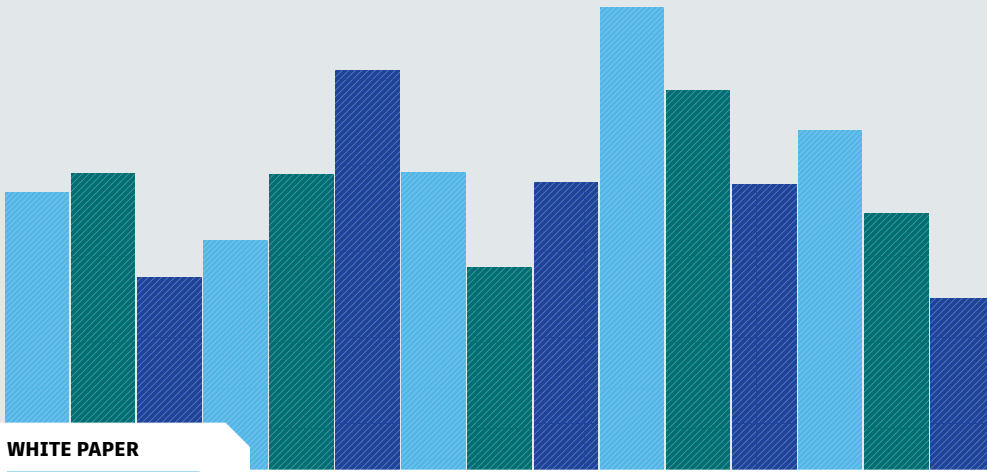




**Harvard
Business
Review**

ANALYTIC SERVICES



Gebruikmaken van kunstmatige intelligentie en automatisering voor rendement op investering in innovatie

Ontwerp- en productiesector



Gesponsord door

 **AUTODESK**

Het zakelijke belang van automatisering

Wat staat innovatie in de weg? Het is vaak de oude manier om dingen te doen - zich herhalende oude patronen, omdat dat eerder altijd heeft gewerkt. Het is voorspelbaar en meetbaar, maar het verandert de huidige situatie niet. Innovatie kan u het gevoel geven dat u een koorddanser bent die op een koord loopt zonder veiligheidsnet, maar met behulp van automatisering is het alsof u wordt begeleid door een geweldige mentor, die u nieuwe mogelijkheden laat zien. Of u nu een bedrijf in de architectuur-, infrastructuur-, bouw- of productiesector hebt, automatisering verandert de manier waarop u werkt omdat het uw teams helpt om nieuwe manieren van werken te verkennen en te ontdekken.

Als mensen me vragen of automatisering en kunstmatige intelligentie banen zullen wegnemen, vraag ik hen altijd: "Hebben we alle problemen van de wereld opgelost?" Er zijn een enorm aantal uitdagingen. De architectuur-, engineering-, bouw- en productiesectoren hebben lage marges, worden geconfronteerd met een verouderd personeelsbestand en spannen zich uit alle macht in om zich aan te passen aan nieuwe productiepatronen, zoals geïndustrialiseerde bouw en reshoring van de productie.

Automatisering is gunstig voor u, omdat u hierdoor meer tijd kunt besteden aan het oplossen van problemen in plaats van u te concentreren op vervelende taken en het interpreteren van grote hoeveelheden gegevens. Het menselijk brein kan de toenemende hoeveelheid gegevens dat door alles wordt verzameld, zelfs een met sensoren gevulde betonnen balk, niet verwerken. Mensen hebben hulp nodig bij berekenen om patronen te kunnen zien en inzicht te krijgen.

Al die hulp is mogelijk met de automatisering die wordt geboden door digitale kopieën, generatief ontwerpen en innovatieve bouwprocessen zoals ontwerp voor fabricage en montage (DFMA). Een digitale kopie, een dynamische, bijgewerkte replica van fysieke asset als een auto, een gebouw, of een brug, kan gegevens absorberen en uitwisselen gedurende de volledige levenscyclus van een asset. Met de toevoeging van realtime operationele gegevens, krijgen digitale kopieën het gedragsbewustzijn dat nodig is om beslissingen te simuleren, te voorspellen en beslissingen te nemen op basis van reële omstandigheden.

Met generatief ontwerpen drukt u uit naar welk resultaat u op zoek bent en laat u onbevooroordeelde, onbewerkte berekeningen zelf opties creëren, testen en evalueren. Zelfs als u niet precies gebruikt wat wordt geretourneerd, toont deze benadering u dingen waar u niet over had nagedacht, brengt innovaties en ideeën teweeg, en helpt u goed geïnformeerde beslissingen te nemen bij complexe ontwerpproblemen.

Ondertussen is DFMA (een reeks ontwerpprincipes die het proces van ontwerp tot productie beter met elkaar verbindt) een doorbraak voor de gebouwde omgeving. Door automatisering kunnen u en uw teams productiever worden en zich beter aanpassen aan veranderingen. Het kan u helpen om aan duurzaamheidsdoelstellingen te voldoen, zoals de belofte van de Conferentie van de Verenigde Naties over Klimaatverandering van 2021 om alle gebouwen tegen 2030 klimaatneutraal te maken.

Al deze innovaties tonen de belofte van automatisering aan. Het is geen luxe. Om de complexe problemen van de wereld op te lossen, is het absoluut noodzakelijk.

Mike Haley
Vice President
Onderzoeksafdeling
van Autodesk

Gebruikmaken van kunstmatige intelligentie en automatisering voor rendement op investering in innovatie

Ontwerp- en productiesector

Innovatiemogelijkheden zijn essentieel op de markt van vandaag. Forrester Research noemt een op technologie gebaseerde en duurzame innovatiestrategie "essentieel" om verstoring en de voortdurende verandering van het weer af te weren. Ook merkt Forrester Research op dat organisaties die dit type innovatiestrategie hanteren, 2,6 keer sneller groeien dan organisaties die deze strategie niet toepassen.¹

Kunstmatige intelligentie (AI) en automatisering worden vaak gezien als essentiële factoren die innovatie mogelijk maken, waardoor organisaties beter, sneller en duurzamer kunnen werken en tegelijkertijd de kosten kunnen verlagen. Uit een onderzoek uit 2021 onder 1843 wereldwijde brancheorganisaties door McKinsey & Co.² bleek dat 87% een kostendaling meldde als resultaat van het gebruik van kunstmatige intelligentie in de productie en 69% ervoer een kostendaling in de ontwikkeling van producten en/of services in 2020. Respectievelijk 63% en 70% zag de omzet stijgen in de productie en de ontwikkeling van producten en/of services dankzij de ingebruikname van AI in 2020.

