MF innen petroleumssektoren både blant aktørene som operatører, de som bestiller, ledelsen, tilsyn og konsulenter/leverandører. Dette kan skje via opplæring basert på forskningsbasert kunnskap innen HF/MF eller bruk av eksperter. Samtidig trengs det oppdatering av MF prinsipper/metoder i regelverket. Behov for økt oppmerksomhet av MF gjelder fra tidligfase til granskinger. Dette gjelder spesielt ved økt grad av automatisering av sikkerhetskritiske operasjoner, hvor teknologien må tilpasses menneskets muligheter og begrensninger.
- **Teknologifokus som må balanseres med oppmerksomhet på brukersentrert design (spesielt i sikkerhetskritiske oppgaver, HMI, og håndtering av avvik**) [T2]; det er høy drivkraft fra teknologien som må oppveies med oppmerksomhet på brukersentrert design, slik at

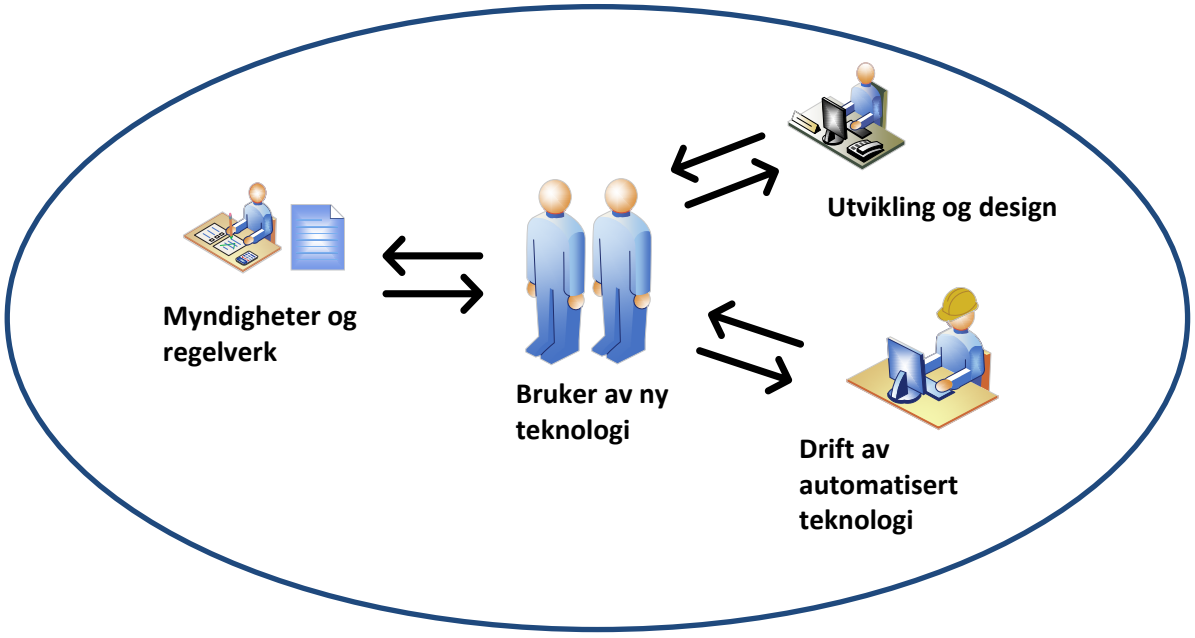
en må tilpasse systemene til brukerbehovene så tidlig som mulig, og sørge for at sikkerhetskritiske funksjoner og avvik kan håndteres av brukerne via grundige MF analyser.

- **Manglende bruk av MF standarder,** [T3]. MF/HF-standarder blir mer viktig når man automatiserer mer og for mer komplekse systemer som en operatør må håndtere når automatikken svikter. Det er mange forskjellige standarder og praksiser, men det er viktig at man definerer et sett av grunnleggende standarder som kan fungere som en grunnmur i bransjen. Det er derfor viktig at man fortsatt referer til ISO 11064, og refererer mer til etablerte standarder som ISO 9241:210. De bør nevnes i regelverket/veiledninger og følges opp i petroleumssektoren. Oppfølgingen kan skje i flere arenaer mellom aktører med f.eks. utviklere hvor det er viktig å sikre lik forståelse mellom tilsyn og aktører. Verifikasjon og validering av løsninger basert på god praksis bør fortsette, med MF eksperter involvert.
- **Ulykkes-granskinger har for sterkt teknologifokus, og bør dekke MF/menneskets opplevelse** og rolle i tillegg til organisatoriske forhold [T5]. Alle ulykkes-granskinger bør ha med MF eksperter som en del av granskingen fra starten, involvering kan eventuelt revurderes etter en evaluering. Granskingene bør beskrive hvordan menneskene opplevde situasjonen, f.eks. med støtte i taksonomi fra «sensemaking» eller «Situational Awareness». For å illustrere beste praksis kan industri og tilsyn velge ut noen gode granskingsrapporter som kan representere beste praksis og som dokumenterer metoder som ble benyttet. I denne sammenhengen kan Havarikommisjonens rapport fra Helge Ingstad i 2019 brukes som et eksempel eller CSB rapporten fra Deepwater Horizon (US-CSB, 2016).
- **Granskinger vurderer sjeldent design, men bør vurdere formålstjenligheten av designet.** [T5]. Uhensiktsmessig design kan være rotårsakene til mange av ulykkene, men vurderes sjelden i granskninger. Det foreslås derfor at design alltid vurderes. Dessuten bør vellykket design i forbindelse med vellykkede barrierer/funksjoner trekkes frem oftere.
- **Nesten-hendelser bør i større grad fanges opp og analyseres.** Det er i dag ingen definerte krav til hva som bør logges for sikkerhetshendelser som involverer automatiserte systemer i olje og gassbransjen, og hvordan slike data eventuelt skal håndteres i forbindelse med rapportering og læring. Myndighetene og næringen bør i samarbeid sette krav til hvilke data som skal logges for sikkerhetskritiske automatiserte systemer og som kan gi informasjon om sikkerhetskritiske hendelser [T4].
- **Læring av vellykkede faktorer** [V5]. Det kan være mer prioritering av erfaringsdeling av vellykkede prosjekter, særlig på gode arbeidsprosesser. Det eksisterer flere samarbeidsforum og nettverk som kan brukes for å dele læring

# 9 Forslag til tiltak og videre arbeid

I det følgende har vi foreslått tiltak og videre arbeid basert på funn i prosjektet. Funnene og forslagene er basert på induktive analyser bygget på erfaringen fra industrien i kombinasjon med deduktive analyser hvor vi bruker teori fra området menneskelige faktorer. Arbeidsformen for å komme fram til forslagene har vært basert på prinsippene fra aksjonsforskning, hvor praksis og hva aktørene virkelig gjør er undersøkt (Guba et al., 1989).

Et gjennomgående funn fra prosjektgruppen er at det er et sterkt teknologifokus uten nødvendig oppmerksomhet på menneskelige styrker og begrensninger, noe som kan svekke HMS og vellykket automatisering. Automatisering har generelt vært vellykket der hvor automatisering har vært innført i veldefinerte områder, gradvis og i samspill med brukerne. Automatisering kan medvirke til bedre utnyttelse av oljeressursene ved å muliggjøre boring i utfordrende brønner og i formasjoner der det tidligere ikke har vært mulig å bore. Automatisering kan føre til mer effektiv boring og gi støtte til tidligere detektering av feilhendelser gjennom de ulike tekniske løsningene for automatisering av boreprosessen. En bør fortsette den positive brukersentrerte utviklingen av automatisering basert på læring fra pilotprosjekter. Det er nødvendig at man bruker prinsipper for meningsfull menneskelig kontroll når man automatiserer operasjoner, for blant annet for å ivareta HMS.




**Figur 9.1 Mennesket som bruker av teknologi må involveres i myndighetskontakt, i utvikling og design av teknologi og gjennom kontinuerlig læring og oppdatering av teknologi gjennom drift.**

I det følgende har vi oppsummert funn og forslag til tiltak, basert på resultatene fra prosjektaktivitetene, (hvor tiltakene [Tx] kan spores). Tiltakene er foreslått ut fra et livssyklusperspektiv basert på standarder som ISO 11064. Rekkefølgen gjenspeiler ønsket om kostnadsreduksjoner og effektivitet ved å sørge for at god praksis innarbeides tidlig fra avgrensninger, analyser og design, se Figur 9.1.

## 9.1 Sterkt teknologifokus og teknologioptimisme

Fra litteraturgjennomgangen og intervjuene har vi observert at det er sterkt teknologifokus og teknologioptimisme i forbindelse med automatisering. Samtidig viser funn i denne studien at det er manglende kunnskap om menneskelige faktorer, spesielt med hensyn til kognitive og organisatoriske faktorer. Dette kan lede til design på teknologiens premisser som ikke tar hensyn til menneskelige styrker og svakheter; noe som igjen kan lede til komplekse systemer som er vanskelig å håndtere for brukerne. Fra gjennomgang av standarder observerte vi også at regelverket krever oppmerksomhet på MF men mangler henvisning til noen viktige standarder. Granskinger av storulykker og uønskede hendelser peker på svak håndtering av menneskelige faktorer som en viktig rot-årsak. Teknologifokuset bør i sterkere grad balanseres med brukersentrert utvikling og MF når systemer automatiseres. Funn i litteraturstudien, intervjuer og workshop er at bransjer og prosjekter som prioriterer MF oppnår høyt sikkerhetsnivå og effektive systemer med høy nytteverdi.

**[T1] Øke kunnskap og oppfølging av menneskelige faktorer:** For å kunne ivareta meningsfull menneskelig kontroll når automatisering innføres må man støtte seg på MF (Lee et al., 2017).

Aktørene må sørge for at eksperter på menneskelige faktorer er involvert i prosjektene i hele gjennomføringen, og brukermedvirkning må være planlagt fra oppstart. Næringen og tilsynsmyndighetene bør følge opp at eksisterende krav i regelverket som omhandler MF (ref. tabell 7.1) blir fulgt opp i prosjekter. HSE i UK har analysert utfordringer med å få innpass for MF, og peker bl.a. på at krav i regelverk er viktig for at MF blir brukt (HSE, 2015). Retningslinjer for bruk av MF er beskrevet i flere standarder, bl.a. NORSOK S002, og IOGP har laget forslag til implementering av MF i prosjekter (IOGP, 2020).

## 9.2 Brukersentrert utvikling har vært vellykket og gitt positive erfaringer

Litteraturgjennomgangen peker på at brukersentrering gir økt brukertilfredshet og effektive systemer med høy nytteverdi. Når vi ser på erfaring fra luftfart, har de lykkes med ekstremt høyt sikkerhetsnivå ved å fokusere på brukersentrert design og gradvis automatisering. Granskingene peker på at brukerne ikke forstår hva som foregår og at systemene kan være basert på sviktende og fragmentert design som ikke ga helhetsforståelse. Bruker-sentreringen i de prosjektene vi har sett på, har ledet til brukerengasjement, god aksept av løsningene, og skapt positive holdninger fra brukerne. Andre viktige positive faktorer har vært organisering med klare ansvarsforhold, én hovedleverandør, oppmerksomhet fra Ptil og støtte fra ledelsen. Samtidig har det vært behov for å etablere standarder og metoder i prosjektene for å sikre at utviklingen har god nok kvalitet. Det skaper god synergi og kvalitet når utviklerne bruker felles standarder og metoder.

**[T2] Økt oppmerksomhet på brukersentret utvikling (Som beskrevet av ILO/IEA (2020), ISO 11064, ISO 9241 og ISA 101.)**
Et viktig prinsipp er å involvere sentrale brukere i prosjektet, og sørge for at en forstår oppgavene til brukerne basert på allment aksepterte analyse-metoder og teknikker. Bruk av etablerte utviklings-metoder, med korte iterasjoner og implementering av tilbakemeldinger fra brukerne er god praksis. Iterasjoner bør teste ut at brukerne forstår systemet, og at systemet oppfyller behov og krav. Et system inkluderer også prosedyrer, opplærte brukere og samspill med andre aktører. Det gjør at endringer gjøres når det er mest kostnadseffektivt i designfasen. Brukere må sette av tid for å spesifisere krav, bistå under innovasjonsprosessen og ha tid til testing, utprøving og dokumentasjon av prosedyrer rundt bruken av systemene. Grov fordeling for tidsforbruk i et prosjekt bør estimeres

på basis av kode/omfang av prosedyrer/organisasjonsendringer, men er vanligvis ca. 1/3 til teknologi & programmering, 1/3 til testing og 1/3 til å lage ansvarsfordeling/klare prosedyrer (Nelson, 2007; NavalCenter, 2008; Johnsen, 2008). Sikkerhet og menneskelige faktorer må eksplisitt være en del av utviklingsløpet i metodene for at HMS skal ivaretas. Standarder, prinsippene og metoder som refereres i ILO/IEA (2020), ISO 11064, ISO 9241, ISA 101 og Lee et al. (2017) bør brukes som utgangspunkt og være minimumskrav.

## 9.3 Behov for økt oppmerksomhet på meningsfull menneskelig kontroll

Fra litteraturgjennomgangen og erfaringer ser vi at samspillet mellom mennesket og maskin blir mer kritisk når graden av automatisering øker. Det blir viktig med klart ansvar spesielt når det uventede skjer. Det er nødvendig med oversiktlige og transparente systemer, hensiktsmessige alarmer og trening på kritiske operasjoner. Granskingene peker på det samme, hvor systemene ofte ikke ga muligheten for meningsfull menneskelig kontroll fordi informasjonen var spredt. I hendelsene var det i flere tilfeller mange alarmer som var vanskelig å forstå. Bekymringen for manglende oversikt og dårlig forståelse for hva systemene gjør, finner vi også fra intervjuene. Automatisering leder ofte til mer sammensatte og komplekse systemer, og brukerne forstår ikke alltid det som foregår i systemene, noe som er utfordrende når systemene bryter sammen for det uventede og menneskene må ta over. Det er derfor sentralt å etablere prinsippet om meningsfull menneskelig kontroll.

**[T3] Sørge for at ny teknologi designes slik at det støtter «meningsfull menneskelig kontroll»**: Meningsfull menneskelig kontroll innebærer at de som skal ta over har forutsetninger for å kunne gjøre dette. Situasjonsforståelse og meningsdannelse må da være en del av analysen som ligger til grunn for utvikling av systemene (Lee et al. 2017; Endsley 2019).

I designfasen bør man gjennomføre sikkerhetskritisk oppgaveanalyse (Smith et al, 2020) og for eksempel bruke retningslinjer fra High performance HMI fra Hollifield et al. (2008). Alarmutforming må planlegges tidlig basert på standarder som YA710 og EEMUA191, ikke som et problem som må løses i etterkant. Et livssyklusperspektiv er derfor viktig i utvikling av automatiserte systemer og prosesser. Systemene må testes ved hjelp av anerkjente standarder. Testing før igangsetting bør innbefatte bruk av prosedyrer og ansvarsfordelingen, for å sikre at de er klart/forståelige og unngår mulighet for menneskelige feilhandlinger. Alarmer må være få og enkle å forstå. Trening på kritiske scenarioer må være gjennomført og holdt ved like.

**Behov for å avgrense området for automatisering**
Fra litteraturgjennomgangen og granskinger av uhell med autonome systemer ser vi at positiv erfaring med automatisering ofte er basert på god avgrensning opp mot omgivelsene.
Innen boring har det vært viktig å tydelig definere og avgrense operasjonsområde for høy sikkerhet, for eksempel delvis robotisering av boredekk og delvis automatiserte styringssystemer.

**[T3a] Avgrensninger og infrastrukturstøtte:**
Analyser av automatisering må baseres på kunnskap om en fordeling mellom mennesket og maskin som ivaretar sikkerheten (DSA Roadmap 2019). Avgrensning av operasjonsområdet må gjøres ut fra en risikovurdering, og bygge på prinsipper om meningsfull menneskelig kontroll i kombinasjon med proaktive og reaktive barrierer. Det har ofte vist seg at det er behov for økt infrastrukturstøtte i forbindelse med automatisering, for eksempel systemer for overvåkning som gjør at automatikken og aktørene får en bedre forståelse for hva som foregår.

