

Strategiske gevinster ved robotisering i bygg- og anleggsnæringen

VEGARD KOLBJØRNSRUD, RAGNHILD KVÅLSHAUGEN OG RAGNALD SANNES

Vegard Kolbjørnsrud postdoktor, Institutt for strategi og entreprenørskap, Handelshøyskolen BI og seniorforsker, Accenture.

vegard.kolbjørnsrud@bi.no

Ragnhild Kvålshaugen professor, Institutt for strategi og entreprenørskap, Senter for byggenæringen, Handelshøyskolen BI.

ragnhild.kvalshaugen@bi.no

Ragnald Sannes førstelektor, Institutt for strategi og entreprenørskap, Handelshøyskolen BI.

ragnald.sannes@bi.no

Digitalisering er på full fart inn i bygg- og anleggsnæringen (BA-næringen). Prosjektstyring, konstruksjon og byggeprosess digitaliseres og de analoge byggetegningene erstattes av interaktive, digitale modeller som kan deles på tvers av fag og organisasjoner. Ny teknologi gir mange muligheter for å organisere arbeidet annerledes. Tungt og farlig arbeid kan blant annet erstattes av roboter. Digitale tvillinger av byggerier kan bidra til mange muligheter med tanke på effektivisering av byggeprosessen, forenkling av drift og vedlikehold og støtte til mye annen teknologi som for eksempel bruk av roboter. Denne artikkelen fokuserer på muligheter og betingelser for mer bruk av roboter i BA-næringen. Robotisering i BA-næringen forventes å mer enn doble seg allerede innen 2023 til \$166 millioner, så her går utviklingen veldig fort.¹ Innovasjoner i semi- og fullautomatiserte roboter kan hjelpe BA-næringen til å bygge mer effektivt (mindre sløsing, til lavere kostnader, raskere) og sikrere.

1. https://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Industry-Insights/Trades-Embrace-Robotics-on-Construction-Sites/content_id/7861

Spørsmålet er hvordan robotisering kan gi gevinster og hva som er betingelsene for å utnytte potensialet som ligger i automatisering og robotisering av byggeprosess. Vi vil derfor undersøke hva roboter kan brukes til i byggeprosessen og hva som kreves av omstilling for å utnytte og få effekter av roboter. Vi har gjort en undersøkelse av hvilke type roboter som finnes som kan støtte verdiskapingen i byggeprosessen. Studien baserer seg på gjennomgang av litteratur om robotisering med spesielt fokus på BA-næringen. Mer om forskningsmetoden finnes i Appendix 1.²

NØKKELOORD

digitalisering | robotisering | bygg- og anleggsnæringen

INTRODUKSJON

I prinsippet kan alle håndverkeroppgaver, fra plassering av armeringsjern og støping av fundament til plassering av de siste vinduer og dører, bli utført av roboter. Roboter kan også brukes til å fange data om fremdrift gjennom bruk av kamera og 3D-skanning³. Gjennom intelligente systemer for analyse av data kan informasjons- og kunnskapsbaserte oppgaver automatiseres for å avdekke kollisjoner mellom ulike fag i byggingen av en konstruksjon, oppdage avvik mellom plan og utførelse samt løpende samordne mellom fagene som er involvert i byggeprosessen. Gjennom å kombinere erfaringsbaserte data, forskrifter og generativ design ligger det mange muligheter for optimalisering som for eksempel hvordan best mulig utnytte en tomt, valg av hvilke materialer som egner seg best for bestemte bygningsformer, optimal plassering av vannrør og ledninger og hvordan gjøre at bygget kan bli mest mulig energieffektivt i et livsløpsperspektiv. Dette erstatter deler av arkitekter og rådgiveres arbeid i dag for å følge opp regler, forskrifter og kunnskap.

De fleste aktørene i BA-næringen fremhever viktigheten av kvalitet, lønnsomhet og sikkerhet i sine strategier. Roboter kan gi store effektiviseringsgevinster, bidra til at antall feil reduseres i produksjon, bygge mer kostnadseffektivt og raskere samt redusere risikoen for ulykker ved at farlig arbeid utføres av roboter.

Et sentralt spørsmål er hvordan roboter kan bidra til å realisere disse gevinstene, og hva som kreves av aktørene i BA-næringen for å få effekt av automatisering.

-
2. Forfatterne har bidratt like mye til artikkelen og er satt i alfabetisk rekkefølge.
 3. 3D-skanning er bruk av lyd (f.eks. sonar) og/eller lysbølger (LiDAR) til å fange data om form og farge på et objekt eller en omgivelse. Dataene benyttes gjerne til å skape en 3D-modell. De fleste 3D-skannere tar også bilder med et HD-kamera for å skape en naturtro gjengivelse. (Eksempel Leica <https://leica-geosystems.com/rtc360>)

ring. Robotisering vil påvirke BA-næringen på tre nivåer: forretningspraksis, forretningsmodell og verdisystem (Andersen and Sannes 2018). Forretningspraksis referer til endringer i gjennomføring av byggeprosessen, for eksempel gjennom at prosesser endres, oppgaver forsvinner og nye skapes. Forretningsmodell beskriver endringer som påvirker de kommersielle relasjonene mellom aktører, for eksempel kontraktsform og betalingsmodell. Verdisystem beskriver strukturelle endringer som påvirker arbeidsdelingen mellom eksisterende og eventuelle nye aktører.

