

Asbjørn Lein Aalberg  
Siri Mariane Holen  
Ranveig Kviseth Tinmannsvik  
Eirik Albrechtsen

# Robotisering og autonom teknologi i bygg- og anleggsnæringen – økt sikkerhet og redusert belastning?

Mars 2021





# Notat

## **Forstudie: Robotisering og autonom teknologi i bygg- og anleggsnæringen – økt sikkerhet og redusert belastning**

**VERSJON**

Versjon 2

**DATO**

04.03.2021

**FORFATTERE**

Asbjørn Lein Aalberg, Siri Mariane Holen, Ranveig Kviseth Tinmannsvik, Eirik Albrechtsen

**OPPDRAUGSGIVER**

SIBA-forum

**PROSJEKTNR**

102017127

**ANTALL SIDER OG VEDLEGG:**

45 sider

### *Sammendrag*

Dette notatet oppsummerer en forstudie om robotisering og automatisering for økt sikkerhet og redusert belastning i regi av SIBA-forum. Formålet er økt kunnskap om muligheter og utfordringer med robotisering og automatisert teknologi i bygg- og anleggsnæringen, som grunnlag for søknader om ekstern finansiering av FoU innenfor temaet.

**KVALITETSSIKRET AV**

Ranveig Kviseth Tinmannsvik

**PROSJEKTNOTAT NR**

SIBA-2021-01

**GRADERING**

Prosjektintern

## Innhold

|                                                                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Innhold.....</b>                                                                                                | <b>4</b>  |
| <b>1 Innledning.....</b>                                                                                           | <b>5</b>  |
| 1.1 Om notatet .....                                                                                               | 5         |
| 1.2 Introduksjon til robotisering og automatisering .....                                                          | 6         |
| 1.3 Metode .....                                                                                                   | 9         |
| <b>2 Gjennomgang av lærdommer fra robotisering og ny teknologi i andre bransjer.....</b>                           | <b>10</b> |
| 2.1 Lærdommer fra transportnæringen.....                                                                           | 10        |
| 2.2 Lærdommer fra petroleum .....                                                                                  | 14        |
| 2.3 Sammenligning mellom bransjene .....                                                                           | 15        |
| <b>3 Kartlegging av prosjekter og initiativ i bygg- og anleggsnæringen.....</b>                                    | <b>19</b> |
| 3.1 Forskning og funn knyttet til trender med automatisering i BA .....                                            | 19        |
| 3.2 Relevante prosjekter, nettverk og forum.....                                                                   | 21        |
| <b>4 Utvalgte Case: Robotisering og autonom teknologi i BA.....</b>                                                | <b>23</b> |
| 4.1 Case 1: Autonom kompakteringsvals .....                                                                        | 23        |
| 4.2 Case 2: Robotmaler og robotborer.....                                                                          | 26        |
| 4.3 Oppsummering .....                                                                                             | 30        |
| <b>5 Funn fra SIBA-seminar robotisert og automatisert teknologi for økt sikkerhet og redusert belastning .....</b> | <b>32</b> |
| <b>6 Konklusjon og utvalgte områder for videre arbeid.....</b>                                                     | <b>35</b> |
| 6.1 Områder for videre undersøkelser .....                                                                         | 36        |
| <b>7 Referanser .....</b>                                                                                          | <b>37</b> |
| <b>Vedlegg A .....</b>                                                                                             | <b>40</b> |

# 1 Innledning

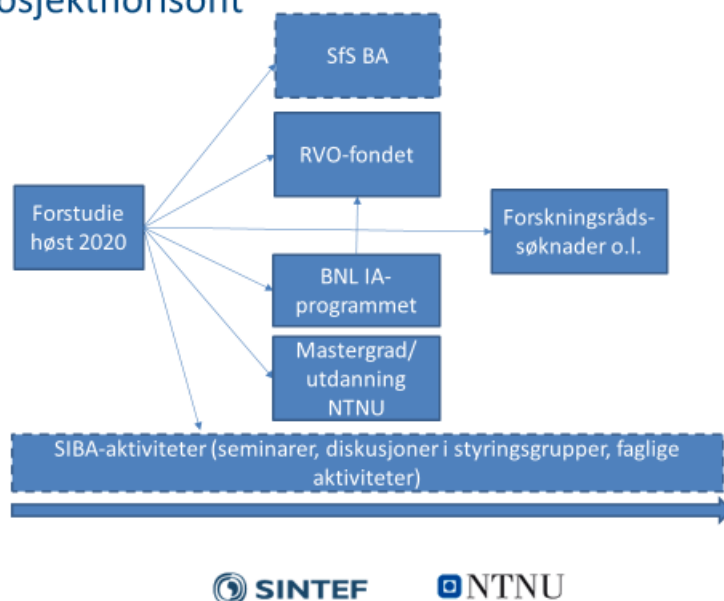
## 1.1 Om notatet

Dette notatets primære formål er å dokumentere ulike aktiviteter i en forstudie av robotisering og automatisering i bygg og anleggsnæringen (BA) i Norge. Kartleggingen i forstudien tar for seg dagens bruk av teknologien med utgangspunkt i noen casestudier, og beskriver muligheter og utfordringer som disse gir med hensyn på belastning og sikkerhet. Notatet beskriver også relevante læringspunkter fra andre bransjer. Hensikten med notatet er å beskrive viktige områder for videre forskning når det gjelder utvikling og utprøving av robotisering og ny automatisert teknologi for å økt sikkerhet og redusert belastning i BA-næringen.

Denne rapporten består av en introduksjon og et metodekapittel før det er tre hovedkapitler med funn fra studien; *lærdommer fra andre bransjer*, *kartlegging av prosjekter i BA*, *utvalgte læringspunkter fra caseprosjekter*. Avslutningsvis oppsummeres resultatene og peker på veien videre fra forstudien.

Forstudiens formål er økt kunnskap om muligheter og utfordringer med robotisering og automatisert teknologi i bygg- og anleggsnæringen, som grunnlag for søknader om ekstern finansiering av FoU innen temaet. Mulige kanaler for eksternfinansiering av prosjekter er gjennom Fondet for regionale verneombud (RVO-fondet), Byggenæringens Landsforening/-bransjeprogram for inkluderende arbeidsliv (BNL/IA-programmet), samt Forskningsrådsprosjekter og andre. I tillegg er det et mål å knytte forstudien opp mot relevante masteroppgaver og utdanning ved NTNU og øvrige SIBA-aktiviteter. Se Figur 1 for en illustrasjon av mulig prosjekthorisont vedrørende digitalisering og sikkerhet med utgangspunkt i forstudien.

### Digitalisering og sikkerhet i bygg og anlegg - prosjekthorisont

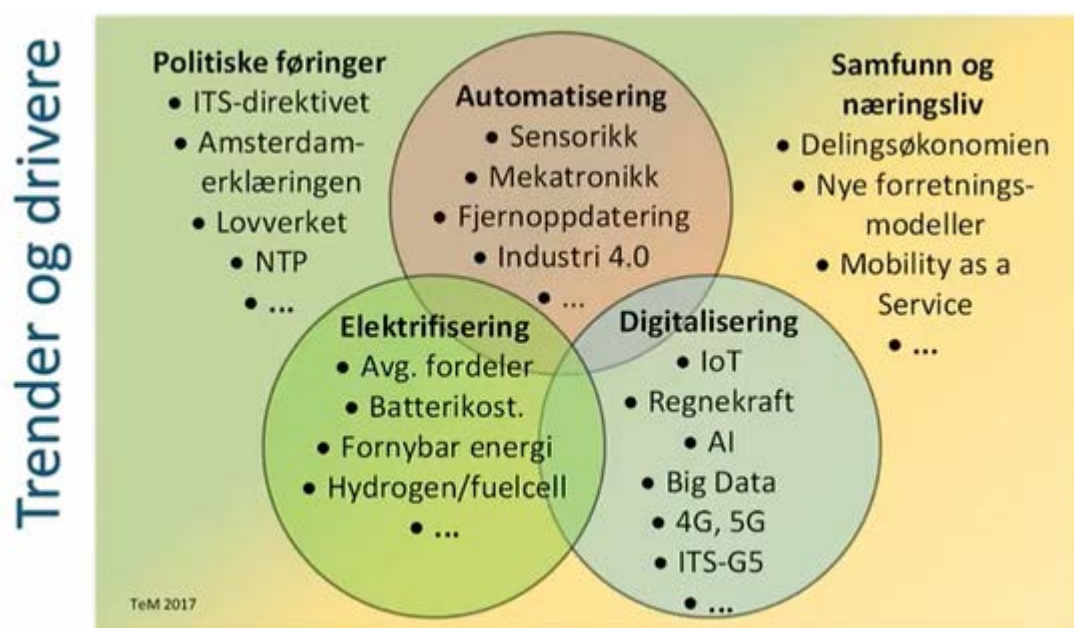


Figur 1 Mulig fremtidig prosjekthorisont med utgangspunkt i forstudien.

## 1.2 Introduksjon til robotisering og automatisering

### Begreper – robotisering og automatisering

Robotisering og automatisering er i seg selv ikke nye fenomener. I lang tid har ulike deler av transport og industri benyttet seg av roboter (f.eks. tunnelboring) og automatisering (f.eks. automatisering av fly). Til tross for at det over lang tid har vært eksempler på robotisering og automatisert teknologi, er det endringer i verden som medfører en helt annen aktualitet og utbredelse nå og i tiden fremover. Trender i de store samfunnene i verden viser at digitalisering, automatisering og elektrifisering sammen virker som drivere mot økt robotisering og automatisering. Dette er særlig innenfor transport (se Figur 2), men antas å være lignende i andre domener.



Figur 2 Trender og drivere for teknologiens inntog (Terje Moen, 2018).

*Roboter* betegnes vanligvis som maskiner som gjør en mekanisk "menneskelig" handling (f.eks. robotarmer), mens *automatisert/automasjon* knyttes til at noe er programmert med regler som gir en støtte til oppgaver som mennesket løser. Begrepet *autonom* knyttes til i hvor stor grad en maskin eller teknologi er selvstyrt, altså uten menneskelig interaksjon. Begrepene brukes delvis om hverandre og det er ikke klare definisjoner.

*Grad av autonomi* omhandler i hvor stor grad et system tar egne beslutninger uten å involvere andre systemer eller operatører. De ulike gradene har vist seg å være særlig viktige for å ivareta sikkerhet. Innenfor bilbransjen er det utviklet en taksonomi med forskjellige nivåer av autonomi (SAE, 2018) som kan være et formålstjenlig utgangspunkt. En tilpasset versjon av denne presenteres i Tabell 1.

**Tabell 1 Nivåer av autonomi og samspill med operatør og system, basert på transport (tilpasset fra SAE, 2018).**

| Nivå                                           | Grad                     | Operatør                                                                       | System                                                                 |
|------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Mennesket monitorerer miljøet                  |                          |                                                                                |                                                                        |
| 0                                              | Ingen autonomi           | Alle operasjoner                                                               | Advarer, beskytter                                                     |
| 1                                              | Begrenset støtte         | Styrer (In-the-loop)                                                           | Veileder, støtter                                                      |
| 2                                              | Delvis automatisering    | Involvert – overvåker hele tiden "On-the loop"                                 | Styrer innenfor veldefinerte grenser                                   |
| Det automatiserte systemet monitorerer miljøet |                          |                                                                                |                                                                        |
| 3                                              | Betinget automatisering  | "Out-of-loop", blir spurt av systemet til å ta over / avbruddstyrt             | Opererer selvstendig, men kan gi tilbake kontrollen                    |
| 4                                              | Høy automatisering       | Fullstendig "Out-of-loop" i situasjoner hvor det er høy grad av automatisering | Opererer selvstendig – går selv til sikker tilstand. Innenfor grenser. |
| 5                                              | Fullstendig automatisert | Fullstendig "Out-of-loop"                                                      | Opererer selvstendig – går selv til sikker tilstand                    |

Under er det gitt eksempler fra biltransport for de ulike gradene av automasjon:

**0:** Tradisjonell bilkjøring.

**1:** Adaptiv cruisecontrol, hvor maskinen holder avstand og fart selv.

**2:** Autopilot med krav til at operatør har hender på rattet.

**3:** Selvkjøring, men krever oppmerksomhet fra menneske ved avbrudd eller i visse områder.

**4:** Google sine Waymo-biler. Opererer uten menneske. Førerløse taxier i avgrensede områder (Geofencing). Kan også tenkes at bestemte områder er sertifisert slik at fører f.eks. kan ta pause.

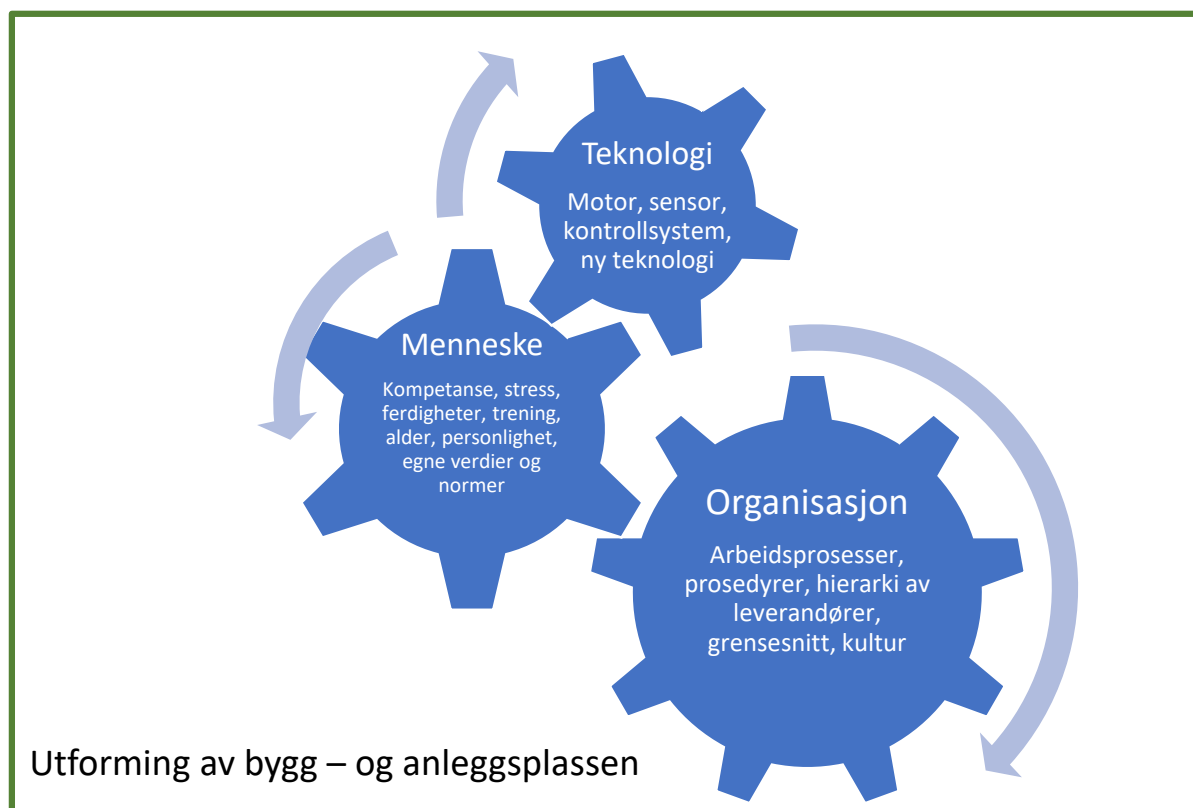
**5:** En bil som i fremtiden er produsert uten ratt og pedaler og opererer i alle miljøer der mennesker kjører bil.