**Behov for robuste løsninger og utnyttelse av prinsipper fra Resilience Engineering**
Fra litteraturgjennomgangen og erfaring fra andre bransjer, ser vi at robusthet og kvaliteten til sensorer som gir informasjon til det automatiserte systemet er viktige. Fra granskinger ser vi det samme, det vi si at flere ulykker med automatiserte systemer peker på manglende robusthet, som feil fra enkelt-sensorer eller at sensorene ikke oppdaget avvik fordi de hadde et for snevert operasjonsområde. Automatiserte systemer med potensiale for storulykke bør være robuste med hensyn på datainnsamling, det vil si at de har flere uavhengige sensorer og systemer som gir informasjon. Systemene må kunne gi oversikt over status opp mot grenseverdiene for operasjonsområdet. Systemene må være tilstrekkelig fleksible, slik at kritiske oppgaver kan utføres selv ved enkeltfeil. Autonome systemer må kunne gå til en sikker tilstand ved feil eller når det uventede skjer (Både safe and secure). Planlagt robusthet "*resilience*" er derfor en viktig egenskap.

**[T3b] Prinsipper fra regelverket og «Resilience Engineering» bør brukes under utforming av kritiske systemer, for å sikre at de er robuste og kan gå til en sikker tilstand og raskt komme tilbake til operativ drift ved feil:**
Robuste løsninger som omfatter MTO er en naturlig del av vurderinger som bør gjøres i forbindelse med analyser og design av automatisering. Kjente prinsipper er redundans i sensorer og systemer som kan sikre at operatøren kan få mer fullstendig oversikt over status (eksempel kan være gass-sensorer som ser temperatur-avvik, gass deteksjon i tillegg til visuell inspeksjon via CCTV). Fleksibilitet kan være mulighetene for å gjennomføre oppgaver på alternative måter, dersom en del av systemet svikter. Kontroll og oversikt over marginene kan være prognoser og oversikter over dynamiske parametere i normalintervaller og retningslinjer som holder oversikt over arbeidsbelastningen, slik at en begrenser seg til et visst antall samtidige kritiske operasjoner.

**Behov for håndtering av organisasjonsmessige og tekniske siloer**
Når graden av automatisering øker, åpner det for at flere forskjellige systemer må styres av en person eller via et nettverk. Granskingene viser at fragmenterte systemer i seg selv er en risiko. Dårlig integrasjon av systemer og samarbeid mellom flere aktører som sitter på ulike plasser har vært avdekket som årsaker til uønskede hendelser. Tiltak som har vært gjort for å håndtere dette har vært både organisasjonsmessige grep som ansvarsavklaring. Det har vært tekniske grep i form av systemer som gir bedre oversikt. Det er også behov for bedre samhandling via opplæring av grupper som skal samhandle. Prinsipper fra CRM (Crew Resource Management), har blitt sett på som beste praksis innen dette området.

**[T3c] Tiltak: Integrasjon av kritiske systemer må analyseres i et MTO-perspektiv. Behov for felles grensesnitt, koordinerte alarmer og samtrening (CRM) må etableres:**
Når flere systemer må overvåkes, må grensesnittene samordnes. Det kan gjøres via integrerte systemer, som Unified Bridge (Danielsen et al. 2019) eller ved å lage standarder for grensesnitt, som OpenBridge (Nordby et al. 2019). Integrasjon av kritiske systemer må være en del av design og utvikling, men også vurderes i forbindelse med tilsyn eller verifikasjon og validering. Med tanke på opplæring har andre bransjer (luftfart, maritimt) med behov for høy sikkerhet mellom flere spredte aktører (geografisk, eller organisatorisk) sett gode effekter av å bruke prinsipper fra CRM. Systematisk CRM opplæring har bl.a. ledet til færre uønskede hendelser og lavere forsikringspremier (Flin et al., 2002). Innen oljebransjen er det flere aktører som har tatt i bruk dette og IOGP har anbefalt innføring av CRM-trening (IOGP, 2014).

## 9.4 Svak læring mellom uønskede hendelser, granskinger og utvikling/ design/ tilsynspraksis på menneskelige faktorer

Fra litteraturgjennomgangen har vi sett at datainnsamling fra automatiserte systemer er mangelfull. En har gått ut fra at lite skjer og det er mangelfull datainnsamling på operatørnivå, men også til overordnet myndighetsnivå. Det er ofte ikke planlagt/tenkt på behovet for detaljert rapportering og samling av historiske data når noe skjer. Dette kan lede til at man kan mangle data og erfaringer fra nesten-hendelser som gjør at man mangler en viktig basis for risikobasert tilsyn. Fra granskinger har vi sett at detaljert datainnsamling på operatørnivå, gir god basis for å forstå og analysere hva som skjedde. (Noen aktører som Tesla har selv innført løpende datainnsamling for å få til kontinuerlig forbedring av automatiserte systemer.) Det er derfor viktig at man tar tak i dette på operativt nivå og på myndighetsnivå. Et eksempel på krav til datainnsamling fra automatiserte systemer kommer f.eks. fra luftfartstilsynet i forhold til bruk av droner.

**[T4] Datarapportering og analyser for styrking av risikobasert utvikling,** slik at en har grunnlag for systematisk forbedring av automatikken. Det bør være datainnsamling som omfatter ett rikt sett av data. Dette bør gjennomføres av aktørene i industrien, på lik linje med det som har blitt krav fra andre myndigheter som luftfartstilsynet i forbindelse med bruk av droner.

**MF perspektivet mangler i granskinger**

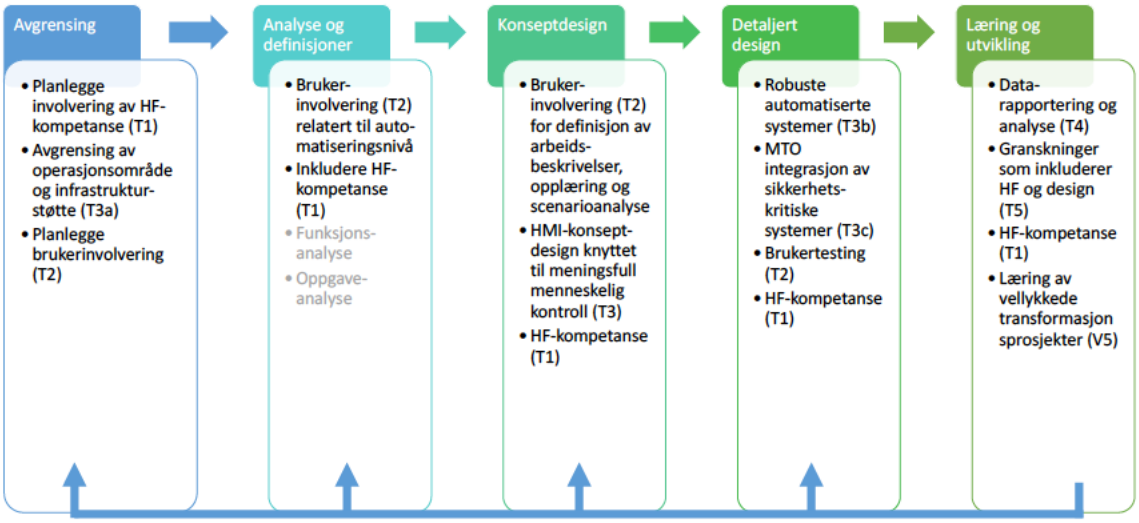
Fra litteraturgjennomgangen finner vi at MF trekkes inn i granskinger i varierende grad, men at dagens granskingsmetoder fokuserer på menneskets rolle (CIEHF, 2020). Dessuten har vurdering av design ofte manglet i granskingene. I granskinger har vi sett at tekniske forhold, noe organisatoriske forhold og i mindre grad på menneskelige forhold er behandlet. Det kan gjøre at granskingen får en for teknisk vinkling, og at en ikke får læring om bidraget fra menneskelige faktorer. Dette kan lede til en dårlig læringsløkke. Funn i granskninger kan også være misvisende med tanke på MF, for eksempel når man forklarer uønskede hendelser med menneskelige feilhandlinger *"Human error"*, eller dårlig etterlevelse som rotårsaker i stedet for å spørre «Hvorfor var det dårlig etterlevelse?». Kritisk gjennomgang av granskingsrapporter finner ofte rotårsaker som kan ledes tilbake til design. Men i granskningene gjennomgått i denne rapporten inngår design sjeldent, noe som kan lede til dårlig læring tilbake til designfasen.

**[T5] Gransking bør inkludere MF og designbeslutninger.** Metoder og perspektiver som analyserer menneskelige faktorer bør brukes, for eksempel HFACS (CIEHF, 2020). Granskingsteamet bør ha kompetanse om MF, organisatoriske forhold og virksomhetsstyring på lik linje med teknisk kompetanse. I en ulykke, bør aktørene oppfatning underveis dokumenteres. Hvilken situasjonsforståelse hadde de og hvordan prosessen for meningsdannelse var. Industrien bør ha eksempler på god praksis for metoder for granskinger som inkluderer HF som for eksempel granskingen av Helge Ingstad (AIBN, 2019). Næringen kan også samle et sett av gode granskingsrapporter og ha referanser til anbefalte metoder for granskinger. Ved større hendelser eller analyser av sammenhenger bør man samarbeid med granskingsmiljø som er uavhengige og som har kunnskaper om MF (som f.eks. Havarikommisjonen).

## 9.5 Tiltakene må plasseres så tidlig som mulig for å få best effekt

I det foregående har vi beskrevet et sett med tiltak som vil kunne lede til bedre HMS nivå i forbindelse med automatisering. For at tiltakene skal være så billige som mulig, og lede til gode

systemer som er gode å bruke må tiltakene gjennomføres i riktig sekvens, derfor har tiltakene blitt plassert tidsmessig i nedenstående figur fra start med avgrensning, via analyser og design til utvikling. Alt starter med å ha god forståelse av MF/HF-metoder, deretter bør prinsipper som brukersentrering være styrende. Meningsfull menneskelig kontroll er viktig som prinsipp. Datarapportering må gjennomføres for å ivareta risikobasert utvikling av regelverket. Læring fra granskinger forutsetter at MF blir inkludert, og at design blir vurdert i granskingen så vi får på plass en god læringssløyfe.




**Figur 9.2 Tiltak foreslått i et livssyklusperspektiv**

Via prosjektet har vi sett at automatisering generelt har vært vellykket der hvor automatisering har vært innført i veldefinerte områder, gradvis og i samspill med brukerne. I petroleumssektoren kan automatisering medvirke til bedre utnyttelse, mer effektiv boring og gi støtte til tidligere detektering av feilhendelser via automatisering av boreprosessen. En bør fortsette den positive brukersentrerte utviklingen av automatisering basert på læring fra pilotprosjekter. Det anbefales at man oppdaterer referanser til standarder som skissert i rapporten. For å ivareta HMS, bør prinsipper for meningsfull menneskelig kontroll brukes.

## 9.6 Forslag til videre arbeid

I det følgende har vi kommet med forslag til videre arbeid som ikke har vært en del av prosjektarbeidet, men som har dukket frem på basis av diskusjoner underveis i prosjektet. Forslagene består av følgende foreslåtte aktiviteter som må vurderes av Ptil som oppdragsgiver, detaljert i vedlegget:

- Ved gjennomgang av granskinger har vi sett at det er mulige hull og repeterende funn som kan skyldes at en ikke har avdekket grunnleggende rot-årsaker, spesielt når granskinger ikke har hatt deltakere fra fagområdet menneskelige faktorer, vi foreslår derfor at man vurderer tiltaket: [V1] - Gjennomgang av mulige hull og repeterende funn fra ulykkes-granskinger.
- I forbindelse med gjennomgangen av automatisering og automatisering innen boring og brønn observerer vi at det ikke er laget en bred utredning (NOU) om industriell automatisering. Det burde ha vært gjort på lik linje med maritome området, transport og droner – vårt forslag er derfor at det etableres et initiativ: [V2] - Utredninger om strategi for robotisering og automatisering generelt som inkluderer boring og brønn på nasjonalt nivå.
- Innen boring og brønn er det mange systemer, silo-systemer, og systemer som inneholder proprietær informasjon som eies av underleverandørene. Det er et økt behov for koordinering, standardisering og sentralisering av denne typen informasjon, i tillegg til å kunne ivareta utfordringene med fjernstyring. Det foreslås derfor at det lages en utreding for å kartlegge positive erfaringer, utfordringer og nødvendige tiltak: [V3] - Gjennomgang av behov for prioritering av helhetlig MTO i forbindelse med integrasjon og fjernstyring av kritiske systemer.
- Det mangler systematisk innsamling av hendelser og nesten-hendelser knyttet til automatiserte/autonome systemer. Det bør gjennomføres en forstudie i samarbeid med Ptil for å avdekke om det er mulig/fornuftig å analysere hendelser og nesten-hendelser fra autonome systemer: [V4]- Dybdestudie fra RNNP, analyser hendelser fra autonome systemer.
- Flere forhold i prosjektene vi har undersøkt har vært positive for å øke sikkerhet, effektivitet og kvalitet i forbindelse med innføring og utvikling teknologiene. Eksempelvis knyttes dette til tidlig brukermedvirkning, oppfølging av trening/opplæring, avgrensninger knyttet til å ha en ansvarlig leverandør, samt at ledelsen prioriterer og støtter prosjektet. Næringen bør i større grad enn i dag prioritere på å få frem vellykkede faktorer og prosesser som andre aktører og prosjekter kan lære av, for eksempel med en vinkling på å lære av det som går bra. [V5] - Læring av vellykkede transformasjonsprosjekter (digitalisering/ automatisering).
- Det har blitt reist spørsmål om prosjekter og tilsyn fokuserer i tilstrekkelig grad på menneskelige faktorer. Dette har blitt identifisert via intervju, workshop, og diskusjon av standarder. Ved å gjennomføre en tilsyns-serie på tidligfase i prosjekter, kan man identifisere gjennomgående svakheter og forbedringspotensialer med hensyn på avgrensninger, brukersentrering og oppmerksomhet på menneskelige faktorer. Dette bør gjøres så tidlig som mulig for å redusere kostnader og øke effekten. Det vil kunne sette prosjektene på rett spor så tidlig som mulig. [V6] - Tilsynsserie knyttet til bruk av MF i forbindelse med automatisering/digitalisering.
- Det gjennomførte prosjektet har hatt en bred tilnærming, men det kan være nyttig å gå mer i dybden på full automatisering av boring og brønn-operasjoner, med detaljering av utfordringer i forbindelse med bruk av AI og videre automatisering. Det må dekke både tekniske, menneskelig og organisatoriske faktorer. Et slikt prosjekt kan se på viktige risikoer og behov for høy-ytelses grensesnitt og diskutere muligheter for adaptiv automatisering. [V7]- Detaljert analyse av utvikling av automatiserte boreoperasjoner.

## 10 Referanser


- Aas, A. L., & Skramstad, T. (2010). A case study of ISO 11064 in control centre design in the Norwegian petroleum industry. Applied ergonomics, 42(1), 62-70.
- AIBN (2019) – Delrapport 1 om kollisjonen mellom fregatten KNM Helge Ingstad og tankbåten Sola TS utenfor Stureterminalen i Hjeltefjorden, Hordaland, 8. november 2018 – (https://havarikommisjonen.no/Sjofart/Avgitte-rapporter/2019-08).
- 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.
- Antonovsky, A., Pollock, C., & Straker, L. (2014). Identification of the human factors contributing to maintenance failures in a petroleum operation. Human factors, 56(2), 306-321
- Aricò, P., Borghini, G., Di Flumeri, G., Colosimo, A., Bonelli, S., Golfetti, A., Pozzi, S., Imbert, J. P., Granger, G., Benhacene, R., & Babiloni, F. (2016). Adaptive Automation Triggered by EEG-Based Mental Workload Index: A Passive Brain-Computer Interface Application in Realistic Air Traffic Control Environment. Frontiers in human neuroscience, 10, 539. https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00539
- 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
- Bakken, T., Holmstrøm, S., Johnsen, S.O., Merz, M., Grøtli, I.G., Transeth, A., Risholm, P., Storvold, R., (2019) Bruk av droner i nordområdene, HMS forhold knyttet til bruk av droner i petroleumskativiteten i nord. SINTEF-rapport 2019:001284
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. In Analysis, design and evaluation of man–machine systems (pp. 129-135). Pergamon.
- Beck, K., Beedle, M., Bennekum, A. v., Cockburn, A., Cunningham, W., Fowler, M., . . . Thomas, D. (2001). Manifesto for Agile Software Development
- Bello, O., Holzmann, J., Yaqoob, T., & Teodoriu, C. (2015). Application of artificial intelligence methods in drilling system design and operations: a review of the state of the art. Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing Research, 5(2), 121-139.
- Berman (2019) "The key to autonomous vehicle safety is ODD» www.sae.org/news/2019/11/odds-for-av-testing
- Beuscart-Zéphir, M. C., Elkin, P., Pelayo, S., & Beuscart, R. (2007). The human factors engineering approach to biomedical informatics projects: state of the art, results, benefits and challenges. *Yearbook of medical informatics*, *16*(01), 109-127.
- Blankesteijn, M., Jong, F. D., & Bossink, B. (2019). Closed-open innovation strategy for autonomous vehicle development. International Journal of Automotive Technology and Management, 19(1-2), 74-103.
- Borst, C., Mulder, M. & Van Paassen, M. M. (2010). A review of Cognitive Systems Engineering in aviation. IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline), 11, PART 1.
- Bolsin, N. (2018). Designing national guidelines for automated vehicle trials in Australia. Transport and the City, 177
- Buckingham, M., & Goodall, A. (2019). The feedback fallacy. *Harvard Business Review*, *97*(2), 92-101.
- Chmela, B., Kern, S., Quarles, T., Bhaduri, S., Goll, R., Van, C., (2020). Directional drilling automation: Human factors and automated decision-making. Presented at the SPE/IADC Drilling Conference, Proceedings.