"Het bedrijfsklimaat, of het nu gaat om de toeleveringsketen of energie of het klimaat of om de verwachtingen van de klant, verandert continu. Ik denk dat innovatie op zich al bijna een noodzaak is om de groei van het bedrijf te garanderen", aldus John Suh, Vice President van de Hyundai Motor Group en hoofd van New Horizons Studio, een team dat een ultimate mobility vehicle (UMV) ontwikkelt en is gevestigd in Fremont, Californië. "Door veranderingen moet je dingen op nieuwe manieren doen".

De ontwerp- en productiesector (D&M) en de architectuur-, engineering- en bouwsector (AEC) wenden zich tot AI en automatisering om de innovatie te stimuleren door processen te stroomlijnen, nieuwe patronen en inzichten te ontdekken en de besluitvorming op basis van gegevens te automatiseren. AI en benaderingen zoals digitale kopieën, generatief ontwerpen en ontwerp voor productie en assemblage (DFMA) bieden de mogelijkheid om de creativiteit van werknemers te ontketen en innovatieve activiteiten verder te ontwikkelen

HOOGTEPUNTEN

Organisaties in de productie- en bouwecosystemen hebben soms moeite om innovatieve ideeën te identificeren en deze te monetiseren.

Organisaties die investeren in de innovatie die nodig is om oude problemen op nieuwe manieren te kunnen benaderen, profiteren van meer groei.

Kunstmatige intelligentie en benaderingen zoals digitale kopieën, generatief ontwerpen en ontwerp voor productie en assemblage bieden de mogelijkheid om de creativiteit van werknemers te ontketen.

dan niche-gebruiksscenario's, zodat ze invloed hebben op de organisatie als geheel en de strategische richting.

Afgezien van concurrentiedruk en druk van klanten, vergroten factoren als duurzaamheid en de noodzaak om digitaal onderlegde jongere werknemers aan te trekken de behoefte om innovatiever te worden om toekomstige groei te stimuleren. Maar organisaties in de productie- en bouwecosystemen hebben soms moeite om innovatieve ideeën te herkennen en te monetiseren. Veelvoorkomende obstakels voor het bevorderen en operationaliseren van innovatie zijn culturele weerstand, diepgewortelde zakelijke werkwijzen en onzekerheid over hoe innovatiebevorderende processen kunnen worden ingevoerd.

Organisaties die geld willen verdienen met innovatie in de D&M- en AEC-industrie moeten leren welke veranderingen ze moeten aanbrengen om innovatie te koesteren en te omarmen, zodat ze succesvol kunnen navigeren op de markt van de toekomst. Deze overgang vereist inzicht in waarom innovatie zo belangrijk is en hoe innovatieve bedrijven voordeel kunnen halen uit de integratie van AI en gerelateerde technologieën. Het betekent ook verbetering van de samenwerking, het identificeren van factoren die innovatie kunnen belemmeren en het benutten van beproefde methoden die vroegtijdige acceptatie tijdens de overgang van de D&M- en AEC-branchen naar innovatiebevorderende bedrijfswerkwijzen en -culturen hebben gestimuleerd. Succesvolle stappen zijn onder meer het opzetten van diverse, multifunctionele teams en het vormen van de structuur rond innovatie.

"Innovatie stimuleert niet alleen de groei van AEC en D&M, maar verstoort op de een of andere manier de industrie van onderaf", aldus Angelo Yu, oprichter en CEO van PIX Moving, een multidisciplinaire ontwikkelaar uit Guiyang in China en fabrikant van modulaire slimme voertuigen. "Zoals hoe Henry Ford de massale acceptatie van auto's koesterde en hoe Apple de oerknal van het digitale tijdperk initieerde, zal innovatie in ontwerp, techniek en productie uiteindelijk de manier veranderen waarop we werken, leven en plezier maken".

De druk om te innoveren

Gartner meldt dat innovatie drie belangrijke elementen vereist: nieuwigheid, uitvoering en een nuttig resultaat.³ In de AEC- en D&M-branches zijn de nuttige resultaten van innovatie onder meer de mogelijkheid om de tijd, kosten en risico's aanzienlijk te verlagen en tegelijkertijd de duurzaamheid van bouw- en productieprocessen te verhogen.

Laten we Bryden Wood, een in Londen gevestigd architectenbureau, engineering- en ontwerpbedrijf dat zich richt op innovatie in de bouwsector, als voorbeeld nemen. Het bedrijf is bezig met het automatiseren van verschillende AEC-processen en het implementeren van ontwerpen voor productie en assemblage, waardoor het bedrijf de kapitaalkosten met 20% tot 30% kon verlagen, plannings in veel projecten met 20% kon bijsnijden en ontwerpen in twee dagen kon configureren, waar een traditioneel ontwerpteam voorheen 15 maanden over deed. Op dezelfde manier heeft PIX Moving op kunstmatige intelligentie gebaseerde ontwerpalgoritmen gebruikt om de onderdelen van een in 3D afgedrukt, autonoom bestuurd skateboardchassisplatform terug te brengen tot een tiende van wat er eerder nodig

was en digitale fabricage toe te passen om de doorlooptijd met 75% te verkorten. Dit zijn slechts twee voorbeelden van organisaties die zich agressiever dan hun concurrenten hebben ontwikkeld om processen, technologieën en mentaliteiten over te nemen die innovatie mogelijk maken en daardoor aanzienlijke voordelen genieten.

De mogelijkheid om de benodigde middelen voor het ontwerpen, ontwikkelen en bouwen van iets aanzienlijk te verminderen, of het nu een scooter of een wolkenkrabber is, biedt een duidelijk concurrentievoordeel ten opzichte van traditionele methoden. Zoals de bevindingen van Forrester bevestigen, profiteren organisaties die investeren in de innovatie die nodig is om oude problemen op nieuwe manieren te benaderen van meer groei. Maar tekenen suggereren dat dergelijke innovatieve mogelijkheden ook een middel zullen worden om te overleven in de D&M- en AEC-sector. Volgens een artikel van het World Economic Forum uit mei 2020 "Winning the Race for Survival", "Staan we op de rand van 'Operationeel Darwinisme', waar louter verlagingen van de kosten niet volstaan om te concurreren met leidinggevendende die van productie een snel en essentieel onderdeel maken van hun digitale innovatie". De druk om te innoveren is afkomstig van klanten, concurrenten en de eigen medewerkers van organisaties.

Hoewel de vraag van klanten en concurrenten niets nieuws is, wordt de druk om te innoveren vanuit het personeel gevoeld in veel industriële sectoren, omdat ze moeite hebben om nieuw talent aan te trekken. "Overall ter wereld is er op dit moment behoefte aan meer talent en beter talent", aldus Martin Fischer, professor civiele en milieutechniek aan de Universiteit van Stanford. Fischer heeft een "verwachting van de jongere generatie waargenomen om geen stom werk te doen dat geautomatiseerd zou kunnen worden. Ze tolereren het niet. Ze vertrekken gewoon."