Selv om teknologien er tilgjengelig, er det ingen garanti for at mulige gevinster realiseres. Investering i teknologi utgjør bare en liten del av kostnadene ved omstillingen til en mer digital byggeprosess.

Hva er roboter og hva kan de gjøre?

I en bransje som BA-næringen er det lett å tenke at roboter er fysiske enheter som kan utføre arbeidsintensive og farlige arbeidsoppgaver. Slike roboter har vi sett i andre bransjer, først og fremst i bilindustrien, som er den industrien som er mest automatisert (IFR 2018). Tradisjonelt har dette vært spesialiserte roboter som utfører oppgaver de er programmert til slik som løfting, sveising og lakkering. I elektronikkbransjen brukes roboter for montering av hovedkort til datamaskiner fordi elektronikken er blitt for liten for menneskehender. I slike anvendelser er roboter plassert i et veldefinert og tilrettelagt produksjonsmiljø og har spesifikke oppgaver i en sekvensiell arbeidsflyt, og gjerne med lange serier. Ettersom BA-næringen typisk bygger bygninger og strukturer i sitt naturlige miljø der de skal brukes, har denne type roboter hatt begrenset utbredelse nettopp på grunn av manglende muligheter for standardisering og industrialisering av byggeprosess.

Når BA-næringen nå øker interessen for roboter, skyldes det noen kvantesprang innen digital teknologi som gjør det mulig for en robot å sanse sine omgivelser, tolke det den ser og bruke den informasjonen til å utføre handlinger. Noen roboter kan samhandle med andre roboter og med mennesker,⁴ og det er forventninger til såkalte «cobots» som er roboter som kan samhandle med mennesker.

Det er ingen omforent definisjon av hva en robot er. Vi baserer oss på en definisjon foreslått av IEEE (2019): «En robot er en autonom maskin som kan sanse sine omgivelser, utføre beregninger for å ta beslutninger og utføre handlinger».⁵ Innen robotiseringsfaget fokuseres det mye på fysiske roboter som kan utføre menneske-

4. Denne videoen av Spot fra Boston Dynamisk er et eksempel på dette: <https://youtu.be/fUyU3lKzoio>

5. Se <https://robots.ieee.org/learn/>

lige handlinger, men vi ønsker å inkludere virtuelle roboter i vår analyse da det prinsipielle skillet mellom fysiske og virtuelle roboter handler om hvorvidt handlingen blir utført av en maskin eller i en maskin. Begge deler omhandler derfor grader av intelligent automatisering. I sin enkleste form kan roboter kun utføre oppgaver i et kontrollert miljø de er preprogrammert til, for eksempel en løftearm på en produksjonslinje. En mer avansert robot kan tilpasse seg omgivelsene og utføre oppgaver basert på en egen situasjonsforståelse, for eksempel lagerroboter og autonome kjøretøy. De mest avanserte robotene lærer av hvordan de utfører arbeidsoppgaver og over tid blir de bedre til å gjøre dem. Med andre ord, roboter kan ha en statisk, dynamisk eller lærende relasjon til oppgavene som utføres i de omgivelser de befinner seg i. Grensene mellom fysiske og virtuelle roboter er derfor ikke klare. I mange tilfeller brukes virtuelle roboter som robotisert prosessautomatisering (RPA) til å utføre manuelle oppgaver som kunne vært, men ikke er, automatisert i virksomhetens IT-løsninger. Andre eksempler er roboten Pepper⁶ og ulike former for droner som samler data. Vi vil i denne artikkelen skille mellom fysiske og informasjonsbaserte handlinger, og ikke være så opptatt av om de informasjonsbaserte handlingene utføres av et fysisk artefakt, et virtuelt artefakt⁷ eller direkte i et system. Det er spesielt fysiske roboter som er dynamiske og lærende som er interessante for BA-næringen siden det er en viss begrensning på mulighetene for standardisering og industriell produksjon.

Det er ulike grader av automatisering og samspill mellom mennesker og roboter. Inndelingen under sier noe om forholdet mellom roboter og mennesker i produksjonsprosesser (Parasuraman, Sheridan, and Wickens 2000, Daugherty and Wilson 2018):

- **Menneske alene:** Ingen roboter eller automatisering. Mye av arbeidet i BA-næringen er slik i dag.
- **Robot hjelper menneske:** Lav til middels grad av automatisering. Roboter utfører enkelte oppgaver og støtter mennesker som gjør mesteparten av arbeidet. Eksempel: Exoskeleton – løfteroboter som arbeidere kan «kle på seg» for å lette tunge løft og ubehagelige stillinger.
- **Menneske hjelper robot:** Høy grad av automatisering. Roboter gjør mesteparten av arbeidet, men trenger menneskelig støtte til spesielle oppgaver, input av data, instruksjoner og opplæring og håndtering av unntak. Eksempel: Borero-boten til nLink.