- Ciavarelli, A. (2016). Integration of Human Factors into Safety and Environmental Management Systems. Paper presented at the Offshore Technology Conference. Offshore Technology Conference
- CIEHF (2020) White Paper "Learning from Adverse Events" retreived from https://www.ergonomics.org.uk/Public/Resources/Publications/Learning_from_Adverse_Events/Learning_from_Adverse_Events.aspx
- CNBC (2019) - https://www.cnbc.com/2019/07/29/experts-say-its-at-least-a-decade-before-you-can-buy-a-self-driving-car.html
- Corbato, C. H., Bharatheesha, M., Van Egmond, J., Ju, J., & Wisse, M. (2018). Integrating different levels of automation: Lessons from winning the amazon robotics challenge 2016. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, *14*(11), 4916-4926.
- CRIOP (2011) fra www.criop.sintef.no
- Danielsen, B. E., Bjørneseth, F. B., & Vik, B. - 2019 -Chasing the end-user perspective in bridge design
- Dashevskiy, D., Macpherson, J., Mieting, R., Wassermann, I., (2020). Advisory system for drilling: Automatic Procedures Acting on Real-time Data. Presented at the SPE/IADC Drilling Conference, Proceedings.
- Data Safety Guidance Version 3.2,(2020) The Data Safety Initiative Working Group (DSIWG).
- Dehais, F., Peysakhovich, V., Scannella, S., Fongue, J. & Gateau, T. (2015). Automation surprise in aviation: Real-time solutions. Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings, 2015.
- Dekker, S. (2002). Reconstructing the human contribution to accidents: The new view of human error and performance. Journal of Safety Research
- Dekker, S. (2004). "Ten questions about human error: A new view of human factors and system safety". CRC Press.
- Dekker, S. (2019). *Foundations of safety science: A century of understanding accidents and disasters*. Routledge.
- de Wardt, J.P., Sheridan, T.B., Di Fiore, A., (2016). Human systems integration: Key enabler for improved driller performance and successful automation application. Presented at the SPE/IADC Drilling Conference, Proceedings.
- De Winter, J. C., & Dodou, D. (2014). Why the Fitts list has persisted throughout the history of function allocation. *Cognition, Technology & Work*, *16*(1), 1-11.
- Design Council (2007) "Eleven lessons: managing design in eleven global companies - Desk research report" from www.designcouncil.org.uk/
- Department of Mines and Petroleum (2015) «Safe Mobile Autonomous Mining in Western Australia Code of Practice» - fra http://www.dmp.wa.gov.au/Documents/Safety/MSH_COP_SafeMobileAutonomousMiningWA.pdf
- DNV-GL (2018) DNVGL-CG-0264 Autonomous and remotely operated ships
- DNV-GL (2020) "Safemass - Study of the risks and regulatory issues of-specific cases of MASS" Report; retreived from http://www.emsa.europa.eu/implementation-tasks/ship-safety-standards/item/3892-safemass-study-of-the-risks-and-regulatory-issues-of-specific-cases-of-mass.html
- DNV-GL (2020b) "Brønnkontrollkompetanse - Kartlegging av brønnkontrollkompetanse innenfor bore- og brønn-industrien" fra Petroleumstilsynet www.ptil.no

- DSA Roadmap (2019) Drilling Systems Automation Roadmap Report https://dsaroadmap.org/drilling-systems-automation/dsa-r-report
- ECAA (2019) Aircraft Accident Investigation Preliminary Report Ethiopian Airlines Group B737-8 (MAX) Registered ET-AVJ 28 NM South East of Addis Ababa, Bole International Airport March 10, 2019 (https://leehamnews.com/wp-content/uploads/2019/04/Preliminary-Report-B737-800MAX-ET-AVJ.pdf)
- EN- 894 (2008) Maskinsikkerhet - Ergonomiske krav til konstruksjon av skjermer og aktuatorer (Tre deler)
- Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. Human Factors (37) 32–64.
- Endsley, M. R. (1996). Automation and situation awareness. *Automation and human performance: Theory and applications*, *20*, 163-181.
- Endsley, M.R., (2012). Designing for Situation Awareness: An Approach to User-Centered Design, CRC press.
- Endsley, M. R. (2015). Autonomous Horizons: System Autonomy in the Air Force-A Path to the Future. *United States Air Force Office of the Chief Scientist, AF/ST TR*, 15-01.
- Endsley, M. R. (2017). From here to autonomy: lessons learned from human–automation research. *Human factors*, *59*(1), 5-27.
- Endsley, M. R. (2018). Level of automation forms a key aspect of autonomy design. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, *12*(1), 29-34.
- Endsley, M.R., 2019. Human Factors & Aviation Safety, Testimony to the United States House of Representatives Hearing on Boeing 737-Max8 Crashes — December 11, 2019
- Edwards, T., Homola, J., Mercer, J., Claudatos, L. (2017). Multifactor interactions and the air traffic controller: the interaction of situation awareness and workload in association with automation. Cognition, Technology and Work 19 (4).
- Eriksson, A., & Stanton, N. A. (2017). Takeover time in highly automated vehicles: noncritical transitions to and from manual control. Human factors, 59(4), 689-705.
- Equinor (2018) - https://www.offshore-mag.com/drilling-completion/article/16803487/equinor-steps-up-use-of-wired-drill-pipes
- Equinor (2019) Granskingsrapport – Kollisjon mellom forsyningsskipet Sjoborg og Statfjord A (av 13.09.2019)
- Equinor (2019a) Learning after platform supply vessel collision with Statfjord A Presentasjon HFC forum oktober 2019. (www.sintef.no/projectweb/hfc/moetereferat/)
- ESReDA (2015) “Barriers to learning from incidents and accidents” Published 2015 at the ESReDA website: http://www.esreda.org/
- Evjemo, Tor Erik (2018) Sikkerhet og autonomi i norsk luftfart – utfordringer og muligheter. SINTEF rapport 2018:01451
- Flaspöler, E., Hauke, A., Pappachan, P., Reinert, D., Bleyer, T., Henke, N., & Beeck, R. (2009). The human machine interface as an emerging risk. EU-OSHA (European Agency for Safety and Health at Work). Luxemburg.
- Flemisch, F., Heesen, M., Hesse, T., Kelsch, J., Schieben, A., & Beller, J. (2012). Towards a dynamic balance between humans and automation: authority, ability, responsibility and control in shared and cooperative control situations. Cognition, Technology & Work, 14(1), 3-18.

- Florence, F., & Iversen, F. P. (2010, January). Real-time models for drilling process automation: Equations and applications. In *IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers.
- Flin, R., O'Connor, P., & Mearns, K. (2002). Crew resource management: improving team work in high reliability industries. Team performance management: an international journal
- Forskrift om maskiner (maskinforskriften) av 2009 – hentet fra https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2009-05-20-544
- Gatwick (2018) Gatwick Airport drone incident Wikipedia 2018 https://en.wikipedia.org/wiki/Gatwick_Airport_drone_incident
- Gard (2020). Jan-Hugo Marthinsen, Vice President, Head of Offshore Energy Claims "Lessons Learnt After Offshore Claims And Accident Investigations" HFC Webinar 21 October 2020, at https://www.sintef.no/projectweb/hfc/moetereferat/
- Godhavn, J.M., Pavlov, A., Kaasa, G.O. og Rolland, N.L., «Drilling seeking automatic control solutions» i Preprints of the 18th IFAC World Congress, Milano, 2011.
- Guiochet, J., Machin, M., & Waeselynck, H. (2017). Safety-critical advanced robots: A survey. Robotics and Autonomous Systems, 94, 43-52.
- Gunnerod, J., Serra, S., Palacios-Ticas, M., & Kvarne, O. (2009). Highly automated drilling fluids system improves HSE and efficiency, reduces personnel needs. *Drilling Contractor Magazine*.
- Guba, E. G., & Lincoln, Y. S. (1989). Fourth generation evaluation. Sage.
- Hanssen G. K., Stålhane T. and Myklebust T.. SafeScrum – Agile Development of Safety-Critical Software. ISBN 9783319993348.Springer. December 2018.
- Hareide (2019); ref https://www.sintef.no/globalassets/project/hfc/documents/02-hfc-forum-oct-2019-presentation-osh.pdf
- Hollifield, B., Habibi, E., Nimmo, I., & Oliver, D. (2008). The high performance HMI handbook: A comprehensive guide to designing, implementing and maintaining effective HMIs for industrial plant operations. Plant Automation Services.
- Hollnagel, E., Woods, D.D., Leveson, N., 2006. Resilience Engineering : Concepts and Precepts. Ashgate Publishing Limited, Aldersot.
- Hollnagel, E. (2008). Risk+ barriers= safety?. Safety science, 46(2), 221-229
- Hollnagel, E. (2016). Barriers and accident prevention. Routledge.
- Hollnagel, E., (2017). FRAM: The Functional Resonance Analysis Method, first ed. FRAM: The Functional Resonance Analysis Method. Ashgate, Farnham. UK.
- HSE (2015) Literature review: Barriers to the application of Ergonomics/Human Factors in engineering design
- IEA (2000) https://iea.cc/what-is-ergonomics/
- IEA/ILO (2020) Principles and Guidelines for Human Factors/Ergonomics (HF/E) Design and Management of Work Systems
- IEC 61508 - Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic Safety-related Systems
- Innretningsforskriften (2019) Forskrift om utforming og utrustning av innretninger med mer i petroleumsvirksomheten
- IOGP (2014) International Association of Oil & Gas Producers (IOGP). Crew resource management for well operations teams. Report No. 501. April 2014, London.
- IOGP (2020) International Association of Oil & Gas Producers (IOGP). Human Factors Engineering in Projects. Report No. 454. June 2020, London.

- IRIS (2018) Digitalisering i petroleumsnæringen Utviklingstrender, kunnskap og forslag til tiltak
- ISA-101.01 (2015), Human Machine Interfaces for Process Automation Systems
- ISO-serien 11064:2000 – Ergonomic design of control centres at https://www.iso.org
- ISO-serien 9241– Ergonomics of human-system interaction at https://www.iso.org
- ISO 9241-210 (2010) Ergonomics of human-system interaction — Part 210: Human-centred design for interactive systems
- ISO/TR 9241-810 (2020) Ergonomics of human-system interaction — Part 810: Robotic, intelligent and autonomous systems
- ISO 26800 “Ergonomics – General approach, principles and concepts”
- Iversen, F., Gressgård, L. J., Thorogood, J. L., BciIov. M. K. & Hepsø, V. (2013). Drilling automation: Potential for human error. SPE Drilling and Completion, 28 (1): 45-59.
- Johnsen, S (2008) “IT teknikk i logistikk og transport” Vett &Viten, ISBN 82-412-0412-4.
- Johnsen S., Ask R., Roisli R. (2008) Reducing Risk in Oil and Gas Production Operations. In: Goetz E., Shenoi S. (eds) Critical Infrastructure Protection. ICCIP 2007. IFIP International Federation for Information Processing, vol 253. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-0-387-75462-8_7
- 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 et al (2013) Team dynamics in critical situations – Crew Resource Management (CRM) and other approaches; (HFC forum, April 2013) – Report SINTEF A24687.
- Johnsen, S. O., & Stålhane, T. (2017). Safety, security and resilience of critical software ecosystems. Safety and Reliability–Theory and Applications.
- Johnsen, S. O., Kilskar, S. S., & Fossum, K. R. (2017). Missing focus on Human Factors–organizational and cognitive ergonomics–in the safety management for the petroleum industry. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of risk and reliability, 231(4), 400-410.
- Johnsen, S. O., Kilskar, S. S., & Danielsen, B. E. (2019). Improvements in rules and regulations to support sensemaking in safety-critical maritime operations. In Proceedings of the 29th European Safety and Reliability Conference (ESREL). 22–26 September 2019 Hannover, Germany. ESREL 2019.
- Johnsen, S.O., Evjemo T.E. (2019): "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
- Johnsen S.O.,Kilskar S. S. (2020) “A Review of Resilience in Autonomous Transport to Improve Safety and Security” ESREL 2020.
- Johnsen S. O., T. Bakken, A. A. Transeth, S. Holmstrøm, M. Merz, E. I. Grøtli, S. R. Jacobsen - R. Storvold: "Safety and Security of Drones in the Oil and Gas Industry". Proceedings of the 30th European Safety and Reliability Conference and the 15th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference, Edited by Piero Baraldi, Francesco Di Maio and Enrico Zio, ESREL2020-PSAM15. Published by Research Publishing, Singapore.
- Kaber, D. B., & Endsley, M. R. (1998). Team situation awareness for process control safety and performance. Process Safety Progress, 17(1), 43-48.

- Kaber, D. B. (2018). Issues in human–automation interaction modeling: Presumptive aspects of frameworks of types and levels of automation. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, *12*(1), 7-24.
- Karwowski, W (2012). The discipline of human factors and ergonomics. In: Salvendy, G (ed.) Handbook of human factors and ergonomics. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, pp.3–37.
- Kilskar, S.S, Danielsen, B.E, Johnsen, S.O. (2019). Sensemaking and resilience in safety-critical situations: a literature review. Safety and Reliability – Safe Societies in a Changing World Proce Safety and Reliability – Safe Societies in a Changing World Proceedings of CRC edings of ESREL 2018. CRC Press
- Kirkpatrick, D. L. (1979). Techniques for evaluating training programs. Training and development journal.
- Kinnersley, S. and A. Roelen (2007). The contribution of design to accidents. Safety Science 45(1-2), 31-60.
- Kirschbaum, L., Roman, D., Singh, G., Bruns, J., Robu, V., & Flynn, D. (2020). AI-Driven Maintenance Support for Downhole Tools and Electronics Operated in Dynamic Drilling Environments. IEEE Access, 8, 78683-78701.
- Kyllingstad, Aa., Nessjoen, P. J. (2010), "Hardware-in-the Loop Simulations Used as a Cost-Efficient Tool for Developing an Advanced Stick-Slip Prevention System", SPE128223.
- Lee, J. D., Wickens, C. D., Liu, Y., & Boyle, L. N. (2017). Designing for people: An introduction to human factors engineering. CreateSpace.
- Leveson, N. (2004). A new accident model for engineering safer systems. Safety science, 42(4), 237-270.
- Leveson, N. (2011). Engineering a safer World, Systems Thinking applied to Safety. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Leveson, N. (2016). CAST Analysis of the Shell Moerdijk Accident ref http://sunnyday.mit.edu/STAMP-publications-sorted-new.pdf
- Leveson, N. (2019). CAST HANDBOOK: How to Learn More from Incidents and Accidents, from http://sunnyday.mit.edu/CAST-Handbook.pdf
- Lov om havner og farvann: Prop. 86 L (2018-2019) /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
- Lund, J., og Aarø, L. E. (2004). Accident prevention. Presentation of a model placing emphasis on human, structural and cultural factors. Safety Science, 42(4), 271-324
- Lundberg, J., Rollenhagen, C., & Hollnagel, E. (2009). What-You-Look-For-Is-What-You-Find–The consequences of underlying accident models in eight accident investigation manuals. Safety science, 47(10), 1297-1311
- Lundberg, J & Josefsson, B. (2018) A pragmatic approach to uncover blind spots in accident investigation in ultra-safe organizations - a Case Study from Air Traffic Management. In proceedings of 9th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2018). 21-25 July. Orlando, FL.

