

2021:00056 - Åpen

# Rapport

## Bruk av modeller i boring

IKT-sikkerhet – Robusthet i petroleumssektoren 2020

**Forfatter(e)**

Maria Vatshaug Ottermo, Knut Steinar Bjørkevoll, Tor Onshus



# Rapport

## Bruk av modeller i boring

IKT-sikkerhet – Robusthet i petroleumssektoren 2020

EMNEORD:  
Modeller  
Modellkontrollert  
operasjon  
Boring  
OT-system  
IT-system  
IKT-sikkerhet

**VERSJON**

1.0

**DATO**

2021-01-28

**FORFATTER(E)**

Maria Vatshaug Ottermo, Tor Onshus, Knut Steinar Bjørkevoll

**OPPDRAGSGIVER(E)**

Petroleumstilsynet

**OPPDRAGSGIVERS REF.**

Arne Halvor Embergstrud

**PROSJEKTNR**

102022556

**ANTALL SIDER OG VEDLEGG:**

43+ vedlegg

**SAMMENDRAG**

Formålet med denne rapporten er å diskutere utfordringer og muligheter ved bruk av modellkontrollerte operasjoner, spesielt knyttet til hvordan modellene og data fra modellene kan brukes på en sikker måte og hvordan IKT-sikkerhet ivaretas. Hovedfokus er på boreoperasjoner.

Denne rapporten er en av seks SINTEF-rapporter fra prosjektet: "IKT-sikkerhet – Robusthet i petroleumssektoren 2020". Prosjektet har innhentet kunnskap om risiko, sårbarheter og IKT-sikkerhet for industrielle IKT-systemer.

**UTARBEIDET AV**

Maria Vatshaug Ottermo

**SIGNATUR***Maria V. Ottermo*  
Maria V. Ottermo (28. Jan. 2021 12:48 GMT+1)**KONTROLLERT AV**

Lars Bodsberg

**SIGNATUR***Lars Bodsberg***GODKJENT AV**

Maria Bartnes

**SIGNATUR***Maria Bartnes***RAPPORTNR**

2021:00056

**ISBN**

978-82-14-06480-3

**GRADERING**

Åpen

**GRADERING DENNE SIDE**

Åpen

# Historikk

---

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1.0	2020-01-29	Endelig rapport

Kreditering av bilder:

Side 1: Equinor (boring)

Side 23: Wikipedia (Scrum)

Øvrige bilder: Pixabay

# Innholdsfortegnelse

Sammendrag.....	5
Executive summary.....	7
<b>1 Innledning.....</b>	<b>9</b>
1.1 Bakgrunn.....	9
1.2 Mål og hensikt.....	10
1.3 Begrensninger.....	10
1.4 Begreper, definisjoner og forkortelser.....	11
1.4.1 Begreper og definisjoner.....	11
1.4.2 Forkortelser.....	11
1.5 Metode og gjennomføring.....	12
1.6 Rapportstruktur.....	13
<b>2 Omfang og generell bruk av modellkontrollert operasjon.....</b>	<b>14</b>
2.1 Dagens status for bruk av modellkontrollerte operasjoner.....	15
2.1.1 Bruk av modeller i planleggingsfasen.....	15
2.1.2 Bruk av modeller i driftsfasen.....	16
2.2 Oversikt over konkrete modeller og anvendelser.....	17
2.2.1 Termohydrauliske modeller.....	17
2.2.2 Mekaniske modeller for borestrengen.....	17
2.2.3 Modeller for sementering.....	17
2.2.4 Borevæskehåndtering.....	18
2.2.5 Top drive, heisespill, pumper og ventiler.....	18
2.2.6 Brønnplassering.....	18
2.2.7 Kobling til overordnede systemer.....	19
2.3 Andre relevante eksempler på bruk av modeller.....	19
2.4 Muligheter ved bruk av modellkontrollerte operasjoner.....	19
2.5 Utfordringer ved bruk av modellkontrollerte operasjoner.....	20
<b>3 Sikker bruk av data fra modellkontrollerte operasjoner.....</b>	<b>22</b>
3.1 Datakilder og kvalitetssjekk av data.....	23
3.2 Adgangskontroll og pålitelig kommunikasjon.....	24
3.3 Utnyttelse og tilgjengelighet av data.....	25
3.4 Deling av data og eierskap til data.....	25
<b>4 Sikker bruk av modeller for modellkontrollerte operasjoner.....</b>	<b>26</b>
4.1 Utvikling av modeller.....	26

4.1.1	Arbeidsmetoder ved utvikling av modeller .....	27
4.1.2	Utvikling av modeller som er robuste i forhold til dårlige data.....	28
4.2	Testing av modeller.....	29
4.3	Kommunikasjon mellom modeller og med det operative systemet .....	29
4.4	Endrings- og adgangskontroll.....	30
4.5	Opplæring og trening.....	31
<b>5</b>	<b>IKT-sikkerhet ved bruk av modellkontrollerte operasjoner .....</b>	<b>31</b>
5.1	Trening og opplæring (scenario 1 og 6) .....	32
5.2	Fjernstyring fra land (scenario 2 og 7) .....	32
5.3	Logisk og fysisk inndeling av nettverk (scenario 5).....	34
5.4	Fysisk aksess til installasjon og datasenter (scenario 8) .....	35
5.5	Modellutvikling og oppdatering i et IKT-sikkerhetsperspektiv (scenario 9 og 10) .....	36
<b>6</b>	<b>Implikasjoner for produksjonsoptimalisering.....</b>	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>Utfordringer og forslag til tiltak og forbedringer .....</b>	<b>37</b>
7.1	Næringen .....	37
7.2	Ptil .....	39
7.3	Behov for kunnskapsinnhenting .....	40
	<b>Referanser .....</b>	<b>42</b>
	<b>Vedlegg A: Litteratursøk.....</b>	<b>44</b>

## Sammendrag

### Innledning

Formålet med denne rapporten er å diskutere utfordringer og muligheter ved bruk av modeller til å kontrollere boreoperasjoner, spesielt knyttet til hvordan modellene og data fra modellene kan brukes på en sikker måte og hvordan IKT-sikkerhet ivaretas.

Arbeidet er i hovedsak basert på dokumentgjennomgang, intervju og arbeidsmøter. Intervju har blitt gjennomført med oljeselskap, boreselskap og boreleverandører.

### Muligheter og utfordringer ved bruk av modellkontrollerte operasjoner

Modeller brukes aktivt både i planlegging og drift av boreoperasjoner, og det er tydelig at økt bruk av modeller og digitalisering åpner for å optimalisere og ha bedre kontroll på boreprosessen. Tradisjonelt er det mange manuelle prosesser knyttet til en boreoperasjon, både for direkte styring og for innmating av verdier til systemet. Disse manuelle prosessene er erfaringsmessig en feilkilde som delvis eller helt kan elimineres ved bruk av digitalisering.

Noen av mulighetene og fordelene som trekkes fram med modellkontrollerte operasjoner kan også medføre utfordringer. For eksempel er den en fare for at brukerens mentale modell og forståelse av prosessen svekkes eller at brukeren mister fokus fordi han er vant til at systemet håndterer situasjonen automatisk. Dette kan over tid føre til at brukeren blir ute av stand til å gripe inn ved en uønsket hendelse. Ved bruk av modeller er man også avhengig av gode data, og det er viktig å være klar over at modeller kun kan gi et begrenset bilde av virkeligheten. Det er ofte også mange parter involvert i utvikling og bruk av modeller og man er avhengig av at hensiktsmessig kommunikasjon både mellom systemene og mellom menneskene som utvikler, drifter og bruker disse for å sikre at operasjonene og modellene fungerer som tiltenkt.

### Sikker bruk av data fra modellkontrollerte operasjoner

Data utgjør fundamentet i et digitalt samfunn, og må være korrekte og av høy kvalitet for å oppnå de ønskede effektene. Dette gjelder også for modeller, hvor en hovedregel er at dårlige data inn gir dårlige data ut. Modeller kan være mer sårbare for feil i inputdata fordi en operatør i mange tilfeller vil håndtere uventede situasjoner bedre enn en modell.

Modellbaserte løsninger må forholde seg til flere ulike datakilder. Det er derfor viktig at datakildene som skal brukes i modellen er klart definert og avgrenset. Det er fortsatt et stort utnyttet potensial i pålitelig og robust sensortechnologi samt høyfrekvent kommunikasjon til og fra nedre del av borestrengen, og det må tilrettelegges for å behandle og sammenstille disse dataene på en fornuftig måte så fort de blir tilgjengelige. Det er videre viktig å ha kontroll på hvem som har tilgang til å behandle og gjøre endringer i datamaterialet, uansett om de involverte har gode eller dårlig hensikter. Fragmentert datalagring hos ulike aktører har erfaringsmessig ført til utfordringer knyttet til datatilgang og kvalitetssikring av data. Hemmelighold av data kan også gjøre det vanskelig for utviklere å få testet modellene på en tilfredsstillende måte.

Forslag til forbedringer knyttet til sikker bruk av data for modellkontrollerte operasjoner inkluderer kvalitetssjekk av data både inn og ut av modellene, god kontroll på hvem som har tilgang til data, sørge for kompatible dataformat for enkel deling mellom applikasjoner, samt villighet til å dele egnede data for å sikre at modeller kan testes på en tilfredsstillende måte.

### Sikker bruk av modeller for modellkontrollerte operasjoner

En modell vil aldri kunne gjenspeile virkeligheten fullstendig. Det vil alltid være en avveining mellom kompleksiteten til modellen på den ene siden og krav til ytelse på den andre. For å sikre at modellene fungerer som tiltenkt må de testes, verifiseres og valideres. Det mest utfordrende med å teste modellene vil ofte være å

forutsette mulige scenarioer modellene kan utsettes for, spesielt ved bruk av dynamiske modeller. I intervjuene henvises det ikke til noen spesielle standarder eller retningslinjer for utvikling og testing av modeller, men bruk av slike hjelpemidler kan gi bedre kvalitet. Manglende opplæring og trening trekkes i intervjuer fram som en av de største utfordringene for å håndtere overgangen til nye systemer. For en borer, som vil ha viktig overvåknings- og/eller styringsfunksjon knyttet til modellene, må man derfor sørge for at systemene gir støtte til borer heller enn å skape usikkerhet, frustrasjon og/eller en følelse av umyndiggjøring.

Det er ingen felles kommunikasjonsstandard for boreutstyr og det gjør det mer utfordrende å utvikle løsninger som skal kommunisere med eksisterende utstyr og boresystemer.

Forslag til forbedringer inkluderer å etablere en felles kommunikasjonsstandard for boreutstyr, å ha godt definerte modellbegrensninger, å følge en velutprøvd metode for utvikling av programvare hvor alle at involverte parter er representert, å sørge for gode prosedyrer ved oppdatering, samt å ha en nøye gjennomtenkt plan for trening, opplæring og utrulling av ny teknologi. Merk at det mangler en standard/metodikk for utvikling av applikasjoner som skal brukes i kritiske prosesser, og det anbefales å jobbe mot å etablere dette.

### **IKT-sikkerhet ved bruk av modellkontrollerte operasjoner**

Når sensorer, systemer og maskiner kobles sammen for å muliggjøre informasjonsflyt, kommunikasjon og fjernstyring på tvers av geografisk lokasjon åpner det også for at uvedkomne kan få tilgang til sensitiv informasjon eller ramme kritiske funksjoner fra hvor som helst i verden. Flere aktører med tilgang til kritiske produksjonssystemer vil øke eksponeringen for inntrenging av skadelig programvare. For å ha full oversikt over hvilke muligheter man har for både utilsiktede og målrettede angrep på en installasjon eller et datasenter er det viktig å identifisere alle mulig informasjons og- kommunikasjonskanaler mellom og innad i de ulike nivåene i IT og OT. Så fort man har identifisert de mulige angrepsflatene vil det være enklere å segregere, overvåke og beskytte dem. Likevel kan dette også medføre sårbarheter fordi angrepsflatene blir bedre kjent og standardisert, noe som kan gjøre det enklere å organisere målrettede angrep.

Forslag til forbedringer inkluderer å jobbe strukturert med kartlegging av trusselbilde og identifisering av sårbarheter. Tilgjengelige rammeverk og metodikker kan virke overveldende og unødig kompliserte, og det å utvikle en mer praktisk tilnærming til IKT-sårbarhetsanalyser kunne vært nyttig.

### **Anbefalinger**

Det er gitt 13 forslag til tiltak for næringen, mens det er gitt 6 anbefalinger til tiltak for Petroleumstilsynet.

Vi ser et behov for å innhente mer kunnskap om hvordan man kan muliggjøre meningsfull menneskelig kontroll når modeller blir mer komplekse og i større grad baserer seg på kognitive teknologier heller enn fysiske modeller. Vi ser også et behov for å hente inn mer kunnskap om hvordan man kan kombinere domenekunnskap og fysikkbaserte modeller med maskinlæring for å oppnå økt sikkerhet og reduserte kostnader. Samtidig ser man at det vil være behov for mer kunnskap knyttet til håndtering av IKT-hendelser i forbindelse med bruk av modellkontrollerte operasjoner, både når det gjelder kompetanse hos fagpersonell og kunnskap om hvordan man kan øve og forberede de ansatte og organisasjonen på slike hendelser. Under arbeidet med denne rapporten kom det videre fram at det kunne være ønskelig med konkrete anbefalinger til rammeverk som kan brukes eller en veileder som gjør det enklere å ta i bruk eksisterende standarder for utvikling og IKT-sårbarhetsanalyser av modeller.

## Executive summary

### Introduction

The purpose of this report is to investigate challenges and opportunities related to use of models in drilling operations, with emphasis on how the models and data from the models can be used in a safe way, both in a safety and ICT security perspective.

The work is based on document reviews, interviews and working sessions with the industry. Interviews have been conducted with selected oil- and drilling companies and drilling contractors.

### Challenges and opportunities related to use of models in drilling operations

Models are used actively both during planning and execution of drilling operations, and the increasing use of models and digitalization enables new ways of optimizing and controlling the drilling process. Traditionally, drilling operations are associated with many manual operations both for direct control and data input to the system. Based on experience, these manual processes are a frequent source of error, that can be partly or fully eliminated by using digital solutions.

Some of the opportunities and benefits associated with use of model-based control can also result in new challenges. For instance, there is a risk that the user's mental model, situational awareness, focus or understanding of the process is impaired because the system usually handles and controls the situation and demands no input from the user. Over time this can result in a situation where the user is unable to intervene should an incident occur. Models are dependent on good quality data. At the same time, it is important to point out that models can only provide a limited approximation of reality. Several stakeholders are often involved in development and use of models; hence it is important to enable efficient communication and interaction both between systems and between people to ensure that the operations and models are run as intended.

### Safe and secure use of data from model-controlled operations

Data is the foundation of a digital society, and it must be accurate and of high quality to obtain the desired benefits. This also applies to models, where a common rule is that garbage in results in garbage out. Models can also be more vulnerable to errors in input data, since a human operator often will be better suited to handle unexpected situations than a model.

Model-based solutions often rely on different data sources; hence it is important that data sources are well defined and delimited. There is still a large unexploited potential in reliable and robust sensor technology as well as high-frequency communication to and from the lower part of the drill string, and preparations should be done to be able to process and compile this data in a sensible way as soon as they become available. It is also important to control who has access to processing and making changes to the data material, regardless of whether those involved have good or bad intentions. Fragmented data storage by various actors has, from experience, led to challenges related to data access and quality assurance of data. Data concealment can also make it difficult for developers to test the models satisfactorily.

Suggestions for improvements related to safe and secure use of data for model-controlled operations include quality checks of data both to and from of the models, access control, ensuring compatible data formats for easy sharing between applications, and willingness to share relevant data to ensure that the models can be thoroughly tested.

### Safe use of models for model-controlled operations

A model will never be able to fully reflect reality. There will always be a trade-off between the complexity of the model on the one hand and performance requirements on the other. To ensure that the models work as intended, they must be tested, verified, and validated. The most challenging part of testing the models will



often be to foresee possible scenarios the models may be exposed to, especially for dynamic models. No specific standards or guidelines for development and testing of models were mentioned in the interviews, but the use of such aids can provide better quality. Lack of education and training was highlighted in interviews as one of the biggest challenges in dealing with the transition to new systems. The driller will have an important monitoring and/or control function related to the models, and it is important to ensure that the systems provide support to the driller rather than introducing uncertainty, frustration and/or a feeling of being incapacitated.

There is no common communication standard for drilling equipment, and this makes it more challenging to develop solutions that can communicate with existing equipment and drilling systems.

Suggestions for improvements include establishing a common communication standard for drilling equipment, ensuring well-defined model limitations, following a proven method for software development where all involved parties are represented, ensuring good procedures for updating the models and establishing plans for training, education, and rollout of new technology. Note that no standard/method adapted to design of applications used in critical processes is available, and it is recommended to work towards establishing this.