6. Se for eksempel <https://www.softbankrobotics.com/emea/en/pepper>

7. Et eksempel på dette er en digital assistent som følger deg i en virtuell, utvidet eller kombinert virkelighet.

- **Robot alene:** Full automatisering av hele arbeidsprosessen. Eksempel: Doxels løsning for automatisk kvalitets- og fremdriftsovervåkning på byggeplasser. Doxel er en beltegående robot med evne til å bevege seg autonomt rundt på byggeplass og som skanner alle strukturer med LiDAR. Denne informasjonen overføres til et system (virtuell robot) som sammenligner observasjonene på byggeplassen med den digitale tvillingen og rapporterer avvik og fremdrift.

Veksten i graden av robotikkbasert automatisering i BA-næringen forventes å øke markant de neste årene (Agarwal, Chandrasekaran, and Mukund 2016). Det betyr ikke at vi argumenterer for å maksimere robotisering, dvs. robotisere alle steder der det er teknisk mulig. Vi fokuserer heller på en optimaliseringstilnærming hvor det søkes å ta i bruk roboter alle steder der det er hensiktsmessig, dvs. der hvor det forbedrer kostnads- og ressurseffektivitet, kvalitet, sikkerhet, hastighet og utnytter kompetanse og evner hos medarbeiderne på best mulig måte.

BRUK AV ROBOTER GJENNOM ULIKE FASER I BYGGERIETS LIVSSYKLUS

Fysiske og virtuelle roboter kan brukes på ulike måter gjennom et byggeris livssyklus fra behov og idé til rivning og resirkulering. I Tabell 1 nedenfor gir vi en oversikt over bruksområder for roboter og eksempler på slik bruk innen 1) design og prosjektering, 2) bygging og 3) drift. Videre utdyper vi noen av eksemplene for å synliggjøre hva som er mulig med eksisterende robotteknologi med fokus på byggeprosess.

Tabell 1. Faktisk og potensiell bruk av roboter i ulike faser av livssyklusen til byggeri. Tegnforklaring: ○○○ Ingen bruk av roboter, ●○○ moderat bruk av roboter, ●●○ betydelig bruk av roboter, ●●● høy bruk av roboter.

		Design & prosjektering	Bygging	Drift
Delfaser^a		<ul style="list-style-type: none"> Behovsavklaring og strategi Konseptutvikling Forprosjekt Detaljert prosjektering 	<ul style="list-style-type: none"> Produksjon og leveranser Overlevering 	<ul style="list-style-type: none"> Bruk Avvikling
Fysiske roboter	<i>Bruk, omfang</i>	●○○	●●●	●●○
	<i>Eksempler på bruksområder</i>	<ul style="list-style-type: none"> Produksjon av modeller og prototyper 	<ul style="list-style-type: none"> Produksjon av elementer Montering Overvåkning av fremdrift og kvalitet Eksempel: Doxel, Cody, nLink, Exoskeleton, Hadrian 	<ul style="list-style-type: none"> Vedlikehold Renhold Sikkerhet Eksempel: Brokk 120D
Virtuelle roboter	<i>Bruk, omfang</i>	●●○	●○○	●●●
	<i>Eksempler på bruksområder</i>	<ul style="list-style-type: none"> Oppmåling CAD/design Simulering/estimering Generativ design Eksempel: Spacemaker 	<ul style="list-style-type: none"> Styring av byggeplasslogistikk Bestilling Overvåkning av fremdrift og kvalitet Eksempel: bruk av strekkode-teknologi RFID for automatisk varemottak 	Overvåkning og styring av: <ul style="list-style-type: none"> Energiforbruk og -produksjon VVS Sikkerhet Preventivt vedlikehold Eksempel: GK Cloud

a) Delfaser basert på rapporten til Bygg21 (2015).

Design og prosjektering

Den første hovedfasen, design og prosjektering, handler om å omsette behov og ideer via konseptutvikling, forprosjekt og prosjektering til en detaljert digital tvilling (byggningsinformasjonsmodell (BIM)) og byggeplan. Dette er kreative og analytiske informasjonsbaserte arbeidsprosesser hvor virtuelle roboter kan være svært