"De Future Manufacturing Workforce Study uit 2021," een onderzoek onder 882 Gen Z-productiemedewerkers door personeelsmanagementbedrijf UKG, wees uit dat 94% het werken aan het realiseren van projecten belangrijk, zeer belangrijk of extreem belangrijk vond voor hun werktevredenheid. Drie kwart was het daarmee eens, was het daar enigszins mee eens, of was het er sterk over eens dat de productiebranche ongunstige arbeidsomstandigheden kent.

Pogingen om nieuw talent aan te trekken bij industriële organisaties leiden tot een soort cultuurclash wanneer gevestigde werknemers die doordrenkt zijn van productie-expertise, jonge, digitaal onderlegd talent tegenkomen zonder die achtergrond. "En dat leidt in sommige gevallen tot een grote verstoring van de verbinding en culturele disfunctie, waarbij de nieuwkomers niet gemakkelijk worden verwelkomd," aldus Jo Geraghty, oprichter van Culture Consultancy, een in Londen gevestigde organisatie die zich bezighoudt met cultuurverandering. Organisaties hebben manieren nodig waarop nieuwe medewerkers kunnen leren van de ervaring en kennis van langdurige werknemers, terwijl ze hun datavaardigheden gebruiken om processen bij te werken en te transformeren.

Duurzaamheidsdoelstellingen verhogen ook de druk om bronnen, materialen en processen te innoveren, waarbij belanghebbenden, waaronder investeerders, klanten en werknemers, steeds meer gericht zijn op doelstellingen



die verder gaan dan alleen maar inkomsten genereren. "Er is een groeiende erkenning, met name op het gebied van duurzaamheid, dat het niet acceptabel is om nu geen strategie te hebben voor hoe je materialen gaat verminderen of de materiaalefficiëntie en andere dingen gaat verbeteren", aldus Jaimie Johnston, directeur en hoofd van wereldwijde systemen bij Bryden Wood.

Ook mandaten en prikkels van overheden, zoals de fiscale voordelen die worden aangeboden om te innoveren in Singapore, voeren de spanning op. Overheden van het Verenigd Koninkrijk en Brazilië tot Mexico verplichten of stimuleren sterk het gebruik van building information modeling (BIM), een holistisch proces voor het creëren en beheren van informatie voor een gebouwde asset, wat meestal begint bij door de overheid gefinancierde projecten. Duurzaamheidsvereisten vinden hun weg naar bouwvoorschriften, zoals de nieuwe vereisten van Californië voor het gebruik van zonnepanelen, batterijen en elektrische warmtepompen in bepaalde nieuwe huizen en commerciële gebouwen. "De Europese Green Deal-voorstellen bevatten nieuwe regels om bijna alle fysieke goederen milieuvriendelijker te maken en strengere regelgevingen te implementeren rond duurzame bouw. De resultaten van de VN-conferentie over klimaatverandering in 2021 in Glasgow hebben onder meer tot doel gehad om tegen 2050 wereldwijd geen CO₂-uitstoot te hebben, wat zowel AEC- als D&M-organisaties beïnvloedt. Voor de waardeketen van cement en bouw vereist dit doel bijvoorbeeld een verdrievoudiging van het huidige tempo van decarbonisatie. Deelnemers aan een bouwsectorpanel dat door McKinsey & Co. is bijeengeroepen tijdens het evenement, hebben vastgesteld dat het creëren van een cultuur van innovatie een strategische sleutel is om dat doel te bereiken.⁵

Als gevolg van dit complexe drukweb zullen er duidelijke

wijzigingen nodig zijn in de bedrijfsvoering zoals gebruikelijk is in zowel de AEC- als de D&M-sector. Om verstoring te voorkomen, ononderbroken verandering te doorstaan en snellere groei in deze industrieën te realiseren, moeten organisaties processen en cultuur heroverwegen, zowel intern als binnen hun ecosystemen, en nieuwe manieren van werken identificeren en vastleggen.

Belangrijkste hefbomen van innovatie

Technologie is een belangrijke factor voor innovatie, door steeds geavanceerdere algoritmen en modellen op gegevens toe te passen en de iteratie van ontwerpkeuzes te automatiseren. Bronnen van essentiële gegevens verspreiden zich over de productie en de bouw, dankzij de steeds betaalbaarder wordende sensoren en camera's en de mogelijkheid om gegevens te verzamelen en te verwerken via draadloze en mobiele netwerken en de cloud. Naast het eenvoudig digitaliseren van bestaande analoge processen met deze gegevens, digitaliseren organisaties ze steeds meer en reorganiseren ze bedrijfsprocessen door op nieuwe manieren digitale informatie te delen en samen te werken, waarbij informatie het middelpunt vormt van dit nieuwe besturingssysteem. AEC- en D&M-organisaties maken gebruik van automatisering, AI, digitale kopieën, generatief ontwerpen en DFMA om innovatie te bevorderen en zakelijke waarde te creëren door processen te stroomlijnen, nieuwe patronen en inzichten te ontdekken en de besluitvorming op basis van gegevens te automatiseren.

AI belooft een diepgaand effect te hebben op de gehele wereldeconomie. McKinsey heeft voor 2030 een model gecreëerd waarin de potentiële cumulatieve impact van het gebruik van AI op de wereldeconomie wordt gesimuleerd, inclusief een analyse van de mogelijke gevolgen voor bedrijven.



Niet-ingebruiknemers [van kunstmatige intelligentie] "zouden een afname van zo'n 20% van de kasstroom ervaren ten opzichte van het huidige niveau", aldus een rapport van McKinsey & Co. uit 2018.

In zijn rapport "Notes from the AI border: Modeling the impact of AI on the world economy," gepubliceerd in september 2018, constateerden McKinsey-analisten dat de koplopers bij de implementatie van AI hun cashflow (economische vastgelegde winst minus bijbehorende investerings- en overgangskosten) in 2030 konden verdubbelen, met een cumulatieve wijziging van 122%. **FIGUUR 1** Niet-ingebruiknemers "kunnen een afname van zo'n 20% van de kasstroom ervaren dan het huidige niveau, uitgaande van hetzelfde kosten- en inkomstenmodel als nu", volgens het rapport.

De mogelijkheid om gebruik te maken van AI-technieken om taken uit te voeren waarvoor doorgaans menselijke intelligentie nodig is, vaak op een schaal en met een snelheid die de menselijke capaciteiten te boven gaat, stelt organisaties in staat om nieuwe manieren van werken te creëren in ontwerp-, engineering- en productieprocessen. PIX Moving maakt bijvoorbeeld gebruik van AI en automatisering om systemen te ontwikkelen die snel een aangepast product kunnen produceren dat klaar is om te worden geproduceerd. Yu van PIX Moving zegt dat het gebruik van door kunstmatige intelligentie aangestuurde ontwerpen en digitale fabricagetechnieken resulteert in gebruik van minder onderdelen, een kortere doorlooptijd, minder afhankelijkheid van de toeleveringsketen, een snellere respons op aanpassingsbehoeften en een benadering zonder mallen, die allemaal de kosten aanzienlijk verlagen voor de organisatie.