### ICT-security for model-controlled operations

When sensors, systems and machines are connected to enable information flow, communication, and remote control across geographical locations, it makes it easier for unauthorized persons to access sensitive information or target critical functions from anywhere in the world. More stakeholders with access to critical production systems will increase exposure to malware intrusion. To have a full overview of the possibilities for both unintentional and targeted attacks on an installation or a data centre, it is important to identify all possible information and communication channels between the various levels within IT and OT and between IT and OT. Once the possible attack surfaces have been identified, it will be easier to segregate, monitor and protect them. However, standardizing the attack surfaces, will also make them more exposed to targeted attacks.

Suggestions for improvements include working in a structured way to map the threat picture and identify vulnerabilities. Available frameworks and methodologies can seem overwhelming and unnecessarily complicated and establishing a more practical approach to ICT vulnerability analysis could be useful.

### Recommendations

Thirteen suggested measures for the industry have been identified, while 6 recommendations have been suggested to the Petroleum Safety Authority Norway.

We see a need to gain more knowledge about how to enable meaningful human control when models become more complex and to a greater extent are based on cognitive technologies rather than physical models. We also see a need to gather more information about how domain knowledge and physics-based models be combined with machine learning to increase security and reduce costs. There is also a need to identify ways of handling possible ICT incidents related to the use of model-controlled operations, both in terms of competence among professionals and knowledge about how to train and prepare employees and the organization for such incidents. While working on this report, it was identified that there is a need for specific framework recommendations that can be used or a guide that makes it easier to apply existing standards while developing and performing ICT vulnerability analyses of models.

## 1 Innledning

### 1.1 Bakgrunn

Petroleumstilsynet har gitt SINTEF i oppdrag å undersøke ulike sider av temaet IKT-sikkerhet – robusthet i petroleumssektoren. Prosjektet har innhentet kunnskap om risiko, sårbarheter og IKT-sikkerhet for industrielle IKT-systemer. Prosjektet skal bidra til å øke forståelsen for IKT-sikkerhet i petroleumsvirksomheten og slik være med å øke robustheten mot uønskede hendelser. SINTEF har også gitt innspill til oppdatering av Petroleumstilsynets regelverk for oppfølging av IKT-sikkerhet.

I det følgende gis en kort beskrivelse av de seks delprosjektene:

#### Datakvalitet

Hensikten har vært å undersøke hvilke datakilder og data som benyttes i industrielle IKT-systemer og hvordan data behandles og prosesseres før de gjøres tilgjengelig i kontornettet. Styrker og sårbarheter knyttet til datakvalitet og sikring av data er diskutert.

#### Notat – IKT-sikkerhet i petroleumindustrien

SINTEF har utarbeidet et notat som klargjør hvordan IKT-sikkerhet i petroleumindustrien blir regulert i gjeldende regelverk. Notatet viser omfanget av systemer som typisk omfattes av industrielle IKT-systemer og som direkte understøtter drift av innretninger og flyttbare rigger.

#### Veileder IKT-sikkerhet

Det er utarbeidet et veiledningsdokument ("veileder") for norsk petroleumsvirksomhet som skal kunne brukes som et vedlegg til NSMs grunnprinsipper for IKT-sikkerhet. Veilederen er tilpasset de løsningene som er vanlige i petroleumssektoren, samtidig som den har fleksibilitet til å kunne håndtere hovedelementene innen petroleumindustriens satsing på digitalisering.

#### Modellkontrollert operasjon - denne rapporten

Rapporten sammenfatter kunnskap og anbefalinger om sikker bruk modellkontrollerte operasjoner. Det er lagt spesiell vekt på kvalitetssikring av modeller og data fra modeller samt IKT – sikkerhet og kommunikasjon mellom programvareløsninger i boreoperasjoner.

#### Premisser for digitalisering og integrasjon IT – OT

Hensikten har vært å beskrive og vurdere hvordan digitalisering og bruk av skytjenester påvirker industrielle IKT-systemer, samt hvilke sikkerhetsløsninger man må iverksette for sikker bruk av skytjenester. I Petroleumstilsynets regelverk står spesielt prinsippet om segregering og uavhengighet sentralt som strategi for å etablere sikkerhet.

#### Kommunikasjonsnettverk

Hensikten har vært å undersøke hvilken rolle datanettverk ivaretar for eksternt kommunikasjon ved fare- og ulykkessituasjoner. Rapporten beskriver utfordringer knyttet til risiko og sårbarhet i datanettverkene og det er utarbeidet konkrete forslag til forbedringer.

Dette prosjektet er en del av en større satsing innenfor IKT-sikkerhet i Petroleumstilsynet. Sentrale problemstillinger for Ptil er:

Hvordan håndterer industrien endringsprosesser knyttet til innføring av ny teknologi?

- Hvordan vil digitalisering påvirke HMS-forhold og risikostyring?

SINTEFs arbeid i dette prosjektet er i stor grad en videreføring av tidligere prosjekter gjennomført av DNV GL og SINTEF innen samme temaområde [7])

## 1.2 Mål og hensikt

Hovedmålet for denne leveransen er å gi næringen gi økt forståelse for utfordringer og muligheter ved bruk av modellkontrollerte operasjoner, spesielt knyttet til hvordan modellene kan brukes på en sikker måte og hvordan IKT-sikkerhet ivaretas.

Følgende målsetninger er definert:

1. Vurder utfordringer/muligheter med modellbaserte løsninger. Det legges spesifikk vekt på boreoperasjoner.
2. Beskriv og vurder hvordan data fra modellkontrollerte operasjoner kan brukes på en sikker måte.
3. Beskriv og vurder kvalitetssikringen av modeller.
4. Beskriv og vurder IKT-sikkerhet ved bruk av modellbaserte løsninger.
5. Foreslå tiltak for sikker bruk av modellbaserte løsninger (både for IKT og HMS).

## 1.3 Begrensninger

- Det er lagt vekt på dagens løsninger for modellkontrollert operasjon fremfor nye trender.
- 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.
- Modeller er her begrenset til matematisk prosessmodell som beregner (flerfase) strømming, trykk og temperatur i brønnen og krefter og elastiske effekter i borestrengen. Brønnstabilitet kan være med, men for modellbasert kontroll kan en nøye seg med input av tabeller som gir trykkbegrensninger. Vi utelukker da f.eks. fysiske modeller og matematiske modeller for strukturberegninger.
- Anvendelser kan inkludere planlegging, trening, sanntids beslutningsstøtte, automatisering og postanalyse/erfaringsoverføring. Det er ofte varianter av de samme matematiske modellene som inngår. Beregninger i alle fasene kan være relevante i den grad de direkte eller indirekte er med på å styre operasjonen.
- Av hensyn til anonymisering er ikke dokumenter delt av de ulike selskapene som ble intervjuet tatt med som referanser.

## 1.4 Begreper, definisjoner og forkortelser

### 1.4.1 Begreper og definisjoner

Begrep	Definisjon/beskrivelse	Referanse
Barriere *	Tiltak som har til hensikt og funksjon enten å forhindre et konkret hendelsesforløp i å inntreffe, eller påvirke et hendelsesforløp i en tilsiktet retning ved å begrense skader og/eller tap. Funksjonen til disse barrierene ivaretas av tekniske, operasjonelle og organisatoriske elementer enkeltvis eller samlet	Ptil 2020 (ptil.no) [8]
Bit	Borekrone	
Borer	Engelsk: driller	
IKT-sikkerhet	Beskyttelse av informasjons- og kommunikasjonsteknologi (maskinvare og programvare, samt kommunikasjonssystemer)	SINTEF 2018:00572 [9]
Informasjonsteknologi (IT)	Teknologi som behandler informasjon	Dette prosjektet
Operasjonell teknologi (OT)	Teknologi som støtter, kontrollerer og overvåker industriell produksjon, kontroll- og sikkerhetsfunksjoner	Dette prosjektet
Operasjonsområde	Engelsk: Operational envelope	
First principles	Modell basert i stor grad på fysiske lover og systeminformasjon, og ikke hovedsakelig på empiri eller parametertilpasning.	
Patching	Prosess for å fikse en sårbarhet eller feil i en programvare.	
Risiko (1) **	Med risiko menes konsekvensene av virksomheten med tilhørende usikkerhet	Veiledning til RF § 11 [10]
Risiko (2) **	Risiko kan uttrykkes som en kombinasjon av sannsynligheten for og konsekvensen av en uønsket hendelse	NS 5814:2008 [11]
Risiko (3) **	Risiko kan uttrykkes som forholdet mellom trusselen mot en gitt verdi og denne verdiens sårbarhet overfor den spesifiserte trusselen	NS 5832:2014 [12]
Sårbarhet (1)	Manglende evne hos et analyseobjekt til å motstå virkninger av en uønsket hendelse og til å gjenopprette sin opprinnelige tilstand eller funksjon etter hendelsen	NS 5814:2008 [11]
Sårbarhet (2)	Et uttrykk for de problemer et system får med å fungere når det utsettes for en uønsket hendelse, samt de problemer systemet får med å gjenoppta sin virksomhet etter at hendelsen har inntruffet	NOU2015: 13 [13]

\*) Begrepet barriere brukes sjelden i IKT-sikkerhetsstandarder. I stedet brukes begreper som tiltak, mottiltak, forsvarsmekanismer, beskyttelsesmekanismer, løsninger, osv.

\*\*\*) Risiko (1) er et eksempel på en kvalitativ definisjon av risiko, mens risiko (2) og risiko (3) er eksempler på definisjoner for beskrivelse av risiko, jf. [14]

### 1.4.2 Forkortelser

Forkortelse	Engelsk	Norsk
ADC	Automated drilling control	Automatisert boring
API	Application programming interface	Applikasjonsprogrammeringsgrensesnitt
BHA	Bottom hole assembly	Nedre del av borerøret
CM	Condition monitoring	Tilstandsovervåkning
DMS	Drilling modeling and simulation	Boremodellering og simulering
DMZ	Demilitarized zone	Demilitarisert sone

Forkortelse	Engelsk	Norsk
ExS	Expert Station	Ekspertstasjon
FAT	Factory acceptance test	Akseptansetest
FSA	Functional safety assessment	Evaluering av funksjonell sikkerhet
GBS	Global business services	Globale bedriftstjenester
HART	Highway addressable remote transducer	Kommunikasjonsprotokoll basert på standardsignalet 4-20 mA
HMI	Human machine interface	Menneske-maskin grensesnitt
IEC	International electrotechnical commission	Internasjonal elektroteknisk kommisjon
ICT/IKT	Information and communications technology	Informasjons- og kommunikasjonsteknologi
ISO	International standardization organization	Den internasjonale standardiseringsorganisasjonen
IT	Information technology	Informasjonsteknologi
KAP	Critical action panel	Kritisk alarmpanel
MOC	Management of change	Endringsledelse
MPD	Managed pressure drilling	Trykkstyrt boring
MWD	Measurement while drilling	Måling under boring
MS	Maintenance station	Vedlikeholdsstasjon
NIST	National institute of standards and technology	Nasjonalt (amerikansk) institutt for standarder og teknologi
NOU		Norges offentlige utredninger
NS		Norsk standard
OPC UA	Open platform communication unified architecture)	Åpen standard for industriell kommunikasjon og informasjonsmodellering
OS	Operator station	Operatørstasjon
OT	Operational technology	Operasjonell teknologi
PCS	Process control system	Prosesskontrollsystem
PTIL	Petroleum safety authority Norway	Petroleumstilsynet
SAT	Site acceptance test	Godkjenningstest
ROP	Rate of penetration	Borehastighet
RS		Rammeforskriften
RSS	Rotary steering system	Rotasjonsstyresystem
TRL	Technology readiness level	Teknologimodenhet
VPN	Virtual private network	Virtuelt privat nettverk
V&V	Validation and verification	Validering og verifisering
WOB	Weight on bit	Vekt på borekronen

## 1.5 Metode og gjennomføring

Arbeidet er i hovedsak basert på dokumentgjennomgang, intervju og arbeidsmøter. Det er utført i et tverrfaglig prosjektteam med kompetanse innenfor blant annet instrumenterte sikkerhetssystemer, IKT-sikkerhet, boring og brønn samt petroleumsregelverk og standarder innenfor disse fagområdene.

Intervju har blitt gjennomført med oljeselskap, boreselskap og boreleverandører. Av hensyn til anonymitet oppgis ikke navnene på selskapene.

Det er gjennomført sju gruppeintervju med totalt 20 informanter.

## 1.6 Rapportstruktur

Kapittel 2 beskriver hvilken rolle modellkontrollerte løsninger spiller i boreoperasjoner, med vekt på dagens teknologi. Eksempler på bruk av modellkontrollerte løsninger brukt både i planleggingsfase og drift blir trukket fram. Muligheter og utfordringer ved bruk av modellkontrollerte operasjoner blir også diskutert.

Kapittel 3 omhandler sikker bruk av data fra modellkontrollerte operasjoner og hvilke prosesser som brukes for å sikre og beskytte data som brukes i modellene.

Kapittel 4 ser nærmere på kvalitetssikring av modeller.

Kapittel 5 omhandler IKT-sikkerhet ved bruk av modellkontrollerte operasjoner og ser blant annet på dataflyt mellom ulike systemer og programvareløsninger.

Kapittel 6 oppsummerer kort implikasjoner for produksjonsoptimalisering.

Kapittel 7 oppsummerer SINTEFs anbefalinger til tiltak for næringen og Petroleumstilsynet, samt behov for videre arbeid med kunnskapsinnhenting og videre arbeid.

I tillegg til figurer og tabeller, benytter vi **faktabokser** (grønne bokser til venstre på siden) og **resultatbokser** (blå bokser til høyre på siden). Samme fargebruk gjelder for tabeller, dvs. resultattabeller er blå.

## 2 Omfang og generell bruk av modellkontrollert operasjon



Per i dag er cirka 50% av kostnadene med feltutbygging relatert til boring- og brønnaktivitet. I tillegg involverer boring alltid en risiko, og feil kan få enorme konsekvenser både for utstyr, menneske, miljø og organisasjon. Det er bred enighet om at både kostnader og risiko kan reduseres ved hjelp av utbredt bruk av digitalisering for å optimalisere boreprosessen.

NTNU, 2016 [3]  
Godhavn, 2011 [6]

Boreprosessen blir ofte forbundet med høye kostnader, fragmenterte arbeidsoperasjoner med mange involverte parter og grensesnitt, samt høy usikkerhet knyttet til tilstanden i undergrunnen. Per i dag er cirka 50% av kostnadene med feltutbygging relatert til boring- og brønnaktivitet [3]. I tillegg involverer boring alltid en risiko og feil kan få enorme konsekvenser både for utstyr, menneske, miljø og organisasjon [6]. Det er bred enighet om at deler av disse kostnadene og risikoen for feil kan reduseres med økt automatisering av boreoperasjonen, både ved hjelp av robotisering og mer utbredt bruk av digitalisering for å optimalisere boreprosessen. For å få til dette står økt bruk av modeller og bedre utnyttelse av tilgjengelig data fra sensorer sentralt

De siste tiårene har stadig flere og mer sofistikerte løsninger for boring blitt innført, ikke bare for beslutningsstøtte og overvåkning, men også for direkte styring. Modellene implementeres som regel i IT-systemer med tett kobling til OT- systemer, og en ser etter hvert eksempler på modeller som har en direkte kobling til kontrollsystemene som styrer boreoperasjonen.

## 2.1 Dagens status for bruk av modellkontrollerte operasjoner

Formålet med dette avsnittet er å kartlegge status for bruk av modellkontrollerte operasjoner på norsk sokkel, med spesifikt fokus på boreoperasjoner. I intervjuene gjennomført for denne studien, meldte selskapene at de bruker alt fra noen få til drøyt 20 modeller i sine boreoperasjoner. Noen er offline, mens andre er i operasjon, enten direktekoblet eller via operatører som rådgivende informasjon.

Modeller har en rekke anvendelser innen boring, men kan grovt sett deles i følgende hovedkategorier:

- Planleggingsfase.  
inklusive trening av personell
- Driftsfase.

Noen modeller brukes også i begge fasene. Siden boreoperasjonen er kompleks, er det urealistisk å modellere og simulere alle deler av prosessen, men det foregår omfattende forskning og utvikling innen flere områder. Tidligere har det vært utfordrende å kjøre slike modeller i sanntid, men en har etter hvert funnet metoder for å redusere kompleksiteten av modellene samtidig som datakraften har økt, og dette har resultert i at det nå er mulig å modellere med større detaljeringsgrad og nøyaktighet. For å bore en velfungerende brønn kreves det bruk av mye forskjellig utstyr, inkludert rigg, borerør, bottomhole assembly (BHA), foringsrør, stigerør, pumper, heisverk, top drive, rørhåndteringsmaskiner, ventiler, degasser, tanker og prosessanlegg for borevæske og borekaks. I tillegg til de fysiske systemene, er også mange personer involvert i prosessen.