- Manikas, K., & Hansen, K. M. (2013). Software ecosystems–A systematic literature review. Journal of Systems and Software, 86(5), 1294-1306.
- Matheus, J., & Naganathan, S. (2010, January). Automation of Directional Drilling--Novel Trajectory Control Algorithms for RSS. In IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers.
- McDermott, P., Dominguez, C., Kasdaglis, N., Ryan, M., Trhan, I., & Nelson, A. (2018). Human-Machine Teaming Systems Engineering Guide. MITRE CORP BEDFORD MA BEDFORD United States.
- Moura, R., Beer, M., Patelli, E., Lewis, J., & Knoll, F. (2016). Learning from major accidents to improve system design. Safety science, 84, 37-45.
- Milch, V. & Laumann, K. (2016) Interorganizational complexity and organizational accident risk: A literature review. Safety Science, 82, 9-17.
- Myklebust T. and Stålhane T. (2018) The Agile Safety Case. ISBN 9783319702643. Springer International Publishing. February 2018.
- Mærsk Drilling (2015) - Granskningsrapport, " MÆRSK GALLANT" 02.06.2015
- NASA (2012) - Shafto, M., Conroy, M., Doyle, R., Glaessgen, E., Kemp, C., LeMoigne, J., & Wang, L. (2012). Modeling, simulation, information technology & processing roadmap. *National Aeronautics and Space Administration*.
- NavalCenter (2008) Naval Center for Cost Analysis Air Force Cost Analysis Agency - Software Development Cost Estimating Handbook Volume I, Developed by the Software Technology Support Center 2008.
- Nelson, R. R. (2007). IT project management: Infamous failures, classic mistakes, and best practices. MIS Quarterly executive, 6(2).
- Norsk Designråd (2020) https://doga.no/verktoy/designdrevet-innovasjon/guide-for-designdrevet-innovasjon/
- Nordby, K., Gernez, E., & Mallam, S. (2019). OpenBridge: designing for consistency across user interfaces in multi-vendor ship bridges. Ergoship 2019.
- NTSB Price (2019) "What Accident Investigation Has Taught Us (And Continues to Teach Us) About Human Factors in Automated Transportation" J. Price /NTSB at HFC meeting https://www.sintef.no/projectweb/hfc/moetereferat/
- NTSB (2017) Highway Accident Report "Collision between a car Operating With Automated Vehicle Control Systems and a tractor-Semitrailer Truck" Fra https://www.ntsb.gov/investigations/AccidentReports/Pages/HWY16FH018-preliminary.aspx
- NTSB (2019) ASR-19-01 Safety Recommendation Report: "Assumptions Used in the Safety Assessment Process and the Effects of Multiple Alerts and Indications on Pilot Performance" https://ntsb.gov/investigations/AccidentReports/Pages/ASR1901.aspx
- NTSC (2019) Final report published 25/10 2019 - FINAL KNKT.18.10.35.04 Aircraft Accident Investigation Report PT. Lion Mentari Airlines Boeing 737-8 (MAX); PK-LQP Tanjung Karawang, West Java Republic of Indonesia 29 October 2018 (http://knkt.dephub.go.id/knkt/ntsc_home/ntsc.htm)
- Nasjonal transportplan 2018-2029 Stortingsmelding#33 www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-33-20162017/id2546287/
- Nilsen, E.T., Li, J., Johnsen, S. O., & Glomsrud, J. A. (2018). Empirical studies of methods for safety and security co-analysis of autonomous boat. Safety and Reliability-Safe Societies in a Changing World.

- Norsk Dronestrategi (2018) fra https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/norges-dronestrategi/id2594965/
- NOROG 104 - Norwegian Oil and Gas recommended guidelines on information security baseline requirements for process control, safety and support ICT systems, 2016, Rev. 6
- NORSOK S-002 N (2018) Arbeidsmiljø. Utgave 5
- NORSOK U-102 (2003) - Remotely operated vehicle (ROV) services
- NORSOK I-005 (2005); System Control Diagram (SCD)
- Norman, D. (2013). "The design of everyday things: Revised and expanded edition". Basic books.
- NS-EN 614 (2008) Maskinsikkerhet - Ergonomiske prinsipper for konstruksjon (to deler)
- NS 5814 (2008): Krav til risikovurdering. Norsk Standard se https://www.standard.no
- NS 5830 (2012). Samfunnssikkerhet – Beskyttelse mot tilsiktede uønskede handlinger – Terminologi. Norsk Standard NS 5830:2012. e https://www.standard.no
- Nystad, M., Pavlov, A (2020). Micro-testing while drilling for rate of penetration optimization. International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering.
- Onnasch, L., Wickens, C. D., Li, H., & Manzey, D. (2014). Human performance consequences of stages and levels of automation: An integrated meta-analysis. Human factors, 56(3), 476-488.
- OESI (2016) "Human Factors and Ergonomics in Offshore Drilling and Production: The Implications for Drilling Safety", Ocean Energy Safety Institute, Texas, USA. http://oesi.tamu.edu
- Oliver, N., Calvard, T., & Potočnik, K. (2017). Cognition, technology and organizational limits: Lessons from the Air France 447 disaster. Organization Studies 28(4): 729-743.
- Parasuraman, R., & Riley, V. (1997). Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse. Human factors, 39(2), 230-253.
- Pęciłło, M. (2016). The concept of resilience in OSH management: a review of approaches. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 22(2), 291-300.
- 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.
- Ptil (2015) Gransking av hydrokarbonlekkasje på Gudrun 18.2.2015
- Ptil (2017) Prinsipper for barrierestyring i petroleumsvirksomheten Barrierenotat 2017 fra https://www.ptil.no/fagstoff/utforsk-fagstoff/fagartikler/2017/barrierenotat/
- Ptil (2019) Investigation of the incident in well 7132/2-1, unintentional disconnection of the lower marine riser package (LMRP) on *West Hercules*, 16 January 2019 – at https://www.ptil.no/en/supervision/investigation-reports/2019/Seadrill-West-Hercules-investigation-lmrp/
- Ptil (2019b) Krav til digitalisering fra https://www.ptil.no/fagstoff/utforsk-fagstoff/fagartikler/2019/klare-krav-til-digitalisering/
- Ptil (2019c) Rapport etter tilsyn-Alarmbelastning og HF i kontrollrom-Oseberg A utgitt 27.5.2019
- Ptil (2020) "Rapport etter tilsyn med planlagt ombygging, digitalisering og robotisering av boreanlegget på Valhall IP - Performinator-prosjektet" fra https://www.ptil.no
- QCS-Quality Control Systems Corp (2019) NHTSA's Implausible Safety Claim for Tesla's Autosteer Driver Assistance System February 8, 2019 from www.quality-control.us

- Rammeforskriften av 1. januar 2011; Forskrift om helse, miljø og sikkerhet i petroleumsvirksomheten og på enkelte landanlegg (rammeforskriften) https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2010-02-12-158
- Regjeringens KI strategi - Nasjonal strategi for kunstig intelligens – (2020) https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nasjonal-strategi-for-kunstig-intelligens/id2685594/?ch=4
- Regjeringens havstrategi (2017 ) Ny vekst, stolt historie. https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/ny-vekst-stolt-historie/id2552578
- Roberts, R., Flin, R., Cleland, J., 2015. "Everything was fine"*: An analysis of the drill crew's situation awareness on Deepwater Horizon. J. Loss Prev. Process Ind. 38, 87–100. https://doi.org/10.1016/j.jlp.2015.08.008
- Rosness, R., Grøtan, T.O., Guttormsen, G., Herrera, I.A., Steiro, T., Størseth, F., Tinmannsvik, R.K., Wærø, I., 2010. Organisational Accidents and Resilient Organisations: Six Perspectives. Revision 2 (No. SINTEF A17034). SINTEF Technology and Society.
- Rommetveit, R., Bjorkevoll, K. S., Cerasi, P. R., Havardstein, S. T., Fjeldheim, M., Helset, H. M., ... & Nordstrand, C. (2010, January). Real time integration of ECD, temperature, well stability and geo/pore pressure simulations during drilling a challenging HPHT well. In *SPE Intelligent Energy Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers.
- Rosen, R., Von Wichert, G., Lo, G., & Bettenhausen, K. D. (2015). About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing. *IFAC-PapersOnLine*, *48*(3), 567-572.
- SAE (2018). SAE International standard "J3016: Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems." Revised: 2018-06-15
- SaudiArabia (2019) - https://www.digitaltrends.com/news/saudi-arabia-oil-drone-attack-commercial-uavs/
- Samset, K. (2001) "Prosjektvurdering i tidligfasen", Tapir Akademiske forlag, Trondheim, 2001. Page 39 -figur 4.2 .
- Sethi, M. (2008, January). LIP Control & Protective System Upgrade-proving a case for consideration of human factors in design. In *International Petroleum Technology Conference*. International Petroleum Technology Conference.
- Sikkerhetsforum (2019) Læring etter hendelser, Rapport fra Sikkerhetsforum
- Singh, M. (2019) Hybrid Tactics Come of Age: Implications of the Aramco Attack. CLAWS journal, 12(2), 144-149.
- SMACS (2020), Sensemaking in safety-critical situations https://www.sintef.no/projectweb/hfc/smacs/ .
- Smith, E., & Roels, R. (2020). Guidance on human factors safety critical task analysis. Energy Institute, London, UK.
- Sdir (2020) - Sjøfartsdirektoratet, rundskriv RSV 12-2020 «Føringer i forbindelse med bygging eller installering av automatisert funksjonalitet, med hensikt å kunne utføre ubemannet eller delvis ubemannet drift" www.sdir.no/sjofart/regelverk/rundskriv/foringer-i-forbindelse-med-bygging-eller-installering-av-automatisert-funksjonalitet-med-hensikt-a-kunne-utfore-ubemannet-eller-delvis-ubemannet-drift/
- Sneddon, A., Mearns, K., & Flin, R. H. (2013). Stress, fatigue, situation awareness and safety in offshore drilling crews. Safety Science, 56, 80 –88.

- Styringsforskriften av 1. januar 2011. Forskrift om styring og opplysningsplikt i petroleumsvirksomheten og på enkelte landanlegg (styringsforskriften) https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2010-04-29-611
- Sugiura, J., Samuel, R., Oppelt, J., Ostermeyer, G. P., Hedengren, J., & Pastusek, P. (2015, March). Drilling modeling and simulation: Current state and future goals. In *SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers.
- Sætren GB, Laumann K (2014) Effects of trust in high-risk organizations during technological changes. Cognition, Technology & Work 17:131–144
- Sætren, G.B., Hogenboom, S., Laumann, K., 2016. A study of a technological development process: Human factors—the forgotten factors? Cognition, Technology & Work 18, 595–611.
- Teoh, E. R., & Kidd, D. G. (2017). Rage against the machine? Google's self-driving cars versus human drivers. Journal of Safety Research, 63, 57-60
- Thorogood, J.L., Florence, F., Iversen, F.P., Aldred, W.D., (2009). Drilling Automation: Technologies, Terminology and Parallels With Other Industries. Presented at the SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition, Society of Petroleum Engineers.
- Tinmannsvik, R. K., Albrechtsen, E., Bråtveit, M., Carlsen, I. M., Fylling, I. M., Hauge, S., ... & Okstad, E. (2011). Deepwater Horizon-ulykken: Årsaker, lærepunkter og forbedrings-tiltak for norsk sokkel. SINTEF report A, 19148.
- Torkildson, E. N., Li, J., & Johnsen, S. O. (2019, September). Improving Security and Safety Co-analysis of STPA. In Proceedings of the 29th European Safety and Reliability Conference (ESREL). 22–26 September 2019 Hannover, Germany. Research Publishing Services.
- TOF (2019) Forskrift om tekniske og operasjonelle forhold på landanlegg i petroleumsvirksomheten med mer (teknisk og operasjonell forskrift)
- Unified Bridge (2018) hos Kongsberg/Rolls Royce. (https://eggsdesign.com/work/case/unified-bridge-sets-a-new-standard-at-sea#; )
- US-CSB (2016) U.S Chemical Safety and Hazard Investigation Board. Drilling rig explosion and fire at the Macondo well. Investigation report volume 3, Report no. 2010-10-I-OS, 20 April 2016. Washington, DC
- US-CSB (2019) U.S Chemical Safety and Hazard Investigation Board, Gas Well Blowout and Fire at Pryor Trust Well 1H-9 (Final Report), 2019. Washington, DC
- Vagia, M., Transeth, A. A., & Fjerdingen, 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.
- Vredenburg, K., Mao, J. Y., Smith, P. W., & Carey, T. (2002, April). A survey of user-centered design practice. In Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (pp. 471-478).
- 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
- Weick, K.E. (2001). Making sense of the organization. Blackwell publishing.
- WHO (2018) - 2018 World Health Organization Global Status Report on Road Safety https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684

- Wiegmann, D.A., Shappell, S.A. (2001) Applying the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS) to the analysis of commercial aviation accident data. Presented at the 11th International Symposium on Aviation Psychology. Columbus, OH: The Ohio State University.
- 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
- Wylie, R., McClard, K., De Wardt, J., 2018. Automating directional drilling: Technology adoption staircase mapping levels of human interaction. Presented at the Proceedings - SPE Annual Technical Conference and Exhibition.

## A. Forkortelser og begreper brukt i rapporten

I det følgende har vi listet opp alfabetisk forkortelser og begreper brukt i rapporten.

**Tabell A.1: Forkortelser og begreper**

| Forkortelse | Beskrivelse |
|---|---|
| **ADC** | Automated Drilling Control |
| **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". |
| **AUV** Autonomous Underwater Vehicle | Autonom undervannsdrone. |
| **BOP** | Blow Out Preventer |
| **CRM** | Crew Resource Management – treningsopplegg anbefalt av NTSB etter flere flyulykker, som innbefatter kommunikasjon, situasjonsforståelse, problemløsning, beslutning – fokusert på reduksjon av risiko i forbindelse med samhandling i distribuerte grupper under utførelse av sikkerhetskritiske operasjoner. |
| **DGD** Dual gradient drilling | DGD is a subset of MPD, it means “two or more pressure gradients within selected well sections to manage the well pressure profile |
| **DoS** Denial of Service | Data-angrep som består av overbelastning så maskinen feiler eller stopper |
| **DP** | Dynamisk Posisjonering - teknikk for å holde skip og halvt nedsenkbare plattformer i samme posisjon over havbunnen uten bruk av anker, men ved hjelp av fartøyets egne propeller. |
| **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. |
| **Digital tvilling –** Digital twin | A digital twin is an integrated multiphysics, multiscale simulation of a vehicle or system that uses the best available physical models, sensor updates, fleet history, etc., to mirror the life of its corresponding flying twin |
| **EASA** | European Union Aviation Safety Agency |
| **EDS** | Emergency Disconnect System |
| **GDPR** | General Data Protection Regulation, personbeskyttelse som gjeder innen EU |
| **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** - HAZard Identification | HAZID er en systematisk metode for å vurdere og identifisere risiko ved et system eller en aktivitet. Ordet er et akronym for HAZard IDentification |
| **HCD** | HCD Human-centred design is an approach to interactive systems development that aims to make systems usable and useful by focusing on the users, their needs and requirements, and by applying human factors/ergonomics, and usability knowledge and techniques. This approach enhances effectiveness and efficiency, improves human well-being, user satisfaction, accessibility and sustainability; and counteracts possible adverse effects of use on human health, safety and performance. ISO 9241-210:2019(E) |
| **HFACS** | Human Factors Analysis and Classification System |
| **HMI** Human Machine Interface | Grensesnittet mellom mennesket og maskin |
| **HF/MF** Human Factors/ | Faglig basert definisjon av det litt bredere begrepet menneskelige faktorer – med det mener vi fra IEA(2000) - International Ergonomics Association: "Human Factors (or Ergonomics) is the scientific discipline concerned with the understanding of interactions among humans and other elements of a system, and the profession that applies theory, principles, data, and other methods to design in order to optimize human well-being and overall system performance". |
| **HMS** | Forkortelse for helse, miljø og sikkerhet og beskrives av Ptil: *..omfatter sikkerhet, arbeidsmiljø, helse, ytre miljø og økonomiske verdier (deriblant produksjons- og transportregularitet)..* |
| **IMU** Inertial Measurement Unit | Sensor for å måle akselerasjon, vinkelhastighet og i noen tilfeller orientering |
| **IATA** | International Air Transport Association (IATA), består av 290 flyselskap i 120 land |
| **IADC** | International Association of Drilling Contractors |
| **IOGP** | International Association of Oil & Gas Producers |
| **IT** | Informasjonsteknologi |
| **IR** Infra Red | Et IR kamera "ser" varmeutstråling (infrarødt) |
| **ISA** | International Society of Automation |
| **Kognitiv** | Med kognitiv mener vi det som er knyttet til oppfattelse og tenkning, begrepet brukes bl.a. for å spesifisere kognitive systemer som skjermbilder eller interaksjon med informasjonssystemer. |
| **LBL** (Long Baseline Localisation) | Akustisk posisjonering |
| **LiDAR** Light Detection And Ranging | Sensortype basert på lyssignaler |