nyttige. Menneske-maskin-samspeilet her er av typen «robot hjelper menneske». Droner i luften, på bakken og på eller under vann brukes til å kartlegge og å måle opp miljøet hvor hus eller andre strukturer skal bygges. Geo-skanning brukes allerede i mange BA-prosjekter for å undersøke grunnforhold. Et slikt nyetablert selskap i Norge er EMerald Geomodelling. Dataene samles inn via helikopter, men i fremtiden kan man se for seg at droner kan gjøre samme jobben. I noen situasjoner kan fast eller bevegelig sensorikk brukes til å kartlegge behov som for eksempel måling av trafikk i forbindelse med veiprosjekter. Data som samles inn, kan brukes til å skape digitale representasjoner av omgivelsene og danner grunnlaget for konseptutvikling hvor arkitekter og andre faggrupper utvikler og evaluerer alternative løsningsforslag. Tradisjonelt utvikles det noen få grovskisser før hovedtilnærming velges og denne videreutvikles. Med nye digitale design- og simuleringsverktøy som Spacemaker, kan et designteam generere utallige designalternativer for optimal utnyttelse av en tomt og komme med løsningsforslag til type leiligheter og romløsninger.

En annen bruk av virtuelle roboter finner vi i parametrisk og generativ design (Pasetti Monizza, Bendetti, and Matt 2018). Parametrisk design er basert på en algoritme som henter informasjon og komponenter fra databaser som inneholder informasjon om materialer, produsent, størrelser, osv. Basert på et sett av kriterier (parametere) for byggeriet (en algoritme) genereres det mange alternativer for hvordan byggeriet kan designes. Det er store fordeler rent tids-, kvalitets- og kostnadmessig å gjøre denne jobben digitalt versus analogt. Dette gir verdifull input til beslutninger om hvordan det endelige designet bør se ut. En mer avansert måte å automatisere designprosessen på er generativ design. Generativ design baserer seg på kunstig intelligens hvor det defineres overordnede mål og parametere slik som materialer, produksjonsmetoder og kostnadsbegrensninger for løsningen man ønsker. Basert på historiske data og matematiske modeller genereres det da tusenvis av alternativer for design av byggeriet. Ved generativ design tester og lærer systemet hva som fungerer og hva som ikke fungerer over tid.

Fysiske roboter kan i mindre grad brukes i denne fasen selv om 3D-printere, freseroboter og lignende brukes til å lage fysiske modeller av ulike løsningsforslag. Fysiske modeller kan gjøre det enklere for brukere og beslutningstakere å se for seg det ferdige resultatet og kan dermed gjøre dem bedre i stand til å gi innspill i ulike stadier av utviklingsprosessen og å ta informerte beslutninger. I denne fasen brukes også Virtual Reality (VR) for å visualisere. Data til VR genereres rett fra BIM.

Bruk av roboter i design- og prosjekteringsfasen bidrar til en hurtigere utviklingsprosess med bedre ressursutnyttelse. Videre genereres det lagt flere alternative løsningsforslag enn ved analoge prosesser. Overføring av erfaringer og læring fra et prosjekt til et annet gjøres av de virtuelle robotene og er ikke lenger

avhengig av hva mennesker har husket, lært og deler. Dette forventes å ha positive effekter på kvalitet, kostnad, tidsbruk og nytte i resten av livssyklusen til byggeriet.

Bygging

I byggefasen går byggeriet fra en digital struktur til et fysisk produkt. Viktige arbeidsprosesser er grunnarbeider (graving, sprenging osv.), sammensetning av materialer og elementer, montering og oppføring, overflatebehandling, ferdigstilling og overlevering. Dette er materialkrevende, fysiske prosesser som er kostbare og som krever mye koordinering. Arbeid må gjøres på rett måte, i rett rekkefølge og til rett tid. Hvis det ikke skjer, har det negative konsekvenser for fremdrift, kvalitet og kostnader.

Det er her fysiske roboter virkelig kommer til sin rett ved at de utfører oppgaver som er fysisk krevende og til dels farlige for mennesker. Det er mange eksempler på roboter som hjelper mennesker i produksjon av byggerier. Boreroboten til nLink kan hente data om hvor det skal bores fra den digitale tvillingen og har kjennskap til egen posisjon i byggeriet. Andre roboter kan sette opp murvegger i høyt tempo og med høy presisjon, for eksempel Hadrian X og kan assistere fagarbeidere i muring. Roboten Cody gjør den tunge jernbindingsoppgaven på byggeplass. Brokk 120D er en rivningsrobot som styres av mennesker via fjernkontroll, den foretar rivning i farlige og vanskelig tilgjengelige områder.

Det er også eksempler på roboter som jobber alene på byggeplass. For eksempel robotene Doxel og Spot som inspiserer kvalitet, måler fremdrift direkte mot BIM, gir rapporter automatisk til prosjektledelsen om fremdrift og sender «som bygget» informasjon tilbake til BIM. Videre skjer det nå en rask utvikling av selvkjørende maskiner på byggeplass. Et konkret eksempel er en veival som nå testes ut av AF-gruppen på Nye Veier-prosjektet E39 Kristiansand vest – Mandal øst.