### 2.1.1 Bruk av modeller i planleggingsfasen

Boremodellering og -simulering (Drilling Modeling and Simulation - DMS) omhandler det å modellere og simulere oppførselen til boresystemet og prosessen og skal gi viktig informasjon om disse uten å faktisk konstruere brønnen [15]. Bruk av DMS-metoder skal bidra til økt boreeffektivitet, produktivitet og ytelse, gi forbedret risikohåndtering og dermed økt personsikkerhet.

Flere ulike boresimulatorene har blitt utviklet, blant annet for planlegging og optimalisering og 3D simulering av utstyr og boreprosess. Simulatorene har vist lovende resultater, men har typisk vært unøyaktige eller ufullstendige, spesielt dersom de har vært basert kun på virtuelle matematiske modeller. Simuleringer basert på fysiske modeller er ofte begrenset til en del av et system eller nedskalert for å spare kostnader eller plass eller av sikkerhetsmessige årsaker. Det har derfor blitt mer vanlig med hybride modeller, hvor matematiske modeller brukes til de delene av prosessen som kan beskrives godt matematisk, mens en fullskala fysisk modell brukes der dette ikke er mulig [15]. For analyse av dynamikken til borestrengen fins det for eksempel mange tilgjengelige modeller for borestrengen, men bare noen få, unøyaktige modeller av bit og borehastighet (ROP). Det er derfor naturlig å simulere borestrengen, borehullet og boreriggen ved bruk av virtuelle modeller, men å bruke en fysisk modell for vekselvirkningen mellom bit og formasjon [15].

I tillegg til at de matematiske modellene som diskutert over brukes enkeltvis, ser man en mer utstrakt bruk av digital tvilling hvor flere modeller er innlemmet i tillegg til at man kobler på mer data om de fysiske egenskapene til prosessen. En digital tvilling kan defineres som "en digital profil av den historiske og



nåværende adferden til et fysisk objekt eller en prosess" [16]. Man ser at slike tvillinger er nyttige i flere faser av prosessen, både planlegging, trening, drift og postanalyse av hendelser.

### 2.1.2 Bruk av modeller i driftsfasen

De siste årene har en på norsk sokkel kommet langt i å automatisere boreutstyr på boredekk, blant annet gjennom robotisering av top drive, heisespill (draw-works) og slips, i kombinasjon med automatisering av pumper og ventiler. En har også god erfaring med dynamisk planlegging, automatisert rørhåndtering og antikollisjon. En utfordring har vært å utnytte denne erfaringen til også å kunne automatisere deler av prosessen for brønnkonstruksjon, for eksempel ved at man bruker sanntidsmålinger fra borehullet til å kalibrere de matematiske modellene som brukes til å predikere borehullsparametere. For å komme dit kreves en sammensetning av en rekke avanserte verktøy og fagdisipliner, inkludert optimalisert boring, dynamisk overvåkning, banepanlegging og automatisert kontroll av krefter, trykk og vibrasjoner med bruk av modeller og simulatorer [15].

Det er utviklet flere dynamiske sanntidsmodeller for boreoperasjoner. Disse er basert på bruk av matematiske beregninger som estimerer forventet respons, sammenlignes med målinger i sanntid fra instrumentert borestreng eller annen sensorikk og brukes som grunnlag for sanntids beslutningsstøtte og alarmgenerering. Siden inputdata til modellene til dels er mangelfulle eller unøyaktige, er det viktig å bestemme årsaken til avvik mellom modellens beregninger og fysiske målinger. Dersom anomalier i det fysiske systemet, inklusive sensorer og dataoverføring, kan utelukkes, kalibreres modellene for å korrigere for unøyaktigheter i inputdata og beregninger. Anvendelser inkluderer sanntids beslutningsstøtte for maks bore- og trippehastighet, automatisering av boremaskiner og pumper, automatisert trykkstyring under trykkbalansert boring (Managed pressure drilling - MPD) og automatisert behandling av borevæsker på riggen.

Trykkbalansert boring (MPD) er en adaptiv boreprosess som brukes når reservoaret har lavt trykk og formasjonsstyrken er svekket [15]. En viktig del av et MPD styresystem er en hydraulisk modell, som ofte er den delen av systemet som begrenser nøyaktigheten. Det fins derfor mange komplekse og gode hydrauliske modeller, men ulempen er at disse krever ekspertkunnskap både for oppsett og kalibrering. I praksis viser det seg at mye av kompleksiteten ikke bidrar så mye til økt nøyaktighet, fordi tilstanden i brønnen endrer seg og en ikke har tilstrekkelig med målinger for å kalibrere modellparameterne underveis. Det er demonstrert at man ved å bruke en forenklet modell kan estimere de dominerende egenskapene til et MPD-system og at man ved bruk av online parameterestimering for automatisk kalibrering kan oppnå like god nøyaktighet som for en mer avansert modell så lenge sensorer og dataoverføring er intakt [17].

Parallelt jobbes det med smartere modeller som er mer robuste og mindre avhengig av ekspertkunnskap i drift enn eksisterende avanserte modeller. Disse kan tilføre større evne til å tolke data og dermed detektere og håndtere sensorfeil og avvikende status i brønnen. De kan videre håndtere usikkerhet på en systematisk og konsistent måte.

I et eksempel på autonom boring som er i bruk på norsk sokkel sendes oppdateringer i sanntid fra rigg og BHA inn til en digital tvilling av borehullet. Settpunkt for optimal bore- og trippehastighet beregnes kontinuerlig i modellen og oppdateres automatisk. Borer holdes oppdatert om disse endringene, og gis mulighet for å justere eller gripe inn. I tillegg oppdateres operasjonsområdet for alle kontrollere automatisk basert på hvor man befinner seg i operasjonen.

Visualisering og tolkning av data er viktig for å kunne integrere målinger fra brønnen med andre prosesser. Avansert teknologi, som elektromagnetisk overføring og telemetrisystemer har gitt mulighet for å hente ut store datamengder i sanntid, og med videre utvikling er det forventet at man i tillegg kan gjøre sanntidsoptimalisering og automatisering ved borekronen. Dette vil gi muligheter for bedre design, overvåkning og optimalisering av boreprosessen samt større grad av autonomi.

## 2.2 Oversikt over konkrete modeller og anvendelser

I denne oversikten beskrives en rekke vanlig brukte modeller kort. De fleste brukes i planlegging og en del brukes også i sanntid med direkte input av data fra boresystemet. Der er da normalt egne sanntidsversjoner av modellene som er lagd for å fungere optimalt og pålitelig med direkte input av sensordata.

### 2.2.1 Termohydrauliske modeller

Modeller som beregner strømming av borevæske og andre væsker under boring og komplettering er sentrale blant annet for sikker og optimal styring av trykket i brønnen, for å sikre god hullrensing, og for å planlegge sikker håndtering av uønskede hendelser som innstrømming av reservoarfluid eller tap til formasjonen. Slike modeller brukes derfor alltid under planlegging for å sikre at trykket i åpent hull er innenfor begrensningene som gitt av poretrykk, kollapstrykk og oppsprekkingstrykk med en tilfredsstillende sikkerhetsmargin. Trykket er en sum av hydrostatisk trykk, friksjonstrykktap, lokale trykktap og baktrykk fra overflateventiler, med fratrekk av løftehjelp fra eventuelle pumper i annulus eller i sjøen utenfor stigerøret. Hvert av disse leddene er avhengig av temperaturprofilen i brønnen, som derfor inngår enten som input fra en ekstern kilde eller ved at en innebygget modell for beregning av temperatur langs brønnen brukes. Også dynamiske variasjoner i temperaturprofilen være av betydning og er derfor inkludert i avanserte temperaturmodeller.

Termohydrauliske modeller brukes også i sanntid for beslutningsstøtte og for automatisering av deloperasjoner, som for eksempel for å beregne maksimal sikker hastighet når borestrengen trekkes ut av hullet eller går inn igjen for å bore videre og gi resultatet som et hyppig oppdatert settpunkt til borekontrollsystemet.

### 2.2.2 Mekaniske modeller for borestrengen

Avanserte mekaniske modeller brukes i planlegging for å sikre at strengen er sterk nok til å tåle dreiemoment og aksielle krefter i aktuelle faser av operasjonen. Det finnes også vibrasjonsmodeller som kan gi et bilde av hvordan aksielle, rotasjonelle og laterale vibrasjoner påvirkes av boreparametere og væskeegenskaper. Selv om nøyaktig bestemmelse av vibrasjon krever input av sensordata under operasjonen, vil modellene kunne gi en nyttig kvalitativ forståelse av hvordan vibrasjoner kan dempes ved å justere på operasjonelle parametere. Dette kan bidra både til å unngå unødig slitasje og skade på borestreng og nedihullsutstyr, og til optimalisering av borehastighet (ROP)

I sanntid kan mekaniske modeller brukes sammen med sensordata for beslutningsstøtte og automatisering for å ytterligere minimalisere skade og slitasje og for å gi beskjed om en nærmer seg tålegrenser for kreftene langs strengen. Måling av mekaniske krefter i ulike retninger er også en viktig indikator på om en er i ferd med å få problemer med dårlig hullrensing, og bruk av modeller kan hjelpe til med å forstå om endringer i målingene er normale eller avvikende.

### 2.2.3 Modeller for sementering

Lignende modeller som beskrevet i Kapittel 2.2.1 er sentrale også for planlegging av sementeringsoperasjoner. Her må modellene håndtere et tog med ulike væsker med til dels svært ulike egenskaper, noe som gir store endringer av trykk og temperatur under pumping og plassering av sement. Både trykk og temperatur er viktige for å oppnå et sikkert og godt resultat. I tillegg til dette kommer beregninger knyttet til resten av prosessen, dvs. ting som frigjøring av kjørestreng, utsirkulering av ekstra sement utenfor kjørestrengen, hydrering av sement og trykktesting.

Automatisk styring under pumping og plassering av sement er mulig og har blitt gjort, men er mindre vanlig enn automatisering under boring.

## 2.2.4 Borevæskehåndtering

Det jobbes med automatisert overvåking og styring av borevæskeprosessen på rigger og plattformer. Formålet er både mer nøyaktig kontroll på egenskapene til borevæsken og reduksjon av manuell håndtering av borevæsker og tilsetningsstoff. Det siste har et potensial for å gi redusert HMS-relatert risiko, kostnad, og klimaavtrykk ved økt fjernovervåking og -styring. En del av løsningen vil bestå av matematiske modeller for borevæskeegenskaper og sirkulasjon i håndteringssystemene offshore. Det er få rigger som har tilrettelagt for automatisert borevæskehåndtering med nødvendige sensorer og aktuatorer, men dette antas å bli mer vanlig framover.

## 2.2.5 Top drive, heisespill, pumper og ventiler

Top drive blir i ulik grad automatisert basert på beregninger med blant annet modeller beskrevet ovenfor. Modeller beregner for eksempel hvordan pumpehastighet, rotasjonshastighet og aksial strengfasthet påvirker væsketrykk og krefter i strengen, og hjelper til å holde disse innenfor sikre marginer fra gitte eller antatte grenseverdier. Beregningene kan gjøres offline før operasjonen starter, eller i noen tilfeller i sanntid med direkte input fra boreprosessen. Maskiner som styres basert på slik input inkluderer:

- Top drive som roterer borestrengen fra toppen
- Heisverk som løfter strengen opp og senker den ned
- Slips som holder strengen fast når top drive kobles fra for å fjerne eller legge til rør eller andre borestrengskomponenter
- Borevæskepumper som sirkulerer væske ned på innsiden av borestrengen, gjennom borekronen og opp igjen på utsiden

Disse funksjonene implementeres i mange tilfeller i moduler som er spesialisert for spesifikke oppgaver som de er grundig testet og validert for å utføre sikkert og pålitelig. Eksempler på dette som har vært nevnt av industrien er:

- System som optimaliserer borekronen
- System som optimaliserer trekking og/eller senking av borestrengen.

Komplekse systemer for beregninger i sanntid er basert på utvikling gjennom flere tiår i ulike forskningsmiljøer. Resultat av utviklingsarbeidet er nå kommersialisert blant annet av de to selskapene eDrilling og Sekal, og brukes av mange oljeselskaper på norsk sokkel og internasjonalt. Begge systemene beregner dynamisk strømning, temperatur og krefter i sanntid, og sammenholder resultatene med målinger for dels å styre og dels å gi beslutningsstøtte under operasjonene. For flere detaljer vises til [www.edrilling.no](http://www.edrilling.no) og [www.sekal.com](http://www.sekal.com).

I tillegg finnes en rekke delsystemer som er implementert av ulike leverandører og serviceselskaper. Et eksempel er en ny kickdeteksjonsalgoritme som er utviklet av F&U-avdelingen til et oljeselskap og integrert i en leverandør sin programvare for å gi tidligere og mer pålitelig melding om mulige brønnkontrollhendelser. Et annet eksempel er programvare for reduksjon av ødeleggende stick-slip-bevegelser. Slike stick-slip-reduserende kontrollalgoritmer finnes det flere av, og det blir stadig jobbet videre med forbedringer.

## 2.2.6 Brønnplassering

Optimal brønnplassering gjennom olje- og gassreservoarer er en utfordring ved boring. Det innebærer å kartlegge undergrunnen så nøyaktig som mulig før boring, justere kartet under boring, og å kontrollere retningsboringen nøyaktig. For dette trengs gode modeller under planlegging og nøyaktig styring og oppdatering under boreoperasjonene.

### 2.2.7 Kobling til overordnede systemer

Operatørstyrte systemer med innslag av automatiserte sekvenser brukes i stor grad i Nordsjøen, men det jobbes aktivt med digitalisering og integrering av ulike systemer, inklusive modellberegninger, for å unngå dobbeltarbeid og feil ved manuell input, og for å raskt kunne oppdatere planene automatisk når ting endrer seg underveis. Når dette fungerer godt, kan en oppnå f.eks. automatisk oppdatering av aksjonsplan/tidsplanlegger for operasjonene.

### 2.3 Andre relevante eksempler på bruk av modeller

I andre anvendelser enn boring er også modeller i utstrakt bruk, og metodene er i stor grad sammenfallende med de som brukes eller kan brukes i boring:

- Et eksempel er MPC (Model Predictive Control) som i dag benyttes til en del vanskelige reguleringsoppgaver, for eksempel "slug control".
- Dynamiske modeller er også i utstrakt bruk for analyser i forbindelse med bygging og optimalisering samt i treningssimulatorer.
- Dynamiske modeller som alltid er synkronisert med prosessen kan brukes blant annet til å se effekten av tiltak uten å påvirke det fysiske anlegget.
- Online modeller kan også benyttes til å skaffe innsikt/målinger som ikke er tilgjengelig gjennom de målinger som finnes i anlegget basert på beregninger og tilgjengelige målinger ("virtuelle sensorer").
- Modellering av informasjon i semantiske modeller og bruk av informasjonsmodeller kan også gjøre sammenkobling og bruk av informasjon enklere og sikrere.

### 2.4 Muligheter ved bruk av modellkontrollerte operasjoner

I 2017 utførte IRIS (International Research Institute of Stavanger AS, nå NORCE) et oppdrag for Ptil for å sammenfatte og analysere kunnskap om positive og negative effekter av digitalisering for helse, miljø og sikkerhet i petroleumsnæringen [18]. Rapporten sammenfatter funn fra litteratursøk og intervju med næringsaktører, og et av fire digitaliseringsinitiativ innen petroleumsnæringen som trekkes fram er automatisering av boreoperasjoner. I intervjuene vektlegges det at en digital modell av brønnen vil åpne for nye muligheter knyttet til simulering av boreoperasjoner som kan gi nyttig informasjon om hvor robust en boreoperasjonsplan er, samt bedre muligheter for læring og erfaringsoverføring mellom team og prosjekter, for eksempel mellom borer offshore og ekspertes på land.

Et av hovedpunktene som ble trukket fram i intervjuene var muligheten modeller og digitalisering gir for å optimalisere og ha kontroll på boreprosessen. Ved hjelp av gode planleggingsverktøy og målinger i sanntid er det større mulighet for å optimalisere driftsparametere under selve boreoperasjonen, samt å gjøre nødvendige justeringer underveis. En ser også at en i sum har bedre kontroll på operasjonen fordi en tvinges til å bore innenfor gitte rammer. De siste årene har man sett en utvikling i retning økt automatisering av enkeltfunksjoner, som for eksempel rørhåndtering og borevæskesystem. En forventer imidlertid at mer integrerte system som automatiserer flere sammensatte funksjoner vil gi større bidrag til økt effektivisering og sikkerhet. Dette forutsetter brukervennlige løsninger hvor en ikke er avhengig av komplisert konfigurering eller eksperter for å kunne bruke dem. Et annet viktig punkt som ble nevnt var muligheten til å knytte ulike system sammen i et felles brukergrensesnitt (HMI), som vil gi en bedre totaloversikt. Dette forutsetter at brukergrensesnittene tilpasses spesifikt både til operasjon og bruker, slik at kun relevant informasjon er tilgjengelig til enhver tid.