Et viktig poeng, som også er relevant for bygg og anlegg, er at de fleste autonome teknologier er et nivå hvor en eller annen form for interaksjon med en menneskelig operatør foregår, enten i selve operasjonen, ved oppstart/avslutning eller ved avbrudd/feil. Nivå 3 av autonomi kan være en særlig utfordring med tanke på sikkerhet, fordi føreren ikke kan vite når oppmerksomheten skal rettes mot situasjonen og styring skal tas over. Mange bilprodusenter sier dermed at Nivå 3 er for vanskelig. Noen kjøretøy er designet for Nivå 4, mens andre "går gradene". I fremtiden ser en for seg at automatiserte systemer i større grad må kommunisere med hverandre (f.eks. "transport platooning" – hvor lastebiler kjører svært tett etter hverandre med en ledebil).

### **Modell for å forstå spillet mellom menneske, teknologi og organisasjon**

Vi forstår automatisering og robotisering fra et systemisk perspektiv. Med dette mener vi at det er tett koblede enheter i samspill som utgjør systemet. En av disse enhetene er selve maskinen/roboten, men denne opererer ikke i et vakuum. Figur 3 under viser eksempler på systemiske forhold som påvirker systemet roboter og automatisert teknologi jobber i. Hovedbestanddelene i det vi omtaler som et systemisk perspektiv kan oppsummeres i menneskelige, teknologiske og organisatoriske faktorer (MTO). MTO-perspektiv medfører en holistisk tilnærming som tar i betraktning alle tre faktorene og deres samspill som sammen utgjør sikkerheten til et system. Et eksempel på en menneskelig faktor er graden av *situasjonsforståelse* eller *kompetanse* hos en fagarbeider, mens et eksempel på tekniske faktorer kan være *kvaliteten* på kontrollsistemets overvåkningsskjermer, og eksempel organisatoriske faktorer kan være *sikkerhetskultur*, *samarbeid* eller *ledelse*. Man kan si at MTO-

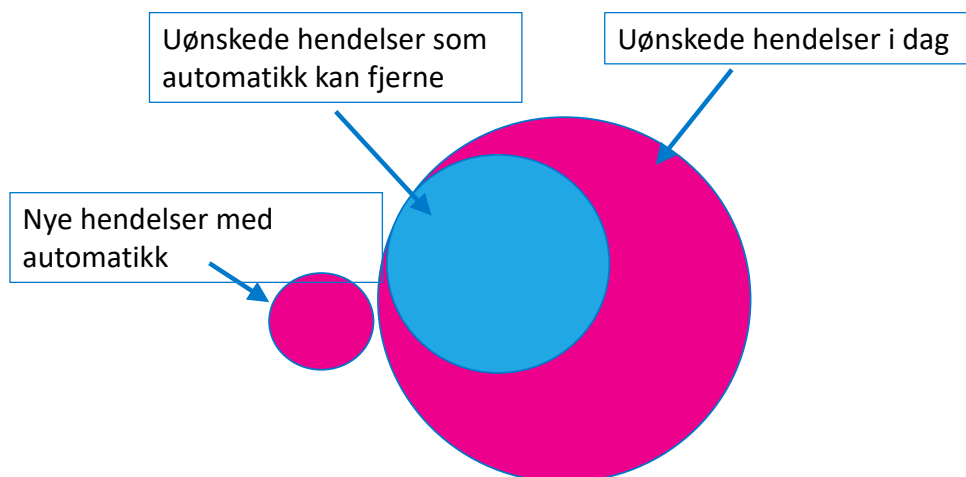
bestanddelene av nye teknologier og automatiserte systemer opererer i en infrastruktur – for eksempel utformingen av bygg- og anleggsplassen.



**Figur 3 Illustrasjon av automatisering i et MTO-systemperspektiv for bygg og anlegg.**

Det er behov for en nyansering når det gjelder hvilken påvirkning denne nye avanserte teknologien potensielt har på sikkerhet og risiko i BA (se Figur 4). På den ene siden er det et spørsmål hvorvidt ny teknologi og implementering av denne kan bidra til å øke eller senke risikoen for kjente uønskede hendelser. Et annet spørsmål er hvorvidt implementeringen medfører nye risikoelementer og/eller uønskede hendelser. Ved økt automatisering kan det også tenkes at en reduserer improvisasjonsevne og helhetstenkning for å løse uforutsette problemer – som mennesker kan være bedre til enn maskiner.

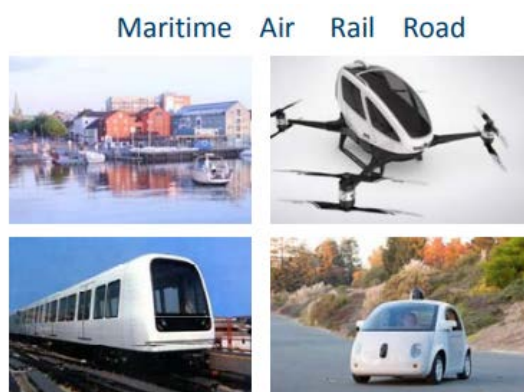




**Figur 4** Konseptuell forståelse av hvordan risikobildet endrer seg ved økt automatisering (forenklet basert på Hoem m.fl., 2019).

### 1.3 Metode

I denne forstudien har vi gjennomført en kort litteraturgjennomgang og noen intervjuer i forbindelse med utvalgte case. Litteraturgjennomgang er i hovedsak begrenset seg til gjennomgang av eksisterende studier fra SINTEF/NTNU knyttet til automatisering, ny teknologi og sikkerhet. Dette gjelder spesielt fra prosjektene SAREPTA<sup>1</sup> (Safety, autonomy, remote control and operations of industrial transport systems) (se også Figur 5) og SMACS<sup>2</sup> (Sensemaking in safety-critical situations) og *Menneskelige faktorer i robotisering og automatisering i boring* (utredning for Petroleumsstilsynet; Johnsen m.fl., 2020), og vurderinger om hvilke læringspunkter som kan tas videre til bygg og anlegg. Det er også sett på noen oversiktsartikler som omhandler robotisering og automatisering i bygg og anlegg. Det er gjennomført fire intervjuer med sentrale personer i forbindelse med de utvalgte casene.



**Figur 5** Eksempler på autonome løsninger i transport (fra SAREPTA-prosjektet).

<sup>1</sup> SAREPTA; <https://www.sintef.no/projectweb/hfc/sarepta/>

<sup>2</sup> SMACS; <https://www.sintef.no/projectweb/hfc/smacs/>

## 2 Gjennomgang av lærdommer fra robotisering og ny teknologi i andre bransjer

I hvert av disse kapitlene gjennomgås erfaringer fra prosjekter og forskning knyttet til autonom teknologi, robotisering og avansert teknologi. Dette er hovedsakelig basert på pågående prosjekter i SINTEF Digital; SAREPTA, SMACS og en dybdestudie for Petroleurstilsynet vedrørende automatisering og menneskelige faktorer i petroleum. Disse prosjektene har som hovedfokus teknologi som har sterk innvirkning på sikkerhet ved gjennomføring av arbeidsprosesser og tjenester.

En viktig forskjell mellom bransjene som er referert til her, og BA-næringen er at ulykkespotensialet kan være ulikt. Det er store mengder energi som kontrolleres i for eksempel luftfart og petroleum. I BA er det ofte operasjoner som erstatter håndholdte verktøy og arbeid i høyden som ønskes automatisert, noe som innebærer mindre energi enn i andre bransjer. Formålet med gjennomgangen er derfor å undersøke hvilke faktorer som kan være nyttig å ha med seg i utvikling og implementering av robotisert og automatisert teknologi i BA, med hensyn på sikkerhet og redusert belastning.

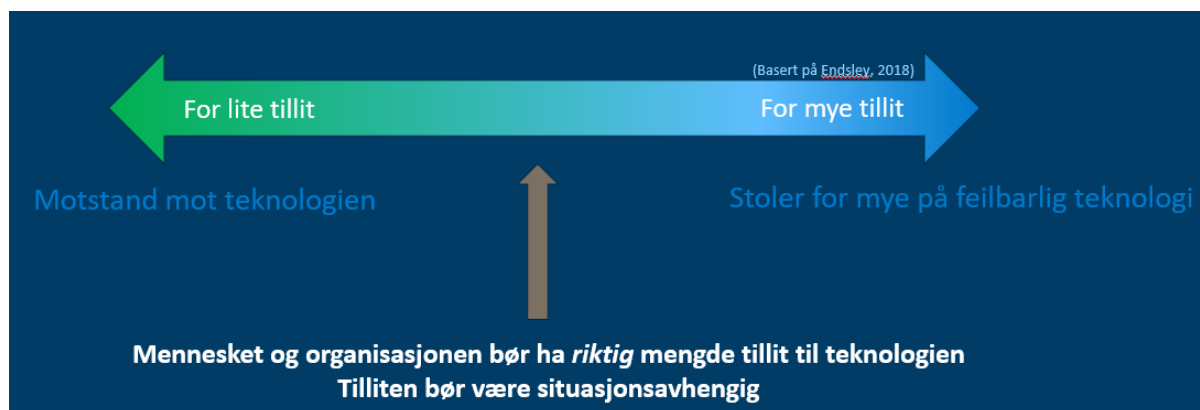
### 2.1 Lærdommer fra transportnæringen

Innenfor alle transportsektorer er det et økende fokus på automatisering av systemene som brukes. De ulike sektorene har ulike forutsetning for automatisering, for eksempel med tanke på avgrensning av de automatiserte systemene og nivå av automatisering. Det vi hovedsak omtaler her er grader av selvkjørende kjøretøy.

Generelt har det blitt påpekt følgende utfordringer med selvkjørende kjøretøy (Moen, 2018):

- Bevisstgjøring, brukeraksept og tillit
- Sikkerhet og personvern
- Lovgivning og systemsikkerhet
- Konkurrans hensyn, både person- og godstransport
- Integrere selvkjørende kjøretøy med terminaler
- Nye typer ulykker vil oppstå når teknologien feiler
- Etablere en smart "virtuell" sjåfør
- Etablere gode sensorsystemer som fungerer under alle forhold.

Gjennomgående har det også blitt påpekt av blant annet Endsley (2019) og National Transportation Safety Board (NTSB) i USA at menneskers og organisasjoners tillit til teknologiens evne til å ivareta sikkerhet og utføre operasjonen har medvirket til ulykker (se Figur 6). Endsley mener at det må være en dynamisk tillit til den avanserte teknologien – man må vite når man skal stole på den og når man må være mer årvåken. Det er også erfaringer fra petroleumssektoren hvor automatisert teknologi slås av fordi man ikke forstår maskinen, og dermed har liten tiltro til at den ivaretar operasjonene på en god måte. Det har også vært tilfeller av at robotteknologi har blitt returnert før de har blitt tatt i bruk fordi det har vært lite brukermedvirkning. Tillit til teknologien kommer vi tilbake til i noen av de underliggende kapitlene.



**Figur 6 Tillit til teknologien som en dimensjon (basert på Endsley, 2018).**

### 2.1.1 Luftfart

Innenfor særlig kommersiell flyvning har økt automatisering vært en bidragsyter til at ulykkestallet har hatt nedadgående trend, samtidig som aktivitetsnivået har gått opp. Automatisering i luftfart er i dag svært utbredt, og piloter og kontrolltårnoperatører får i stor grad støtte av automatiserte systemer. Det er høyt fokus på sikkerhet i utvikling av automatiserte systemer og nødvendig infrastrukturstøtte til automatisering gjennom regelverk, data-rapportering, kontrollsentraler og systematisk opplæring. Siden 1940-årene har det på verdensbasis vært en nedgang i antall ulykker, samtidig som det har vært en mangedobling i antall flygninger (Aviation Safety Network, 2019; Luftfartstilsynet, 2019). Tre generasjoner av automatisering i luftfart beskrives av mekaniske, elektriske og elektroniske hjelpemidler (Chialastri, 2012). Tidlige mekaniske løsninger som gjorde at man kunne bruke mindre fysisk kraft til å styre vingene og mekaniske løsninger som holdt vingene i en gitt posisjon, til elektriske hjelpemidler som autopiloter, auto-throttle (beholde en gitt fart) og navigasjonsstyring.

Den siste utviklingen innen elektronisk teknologi har forenklet bruk av instrumenter i flyet med elektroniske skjermer i cockpiten. Denne utviklingen har ført til at pilotene nå har mindre kontakt med de fysiske mekanismene i flyene, og har en mer overvåkende rolle. Dette kan i imidlertid føre til at pilotene ikke lengre forstår eller kan følge med på hva som foregår bak de automatiserte operasjonene, og det har skjedd noen alvorlige ulykker som en konsekvens av dette, f.eks. Boeing Max ulykkene i 2018 og 2019, hvor to fly styrtet og 346 personer døde. To av de viktigste årsakene til ulykkene er a) feil i sensorer forbundet med et nytt automatisk styringssystem, og b) at pilotene ikke forsto systemet, de hadde ikke kjennskap til at det var installert, og de feilet i å gripe inn i tide (Endsley, 2019). Endsley argumenterer derfor med at det er nødvendig med et sterkere fokus på at de automatiserte systemene blir designet med tanke på de skal benyttes/opereres av mennesker, og at systemene gir tilstrekkelig informasjon til pilotene om tilstanden til flyet til rett tid og på en forståelig måte (Endsley, 2019).

Flybransjen opererer ulikt bygg- og anleggsbransjen i at det er standardiserte operasjoner som i stor grad skal utføres likt, mens bygg- og anleggsbransjen kan karakteriseres som en mer dynamisk bransje, der byggeplasser og prosjekter etableres og lukkes. Aktivitetene flytter rundt og må tilpasses nye omgivelser og rammebetingelser, samtidig som mange aktører er involvert og må samhandle i ulike faser av prosjektet. I tillegg er rammene ulike i at det er ulikt risikopotensial og ulike konsekvenser knyttet til de operasjonene som utføres. Det er

imidlertid relevant å ta med seg noe lærdom fra denne bransjen med tanke på menneskesentrert fokus i utvikling av nye systemer, og at det har vært en gradvis utvikling av automatisering som har gitt mulighet for læring og tilpassing. Regelverk med tanke på sikkerhet er også sterkt, og det er fokus på verifikasjon og testing av ny teknologi under utvikling. Trening av piloter med tanke på forståelse og samhandling er også viktige komponenter i at automatisering i flybransjen kan sies å være vellykket.

### 2.1.2 Droner

Droner til industriell anvendelse har de siste årene økt. Flyvende droner har i petroleumssektoren blitt brukt til inspeksjon av områder som har vært vanskelig tilgjengelig. De fleste dronene som brukes til inspeksjonsoppgaver, har vært utstyrt med kamera. Utviklingen mot bruk av dronene har i stor grad vært styrt av et ønske for bedre sikkerhet for personell, og en økt grad av effektivisering. Til nå har droner i hovedsak vært fjernstyrte, men det er en utvikling mot at dronene blir mer automatiserte. Automatiserte droner blir muliggjort av teknologiutvikling innen sensorer, dataprosesseringsenheter og miniatyrisering av disse (Bakken m.fl., 2019). Luftbårne droner som brukes i dag er i hovedsak droner som må styres gjennom mobiltelefoner eller nettbrett, mens noen undervannsdroner som brukes i mer komplekse operasjoner, styres fra kontrollsentraler. Utfordringer med droner i petroleumsbransjen knyttes til planlegging og operativ drift, samdrift og teknologiske utfordringer.

Droner er allerede i bruk i BA-bransjen, særlig i anlegg, der luftbårne droner brukes som støtte for å ta bilder av anleggsområder. Bildene brukes videre for beregning av blant annet volumer og masser, men også for inspeksjoner av vanskelig tilgjengelige områder og konstruksjoner (f.eks. bruer). Droner gir en ny mulighet for oversikt over store og vanskelig tilgjengelige anleggsområder. Sikkerhetsmessig kan noen av de samme utfordringene for petroleumsbransjen overføres til bygg og anlegg, der risikoer involvert er droner som krasjer i infrastruktur og teknologiske utfordringer fordi de er sårbare for hacking eller annen inngripen fra aktører med uredlige intensjoner. Erfaringer med droner i BA bør undersøkes nærmere.