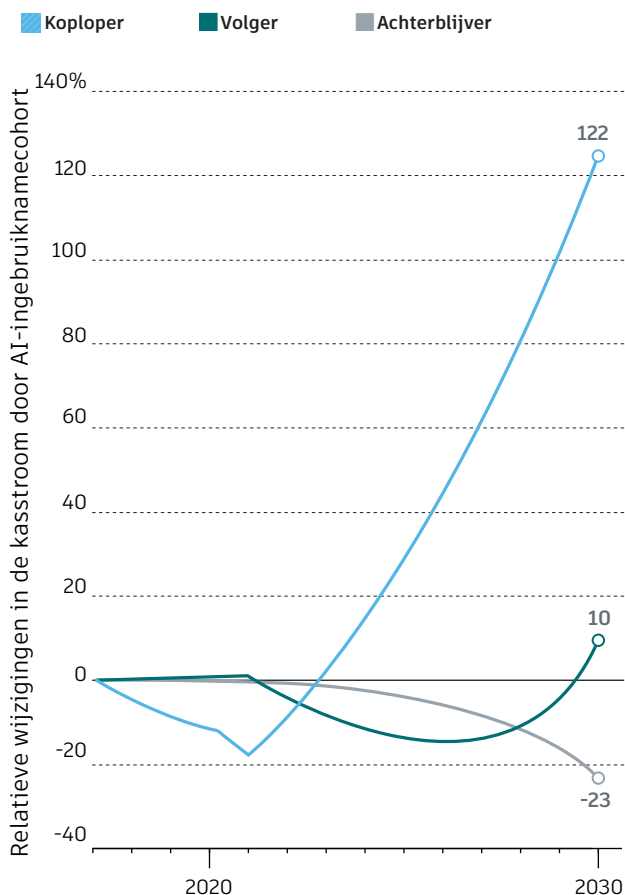
Volgens Yu bevrijden dergelijke softwaregedefinieerde productiesystemen PIX Moving van de factoren die innovatie beperken voor traditionele autofabrikanten. Deze factoren zijn onder meer: extra grote fabrieken, grote investeringen, hoge toegangsdrempels, langere doorlooptijden en tijdrovende processen, zoals het bouwen van tools en productielijnen, die iteraties vertragen en risico's met zich meebrengen. Wanneer dezelfde taak (ontwerp en productie van auto's) mogelijk is met tools zoals AI, wordt het proces "gedistribueerd, heeft de gebruiker inspraak en wordt het gedecentraliseerd. Er zijn geen mallen meer nodig, waardoor het aantal gereedschapsklemmen worden verminderd en [waardoor we flexibel kunnen reageren op veranderingen op de markt", zegt hij.

Enkele van de meest gebruikte toepassingen van AI in de bouw zijn tracking en veiligheid. Door beeldgegevens te analyseren die zijn vastgelegd door camera's die op kranen zijn gemonteerd - en in toenemende mate drones - kunnen

FIGUUR 1

Voordelen komen ten goede aan vroege ingebruiknemers

Tegen 2030 kunnen de voorstanders van kunstmatige intelligentie hun cashflow verdubbelen door het toepassen van kunstmatige intelligentie



Bron: McKinsey & Co., September 2018

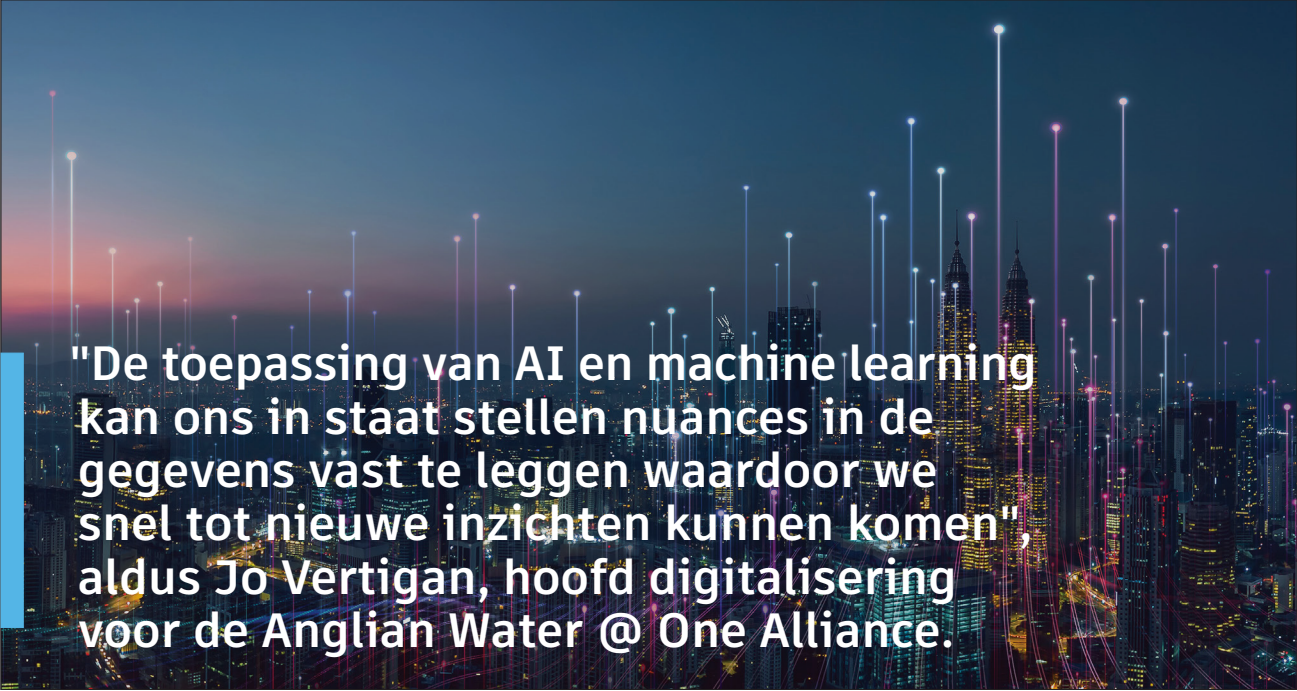
bouwbedrijven de vele uren en mensen die nodig zijn om rapporten over de huidige status van het werk op te stellen, een belangrijke maatstaf, aanzienlijk terugdringen tot slechts enkele minuten.