Tradisjonelt er det mange manuelle prosesser knyttet til en boreoperasjon, både for direkte styring av utstyr nede i brønnen og innmating av verdier til systemet. I begge tilfeller er det også en fare for at en opererer ut fra feil grunnlagsdata, ved at man for eksempel ikke har fått siste versjon av datamaterialet. Ved å ta i bruk modeller som ikke krever manuell input, men hvor data input og versjonskontroll kan gjøres maskinelt, kan disse mulige feilkildene reduseres og i beste fall elimineres.

Med økt bruk av modeller og tilgang til flere og bedre sensorer er det gode muligheter for å utnytte redundans for å lage sikrere og bedre system. For eksempel kan man utnytte at modeller kan overvåke hverandre og gi alarm dersom en modell mottar ugyldig input fra en annen modell. På sensorsiden er det også mulig å benytte flere ulike sensorer til å gjøre samme måling eller målinger som henger sammen slik at man har redundans i målingen og kan oppdage feilmålinger. I tillegg gir modellene muligheter for å estimere verdier der det ikke er mulig eller hensiktsmessig å gjøre direkte målinger med sensorer, for eksempel i utsatte miljø. Det er likevel viktig å være klar over at flere datakilder kan være en utfordring, og mer om dette er diskutert i kapittel 3.1.



Med økt bruk av modeller og tilgang til flere og bedre sensorer er det gode muligheter for å utnytte redundans for å lage sikrere og bedre system.

## 2.5 Utfordringer ved bruk av modellkontrollerte operasjoner

En ser at mange av mulighetene og fordelene som trekkes fram med modellkontrollerte operasjoner også medfører noen utfordringer. For eksempel er den en fare for at brukere av modellbaserte og autonome systemer i begynnelsen følger med på og gjør erfaringsbaserte vurderinger knyttet til prosessen på samme måte som før, men at det vil være mer sårbart frem i tid når systemene er innarbeidet og man stoler på at systemet gjør det riktige. Dette kan være en fare fordi det over tid kan føre til at brukeren mister den mentale modellen av prosessen og dermed mister forståelsen for systemet og ikke vil være i stand til å gripe inn ved en uønsket hendelse. En annen fare kan være at man mister fokus fordi man er vant til at systemet håndterer situasjonen og dermed ikke vier prosessen den riktige oppmerksomheten. Det er neppe noen annen funksjon som har større påvirkning på sikkerhetsfunksjonene enn borer, og dette kan derfor være kritisk. En tredje utfordring kan være at man utnytter systemene på en måte som gjør at en fjerner tiltenkte barrierer. Et eksempel er bruk av såkalt "floor saver". Dette er et back-up system som normalt installeres for å hindre at utstyr skal treffe boredekk, men som i stedet ofte blir brukt i normal operasjon og dermed fjerner den menneskelige barrieren i systemet.

En annen utfordring er at de nye modellene og systemene kan være så komplekse at det blir vanskelig å holde oversikt over hva systemene gjør og hvordan de henger sammen. Dette gjelder både under utvikling og drift. I utviklingen kan det være vanskelig å se helheten fordi man ved å optimalisere funksjoner eller systemer på et sted utilsiktet kan påvirke andre deler av prosessene. I drift kan det i tillegg være vanskelig å se og forstå helheten dersom man får mange fragmenterte og komplekse modeller å forholde seg til. Selv om man har et helhetlig brukergrensesnitt, kan det være utfordrende å klare å sile ut kun den viktigste informasjonen.



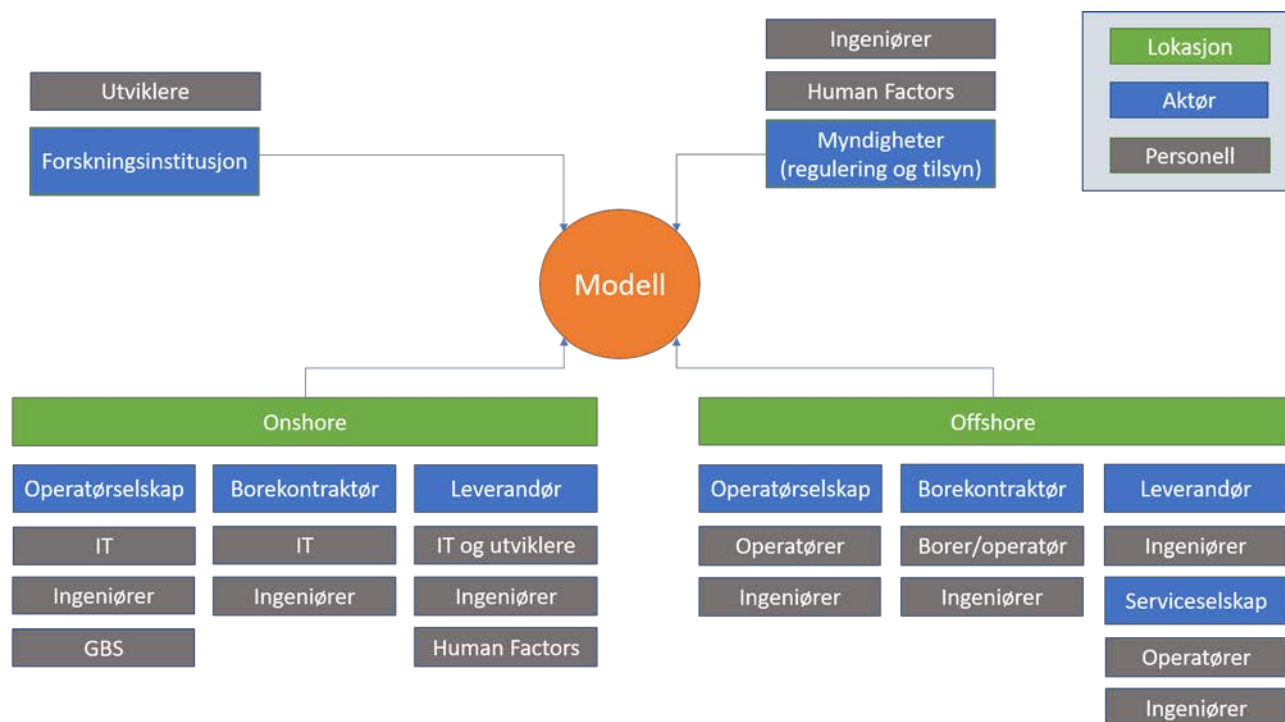
Ved innføring av mer komplekse systemer og modeller vil en fort møte på automatiseringens paradoks, nemlig at jo mer effektivt det automatiserte systemet er, desto mer avgjørende er menneskets bidrag [5]. For selv om mennesker er mindre involvert, blir deres involvering mer kritisk. Derfor ser man at ny teknologi krever ekspertkunnskap og at det vil kreve både en mer helhetlig tilnærming til MTO, kulturendringer, brukersentrert design, meningsfull menneskelig kontroll og grundige trenings- og opplæringsprogram. Se også [19] for mer detaljer.

Ved bruk av modeller er man avhengig av gode data og det er viktig å være klar over at modeller alltid har begrensninger og aldri vil gi et fullstendig bilde av virkeligheten. Selv for nøyaktige modeller med god parametertilpasning vil endringer i driftsbetingelser og forhold under selve boreprosessen føre til unøyaktigheter i modellen. Slike

tilpasninger blir ofte ikke godt nok ivaretatt når modellen brukes.

Figur 1 viser en ikke-uttømmende oversikt over aktører som er involvert i modellkontrollerte operasjoner, fra design og utvikling til testing og styring. Som figuren viser er det mange involverte parter og mange som skal snakke sammen for å sikre at operasjonen fungerer på en tilfredsstillende og sikker måte. I tillegg kan det være usikkerhet knyttet til kontraktsforhold og eierskap til modellen som påvirker hvorvidt et slikt prosjekt blir en suksess eller ikke, blant annet fordi det har implikasjoner i forhold til (manglende) deling av data. Dette er en viktig utfordring, ikke bare for modellkontrollerte operasjoner, men ved innføring av alle nye teknologier og arbeidsprosesser. Arbeidsprosessene knyttet til systemene vil være ansvaret til riggeier og operatør. I et utviklingsløp bør alle involverte aktører samles for å utveksle informasjon og tenke sammen. En utfordring som ble trukket frem i intervjuer er at leverandørene konkurrerer med hverandre og dette kan føre til liten interesse for å dele utfordringer med hverandre. Dette kan i verste fall lede til forsinket utbredelse av beste praksis og at evnen til å håndtere avvik blir dårligere. Det å jobbe med én ansvarlig leverandør kan også være en vesentlig forutsetning for å lykkes i prosjektarbeidet, se [19] for mer om dette temaet.

I sum er det tydelig at man ved å introdusere ny teknologi ofte også introduserer nye sårbarheter. Samtidig skal en være bevisst at boring med konvensjonelle løsninger, der systemene opereres opp mot toleransegrensen, ofte kan være farligere. Dette fordi den nye teknologien også tilfører nye, eller forbedrer eksisterende barrierer, og derfor kan bidra til økt sikkerhet.



**Figur 1** Mulige aktører involvert i modellkontrollerte operasjoner

### 3 Sikker bruk av data fra modellkontrollerte operasjoner

En viktig utfordring for digitalisering er datakvalitet. Data utgjør fundamentet i et digitalt samfunn, og må være korrekte og av høy kvalitet for å oppnå de ønskede effektene av digitale løsninger. Lav datakvalitet kan gi økte operasjonelle kostnader, lavere tillit og økt risiko for uønskede hendelser. Dette er svært aktuelt for modeller hvor en hovedregel er at dårlige data inn gir dårlige data ut. Selv om en kan tenke seg at det er mulig å utvikle modeller som til en viss grad er robuste i forhold til dårlige data, vil en kombinasjon av dårlige data og unøyaktige modeller i ytterste konsekvens kunne gi feilaktig informasjon og dertil dårlige eller fatale beslutninger.

Inntrykket fra intervjuene er at modeller kan være betydelig mer sårbare for feil i inputdata enn menneskelige operatører. På den ene siden tilfører modellene nøyaktighet og pålitelighet så lenge data og ytre omstendigheter er innenfor det området modellen er designet og testet for, men på annen side vil en operatør i mange tilfeller håndtere overraskelser mye bedre enn en modell. Det jobbes med å forbedre programvare i forhold til dette, blant annet ved introduksjon av læringsalgoritmer, men slike metoder ansees for å være i en tidlig fase for boring. Følgelig henger kvalitet på data fra modellkontrollerte operasjoner tett sammen med kvalitet på inputdata.

I intervjuene ble det lagt vekt på testing av modeller, til en viss grad kombinert med trening av brukere. Først offline mot et sett med test case, så i en realistisk simulator, videre i onshore testanlegg, og senere med en gradvis innfasing offshore ved at modellene i begynnelsen kjører parallelt med operasjonen uten at resultatene brukes aktivt.

I mange tilfeller er det overlapp i modeller fra ulike selskaper, og ulike modeller kan sammenlignes for å sjekke beregningene underveis.

Input til modeller og modellberegninger som gjøres under operasjonen, enten for å gi settpunkt til kontrollsystemer eller for å gi beslutningsstøtte til operatører, overvåkes dels ved algoritmer og dels ved at dedikerte operatører passer på at alt fungerer som tiltenkt, avhengig av hvor komplekse og sårbare beregninger det er snakk om. I flere intervjuer beskrives algoritmer som for eksempel kan:

- Fjerne datapunkt som opplagt er feil, for eksempel ved at verdien hopper utover det som er fysisk mulig uten noen operasjonell årsak.
- Korrigere for hopp ved en operasjonell årsak, for eksempel når bitdybde hopper fordi boreren korrigerer lengden på borestrengen, eller når aktivt volum hopper fordi en tank legges til eller tas ut av aktivt volum.
- Sjekke om beregnede verdier er innenfor et forhåndsdefinert gyldig område. I utgangspunktet fungerer denne metoden ikke på parametere som endres underveis, slik som for eksempel bunnhullstrykk som øker etter hvert som en borer dypere, eller overflatetrykk som er en funksjon av pumperate i trykkstyrt boring (MPD) og brønnkontrolloperasjoner. En kan tenke seg metoder som tar hensyn til slike effekter ved at en enkel og robust algoritme overvåker en mer avansert modell, men vi så ikke eksempler på dette i intervjuene.

Ellers bekreftes inntrykket av at operatører og/eller modellspesialister fremdeles har en sentral rolle i modellkontrollerte operasjoner ved at de overvåker at systemene fungerer godt og enten selv styrer operasjonen med input fra modellberegninger, eller griper inn og tar over hvis de automatiske systemer feiler.

### 3.1 Datakilder og kvalitetssjekk av data

I følge [18] er det per i dag utfordringer med manglende sensordata og utilstrekkelig datakvalitet for boreoperasjoner. Dette gjør at en bruker mye tid på å konfigurere, kontrollere og vedlikeholde informasjonen som automatiserte boresystemer trenger, og som en konsekvens trenges det flere personer heller enn færre. Mye data fra sensorer blir i dag sjelden brukt, og en har dermed ikke kontroll på om kvaliteten på denne er god nok.

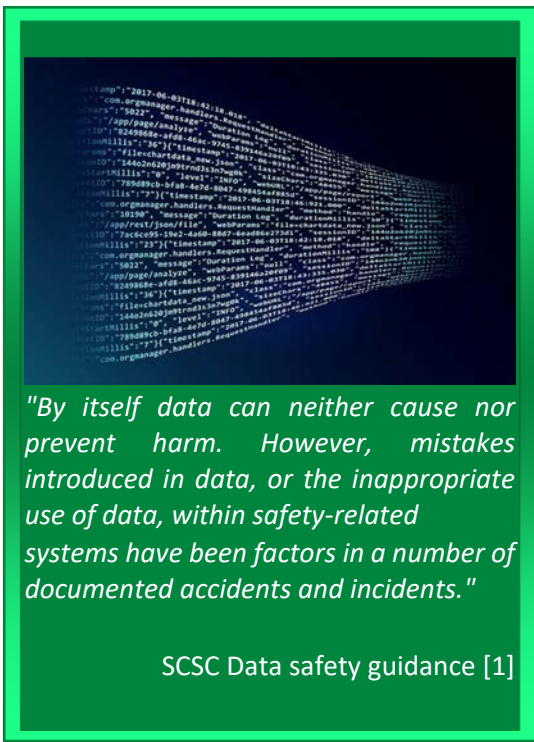
Dårlige data kan føre til at ulike problemer aldri blir oppdaget, og tegn på dårlig datakvalitet må derfor gis samme prioritet som tegn på boreproblemer. Noen ganger er det umulig å korrigere dårlige data. Derfor bør datasystemene utvikles slik at de gir umiddelbar tilbakemelding til bruker hvis dårlige data detekteres (det vil si system som overvåker datakvaliteten), spesielt hvis feilen kan påvirke beslutninger. Dessuten må brukere av sanntids boredata ha mulighet til å gi umiddelbar tilbakemelding på datakvalitet og dette er enklere hvis det er en klart definert relasjon mellom ulike interessegrupper.



Modellbaserte løsninger må forholde seg til flere ulike datakilder, ikke bare fordi det er så mange ulike systemer og datakilder på en innretning, men også fordi samme modell kan brukes av flere aktører. Det er derfor viktig at datakildene som skal brukes i modellen er klart definert og avgrenset, og hvis det gjøres endringer som påvirker disse kildene bør dette fortrinnsvis detekteres automatisk av modellen ved hjelp av alarmgrenser eller lignende eller meldes fra om til de aktuelle aktørene. Det kan imidlertid være utfordrende å ha oversikt hvilke konsekvenser ulike endringer vil ha. For eksempel ble det i intervjuene trukket fram at en så liten endring som oppløsning i et datapunkt kan få store uønskede konsekvenser i andre deler av datakjeden.

Det er derfor et poeng både å begrense mulige datakilder og inputverdier slik at det er større sannsynlighet for at endringer fanges opp. Samtidig gir redundans mellom sensorer (og modeller) en større mulighet for konsistenssjekk og deteksjon av sensorer som gir feil verdi. I så måte kan flere datakilder være en fordel, og dette er en nøye avveining som må gjøres i hvert enkelt tilfelle. Et annet viktig poeng er at man bør redusere omfang av dupliserte datainput til ulike modeller siden det kan bety at samme verdi må oppdateres på flere steder og dette er erfaringsmessig en kilde til feil [20]. I tilfeller hvor det er gitt feil inputdata til systemene har det ofte vært lett for å skyldre på menneskelig feil, mens nyere granskinger og rapporter ofte viser at bakenforliggende tekniske årsaker er viktigere, noe som kan peke mot at teknologien må støtte mennesket bedre [19].

Flere datakilder kan som beskrevet over være en utfordring hvis en ikke får samme resultat eller måling fra de forskjellige. Dessuten må en ha en løsning som virker også når noen av datakildene er utkoblet eller feiler. I teorien kan estimatorer skaffe oss bedre resultat, men for alle slike beregninger som bruker flere datakilder som basis, vil det være vanskelig å gjøre dem robuste nok ved feil og utkoblinger.