### 2.1.3 Maritim

Norge har vært en drivende nasjon med tanke på utvikling av automatiserte løsninger i den maritime bransjen. Blant prosjektene som utvikles i Norge er Yara Birkeland, et skip designet for på sikt å kunne operere autonomt med frakt av kunstgjødsel fra Herøya til andre utskipningshavner (Kongsberg, 2020), og Asko, som skal bygge to sjødroner som skal erstatte 150 daglige trailerturer mellom Østfold og Vestfold (Enova, 2020). Begge disse prosjektene planlegger at drift og transport skal overvåkes fra kontrollsentere, med mulighet for overtakelse av kontroll. Det er tre test-områder med infrastruktur for autonome skip i Norge i 2020. I disse områdene vil det også foregå konvensjonell skipsfart. Det vil være høye krav til tilpasset infrastruktur rundt bruk av autonome skip, f.eks. med tanke på kommunikasjonsteknologi, støtte for overtakelse av autonome operasjoner til menneskelig kontroll, og tilretteleggelse av tilstrekkelig informasjon slik at de som skal overvåke har en adekvat situasjonsforståelse. Det anbefales at man tydelig definerer operasjonsområdet (eller "operasjonskonvolutten") til skipene som beskriver konteksten som skipene skal driftes i (Fjørtoft m.fl., 2020; Rødseth, 2018). IMO har publisert en "Interim guideline for MASS (Maritime Autonomous Surface Ships) Trials", som skal gi støtte til myndigheter og interessenter som skal teste systemer og infrastruktur med tanke på effekter for sikkerhet og

miljø (IMO, 2019). Denne inneholder blant annet retningslinjer for risikovurderinger, etterfølgelse av eksisterende regelverk, sikker bemanning, menneskelige faktorer, menneske-maskin grensesnitt, og kommunikasjon og informasjonsdeling.

I en artikkel som gikk gjennom 100 skipsulykker og vurderte disse opp mot potensiell risiko dersom skipene hadde vært autonome, fant forfatterne at sannsynligheten for grunnstøting ville vært lavere (Wrobel m.fl, 2017). Konsekvensen av ulykkene ville imidlertid kunne forventes å være større siden det ikke ville vært mennesker til stede som kunne håndtere ulykkene.

Autonome skip vil driftes i et miljø hvor det også er konvensjonell type transport. Definisjon av operasjonsområdet til autonom teknologi vil også være et relevant perspektiv for bygg- og anleggsnæringen. Anleggsområdene og byggeplassene er meget dynamiske arbeidsplasser som inkluderer flere leverandører, arbeidere og maskinelt utstyr. Spesielt i byggprosjekter kan det være begrensninger ved at roboter og automatisert utstyr kan være plasskrevende. Ved bruk av automatisert teknologi bør man gjøre vurderinger av hvilke utfordringer interaksjon med aktører/maskiner/konstruksjoner kan føre til, og definere operasjonsområder som muliggjør sikker bruk av ny teknologi.

#### 2.1.4 Jernbane og metro

Jernbane og metro anses som en transportnæring som har lyktes godt med å ivareta sikkerheten ved automatisering. I 2018 var det 64 fullt ut automatiserte metroer i 42 byer, driftet på 1026 km linjer. I København har det vært driftet autonome metroer siden 2002 (Railway Technology, 2020), og siden 2009 har det vært 24/7 drift på de førerløse metroene (Intelligent Transport, 2020). Sporene på metroene i København er lukkede, og det er sentrale kontrollrom med kontinuerlig overvåkning. I Europa er det satt i gang et arbeid for å lage et felles togkontroll- og trafikkstyringssystem, European Rail Traffic Management System (ERTMS), som består av hastighetsovervåkning, signalering, kommunikasjonsnett og harmonisering til felles europeiske trafikkregler (Jernbanedirektoratet, 2020). Systemet inkluderer automatisk sensor- og datainformasjon om kjøretillatelse og hastighet. På sikt vil dette systemet legge til rette for mer automatisert togtrafikk også i Norge.

Vi finner ikke informasjon om rapporterte ulykker med autonom jernbane og metro, men det er ingen store kjente ulykker med disse transportmodene, der svikt i automatiserte systemer har vært årsaken. Rapportering av hendelser er imidlertid en viktig del av læring for sikkerhet, og etablering av datarapportering for hendelser med ulik alvorlighetsgrad bør inkluderes.

Jernbane er en særegen transportindustri, med tydelig avgrenset operasjonsområde. Det mangles gode data på sikkerhetsrelaterte hendelser, men det avgrensede operasjonsområdet kan være en medvirkende årsak til at det ikke har vært alvorlige hendelser med autonom jernbane og metro. I tillegg er det verdt å fremheve at det planlegges langsiktig for autonom jernbane ved at infrastruktur som bygges legger til rette for dette. Dette er en viktig komponent i stegene mot fullt ut autonome systemer.

#### 2.1.5 Vei

Generelt er det indikasjoner på at automatisering i veitransport øker sikkerheten. De siste årene har det vært økende testing av selvkjørende/autonome biler, både for privatbiler og som en tjeneste, som for eksempel selvkjørende taxier og busser. Flere bilprodusenter produserer

biler som har software som tillater at bilene kjører selv. For eksempel har Volvo inngått en rammeavtale med Uber om å levere selvkjørende biler til bruk i virksomheten med hente- og bringetjenesten (Volvo Car Group, 2020). Tesla har også software som tillater at bilene kjører selv. Det har imidlertid vært flere dødsulykker med selvkjørende biler, og NTSB har kritisert bilprodusentene for ikke å gjøre førere nok oppmerksomme på begrensingen med software og sensorer som brukes i bilene (NTSB, 2017). Ulykkene har i flere av hendelsene inkludert utilstrekkelige sensorer og uoppmerksomhet. Et eksempel på en slik ulykke er da en Tesla på autopilot i 2016 krasjet i 114 km/t inn i en krasjdemper plassert ved en midtdeler. Noen av årsakene som trekkes fram av NTSB (Price, 2019) er a) fører hadde for høy tillit til teknologien, b) Teslas system ga åpning for høy fart uten hender på rattet, og c) infrastrukturen var ikke designet for autonom kjøring.

I etterkant av ulykkene har det vært mulig å analysere hendelsesforløpet detaljert grunnet datalogging i bilene, og i tillegg etterlyser NTSB i USA at selskapene i større grad rapporterer nesten-hendelser som inkluderer autonom kjøring, slik at mangler kan forbedres. For at selvkjørende biler skal kunne testes på veiene må myndighetene i landet godkjenne dette, og Nederland, Singapore, UK, USA og Norge har områder som tillater testing av selvkjørende biler. I Norge er det også utviklet selvkjørende busser i Stavanger og Trondheim.

Det er ulik rapportering av ulykker med autonome biler, noen testområder i USA har krevd datarapportering, og i Norge er det rapportering i forbindelse med utprøving av autonome busser. Google Cars har rapportert at ulykkesraten er ca. 2,19 ulykker pr. million kjørte miles for selvkjørende biler, sammenlignet med 6,06 for bemannede biler (Teoh og Kidd, 2017). De fleste av disse ulykkene forbindes med uventet oppførsel fra de autonome kjøretøyene, noe som førte til påkjørsel av andre biler.

Ulykker med bruk av selvkjørende biler viser viktigheten av tilstrekkelige sensorer og hensiktsmessig kontroll av det automatiserte systemet. Disse faktorene vil også være relevante med tanke på bruk av automatisert teknologi i bygg og anlegg, med stor interesse for bruk av selvkjørende maskiner. I tillegg bør det opprettes systemer for logging av data og nesten-hendelser, slik at man kan analysere disse for fremtidig læring.

## 2.2 Lærdommer fra petroleum

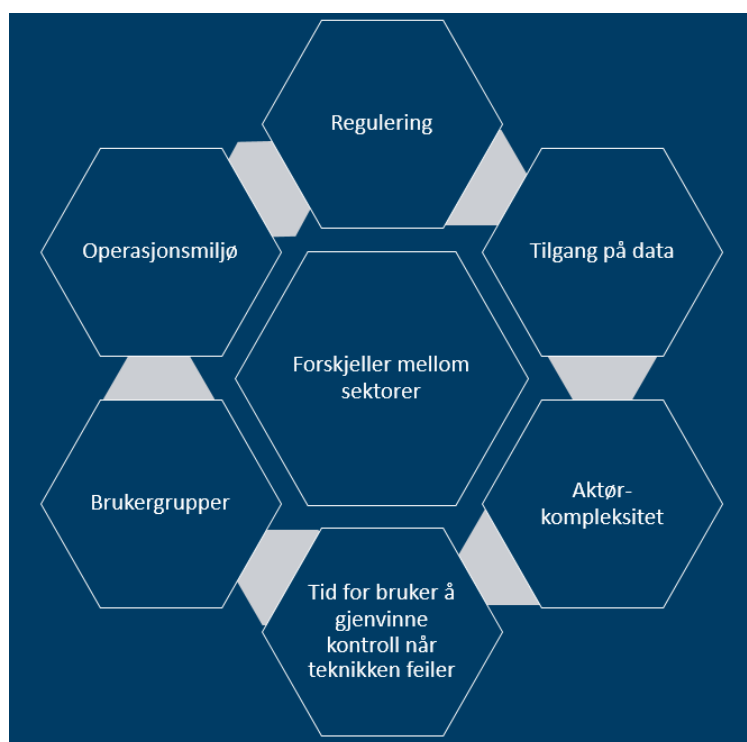
Digitalisering er en sentral driver i teknologiutvikling i petroleumsindustrien. Det har i flere år vært en trend mot å flytte funksjoner fra offshore installasjoner til land. I tillegg er autonom boring et av områdene som anses å ha stort potensial for effektivisering ved bruk av autonomi. En av fordelene med automatisering anses å være at operasjonene blir mer standardiserte. En studie som ser på menneskelige faktorer i automatisert boring har funnet at det er behov for brukerstyrt utvikling for i tilstrekkelig grad å kunne tilpasse den nye teknologien til menneskene som skal overvåke og drifte teknologien (Johnsen m.fl., 2020). Noen av faktorene som kan hindre tilstrekkelig tilpasning av systemene er det sterke teknologi-fokuset i utvikling av nye systemer og fragmenterte aktørbilder under utvikling som kan føre til et uklart ansvarsbilde. Det er eksempler på roboter som er laget og som aldri har blitt benyttet. Selv om automatisering i stor grad er bygget på tanken om at man fjerner menneskene fra operasjonene, vil det i lang tid være nødvendig å tilpasse teknologien for overvåkning og overtagelse av kontroll av mennesker.

Oppsummert er det følgende funn som er særlig relevante for bygg og anlegg:

- **Systemintegrasjon** med eksisterende utstyr og maskiner er utfordrende
- Lite **standardisering** av systemer – særlig fordi systemene er produsent eid/kommersielle
- Det er behov for "**beste praksis**" guider for å gjennomføre en brukersentrert utviklingsprosess med tanke på sikkerhet
- De som ser ut til å lykkes, har hatt **tidlig brukermedvirkning og avgrenset antall systemleverandører**

## 2.3 Sammenligning mellom bransjene

Automatisert teknologi er ikke en "one size fits all"-løsning. Hvordan teknologien opererer i praksis vil være påvirket av en rekke aspekter som varierer mellom bransjer. De forskjellige aspektene vil ha ulik grad av innvirkning på sikkerhet, helse og/eller arbeidsmiljø. Se Figur 7 for et forslag til viktige aspekter (ikke uttømmende), basert på en sammenligning av funn gjort i ulike bransjer.



Figur 7 Viktige aspekter som har betydning for utforming og bruk av automatisert teknologi.

### Operasjonsmiljø

De definerte rammene og infrastrukturen tilknyttet miljøet de autonome og automatiserte systemer skal operere i, er forskjellige i de ulike sektorene. Innenfor luftfart er det høy grad av standardisering tilknyttet rullebaner og ruter/posisjoner for flyet i lufta. Innenfor vei-sektoren er det mer variabelt, med ulike typer veier, ulik merking, varierende grad av kvalitet på merking av veier, internasjonale forskjeller og så videre. I petroleum er det i større grad også standardisert f.eks. knyttet til dimensjonerings av boredekk, men miljøet nede i brønnen er derimot dynamisk. I bygge- og anleggsnæringen er operasjonsmiljøet i aller høyeste grad foranderlig, både med hensyn på tid (en byggeplass endrer seg fra dag til dag, men spesielt mellom ulike faser av byggeprosjektet – f.eks. grunnarbeid vs. tømmerarbeid).



Innenfor anleggsbransjen er det muligens enda mer varierende. Det kan være mindre foranderlig og standardisert "infrastruktur" innenfor en del av de ulike domenene, for eksempel veiprosjekter, mens det samtidig er daglige endringer og forskjellige faser slik som innenfor byggenæringen. I tillegg er det store forskjeller på ulike typer utbyggingsprosjekter, slik som vindturbinutbygging, tunellbygging, havneanlegg, broer, etc. I tillegg kan det være begrensninger knyttet til omgivelser, som eksempelvis jernbaneskiner som ligger fast. Foranderligheten kan også ses på som en mulighet, i mange BA-prosjekter kan man optimalisere og planlegge for at infrastrukturen skal passe til roboten eller automatisert teknologi, for eksempel gjennom et godt samarbeid mellom prosjekterende, entreprenør og byggherre i tidlig fase.

### **Tid for bruker til å gjenvinne kontroll**

Tiden for en operatør til å gjenvinne kontroll i tilfelle at maskinen feiler, kan være kritisk for å hindre uønskede hendelser. Innenfor luftfart har piloter vanligvis flere minutter for å avverge eventuelle uønskede situasjoner. Derimot, ved kjøring på vei og et selvkjørende system feiler, vil brukeren kun ha sekunder til å gripe inn og få kontroll over situasjonen. For bygg og anlegg vil det sannsynligvis være avhengig av hvilke områder man automatiserer. Tid for bruker til å gjenvinne kontroll er et viktig moment for å unngå skade i uønskede hendelser, dette er særlig relevant for automatisert utstyr som skal brukes i nærheten av arbeidere på bygg og anleggsplasser. Det er i BA-næringen imidlertid ofte fokus på å automatisere verktøy som tidligere har vært håndholdt (dvs. at involvert energi er kontrollert av operatøren), og automatisering skal separere farlig energi og bruker i tid og rom. Dette kan i noen tilfeller være en sentral forskjell mellom de andre bransjene og BA. For eksempel vil en pilot på et fly ikke være separert fra involvert energi selv om flyet automatiseres. Denne forskjellen gjør at tid for bruker å gjenvinne kontroll ikke alltid er en like relevant problemstilling i BA.

### **Brukergrupper – trening og kompetanse blant de som skal bruke utstyret**

I dette punktet ser vi på om det er forskjeller mellom ulike bransjer når det kommer til grad av relevant kompetanse hos brukergruppene. Innenfor luftfart og petroleum har operatører vanligvis en høy grad av trening og kompetanse, både formell og realkompetanse gjennom praktisk erfaring og repeterende trening som del av sitt yrke. Når det gjelder veitransport er det i Norge relativt høy kompetanse, men sannsynligvis lavere sammenlignet med luftfart. Avhengig av hva man velger å inkludere i dette punktet er det også naturlig å ta med i betraktning at brukergruppene av veien er langt mer varierende, fra gående, syklist, private bilister til erfarne yrkessjåfører med formell utdanning. Innenfor bygg og anlegg er det i utgangspunktet en relativt god trening gjennom dedikerte fagspesifikke utdannelser og realkompetanse gjennom praktisk erfaring. Det er dog sannsynlig at brukergruppene innenfor bygg og anlegg i mindre grad enn i luftfart og petroleum, vil få mulighet til trening og oppdatert kunnskap/kompetanse. Dette grunnet blant annet økonomiske/markedsmessige forhold. Dette må dermed hensyntas i utviklingen av ny teknologi.