"Met geïntegreerde digitale technologieën kunnen onze projectmanagers de projectstatus, productiviteit en alle risico's objectief beoordelen en sneller op gegevens gebaseerde beslissingen nemen om de veiligheid, prestaties en resultaten te verbeteren", aldus Francesco Tizzani, groepsmanager digitale constructie in Leighton Asia, een internationale aannemer met hoofdkantoor in Hongkong en een onderdeel van de CIMIC Group. "De technologieën zorgen er ook voor dat handmatige rapportage wordt verminderd, zodat onze mensen zich kunnen richten op het analyseren van intelligente gegevens om de projectoplevering te verbeteren".

Digitalisering wordt gebruikt om op alle gebieden te innoveren bij Leighton Asia, waaronder veiligheid, aldus Tizzani. Een voorbeeld: een veiligheidsooplossing van Nexptore, het interne bedrijf voor software-innovatie van de bredere

McKinsey-analisten ontdekten dat koplopers op het gebied van kunstmatige intelligentie (AI) hun cashflow tegen 2030 zouden kunnen verdubbelen (economische voordelen minus bijbehorende investerings- en transitiekosten), met een cumulatieve verandering van 122%.

**“Notes from the AI frontier: Modeling the impact of AI on the world economy,”
McKinsey & Co., September 2018**



"De toepassing van AI en machine learning kan ons in staat stellen nuances in de gegevens vast te leggen waardoor we snel tot nieuwe inzichten kunnen komen", aldus Jo Vertigan, hoofd digitalisering voor de Anglian Water @ One Alliance.

groep, is getest op een bouwplaats van Leighton Asia. Een door AI aangedreven nabijheidsdetectiecamera bewaakt de uitsluitingszones (no-go-gebieden rond risicovolle activiteiten) en geeft een alarmsignaal als een machinist of werknemer een uitsluitingszone binnenkomt die is ingesteld om hen te beschermen tegen bewegende apparatuur.

Maar velen zien deze toepassingen als slechts het begin. AI is zeer geschikt voor een brede reeks innovatieve gebruiksscenario's in AEC- en D&M-ontwerp- en productieprocessen, van het filteren van big data tot het identificeren van mogelijkheden voor duurzaamheid tot het vastleggen van kennis van een verouderend personeelsbestand tot het uitvoeren van simulaties. "Het kan de codificatie van menselijke kennis en intelligentie zijn", aldus Jo Vertigan, hoofd digitalisering voor de Anglian Water @ One Alliance, een samenwerkingsverband van zeven bedrijven die samenwerken aan een aanzienlijk deel van het kapitaal investeringsprogramma van het Britse waterbedrijf. "De toepassing van AI en machine learning kan ons in staat stellen nuances in de gegevens vast te leggen waardoor we snel tot nieuwe inzichten kunnen komen".

Als u snel een multidimensionaal probleem oplost, zoals het optimaliseren van de parameters voor de duurste versie van een ontwerp, kunnen mensen zich op de juiste plaatsen concentreren.

"Er zijn zoveel dingen waar we innovaties kunnen realiseren", aldus Fischer van Stanford. "Daar zie ik dat AI ons de inzichten kan geven zodat we prioriteit kunnen geven aan wat er echt toe doet en wat de grootste impact heeft".

Zoals deze voorbeelden laten zien, gebruiken AEC- en D&M-organisaties AI om nieuwe inzichten te ontdekken en keuzes te optimaliseren voor een brede reeks uiteenlopende variabelen, innovaties die anders heel moeilijk te bereiken zouden zijn. Deze voordelen beloven zich te vermenigvuldigen

naarmate organisaties meer en betere gegevens beginnen te verzamelen. Volgens het onderzoek "AI Enablement in Smart Manufacturing" van Deloitte uit 2020 is 54% van de respondenten het er zelfs over eens en is 39% het er volledig mee eens dat kunstmatige intelligentie de sleutel zal zijn tot groei en innovatie in de productiebranche. De respondenten waren senior managers bij 110 Chinese productiebedrijven.

Digitale kopieën brengen nieuwe ideeën tot leven

Digitale kopieën spelen ook een steeds grotere rol als innovatiemiddel in AEC en D&M. Organisaties maken gebruik van de mogelijkheid van digitale kopieën om een gevirtualiseerde versie van een product of constructie te maken zodat ontwerpers en ingenieurs kunnen experimenteren met ontwerpen, materialen en andere variabelen als onderdeel van het oorspronkelijke ontwerpproces. De dynamische aard van digitale kopieën en hun vermogen om werkelijke gegevens en prestaties weer te geven bovenop een virtueel model, zorgen voor een terugkoppeling tussen fysieke en virtuele omgevingen. Deze lus helpt gebruikers en organisaties betere beslissingen te nemen, hun bedrijfsworkflows te verbeteren en toegang te krijgen tot voordelen zoals minder uitvaltijd en een hoger rendement op de investering tijdens de bouw en productie. Digitale kopieën profiteren ook van het doorlopende gebruik van producten en gebouwen.

De mondiale markt voor digitale kopieën zal van 2020 tot 2026 naar verwachting groeien met een samengesteld jaarlijks groeipercentage (CAGR) van 58%, van respectievelijk \$3,1 mrd naar 48,2 miljard dollar, volgens een rapport van Markets and Markets.⁶ De regio Azië-Pacific zal naar verwachting het snelste CAGR ervaren, waarbij de productiebranche naar verwachting de eerste ingebruiknemer zal zijn.

INZICHT IN DE BRANCHE

Innovatieproblemen in ontwerp en productie aanpakken

De ontwerp- en productiesector (D&M) heeft een lange traditie van innovatie. Maar conventionele werkwijzen, zoals het genereren van nieuwe ideeën aan een handvol teams toewijzen, fysieke prototypen bouwen en testen, en langdurig marktonderzoek doen, zijn niet langer snel of dynamisch genoeg. Om in het tempo van de huidige markt te werken, is een nieuwe benadering van innovatie vereist met meer snelheid, bredere samenwerking en een duidelijke cultuurverandering.

Het kan lastig zijn om een innovatievere cultuur te creëren, vooral voor de gevestigde productieorganisaties. Een van de uitdagingen is het gebrek aan technische innovatie als gevestigde academische discipline, zegt Andrew Kusiak, professor industriële en systeemtechniek aan de Universiteit van Iowa. "Omdat de kennis over innovatie relatief zwak is, is het voor bedrijven moeilijk om deze in praktijk te brengen", zegt hij.

Recente pogingen om talent in nieuwe disciplines te introduceren, zoals gegevenswetenschap, hebben geleid tot culturele conflicten en wantrouwen, aldus Jo Geraghty, oprichter van Culture Consultancy, een in Londen gevestigde organisatie die zich bezighoudt met culturele verandering. De bedrijfstak D&M heeft ook slechts beperkte toegang tot bruikbare gegevens en is ook beperkt in zijn bereidheid om de beschikbare gegevens te delen. Deskundigen die voor dit rapport worden geïnterviewd, adviseren de volgende stappen voor D&M-organisaties om door middel van uitdagingen te innoveren.