3D-printing er en teknologi som forventes å få stor utbredelse i byggenæringen (Tay et al. 2017, Wu, Wang, and Wang 2016). En 3D-printer er en maskin som basert på en digital fil skriver eller sprøyter ut lag på lag av et materiale som til slutt blir til et tredimensjonalt objekt. De enkleste maskinene skriver i plast, men det finnes mer avanserte modeller som kan skrive i mange typer materialer slik som metall, betong og glassfiber. Teknologien har vært brukt til prototyping, særlig i industriell produktutvikling i flere tiår allerede, men også til produksjon av modeller innen arkitektur. De senere årene har teknologien blitt tatt i bruk på stadig nye måter og i stadig større skala, for eksempel til produksjon av reservedeler til industrielt utstyr (Chua and Leong 2014). I BA-næringen er fortsatt anvendelsen på et tidlig stadium, men pilotprosjekter tyder på at teknologien har potensial til å revolusjonere byggeprosesser. For eksempel har det kinesiske selskapet WinSun 3D-printet et helt hus i sement og glassfiber (Wu, Wang, and Wang 2016). Et annet

eksempel er DFAB i Sveits som har brukt roboter til både design og bygg av et hus der det nå bor mennesker. 3D-printing av byggeelementer og potensielt hele konstruksjoner gjør at produksjonsøkonomien i byggeprosjekter kan bli dramatisk endret: 1) lavere materialbruk og minimalt med avfall, 2) spesialdesignede elementer produseres like kostnadseffektivt som standardiserte og 3) produksjonsprosessen automatiseres, som vil redusere bemanningskostnadene. Imidlertid er man fortsatt på eksperimentstadiet og ingen har foreløpig høstet store gevinster av robotisering og automatisering av byggeprosess. Det kan videre argumenteres for at 3D-printere ikke tilfredsstiller vår definisjon av en robot fullt ut siden de i utgangspunktet ikke sanser omgivelsene og tilpasser seg disse. Vi har likevel valgt å ta med teknologien i denne gjennomgangen siden det er en automatisert byggeteknologi som vi forventer kommer til å få stor innvirkning på BA-næringen fremover (Tay et al. 2017) og fordi 3D-printere ofte inngår i intelligente systemer som kan sanse, forstå, handle og lære (Andersen et al. 2018).

Mens 3D-printing og annen fysisk robotteknologi omsetter digitale modeller og instruksjoner til fysiske strukturer, ser vi også fremvekst av robotikk som overvåker fysiske strukturer og prosesser og kvalitetssikrer disse opp mot digitale modeller og planverk. Den nevnte løsningen fra Doxel med en fysisk robot som skanner byggeplassen, sammenligner med BIM og rapporterer avvik og fremdrift er et slikt eksempel. Det gjør at man sikrer at byggearbeidet gjennomføres mer planmessig og at eventuelle feil rettes tidlig, noe som oftest er mye rimeligere og mindre tidkrevende enn når de oppdages på et senere tidspunkt. Videre automatiseres prosessen med overlevering ved at «som bygget»-modellen genereres automatisk.

Byggefase er preget av mye koordinering og utfordringer med dette mellom aktører og fag/organisasjoner. Det er ikke uvanlig å ha ulike administrative og produksjonsmessige systemer som ikke kommuniserer med hverandre på grunn av manglende standardisering av syntaks, semantikk og metoder for utveksling av data. Det gjøres derfor i dag mye manuelt arbeid med å overføre data mellom systemer. Dette gjelder til og med den digitale tvillingen. Plutselig er det ikke én digital tvilling, men digitale firlinger som ikke er eneggede. Her kan virtuelle roboter være til stor hjelp ved at de kan overføre data og synkronisere mellom modeller og administrative systemer. Hvis man har en standardisert prosess, kan det brukes en enkel regelbasert virtuell robot (RPA) for å koble sammen data. Slike roboter kan også løse mange andre rutinemessige arbeidsoppgaver. Et eksempel er bruk av RPA-teknologi for bestilling av fasadestein til det nye Nasjonalmuseet i Oslo. En annen mulighet er å bruke en chatbot i en BIM-kiosk for å forenkle prosessen med å hente ut den informasjonen elektrikerne trenger i stedet for å forholde seg til hele BIM.

Vår oversikt over tilgjengelige roboter i produksjon viser at det er stort potensiale for å effektivisere, akselerere og forbedre byggeprosessen ved økende grad av

automasjon. Foreløpig er det mest tilgjengelige roboter som assisterer mennesker på byggeplass. Det utvikles også flere roboter som opererer på egen hånd. Det forventes spesielt mange interessante innovasjoner knyttet til selvkjørende maskiner på byggeplassen.