### **Regulering**

Grad av regulering i de enkelte bransjer er relevant med tanke på muligheten myndigheter har til å regulere for eksempel krav til automatisert utstyr og muligheter for å rapportere hvordan teknologien fungerer. En høy grad av regulering kan sannsynligvis bidra til høy sikkerhet, men også virke som en hemmer for utprøving og teknologiutvikling. Luftfart og petroleum er relativt gjennomregulerte bransjer med klare krav, retningslinjer og standarder. Som nevnt tidligere er det for eksempel i luftfart tilgjengelig en stor mengde data og logger i fly. Det kan riktignok stilles et spørsmålstegn ved hvorvidt de er godt tilpasset autonomi og avansert ny digital teknologi. Dette er nok litt mindre "modent", særlig innenfor petroleum. Når det



gjelder vei, er denne transportgreinen mindre regulert, særlig knyttet til at veien brukes av alle, både private og profesjonelle aktører. I USA er det særlig trukket frem at det er for lite regulering/krav til for eksempel kjøretøyets kollisjonsavvergingssystem eller når det gjelder definerte grenser for når maskinen kan operere autonomt. Bygg og anlegg generelt sett grundig regulert gjennom Byggherreforskriften og IK-forskriften. I tillegg finnes det flere forskrifter hjemlet i Arbeidsmiljøloven som delvis stiller veldig detaljerte krav til utførelse av arbeid, for eksempel for stillas. Maskinsikkerhetsforskriften stiller også krav til å tenke risikoreduksjon i alle faser av utvikling og bruk av maskiner, noe som er gjeldende for alle bransjer. Man kan si at BA er mer deskriptivt regulert enn petroleum som i høy grad kan sies å ha et regelverk basert på funksjonskrav, og der det i større grad henvises til å følge f.eks. NORSOK-standarder som minstekrav.

### **Ulykkesfrekvens og tilgang til data**

En av de grunnleggende metodene man har innenfor sikkerhetsstyring er å undersøke årsaker til uønskede hendelser slik at man kan lære fra feil og unngå at lignende feil skjer i fremtiden. Dette forutsetter hendelser og tilgang til data knyttet til disse. Innenfor luftfart er det lav sannsynlighet for ulykker – de skjer sjelden. Men når de først skjer er det relativt lett å hente ut gode erfaringsdata, blant annet fra "svarte bokser" og andre kilder. Lignende ser vi innenfor petroleum, som har sterkt søkelys på rapportering av uønskede hendelser og data knyttet til disse, selv om de større ulykkene heldigvis skjer sjelden. I tillegg er det vanlig at selskap gjør relativt omfattende interne granskninger.

Innenfor vei er det langt større heterogenitet i utstyr og aktører involvert. For eksempel er det mulig å hente ut hendelsesdata fra en automatisert bil, mens dette er mindre tilgjengelig for konvensjonelle kjøretøy. Blant de ulike leverandørene er det også ulik grad av logging av data.

Det er følgelig i ulik grad mulighet for å skaffe til veie data fra de ulike kjøretøyene og sammenstille disse for å lære fra hendelser. Til gjengjeld skjer det dessverre ulykker relativt ofte slik at man i større grad kan lære fra statistikk og trender. Innenfor bygg og anlegg er det relativt høy ulykkesfrekvens i form av dødsfall og alvorlige skader. Samtidig er datafangsten i denne sammenheng begrenset, sammenlignet med f.eks. ulykker med fly, hvor man ved å analysere data fra de "svarte boksene" enkelt kan se hvordan flyet har beveget seg, lyden i cockpit og kommunikasjon mellom ulike aktører. På den andre siden vil man i en ulykke i BA potensielt ha tilgang til andre typer data ved at vitner og overlevende kan intervjues.

### **Data tilgjengelig om automatisert operasjon**

Roboter, autonomt utstyr og annen relevant ny teknologi bør sørge for å lagre relevant informasjon om teknologiens ytelse. Dette er blant annet for å oppdage nesten-uhell, irregularitet i ytelsen, eller for å gå tilbake i forbindelse med konkrete situasjoner eller hendelser. Dette krever en hensiktsmessig regulering og samtykke, særlig der ytelsen involverer mennesker. Innenfor luftfart er Flight Data Management (FDM) viktige kilder til læring og forbedring av sikkerhet. Det stilles blant annet høye krav til anonymisering siden det er data om i utgangspunktet kan kobles direkte til piloter. Innenfor vei, petroleum og bygg og anlegg er det i liten grad krav til slik datalogging, basert på vår kjennskap til området.

### Aktør-kompleksitet

Organisatorisk tilknytning er en bakenforliggende faktor som kan påvirke samarbeidet mellom aktører på en byggeplass, dette kan si noe om kompetanse, kontraktsforhold og insentiver den enkelte har for eksempelvis å arbeide effektivt. Det kan også si noe om forutsetninger for, og erfaringer med å samhandle med høyteknologisk utstyr og maskiner. Generelt er piloter i luftfart ansatt i flyselskapet, selv om det er ulike organisatoriske modeller som mer eller mindre leier inn piloter. Innenfor vei er varierende hvor det er ansatte i egne selskap som utfører arbeid, eller om det er bruk av innleie. Det er i alle fall sikkert at det er et miljø med mange forskjellige aktører og privatpersoner. I petroleum er det ofte en kombinasjon av egne ansatte, kontraktører og underleverandører. Men i motsetning til bygg og anlegg er det færre nivå av underleverandører, mindre foranderlighet og høyere kontroll av enkeltpersoner. I byggevirkksomhet, er det en høy kompleksitet i antall organisasjoner involvert i ulike byggefaser, og det kan gjerne forandre seg fra dag-til-dag, både med hensyn på hvilke organisasjoner som er til stede på en bygg- eller anleggsplass, men også hvilke personer. Dette vil dermed stille større krav til ledelse, koordinering, opplæring og kommunikasjon, når det kommer til bruk av avansert ny teknologi som påvirker arbeidet. Dette er også til en viss grad gjeldende for anleggsvirkksomhet, men som for eksempel har færre faser i produksjonen og færre mennesker og fagdisipliner involvert.

Forskjeller mellom bransjene med hensyn på disse aspektene er oppsummert i Tabell 2.

**Tabell 2 Forskjeller mellom bransjer - rammeverk for autonome maskiner, videreutviklet fra National Transportation Safety Board (NTSB), (Price, 2019).**

| <b>Tema</b>                                                                | <b>Luftfart</b>    | <b>Veitransport</b>              | <b>Petroleum</b>                 | <b>Bygg</b>                      | <b>Anlegg</b>                    |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| <i>Variabilitet i operasjonsmiljø</i>                                      | Lav                | Middels                          | Middels                          | Høy                              | Middels                          |
| <i>Tid tilgjengelig for å gjenvinne kontroll når teknikken feiler</i>      | Lengre             | Kortere                          | Middels                          | Kortere*                         | Kortere*                         |
| <i>Grad av opplæring/kompetanse blant brukergrupper</i>                    | Høy                | Middels*                         | Middels                          | Middels**                        | Middels**                        |
| <i>Regulering</i>                                                          | Høy                | Middels                          | Høy                              | Middels                          | Middels                          |
| <i>Ulykkesfrekvens/rikhet av data etter ulykker/involvert energimengde</i> | Lav/høy/stor       | Høy/lav/medium                   | Lav/Medium/stor                  | Høy/medium/lav                   | Høy/medium/lav                   |
| <i>Data tilgjengelig for maskiners utførelse</i>                           | Rikt, tilgjengelig | Mindre rikt, mindre tilgjengelig | Medium rikt, mindre tilgjengelig | Mindre rikt, mindre tilgjengelig | Mindre rikt, mindre tilgjengelig |
| <i>Aktør-kompleksitet</i>                                                  | Lav                | Høy                              | Medium                           | Høy                              | Høy                              |

\*vil variere sterkt avhengig av situasjon

\*\*sterk fagkompetanse

### 3 Kartlegging av prosjekter og initiativ i bygg- og anleggsnæringen

#### 3.1 Forskning og funn knyttet til trender med automatisering i BA

Gjennomgangen av de identifiserte teknologiene viser at det er relativt liten utbredelse av robotisert og avansert automatisert teknologi i bygg- og anleggsnæringen i dag. Vi har identifisert ulike teknologier som er beskrevet i en egen tabell i Vedlegg A. I det følgende gjøres det kort rede for forskning og funn fra intervjuer og litteratursøk om dette.

Det er foretatt et enkelt søk på "Construction" + "Automation" + "Safety"/"HSE" for å identifisere oversiktslitteratur på feltet. I en oversiktsartikkel gjennomgår Delgado m.fl. (2019) ulike typer av automatiserte/robotiserte teknologier i bygg og anlegg. Denne oversikten har vi forenklet noe og er presentert under i Tabell 3.

**Tabell 3 Kategorier av robotisert og automatisert teknologi for bygg- og anleggsnæringen (basert på Delgado m.fl., 2019).**

| Kategori                                                      | Beskrivelse, type, bruksområder                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1. Automatiserte prefab-systemer utenfor BA-plassen</b>    | <b>Produksjon av bygningskomponenter off-site med automasjon</b>                                                                                                                |
|                                                               | Enkeltvis bygningskomponentproduksjon off-site (BCM)                                                                                                                            |
|                                                               | Stor-skala prefabrikkering (LSP)                                                                                                                                                |
|                                                               | Additiv tilvirkning/produksjon (3D printing)                                                                                                                                    |
| <b>2. Automatiserte og robotiserte systemer på BA-plassen</b> | <b>Automatiserte og robotiserte systemer benyttet direkte på bygg- og anleggsplassen</b>                                                                                        |
|                                                               | Roboter for enkeltoppgaver (Single task construction robots (STCRs)) for eksempelvis mursteinlegging, fasadeinstallasjon, maling av vegg, legging av betong, stålsveising, etc. |
|                                                               | Robotiserte fabrikker on-site                                                                                                                                                   |
|                                                               | "Svermer" og roboter benyttet for istandsetting av bygningskomponenter                                                                                                          |
| <b>3. Droner og autonome kjøretøy</b>                         | <b>Landbasert, luftbasert eller nautisk baserte fartøy som enten fjernstyres eller er autonome</b>                                                                              |
|                                                               | Tilgang til ekstreme og farlige miljø                                                                                                                                           |
|                                                               | Inspeksjon, monitorering                                                                                                                                                        |
|                                                               | Automatisert boring, utgraving og masseflytting                                                                                                                                 |
| <b>4. Eksternt skjelett (Exoskeletons)</b>                    | <b>Bærbare verktøy som arbeider sammen med brukeren – i motsetning til robot som gjør jobben autonomt</b>                                                                       |
|                                                               | Øke brukeres produktivitet, tunge løft, redusere stress/fatigue, bruke verktøy i lite ergonomiske stillinger.                                                                   |
|                                                               | Redusere skader                                                                                                                                                                 |

Ifølge en oversiktsartikkel om automasjon og bygg og anlegg, er ingen studier noen sinne knyttet til autonome mobile roboter og samhandling med mennesker (Ardiny m.fl., 2015). Derimot er det gjort forskning knyttet til hvilke hemmere det er for større bruk av slik teknologi. Vi går nå nærmere på oversiktsartikkelen av Delgado med flere (2019), som gjorde

en studie blant ulike eksperter blant europeiske aktører, inkludert litteraturgjennomgang og ulike kvalitative og kvantitative metoder. De gjorde en litteraturgjennomgang av eksisterende forskning knyttet til hemmere for bruk av robotisert teknologi i bygg og anlegg, deretter gjorde de fokusgruppeintervjuer med 28 eksperter (BIM-ledere, forskere, entreprenører, arkitekter, rådgivningsfirma, utviklere og teknologileverandører) for å forme tema. Når disse temaene var identifisert, ble de rangert gjennom en spørreundersøkelse til 36 eksperter.

Ifølge deltakerne i studien er de sterkeste hemmere for å ta slik teknologi i bruk i bygg og anlegg (1) behovet for en høy initiell kapitalinvestering, (2) ingen sterke insentiver eller behov for å øke produktivitet og (3) lave FoU-budsjett i bygg og anlegg. I tillegg fremheves forhold ved arbeidstakerne i bygg og anlegg, hvor det påpekes (4) en mangel på ønske om slike endringer, samt (5) ferdigheter, kunnskap og kompetanse til personellet. Se Tabell 4 for mer informasjon.

Det blir videre argumentert med at fra kontraktørsiden bør hovedprioriteten være å senke risiko (økonomisk) for prosjekter. På byggherresiden trekkes det frem ulike insentiver for økt bruk av ny teknologi, for eksempel gjennom a) dyrke samarbeid med universitet og forskningsinstitutter, b) økonomiske insentiver, og c) endre kontrakter/mandater. Når det gjelder kulturelle forhold, peker Delgado og kolleger på utfordringene knyttet til mennesker som skal arbeide sammen med roboter og at dette bør løses gjennom samarbeid med forskningsinstitutter. Slikt samarbeid har foreløpig vært knyttet til å utvikle nye teknologier/prosjekter, og ikke undersøke de nye utfordringene i interaksjonen mellom arbeidere og roboter. Generelt påpekes det at det mangler gode kost/nytte-vurderinger av robotisering og automatisering i BA.