Datakvalitet i et sikkerhetsperspektiv er diskutert i mer detalj i [21]. Det er imidlertid viktig å påpeke at datakvalitet i seg selv ikke er nok for sikker bruk av data fra modeller. Det forutsetter også at det tilrettelegges for repeterbare sanntidsmålinger med liten tidsforsinkelse, riktig oppløsning og god nøyaktighet.

### 3.2 Adgangskontroll og pålitelig kommunikasjon

Som tidligere nevnt vil modeller ofte være komplekse, og endringer i både modell og datainput vil kreve grundig testing før de kan settes i drift. Selv små endringer gjort i inngangssignalene til modellen kan gi store utslag på utgangen, og det er derfor viktig å ha kontroll på hvem som har tilgang til å gjøre endringer, enten de er tilsiktede eller utilsiktede. I tillegg bør det logges hvilke endringer som er gjort, hvem som har gjort dem og når. Med en slik historikk vil det det være enklere å rette opp eventuelle feil eller uheldige endringer.

Et annet viktig moment som ble løftet fram i intervjuene var å sørge for pålitelig kommunikasjon, for eksempel det å vite at data kommer fram med riktig tidsstempel (se [21] for mer detaljer om dette temaet). Det ble dessuten diskutert mye rundt tilgjengelighet av data, hvor viktigheten av det å ha prioritet på kommunikasjonskanaler mot land ble nevnt. Hvis kommunikasjonskanalen overbelastes kan man risikere at data som er nødvendige for boreoperasjonen ikke kommer fram på riktig måte.

### 3.3 Utnyttelse og tilgjengelighet av data

Når det gjelder utnyttelse av data er dette i stor grad begrenset av tilgjengelig sensor-, kommunikasjon og dataprosesseringsteknologi. For eksempel er det fortsatt stort behov for pålitelig, høyfrekvent, billig og god kommunikasjon mellom nedre del av borestrengen og boredekk, samt bedre sensorer og prosesseringsløsninger. Dette vil bidra til bedre tilgjengelighet på nøyaktig og pålitelig informasjon som kan brukes direkte inn i modeller og beslutningsprosesser og igjen bidra til sikrere og mer effektive boreoperasjoner. Selv om det fins løsninger som gir høyere kommunikasjonsrate, er de ofte ikke tatt i bruk på grunn av manglende industristandard, stramme budsjett, manglende pålitelighet og/eller høye vedlikeholdskostnader.

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 følge [15] er et at de mest utfordrende aspektene med bruk av modeller og simulatorer for bruk i automatisert boring forsinkelser i tid og rom med verktøy i brønnen. Med for lav båndbredde er det vanskelig å bruke modellene i sanntid. En ser nå en utvikling mot at det introduseres og kommersialiseres "wired pipe" med innebygget kommunikasjon, og dette vil kunne løse noen av disse utfordringene knyttet til tidsforsinkelse og lav båndbredde

Som tidligere nevnt kan man også øke tilgjengeligheten av data ved å bruke redundante og fortrinnsvis uavhengige sensorer. Disse kan enten være av samme type eller bruke ulike måleprinsipp, men det viktigste er at man da har en kvalitetssjekk av data i form av at man kan sammenligne måleverdier samt at man kan sørge for at data er tilgjengelig selv når en av sensorene svikter. Man skal likevel være oppmerksom på hvordan man håndterer denne informasjonen slik at man i stedet for å få systemer som kvalitetssjekker hverandre eller sørger for back-up ved feil, får dobbelt så mange inputverdier hvor kanskje ingen av dem er riktige.

Under intervjuene ble det også løftet fram at modellene må være kompatible med kjente (og gjerne standardiserte) dataformat slik at data enkelt kan deles mellom applikasjoner

### 3.4 Deling av data og eierskap til data

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 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. Likevel ble det nevnt i flere av intervjuene at det kan være en utfordring med hemmelighold av data fordi selskapene mener dette kan gi dem konkurransefortrinn. Dette gjør det vanskelig for utviklere å få testet modellene grundig nok og med egnede datasett.

I intervjuene ble det viktigheten av eierskap til data belyst. Jevnt over opplyses det om at det er operatørene som har eierskap til data, men at det kan være en utfordring at det er så store mengder data fordelt på så mange ulike applikasjoner at det kan være vanskelig å ha full oversikt.

En bør en likevel ikke utsette nye måter å utnytte data og informasjon på til datakvaliteten og kommunikasjon er forbedret. Å implementere arbeidsprosedyrer og å ta i bruk data er den beste måten å teste at de lagres og overføres korrekt i komplekse organisasjoner og datasystem, samt at dårlige data detekteres. Slik får man fram svake punkter som må gjøres mer robuste mot dårlige data.

## 4 Sikker bruk av modeller for modellkontrollerte operasjoner

Som tidligere påpekt, er en utfordring med bruk av modeller at de er nettopp det, modeller. En modell vil aldri kunne gjenspeile virkeligheten fullstendig, og det er vanskelig å sikre at alle parametere er hensyntatt under utviklingen av modellen. Selv for nøyaktige og komplekse modeller med god parametertilpasning vil endringer i driftsbetingelser og forhold under selve boreprosessen føre til unøyaktigheter i modellen. Slike tilpasninger blir ofte ikke godt nok ivarettatt når modellen brukes. Det vil alltid også være en avveining mellom kompleksiteten til modellen på den ene siden og krav til ytelse og oppetid på den andre. Det er derfor viktig å involvere eksperter med detaljkunnskap om de prosessene som skal modelleres i hele utviklingsløpet og sørge for at modellene utsettes for systematisert testing før de tas i bruk. Leverandør og sluttbruker bør dessuten gjennomgå og bli enige om prosedyrer og standarder for utvikling og dokumentasjon av programvare og modeller. En utfordring kan være ansvarsfordeling ved at hvert selskap har sitt spesialområde slik at den eller de som tar et overordnet ansvar i stor grad må bygge på tillit til spesialister hos leverandører.

### 4.1 Utvikling av modeller

I intervjuene ble det etterspurt standarder, retningslinjer og spesifikke metodikker som er anvendt under utviklingen av systemene. Det henvises ikke til noen spesielle standarder eller retningslinjer, men i ett av intervjuene ble det nevnt bruk av TRL-nivå (Technology Readiness Level), hvor hvert enkelt trinn av TRL sier noe om hvilke krav en ny teknologi skal oppfylle. Dette tyder på at utviklingen i stor grad er teknologidrevet, mens utvikling og design med spesifikke hensyn til menneskelige faktorer har mindre fokus, se for øvrig rapport om "Automatisering og Autonome system, Menneskesentrert Design" [19] for mer detaljer rundt dette.

For å sikre god kvalitet under utvikling av modellene er det per nå ingen gode og dekkende standarder, imidlertid er det elementer i flere mulige metoder og retningslinjer som kan være nyttige. Eksempelvis vil krav i IEC 61508-3 [22] og ISO/IEC/IEEE 12207 [23] som definerer krav til utvikling av programvare være relevant. Det samme vil DNV GL sin beste praksis "Framework for assurance of data-driven algorithms and models" [24], men merk at denne ikke er utviklet med tanke på applikasjoner som skal brukes i kritiske prosesser (for eksempel stor sikkerhets-, miljø- eller økonomisk risiko).

På grunn av kompleksitet til moderne boresystem er det påkrevd at grundig designtesting og verifikasjon og validering (V&V) av modellene gjennomføres. Dette vil identifisere uønskede designfeil i modellen, som for eksempel heltallsoverløp, død logikk og feilaktige tabelloppslag. Designverifikasjon må komme i tillegg til utviklingsaktivitetene. Formelle verktøy og metoder for utvikling blir mer og mer viktig for nøyaktig og pålitelig verifisering. I intervjuene ble det vektlagt at en i de fleste tilfeller vil ta utgangspunkt i modeller som er testet og utviklet gjennom flere år, og dette harmonerer godt med anbefaling fra aktøren som operer med flest modeller av dem som ble intervjuet om å starte med et fundament som er grundig testet og kan utvikles videre. Men selv om man starter med et solid fundament blir modellene fort komplekse. Dette fører til at de krever stor prosesseringskapasitet som kan gå på bekostning av hastighet og sanntidsoppdatering. I tillegg vil kompleksiteten gjøre at det kreves ekspertkunnskap for å kunne sette opp og kalibere modellene. Det synes å være en utfordring å vurdere når en modell er "god nok" versus "for regnekrevende". Det kan derfor være et poeng å forenkle modellene så mye som mulig. Dessuten må viktige antagelser for modellen være synlige og tydelige. Dette kan man for eksempel oppnå med godt definerte modellbegrensninger, slik at hver modell bare løser ett enkelt problem heller enn et sett av utfordringer. På denne måten er det også enklere å sørge for transparente beregninger og teknologier. Imidlertid må man, som tidligere nevnt, være klar over usikkerheten både i modellen og parametere knyttet til modellen, samt å se helheten når modellene settes sammen.

Frem til nå har det vært mest vanlig å utvikle fysiske modeller basert på "first principles". Dette gjør det vanligvis lettere å lage en transparent modell hvor det er forholdsvis enkelt å forstå de underliggende prosessene. Modeller utviklet etter fysiske prinsipper blir ofte svært regnekrevende og det er fristende å gjøre tabelloppslag i stedet. Tabelloppslag når flere parametere varierer samtidig blir imidlertid fort krevende. Etter hvert som mer data blir tilgjengelig vil nok utvikling i større grad baseres på kurvetilpasning og maskinlæring, noe som kan utfordre den grunnleggende forståelsen for systemet.

Under utvikling er det også viktig å ha med seg at modellen skal bidra med den beste tekniske løsningen, og at det ikke er et mål i seg selv å innføre nye teknologier. En bør også helt fra begynnelsen vurdere hvilken type interaksjon som vil kreves mellom menneske og modell, og at dette grensesnittet skal bidra med noe positivt i forhold til den allerede eksisterende løsningen (der dette er aktuelt). I tillegg er det viktig å legge til rette for ustrakt bruk av hjelpefunksjoner og enkel innhenting av dokumentasjon.

I tillegg til at modellen skal bidra til den beste tekniske løsningen, er det viktig å påpeke at påliteligheten for modellen må være god. Hvis brukeren ikke kan stole på at systemene vil fungerer når de trengs vil det kunne skape både frustrasjon og i verste fall farlige situasjoner.



#### 4.1.1 Arbeidsmetoder ved utvikling av modeller

Det anbefales at involverte parter, inklusive modellutvikler, sluttbruker og involverte leverandører, diskuterer arbeidsmetoder for å sikre høy kvalitet på leveranser, oppgraderinger og feilrettinger. Dette er spesielt viktig når modeller er komplekse og utvikles av flere personer eller over lang tid.

Følgende diskusjon er ikke ment å gi en fullstendig oversikt over gode arbeidsmetoder, men å gi noen eksempler for å belyse viktige områder. Det anbefales at involverte parter enes om et dokument som beskriver konkrete prosedyrer og metoder som skal brukes i hvert prosjekt.

Først er *dokumentasjon* et sentralt og ofte delvis forsømt område. En begynner gjerne med en overordnet spesifisering av hvordan et system og involverte modeller forventes å fungere, inklusive en beskrivelse av hva som er input og output, hvilke effekter som skal være med i modellen og hvor nøyaktig resultater skal være. Spesifisering av nøyaktighet må tilpasses aktuelle behov. For eksempel er behovet ulikt når pålitelige målinger er tilgjengelige og kan brukes for kalibrering av en modell som skal tolke målingene eller predikere et lite stykke fremover i tid, og når modellen skal beregne et langt komplekst forløp uten å støtte seg til data.

Vi har god erfaring med å utvikle dokumentasjon ganske detaljert ned til de enkelte algoritmene som skal lages før selve kodingen begynner. Slik dokumentasjon skrives gjerne i egne dokumenter, men under kodeutviklingen er det en fordel å integrere dokumentasjonen med koden, enten i kommentarer eller ved å bruke egne verktøy for dette. Tilsvarende er det nyttig å innhente god dokumentasjon for programvarebiblioteker som skal benyttes.

En stor utfordring er å holde dokumentasjonen oppdatert når algoritmene endres underveis. Det anbefales å finne måter å følge opp dette på både fordi oppdatering av dokumentasjon høyner kvaliteten på arbeidet, og

fordi det gjør det mye enklere å ta opp igjen koden for videre oppgradering når det har gått en lengre tidsperiode, spesielt hvis det er nye ansatte som har tatt over.

Det anbefales videre å vurdere en eller annen form for *testdrevet utvikling*, gjerne fullt automatisert hvis det er praktisk for prosjektet. Dette fordrer ofte en viss modulisering av modellen der forventede grenser for responsen til hver modul kan beskrives. Om en for eksempel skal beskrive tettheten til en vannbasert borevæske kan en sjekke at tetthet, kompressibilitet og termisk ekspansjon har verdier som ligger innenfor det som er praktisk mulig. En test kan så integreres i kompilatoren slik at den gjennomføres automatisk hver gang det gjøres en endring i koden.

Det er blitt standard å bruke verktøy for *versjonskontroll* av kildekode med tilhørende dokumentasjon, og dette anbefales som et ufravikelig minimumskrav. I tillegg anbefales det å ha et bevisst forhold til hvordan et slikt verktøy skal brukes, spesielt hvordan en kombinerer utviklingsversjoner og versjoner som er inne i siste testfase før utsending. Flere detaljer er utenfor denne rapporten, og det vises til de mange bøkene og publikasjonene som er skrevet om temaet, se f.eks. [25].

Det kan være ulikt hvordan operatørene klarer å oppfylle sin påseplikt (Rammeforskriften §18 "Kvalifisering og oppfølging av andre deltakere" og §7 "Ansvar etter denne forskriften" [10]) og sørge for at alle i leverandørkjeden har oversikt over og følger opp HMS-konsekvensene både i designfasen og ved endringer.

Godt *samarbeid* under utviklingsarbeidet og under senere oppgraderinger og feilrettinger oppleves svært verdifullt. Her er såkalt smidige (engelsk: agile) arbeidsprosesser med brukerinvolvering mye brukt og anbefales vurdert. En slik metode er Scrum, der hele prosjektteamet kommuniserer daglig, der kursen kan justeres underveis ut fra erfaringer og ønsker fra sluttbruker, og der arbeidet deles inn i "sprinter" (tidsrom) på 2-4 uker hvor noe funksjonalitet ferdigstilles, demonstreres og vurderes ved slutten av hver "sprint" [26].



*Testing og validering* av programvare er sentralt, både underveis og ved overlevering av leveranser. Det anbefales at dette vektlegges med sterk involvering av sluttbruker i deler av testingen. Fra intervjuene opplevde vi også sluttbrukere la stor vekt på dette punktet og satte av ressurser til det, se også kapittel 4.2.

#### 4.1.2 Utvikling av modeller som er robuste i forhold til dårlige data

Som beskrevet tidligere må en fremdeles regne med at både målte verdier og tilhørende tidsstempel kan være unøyaktige eller feil selv om mye har vært gjort for å forbedre sensorteknologien. Dette er en utfordring som har fulgt utviklingen av sanntidsmodeller for beslutningsstøtte og automatisering over mange tiår, og det er brukt mye ressurser på å lage algoritmer som sjekker konsistens mellom ulike sensorer og mellom beregninger og sensorer. I mange tilfeller kan modellen korrigere eller overse feil data og dermed fortsette uten problemer av betydning, mens i andre og mer uklare tilfeller kan modellen gi en advarsel eller alarm, og så enten gå over i en forhåndsdefinert sikker modus eller be menneskelige operatører gripe inn, eller begge deler. Det vil imidlertid alltid være en risiko for uventede feil som modellen ikke oppdager. Dette kan håndteres ved gradvis

implementering med grundig og realistisk testing underveis inntil en kommer til et nivå der bruk av modeller i et helhetsperspektiv gir en større sikkerhetsgevinst enn risiko for og konsekvenser av feil som introduseres ved bruk av modell.

En mulig fallgrube er å la menneskelige operatører overvåke systemer som bruker modellberegninger. Etter hvert vil operatørene få så stor tillit til modellene at de i for stor grad kan rette fokuset mot andre utfordringer, og dermed for sent oppfatte problemer som skyldes at det har oppstått datafeil som en av modellene ikke håndterer. Derfor mener vi det er viktig at overvåking av modeller også automatiseres og testes grundig, gjerne støttet ved redundans og konsistenssjekk.

## 4.2 Testing av modeller



*"Den ansvarlige skal sikre at det utføres analyser som gir det nødvendige beslutningsgrunnlaget for å ivareta helse, miljø og sikkerhet. Ved utføring og oppdatering av analysene skal det brukes anerkjente og formålstjenlige modeller, metoder og data."*

Styringsforskriften §16 [4]

Ifølge Styringsforskriften §16 [4] heter det: "Den ansvarlige skal sikre at det utføres analyser som gir det nødvendige beslutningsgrunnlaget for å ivareta helse, miljø og sikkerhet. Ved utføring og oppdatering av analysene skal det brukes anerkjente og formålstjenlige modeller, metoder og data".