Implementeer multifunctionele teams. Het bevorderen van een cultuur waarin elke werknemer wordt aangemoedigd en gemachtigd om te innoveren, vereist welbewuste veranderingen. Geraghty zegt dat innovatiehubs een effectieve kortetermijnstrategie kunnen zijn, maar op de langere termijn zullen D&M-organisaties divers, multidisciplinair teamwork nodig hebben. Haar adviesbureau deed een oefening met werknemers van een grote voedselproducent waarbij teams van verschillende generaties, disciplines, geslachten en achtergronden een innovatietaak kregen. Het succes van de oefening heeft de fabrikant ertoe aangezet om de werkwijze in grotere projecten toe te passen.

"Ze kwamen wel met innovatie die werkte", zegt ze. "Maar de grotere overwinning ervan ging vooral over het begrip van 'Oh, ik zie de waarde die jullie verschil aan het licht brengt.'"

Betrek universiteiten en start-ups. Die samenwerkingsaanpak kan zich buiten de

organisatie uitstrekken tot academische en zakelijke partnerschappen, waaronder het werken met start-ups die geen last hebben van de bagage van diepgewortelde culturen. Partnerschappen kunnen bijzonder effectief zijn om te voorkomen dat er binnen productieorganisaties oorlogen om talent worden gevoerd, aldus John Suh, vice-president bij de Hyundai Motor Group en oprichter van New Horizons Studio, een team dat ultimate mobility vehicles (UMV's) ontwikkelt en is gevestigd in Fremont, Californië. Zijn groep werkt samen met derden om toegang te krijgen tot het meest innovatieve manieren van denken als het gaat om UMV-ontwerpen. Samenwerking vereist het uitwerken van kritieke kwesties, zoals intellectueel eigendom (IE) en octrooi-eigendom, maar kan alle partijen in het partnerschap ten goede komen.

"We verleggen de grenzen op dat specifieke technologische gebied zodat organisaties er voordeel bij hebben en ze kunnen dat benutten voor andere economische kansen", aldus Suh. "Wij zullen dat financieren, maar het biedt ook voordelen voor anderen. En daar moeten we akkoord mee zijn."

Gegevensproblemen aanpakken. Net als bij IE-kwesties kan samenwerking bij innovatie worden gebruikt om dataproblemen op te lossen. Oudere machines en apparatuur kunnen nog niet worden uitgerust om nuttige gegevens vast te leggen. En zelfs als er gegevens verzameld worden, zijn organisaties niet altijd bereid geweest om die te delen, zegt Kusiak van de Universiteit van Iowa. Dit probleem kan worden aangepakt door het interne beleid te wijzigen om de behoefte aan het uitwisselen van gegevens in te halen, zodat de samenwerking kan worden aangewakkerd.

Maak ruimte voor experimenten. Leiderschap moet ook ruimte maken voor werknemers om te innoveren: tijd vrijmaken, middelen inzetten en accepteren dat falen onvermijdelijk is. Werknemers op elk niveau moeten zich veilig voelen bij het delen van informatie over projecten die niet naar verwachting verliepen, zoals bij het delen van projecten die wel zijn geslaagd. Ondersteuning moet zich niet alleen uitbreiden via het innovatieproces - met alle tegenslagen, verfijningen en vroege implementaties - maar ook bij het verzekeren van de ingebruikname. Nieuwe ideeën hebben vaak een langdurige gebruiksperiode nodig voordat ze worden geaccepteerd en volledig kunnen worden gemonetiseerd.

Technologie kan het innovatieproces ondersteunen door handmatige taken te automatiseren en inzichten te ontdekken die nieuwe ideeën stimuleren.

VERVOLG OP PAGINA 8

INZICHT IN DE BRANCHE

VERVOLG VAN PAGINA 7

Geraghty van Culture Consultancy pleit ook voor het toepassen van ideeën en samenwerkingstools om ervaringen vast te leggen en te delen. "Veel van de beste ideeën voor innovatie komen van je eerstelijns personeel, omdat zij de mensen zijn [die] zien wat er op de werkvloer gebeurt", zegt ze.

Meet de voortgang. Statistieken helpen innovatie-initiatieven op schema te houden en veelbelovende initiatieven te identificeren. PIX Moving, een in Guiyang, China gevestigd, multidisciplinair bedrijf op het gebied van technologie dat gespecialiseerd is in robotica en automatisering, evalueert zijn eigen innovaties wat betreft kosten, flexibiliteit, efficiëntie, het "revolutieniveau" dat zij vertegenwoordigen en de gebruikerservaring, alsook de impact op het eigen personeel. De cultuur van de fabrikant legt de nadruk op het bereiken van een evenwicht tussen de efficiëntie en eerlijkheid van de werknemer. In dit scenario zijn "Werknemers beter bereid om geautomatiseerde apparatuur, zoals robots, te gebruiken om de efficiëntie van hun dagelijkse werkzaamheden te verbeteren, en zijn ze beter bereid om productiegegevens te verzamelen om producten en productieprocessen te optimaliseren", aldus Angelo Yu, oprichter en CEO. "Een toekomstgerichte cultuur is noodzakelijk."

Volgens een wereldwijd onderzoek van de Royal Institution of Chartered Surveyors uit Londen van september tot november 2021, gebruikt 26% van de respondenten digitale kopieën en is 18% begonnen met het nemen van de eerste stappen in de richting van de implementatie. De meest gebruikte toepassingen maken het delen van gegevens eenvoudiger om prestaties te leveren en efficiënte gegevens voor alle belanghebbenden te verzamelen. Daarnaast worden gegevens voor de besluitvorming en de samenwerking in realtime verzameld (elk 54%).

"Digitale kopieën helpen de ontwikkelingskosten van sommige onderdelen van ontwerp- en demonstratieprocessen te verlagen, wat de winstgevendheid kan helpen verbeteren", aldus Yuya Kajikawa, professor aan de School of Environment and Society aan het Tokyo Institute of Technology en aan het Institute for Future Initiatives aan de Universiteit van Tokio.