Informantene i intervjuene ble bedt om å reflektere rundt generelle trender i bransjen når det gjelder automatisert teknologi. Vi ser her at det er kombinasjon av elektrifisering, automatisering for å lette arbeidshverdagen, og økt bruk av teknologi som er utviklingstrekk på dette området ifølge informantene. I de følgende punktene er disse refleksjonene nærmere beskrevet:

- *"Vanskelig å si, men mer og mer teknologi er involvert. Jobber tegningsløst. Bedre overføringsgrunnlag fra modeller til maskiner. Modeller viser hvordan veien skal bygges. Har jobbet mye med tunnel, med mye automatisering helt fra 90-tallet."*
- *"Jeg tror autonom og elektrisk teknologi er fremtiden. Tror ikke maskinføreren blir arbeidsledig. Noen må sjekke opp og ordne hvis det blir noe underveis som må fikses. Må være noen å følge opp."*
- *"BIM-modellene er et viktig underlag for teknologien for fremtiden. Og det er viktig at investeringene [i ny teknologi] kan bevise økt effektivitet. "*
- *"Jeg tror det blir å realisere en mer grønn massetransport. Før var det vanlig å ha stoppeklokker. Nå er bransjen mer opptatt av miljø og har glemt å være effektiv. Oppskalering av autonome teknologier er interessant. Det blir noe helt annet når flere maskiner må kommunisere med hverandre."*
- *"Hvis arbeidstakerne blir sittende å se på, så blir de rastløse. Tidligere gjorde vi en test med tre forskjellige førere av en teknologi. To som kjørte automatisk, og én manuelt. De som kjørte automatisk, gjorde jobben mer nøyaktig, men saktere. De som kjørte automatisk, hadde bedre tid til å vedlikeholde utstyret slik at utstyret ble holdt i bedre stand."*
- *"Har tro på at arbeidstakerne er positive til automatisering, da det letter arbeidshverdagen; mindre ergonomiske utfordringer, mindre monotont arbeid."*

**Tabell 4 Faktorer som hemmer implementering i bygg og anlegg internasjonalt på en skala fra 1-5 (basert på Delgado m.fl., 2019).**

| <b>Faktorer som hemmer implementering i bygg og anlegg</b>                     | <b>Rangering</b> | <b>Gj.snitt</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------|
| <b>Økonomiske faktorer entreprenør/kontraktør</b>                              |                  |                 |
| Høy initial kapitalinvestering                                                 | 1                | 4.33            |
| Fragmentert bygg- og anleggsindustri                                           | 11               | 3.19            |
| Ingen sterke behov for å øke produktivitet                                     | 2                | 4.11            |
| Lave FoU-budsjett i bygg- og anlegg                                            | 3                | 3.86            |
| <b>Økonomiske faktorer byggherre</b>                                           |                  |                 |
| Nedadgående størrelse på budsjettene for offentlig infrastrukturprosjekter     | 10               | 3.28            |
| <b>Tekniske og arbeidskulturrelaterte faktorer</b>                             |                  |                 |
| Nåværende arbeidskultur/motstand mot endring                                   | 4                | 3.83            |
| Utrent arbeidsstokk                                                            | 5                | 3.81            |
| Ikke dokumentert effekt/umoden teknologi                                       | 6                | 3.56            |
| Mangelfull tilgang på arbeidsstyrke                                            | 7                | 3.53            |
| Mangel på insentiver fra myndigheter                                           | 9                | 3.39            |
| <b>Svak "business case"</b>                                                    |                  |                 |
| Lav avkastning på investering (ROI <sup>3</sup> )/ utilstrekkelig etterspørsel | 8                | 3.39            |

### 3.2 Relevante prosjekter, nettverk og forum

#### **IA bransjeprogram for bygg og anlegg**

Bransjeprogrammet for IA (Inkluderende arbeidsliv) har som hensikt formål å kartlegge og analysere hvordan man gjennom bedre planlegging og organisering av arbeidsoperasjoner, kan redusere den del av bransjens sykefravær som relaterer seg til fysisk belastende arbeidsoperasjoner. Det er Byggenæringens Landsforening (BNL), sammen med Fellesforbundet og Norsk Arbeidsmandsforbund (NAF), som har ansvaret for å gjennomføre bransjeprogrammet Nettsted: <https://www.bnl.no/artikler/2020/iaprogrammet/>

**Norsk nettverk for robotikk og automatisering i inspeksjon og vedlikehold (RINVE-nettverket):** RINVE ble etablert i 2017 og er delfinansiert av Norges Forskningsråd. Nettverket ledes av SINTEF og har som formål å bidra til at norske leverandører og sluttbrukere kan kapitalisere på mulighetene som ligger i droner og roboter for inspeksjon og vedlikehold. Nettsted: [www.sintef.no/RINVE](http://www.sintef.no/RINVE)

<sup>3</sup> ROI: Return on Investment.

**HFC - Human Factors in Control**, er et fagnettverk som er etablert av SINTEF, Equinor, IFE, DNVGL og HCD, i samarbeid med Petroleumstilsynet. Fagnettverket fokuserer på menneskelige faktorer og har fokusert på digitalisering, kontrollsystemer, autonomi og fjernstyring. Nettverket arrangerer to møter hvert år.

Nettsted: <https://www.sintef.no/prosjekter/2005/hfc-forum/>

**RoboDecom** er et samarbeidsprosjekt mellom IFE, SINTEF, nLink, BergenRobotics, Maritime Robotics, Create Technologies Limited, TECNUBEL og MAGICS. Teknologien dette prosjektet bidrar til, vil bli et universelt verktøy for økt sikkerhet. RoboDecom kombinerer avanserte teknologier som robotteknologi, sensorteknologi, virtuell og forstørret virkelighet, 3D, radiologisk modellering, maskinlæring, menneske-maskingrensesnitt og SLAM (simultan lokalisering og kartlegging) i løsninger som radikalt vil endre hvordan vi håndterer situasjoner og oppgaver der mennesker tradisjonelt har stått i fare for å bli eksponert for radiologisk og annet farlig materiale. Det vil benytte ubemannede kjøretøy utstyrt med sensorer og muligheter for fjernstyring og halv- eller hel-autonom drift for å overta arbeid som til nå er utført manuelt.

Nettsted: <https://ife.no/prosjekt/robotisering-og-industriell-sikkerhet/>

**Bygdin (bygg- og anleggsnæringens industrialiseringsarena)** er et tidligere nettverk (2016-2019) som samlet FoU-miljøer og bedrifter fra hele verdikjeden i bygg- og anleggsprosjekter om felles innsats innenfor industrialiserte byggeprosesser. Nettverket skulle stimulere til samarbeid, nytenking, erfaringsutveksling og til etablering av forsknings- og innovasjonsprosjekter på områder som var forankret i bedriftene. Sentrale aktiviteter i nettverket har vært fakta- og mulighetsstudier, formidling og fagsamlinger. Nettverket bidro til kunnskapsutvikling innenfor automatisering, prefabrikasjon, robotisering, kundefokustert masseproduksjon, big data og 3D printing.

Nettsted: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2016/bygdin-skal-bli-ny-industrialiseringsarena/>

## 4 Utvalgte Case: Robotisering og autonom teknologi i BA

To caseprosjekter er valgt som eksempler på robotisert og automatisert teknologi i bygg og anlegg; utvikling av en autonom kompakteringsvals (AF-gruppen) og utvikling av robot-borer/robotlift (nLink). Resultatene i dette kapittelet er basert på intervjuer med involverte i prosjektene og presentasjoner av prosjektene som ble gjort under SIBA-seminaret 20. november 2020 (se også kapittel 5). Det er lagt vekt på forhold som har betydning for sikkerhet, helse og arbeidsmiljø.

### 4.1 Case 1: Autonom kompakteringsvals

#### 4.1.1 Beskrivelse av teknologien og prosjektet

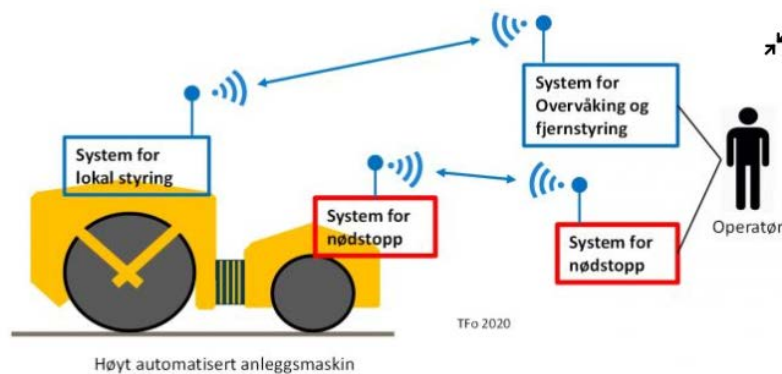
AF Gruppen, i samarbeid med SINTEF og Semcon har utviklet en autonom kompakteringsvals gjennom infrastrukturprosjektet E39 mellom Kristiansand vest og Mandal øst. AF har en sentral enhet for teknologiutvikling, som er involvert i utvikling av valsen.

Kompaktering er en oppgave som består i å presse sammen lag med fyllmasser med en kompaktor (vibrovals). Dette er en leddstyrt maskin med ståltrommel. Når valsen kjører, skaper dette svingninger og massene presses sammen og hulrom reduseres. Fyllingshøyden i veien bestemmer hvor mye energi som må tilføres i kompakteringsprosessen. Rystelser forplanter seg inn i vibrovalsen og til føreren.

Arbeidsoppgaven beskrives som monoton og kjedelig, men er avgjørende for å oppnå en god veifylling. Det er også høye kvalitetskrav, da avvik kan resultere i setninger i veifyllingen. Det er dessuten krav om å dokumentere kvaliteten på kompakteringen. Valsen må kjøre seks overflater med noe overlapp på alle punkter av fyllingen.

Med en autonom veivals ser man potensialet for mer effektiv produksjon, redusert omfang av overlapp, økt nøyaktighet og optimalt kjøremønster, i tillegg til å skåne maskinførerne/-operatørene for et monotont og fysisk belastende arbeid. Ved eventuell overvåking vil dog oppgaven allikevel potensielt være monoton. Et eksempel på effektivitetsgevinst er følgende: For at alle punkter skal vales, vil et menneske sannsynligvis ta en større margin i overlappen enn en maskin, som i større grad kan utføre nøyaktige beregninger og utførelser. Hvis valsen er 3 m, må man ha 30 cm overlapp på forrige kjøring. Et menneske må være konsentrert for å få dette til. Valsen kan optimalisere plassering/kjøring fra forrige runde.

Se Figur 8 for en skisse over den autonome kompakteringsvalsen (hentet fra Foss, 2020)



Figur 1: Prinsippskisse for styringssystemer og fjernstyrt nødstop for høyt automatiserte og mobile maskiner

**Figur 8 Skisse over autonom kompakteringsvals. Hentet fra artikkel i juristen.no av Trond Foss, 2020.**

Utviklingsarbeidet med valsen er interessant sett i lys av insentiver og drivere for utviklingen. AF Gruppen fikk en kontrakt med Nye Veier gjennom en anbudsporsess hvor det var lagt vekt på *Best Value Procurement*, dvs. ut fra hvordan byggherre får oppfylt sine overordnede mål. I tillegg åpnet de for innovasjon og utvikling, gjennom "tilleggsverdier". Da ble det mulig å komme inn med ny teknologi. AF vurderte å utvikle valsen i tre ulike prosjekt (bl.a. Ranheim – Værnes-prosjektet), men klarte ikke å utnytte denne ideen der. Valget falt på E39, Kristiansand – Mandal. Når det kommer til drivere internt var det klart at man ønsket å gjøre en monoton arbeidsoperasjon overflødig, altså arbeidsmiljøhensyn, i tillegg til at de generelt ønsker å bidra til fornyelse av bransjen.

#### 4.1.2 Erfaringer basert på intervju og andre kilder

Det er flere farer assosiert med å bruke autonom vals, og den er avhengig av sensorer for å unngå å kjøre på ting. Valsen er utstyrt med mange sensorer, og har kameraovervåkning. Områder må også gjøres utilgjengelig for uvedkommende, og det er viktig å ha færrest mulige samtidige aktiviteter i anleggsområdet. For eksempel kan det ikke være grøftegraving og legging av rør samtidig med at valsen er i sving. Det har så langt vært lite/ingen uønskede hendelser ved testing. Forberedelsene som er gjort gjennom søknadsprosesser til Arbeids-tilsynet og Statens vegvesen/Vegdirektoratet har resultert i rigide systemer, og teststart var veldig godt forberedt.

Gjennom utviklingsprosjektet har det vist seg at det er viktig å fokusere på helse, belastning og sikkerhet, og det har vært nyttig å være nært brukerne. Uten deres bidrag hadde det vært vanskelig å tilpasse systemet til virkeligheten. AF Gruppen har gode erfaringer med å utvikle slike maskiner i prosjekt. Det er nyttig for prosjektet, samtidig som man har tilgang til personer med riktig og variert kompetanse, som ingeniører med kunnskap om krav og tilgang på kompetansen til førerne. Det har også vært samarbeid med Semcon i Kongsberg som har utviklet automatiserte brøytebiler til flyplassene. Erfaringsoverføringen har blant annet inkludert at maskinførerne har vært med og observert brøytingen i praksis og kommet med innspill. Det har vært også vært et godt samarbeid med prosjektledelsen i Nye Veier som har vært med å bestemme hvor testing skulle utføres og på hvilke områder det var interessant å benytte valsen. Blant annet er det vanskelig å benytte en slik vals i tidligfase, i og med at det er mange små områder det skal arbeides på.



Informantene trakk også frem at en rammebetingelse for utviklingen innenfor dette feltet er at ny teknologi er salgbart, mens HMS er vanskeligere å kvantifisere på en slik måte at det blir bevilget penger til dyre utviklingsprosjekter.

Systemintegrasjon har vært utfordrende med tanke på at det er mange ulike leverandører som leverer ulike komponenter til maskinen. Det har vært tungt å ivareta grensesnittet mellom komponenter fra ulike leverandører. Det etterlyses derfor mer standardiserte løsninger, noe som særlig gjør seg gjeldende i Norge hvor prisen på arbeidskraft er høy.

Ved testing av den autonome valsen er erfaringen fra operatør at det er mye å gjøre utenom selve kjøringen av valsen som operatøren trengs til. Dette omfatter bl.a. service av maskinens ulike deler, hente og bringe utstyr, kontrollere én eller flere valser, følge med på at maskinen gjør jobben i henhold til intensjonene, dokumentere arbeidet, samt teste at maskinen fungerer. Operatøren antok også at det ville være behov for å kjøre vals eller andre maskiner manuelt, der det er vanskelig for maskinen å komme til, og operatøren mente derfor at det i mange år frem i tid vil være behov for arbeidskraft i tilknytning til bruk av autonome kjøretøy på bygge- og anleggsplasser.

Testing av valsen ble av operatøren beskrevet som: *"De har vært på dataen og lagt inn en rute. En rute den skal banke. Min opplevelse er at det har gått veldig fint. Sensorene har fungert, stort sett. I en demo vi gjorde så var det litt problemer med en sensor. Regna for mye eller noe sånt. Usikker. Må tåle all slags vær."* På spørsmål om det er noen farer eller risiko tilknyttet den autonome valsen ble det ansett som relativt trygt, men at operatøren selv gjør vurderinger før og under valsingen for å unngå uønskede hendelser: *"For eksempel hvis vi skal banke en plass der det er rør i bakken. Det er mange plasser du ikke kan banke. Og man kan gjøre mye galt med vals. Det kan skje skade, koste mye penger i verste fall. Stort sett fort gjort å glemme seg. [...] Det jeg pleier å gjøre er å tusle meg en tur på området og se. Ligger det noe rør her, andre ting å være obs på, spray-markerer det området. Ta en kikk på området. [...] Avventer til det er greit. Kan for eksempel være en grøft f.eks. imellom der jeg skal valse. Da holder jeg litt avstand. Kan jo rase masse i grøfta, når det står folk og jobber der. Må legges plan. Maskinen må nok gjerdes inn i starten. "* Operatøren opplevde risikoen i forbindelse med testing som veldig lav, noe som ble underbygget av risikoanalyser som er gjort, rigide systemer, avspærrede områder og søknader til myndigheter.

Regelverket for anleggsmaskiner blir komplekst fordi det også aktualiserer regelverk knyttet til transport. Det er også en utfordring at regelverket ikke er modent hva angår autonome kjøretøy. Ifølge Foss (2020) er det særlig tre hovedgrupper av regelverk som blir relevant:

- Lover og forskrifter knyttet til utforming og funksjonalitet av maskinen/kjøretøyet
- Lover og forskrifter knyttet til utprøving av automatiserte kjøretøyer
- Lover og forskrifter knyttet til bruken av den mobile maskinen

Foss foreslår at det bør gjøres et arbeid for å bedre koordinere det juridiske grunnlaget slik at man unngår at mobile maskiner som bare brukes i lukkede bygg- og anleggsplasser, ikke faller inn under Forskrift om tekniske krav og godkjenning av kjøretøy, deler og utstyr (kjøretøyforskriften).

Figur 9 gir en oversikt over funn som er relevante for sikkerhet, helse og arbeidsmiljø ved utvikling og bruk av den autonome kompakteringsvalsen. Funnene er basert på intervjuer og

presentasjoner av prosjektet, og er fordelt på menneskelige, tekniske og organisatoriske faktorer (dvs. ut fra et systemperspektiv).



**Figur 9 Menneskelige, Tekniske og Organisatoriske (MTO) faktorer for autonom vegkompakteringsvals.**

## 4.2 Case 2: Robotmaler og robotborer

nLink har utviklet en borerobot og er underveis i utvikling av en liftrobot. nLink er et selskap med oppstart i 2012 og som spesialiserer seg i utvikling av robotiserte konsepter, inkludert systemintegrasjon av hardware og software, programmering og kontroll.