| | |
|---|---|
| **LOA** | Levels of Autonomy – automasjonsnivå |
| **Modellbaserte løsninger** | Med modellbaserte løsninger forstår vi løsninger der det inngår modeller og data for å beskrive hele eller deler av utstyret og prosessen. Dette kan brukes offline for testing av utstyr og prosesser og for planlegging og opplæring før en operasjon eller før neste steg i en operasjon. Modellene kan også brukes i sanntid under operasjonen med direkte kobling til kontrollsystemene som styrer boreoperasjonen. |
| **MTO** | Menneske Teknologi Organisasjon |
| **Menneskelige faktorer** | Begrepet menneskelige faktorer brukes i rapporten som et litt bredere begrep enn «Human Factors» som har en faglig definisjon fra IEA |
| **Menneskesentrert design** | Menneskesentrert design er prosessen med å utforme løsninger basert på generelle naturlige egenskaper og særegenheter ved menneskets psykologi og persepsjon, og tar hensyn til menneskelige styrker og svakheter. Det betyr at løsninger basert på menneskesentrert design vil være tilpasset oppgavene, men også funksjonelt i henhold til psykologiske egenskaper og funksjoner som er typiske for store grupper av brukere. (Se også HCD). |
| **MDP – Managed Pressure Drilling** | MPD provides a closed-loop circulation system in which pore pressure, formation fracture pressure, and bottomhole pressure are balanced and managed at surface. Drilling fluid is supplemented by surface backpressure, which can be adjusted much faster in response to downhole conditions compared with changing mud weights conventionally. |
| **MTBF** | Mean Time Between Failures |
| **NTSB** | National Transportation Safety Board |
| **OT** | Operasjonell Teknologi (Mekanisk relatert i forhold til IT) |
| **OIM** Offshore Installation Manager | Plattformsjef |
| **ODD Operational Design Domain** | Operasjonsområde eller operasjonskonvolutt, beskrivelse av hvor, hvem og hva for operasjonsområde for automatiserte løsninger |
| **Ptil** | Petroleumstilsynet |
| **RCD** | RCD - rotating control device |
| **ROP** rate of penetration | ROP - the speed at which the drill bit can break the rock under it and thus deepen the wellbore- speed can be reported in units of meters per hour. |
| **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. |
| **SA – Situational Awareness** | Situasjonsforståelse defineres som evnen til å 1) oppfatte informasjon fra omgivelsene, 2) forstå denne informasjonen og 3) forutse fremtidig utvikling. |

| | |
|---|---|
| **Safety I** | Safety-I er brukt for å beskrive frihet fra uakseptabel risiko, med en prioritering av uhell og det som går galt. |
| **Safety II** | Safety-II, har blitt brukt for å beskrive evnen til å operere trygt under forskjellige betingelser, og fokuserer både på det som går bra og det som går galt. |
| **Sensemaking** | Sensemaking (meningsdannelse) er beskrivelsen av prosessen for å oppnå situasjonsforståelse – denne prosessen kan påvirkes av arbeids-omgivelsene, opplæring/kunnskap, støttesystemer og andre faktorer |
| **Sikkerhetskritisk-utstyr, funksjoner, aktiviteter, arbeid og operasjoner** | Med sikkerhetskritisk mener vi at når systemet feiler kan vi oppleve kritiske HMS hendelser (som kritiske skader på mennesker, utstyr og miljø).<br>Sikkerhetskritisk utstyr, funksjoner, aktiviteter og operasjoner innen petroleumssektoren dekker mye og beskrives forskjellig med begreper som f.eks. sikkerhetskritiske rør, sikkerhetskritisk kompetanse, sikkerhetskritisk personell, sikkerhetskritisk arbeid og sikkerhetskritisk utstyr.<br>En type sikkerhetskritiske systemer er instrumenterte sikkerhetssystemer, systemer for nød-avstengning (ESD/NAS), produksjons-nedstengning (PSD/PAS), brann og gass-systemer (F&G/B&G), og overtrykksbeskyttelse (HIPPS, OPS). Når vi omtaler slike systemer vil vi bruke «instrumenterte sikkerhets-systemer». |
| **SJA** | Sikker Job Analyse |
| **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 |
| **UPR** | Upper Pipe Ram |
| **VPR** | Variable Pipe Ram |
| **UID** Underwater Intervention Drone | Omfatter typisk undervannsdroner som kan operere uten kabel og som har mulighet for å kunne gjøre intervensjon. |
| **US- CSB** | The U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board |
| **USV** Unmanned Surface Vehicle | Autonome systemer som kan brukes på havoverflaten |
| **UUV** Unmanned Underwater Vehicle | Omfatter alle undervannsdroner: ROV, AUV, UID, osv. |
| **WOB** Weight on bit | WOB is the amount of downward force exerted by a drill bit during drilling operations |

## Begreper knyttet til risiko- og sårbarhets-vurderinger

Perspektivene i sårbarhets- og risikovurderingene er basert på Lund og 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 utrykk 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 forenklende 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.

## B. Gjennomføring av prosjektaktivitetene og metodebruk

Prosjektet ble initiert av ett oppstartsmøte med Ptil den 21/4, og avsluttet i møte den 3/12. Prosjektet har hatt definerte avklaringsmøter med Ptil 21/4, 15/5, 18/6, 13/8, 23/9, 5/11 og 3/12; hvor oppstart av aktivitetene har vært diskutert i tillegg til funn og konklusjoner.

Prosjektet har vært gjennomført med klart definerte aktiviteter hvor prosjektgruppen i SINTEF har hatt faste ukentlige prosjektmøter/ refleksjonsmøter under prosjektperioden, supplert med temamøter i prosjektet for å diskutere og enes om funn og konklusjoner fra prosjektaktivitetene.

**Tabell A.2: Prosjektaktivitetene**

| Aktiviteter (periode utført) – | Diskutert med Ptil |
|---|---|
| Oppstart og organisering -(april) | 21/4 |
| Litteraturgjennomgang -(april...juni) | 15/5, 18/6 |
| Gjennomgang granskningsrapporter -(mai...august) | 15/5, 13/8 |
| Innhenting av informasjon fra industri -(april...august) | 21/4, 13/8 |
| Gjennomgang standarder og retningslinjer- (mai...august) | 15/5, 23/9 |
| Workshop -(29. & 30 september) | 18/6, 23/9, 5/11 |
| Analyse av tilsyn og regelverk (august...oktober) | 13/8, 5/11 |
| Analyse og rapportering (løpende diskutert med Ptil) | 5/11, 27/11, 10/12 |
| Prosjektledelse og QA (løpende) | Løpende |

I det følgende har vi kort beskrevet tilnærming og metodebruk for aktivitetene Litteraturgjennomgang, Gjennomgang granskningsrapporter, Innhenting av informasjon fra industri, Gjennomgang standarder og retningslinjer og Workshop avholdt 29. og 30 september.

### Litteraturgjennomgang

En del av rapporten er basert på litteraturstudier hvor vi har brukt søkestrenger på Scopus, se tabell B.1,. Scopus er en vitenskapelig database som inneholder sammendrag og siteringshenvisninger til publisert materiale, hovedsakelig forskningsbaserte artikler i ulike forskningstidsskrifter. 85 treff ble funnet i dette søket i Scopus, og 50 av disse ble vurdert som relevante for tema i denne studien. Henvisninger til vitenskapelige kilder fra resultatet i Scopus er også benyttet. I tillegg har noen sentrale rapporter, og henvisninger i disse blitt brukt som underlag i litteraturstudien:

- Bakken, T., Holmstrøm, S., Johnsen, S.O., Merz, M., Grøtli, I.G., Transeth, A., Risholm, P., Storvold, R., (2019) Bruk av droner i nordområdene, HMS forhold knyttet til bruk av droner i petroleumskativiteten i nord. SINTEF-rapport 2019:001284
- Evjemo, Tor Erik (2018) Sikkerhet og autonomi i norsk luftfart – utfordringer og muligheter. SINTEF-rapport 2018:01451
- IRIS (2018) Digitalisering i petroleumsnæringen Utviklingstrender, kunnskap og forslag til tiltak
- OESI (2016) "Human Factors and Ergonomics in Offshore Drilling and Production: The Implications for Drilling Safety", Ocean Energy Safety Institute Droner

**Tabell A.2 Søkestreng brukt for litteratursøk**

| Data-base | Søkestreng | Antall relevante dokumenter |
|---|---|---|
| Scopus | (TITLE-ABS-KEY(("human factor"OR"human failure"OR"human reliability"OR"sensemaking"OR"situational awareness"OR"cognitive"OR"human machine interface"OR"user centered design"OR"user-centered design") AND("automated"OR"autonomous"OR"robotic"OR"robot"OR"autonomy"OR "remote control"OR"digitalization")AND("offshore drilling"OR"offshore oil and gas"ORpetroleum)))AND(LIMIT-TO(LANGUAGE,"English")) | 50 |

## Gjennomgang av granskingsrapporter

I samråd med Ptil ble det plukket ut ni granskingsrapporter som ble analysert av en gruppe i SINTEF som hadde forskjellig erfaringsbakgrunn fra tidligere granskinger, fra petroleumssektoren, fra sikkerhet, og fra fagområdet menneskelige faktorer.
Av de ni, ble det gjennomgått fem granskingsrapporter med spesiell oppmerksomhet på autonomi og HF, og fire granskingsrapporter fra petroleumssektoren (boring og brønn) og HF.
Vi fokuserte på granskingsmetodene og læring knyttet til hvordan granskingen ble gjennomført.

## Intervju – gjennomføring og analyse

Som en del av aktivitet knyttet til innhenting av informasjon fra industri (kap 4) har det blitt utført intervjuer av ulike aktører i petroleumsindustrien. Totalt er det gjennomført 10 intervjuer med 27 informanter, alle gjennomført digitalt (via Microsoft Teams). Fordelingen av informanter er som følger:

- To operatører, med seks informanter
- Én riggeier, med tre informanter
- Fem systemleverandører, med 14 informanter

- To uavhengige HF-eksperter (dvs. to informanter)

Intervjuene som ble gjennomført var semi-strukturerte intervjuer. Det vil si at det ble utarbeidet en intervjuguide, men at samtalene ikke er begrenset til det settet av spørsmålet man har definert på forhånd. Intervjuene var en kombinasjon av individuelle intervjuer og gruppeintervjuer, og ble gjennomført via Microsoft Teams-plattformen. Alle intervjuene ble utført med referent. I etterkant av hvert intervju ble det skrevet en oppsummering.

Analyseprosessen i denne aktiviteten var en forenklet tematisk analyse. Dette ble utført ved at alle deltakere i intervjuene gjorde et eget arbeid på hvilke tematiske hovedfunn de anså som viktige. Samlingen av disse hovedfunnene ble så gjenstand for et felles arbeidsmøte, hvor hovedfunnene ble nyansert og analysert. Resultatet fra dette arbeidsmøtet utgjør i grove trekk den tematiske inndelingen fremstilt i avsnittet om Innsamlede erfaringer. For ellers mer informasjon om intervjuaktiviteten, se avsnittet om Innsamlede erfaringer.

### Gjennomgang standarder og retningslinjer

Standarder og retningslinjer ble identifisert og diskutert via intervju med industrielle aktører og konsulenter med lang erfaring fra prosjekter innen petroleumssektoren. I tillegg ble aktuelle standarder diskutert med deltakere i standardiseringsgrupper (ISO/IEC/ Norsk Standard), med ekspertgruppe fra universiteter og MF faggrupper som arbeider med autonome løsninger og med Ptil.

### Workshop (29. & 30 september)

Vi avholdt WS med 20 deltakere fra Ptil, SINTEF og bransjen den 29. og 30. september, for å validere og diskutere funn og diskutere relevansen av tiltak. WS bestod av møter i plenum og gruppearbeid i 4 grupper over 2 dager med rotasjon av deltakerne for å få utnyttet bredden i kompetansen fra deltakerne.

Tema for første dag var Menneskelige faktorer i forbindelse med utvikling, og ble rammet inn av tre foredrag:

- M. Green/HCD : «A personal view of HF issues in the Norwegian Sector»
- T. Myklebust/SINTEF: «Smidig Utvikling»
- M. Endsley/HFES: «Situation Awareness & Automation In Oil Drilling Operations»

Deretter var det gruppearbeid **(1) Menneskelige faktorer i forbindelse med utvikling**

- Fire områder ble behandlet: Balanse mellom teknologifokus og menneskelige faktorer; Bruk av standarder som ivaretar menneskelige faktorer; Fragmentert struktur på utvikling; Oppdatert regelverk.

Tema for dag to var menneskelig faktorer under granskinger, og ble rammet inn av to foredrag:

- Organisasjonspsykolog Jan Thore Mellem/Havarikommisjonen: «Hvorfor er Human Factors en viktig del av Havarikommisjonens undersøkelser?»
- J. Price/NTSB : «Lessons Learned from Investigations of Crashes Involving Automated Vehicles»

Deretter var det gruppearbeid **(2) Menneskelig faktorer under granskinger**

- Fire områder ble behandlet: Bredde i granskning; Designvurderinger i granskning; Fokus på vellykkede hendelser; Nesten-hendelser.

## C. Foreslåtte videre aktiviteter for diskusjon og evt. prioriteringer.

**Funn og tiltak [V1] Gjennomgang av mulige hull og repeterende funn fra ulykkes-granskinger.** Det er en kjent sak at granskinger ofte er preget av hvilke ulykkes-modeller som brukes i granskingen (Lundberg et al., 2009). Barriere-perspektivet er godt tilpasset prosess-industrien og er et lett forståelig perspektiv som er svært nyttig å bruke. Det kan imidlertid lede til prioritering av tekniske forhold, hvor menneskelige og organisatoriske faktorer kan bli svakere analysert, (Hollnagel, 2008, 2016). Det kan også være et reaktivt perspektiv. Utfordringer med avanserte programmerte styringssystemer kan også kreve nye metoder og tilnærminger som skissert av Leveson (2019). En bør vurdere behov for å identifisere de vanligste hullene i granskinger f.eks. ved å bruke utfyllende metoder som «The human factors analysis and classification system-HFACS» (Shapell et al., 2000). Det er en MF metode som bl.a. nevnes i CIEHF (2020). Støtte for å finne hull i granskinger er beskrevet i «Systematisk Säkerhetsanalys för utredare och flygsäkerhetsbedömare – SYSAN» (Lundberg et al., 2018). Det foreslås at sektoren går gjennom enkelte granskinger med deltakelse fra MF eksperter for å vurdere og identifisere hull i granskingene. Spesielt med tanke på å vurdere hvorfor det er gjentakende funn knyttet til manglende MF fokus eller design som ikke er tilpasset menneskelige styrker og svakheter. Dessuten undersøke hvorfor det er gjentakende problemer (bl.a. med etterlevelse). Det kan skyldes dårlige modeller for analyse eller dårlige strategier for utvikling, eller dårlig læring. Samtidig kan man vurdere nye innspill som f.eks. at granskningsprosessen er mer regulert og formalisert i selskapene enn tiltaks- og læringsprosessen og at regelverkskunnskap/systematikk mangler hos mindre underleverandører i en kjede av leverandører.

**Funn og tiltak [V2] Utredninger om strategi for robotisering og automatisering generelt som inkluderer boring og brønn.** Det er laget NOU er og strategier om satsing på autonome skip og dronestrategi (for økt bruk av automatiserte luftbårne droner). Det har ledet til stort trøkk og opptatthet av automatisering innen skipsfart, hvor Norge anses som ledende aktør. Strategi for luftbårne droner har også ledet til stor grad av innovasjon og utvikling innen dette området. Det finnes derimot ingen nasjonale utredninger på samme nivå om bruk av roboter eller automatisering av produksjons-prosesser eller operasjoner innen boring og brønn. Heller ikke er det laget utredninger om automatiserte/autonome T-baner eller automatiserte tog (selv om driftserfaringen fra lukkede høy-automatiserte baner er svært positive). Det bør derfor vurderes om man bør sette i gang en utredning, NOU om strategisk satsing av roboter innen boring og brønn, evt. som en del av en bredere utredning om bruk av robotisering og automatisering innen industriell produksjon og bane-transport.