Drift

Roboter er egnet for mange oppgaver i driftsfasen for et byggeri – det være seg vedlikehold, renhold, sikkerhet og styring av energi og innemiljø. Både i offentlige bygg og private hjem er renholdsroboter på full fart inn. Det samme gjelder autonome gressklippere. Vedlikehold er et annet viktig område med maleroboter som et aktuelt eksempel. Bygg blir i økende grad utstyrt med sensorer som registrerer temperatur, lys, luftkvalitet og bevegelse. Data fra sensorene gir input til intelligent styring av for eksempel VVS-anlegg. Et eksempel på en slik virtuell robot er GK Cloud. Her brukes ulike sensorer som er plassert i forskjellig teknisk utstyr installert i byggeriet. Disse dataene lagres på en digital plattform kalt Piscada. Her samles data fra mange byggerier som gir muligheter for stordata analyser og maskinlæring for optimalisering av drift og vedlikehold.

Bruk av roboter i drift henger sammen med de andre fasene i livssyklusen på et par viktige områder. Utviklere må ta hensyn til driftsrobotikk både under design og oppføring av nye byggerier. Dessuten er data fra eksisterende byggerier nyttig input til design av nye konstruksjoner med tilsvarende bruksområder. De som er i stand til å samle, samordne og utnytte data fra ulike byggerier vil ha store fordeler i utvikling, bygg og drift av nye.

BETINGELSER FOR SKALERING AV ROBOTER I BA-NÆRINGEN

I dag brukes roboter i noen grad i byggeprosess og mange BA-virksomheter har forskjellige piloter gående. En robot er avhengig av instruksjoner for å kunne utføre arbeid. Instruksjonene kan være statiske i form av preprogrammering, eller dynamiske gjennom tilpasning basert på en situasjonsforståelse kombinert fra data og fortolkning av omgivelsene. Med andre ord, roboter kan gjøre egen datafangst for å utføre arbeidsoppgaver. Den digitale tvilling av byggeriet, ofte laget som en BIM, er et naturlig sted å hente en slik oppgavebeskrivelse fra. BIM er digitale tegninger som viser all informasjon om det som skal bygges på tvers av fag – tømmer, elektro, rør, grunnarbeid, betong, osv. BIM mater robotene med informasjon om hvordan, for eksempel, en mur skal se ut, hvor den skal bygges og med hvilke materialer. BIM kan gi instruks om når muren skal settes opp i byggeprosessen og hvordan den henger sammen med andre deler av byggeriet. Bruken av BIM for å forsyne roboter med data forutsetter en standardisering av dataelementers syntaks og semantikk

samt grensesnittet for kommunikasjon mellom en BIM og en robot. Beskrivelsen av oppgaven som skal utføres må være entydig med hensyn til sted, materiellbehov og metodikk for utførelse. Hvis roboten(e) også kan tolke avhengigheter mellom oppgaver og deres rekkefølge vil én eller flere roboter kunne samordne utførelsen av en serie med oppgaver, med eller uten involvering fra mennesker. Roboten må også kunne melde tilbake hvilke oppgaver den har utført slik at modellen til enhver tid er oppdatert.

BIM brukes i økende grad i byggeprosjekter, men det er fortsatt store utfordringer knyttet til å skape en fullberiket BIM for livsløpet til et byggeri. Det krever at alle fag må være med å berike den digitale tvillingen, og her er det fortsatt store forbedringspotensialer i næringen. En fersk studie utført ved Senter for byggenæringen på BI viser at dette er én av de største hindringene for å få full utnyttelse av den digitale tvilling i byggeprosess (Magnussen and Paulsen 2019). Kompetanse i BIM og kontraktsformer (inkl. manglende insentiver) som ikke legger forholdene til rette for samskapt BIM er de viktigste barrierene for å få skape fullberikede BIMer for byggerier. Det at det ikke eksisterer en komplett digital tvilling for byggeriet påvirker i stor grad mulighetene for automatisering og bruk av roboter i byggeprosess. Videre krever roboter svært presis informasjon. Toleransegrensene er små for roboter. Det kan handle om en millimeter for å få alle delene til å passe sammen. Dette krever kvalitetssikring av BIM, standardisering og industrialisering av byggeprosess – noe BA-næringen er langt unna (Bogue 2018).

Digital informasjon er en forutsetning for virtuelle roboter. Når informasjon i stor grad fortsatt er analog på grunn av manglende systemintegrasjon og åpne standarder, kan akkumulert informasjon i liten grad brukes til læring og forbedring for å få kvalitets- og produktivetsgevinster. Det ser altså ut som teknologien løper foran digitalt samarbeid og organisering i BA-næringen. Nettbrett og mobile løsninger brukes i stor grad på byggeplasser, mens samskapt digitale modeller finnes i mindre grad. Her fortsetter «gammel» praksis ved at hvert fag utvikler sine tegninger, gjerne i BIM. Imidlertid settes de sammen analogt, dvs. ved at pdf-filer deles, og ikke interaktive modeller. Da er man langt unna forutsetningene beskrevet over for automatisering ved hjelp av roboter.