### 4.2.1 Beskrivelse av teknologien og prosjektet

Prosjektet med å utvikle boreroboten startet i 2012, og er nå global produksjon med den internasjonale partneren Hilti under navnet JAIBOT. Teknologien baserer seg på en semi-automatisert prosess, og operasjonene overvåkes og styres av en kyndig operatør ved hjelp av et nettbrett. Dette har til nå vært ansatte i nLink. Boreroboten består av en drill montert på en borearm som igjen er plassert på en mindre transportenhet, se Figur 10.

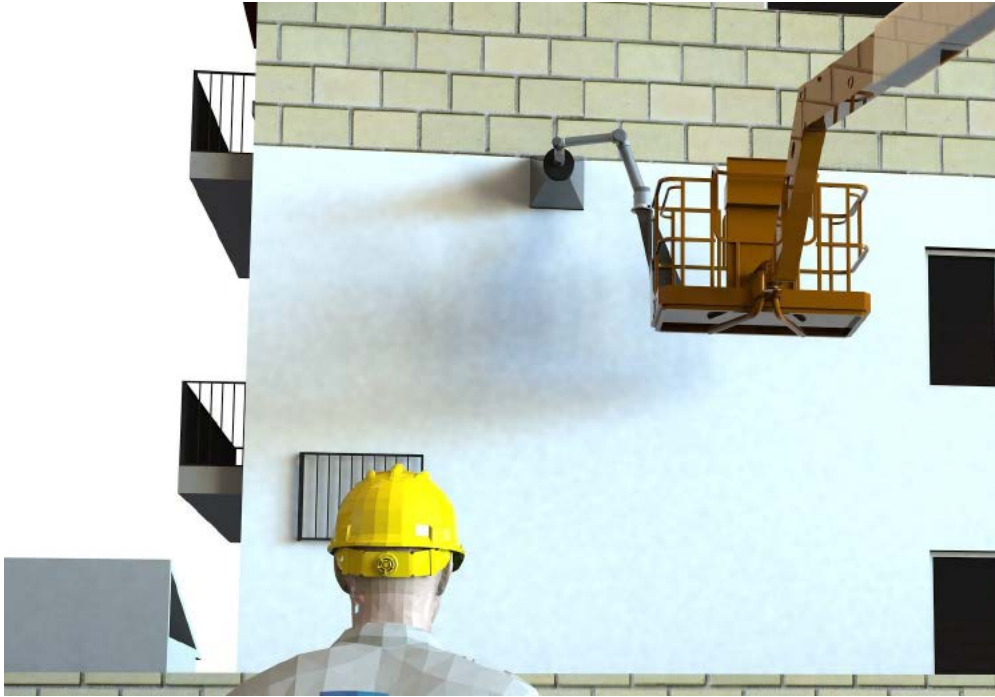
Roboten hjelper i hovedsak med vertikal boring av hull for etterfølgende mekanisk, elektrisk og rørinstallering, og skal ha en helsemessig gevinst i at dette tunge arbeidet kan gjøres av roboten i stedet for arbeidere. Siden roboten arbeider effektivt og nøyaktig, er den også tidsbesparende og kan bidra til at mindre feil gjøres. Roboten kan kobles til BIM-tegninger, og planlegging av hvor det skal bores gjøres ved hjelp av disse. Hvor og når hull bores registreres, og det er derfor mulig å spore arbeidet som gjøres på en enklere måte enn ved manuell boring.



**Figur 10 JAIBOT borerobot. Bilde: nLink/Hilti.**

nLink har også startet utvikling av en robotlift i samarbeid med BNL, Fellesforbundet og Norsk Arbeidsmandsforbund gjennom IA-programmet, og andre relevante aktører som Malermestrenes Landsforbund. Konseptet består av en tradisjonell lift, hvor en robotarm med ulik funksjonalitet er påmontert, se Figur 11. Rekkevidden til roboten blir derfor stor, og kan nå områder på byggeplass opp til 70 meter høyt. Robotarmen vil kunne utføre oppgaver som tradisjonelt er utført av mennesker som jobber fra liftkurven. Dette gjør at roboten kan føre til bedre forhold for HMS for de som jobber på byggeplasser, i at både arbeid i høyden kan unngås og fare for klemskader reduseres. Systemet vil også ha montert sensorer som skal registrere miljøet rundt for å unngå kollisjoner.

Konseptet er i utgangspunktet enkelt i at man benytter seg av allerede eksisterende utstyr (liftbom) og monterer på en robotarm som kan utføre oppgaver som vasking, maling og inspeksjon. Den kortsiktige planen er å bygge en enkel prototype som har påmontert en høytrykkspyler. En operatør vil på forhånd definere området hvor roboten skal vaske, og på sikt vil roboten også kunne kobles til BIM-tegninger. Etter at første fase med høytrykkspyler er testet skal også løsninger for maling av fasade utvikles og testes.



**Figur 11 Robotlift. Bilde: nLink.**

#### 4.2.2 Erfaringer basert på intervju og andre kilder

Ofte er byggeprosjekter sammensatte med mange leverandører, og ulike grupper arbeidere på byggeplassene, og med stadige tilpasninger og endringer. Det er en generell utfordring at det dokumenteres for lite rundt arbeidsprosesser som gjør at det er vanskelig å identifisere områder med mulighet for effektivisering og forbedring av arbeidsprosesser. For eksempel opplever nLink at det mangler data for hvor lang tid ulike prosesser tar, kostnader knyttet til disse og det er lite standardisering av indikatorer for hva man ønsker å oppnå i prosjektene. Det er også viktig å måle hvordan det faktiske, ferdigstilte bygget fremstår i henhold til planene, gjennom å synliggjøre eventuelle endringer og avvik. En hemmer for å ta i bruk ny teknologi er også at det er lite kompetanseoverføring mellom ulike prosjekter. Nye prosjekter vil ha nye sammensetninger av leverandører og nye utfordringer som må håndteres, noe som kan føre til vanskeligheter for erfaringsoverføring. Disse forskjellene mellom prosjektene kan imidlertid også ses på som et argument for at det er viktig med overføring av kompetanse og erfaringer.

For å få et kommersielt godkjent robotisert verktøy som kan brukes på byggeplasser må disse være godkjent etter aktuelle standarder. Denne prosessen er gjennomført for boreroboten, men ikke for robotliften. Det viktigste er at de sikkerhetskritiske systemene er ivaretatt, og dette finnes det standarder for, men man må benytte standarder med riktig ytelsesnivå ("performance level"). Oppbyggingen av software for sikkerhet vil være todelt, der et underliggende system fungerer som sikkerhetskontroller. Styringen av det robotiserte verktøyet vil være koblet til dette slik at om man for eksempel kommer for nært en vegg, vil det underliggende systemet overstyre dette. De farligste situasjonene identifisert er velt og klemfare. Infrastruktur med et system av sensorer og andre måter å kommunisere med omkringliggende konstruksjoner og aktører, og bevegelsesmønster for disse, er særlig viktig for sikkerheten. Om sensorer svikter eller måler feil, vil ikke roboten kunne operere sikkert. Regelverket som må følges er oversiktlig, og CE-godkjenningen som kreves i Maskin-sikkerhetsforskriften og brukes i Europa fungerer bra. Det oppleves imidlertid som

tidkrevende å få god nok dokumentasjon på at sensorer som brukes er gode nok i henhold til behovet, og det kan oppstå utfordringer ved at det brukes ulike standarder på et internasjonalt nivå.

Bedre samarbeid mellom ulike leverandører og samkjøring av systemer som brukes vil være en forutsetning både for å bygge tillit til, og legge til rette for hensiktsmessig bruk av ny teknologi. For eksempel opplevde nLink at en underentreprenør i et prosjekt ikke ønsket å bruke hullene som ble boret av roboten. Det bør også utvikles infrastruktur som er nødvendig for å ta i bruk robotisert teknologi, som IoT (Internet of Things) og bruk av sensorer. BIM vil også være et viktig verktøy å koble nye teknologier til, både i planlegging og for bedre oversikt og dokumentasjon av arbeid som utføres. En utfordring med bruk av boreroboten har for eksempel vært at feil referansesystem har blitt benyttet, selv om entreprenør har signert at dette har vært på plass. Derfor er det viktig at kvalitetssikringsrutiner er utarbeidet og fulgt for å unngå feilboring. Generelt er folk som jobber på byggeplassene gode til å improvisere, og en kombinasjon av kunnskapen til disse og mulighetene til planlegging og oversikt som BIM gir, vil være fordelaktig. I neste omgang vil også dokumentasjon av prosesser gjennom nye teknologiske løsninger også kunne være til hjelp for bedre samarbeid.

Innføring av robotiserte verktøy kan føre til forbedring for helse, i at tungt og tidkrevende arbeid kan overføres til disse verktøyene. For løsningene nLink har utviklet gjelder dette takboring, og forberedelser og utføring av vasking og malearbeid. På sikt kan også disse løsningene brukes til inspeksjon, noe som kan føre til systematisk deteksjon av avvik og mer effektiv dokumentasjon av disse. En annen fordel ved bruk av borerobot er at den krever ryddige områder. Det betyr generelt strengere krav til ryddighet og dermed planlegging/-kontroll av arbeid som kan ha sikkerhetsgevinsten utover risiko ved selve boreoperasjonen. For utføring av arbeid vil ikke roboter garantert levere kvalitet, men det er lettere å dokumentere arbeidet og dermed oppdage avvik, og områder med behov for forbedring.

Figur 12 gir en oversikt over funn som er relevante for sikkerhet, helse og arbeidsmiljø ved utvikling og bruk av robotborer/robotlift. Funnene er basert på intervjuer og presentasjoner av prosjektet, og er fordelt på menneskelige, tekniske og organisatoriske faktorer (dvs. ut fra et systemperspektiv).



Figur 12 Menneskelige, Tekniske og Organisatoriske (MTO) faktorer for robotborer/robotlift.

#### 4.3 Oppsummering

I det følgende er hovedmomentene fra de to casene, autonom komprimeringsvals (AF Gruppen) og robotborer/robotlift (nLink) oppsummert:

- **Teknologi for å møte behov hos bruker** – Begge casene er eksempler på ny teknologi som er positive for brukeren/operatøren. Det har klare fordeler for sikkerhet og arbeidsmiljø å innføre robotisert og autonom teknologi. Brukerne er glade for å slippe jobb som er tung, monoton og kjedelig, og som i tilfellet komprimeringsvals medfører en god del vibrasjoner. Operatører og øvrige brukere har vært positive til prosjektene.
- **Endring i arbeidsoppgaver** – Tap av arbeidsplasser som følge av robotisering og automatisering har ikke vært en stor bekymring i prosjektene. Bransjen har også generelt vært flinke til å bruke fagforeningene. Det har imidlertid vært mer bekymring for tap av arbeidsplasser knyttet til å automatisere andre typer anleggsmaskiner (gjelder prosjektet om autonom komprimeringsvals).
- **Krevende grensesnitt** – Grensesnitt mellom systemleverandører, både teknisk og organisatorisk har vært utfordrende. Det er stor konkurranse mellom systemleverandørene, og ved utvikling av den autonome komprimeringsvals har det blitt erfart at leverandørene har sine egne systemer med manglende samsvar med hverandre. Ved utvikling av robotborene har det blitt utstedt CE-godkjenning, som er en samsvarsvurdering på EU-nivå relatert til sikkerhet, og oppleves som et fungerende system.
- **Kommunikasjon mellom leverandører og brukere** – Ved utvikling av ny teknologi er det nødvendig med god kommunikasjon mellom leverandører av teknologien og brukerne for å etablere et helhetsspektiv som ivaretar rammebetingelser og krav på byggeplassen. For eksempel er informasjon om arbeidsprosesser og

bevegelsesmønster tilbakemeldinger som er nødvendige for at teknologien skal være tilpasset behovet. God kommunikasjon med aktørene som benytter seg av teknologien, og ulike aktører som er tilstede på byggeplass vil også være nødvendig for opparbeidelse av tillit til den nye teknologien.

- **Innovasjon og teknologiutvikling i kontrakter (prosjektbasert)** – At byggherre gir rom for innovasjon og teknologiutvikling i kontrakter ses på som veldig positivt. Den autonome komprimeringsvalsen har blitt utviklet i forbindelse med et konkret prosjekt, og det er gode erfaringer med å utvikle slike maskiner i prosjekter. Det er nyttig for prosjektet, samtidig som man har tilgang til personer med riktig og variert kompetanse, som ingeniører med kunnskap om krav og fagarbeidere/brukere med praksiskunnskap.
- **Foranderlighet** – Alle byggeprosjekter er ulike, og det er utfordringer med overføring av kunnskap, både på tvers av prosjekter og aktører, noe som kan være et hinder for innføring av ny teknologi. Også det enkelte byggeprosjekt er preget av tilpasninger og endringer underveis i prosjektene, og ny teknologi må være hensiktsmessig tilpasset denne foranderligheten. Arbeidsoperasjonene som automatiseres er imidlertid gjentakende, og å legge til rette for kunnskapsoverføring for disse gjennom eksisterende arenaer bør være i fokus.
- **Store kapitalkostnader er en sterk hemmer** – Flere rapporterer at en hemmer for teknologiutvikling og -bruk er at det kreves store tidlige investeringer. Derimot vil byggherrekrav til entreprenører kunne stimulere til bruk av ny teknologi. Ifølge informanter er vanlig praksis i Norge for å få til utvikling er at når man utvikler noe nytt, f.eks. en entreprenør som tar i bruk injeksjonsrigg (utstyr for å pumpe sement i fjellet), blir den nye teknologien/praksisen etter hvert bakt inn som nye krav i bransjen.
- **Data** – Det er viktig med gode input data, både for å kunne fokusere på områder med behov for effektivisering og forbedring, men også tekniske data som input til roboter, f.eks knyttet til sensorer. Robotiserte verktøy som er knyttet opp mot planleggingsverktøyet BIM kan føre til bedre effektivitet og dokumentasjon av arbeidet som gjøres.

## 5 Funn fra SIBA-seminar robotisert og automatisert teknologi for økt sikkerhet og redusert belastning

Den 20. november 2020 ble det gjennomført et SIBA-seminar virtuelt med tema robotisering, automatisering og ny teknologi – for økt sikkerhet og redusert belastning.

Det var totalt 27 deltakere, hvorav:

- Byggherre (6)
- Entreprenører (7)
- Prosjekterende/rådgivere (2)
- Arbeidstakerorganisasjoner (2)
- Arbeidstilsynet (3)
- Andre inviterte (BNL, SfS BA, nLink; 3)
- Fra SIBA-prosjektet (4)

Seminarer besto av en blanding av faglige innslag, innslag fra næringen, og gruppediskusjoner, se Figur 13.

|                                                                                                                                                                                                                                              |                   |                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br><br><b>Program for SIBA-seminar</b><br><br><i>Robotisering og ny teknologi for økt sikkerhet og redusert belastning</i><br><br><b>20. november 2020</b> | <b>SIBA-forum</b> |                                                                                                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                              | 09:00:            | Velkommen og introduksjon                                                                                              |
|                                                                                                                                                                                                                                              | 09:15:            | Hva kan vi lære fra andre bransjer?<br>v/Asbjørn Lein Aalberg, SINTEF                                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                              | 09:50:            | IA-programmet for et langt arbeidsliv i bygg og anlegg<br>v/Gudmund Engen, BNL                                         |
|                                                                                                                                                                                                                                              | 10:15:            | Pause                                                                                                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                              | 10:25:            | Robotteknologi for bedre HMS og kvalitet<br>v/Tomas Henninge, nLink                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                              | 10:50:            | Erfaringer fra utvikling av autonom vals på anleggsprosjekt<br>v/John Ivar Fagermo og Lars Mattis Andresen, AF-gruppen |
|                                                                                                                                                                                                                                              | 11:15:            | Intro til gruppearbeid                                                                                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                              | 11:25:            | Lunsjpause                                                                                                             |
|                                                                                                                                                                                                                                              | 12:00:            | Gruppediskusjoner                                                                                                      |
|                                                                                                                                                                                                                                              | 12:40:            | Oppsummerende diskusjon i plenum                                                                                       |
|                                                                                                                                                                                                                                              | 13:00:            | Slutt                                                                                                                  |

Figur 13 Agenda for SIBA-seminaret.