Men når er en modell god nok og når kan man stole på at den bidrar med det riktige beslutningsgrunnlaget, både i forhold til å ivareta helse, miljø og sikkerhet, samt optimalisering av en gitt prosess?

For å sikre at modellene fungerer som tiltenkt må de testes, verifiseres og valideres. Ifølge intervjuene gjøres dette ved hjelp av simulering med ekte prosessdata. På denne måten kan man få en god forståelse av hvordan modellen fungerer med virkelige data, samt hvordan den fungerer ved innmating av dårlige data eller ufullstendige datasett. I tillegg gjennomføres det factory acceptance test (FAT), site acceptance test (SAT) og mindre piloter før en fullstendig utrulling gjennomføres.

Det mest utfordrende med å teste modellene vil ofte være å forutse alle mulige scenarioer modellene kan utsettes for, spesielt ved bruk av dynamiske modeller. Ved å bruke ulike datasett kan man teste mange realistiske situasjoner, samt at man ved å manipulere datasettene kan få en god forståelse av hvor robust modellen vil være mot dårlige data. Imidlertid er det aldri mulig å teste for hendelser som enda ikke har skjedd, og det er ofte i slike tilfeller de farligste situasjonene vil oppstå, spesielt dersom modellene har vært i bruk lenge og man kanskje har begynt å stole blindt på at de fungerer til enhver tid. Da er det viktig at man har tenkt gjennom mulige back-up løsninger og at disse er lett tilgjengelige og velkjente for de involverte operatørene.

## 4.3 Kommunikasjon mellom modeller og med det operative systemet

I intervjuene fra [18] trekkes det fram at det ikke er en felles kommunikasjonsstandard for boreutstyr, og at det er så mange ukoordinerte initiativ rundt å etablere en standard at det fører til mer kompleksitet. Det at det mangler en standard gjør det også mer utfordrende å utvikle løsninger som skal kommunisere med eksisterende utstyr, som for eksempel ulike sensorer. Det samme kan være en utfordring der hvor mange ulike modeller utviklet av ulike aktører skal snakke sammen og utveksle data. I slike tilfeller bør de ulike aktørene bli enige om hvordan datautveksling skal foregå og hvilke formater som skal benyttes. Ved å bruke gode rammeverk og

protokoller som ivaretar denne utvekslingen vil man da unngå unødige feil knyttet til utveksling og deling av data. For eksempel trekkes OPC UA (Open Platform Communication Unified Architecture) fram i flere av intervjuene som et eksempel på rammeverk som etter hvert benyttes i større grad. OPC UA er en standard for industriell kommunikasjon og informasjonsmodellering som først ble publisert i 2008 [27] og som har blitt stadig mer tatt i bruk de siste årene. OPC UA er, som navnet tilsier, en åpen standard, og hensikten med standarden er å sørge for sikker og plattformuavhengig utveksling av data på feltutstyrsnivå og mellom OT og IT. Mer om OPC UA og datautveksling er beskrevet i rapporten "Datakvalitet ved digitalisering i petroleumssektoren" [21].

Noen aktører tilbyr etter hvert en felles basisplattform for automatisering bestående av modeller for styring, overvåkning, planlegging og optimalisering av boreoperasjoner. På toppen av dette er det mulig å lage egne applikasjoner tilpasset det enkelte selskaps eller den enkelte brukers behov ved hjelp av API (Application programming interface), gjerne basert på tilbyders eksempelkode og medfølgende dokumentasjon og teknisk informasjon. Dette gir gode muligheter for å skreddersy løsninger slik at de bare inneholder det som er relevant for hver enkelt bruker eller selskap, og vil derfor potensielt bidra både til kostnadsbesparelser og forbedret HMS, fordi en kan fjerne funksjonalitet som en ikke har bruk for og som gjør systemene mer komplekse enn nødvendig. Samtidig åpner det opp for at flere har tilgang til å koble seg til med ekstern programvare som følgelig også introduserer mulige sikkerhetsproblemer. Ikke bare gjør det det enklere å introdusere potensiell skadevare, det øker også faren for å innføre feil. Det er derfor viktig at tilbyder har god oversikt over hvilke muligheter APIene tilbyr, hvem som kobler seg til og hvilke rettigheter disse har, for eksempel i forhold til lesing og/eller skriving av data. I tillegg anbefales å bruke samme regime for utvikling, testing og validering av modeller som diskutert i kapittel 4.1 og 4.2, samt ha gode rutiner for endrings- og adgangskontroll som diskutert videre i kapittel 4.4.

#### 4.4 Endrings- og adgangskontroll

Etter hvert som modellene tas i bruk, vil det etter all sannsynlighet være behov for både små og store oppdateringer. Det kan for eksempel skyldes endringer i prosessen, andre ytre påvirkninger eller at man oppdager feil i modellen. Ved små endringer i for eksempel parametere kan det være nok at man sørger for at modellen fortsatt opererer innenfor gitte grenser. Disse grensene vil da typisk være satt allerede når modellen utvikles. Det som er viktig ved en slik oppdatering er at en sikrer at de som gjør endringene har forståelse for hvordan de vil påvirke både output fra modellen og resten av prosessen den opererer i. Typisk kan man gjøre dette ved å begrense hvem som har tilgang til å gjøre endringer og å sikre at disse kvalitetssikres før iverksetting. Det bør også være en begrensning på hvor store endringer som kan gjøres for å redusere de mulige konsekvensene av å gjøre feil. For eksempel kan det være fysisk mulig å gjøre store endringer i input til modellen, men der hvor det ikke er nødvendig bør det begrenses slik at mennesker og andre systemer lettere kan verifisere endringen og eventuelt gripe inn i tide dersom den viser seg å være uheldig.

I tillegg bør det logges hvilke endringer som er gjort på modellene, hvem som har gjort dem og når. Med en slik historikk vil det det være enklere å rette opp og identifisere både tilsiktede og ikke-tilsiktede feil.

Et annet poeng som trekkes fram, men som kanskje ikke regnes som en direkte endring, er at en må sørge for at modellene er kalibrert og oppdatert til enhver tid. For eksempel ble det nevnt i intervju med ett av selskapene at dersom man bruker en prosesssimulator for testing og utprøving, vil ikke endringer i den faktiske prosessen bli endelig godkjent og satt i drift før man også har oppdatert simulatoren. På denne måten sørger man for at simulatoren ikke utdateres.

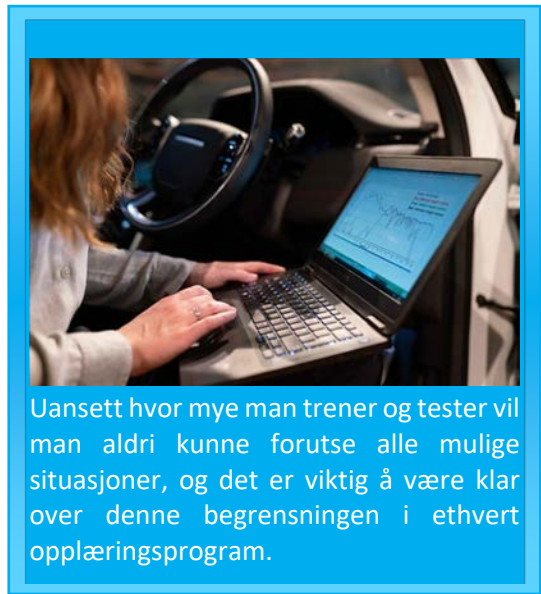
En utfordring ved bruk av modeller, som også er relevant både for parameterendringer og kalibrering, viser seg dersom man oppdager at modellen ikke fungerer optimalt for enkelte seksjoner av brønnen eller en type operasjon. Da vil det kunne føre til at operatørene må overstyre modellen, og dersom dette skjer gjentatte ganger kan det bli både irriterende og forstyrrende. Det er da viktig at det fins gode system for å fange opp

denne typen avvik slik at modellen kan tilpasses bedre. Det er flere måter å gjøre dette på, for eksempel ved manuelle oppdateringer av modellen, men det er også mulig å bruke online parameterestimering for automatisk kalibrering [17].

Ved større endringer, som for eksempel endring i funksjonalitet, kommer det fram i intervjuene at det vil være nødvendig med en kvalitetssikring gjennom management of change (MOC), verifisering og validering (V&V) og functional safety assessment (FSA) [28].

## 4.5 Opplæring og trening

Manglende opplæring og trening trekkes fram som en av de største utfordringene for å håndtere overgangen til nye systemer [29]. Dette ble også mye diskutert i intervjuene. Selv om selskapene mener de har gode opplæringsprogram er det vanskelig å trene brukere i alle mulige situasjoner. Ikke bare kan det være et problem at modellene og systemene er så komplekse at det er vanskelig å skjønne hvordan man skal opptre ved utfall eller dersom de gir ut feilaktige data, det kan også være en utfordring at man etter hvert stoler så mye på systemene at man ikke lenger besitter de nødvendige mentale modellene av hva som foregår nede i brønnen. Flere av intervjuobjektene trakk i den forbindelse fram viktigheten av å kjøre de nye systemene i parallell med det "gamle". På denne måten kan man både verifisere og øke forståelsen for det nye systemet uten at man tar bort den underliggende forståelsen. Dette vil også øke etterprøvbareheten for operatøren.



Uansett hvor mye man trener vil man aldri kunne forutse alle mulige situasjoner, og det er viktig å være klar over denne begrensningen i ethvert opplæringsprogram. For en borer, som er en viktig sikkerhetsbarriere på en installasjon, må man derfor sørge for at man lager systemer som gir støtte til borer heller enn å skape usikkerhet, frustrasjon og/eller en følelse av umyndiggjøring. På den måten kan boreren bruke enda mer tid på å spesialisere seg innenfor og fokusere på de delene av prosessen som gir økt sikkerhet og optimalisert boring, og dermed fortsatt være borer, ikke bare dataekspert.

## 5 IKT-sikkerhet ved bruk av modellkontrollerte operasjoner

Når sensorer, systemer og maskiner kobles sammen for å muliggjøre informasjonsflyt, kommunikasjon og fjernstyring på tvers av geografisk lokasjon åpner det også for at uvedkomne kan få tilgang til sensitiv informasjon eller ramme kritiske funksjoner fra hvor som helst i verden [18]. Stadig mer avanserte IKT-systemer setter også økte krav til relevant IKT-kompetanse både internt i næringen og hos tilsynsmyndigheter. Det blir dermed viktig at fagpersoner og ledere besitter slik kompetanse [18]. For å kunne oppdage unormale forhold i data fra boreoperasjoner må den riktige personen se riktige data på riktig tidspunkt og samtidig gjøre den korrekte fortolkningen av data. Dette innebærer dermed en balansegang mellom operasjonell sikkerhet og IKT-sikkerhet ettersom informasjonsflyten som sikre automatiserte og/eller fjernstyrte operasjoner støttet av modeller krever må balanseres mot økt sårbarhet og behov for konfidensialitet mellom ulike leverandører.

Den mest effektive strategien for økt IKT-sikkerhet for industrielle applikasjoner er å sørge for at utviklingen er en iterativ prosess, både fordi trusler er i stadig endring og fordi det tar tid å opparbeide seg den erfaringen som kreves for å håndtere IKT-sikkerhet på en god måte.



Ifølge DNV GLs rapport til Lysneutvalget fra 2015 var "topp ti" digitale sårbarheter i olje- og gassektoren [29]:

**Tabell 5.1** "Topp ti" digitale sårbarheter i petroleumsvirksomheten

Scenario nr.	Sårbarhet
1	Manglende oppmerksomhet og opplæring hos de ansatte
2	Fjernarbeid
3	Bruk av standardprodukter med kjente sårbarheter i produksjonsmiljø
4	Mangelfull sikkerhetskultur hos underleverandører
5	Mangel på separasjon av datanett
6	Mobile lagringsenheter (inklusive smarttelefoner)
7	Datanett mellom landinstallasjoner og oljefelt
8	Manglende fysisk sikring av datarom, koblingsskap, m.m.
9	Sårbar programvare
10	Utdaterte styresystemer på installasjoner

Av disse er de fleste relevante for boring, og noen diskuteres i mer detalj nedenfor.

## 5.1 Trening og opplæring (scenario 1 og 6)

Mennesket kan være både den største ressursen og trusselen for et selskap siden det er fort gjort å gjøre feil og ta ubetenksomme beslutninger, som for eksempel å bruke en usikret USB minnepinne. Mennesket er fellesnevneren for alle delene av sikkerhetskjeden, og det er viktig å trene ansatte innen alle områder, og i å håndtere alle tenkelige situasjoner.

I DNV GLs rapport om "Trening og øvelse" [30] er det definert flere tiltak rettet mot IKT-sikkerhetshendelser, for eksempel at krav til trening ikke bør ligge på systemnivå, men inngå i selskapets overordnede systemer. Et helhetlig system med oversikt over utført og planlagt trening og opplæring er ønskelig, og det bør etableres en plan for kompetanseutvikling på området IKT-sikkerhet. Det anbefales også å definere klare målsettinger for trening og øvelse, og å inkludere alle som kan bli involvert i en reell hendelse, se for øvrig [30] for mer detaljer.

Trening og opplæring kan være spesielt utfordrende for boreoperasjoner siden det, som nevnt i Kapittel 2.5, er mange aktører involvert i operasjonen. Da er det igjen essensielt å ha god oversikt over de involverte partene og fordeling av ansvarsområde.

## 5.2 Fjernstyring fra land (scenario 2 og 7)

Etter hvert som verden digitaliseres og gjøres "smartere", betyr det også at angrepsflaten blir større. Samtidig som dette bidrar til effektivisering av både operasjoner og IKT-infrastruktur, skaper det også større kompleksitet som åpner for nye IKT-sikkerhetsutfordringer. En ser også at trussellandskapet utvides på grunn av stadig flere aktører som blir mer sofistikerte i sine angrep.

Ved bruk av fjernstyring er det flere spørsmål man bør ha i bakhodet:

- Hvem har tilgang og hvorfor?

- Når har de tilgang?
- Hvor lenge har de tilgang?
- Til hvilke områder har de tilgang?

Brannmurer og kryptering kan bistå med å overvåke og begrense tilgang til informasjon og ulike deler av systemet. Ved hjelp av ulike integritetsmekanismer, som for eksempel digital signatur, kan man også detektere om data har blitt endret på eller tuklet med. Et system for å håndtere tilgang er nødvendig, og under intervjuene kom det fram at det i mange tilfeller ble brukt løsninger for sikker fjerntilkobling for å få tilgang til å styre operasjoner fra land. Når det først er gitt tilgang er det viktig at nettverkene er segmentert, slik at det kun gis tilgang til de nødvendige delene av systemet. Dette bidrar til å sikre både mot tilsiktede og utilsiktede feil og hendelser.

For boring er det foreløpig i liten grad mulig å gjøre endringer fra land inn mot modellene, og der det gjøres brukes løsninger for sikker fjerntilkobling som krever at autentisering godkjennes fra installasjonen før oppkobling. Dette vil imidlertid bli en stadig mer aktuell problemstilling, og da må systemene for å håndtere det være på plass.

For boreprosessen har det vært mer vanlig å sende konfigurasjonsfiler eller prosedyrer fra land som borer har ansvar for å iverksette. Disse filene har en rådgivende funksjon, og direkte styring fra land i sanntid har ikke vært nødvendig. Likevel er det en fare for at en slik tilnærming kan påføre skade i systemet, for eksempel ved at noen med overlegg har gjort endring i konfigurasjonsfilen før den sendes. Her vil borer være den barrieren som må kjenne systemene godt nok til å kunne identifisere feil, og i slike tilfeller er det derfor viktig at borer har de rette hjelpemidlene tilgjengelig. For eksempel kan gode brukergrensesnitt som gir komplette helhetsbilder samt sanntids sensordata være gode kilder til å identifisere feil, selv om det fortsatt kan være vanskelig å spore årsaken direkte til konfigurasjonsfilen. En annen mulighet ved bruk av modeller og simulatorer som er belyst i rapporten Fjernarbeid og HMS [31], er å bruke disse til å prøve å gjenskape eventuelle forstyrrelser eller hendelser. På denne måten kan simulatorer være et viktig tiltak i forhold til IKT-sikkerhet.



### 5.3 Logisk og fysisk inndeling av nettverk (scenario 5)

Flere aktører med tilgang til kritiske produksjonssystemer vil øke eksponeringen for inntrenging av skadelig programvare. Mangelfull sikkerhetskultur hos underleverandører i forbindelse med digitale sårbarheter er også en risiko DNV GL trakk frem i sin rapport om Digitale sårbarheter i olje og gass [29].