Ny teknologi krever ny kompetanse og nye arbeidsprosesser for å virkelig skape verdi. Erfaringene fra tidligere og pågående teknologiske revolusjoner viser at det ofte tar lang tid fra en ny teknologi er tilgjengelig til verdiskapingspotensialet realiseres fullt ut (Brynjolfsson, Rock, and Syverson 2017). Å endre kompetanse, adferd og arbeidsprosesser går ikke like fort som å installere ny teknologi. Det er likevel langt fra sikkert at BA-næringen kan koste på seg å bruke god tid på å innføre roboter på bred front. Nye aktører kan komme på banen og skape store omveltninger i næringen (Christensen 2000). For å akselerere anvendelsen av

roboter trenger næringen å satse på kompetanseutvikling og målrettet endring av arbeidsprosesser. Ny teknologi kan skape både frykt og forventning, og det viser seg at ferdigheter i å anvende teknologi demper frykten (Kolbjørnsrud 2017). Det gjelder også å utvikle godt samspill mellom mennesker og roboter, mellom menneskelig og kunstig intelligens, for å skape både effektive og intelligente BA-virksomheter (Andersen et al. 2018).

En utfordring i BA-næringen er at produksjon skjer sammen med mange aktører på prosjektbasis. Det gjør det vanskelig å tenke langsiktig og industrielt. Det medfører at aktørene har en tendens til å basere seg på sine egne behov når de anskaffer teknologi. Et slikt fokus skaper hindringer for en effektiv flyt av data i en byggeprosess der det ofte er et tosifret antall aktører involvert. Det fører til en situasjon hvor hver aktør har sin egen proprietære teknologiplattform, fremfor sammen å skape plattformer som bidrar til optimalisering av byggeriet i et livsløpsperspektiv. Bransjen er fragmentert, og fraværet av informasjonsflyt medfører asymmetrisk informasjon samt oversettelsesproblemer når data overføres mellom aktører. Dette er kjennetegn ved bransjer der utenforstående aktører etablerer plattformer for å organisere bransjen på en helt annen måte (Parker, Van Alstyne, and Choudary 2016). Det finnes noen få initiativ med ambisjoner om å bli altomspennende plattformer, men ingen har fått stor utbredelse, kanskje med unntak av løsninger for å dele BIM.

KONKLUSJON

Vi har i denne artikkelen drøftet potensielle anvendelser av roboter i BA-næringen samt undersøkt betingelsene for at bruk av roboter kan skaleres i næringen. Vår analyse viser at en slik skalering må baseres på endringer i forretningspraksis både i form av automatisering og at robotene utfører oppgaver som ikke finnes i dag. Robotisering kommer ikke til å endre forretningsmodellen direkte, men sammen med effekter fra andre digitaliseringstiltak, vil robotisering påvirke kommersielle betingelser mellom aktørene involvert i et byggeri. Det vil sannsynligvis henge sammen med strukturelle endringer i roller og arbeidsdeling mellom aktørene i bransjen.

Det er identifisert tre kjennetegn ved virksomheter som evner å høste strategiske gevinster av teknologi (Westerman, Bonnet, and McAfee 2014, Yoo et al. 2012):

- 1 De etablerer en enhetlig og integrert IT-plattform for å skape god dataflyt og fleksibel funksjonalitet for å muliggjøre innovasjon. Standardisering av data og metoder for å utveksle data er sentralt.

- 2 De utvikler og fornyer arbeidsprosesser tilpasset mulighetene i den digitale plattformen. Digital teknologi er kjernen i utformingen av prosesser og kundeopplevelser.
- 3 De lærer seg å utnytte mulighetene gjennom 1 og 2 over og driver innovasjon på toppen av dette.

Et eksempel på en slik aktør er det chilenske gruveselskaper Codelco som har robotisert flere kobbergruver. Gruverobotene overvåkes og kan fjernstyres fra et kontrollrom over bakken. Data fra robotene om hva som utvinnes av kobbermalm sendes til et operasjonssenter i Santiago. Dette påvirker både sikkerhet, kostnadsstruktur, lønnsomhet og operasjonell evne til å samkjøre produksjon med etterspørsel.

De store strategiske gevinstene av roboter i BA-næringen oppstår først når det er effektiv dataflyt mellom alle aktørene i byggeprosess, og hvor det brukes standard grensesnitt for kommunikasjon med roboter via standardiserte dataformater. Da kan alle utnytte all informasjon og robotene kan samhandle selv om de tilhører ulike aktører og har ulike ansvarsområder. Vi kan se for oss at robotene utfører «big room planning» i et virtuelt rom og i sann tid. BA-næringen kan bevege seg i en slik retning gjennom å fokusere på åpne digitale plattformer og muligheter for å utveksle data på tvers av aktører. Videre kreves det at man utvikler nye arbeidsprosesser som utnytter muligheten digital teknologi gir. Det er imidlertid lite sannsynlig at man lykkes med overgangen til robotstyrt og -assistert produksjon ved første forsøk. Det handler om å eksperimentere gjennom prøving, feiling og læring for å knekke koden på effektiv digital samhandling og utnyttelse av roboter i byggeprosess.