De New Horizons Studio van Hyundai zet digitale kopieën van zijn concept UMV om in digitaal gesimuleerde werelden. De langetermijndoelstelling is de prestaties van het voertuig in die omgeving te evalueren. Gezien de complexiteit van het emuleren van realistische tractie van het voertuig op gesimuleerde oppervlakken, is de kortetermijndoelstelling van New Horizons om te laten zien hoe een UMV kan worden gebruikt in verschillende scenario's waarin de fysieke werking van de prestaties van het voertuig wordt vereenvoudigd. Dat inzicht geeft potentiële klanten een manier om te begrijpen



De dynamische aard van digitale kopieën en de mogelijkheid ervan om reële gegevens en prestaties weer te geven bovenop een virtueel model, creëren een terugkoppelingslus tussen fysieke en virtuele omgevingen. Deze lus helpt gebruikers en organisaties betere beslissingen te nemen, hun zakelijke werkwijzen te verbeteren en te profiteren van voordelen zoals minder uitvaltijd en een verhoogd rendement op de investering tijdens de bouw en productie.

wat een toekomstig product kan doen en kunnen ze feedback geven, die technici vervolgens kunnen gebruiken om nieuwe ontwerpen te herhalen zonder dat ze ooit een fysiek prototype hoeven te bouwen.

"Als je een nieuw producttype hebt met nieuwe mogelijkheden, is het moeilijk om zelfs maar te verwoorden of zelfs maar te absorberen wat het voordeel is van iets dat ze nog nooit eerder hebben aangeraakt", aldus Suh van New Horizons. "Maar als ze er virtueel mee omgaan, kunnen ze dat wel". Het simuleren van ontwerpen en materiaalgebruik helpt AEC-organisaties ook tijdens het bouwproces.

Tizzani van Leighton Asia is verheugd om te zien dat het bedrijf voorop loopt in het gebruik van digitale kopieën. "We bouwen de bedrijfsmiddelen en de digitale kopie voor onze klanten. Een digitale kopie begint met een dynamisch BIM-model van wat moet worden gebouwd. Wij integreren de verschillende werkstromen van een project in het model en voeren gegevens in naarmate het project vordert", legt hij uit. Omdat Leighton Asia geen gegevens in spreadsheets en 2D-tekeningen vastlegt, kan het team het model en de visuele rapportage gebruiken om samen te werken aan wijzigings-beheer. Vervolgens kunnen ze simulatie en machine learning gebruiken om de besluitvorming te verbeteren, de efficiëntie te verbeteren en minder werk over te doen. "Wanneer de bouw is voltooid, is de digitale kopie van onschatbare waarde voor exploitatie en onderhoud gedurende de gehele levensduur van de asset", voegt Tizzani hieraan toe.

Hoewel de huidige vooruitgang bemoedigend is, blijft de mogelijkheid van digitale kopieën om een groot deel van het ontwerpproces en de productie van goederen en constructies in AEC en D&M te transformeren in de kijker staan. Door het volume en de diversiteit van hun activiteiten op het gebied van gegevensverzameling te vergroten kunnen organisaties een basis leggen om inzicht te krijgen en om in de toekomst experimenten uit te voeren.



"Digitale kopieën helpen de ontwikkelingskosten van sommige onderdelen van ontwerp- en demonstratieprocessen te verlagen, wat de winstgevendheid kan helpen verbeteren."

Yuya Kajikawa, professor aan de School of Environment and Society aan het Institute of Technology in Tokio en aan het Institute for Future Initiatives aan de Universiteit van Tokio



"Als je een nieuw producttype hebt met nieuwe mogelijkheden, is het moeilijk om zelfs maar te verwoorden of zelfs maar te absorberen wat het voordeel is van iets dat ze nog nooit eerder hebben aangeraakt. Maar als ze er virtueel mee omgaan, kunnen ze dat wel", aldus John Suh, Vice President van de Hyundai Motor Group en hoofd van New Horizons Studio.

Innovatie door de volgende generatie Ontwerpbenaderingen

De innovatiecapaciteit van organisaties moet worden verhoogd, en dit is ook de drijvende kracht achter het toegenomen gebruik van generatief ontwerpen en ontwerp voor productie en assemblage (DFMA). Generatief ontwerpen is een ontwerpproces waarbij rekening wordt gehouden met ontwerpdoelstellingen, parameters en beperkingen om snel ontwerpalternatieven te genereren en te testen. Met DFMA kunnen ingenieurs constructies in de eerste ontwerpfasen opnemen, wanneer wijzigingen minder kostbaar zijn. Bovendien kunnen ontwerpers/architecten, ingenieurs, fabrikanten, aannemers en onderaannemers gezamenlijk aan het ontwerpproces werken en samenwerken aan doelstellingen, zoals het verlagen van de tijd en de totale projectkosten. Architecten kunnen bijvoorbeeld weten hoe elk onderdeel wordt gefabriceerd en geassembleerd, zodat ze hun ontwerpen dienovereenkomstig kunnen optimaliseren. Fabrikanten en producenten kunnen hun beperkingen op voorhand delen, zodat architecten of ontwerpers hier rekening mee kunnen houden. Efficiëntie in het ontwerpproces biedt grote voordelen voor de kosten en de efficiëntie stroomafwaarts naarmate projecten vorderen.

Bryden Wood gebruikt op verschillende manieren generatief ontwerpen om innovatie te doordringen in zijn processen, waaronder het helpen van 'seriële' bouwers die variaties van dezelfde asset op meerdere locaties moeten bouwen. In plaats van elke locatie als eenmalig te ontwerpen met behulp van conventionele

benaderingen, kan generatief ontwerpen wel meer dan 100.000 voorgestelde variaties produceren, die volgens de waarde-stuwers van een klant kunnen worden geselecteerd om het ideale ontwerp voor elke locatie te realiseren. Dat succes stelde Bryden Wood in staat om het generatieve ontwerpconcept naar een hoger niveau te tillen door te vragen wat de organisatie *anders* nog kan doen door een geoptimaliseerd ontwerp in handen te hebben. Het bedrijf heeft geautomatiseerd ontwerp gebruikt om een snelle assemblage te ontwikkelen, een uiterst nauwkeurige set onderdelen voor de bovenbouw van The Forge, een commercieel kantoorproject zonder gebruik van fossiele brandstoffen in Zuid-Londen.

"Toen vroegen we de werktuigbouwkundige en elektrische aannemer het volgende: "Als u wist dat de bovenbouw zeer precies was, al je bevestigingspunten al in de plaat zitten en deze ook zeer nauwkeurig zijn, hoe zou u daarmee omgaan?", aldus Johnston van Bryden Wood. In een conventioneel project zou de werktuigbouwkundige aannemer en elektriciën elektrische componenten handmatig ter plaatse installeren als een reeks individuele transacties vanwege de onvermijdelijke variatie in bijvoorbeeld de plaatsing van een kolom. Maar omdat de bovenbouw was gebouwd volgens de exacte specificaties van het ontwerp, kon de elektriciën in plaats daarvan multiservice-cassettes maken met mechanische en elektrische componenten in een fabriek, deze vervolgens op hun plaats rijden en ze snel naar hun plaats heffen. In wezen kon de aannemer ontwerpen voor productie en assemblage. "De installatietijd is



Efficiëntie in het ontwerpproces levert grote voordelen op wat betreft kosten en efficiëntie, naarmate het project vordert.

teruggedrongen van enkele uren tot enkele minuten", aldus Johnston. Hetzelfde concept, dat op stukken van de gevel wordt toegepast, verkort de tijd die nodig is om elk paneel te installeren van een uur tot 7,5 minuten.