**Funn og tiltak [V3] Gjennomgang av behov for sterkere opptatthet av helhetlig MTO i forbindelse med integrasjon og fjernstyring av kritiske systemer**. Økt digitalisering og integrasjon av systemer gjør at mer og mer informasjon blir tilgjengelig for å forbedre effektiviteten og HMS under drift. Samtidig er det en del vesentlige utfordringer med digitalisering og automatisering innen petroleums-sektoren siden det er mange silo-orienterte systemer som ikke er integrert, og hvor data eies av forskjellige leverandørselskaper. Dette skaper store utfordringer med deling av data og svekker muligheten for å gi operatørene samlet oversikt og kontroll over sikkerhetskritiske prosesser. Automatisering gjør at man forventer at personellbehovet reduseres og at operatørene må kunne håndtere flere systemer fra sentrale installasjoner. Samtidig øker kravet til kompetanse, slik at det kan bli flere aktører som blir involvert som trenger å dele lik informasjon eller at det blir tekniske krav på at systemene må samle forskjellig informasjon i ett styringssystem. Dette krever både evne til strategisk styring fra mange nivå, i tillegg til utvikling av standarder for å

få til den type samhandling f.eks. basert på eko-system perspektiv (Manikas et al., 2013; Johnsen et al., 2017) eller prioritering av åpen innovasjon (Blankesteijn, et al (2019). Det er behov for MTO tiltak dvs. både integrert systemdesign og samhandlingskompetanse mellom distribuerte aktører. Det foreslås at sektoren kartlegge behov for integrasjon, mulige gevinster og utfordringer (tekniske og organisatoriske hinder) for å identifisere muligheter når flere sikkerhetskritiske systemer skal integreres. En bør samtidig systematisere og strukturere erfaringen fra fjernstyring, hvor man i de siste 30 årene har sentralisert styring over komplekse prosessanlegg i større sentra, som ofte krysser landegrensene (med økt sikkerhet, effektivitet og kostnadsreduksjoner som resultat).

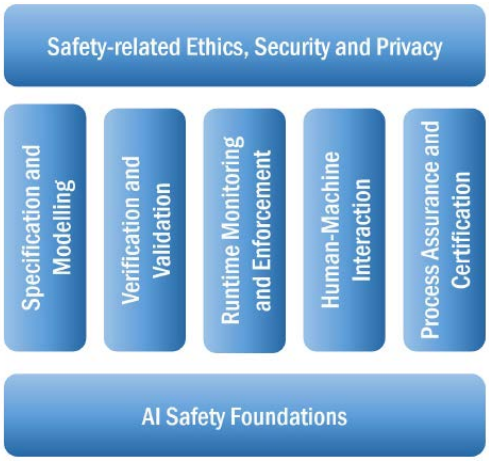
**Funn og tiltak [V4] Dybdestudie fra RNNP, analyser hendelser fra autonome systemer.** Det mangler systematisk innsamling av hendelser og nesten-hendelser knyttet til automatiserte/autonome systemer. Det bør gjennomføres en forstudie i samarbeid med Ptil for å avdekke om det er mulig/fornuftig å analysere hendelser og nesten-hendelser fra autonome systemer. Resultatet kan være avklaring av nødvendige rammebetingelser for å kunne gjennomføre en slik studie, evt. behovet for utvikling av definerte fare og ulykkeshendelser med automatiserte/autonome systemer.

**Funn & tiltak [V5] Læring av vellykkede transformasjonsprosjekter (digitalisering/ automatisering)**
Flere forhold i prosjektene vi har undersøkt har vært positive for å øke sikkerhet, effektivitet og kvalitet i forbindelse med innføring og utvikling teknologiene. Eksempelvis knyttes dette til tidlig brukermedvirkning, oppfølging av trening/opplæring, avgrensninger knyttet til å ha en ansvarlig leverandør, samt at ledelsen prioriterer og støtter prosjektet. Næringen bør i større grad enn i dag prioritere på å få frem vellykkede faktorer og prosesser som andre aktører og prosjekter kan lære av, for eksempel med en vinkling på å lære av det som går bra (Buckingham et al., 2019).
Det synes å være vanskelig å dele på tvers av leverandører og operatører, f.eks. knyttet til kommersielle aspekter som konkurransehensyn. Fra et sikkerhetsperspektiv burde det være gode mekanismer for å dele beste praksis mellom aktørene. Vi foreslår å sette søkelys på utviklings*prosessen* heller enn spesifikke *produkter* som er utviklet. Hva kan vi lære av hverandres prosesser for å utvikle systemer som ivaretar menneskelige og organisatoriske faktorer?
Aktørene og Ptil kunne utvikle en form for beste praksis møteserier eller satsinger innen dette området. Et lignende arbeid har Norsk olje og gass gjort innenfor brønnkontrollhendelser gjennom "*Sharing to be better*" Formålet kan være å initiere en modnings-periode hvor Ptil gjør næringen oppmerksom på problemstillingen, og at dette kan føre til konkrete tiltak hos ulike aktører etter hvert.

**Funn og tiltak [V6] Tilsynsserie knyttet til bruk av MF i forbindelse med automatisering/digitalisering.** Ut fra svak oppmerksomhet på MF i en del prosjekter, kan Ptil i samarbeid med fagmiljøene innen MF i selskapene gjennomføre en tilsynsserie for å gå gjennom etterlevelse av regelverket, se på relevant kunnskap om bruk av MF (f.eks. innen boring og brønn, prosesskontroll) og evaluere effekter av prosjekter som har vært gjennomført med og uten bidrag fra fagmiljø som har kunnskap om MF. Definisjon og prioritering av en slik tilsynsserie bør som nevnt utformes i samarbeid med aktører med erfaring fra bruk av MF og hvilke utfordringer som oppleves i bransjen for å etterleve dagens krav. Det foreslås derfor at en trekker inn kunnskap om MF fra aktørene som gruppene som jobber med menneskelige faktorer og sikkerhet i selskapene, men også konsulenter med høy ekspertise på MF (fra eks. designmiljø som har bred tverrfaglig

industrikunnskap). Formålet bør være å dokumentere status i forhold til regelverket, påvirke prosjekter som er i tidlig fase, og spre kunnskap om effekter ved bruk av MF.

**Funn og tiltak [V7] Detaljert analyse av utvikling av automatiserte boreoperasjoner.**
I rapporten har vi diskutert utviklingstrekk og beskrevet eksempelprosjekter, som illustrerer hvordan det jobbes med fjernstyring og automatisering av deler av boreprosessen. En detaljert analyse av om hvorvidt fullt ut automatiserte boreoperasjoner er teknisk, sikkerhetsmessig og økonomisk mulig har vært utenfor rammene av denne rapporten. Det er ingen konkrete tekniske hindringer for å oppnå dette, men økende kompleksitet og sårbarhet vil gi utfordringer som krever gode analyser, god interaksjonsdesign, gode prosesser for brukermedvirkning og god testing og løpende læring. Vi foreslår derfor at det gjennomføres en noe mer detaljert utredning som utelukkende fokuserer på analyser av mer fullt automatiserte boreoperasjoner med gjennomgang av relevante automasjonsgrader (herunder analyser av adaptiv automasjon), analyser av sikkerhetskritiske operasjoner, utforming av interaksjonsdesign, etablering av HMI for høy ytelse og andre relevante problemstillinger. Evaluering av AI bør være en del av et slikt prosjekt, via en «state of the art vurdering». AI kan utnyttes med stor effektivitet innen flere områder (Bello et al., 2015; Kirschbaum, et al., 2020). På https://www.ai-safety.org er det diskusjoner av rammene for bruk av AI, det er ikke bare modeller som kan diskuteres, men også rammene rundt, se Figur V7.1.




Figur V7.1 Tema for AI – se https://www.ai-safety.org

På basis av konkret bruk av metoder som brukes innen MF kan en gå gjennom og dokumentere hvilke bidrag MF gir i design med tanke på å få frem samspillet mellom automasjonen og mennesket. Man kan diskutere prinsipper for utforming av interaksjonsdesign med «High Performance HMI», praksis for alarmer, samspillet mellom aktørene og ansvarsforholdet som er involvert i boring og brønn. Her bør man nøye gå gjennom viktige elementer i ansvarsforholdet mellom operatør, entreprenør og leverandør, hvem gjør hva med hvilket utstyr for å detektere og håndtere en brønnkontrollhendelser? På hvilken måte endrer automasjon arbeids-prosesser og ansvarsfordeling ut fra forskjellige strategier for automasjon (f.eks. adaptiv automasjon og AI løsninger). Hvilke spesifikke metoder brukes for å identifisere potensiell risiko som del av prosjektene, og hva vurderes som de viktigste risikoelementene?

## D. Tabell fra ulykkes-granskinger DP

### Tabell C.1 DP-ulykker med grunnårsaker, avvik og manglende barrierer resultat av MTO analyse, etter Dong et al. (2017)

| Ulykkes-hendelse | Direkte årsak | Bakenforliggende | Avvik - prosedyrer etc. | Manglende barrierer |
|---|---|---|---|---|
| DP-operatør ønsket å endre posisjon for Shuttle Tanker under tandemlasting fra Floating Storage Unit. Da endring av retning ble iverksatt, begynte Shuttle Tanker (ST) å øke fart forover. | Feil estimering av thruster-verdier resulterte i endringer for hoved-propell. | Software-manual for tandemlasting var ikke om bord.<br>Utilstrekkelig parametrisering av DP-programvare. | Utilstrekkelig informasjon til operasjonsteam etter ny installasjon.<br><br>Unormale settinger for hoved-propell. | -Opplæring bør gjennomføres etter nye installasjoner.<br>-Støttemanualer bør være om bord etter nye installasjoner.<br>-Manglende testing av systemintegritet etter ny installasjon. |
| Kaptein endret DP-modus i forbindelse med en posisjons-endring på 50 meter for å rette opp ST i forhold til FPSO.<br>DP kompenserer input med full fart forover.<br>Kaptein oppdager ikke forover bevegelse angitt på skjerm, før etter 55 sekunder | -DP-logikk initierte full fart forover basert på endring av modus og kommando gitt av kaptein.<br>-Utilstrekkelig menneske-maskin grensesnitt, viktig informasjon gitt på forskjellige skjermer.<br>-Utilstrekkelig alarmdesign. | Utilstrekkelighet i DP-design (Dårlig design)<br><br>Utilstrekkelig ergonomisk design med tanke på å gi hensiktsmessige alarmer. | Utilstrekkelig informasjon til programvare-designteam. | Det bør være tydelige krav til hvordan posisjons og kursjusteringer av ST skal gjøres i DP-operasjoner.<br>Sjø-test bør gjøres i henhold til en FMEA.<br>Prosedyre for testing av ST bør gjøres i henhold til en FMEA. |
| ST fikk blackout pga. manglende drivstoff og reservebatteri var uten strøm. Det er i tillegg en feilkobling til strøm-fordelingstavle. DP-system kan ikke holde posisjon. | Manuell kontroll ble tatt over for sent. | Utilstrekkelig ergonomisk design med tanke på hensiktsmessige alarmer. Massiv alarmbelastning fra ulike enheter på bro. | | |
| Alle posisjonsreferanse-systemer ble mistet. DP-systemet aksepterte feil input fra Gyro. Uten posisjonsreferanse-system og rett input fra gyro kunne ikke DP-systemet holde skipet i rett posisjon. | Mottaksinterferens førte til feil på GPS. Feil gyroretning pga. feil på gyroens bredde- og fartskompensasjon.<br>Feil på posisjonsreferanse-system pga. feil input til DP system og feil gyro-retning | Utilstrekkelighet i design av gyro og DP-system. | | Manglende barriere i gyro for å kunne avvise feil bredde-og fartskompensasjon.<br>Manglende krav i designstandarder og retningslinjer.<br>DP-systemets barriere for å beregne avvik mellom målt og beregnet retning er for vid. |
| Etter observert avvik på 5 m mellom posisisjons-styringsystem og DP-system, og registrert spenning i trosse førte til at operatør endret en utgangsparameter i DP systemet for å redusere spenning. Da dette ikke fungerte, ble "position drop out" utført for å kalibrere systemet. Referansestasjonen som ble valgt for referansepunkt ga feil signal og DP systemet aktiverte hovedpropell for full fart forover. | 5 m avvik kan ha blitt forårsaket av feil DP offset relatert til posisjonsreferansesystem og gyro som avviker fra sann nord.<br>Risiko ved "position drop out" ikke identifisert.<br>Feil konfigurert målestasjon og DP prosessor overbelastet. | Manglende opplæring. | Etter to verifikasjoner ble referansesystemet konfigurert til "kontinuerlig" modus for telegramoppdateringer. | Modus for frekvensen av oppdatering skulle ha blitt sjekket etter verifikasjon. |

## E. Resultater fra Workshop

### Balanse mellom teknologifokus og menneskelige faktorer

Tema for denne gruppediskusjonen var hvorfor det kan oppstå et overfokus på teknologi i forhold til menneskelige faktorer i utviklingsprosjekter og hvordan man kan oppnå bedre balanse mellom de to faktorene.

**Fokus på reduserte kostnader vanskeliggjør inkludering av HF i utvikling**

I oljebransjen er det ofte fokus på kostnadsredusering i prosjekter, og dette gjør at man prioriterer bort områder som anses som "mindre viktige". For eksempel kan metoder og kompetanse på menneskelige faktorer anses som kostnadsdrivere uten at man ser fordelene av å inkludere disse. Iterativ utvikling som stegvis inkluderer erfaring fra brukere anses som dyre metoder, og brukermedvirkning i seg selv anses som en dyr utgift. All teori, erfaringer og praksis delt i gruppearbeidene tilsier imidlertid at det er kostnadsbesparende å inkludere brukere og å anvende metoder som ivaretar menneskelige faktorer tidlig, og gjennom hele utviklingsprosessen siden man unngår dyre endringer sent i prosjektet som kan koste 100-10 000 ganger mer. Utfordringen synes å være knyttet til kunnskap om god praksis for prosjekt-gjennomføring.

Et annet aspekt som kan være en årsak til at menneskelige faktorer ikke tilstrekkelig inkluderes i utviklingsprosjekter av autonome systemer er at forretningsmodellene og kontraktene som brukes anser disse prosjektene som produkter. Dette gjør at utfordringer som oppstår med systemene etter at prosjektene er avsluttet ikke inkluderes i prosjektkostnadene. Selskapene som utvikler systemene, kan derfor ha begrenset tilgang til videre utvikling og læring fra bruk av systemene. Leverandørene vil vanligvis heller ikke få noen økonomiske konsekvenser når systemene ikke fungerer optimalt eller fører til ulykker eller andre uønskede hendelser.

**Manglende kompetanse på MF hos alle aktører**

Det er manglende kompetanse om MF hos mange aktører som er involvert i utviklingsprosjekter i dag. Kompetanse på menneskelige faktorer er i dag "lang nede i hierarkiet", og operatørene som er bestillere av de autonome systemene anser ofte at ivaretakelse av menneskelige faktorer er ansvaret til leverandørene. Det er også manglende forståelse for at det må legges til rette for at utviklerne har god tilgang til brukere for erfaringsoverføring og testing av systemene som utvikles. Årsaken til at det kan være utilstrekkelig fokus på menneskelige faktorer kan være at det er opplevd som et utfordrende tema som det finnes få løsninger for å håndtere, og en stor tro på menneskets evne til å tilpasse seg tekniske systemer. Fra utvikleres side kan det også være manglende forståelse for at menneskelige faktorer er viktige å inkludere på et tidlig tidspunkt, også før man har et fungerende system, for eksempel som en del av utvikling av prototyper. Det kan også virke som om ledere i selskaper som jobber med utvikling av autonome systemer har manglende forståelse for når, hvordan og hvorfor menneskelige faktorer bør inkluderes i systemutvikling, og dette påvirker hvordan prosjektene blir planlagt.

**Forbedringspunkter relatert til kostnadsredusering i prosjekter og manglende kompetanse på menneskelige faktorer**

Det er viktig at aktører i alle ledd, operatører, utviklere, brukere og myndigheter legger til rette for inkludering av menneskelige faktorer, og for at dette skal kunne iverksettes er det behov for økt forståelse og kompetanse. Myndigheter og andre ansvarlige, som bransjeorganisasjoner, bør øke

fokuset på menneskelige faktorer i utvikling av autonome systemer, for eksempel gjennom allerede eksisterende samlingsarenaer som konferanser og diskusjonsmøter som arrangeres av disse. Det bør også eksplisitt fokuseres på menneskelige faktorer i granskninger av hendelser, både hos myndigheter og selskapsinternt, for å belyse behovet for å inkludere HF-perspektivet i utvikling. Operatører kan i kontrakter legge til rette for tydeliggjøring av ansvaret hos alle parter for både tidlig og kontinuerlig inkludering av menneskelige faktorer i utviklingsprosjekter.

## Bruk av standarder som ivaretar menneskelige faktorer

Oppgaven for gruppen var å diskutere bruk av standarder som ivaretar menneskelige faktorer, bl.a. å diskutere hva som anses som beste praksis, hvilke metoder og standarder brukes i praksis, og om det er god nok kompetanse knyttet til bruken. Metode og standarder som var nevnt innledningsvis var CRIOP, standarder for «Design Thinking», ISO 9241:210, ISO 11064, IEA/ILO (2020) og alarmfilosofier (YA-710, EEMUA 191).