Direkte hacking via IT-domenet er en risiko som reduseres med soner og tunneller [2], men inntrykket er at dette er lite utbredt innen boring. For eksempel gir bruk av DMZ (demilitariserte soner) en segregering mellom IT og OT, og behovet og muligheten for kommunikasjon mellom disse er dessuten ofte begrenset både i mengde og tid slik at DMZ kan konfigureres til å kun tillate små dataoverføringer i avgrensede tidsrom dersom det er hensiktsmessig. Imidlertid kan slik segregering av nettverk være en utfordring for eldre installasjoner hvor industrielle IKT-systemer ble bygd uten tanke på utstrakt deling av data. Uansett er det flere veier å få skadevare inn i OT-systemene, for eksempel ved leveranse av system, gjennom vedlikehold og gjennom uautorisert tilkobling til OT-systemer (mobiltelefon, laptop etc.). Ofte er denne veien den vanskeligste å ha gode barrierer for, fordi den

er personavhengig [2].

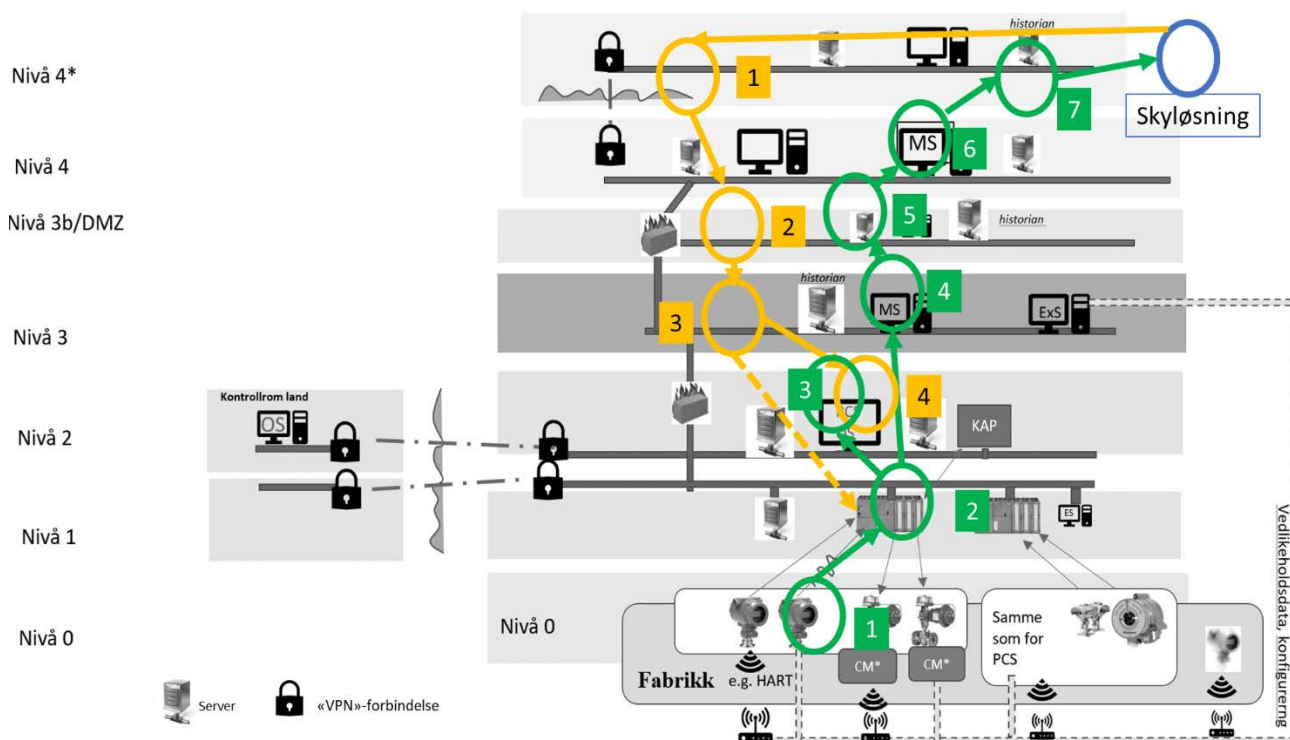
For å ha full oversikt over hvilke muligheter man har for både utilsiktede og målrettede angrep på en installasjon eller et datasenter er det viktig å identifisere alle mulig informasjons- og kommunikasjonskanaler mellom de ulike nivåene innen IT og OT. Så fort man har identifisert de mulige angrepsflatene vil det være enklere å segregere, overvåke og beskytte dem. Likevel kan dette også medføre sårbarheter fordi angrepsflatene blir bedre kjent og standardisert, noe som kan gjøre det enklere å organisere målrettede angrep. De typiske sårbarhetene som identifiseres er aksesspunkter til OT og IT og inkluderer både fysisk og fjernstyrt tilgang. Andre angrepsflater omfatter applikasjoner som deles mellom OT og IT, og internt på installasjonen. Selv om grensene mellom IT og OT utfordres er det viktig å få til et godt samarbeid mellom de to nivåene. For selv om OT-avdelingen har ansvaret for OT-siden kan man nyttiggjøre seg av kompetanse fra IT-siden for eksempel om drift og sikring av nettverk. En forutsetning er da at IT-siden også har den nødvendige kompetansen innenfor OT.

En modell kan implementeres på de fleste nivåer (se Figur 2), men det er ofte slik at jo mer komplisert og sammensatt den er jo lenger unna selve boreoperasjonen befinner den seg. Noen eksempler på modeller og hvor de er implementert kan være:

- Dynamisk floor saver som implementeres i styresystemet for heisespillet for å ta hensyn til masse og hastighet for å bremse opp så en ikke treffer boredekk.
- Matematiske modeller implementert i styresystemene til roboter som beskriver dynamikk og bevegelse for å hindre kollisjoner og styre samarbeidende roboter og maskiner.
- Dynamiske modeller implementert i en PC utenfor styresystemet for å beregne antatt framtidig oppførsel og basert på det gi settpunkt til reguleringssløyfer i styresystemet (MPC-Model Predictive Control).
- En digital tvilling med en eller flere innebyggede dynamisk modeller implementeres på en PC utenfor styresystemet for å simulere operasjonen i sanntid, og resultatene sammenlignes med målinger for å gi advarsler og beslutningsstøtte.
- I skyløsninger beregnes parametere og grenseverdier som overføres til borer som del av planen for å bore en spesifikk brønn.

Se også kapittel 2.3 for flere eksempler.

I figuren nedenfor har vi beskrevet hvordan informasjonen transporteres fra de tekniske systemene i forbindelse med boring (grønn #1 i figuren) og tilbake til borer (gul #4) eller ned i de tekniske systemene (grønn #2). For mere detaljert diskusjoner rundt denne figuren, se rapporten "Premisser for Digitalisering" [32].



**Figur 2** Mulig overføring av informasjon til skyen og tilbake

Ved å framstille dataflyten på denne måten ser en uten videre hvor viktig det er å sikre både den grønne overføringen til systemene i skyløsninger og den gule dataflyten tilbake til OT. Det er ikke bare veien tilbake som er viktig, feilaktige verdier opp til skyen kan føre til feilaktige beslutninger og feilaktig instruksjoner til borer og systemer.

Fra Figur 2 ser man også at de systemene man ønsker å beskytte bør ligge på et lavest mulig nivå i modellen fordi de da er bedre sikret gjennom brannmurer og DMZ, mens tilgang er enklere lenger opp, for eksempel til skyløsninger. Skyløsninger kan sammenfatte informasjon fra ulike systemer og også flere installasjoner og vil derfor også være mer utsatt for både utilsiktede og tilsiktede feil.

## 5.4 Fysisk aksess til installasjon og datasenter (scenario 8)

Fysisk aksess til både installasjon og datasenter er forholdsvis lett å vurdere og håndtere. Det fins flere muligheter på begge lokasjoner. For eksempel er videoovervåking, utstasjonering av vakter, ID-kort, nøkkelkort, tilgangskontroll og nøkler mulige måter å håndtere dette på. For offshore kommer i tillegg også de begrensede mulighetene for aksess til installasjonen, siden man vil være avhengig helikopter (eller eventuelt båt) for å reise til og fra. I tillegg er det vanlig at alle jobber som skal utføres administreres gjennom arbeidsordre, slik at det er enkelt å logge og gjennomgå hva som er gjort og av hvem dersom en hendelse skulle

oppstå. Sikring av miljøet forventes som regel på et datasenter, men ikke alltid på en installasjon. Det vil likevel kunne være relevant der hvor det er krav til at modeller skal styre hele eller deler av prosessen, siden slik sikring kan være essensiell for å sikre at modellene kan kjøre uavbrutt. For eksempel kan romtemperatur være en utfordring. Alarmer for åpne dører og strømavbrudd er andre eksempler, det samme er installasjon av sikre kabelgjennomføringer for å sikre mot vannlekkasje og brann. Sist, men ikke minst er back-up og gjenopprettingsplaner viktige elementer å ha på plass [33].

## 5.5 Modellutvikling og oppdatering i et IKT-sikkerhetsperspektiv (scenario 9 og 10)

I kapittel 4.1 ble det diskutert hvordan man kan utvikle robuste og gode modeller som ved riktig bruk og opplæring både kan optimalisere og forbedre boreprosessen. I dette delkapittelet er fokus på modellutvikling og oppdatering sett fra et IKT-sikkerhetsperspektiv. Å jobbe med IKT-sikkerhet krever en strukturert kartlegging av hele trusselbildet og identifisering og prioritering av tilhørende arbeidsmetoder. I så måte vil det være fordelaktig å basere seg på tilgjengelige rammeverk og metodikker, som for eksempel NIST Cybersecurity Framework ([34] og Figur 3), ISO/IEC 27001 [35] og IEC 62443 [36]. Se også rapportene "Regulering av IKT-sikkerhet i petroleumssektoren" [37] og "Grunnprinsipper for IKT-sikkerhet i IKT-industrien" [38].

Boreapplikasjoner og modeller har ofte proprietære filer som bare kan leses av de applikasjonene som laget dem eller er laget for å lese/aksessere dem. Det vil derfor kreves spesifikk programvare for at det skal gi mening å lese filene. Selv om dette i utgangspunktet kan fungere som et ekstra beskyttelseslag mot hacking, vil det føre til utfordringer når data skal deles mellom modeller og en bør heller legge opp til å bruke et felles utvekslingsformat som tilrettelegger for helhetlige løsninger. En bør derfor bestemme på forhånd hvilke type filer som skal overføres og hvordan de skal beskyttes.

I intervjuene ble det ikke nevnt noen spesifikke standarder som brukes under utvikling av modellene, men noen av selskapene hadde god kjennskap til NIST [34] og IEC 62443 [36]. Imidlertid oppleves standardene ofte både overveldende å lese og kompliserte å bruke, og det kunne derfor forenkle hverdagen til den enkelte aktør om det forelå en mer praktisk retningslinje for å gjøre IKT-sårbarhetsanalyser, hvor også modellbaserte løsninger var inkludert.



**Figur 3** NIST CyberSecurity Framework (fra [34])

Regelmessig patching for å oppdatere systemene modellene kjører på er viktig for IKT-sikkerhet [33]. Dette kan imidlertid være en utfordring spesielt hvis modellene ligger i OT-systemer både fordi det er krevende og setter krav til kompetanse, og fordi det ofte forutsetter at det settes av dedikert tid, for eksempel i en revisjonsstans. Mange vet heller ikke hvilke sårbarheter som finnes i deres system. Det fører ofte til at slik patching utsettes og verste fall ikke gjennomføres. Det er derfor ekstra viktig at alle modeller og systemer testes nøye før de settes i drift slik at man unngår at de må oppdateres oftere enn nødvendig.

## 6 Implikasjoner for produksjonsoptimalisering

Ved å kombinere bedre sensorer med modeller og simulatorer kan man gjøre det enklere for brukere å håndtere og forstå komplekse driftssituasjoner. Nye verktøy for produksjonsoptimalisering, som benytter datanalyse i sanntid, vil føre til bedre utnyttelse av data og utstyr for å øke produksjon, øke energieffektivitet, optimalisere vedlikehold og forbedre utvinning [3]. Ved å høste erfaring fra boring, hvor modeller og digitalisering etter hvert brukes i en rekke ulike anvendelser, slik som beskrevet i kapittel 2.2, kan man gjøre det enklere både å utvikle nye løsninger og å utnytte infrastruktur, data og teknologi som allerede fins tilgjengelig for å optimalisere produksjon. Økt instrumentering gir nye muligheter for å hente ut informasjon, men ofte er ikke de nødvendige systemene på plass for å utnytte disse dataene fullt ut. For eksempel er det stort potensiale for å kombinere domenekunnskap, sanntidsdata og fysikk-baserte modeller med maskinlæring for å gi beslutningsråd i daglig drift. Her er det imidlertid, på samme måte som for boring, viktig å ikke gjøre systemene for komplekse fordi det kan føre for at bruker mister den mentale modellen av prosessen og den overordnede forståelsen av systemet. Mulige applikasjonsområder for modeller og digitalisering er logistikk, vedlikeholdsplanlegging og miljøovervåking [3]. I likhet med for boring, kan mange små modeller og digitaliseringsinitiativ fort bli overlappende eller påvirke hverandre på en uheldig måte dersom man ikke tenker helhetlig ved innføring av nye løsninger.

For å kunne utnytte potensialet for digitale løsninger og bruk av modeller innen produksjonsoptimalisering er det blant annet viktig å tenke på følgende:

- Unngå å overkomplisere problemet.
- Utnytte allerede eksisterende infrastruktur og sensordata der det er mulig.
- Involvere sluttbruker så tidlig som mulig i utviklingsfasen.
- Sørg for at løsningene er enkle å vedlikeholde og skalere.
- Være bevisst på at ny teknologi introduserer sårbarheter.
- Jobbe iterativt med IKT-sikkerhet gjennom hele utviklingsløpet.
- Sørg for en helhetlig tankegang ved innføring av nye applikasjoner.

## 7 utfordringer og forslag til tiltak og forbedringer

I dette kapitlet oppsummeres SINTEFs forslag til tiltak for næringen og Petroleumstilsynet, samt behov for videre arbeid med kunnskapsinnhenting.

### 7.1 Næringen

Anbefalinger til tiltak for næringen er gitt i Tabell 7.1.

**Tabell 7.1** Oppsummering av anbefalinger til tiltak for næringen

Nr.	Utfordring	Anbefaling
1	Sikre god kvalitet på modellene.	Per nå er det ingen tilgjengelige prosedyrer eller standarder for utvikling av modeller som skal brukes i kritiske prosesser. Leverandør og sluttbruker bør likevel gjennomgå og bli enige om å bruke elementer fra relevante prosedyrer og standarder for utvikling og

Nr.	Utfordring	Anbefaling
		dokumentasjon av programvare (f.eks. IEC 61508-3 eller ISO/IEC 12207). Herunder gjensidig involvering gjennom arbeidet. Styringsforskriftens §16 om analyser er også relevant både for testing og i driftsøyemed.
2	Avgjøre når en modell er god nok til å settes i drift.	Modeller bør testes, verifiseres og valideres. Piloter anbefales før full utrulling.
3	Modeller er bare riktige innenfor det området de er tilpasset og der en har erfaring.	Viktige antagelser for modellen bør være synlige/tydelige. En bør fokusere på å teste så mange scenarioer som mulig, selv om det aldri vil være mulig å teste for alle uforutsette hendelser.
4	Manglende vedlikehold og oppdatering av modeller.	Det bør defineres tydelig eierskap til modell og data. Modellen bør testes tilstrekkelig før den settes i drift for å unngå unødig vedlikehold og oppdatering. Planlegge Oppdateringer bør planlegges i god tid før revisjonstans dersom det ikke er mulig å oppdatere modellen i drift.
5	Manglende forståelse for modell og system.	Det bør unngås å gjøre modellene for kompliserte, men de må likevel tydelig reflektere de viktigste variablene, målsettingene og begrensningene. En må også sørge for at løsningene er enkle å vedlikeholde og skalere.
6	Dårlig datakvalitet og ukurante dataformat.	En bør kvalitetssjekke data både inn og ut av modellene og sørge for compatible dataformat for enkel deling mellom applikasjoner, evt. ha egne utvekslingsformat som proprietære formater kan oversettes til.
7	Mange små modeller som løser enkeltproblemer og dertil manglende oversikt over applikasjoner og evt. overlappende applikasjoner.	En bør sørge for en helhetstankegang ved innføring av nye applikasjoner slik at man kan redusere antall (overlappende) applikasjoner og datakilder, for eksempel ved å sørge for at alle nye applikasjoner og digitaliseringsinitiativ vurderes og diskuteres av et tverrfaglig ekspertteam.
8	Segregering mellom IT og OT og manglende forståelse for utfordringer i de to ulike "leirene".	Utnytte kompetanse fra IT inn i OT og motsatt bør utnyttes for å oppnå en god forståelse av muligheter og begrensninger i begge lag, og samtidig sørge for at grensen mellom de to er tydelig definert.
9	Manglende systemforståelse og på sikt manglende forståelse for den underliggende boreprosessen.	Grundig opplæring bør gis og en bør sørge for at bruker har forståelse både for modellene og underliggende prosess. Unngå å stole blindt på modellene og sikre at operatørene vet hvilke tiltak som kreves når modellene ikke fungerer som tiltenkt.
10	Manglende IKT-kompetanse for innføring av modeller.	Grundig trening og utdanning bør gis og det er viktig at både fagpersoner og ledere besitter IKT-kompetanse. En bør også sørge for at dette ikke er engangsopplæring, men legge til rette for at kontinuerlig kompetanseheving i tråd med utviklingen innen digitalisering
11	Statisk håndtering av IKT-sikkerhet.	IKT-sikkerhet for et industrielt kontrollsystem bør være en iterativ prosess, både fordi trusler er i stadig endring, og fordi nye løsninger og fjernstyring via sky kan introdusere nye trusler, og fordi det tar tid å opparbeide seg den erfaringen som kreves for å håndtere IKT- sikkerhet på en god måte. IKT-sårbarhetsvurderinger bør utføres etter gjeldende standarder.