Gruppediskusjonene ble gjennomført i siste del av seminarer, og tema for diskusjonene var hovedproblemstillingen *"Hvilke forhold er viktige for at robotisering og automatisering skal få god effekt på sikkerhet og helse?"*. Gruppene var satt sammen slik at de fleste aktørene på seminarer var representert i alle gruppene. Tre grupper rapporterte inn 3-5 punkter som ble diskutert i forbindelse med hovedproblemstillingen. I det følgende blir det gjengitt sentrale punkter fra gruppediskusjonene, med utgangspunkt i resultatene som ble samlet inn ved hjelp av det online samhandlingsverktøyet *Menti*<sup>4</sup>, se Figur 14.

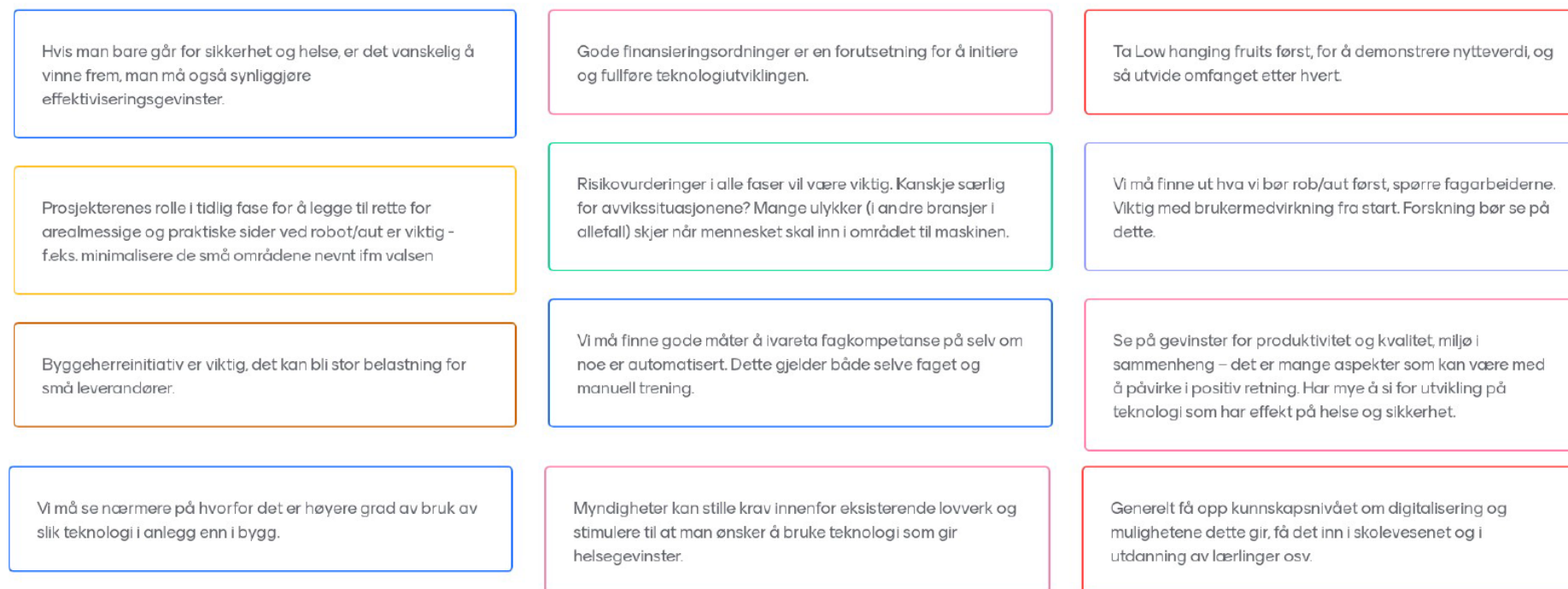
<sup>4</sup> <https://www.mentimeter.com/>



Overordnet kan temaene fra gruppediskusjonene grupperes i fire kategorier:

1. Målsetting:
  - Utvikling av ny teknologi som robotisering og automatisering bør forankres i forbedring av både HMS-aspekter og økonomiske aspekter knyttet til effektivitet og kvalitet.
2. Planlegging og endringsledelse:
  - Risikovurderinger vil spille en viktig rolle i alle faser, og både prosjekterende og myndigheter spiller viktige roller med tanke på tilrettelegging og oppfølging av krav.
3. Brukermedvirkning og kompetanse:
  - Det bør diskuteres med brukere av ny teknologi hvilke områder som bør fokuseres på, ut fra ønsker og behov, og fagkompetanse må ivaretas.
  - Man bør fokusere på en gradvis utvikling og tilpasning av ny teknologi, og man må følge opp utviklingen med tanke på utdanning og opplæring.
4. Finansering av ny teknologi:
  - Finansierungsordninger og insentiver for utvikling av ny teknologi må på plass, for eksempel gjennom byggherre og offentlige ordninger.

# Hvilke forhold er viktige for at robotisering og automatisering skal få god effekt på sikkerhet og helse?



Figur 14 Resultater fra gruppediskusjoner i SIBA-seminar 20. november 2021.

## 6 Konklusjon og utvalgte områder for videre arbeid

I Tabell 5 oppsummerer vi foreløpige funn om hvilke områder og forhold som ser ut til å være viktige fremmere for å lykkes med robotisert og automatisert teknologi, og for at denne skal få gode effekter på redusert belastning og økt sikkerhet. Funnene er basert på gjennomgang og vurdering av læring fra andre bransjer som har mer erfaring med avansert teknologi, case-studiene om autonom kompakteringsvals og robotborer og -lift, samt SIBA-seminaret med samme tema i november 2020.

**Tabell 5 Oversikt over antatt fremmende forhold for å lykkes med robotisert og automatisert teknolog i bygg- og anleggsnæringen i Norge, relatert til Menneskelige (M), Tekniske (T) og Organisatoriske (O) faktorer.**

| Nr. | Fremmende forhold                                                                                                                                                                                                                                              | Kategori |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 1   | Ivareta et helhetlig perspektiv i utvikling, uttesting og drift – både menneskelige (holdninger, kompetanse, kultur), organisatoriske (samarbeid, kommunikasjon, ledelse, roller) og teknologiske faktorer (sensorer, systemintegrasjon, software og hardware) | M, T, O  |
| 2   | Byggherre legger til rette og skaper incentiver for teknologiutvikling og -utprøving                                                                                                                                                                           | O        |
| 3   | Involvere arbeidstakere i utviklingsfasen, ikke kun i opptrening før drift                                                                                                                                                                                     | M        |
| 4   | Det automatiseres brukersentrert og med tidlig brukermedvirkning ut fra arbeidstakernes behov og ønsker                                                                                                                                                        | M        |
| 5   | Tidlig fase planlegging av utførende, prosjekterende og byggherre for å tilpasse operasjonsmiljø for nytt utstyr                                                                                                                                               | O        |
| 6   | At byggherreforskriftens krav til tidlig planlegging blir utnyttet i denne sammenheng                                                                                                                                                                          | O        |
| 7   | Risikovurderinger må gjøres i alle faser og ved vesentlige endringer; sørge for god endringsledelse                                                                                                                                                            | M, T, O  |
| 8   | Utvikle automatisert teknologi der man antar at det både er effekter på HMS og på kvalitet og effektivitet                                                                                                                                                     | T        |
| 9   | Øke datamengde og tilgjengelighet for å "spille robotene gode", men også for å demonstrere nytteverdi; BIM som kjerneteknologi i dette arbeidet                                                                                                                | T        |
| 10  | Kommunikasjon mellom ulike aktører i driftsfasen er viktig for å sørge for at teknologien blir brukt som forutsatt                                                                                                                                             | O        |
| 11  | Lære av hverandres utviklingsprosesser og utvikle beste praksis for god design og effektiv implementering, i stedet for fokus på selve teknologien som kan være produsenteid og kommersiell                                                                    | O        |
| 12  | Løse utfordringene og utnytte mulighetene i at bygg- og anleggsplasser er i kontinuerlig forandring, og at aktiviteter og organisering varierer fra prosjekt til prosjekt                                                                                      | T, O     |
| 13  | Fokusere på at teknologien skal være så transparent som mulig for brukeren, slik at fagarbeideren kan forstå hva som foregår, og ha den nødvendige tilliten til teknologien                                                                                    | M, T, O  |
| 14  | Øke kunnskapsnivået til arbeidstakere og bransjen som helhet når det gjelder digitalisering og automatisering                                                                                                                                                  | M, O     |

## 6.1 Områder for videre undersøkelser

**Foreløpige FoU-ideer av ulik modenhet oppsummeres under:**

- **Roboten som kollega – profesjoner i endring. Hvordan arbeider man med roboter?** Hvordan opplever fagarbeidere den økende digitaliseringen? Vi vet lite om hvordan en byggeplass vil fungere med en robot eller automatisert teknologi. For eksempel vil høy utstrekning av avansert teknologi endre arbeidsprosesser, kommunikasjon, utforming, samarbeid, tilrettelegging, design og planlegging. Det bør undersøkes hvordan inntoget av roboter eller annen avansert teknologi endrer samspill og arbeidsmiljø på bygg- og anleggsplassen.
- **Hva ønsker fagarbeiderne å automatisere?** – Undersøke hvilke oppgaver som arbeidstakerne er motiverte til henholdsvis å fjerne, og å forsterke:
  - Hvilke oppgaver er kjedelige, belastende, farlige, fører til tidstap, og hvilke oppgaver gir god utnyttelse av fagarbeidernes kompetanse?
  - Grunnlag for å prioritere innenfor hvilke arbeidsoppgaver og prosesser man kan vurdere utvikling og bruk av robotisert/automatisert teknologi.
- **Hvordan påvirker automatisert teknologi sikkerhet i bygg og anlegg?**
- **Hvordan påvirker den nye byggherreforskriften arbeid med ny avansert teknologi og risikostyring gjennom hele prosjektets livsløp?** Ergonomi, risikostyring og planlegging – undersøke erfaringer og potensielle måter å oppfylle intensjonene i forskriften og potensiale for å bruke dette inn i utvikling og bruk av robotisert/automatisert teknologi, og for å undersøke hvordan insentiver for bruk av ny teknologi påvirkes.
- **Hva er beste praksis** for å gjennomføre en utviklingsprosess hos en entreprenør, med vekt på endringsstyring, utprøving og risikovurdering? – Undersøke erfaringer fra ulike utviklings- og implementeringsprosesser.

## 7 Referanser

Ardiny, H., Witwicki, S., Mondada, F. (2015). Construction automation with autonomous mobile robots: A review. *3rd RSI International Conference on Robotics and Mechatronics (ICROM)*, Tehran, 2015, pp. 418-424, <https://doi.org/10.1109/ICRoM.2015.7367821>

Aviation Safety Network (2019). Number of fatal accidents and 5-year moving average. <https://aviation-safety.net/graphics/infographics/Fatal-Accidents-Per-Year-1946-2019.jpg>. Hentet 16.11.2020.

Bakken, T., Holmstrøm, S., Johnsen, S.O., Merz, M., Grøtli, I.G., Transeth, A., Risholm, P., Storvold, R. (2019). Bruk av droner i nordområdene, HMS forhold knyttet til bruk av droner i petroleumskativiteten i nord. SINTEF-rapport 2019:001284.

Chialastri, A. (2012). Automation in aviation. *Automation*, Florian Kongoli, IntechOpen, DOI: 10.5772/49949. Available from: <https://www.intechopen.com/books/automation/automation-in-aviation>

Delgado, J.M.D., Oyedele, L., Ajayi A. Akanbi, L., Akinade, O., Bilal, M. Owolabi, H. (2019). Robotics and automated systems in construction: Understanding industry-specific challenges for adoption, *Journal of Building Engineering*, 26, 100868. ISSN 2352-7102.

Endsley, M.R. (2018). Level of automation forms a key aspect of autonomy design. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 12(1), 29-34.

Endsley, M.R. (2019). Human Factors & Aviation Safety, Testimony to the United States House of Representatives Hearing on Boeing 737-Max 8 Crashes - December 11, 2019.

Enova (2020). <https://www.enova.no/om-enova/om-organisasjonen/teknologiportefoljen/sjodrone-i-helelektrisk-transportkjede/> Hentet 01.11.2020.

Fjørtoft, K.E., Rødseth Ø.J. (2020). Using the operational envelope to make autonomous ships safer. *Proceedings of the 30th European Safety and Reliability Conference and the 15th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference*. Research Publishing, Singapore.

Foss, T. (2020). Hva skal til for at også anleggsmaskiner blir "førerløse"? *Juristen*, September, 2020. <https://juristen.no/fag/2020/09/hva-skjal-til-ogs%C3%A5-anleggs%C2%ADmaskiner%C2%A0blir-%C2%ABf%C3%B8rerl%C3%B8se%C2%BB> Hentet 03.02.2021.

Hoem, Å.S., Fjørtoft, K., Rødseth, Ø.J. (2019). Addressing the Accidental Risk of Maritime Transportation: Could Autonomous Shipping Technology Improve the Statistics. *TransNav*, Vol. 13, No. 3.

IMO (2019). Interim guidelines for MASS trials. International Maritime Organization. London, June 2019.

Intelligent transport (2020). <https://www.intelligenttransport.com/transport-articles/568/the-copenhagen-metro-a-247-system/> Hentet 01.11.2020.

Jernbanedirektoratet (2020). Jernbanen mot 2050 – Jernbanedirektoratets perspektivanalyse, fagrapport.

Johnsen, S.O., Holen, S., Aalberg, A.L., Bjørkevoll, K.S., Evjemo, T.E., Johansen, G., Myklebust, T., Okstad, E., Pavlov, A., Porathe, T. (2020). Automatisering og autonome systemer: Menneskesentrert design i boring og brønn. SINTEF-rapport 2020:01442.

Kongsberg (2020). Autonomous ship project, key facts about Yara Birkeland. <https://www.kongsberg.com/maritime/support/themes/autonomous-ship-project-key-facts-about-yara-birkeland/>. Hentet 01.11.2020.

Luftfartstilsynet (2019). Norske flysikkerhetsresultatet 2019. <https://luftfartstilsynet.no/globalassets/dokumenter/flysikkerhet/norske-flysikkerhetsresultater/norske-flysikkerhetsresultater-2019.pdf>. Hentet 16.11.2020.

Moen, T. (2018). Autonom næringstransport på veg. Foredrag ved Enovakonferansen, Trondheim, 30.-31. januar 2018.

NTSB (2017). Collision between a car Operating With Automated Vehicle Control Systems and a tractor-Semitrailer Truck. National Transportation Safety Board. Accident Report NTSB/HAR-17/02, PB2017-102600. Washington DC.

Price, J. (2019). What Accident Investigation Has Taught Us (And Continues to Teach Us) About Human Factors in Automated Transportation. National Transportation Safety Board. Presentation HFC-forum, Oslo 7<sup>th</sup> – 8<sup>th</sup> May 2019. <https://www.sintef.no/projectweb/hfc/moetereferat/>

Railway Technology (2020). Copenhagen Metro, Light Rail and Metro Project, Denmark. <https://www.railway-technology.com/projects/copenhagen/> Hentet 01.11.2020.