REFERANSER

- Agarwal, Rajat, Shankar Chandrasekaran, and Sridhar; Mukund. 2016. Imagining construction's digital future. McKinsey Global Institute.
- Andersen, Espen, John Chandler Johnson, Vegard Kolbjørnsrud, and Ragnvald Sannes. 2018. «The data-driven organization: Intelligence at SCALE.» In *At the Forefront, Looking Ahead*, edited by Amir Sasson, 23–42. Oslo, Norway: Universitetsforlaget.
- Andersen, Espen, and Ragnvald Sannes. 2018. «Er du klar for digitalisering?» *Praktisk økonomi og finans* 34 (3):196–213.
- Bogue, Robert. 2018. «What are the prospects for robots in the construction industry?» *Industrial Robot: An International Journal* 45 (1):1–6.
- Brynjolfsson, Erik, Daniel Rock, and Chad Syverson. 2017. Artificial intelligence and the modern productivity paradox: A clash of expectations and statistics. National Bureau of Economic Research.

- Bygg21. 2015. Veileder for fasenormen «Neste Steg» – et felles rammeverk for norske byggeprosesser. Oslo, Norge: Bygg21, Norsk Eiendom.
- Christensen, C.M. 2000. *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*. New York: HarperBusiness.
- Chua, Chee Kai, and Kah Fai Leong. 2014. *3D Printing and Additive Manufacturing: Principles and Applications of Rapid Prototyping*. 4th ed. Danvers MA: World Scientific Publishing Company.
- Daugherty, Paul R, and H James Wilson. 2018. *Human + Machine: Reimagining Work in the Age of AI*. Cambridge MA: Harvard Business Press.
- IEEE. 2019. «What Is a Robot?» IEEE, accessed Oct 31. <https://robots.ieee.org/learn/>.
- IFR. 2018. Robots and the workplace of the future. In *Positioning paper by the International Federation of Robotics*. Frankfurt, Germany: International Federation of Robotics.
- Kolbjørnsrud, Vegard. 2017. «Kunstig intelligens og lederens nye jobb.» *Magma* 20 (6):33–42.
- Magnussen, Anne Marthe Bøttinger, and Linda Paulsen. 2019. «Building Information Modeling in the Norwegian Construction Industry: A Comparison of Different Contractual Models.» MSc, Strategy and Entrepreneurship, BI Norwegian Business School.
- Parasuraman, Raja, Thomas B. Sheridan, and Christopher D. Wickens. 2000. «A model for types and levels of human interaction with automation.» *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics-Part A: Systems and Humans* 30 (3):286–297.
- Parker, Geoffrey G, Marshall W Van Alstyne, and Sangeet Paul Choudary. 2016. *Platform revolution: how networked markets are transforming the economy and how to make them work for you*. WW Norton & Company.
- Pasetti Monizza, Gabriele, Cristina Bendetti, and Dominik T. Matt. 2018. «Parametric and Generative Design techniques in mass-production environments as effective enablers of Industry 4.0 approaches in the Building Industry.» *Automation in Construction* 92:270–285. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.027>.
- Tay, Yi Wei Daniel, Biranchi Panda, Suvash Chandra Paul, Nisar Ahamed Noor Mohamed, Ming Jen Tan, and Kah Fai Leong. 2017. «3D printing trends in building and construction industry: a review.» *Virtual and Physical Prototyping* 12 (3):261–276.
- Westerman, George, Didier Bonnet, and Andrew McAfee. 2014. *Leading digital: Turning technology into business transformation*. Harvard Business Press.
- Wu, Peng, Jun Wang, and Xiangyu Wang. 2016. «A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry.» *Automation in Construction* 68:21–31.

Yoo, Youngjin, Richard J Boland Jr, Kalle Lyytinen, and Ann Majchrzak. 2012. «Organizing for innovation in the digitized world.» *Organization Science* 23 (5):1398–1408.

APPENDIX 1: FORSKNINGSMETODE

Studien er gjennomført som en dokumentstudie for å identifisere hvilke typer roboter som eksisterer for å understøtte arbeid i byggeprosess. Undersøkelsen baserer seg på søk via Google Scholar, Oria og Google etter artikler og omtaler som omhandler og presenterer roboter som brukes og kan brukes i BA-næringen. Sentrale søkeord har vært «roboter i bygg og anlegg», «robotics in the AEC industry» og «digitalized construction process». Vi viser også noen konkrete eksempler på ulike roboter som allerede er tilgjengelig og delvis brukes i byggeprosess både i Norge og internasjonalt. Vi har brukt både vitenskapelige artikler og omtaler hentet fra fagpresse som omtaler ulike former for roboter som er utviklet og utvikles i BA-næringen. Vi har kategorisert våre funn i fysiske og virtuelle roboter på tvers av faser i byggeprosess. Diskusjon av betingelsene for å skalere robotisering i BA-næringen er hentet fra eksisterende vitenskapelige studier som er applisert på denne konteksten.