Nr.	Utfordring	Anbefaling
12	Manglende segregering og uavhengighet mellom systemer som brukes under boring.	Sørge for å følge kravene i regelverket (Innretningsforskriften §32-34 [39]). For maskiner på faste installasjoner der sikkerhetsfunksjoner beskytter mennesker mot bevegelige deler er det ikke krav om uavhengige systemer (Maskinforskriften). For de andre delene gjelder kravene om uavhengighet.
13	Ny teknologi introduserer nye sårbarheter.	Være bevisst på å utnytte teknologi og modeller til å øke sikkerhet i tillegg til å optimalisere boreprosessen.

Opplæring og trening synes også være en utfordring, og selv om mange av selskapene har gode opplæringsprogram er det vanskelig å trene brukere i alle mulige situasjoner. Dette fordi modellene og systemene er komplekse og det derfor kan være vanskelig å vite hvordan man skal håndtere eller oppdage utfall eller feil, og fordi det kan være en utfordring at man etter hvert stoler så mye på systemene at man ikke lenger besitter de nødvendige mentale modellene av hva som foregår nede i brønnen. Viktigheten av å involvere brukere tidlig i utviklingsfasen kommer også tydelig fram i flere av intervjuene. Det vil i de fleste tilfeller gi et bedre og sikrere sluttresultat og øke sannsynligheten for at det adapteres inn i organisasjonen. Denne rapporten bør derfor sees i sammenheng med [19], hvor fokus er på menneskesentrert design for automatiserte og autonome system.

## 7.2 Ptil

Anbefalinger til tiltak for næringen er gitt i Tabell 7.3.

**Tabell 7.2** Oppsummering av SINTEFs anbefalinger av tiltak for Ptil

Nr.	Utfordring	Anbefaling
1	Ingen felles kommunikasjonsstandard for boreutstyr og mange ukoordinerte initiativ bidrar til mer kompleksitet.	Støtte næringen i å få på plass en felles kommunikasjonsstandard for boreutstyr.
2	Manglende standarder og metodikk for utvikling av modeller og applikasjoner som skal brukes i kritiske prosesser.	Være pådrivere for å utvikle en mer tilpasset standard/metodikk for modellutvikling for applikasjoner som skal brukes i kritiske prosesser.
3	Manglende bruk av elementer fra eksisterende, relevante standarder og metodikk for utvikling av programvare for å sikre god kvalitet på modeller, eksempelvis krav i 61508-3 [22] eller ISO/IEC 12207 [23].	Ptil anbefales å påse at selskapene benytter elementer fra relevante standarder og metoder under utvikling. Styringsforskriftens §16 om analyser er relevant både for testing og i driftsøyemed.
4	Manglende IKT-kompetanse for innføring av modeller.	Følge opp og definere tydelige krav til selskapene om IKT-kompetanse, både for fagpersoner og ledere. Vurdere å utvikle en mer praktisk retningslinje for å gjøre IKT-sårbarhetsanalyser.
5	Manglende segregering og uavhengighet mellom systemer som brukes under boring, til tross for krav i regelverket (Innretningsforskriften §32-34 [39]).	Ptil anbefales å tydeliggjøre hvordan Innretningsforskriften §32-34 [39] skal forstås.
6	Manglende deling av erfaring med bruk av modeller.	Aktivt dele læring fra både vellykkede og mindre vellykkede prosjekter innen boring og andre relevante næringer.



Innspill fra næringen til Ptil er gitt i Tabell 7.4.

**Tabell 7.3** Innspill fra næringen til Ptil

Nr.	Tema	Innspill
1	Liten åpenhet om utvikling av modeller og deling av data som bidrar til dårligere kvalitet og sikkerhet på løsninger.	Deler av næringen ønsker at Ptil er pådrivere for åpenhet og deling av data. Flere initiativer er tatt for deling av undergrunnsdata, men en eventuell ny forpliktelse til å dele resultater åpent kan føre til at operatørene velger å vente på "gratis" resultater fra nabokonsesjoner, noe som kan bremse og suboptimalisere aktiviteten på norsk sokkel [40].
2	Oppfølging av Ptil.	Det ble sagt i flere av intervjuene at selskapene ønsket tett oppfølging av Ptil og at samarbeidet med dem har fungert godt i flere av prosjektene hvor modeller har vært brukt.

Det ble også nevnt under intervjuene at Ptil bør unngå bruk av "bør", men heller sette minstekrav og dermed tilrettelegge for enklere utvikling av ny funksjonalitet. På den andre siden var det selskap som hadde problemer med å få gjennomslag i egen organisasjon for prosjekter som gikk utover minstekrav. Ettersom Ptils strategi har vært å ikke sette detaljkrav med den intensjon at selskapene selv skal gjøre en vurdering av hva som er forsvarlige tiltak og det ikke synes å være bred enighet i den ene eller andre retningen, har vi ikke tatt med noen anbefalinger rundt dette.

### 7.3 Behov for kunnskapsinnhenting

Formålet med denne rapporten har vært å gi næringen økt forståelse av utfordringer og muligheter ved bruk av modellkontrollerte operasjoner, spesielt knyttet til hvordan modellene og data fra modellene kan brukes på en sikker måte og hvordan IKT-sikkerhet kan ivaretas. Hovedfokus har vært på boreoperasjoner.

Både eksperter på datadrevne metoder og domeneeksperter anser at maskinlæring har et stort potensiale også innenfor boring, ved at de i mange tilfeller kan utfylle fysikk-baserte beregninger og utnytte økt kvalitet på målinger fra et økende antall sensorer bedre enn eksisterende metoder. Det er imidlertid så store variasjoner i tilstanden i undergrunnen under boreprosesser og fremdeles så få sensorer at det er vesentlig at også domenekunnskap og fysikk-baserte modeller utnyttes i kombinasjon med maskinlæring. Her er det et stort behov for bedre forståelse av muligheter og begrensninger i ulike typer maskinlæring, og hvordan maskinlæring best kan kombinere ulike typer informasjon inklusive fysikk-baserte beregninger og målinger for å oppnå økt sikkerhet og reduserte kostnader [41].

Vi ser også et behov for å utvikle fysikk-baserte modeller som er enda bedre tilpasset reelle operasjonelle behov, og å gjøre dette så enkelt og robust som mulig både i forhold til konkrete problemstillinger (inklusive optimal styring av delprosesser) og i forhold til helheten. Dette kan dels skje ved å forbedre eksisterende modeller og integrasjon av ulike modeller, og dels ved å reimplementere vesentlige elementer fra eksisterende modeller på en bedre måte. For å lykkes trenger en involvering av både domeneeksperter, modelleksperter, IT-eksperter og sluttbrukere.

Det kan også være en utfordring at modeller som brukes for boring blir så komplekse at det er vanskelig for bruker å ha full oversikt over og kontroll på alle underliggende beregninger og prosesser. Ofte gir det heller ingen merverdi for brukeren å ha denne oversikten, spesielt når modeller i større grad baseres på empiri og

bruk av kunstig intelligens fremfor fysiske modeller (black boxing). Likevel er det viktig at brukene ikke mister den mentale modellen av prosessen og den overordnede forståelsen for systemet som vil gjøre dem i stand til å gripe inn ved en uønsket hendelse. Det er behov for å hente inn mer erfaring og kunnskap om hvordan man kan muliggjøre slik meningsfull menneskelig kontroll i de tilfellene hvor man ikke nødvendigvis forstår de underliggende modellene.

I intervjuene fikk vi et inntrykk av at det ikke ble fulgt spesifikke standarder, beste praksis eller rammeverk for å sikre god kvalitet under utviklingen. Det kan være nyttig å innhente mer informasjon om dette og komme med konkrete anbefalinger til rammeverk som kan brukes. Et godt utgangspunkt vil være DNV GL sin beste praksis "Framework for assurance of data driven algorithms and models" [24], men med større fokus på applikasjoner som innebærer stor risiko.

Det er også et behov for mer kunnskap knyttet til håndtering av IKT-hendelser i forbindelse med bruk av modellkontrollerte operasjoner, og det vil være et behov for økt kompetanse hos fagpersonell og ledelse, samt å hente inn mer kunnskap om hvordan man kan øve og forberede de ansatte og organisasjonen på slike hendelser.

Til slutt ser vi et behov for økt kunnskap innenfor samspill mellom menneske-organisasjon-teknologi (MTO), spesielt i forbindelse med implementering av ny teknologi som påvirker roller og arbeidsprosesser, noe som dekkes av den parallelle rapporten "Automatisering og autonome systemer: Menneskesentrert design" [19].

## Referanser

- [1] DSIWG, *Data safety guidance, Version 3.2- The data safety initiative working group*. 2020.
- [2] DNV-GL, *IKT-sikkerhet - Robusthet i petroleumssektoren: Resiliens mot cyberhendelser og kan blokkjede bidra?* . 2020.
- [3] NTNU, *NTNU Strategy for Oil and Gas*, in *BRU21 Better Resource Utilization in the 21st century*. 2016, NTNU.
- [4] Petroleumstilsynet. *Veiledning til Styringsforskriften (18. desember 2019)*. [cited 2020 31.10]; Available from: [https://www.ptil.no/contentassets/332166193108427e978accb21449436c/styringsforskriften20\\_veiledning\\_n.pdf](https://www.ptil.no/contentassets/332166193108427e978accb21449436c/styringsforskriften20_veiledning_n.pdf)
- [5] Bainbridge, L., *Ironies of automation*. Automatica, 1983. **19**(6): p. 775-779.
- [6] Godhavn, J.-M., et al., *Drilling seeking automatic control solutions*. IFAC Proceedings Volumes, 2011. **44**(1): p. 10842-10850.
- [7] Petroleumstilsynet, *IKT-sikkerhet – robusthet i petroleumssektoren*. 2020.
- [8] Petroleumstilsynet, *Fagstoff, Ord og uttrykk*. Available from: <https://www.ptil.no/fagstoff/ord-og-uttrykk/>.
- [9] SINTEF, *SINTEF 2018:00572, Kunnskapsprosjekt IKT-sikkerhet; Industrielle kontroll- og sikkerhetssystemer i petroleumsvirksomheten*. 2018.
- [10] Petroleumstilsynet, *Veiledning til Rammeforskriften*. 2019.
- [11] Standard Norge, *NS 5814:2008. Krav til risikovurderinger*. 2008.
- [12] Standard Norge, *NS 5832:2014. Samfunnssikkerhet - Beskyttelse mot tilsiktede uønskede handlinger - Krav til sikringsrisikoanalyse*. 2014.
- [13] NOU 2015:13, *Digital sårbarhet – sikkert samfunn. Departementenes sikkerhets- og serviceorganisasjon*. 2015.
- [14] *Society for Risk Analysis Glossary*. 2018 31.10.2020]; Available from: <https://www.sra.org/wp-content/uploads/2020/04/SRA-Glossary-FINAL.pdf>.
- [15] Sugiura, J., et al., *Drilling Modeling and Simulation: Current State and Future Goals*, in *SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition*. 2015, Society of Petroleum Engineers: London, England, UK. p. 27.
- [16] Deloitte. *Industry 4.0 and the digital twin*. 2017; Available from: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cn/Documents/cip/deloitte-cn-cip-industry-4-0-digital-twin-technology-en-171215.pdf>.
- [17] Kaasa, G.-O., et al., *Simplified Hydraulics Model Used for Intelligent Estimation of Downhole Pressure for a Managed-Pressure-Drilling Control System*. SPE Drilling & Completion, 2012. **27**(01): p. 127-138.
- [18] IRIS, *Digitalisering i petroleumsnæringen*. 2017, International Institute of Stavanger.
- [19] SINTEF, *Automatisering og autonome systemer: Menneskesentrert design*, Petroleumstilsynet, Editor. 2020.
- [20] Bjørkevold, K.S., B. Daireaux, and P.C. Berg, *Possibilities, Limitations and Pitfalls in Using Real-Time Well Flow Models During Drilling Operations*, in *SPE Bergen One Day Seminar*. 2015, Society of Petroleum Engineers: Bergen, Norway. p. 14.
- [21] SINTEF, *IKT-sikkerhet - Robusthet i petroleumindustrien: Datakvalitet ved digitalisering i petroleumssektoren*, Petroleumstilsynet, Editor. 2021.
- [22] IEC, *IEC 61508: Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*. 2010.
- [23] ISO/IEC/IEEE, *ISO/IEC/IEEE 12207 Systems and software engineering – Software life cycle processes*.

- [24] DNV-GL, *Recommended Practice: Framework for assurance of data-driven algorithms and models*. 2020.
- [25] Loeliger, J., *Version Control with Git: Powerful tools and techniques for collaborative software development* 2012.
- [26] Schwaber, K., Sutherland, J., *Scrumguiden - Den definitive guiden til Scrum: Spillereglene*. 2017.
- [27] OPC-UA, *OPC 10000, OPC UA Online Reference, Online versions of OPC UA specifications and information models*. 2020.
- [28] IEC61511, *IEC 61511 Functional safety - Safety instrumented systems for the process industry sector*. 2016.
- [29] DNV-GL, *Digitale sårbarheter olje og gass - Rapport til Lysneutvalget*, Lysneutvalget, Editor. 2015.
- [30] DNV-GL, *IKT-sikkerhet - Robusthet i petroleumssektoren, Trening og øvelse*. 2020.
- [31] SINTEF, *Ptil IKT sikkerhet: Fjernarbeid og HMS*. 2019.
- [32] SINTEF, *IKT-sikkerhet - Robusthet i Petroleumssektoren: Premisser for digitalisering og integrasjon IT-OT*, Petroleumstilsynet, Editor. 2021.
- [33] Cavazos, C.J., *Ensuring Data Security for Drilling Automation and Remote Drilling Operations*, in *SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition*. 2013, Society of Petroleum Engineers: Jakarta, Indonesia. p. 6.
- [34] NIST, *NIST: Framework for Improving Critical Infrastructure Cybersecurity*. 2018.
- [35] ISO/IEC, *ISO/IEC 27001 Ledelsessystemer for informasjonssikkerhet*. 2017.
- [36] NEK/IEC, *NEK IEC 62443: Industrial communication networks - Network and system security - Part 2-1: Establishing an industrial automation and control system security program*. 2010.
- [37] SINTEF, *IKT-sikkerhet - Robusthet i petroleumssektoren: Regulering av IKT-sikkerhet i petroleumssektoren*. 2021.
- [38] SINTEF, *IKT-sikkerhet - Robusthet i petroleumssektoren: Grunnprinsipper for IKT-sikkerhet i industrielle IKT-systemer*, Petroleumstilsynet, Editor. 2021.
- [39] Petroleumstilsynet, *Veiledning til Innretningsforskriften*. 2019.
- [40] *Rapport for ekspertgruppen for datadeling i næringslivet*. 2020.
- [41] DNV-GL, *OG21-study on Machine Learning in the Norwegian petroleum industry*. 2020.

## Vedlegg A: Litteratursøk

Det er skrevet mye om temaet, og et søk på <https://www.onepetro.org/> med emneord "model AND controlled AND drilling AND operation" gir 15988 treff (22. mai 2020). Om en begrenser til nyere artikler, fra og med 2019, reduseres antall treff til 897. Disse dekker hele verden, og inntrykket er at mange er svært spesifikke, og de fleste er trolig mer opptatt av å presentere og rettferdiggjøre en gitt løsning enn å belyse utfordringer kritisk. En innsnevring til "model AND controlled AND drilling AND operation AND quality AND norway" gir 1097 treff, derav 699 fra og med 2005. Med en slik begrensning kommer det mange kjente navn blant forfatterne. "model AND controlled AND drilling AND operation AND (quality OR safety OR security) AND norway" gir 986 treff i samme periode.



Teknologi for et bedre samfunn

[www.sintef.no](http://www.sintef.no)