Rødseth, Ø.J. (2018). Defining Ship Autonomy by Characteristic Factors, *Proceedings of ICMAS 2019*, Busan, Korea, ISSN 2387-4287.

SAE (2018). Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems. SAE International standard. Revised 2018-06-15.

Teoh, E.R, Kidd, D.G. (2017). Rage against the machine? Google's self-driving cars versus human drivers, *Journal of Safety Research*, 63, Pages 57-60, <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2017.08.008>.

Volvo Car Group (2017). Volvo Cars to supply tens of thousands of autonomous drive compatible cars to Uber. <https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/pressreleases/216738/volvo-cars-to-supply-tens-of-thousands-of-autonomous-drive-compatible-cars-to-uber>. Hentet 03.02.2011.

Wróbel K., Montewka J., Kujala P. (2017) Towards the assessment of potential impact of unmanned vessels on maritime transportation safety. *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 165, pp.155-169. ISSN 0951-8320.

## Vedlegg A: Oversikt over identifiserte prosjekter og teknologier i forstudien.

| Tittel                   | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Nivå av autonomi            | Mål/ gevinster                                  | Bygg/ anlegg | Status                                                                                                             | Ansvarlig/ deltakere                 |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Autonom vals</b>      | Autonom kompakteringsvals som på sikt er tenkt fjernoveråket fra kontrollrom. Fjerner belastning både fysiologisk og mentalt. Utvikles og testes i tilknytning til veiprosjektet E39 mellom Kristiansand og Mandal.<br><a href="https://www.sintef.no/siste-nytt/verdens-forste-selvkjorende-vals-testes-ut-pa-anleggs plass/">https://www.sintef.no/siste-nytt/verdens-forste-selvkjorende-vals-testes-ut-pa-anleggs plass/</a><br><a href="https://gemini.no/2020/09/her-valser-den-alene-pa-anleggs plassen/">https://gemini.no/2020/09/her-valser-den-alene-pa-anleggs plassen/</a><br><a href="https://www.sintef.no/prosjekter/autonom-vals/">https://www.sintef.no/prosjekter/autonom-vals/</a> | 3 - Betinget automatisering | Belastning<br>Effektivitet<br>Kvalitet<br>Miljø | Anlegg       | Valsen er testet ved flere anledninger, også uten en person i førerhuset, men er et godt stykke unna normal drift. | AF Gruppen, SINTEF, Semcom, Hamm     |
| <b>Borerobot</b>         | Forhåndsprogrammert robotborer for takboring. Boreroboten heter nå JAIBOT og produseres og distribueres globalt av Hilti.<br><a href="https://www.tu.no/artikler/folk-i-bransjen-sa-robot-ideene-var-umulige-na-tjener-grunderne-penger-pa-boreroboten/451986">https://www.tu.no/artikler/folk-i-bransjen-sa-robot-ideene-var-umulige-na-tjener-grunderne-penger-pa-boreroboten/451986</a><br><a href="http://www.nlink.no">www.nlink.no</a>                                                                                                                                                                                                                                                           | 2 - Delvis automatisering   | Belastning<br>Effektivitet<br>Kvalitet          | Bygg         | Brukt i testprosjekter og er under utarbeidelse i en 2.0-versjon. Ikke i bruk i norsk bygg og anlegg i dag.        | nLink<br>Hilti                       |
| <b>Robot jernbinding</b> | Robotisert binding av armeringsjern testes ut i tilknytning til veiprosjektet E39 mellom Kristiansand og Mandal. Den skal testes på mindre brukonstruksjoner, kulverter og andre konstruksjoner som krever mye armering og mange timer med jernbinding.<br><a href="http://www.bygg.no/article/1409300">http://www.bygg.no/article/1409300</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 2 - Delvis automatisering   | Belastning<br>Effektivitet                      | Anlegg       | Ukjent                                                                                                             | Rebartek i samarbeid med Kruse Smith |



| Tittel                                 | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Nivå av autonomi          | Mål/ gevinster                      | Bygg/ anlegg   | Status                                                                                                                                                                            | Ansvarlig/ deltakere                   |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>Robotlift for vasking og maling</b> | Industriell robotarm sertifisert til å operere sammen med mennesker. Utvidet rekkevidde ved hjelp av bomlift eller annet hyllevare løfteutstyr. Bruksområde er operasjoner på store objekter som tak, vegger og bruer. Maling, vask, inspeksjon, osv.<br><a href="http://www.nlink.no">www.nlink.no</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 2 - Delvis automatisering | Belastning<br>Helse<br>Effektivitet | Bygg og anlegg | Tidlig fase av utviklingsarbeidet. Bygger en enkel prototype med høytrykkspyler for raskt å få tilbakemeldinger fra bransjen.                                                     | nLink, samarbeid med BNL/IA            |
| <b>Electric Site Research Project</b>  | Volvo CE og Skanska har driftet elektriske autonome anleggsmaskiner for automatisert masseuttak fra steinbrudd i Sverige.<br><a href="https://www.volvoce.com/global/en/this-is-volvo-ce/what-we-believe-in/innovation/electric-site/">https://www.volvoce.com/global/en/this-is-volvo-ce/what-we-believe-in/innovation/electric-site/</a><br><a href="https://www.skanska.se/om-skanska/skanska-i-sverige/innovation/electric-site/">https://www.skanska.se/om-skanska/skanska-i-sverige/innovation/electric-site/</a>                                                                                                                                                                                                   | 4 - Høy automatisering    | Effektivitet<br>Miljø               | Anlegg         | Ukjent                                                                                                                                                                            | Skanska Sverige, i samarbeid med Volvo |
| <b>Autonome lastebiler</b>             | Selskapet Brønnøy Kalk A/S har avtale med Volvo om selvgående lastebiler som transporterer og lossere kalkstein helt automatisk. Målet er at seks førerløse lastebiler skal kjøre kalkstein over en strekning på fem kilometer. Lastebilene vil styres utenfra av en erfaren yrkessjåfør som følger med og kan gripe inn. I første omgang er det autonome lastebiler som kjører gjennom en tunell mellom depotet og knuseren. Hele bilflåten på 6-7 biler skal styres av hjullasterføreren på mellomlageret.<br><a href="https://www.tu.no/artikler/se-video-forerlose-lastebiler-kjorer-stein-hos-bronnoy-kalk/472973">https://www.tu.no/artikler/se-video-forerlose-lastebiler-kjorer-stein-hos-bronnoy-kalk/472973</a> | 2 - Delvis automatisering | Effektivitet                        | Anlegg         | Det er drevet testing i tunnelen til Brønnøy Kalk i 2 år. Planen var å starte autonom drift etter sommerferien 2020. Neste trinn er å kjøre ned i gruven med autonome lastebiler. | Brønnøy Kalk, i samarbeid med Volvo    |

| Tittel                          | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Nivå av autonomi          | Mål/ gevinster                        | Bygg/ anlegg    | Status                                                                                                          | Ansvarlig/ deltakere                                                                                       |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Hephaestus - fasaderobot</b> | Hephaestus-prosjektet (EU Horizon2020) foreslår en ny automatisert måte å installere gardinveggmoduler på (fasadeelementer). Hephaestus er hovedsakelig basert på en kabeldrevet robot og et modulært end-effector. nLink er sammen med TUM ansvarlig for denne enheten, montering av braketter på gulvplatene, inkludert borehull, innføring av bolter og levering av riktig dreiemoment.<br><a href="https://www.hephaestus-project.eu/">https://www.hephaestus-project.eu/</a>                                                              | 2 - Delvis automatisering | Sikkerhet<br>Effektivitet<br>Kvalitet | Bygg            | Forskningsprosjekt pågår                                                                                        | Consortium: Tecnia, TUM, Fraunhofer IPA, Cnrs/Lirmm, Vicinay Cemvisa, Focchi, Acciona, R2M Solution.       |
| <b>RoboDecom</b>                | nLink har fått 16 MNOK fra Norges forskningsråd for å utvikle teknologi og prosesser for å øke sikkerheten og effektiviteten i kjernefysisk decommissioning.<br><a href="https://ife.no/prosjekt/robotisering-og-industriell-sikkerhet/">https://ife.no/prosjekt/robotisering-og-industriell-sikkerhet/</a>                                                                                                                                                                                                                                    | 4 - Høy automatisering    | Sikkerhet<br>Effektivitet             | Ikke direkte BA | Forskningsprosjekt pågår                                                                                        | nlink, IFE, SINTEF, Bergen Robotics, Maritime Robotics, Create Technologies Limited, Technobel and Magics. |
| <b>Scaled Robotics</b>          | Scaled Robotics skanner konstruksjonen i byggeprosjektet til enhver tid, og registrerer om man bygger i henhold til tegninger (Bygningsinformasjonsmodellering - BIM), og man får muligheten til rette opp i feil umiddelbart. Ved bruk av blant annet skanning og bildegjenkjenningsteknologi til å lage en oversikt, kan man med Scaled Robotics' programvare identifisere feil og mangler ved konstruksjonen, og deretter varsle om dette. Også fremdriften og kvaliteten på det som bygges i prosjektet kan måles, og rapporteres tilbake. | 1 - Begrenset støtte      | Sikkerhet<br>Effektivitet<br>Helse    | Bygg            | Roboten rullet inn i AFs prosjekter i 2018, og programvaren har gjennomgått grundig testing av funksjonaliteten | Scaled Robotics, AF, OBOS                                                                                  |

| Tittel                         | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Nivå av autonomi     | Mål/ gevinster            | Bygg/ anlegg | Status                                                        | Ansvarlig/ deltakere  |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------|
|                                | <a href="https://afgruppen.no/nyheter/2020/02/skyter-inn-millioner-i-automatisering/">https://afgruppen.no/nyheter/2020/02/skyter-inn-millioner-i-automatisering/</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                      |                           |              |                                                               |                       |
| <b>Droner Statens vegvesen</b> | Geomatikkseksjonen i Statens vegvesen har i forbindelse med byggingen av ei ny bru i Oppland, tatt i bruk to droner for produksjon av høyoppløselige ortofoto og produksjon av terrengmodeller ved hjelp av fotogrammetri, melder Vegnett på sine nettsider. Testprosjektet i Vegvesenet har vært knyttet til bygging av Ny Hellefoss bru på fylkesveg 251 i Etnedal i Oppland. Der har dronepilotene laget ortofoto to ganger i måneden for å sikre dokumentasjon i anleggsperioden. Selve flyvningen tar ca. 14 minutter å gjennomføre på hele anlegget, og da kartlegges et areal som er om lag 180 dekar (180.000 m <sup>2</sup> ) stort. (Bygg.no).<br><br><a href="http://www.bygg.no/article/1385992">http://www.bygg.no/article/1385992</a> | 1 - Begrenset støtte | Effektivitet<br>Sikkerhet | Anlegg       | I drift                                                       | Statens vegvesen      |
| <b>NCC-drone</b>               | Droner benyttes til forskjellige oppgaver i virksomheten til NCC. I infrastrukturprosjekter er det helt avgjørende å kunne beregne volumer, mengder og arbeidstimer raskt, både for å kunne utarbeide informasjon for beregninger og for å visualisere prosjekter. Med en drone tar det bare 15 minutter å lage fotografier fra ulike vinkler, slik at man kan måle høydeforskjeller i et område på 100 000 kvadratmeter. Dermed vet man nøyaktig hvor mye materiale man trenger. Man får dessuten grafikk som avdekker hver minste detalj. Det ville tatt flere dager å utføre samme jobb med tradisjonelle metoder. (NCC.no)                                                                                                                      | 1 - Begrenset støtte | Effektivitet<br>Sikkerhet | Anlegg       | Tjeneste fra NCC, brukt i bygging av kraftanlegg på Helgeland | NCC (Helgeland Kraft) |

| Tittel                                                | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Nivå av autonomi          | Mål/ gevinster                                               | Bygg/ anlegg | Status               | Ansvarlig/ deltakere                                                                                           |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                       | <a href="https://www.ncc.no/vare-tjenester/kundelofte/digital-bygging/droner/">https://www.ncc.no/vare-tjenester/kundelofte/digital-bygging/droner/</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                           |                                                              |              |                      |                                                                                                                |
| <b>Vibrasjons-reducerende kompressorborer</b>         | Vibrasjonsreducerende modifikasjoner av utstyr er et av områdene for BNL IA-programmets utprøving av ny teknologi. Det er 6 anleggsentreprenører som skal teste en ettermontert vibrasjonsdemper på borehammer. Det er antatt 80-90 % reduksjon i vibrasjonsbelastning.<br><br><a href="https://www.bnl.no/artikler/2020/iaprogrammet/">https://www.bnl.no/artikler/2020/iaprogrammet/</a>                                                                                          | 1 – Begrenset støtte      | Belastning                                                   | Anlegg       | Utvikling og testing | BNL IA, Stami og 6 anleggs-entreprenører                                                                       |
| <b>Trestøv-prosjektet</b>                             | Bedre ventilasjonssystem for forebygging av helserisiko knyttet til luftveiene for personell i trevareproduksjon som del av byggenæringens verdikjede.<br><br><a href="https://www.bnl.no/artikler/2020/iaprogrammet/">https://www.bnl.no/artikler/2020/iaprogrammet/</a>                                                                                                                                                                                                           | 2 - Delvis automatisering | Belastning<br>Helse                                          | Bygg         | Utvikling og testing | BNL IA, Boligprodusentenes forening og Norske Trevarer. 40 trebearbeidende bedrifter, Arbeidstilsynet og Stami |
| <b>Robot jernbinding</b>                              | En robot som kan samle og binde sammen armeringen til store infrastrukturprosjekter. En slags traverskran-løsning med tre robotarmer. Roboten er laget i en digital modell først, deretter i en skalamodell i størrelsesforholdet 1:4.<br><br><a href="https://www.tu.no/artikler/denne-roboten-tar-over-den-slitsomme-jernbindingsoppgaven-pa-byggeplassen/441082">https://www.tu.no/artikler/denne-roboten-tar-over-den-slitsomme-jernbindingsoppgaven-pa-byggeplassen/441082</a> | 2 - Delvis automatisering | Belastning<br>Sikkerhet<br>Effektivitet<br>Kvalitet<br>Miljø | Anlegg       | Ukjent               | Skanska, sammen med ABB og Mälardalens högskola                                                                |
| <b>Ditio (digital støtte som øker mulighetene for</b> | Lønnsom anleggsplass gjennom smart dokumentasjon av timer, endringer og bilder i sanntid;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0 - Ingen autonomi        | Effektivitet<br>Kvalitet                                     | Anlegg       | I bruk               |                                                                                                                |

| Tittel                                                                                 | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Nivå av autonomi   | Mål/ gevinster        | Bygg/ anlegg | Status                                                                                                                                   | Ansvarlig/ deltakere                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>robotisering/- automatisering)</b>                                                  | <a href="https://ditioapp.com/">https://ditioapp.com/</a>                                                                                                                                                                                                                                                                       |                    |                       |              |                                                                                                                                          |                                                                                            |
| <b>DigiBuild (digital støtte som øker mulighetene for robotisering/automatisering)</b> | <p>Prosjektet skal 1) utvikle kunnskap om hva en heldigitalisert byggeprosess innebærer, 2) utvikle en teknologisk plattform, og 3) utvikle et verktøy som sikrer at man ikke bare har kunnskap, men lærer seg å bruke verktøyet</p> <p><a href="http://www.bygg.no/article/1346988">http://www.bygg.no/article/1346988</a></p> | 0 - Ingen autonomi | Effektivitet<br>Miljø | Bygg         | Pågående. DigiBuild skal validere effektmålene innen 2021. Mål om å full besparelseeffekt i egne byggeprosjekt som igangsettes fra 2025. | Backe Entreprenør, sammen med Lean Communications, SINTEF Digital og Handels- høyskolen/BI |