**Behov for bedre balanse mellom teknologi og kunnskap om MF – dvs bedre kunnskap om MF og brukersentrert innføring av teknologi**

Utviklingen er i stor grad basert på et sterkt teknologi-driv, hvor en ser at det er et kompetansegap i forhold til bruk av MF på mange nivå, slik at HF forhold og hensyn til menneskelig ytelse og begrensninger kommer inn sent i forbindelse med innføring av ny teknologi/automatisering.

Manglende kompetanse innen MF var gjennomgående, samtidig som en opplever økt interesse for MF og positive erfaringer med brukersentrert utforming i forbindelse med innføring ny teknologi. For å sikre nye autonome løsninger som reduserer risiko er det behov for:

- Økt bestiller-kompetanse i selskapene, styrking av evnen til å ivareta påserollen - kompetanse om regelverkskrav i forbindelse med bestillinger – i tillegg til selskapskrav og forståelse av hva HF-metoder/perspektiv kan bidra med i utviklingen
- Økt innleid kompetanse, både om menneskesentrert designutvikling/automasjon, kunnskap om å velge og anvende de rette, anerkjente metodene (og hvordan de henger sammen/bygger på hverandre) og relevant kunnskap om storulykkesrisiko i næringen.

Oppsummeringen var at teknologi-innføringen bør basere seg på et prinsipp om brukersentrert design og brukersentrert innføring, slik at kritiske oppgaver lages basert av gode analyser som gjør at rett informasjon blir presentert (f.eks. via HMI) til rett tid og at brukeren forstår hva som foregår i systemet slik at de rette aksjonene kan gjennomføres.

**Sikker bruk av automatisering krever bruk av anerkjente metoder og standarder som ISO 9241:210 –Human-centred design for interactive systems**

Tilsynet opererer med et funksjonsbasert regelverk som understøtter at anerkjente metoder brukes. MF metoder og standarder oppleves som viktigere fremover fordi det blir mer automatisering og mer komplekse og sammensatte systemer som ofte er avhengig av interaksjon med brukere som må være beredt til å kunne ta over kontrollen av deler av systemet. Det er derfor viktig at systemene tar hensyn til menneskelige faktorer og ta hensyn til at «folk er folk» med styrker og svakheter, spesielt i forbindelse med sikkerhetskritiske operasjoner. Det er et vell av normative standarder som refereres, og disse er ikke alltid tilgjengelig i siste versjon for alle aktørene i leverandørkjeden (standardene har en kostnad), så det bør både sjekkes om alle standarder er tilgjengelig i siste versjon i prosjektene som gjennomgås og avklares hvem som skaffer tilveie kostnadskrevende

standarder. Det er mange standarder, og relevante standarder følges delvis. Standarder er viktig for å sikre god, systematisk risikostyring der risiko identifiseres og håndteres underveis i prosjektet ved hjelp av anerkjente metoder:

Med det eksisterende sterke fokus på teknologi, hadde det vært nyttig at et prinsipp om brukersentrert utvikling (hvor brukerne blir påvirket/involvert) ble fulgt opp i petroleumssektoren. Prinsippet om brukersentrert utvikling er veletablert og i tråd med rådene gitt fra IEA/ILO (2020) og i tråd med intensjonene i eksisterende regelverk. Krav til regelverk og standarder som sikrer en menneskesentrert design bør være en viktig grunnmur i petroleumssektoren og kommuniseres tydelig fra alle nivå.

- Det er behov for en oppdatering av veiledningene for å gi henvisninger til etablerte standarder som f.eks. ISO 9241 serien (spesielt Interaksjonsdesign:210) - Ergonomics of human-system interaction — Part 210: Human-centred design for interactive systems
- Det må avklares mellom oppdragsgiver og entreprenør hvem som har ansvar for å skaffe tilveie standarder som skal anvendes i prosjektet
- Det bør gjennomføres verifikasjon og validering av at beste praksis (metoder/ standarder) benyttes fra tidligste faser og gjennom innføring av ny teknologi – dvs. fra PUD, konseptgjennomganger, avklaring, analyser/detaljert design og gjennomføring

Oppsummering av utfordringer og forslag til tiltak fra gruppearbeidet er:
- **Manglende MF Kompetanse som bør forbedres,** dvs. behov for å øke kompetansen om Human Factors innen petroleumssektoren [T1].
- **Teknologifokus som må balanseres med fokus på brukersentrert design** (spesielt sikkerhetskritiske oppgaver, HMI, og håndtering av avvik) [T2].
- **Manglende bruk av MF standarder,** (god praksis som ISO 9241:210 må spesifiseres.) [T3].

## Fragmentert struktur på utvikling

I denne gruppen ble det diskutert kompleksiteten i aktør og systemer involvert i utviklingsprosjekter med ny teknologi.

***Behov for økt bestiller-kompetanse på MF***

Et bakenforliggende, grunnleggende tema er bestiller-kompetanse innen HF. Hvordan skal man som operatør, myndighet og leverandør vite hvilke HF-krav man bør stille til aktørene i forbindelse med utvikling og granskinger? For å øke bestiller-kompetansen kan man rette dette mot flere deler av næringen. Eksempelvis er et startpunkt å adressere viktige problemstillinger knyttet til menneske-maskin interaksjon når ny teknologi innføres. Ny teknologi-innføring kan f.eks. diskuteres i etablerte samarbeidsstrukturer slik som Sikkerhetsforum. Et annet mulig tiltak er at Ptil i større grad enn før stiller spørsmål om brukerinvolvering og HF-kompetanse i forbindelse med tidlige faser av utviklingsprosjekter, hvor hvert fagområde både integreres og får spesifikk oppmerksomhet. Dette forutsetter nok kompetanse innen MF og godt tverrfaglig samarbeid i Ptil. Intern kompetanseutvikling og kompetansebygging i Ptil er også et mulig tiltak i fortsettelsen

**Tydelighet på målene som skal drive utviklingen**

Er det økt sikkerhet, kostnadsreduksjoner eller teknologiutvikling som er mål og drivkrefter for utviklingsprosjektene? Dette bør tydeliggjøres tidligere. Hvis *målet* med den nye teknologien er

forbedret HMS eller storulykkesrisiko (utgangspunkt i arbeidsprosessene til brukere og se hvordan teknologien kan løse utfordringene), utløser dette mer av prosessene og analysene som bør gjøres for å ivareta meningsfull menneskelig kontroll, enn hvis prosjektene er igangsatt på bakgrunn av kostnadsreduksjon/effektivitetsmål eller imponerende teknologi ("her er ny teknologi – hva kan vi gjøre med den?"). For å få en god prosess bør aktørene være tydelige på målene med teknologi-innføringen så tidlig som mulig og sjekke ut om teknologien krever endringer i hvordan brukerne utfører arbeidsoppgaver (dvs hvor HMS og brukersentrering blir viktig) eller om det er ren infrastruktur/teknologidrevet endring som ikke krever involvering.

Oppsummert fra denne gruppen er det viktig å gjøre noe med den manglende bestiller-kompetanse på HF, og sørge for økt tydelighet på målene som skal drive utviklingen, slik at om brukerne blir påvirket/er en del av bildet så må HMS (inkludert HF) bli en del av prosjektet.

### Oppdatert regelverk og tilsyn

I gruppa ble det diskutert ulike problemstillinger knyttet til eventuelt behov for oppdatering av regelverk samt endring av fremtidig tilsynspraksis. Utgangspunktet for diskusjonen var punktene som var blitt forberedt på forhånd av prosjektet ved følgende spørsmål:

- Hvilke deler av regelverket ivaretar utvikling av autonome systemer?
- Hvordan kan standarder brukes i veiledning i regelverk?
- Hvordan ivareta ønsket om mer myndighetskontakt fra systemleverandører?
- Hvordan / I hvilken grad blir implementering av ny teknologi adressert i samtykker, SUT (samsvarsuttalelse) og PUD (plan for utbygging og drift)?

Stikkord til diskusjonene var gitt på forhånd i form av: Læring etter hendelser (ulykker og positive), på-se ansvar, brukermedvirkning, sertifiseringer, HF/psykologi-kompetanse hos myndigheter. Imidlertid valgte gruppa å omformulere første spørsmål ovenfor fordi dagens regelverk dekker mange aspekter, men er ikke nødvendigvis oppdatert. Gruppa valgte å diskutere spesifikt følgende spørsmål: *"Ivaretar dagens regelverk utviklingen av autonome/automatiserte system godt nok?"*.

Innledningsvis ble det fra Ptil's side rekapitulert omkring hvilken type regelverk man har å gjøre med i bransjen i form av et funksjonsbasert regelverk, som jo er tenkt å øke antall frihetsgrader for aktørene, men som vil medføre en noe tung øvelse hvis man ser for seg å endre dette mot en mer deskriptiv tilnærming herunder spesifikke krav nedfelt i regelverket. Videre ble det reflektert omkring hva det er regelverket primært skal forsikre oss mot, noe som innebærer at man må stille seg spørsmålet om hva som egentlig er godt nok – hva er det laveste sikkerhetsnivået samfunnet vil akseptere? Dette defineres av partene og kan påvirkes ved at man kommer med innspill til endring. Det er imidlertid viktig å tenke gjennom hvilke mekanismer det er som samlet sett virker for å redusere risiko både når det gjelder storulykke, men også arbeidsmiljørelaterte ulykker. For eksempel har ikke barrierestyringsfokus blitt endret nevneverdig som følge av økt HF-fokus. Med tanke på økt forankring av MF som perspektiv for anvendt nytte internt i Ptil ble det argumentert for at man må kunne vise til at eksempelvis MF designprosesser er relevante redskap for å redusere risiko knyttet til ulykker, i og med at ulike perspektiv konkurrerer om oppmerksomhet internt, herunder at eventuelle endringer i regelverk også må ha et samfunnsøkonomisk perspektiv.

Gruppa diskuterte også utfordringer knyttet til hvordan regelverk kan holde følge med den teknologiske utviklingen som har vært betydelig siden 1990-tallet, en utvikling som eksempelvis kjennetegnes av at alt nå skal styres fra en stol hvor operatøren starter en prosess hvor alt går automatisk – det er ingenting i regelverket som tar hensyn til dette. En slik utvikling med et tidvis raskt tempo krever at man fra tilsynssiden besitter kompetanse også på selve teknologien. Uansett vil det være utfordrende å ligge i forkant som regulator når teknologi utvikles raskt. Det er også slik at den teknologiske utviklingen som oftest skjer hos leverandørene, og ikke hos oljeselskapene, noe som igjen er utfordrende i og med at påseansvaret blir vanskelig å ivareta. Dette sees i sammenheng med at regelverket består av funksjonskrav, mens teknologi leveres etter standarder.

Videre ble det nevnt hvordan kompleksiteten ved boring og brønn har økt de seneste år, og man har per i dag egentlig ikke god nok oversikt over hele bransjen – ting beveger seg fortere enn tidligere, nye områder med nye prosesser. Det er derfor svært viktig å tydeliggjøre hva dagens krav innebærer ovenfor bransjen. Det er også en god del nye aktører som ikke nødvendigvis har samme innsikt i gjeldende regelverk som tradisjonelle petroleumsaktører, og i den forbindelse burde det vært flere normative referanser i form av standarder tilgjengelig. Spørsmålet gruppa løftet frem handlet om hvorvidt det finnes gode nok og anerkjente standarder tilgjengelig? Imidlertid er det viktig å ta i betraktning at man ikke kan komme med standarder som snur opp ned på dagens standarder. Som tilsyn må man kunne argumentere for at det er bestemte krav som ikke oppfylles, men da ved i de fleste tilfeller å referere til (tenkte) standarder.

Per i dag er det få referanser i regelverket når det gjelder HF-relaterte standarder. Et spørsmål gruppa sitter igjen med er i hvilken grad man har gode nok standarder som utgangspunkt for design spesifikt av nye system. Eksempelvis er det lite og til dels vage standarder i dag for grensesnittet mellom menneske og maskin, og når man trekker inn aspekter ved automatisering er det ingen standarder som anvendes. Standarder er også viktige av den grunn at de er verktøy for å vurdere kvaliteten av nye løsninger ved at de tilbyr gode normative referanser, herunder retningsgivende ved tilsyn. Samtidig ble det argumentert for at det ikke nødvendigvis alltid er regelverket som er utfordringen per se, men at ulike aktører også kan ha noe manglende innsikt samt forståelse for innhold og hensikten med regelverk.

Et annet tema som ble diskutert var eventuelt å kunne dra lærdom av andre bransjer når det gjelder hvordan ulike prosesser skal gjennomføres – fortrinnsvis fra flyindustrien og da spesielt godkjenningsprogrammer knyttet til sikkerhet. Det ble i den sammenheng poengtert at det er større grad av godkjenningsmekanismer i f.eks. USA sammenlignet med Norge, hvor ansvar ofte tillegges operatøren.

**Oppsummering av hovedutfordringer og forslag til tilhørende tiltak:**

- Har man gode nok MF-standarder tilgjengelig for å støtte regelverk? Tiltak handler om å identifisere gode MF standarder og få de inn i veiledning (normative referanser som sådan)
- Det er behov for å kunne vise til gode designprosesser med hensyn til å redusere risiko for MF's del – MF tilnærming er ofte i konkurranse med andre faktorer når det gjelder hva som vektlegges internt i Ptil**,** tiltak kan for eksempel være å lære av flyindustrien hva gjelder godkjenningsprosesser og betydningen og verdien av å fokusere på MF-prinsipper.
- Nye aktører som kommer inn på norsk sokkel har ikke nødvendigvis like mye innsikt som tradisjonelle operatører – herunder mange aktører i komplekse system**,** tiltak vil kunne være å opprette arena på tvers av aktører herunder dialog (med for eksempel systemutviklere) for

å sikre lik forståelse også mellom alle aktørene man fører tilsyn med og Ptil, for slik å ivareta at man snakker samme språk.

## Bredde i granskning

Temaet for denne gruppen var å reflektere rundt bredde i granskningene mht. å avdekke de vesentligste bakenforliggende årsakene til hendelsen, og at granskningene bidrar til tilstrekkelig læring og de riktige tiltakene. Med bredde i granskning tenkes her at en skal kunne legge til rette for å ivareta alle MTO-forhold med systemet i granskningen (fra designfasen til og med driftsfasen). Da må det vektlegges riktig kompetanse (bredde) i granskningsteamet (inkludere HF), og en hensiktsmessig bruk av metoder og organisering av arbeidet. Det ble valgt to (hoved) problemstillinger for diskusjonen i gruppa knyttet til bredde:

a) Hvorfor er det ikke god nok bredde i noen granskninger, og hvordan ivareta tilstrekkelig bredde?
b) Hvis tema er MF i design av automatiserte systemer, hvordan ivareta dette i granskningene (bedre enn i dag)?

**a) Hvorfor er det ikke god nok bredde, og hvordan ivareta bredde granskningene**
Ut fra erfaring kan man si at 88 % av alle ulykker har med menneskelige faktorer å gjøre. Så da er det slående å observere i hvor liten grad HF-kompetanse har vært involvert i-, og hvor lite MF er tema i granskningene i det hele tatt. Det å ha granskningsteam med tilstrekkelig bredde i kompetansen ble fremhevet som en hovedutfordring. Problemstillingen kan skyldes manglende strategisk forankring og generell kunnskap i selskapene om betydningen av menneskelige faktorer ved hendelser. Det kan i neste omgang være med å legge premissene for mandatet når det tas beslutning om å iverksette granskning av en hendelse. Det gir seg utslag i hvordan granskningene blir organisert, både mht. ressursbruk og sammensetting av kompetansen i granskningsteamet.

I petroleumssektoren (og i andre områder også) er det viktig med involvering av HF-kompetanse fra begynnelsen av i flere granskninger, enn det gjøres i dag. Da er det sentrale å ha personell med "riktig" HF-kompetanse i organisasjonen. Noe av essensen er å kunne stille spørsmålet: Hvorfor ga det mening å handle som de gjorde og forklare det for læring, og ikke kun lete etter hva de gjorde feil (jfr. avvik fra norm/prosedyre). I tillegg til spisskompetanse på MF, er generell kunnskap om MF viktig i organisasjonen (opp mot beslutningstakere/ledelsen) for å ivareta forståelse/viktigheten av MF sin betydning. Dette er avgjørende for å kunne sette søkelys på temaet og balansere det riktig ut mot andre krav og kriterier i granskningen. Som et eksempel på at andre krav har fått en slik posisjon, så er beredskap med som tema i "alle" granskinger – hvorfor ikke MF?

**b) Hvis tema er MF i design av automatiserte systemer, hvordan ivareta dette i granskningene**
En hovedutfordring er at en økende grad av automatisering på mange områder, som f.eks. innen boring og brønn, også medfører behov for kompetanseheving inn MF. Et tydelig signal fra andre bransjer som har automatisert mere er "Loss of control"- hendelser ved automatisering, noe som er erfart i flere luftfartsulykker (ref. Air France ulykken i Stillehavet, og Boeing 737 Max ulykkene).

Det er i dag ingen formaliserte krav til MF-kompetanse i granskninger, hverken i de som iverksettes av myndighetene eller hos selskapene. Samtidig er det en svært begrenset rekruttering av personell med MF-kompetanse i organisasjonene, noe som gjenspeiler den lave påvirkningen og bruken av MF-kompetanse i industrien generelt. En medvirkende årsak er selvsagt prioritering, men kan også

være feil bruk av slik kompetanse, eller vanskeligheter med å kommunisere godt med resten av fagmiljøet eller organisasjonen. Noe av forklaringen kan ligge i mangel av tilrettelagte kurs (modul/semester) for videreutdanning av HF-personell, spesielt innrettet mot MF i design av automatiserte system, "*user experience*". HF-personell må opparbeide en "evne" til å gå inn i teknologien og forstå systemene tilstrekkelig for å kunne bidra. Det er også vanskelig å finne "riktig" informasjon/litteratur på slik industrirettet MF-kunnskap når en søker rundt. Et mulig tiltak er å plukke ut mer spesifikt de mest relevante ulykkene for læring om MF sin betydning for hendelser. Det bør også etableres et bedre rammeverk som i større grad enn i dag styrer hva man (HF-relatert) skal spørre etter i granskningene, jfr. bredde i perspektiver og helhetlig MTO. Videre bør en se til hva andre nasjoner gjør (f.eks. Sverige, et al.) når det gjelder å formalisere krav til MF-kompetanse i granskninger.

Når det kommer til muligheter for videreopplæring, bør det legges til rette tilpassede kurs for arbeidstakere som ikke er fulltidsstudenter. Kursene må kombinere MF/psykologibakgrunn med god systemforståelse innen design og bruk av automatiserte systemer innen boring og brønn.

For å oppsummere – det er viktig å sørge for at MF kompetansen er med i granskinger fra starten (så kan MF evt. få en mindre rolle i etterkant), det er også viktig å ha relevante MF kurs både generelt og fokusert på granskinger.

## Designvurderinger i granskning

Oppgaven for gruppen var å diskutere om design ble vurdert i forbindelse med granskninger, med tema som:
a) Hvordan blir utforming/design evaluert i forbindelse med granskingene? (Med bl.a. å se på bakenforliggende årsaker til utilstrekkelig design; f.eks. rett fordeling mellom menneske maskin; har man benyttet brukersentrert design/Iterativ design, er arbeidsbelastning vurdert).
b) Hvilken del av designet bør evalueres (Fysisk utforming vs. kognitive elementer eller det å kunne gi rett informasjon til rett tid?)
c) Hvordan kan bruk av (design) metoder og standarder evalueres i granskning (Tema som: forutsetninger hos granskningsteam bl.a. grunnleggende kunnskap om MF og design)

I forbindelse med oppgaven var det presisert at man i granskingen ønsket både å se på om design-prosessen var basert på god praksis og likeledes om de bakenforliggende årsaker skyldtes svakheter med designet. I det følgende har vi gått gjennom hvert tema, med en oppsummering av forslag til tiltak.

**a) Hvordan blir utforming/design evaluert i forbindelse med granskingene**
Design blir generelt ikke gransket i enkelte hendelser (men man kan oppdage i ettertid at en burde ha gransket design) f.eks. ble det nevnt brønnhendelser hvor det er samspill (mellom operatør, leverandører, driller) med nylige endringer i menneske maskin grensesnitt f.eks. økt grad av automatisering – hvor en i ettertid ser at hendelsene skyldes mangelfull/dårlig HMI grensesnitt – og ikke "*Human Error*", det oppleves derfor som nyttig å evaluere design i granskinger. Men dette kan også gjøres i ettertid av flere hendelser.  Enkelte granskinger fra Ptil har involvert design, f.eks. på Gudrun (Ptil, 2015) hvor lite robust design ble trukket frem.

Når det går på rotårsaker til hendelsene så kan problemene ofte skyldes at det er gjort dårlig design, dvs mangelfulle oppgaveanalyser (evt. ikke analyse foretatt)– og at arbeidsbelastning (Workload analysis) ikke er gjort. Gjennomgang av kvaliteten av designaktiviteter bør være tema for tilsynet og operatørene, og bør gjennomføres så tidlig at man har muligheter for justeringer.

Ofte er design gjort av andre når selskapene kjøper inn et standardprodukt, hvor det er for seint å gjøre om, men da finnes det en kravspesifikasjon som man kan evaluere evt. hendelser opp mot. Av spesifikke faktorer i standardprodukter, er det vanligvis muligheter for å tilpasse alarmer (både i forhold til antall, prioriteringer og tilpassinger til eksisterende alarmstrategier).

Det er viktig at design gjøres på basis på god operasjonell kunnskap og systematiske risikovurderinger, og det må budsjetteres og planlegges med dette inn i prosjektene. Det kan være andre enn brukerne som har bredden av risikoforståelsen, så den må analyseres i samarbeid med flere aktører. Det er viktig å sette av tid fra erfarne brukere inn i prosjektet (Budsjett for brukerinnsats bør være på linje med innsats/budsjett for å lage/utvikle systemet fra teknisk side/programmering).

Viktige momenter er:

- **Design blir sjelden vurdert i forbindelse med granskinger**, men kan gi verdifull innsikt i rotårsaker til uønskede hendelser, f.eks. mangelfull oppgaveanalyse, mangelfull HMI. Mer systematisk tilnærming til vurdering av design bør etableres

**b) Hvilken del av designet bør evalueres (Fysisk utforming vs. kognitive elementer.)**
Tekniske forhold blir alltid bra vurdert, men hele MTO delen er viktig, og for menneskelige elementer er spesielt kognitive elementer viktig å undersøke. Det er viktig at næringen kartlegger aktørene og deres rolle i forbindelse med en gransking, og da både vurdere den fysiske utformingen og utforming av styringssystemer for å støtte brukernes forståelse av operasjonen (via systemene). Elementer som støtter situasjonsforståelse som HMI er viktig å vurdere.

Som et eksempel på metodebruk som vurderer viktige elementer fra design, ble Havari-kommisjonen sine granskinger nevnt. Havarikommisjonen baserer sine granskinger på en detaljert oversikt over aktørenes handlinger dokumentert inn i et STEP diagram. Deretter ble situasjonsforståelsen analysert (basert på teori fra M. Endsley (2012) og en MTO analyse. Ptil bruker MTO tilnærming (bruker vanligvis ikke STEP) og har ikke benyttet analysemetoder for SA – situasjonsforståelse, eller andre eksplisitte metoder. Kartlegging av SA fra de i den spisse enden kan forbedre granskingene, både for å avdekke svakheter med design, men også for å avdekke utfordringer knyttet opp til automatisering. Det er viktig å sjekke kvaliteten av brukeropplevelsene. Generelt i MTO granskingene i petroleumssektoren blir vanligvis tekniske forhold godt evaluert, mens menneskelige faktorer ikke blir godt vurdert.

Kognitive forhold ble trukket frem som viktige elementer, som eksempler ble det nevnt sjekklister eller evalueringer basert på bruk av PIFs (Performance Influencing Factors) ble nevnt som en mulig tilnærming for å avdekke kvaliteten av design, hvor en kan sette sammen ett sett av PIFs som f.eks. god HMI. Disse elementene gjennomgås også i CRIOP analysene. Design kvaliteten av barriere-elementet bør vurderes, ikke bare tekniske, men også elementer knyttet til menneskelige og organisatoriske forhold.  Eksisterende forskningsbasert kunnskap om menneskelig ytelse bør kunne utnyttes i forbindelse med barrieretilsyn og krever tilgang til kompetanse eller fagekspertise.

Viktige momenter er: Design som støtter situasjonsforståelse blir mer viktig i forbindelse med økt grad av automatisering. Metoder som analyserer SA, eksempelvis fra Havarikommisjonen kan brukes som et utgangspunkt for å styrke fokus på kognitive elementer (SA og HMI).

**c) Hvordan kan bruk av (design) metoder og standarder evalueres?**
MF kunnskap bør inngå i alle team som gransker hendelser, med minimums kunnskap om oppgaveanalyse og hvordan SA etableres. Flerfaglig perspektiv på tvers er et viktig tiltak både i design og granskinger. Sentrale metoder er basert på oppgaveanalyse av totaliteten – så en bør sjekke om det er gjort en oppgaveanalyse av systemet, og om alle grensesnitt er evaluert. Under analysen er det viktig å forstå konteksten og storulykkes-potensiale - dvs få belyst hvordan systemet benyttes i normal drift og i feilsituasjoner).

Gode eksempler som evaluerer design, kan trekkes frem. SINTEF har deltatt inn i tidlig evalueringer av ny teknologi/nye systemer (f.eks. fjernstyring 5 år før igangsettelse) og har da fokusert på å trekke inn sterk bruker-representasjon tidlig i konseptfasen, så en får kombinert teknologi med brukerbehov og brukernes kunnskaper om mulige uønskede hendelser så tidlig som mulig. Metoder som CRIOP med bruk av scenario-analyser har blitt brukt for å sjekke ut brukskvaliteten, HMI og har fungert i praksis. Viktige momenter er:

- Systematisk evalueringer (verifikasjon og valideringer) bør gjennomføres løpende og så tidlig som mulig basert på god praksis. (Metoder som CRIOP og HFAM har vært utviklet i samarbeid med bransjen og er tilgjengelige – og bør brukes.) Verifikasjon og validering bør kunne brukes i forbindelse med granskinger.

**Oppsummering av tiltak - knyttet til designvurderinger i granskning**
En viktig konklusjon var et det er relevant å gå tilbake og sjekke designet i forbindelse med granskinger – det er mange læringspunkter i forbindelse med å undersøke kvaliteten av design som en del av granskingen – dårlig design er relevant for å forstå menneskelige feilhandlinger. (Det bør sjekkes om det finnes verifikasjon & valideringsrapporter knytte til systemer som feilet – noe som kan bidra inn i analysene av design).

Metodikk fra havarikommisjonen er relevant å benytte i granskinger (kan bidra inn for å forstå handlingsmønsteret til aktørene) og spesielt er SA en viktig faktor. Granskingene fokuserer som regel mest på tekniske forhold, så viktig å se om teknikken har vært designet for å understøtte oppgaver som tilfaller menneskene. Bransjen bør få mere fokus på hva aktørene opplevde, deres forståelse, og støtten fra det hele MTO systemet som består av menneskelige, tekniske og organisatoriske elementer.

Petroleumssektoren bør kunne referere til gode eksempler på granskinger som tar med seg vurdering av design og av situasjonsforståelse (SA) f.eks. Havarikommisjonens rapport om Helge Ingstad og Deepwater Horizon granskingen fra CSB, med fagseminarer om disse granskingene.

## Læring av vellykkede faktorer

I denne gruppen ble det diskutert det at sikkerhetstenkning tradisjonelt har vært opptatt hva som har gått galt ("Safety I") i stedet for å fokusere på hva som har vært vellykket ("Safety II").

**Næringen bør dele og lære mer av vellykkede prosesser, systemer og teknologier**
Det kan se ut til å være en utfordring at gode systemer (f.eks. for å ivareta situasjonsforståelse) vil være proprietære og vanskelig å dele mellom operatørene – noe som ikke understøtter målet om å ta i bruk beste praksis og at Norge skal være ledende på HMS på sokkelen. Det er vanskelig å dele på tvers av leverandører og operatører, f.eks. knyttet til kommersielle aspekter og viktigheten av å holde kortene tett til brystet av konkurransehensyn. Fra et sikkerhetsperspektiv burde det være gode mekanismer for å dele beste praksis mellom aktørene. Generelt vil det være bransjen selv som sitter på de beste erfaringsgrunnlagene for deling på tvers. Et mulig tiltak kan være å sette søkelys på utviklings*prosessen* heller enn spesifikke *produkter* som er utviklet. Hva kan vi lære av hverandres prosesser for å utvikle systemer som ivaretar menneskelige og organisatoriske faktorer?

Med mange forskjellige interessenter og aktører kom det også opp at det var viktig for å lykkes å bare ha en leverandør å forholde seg til, noe som forenklet systemintegrasjonen. Her er det flere mulige forbedringstiltak, hvor næringen og Ptil kan bruker arenaer som allerede eksisterer til å sette problematikken på dagsorden. Dette kan stimulerer til at næringen kan komme med sine ulike erfaringer. Et kan være at Norsk olje og gass utvikler en form for beste praksis (f.eks. standarder/metoder/retningslinjer eller prosessverktøy tilpasset bransjen) med fokus på MTO-aspekt i innføring av ny teknologi. Et lignende arbeid har Norsk olje og gass gjort innenfor brønnkontrollhendelser gjennom "*Sharing to be better*" Formålet vil være å initiere en modnings-periode hvor Ptil gjør næringen oppmerksom på problemstillingen, og at dette kan føre til konkrete tiltak hos ulike aktører etter hvert.

For å oppsummere fra diskusjonen – det bør være økt fokus på å dele erfaring fra vellykkede utviklings*prosesser* (om det er vanskelig å dele erfaringer om *produkter* som er utviklet) dvs etablere forum som "*Sharing to be better*". Dessuten – det var viktig å ha klare ansvar med f.eks. bare en leverandør å forholde seg til.

## Nesten-hendelser

Tema for denne gruppediskusjonen var nesten-hendelser i autonome systemer og hvordan disse kan fanges opp og rapporteres for forbedret læring.

**Nesten-hendelser fanges ikke i god nok grad opp hverken hos myndigheter eller selskaper.**
Det er i dag ingen definerte krav til hva som bør logges for kritiske automatiserte systemer i olje og gassbransjen, og hvordan slike data eventuelt skal håndteres i forbindelse med rapportering og læring. I automatiserte og autonome systemer kan det oppstå uventede hendelser som ikke med letthet kan løses på stedet. For disse tilfellene bør det vær nok tilgjengelig data for å kunne analysere hendelsen i ettertid, slik at man er i stand til å være i forkant med tanke på tiltak for slik å forhindre fremtidige uønskede hendelser. Det er også usikkert om brukere av autonome boresystemer i dag har nok erfaring med å kunne fastslå hvilke type hendelser som bør rapporteres som bekymringsmeldinger, og om slike systemer brukes i tilstrekkelig grad. Det er heller ingen systematisk innhenting av mindre kritiske nesten-hendelser fra myndighetenes side. Det er usikkert om disse hendelsene i god nok grad fanges opp gjennom rapportering av DFU'er eller andre rapporteringspunkter til RNNP.

**Forbedringspunkter relatert til nesten-hendelser**
Det bør gjennomføres en generell kompetanseheving med tanke på nesten-hendelser i kritiske deler av autonome boresystemer, og seminarer i regi av Ptil kan brukes for dette formålet. Møter som næringen ber om er en annen mulighet for Ptil å hente informasjon om erfaringer med nesten-hendelser. Ptil bør også vurdere behovet for å innhente informasjon om mindre nesten-hendelser for kritiske autonome systemer gjennom andre systemer som RNNP. Myndighetene og næringen bør i samarbeid sette krav til hvilke data som skal logges for kritiske automatiserte systemer og som kan gi opphav til læring og forbedring om kritiske hendelser. Disse dataene bør samles og systematiseres av næringen selv. Både fra autonom biltransport og luftfart eksisterer det systemer for logging av ulike typer sensordata, eksempel er Flight Data Monitoring (FDM) med tilhørende varslings- og analyseprosedyrer som også ivaretar personvernhensyn. Disse kan ses til for å utvikle krav til logging fra autonome boresystemer. Disse systemene bør utvikles slik at det logges tilstrekkelig informasjon som kan gi læring både med tanke på hardware, algoritmer og menneskelige faktorer som situasjonsforståelse. En infrastruktur som håndterer disse dataene, slik at nødvendig læring kommer ut av datainnsamlingen er også nødvendig. Det bør også legges til rette for at brukere av autonome systemer kan varsle når det oppstår uventede situasjoner med de autonome systemene, og det må gis opplæring i hvilken type hendelser som bør rapporteres som for eksempel bekymringsmeldinger.

Oppsummering fra dette gruppearbeidet er at nesten-hendelser fanges ikke i god nok grad opp hverken hos myndigheter eller selskaper og myndighetene og næringen bør i samarbeid sette krav til hvilke data som skal logges for kritiske automatiserte systemer og som kan gi informasjon om kritiske hendelser.

Teknologi for et bedre samfunn

**www.sintef.no**