De mogelijkheid om in de ontwerpfase rekening te houden met productie- en geautomatiseerde assemblageprocessen, levert vooral waarde op omdat steeds meer productieprocessen worden verwerkt door robots, merkt Suh van New Horizons op. "We koppelen onze digitale modellen van de componenten die zijn ontworpen voor geautomatiseerde assemblage; vervolgens gaat dat bestand rechtstreeks naar de robot die de componenten maakt en samenvoegt", legt hij uit. "Vervolgens gebruiken mensen ter plaatse eenvoudige automatisering om de eindassemblage van de subassemblages snel en nauwkeurig te ondersteunen".

Door het toepassen van generatief ontwerpen en DFMA, AEC en D&M vergroten organisaties hun vermogen om al vroeg in het ontwerpproces ideeën te genereren, te testen en samen te werken aan ideeën. Hierdoor kunnen ze innovatieve benaderingen van hun manier van werken ontwikkelen terwijl ze tegelijkertijd de kosten minimaliseren en de efficiëntie verhogen. Naarmate het gebruik van generatief ontwerpen en DFMA blijft toenemen, wordt beloofd dat ze zullen resulteren in veel meer samenwerking en cohesie bij end-to-end-processen in zowel AEC als D&M.

Stimuleren van nieuwe benaderingen van duurzaamheid

Er is misschien geen grotere behoefte aan innovatie dan bij het verhogen van de duurzaamheid van ontwerp-, productie- en bouwprocessen. Aangezien de druk van overheden om duurzamere producten, processen en constructies te maken, blijft toenemen, zullen AEC en D&M-organisaties steeds meer gebruikmaken van AI- en modelleringstools en -technieken om nieuwe ontwerpen te maken die een evenwicht bieden tussen doel, duurzaam ontwerp en materialen en economische factoren.

"Er is doorgaans een wisselwerking tussen ecologische

duurzaamheid en economische efficiëntie", aldus Kajikawa van de Universiteit van Tokio. AI en modellering kunnen worden afgestemd om mensen te helpen die beslissingen te nemen in een complexe afweging, zegt hij.

Uit een onderzoek van het Capgemini Research Institute onder 480 leidinggevenden op het gebied van wereldwijde productie, uitgevoerd in februari en maart 2021, bleek dat organisaties al duurzaamheidsvoordelen ondervinden dankzij geschaalde digitale technologieën, waaronder automatisering, AI/machine learning en gegevensanalyse.

FIGUUR 2 Respondenten melden bijvoorbeeld een gemiddelde afvalvermindering van 15% in de afgelopen twee jaar en naar verwachting nog eens 20% in de komende vijf jaar. Volgens het rapport kan "Innovatie, aangestuurd door technologie en gegevens, fabrikanten helpen bij het aanpakken van zowel duurzaamheids- als economische problemen".

FIGUUR 2

Digitale investeringen leveren duurzaamheidsvoordelen op

Fabrikanten melden voordelen van schaalbaar gebruik van digitale technologieën, waaronder automatisering en kunstmatige intelligentie/machine learning

Wat zijn de gemiddelde voordelen voor duurzaamheid van geschaalde digitale technologieën?



Bron: Capgemini Research Institute, 2021

"Als je naar de constructies van gebouwen kijkt en je probeert de CO2-voetafdruk van je gebouw zo laag mogelijk te krijgen, probeer je energie tijdens gebruik te verminderen, maar ook de opgenomen koolstof in het gebouw zelf, de materialen", aldus Jacqui Glass, vice-decaan van onderzoek en professor bouwmanagement aan het University College in London.

Een voorbeeld van innovatie op het gebied van duurzaamheid is het Automating Concrete Construction-project aan de Britse Universiteit van Bath, dat de duurzaamheid en productiviteit in de bouw drastisch wil verbeteren door een holistische benadering te definiëren van de productie, assemblage, hergebruik en deconstructie van betonnen gebouwen. Machine learning, een subset van AI waarmee een machine automatisch van eerdere gegevens kan leren, zonder dat deze specifiek voor dat doel zijn geprogrammeerd, wordt gebruikt om slimme platen te ontwerpen die vervolgens met behulp van betonnen frames worden gemaakt. Hierbij wordt het materiaalgebruik met maximaal 50% verminderd door ervoor te zorgen dat beton alleen wordt geplaatst waar dit nodig is om voldoende stabiliteit en sterkte te bieden. Vervolgens verbeteren 3D-printen en robotproductie de efficiëntie van het productieproces. "Dat is een mooie demonstratie van hoe technologieën worden samengebracht om innovatie te stimuleren bij de manier waarop bouwprocessen duurzamer kunnen worden gemaakt", aldus Glass.

Aangezien de noodzaak voor meer duurzaamheid in productie- en bouwprocessen en materialen is toegenomen, wenden AEC- en D&M-organisaties zich tot innovatie om de beperkingen van traditionele werkwijzen te doorbreken. Benaderingen die AI, digitale kopieën, generatief ontwerpen en DFMA bevatten, beloven nieuwe manieren van werken mogelijk te maken die verspilling elimineren, processen versnellen, kosten verlagen en veel meer samenhangende, geïntegreerde manieren van werken creëren.

Voor het ontdekken van nieuwe manieren om tijd, materiaal en andere kosten te besparen bij het ontwerpen en produceren van goederen en gebouwen moeten enkele aanzienlijke obstakels worden overwonnen. AEC- en D&M-bedrijven moeten de organisatorische, culturele en technologische uitdagingen het hoofd bieden die uniek zijn voor hun branche, zodat ze de basis kunnen leggen voor meer innovatieve werkwijzen.

Complexe uitdagingen aanpakken met innovatie

De AEC- en D&M-branches hebben natuurlijk altijd al te maken gehad met uitdagingen. Maar de huidige



"Vandaag de dag is er geen andere optie dan innoveren om te kunnen groeien," aldus Jo Geraghty, oprichter van Culture Consultancy.

concurrentie en de druk van klanten, duurzaamheid en de uitdagingen in verband met het personeelsbestand, en strictere mandaten worden intenser gevoeld dan voorheen. Velen zien innovatie als de sleutel tot het ontsluiten van de nieuwe materialen, processen en creatieve energieën die nodig zijn om dit moment te bereiken.

AEC- en D&M-organisaties worden meer gestimuleerd om op technologie gebaseerde werkmethoden te verkennen. AI en benaderingen zoals digitale kopieën, generatief ontwerpen, en DFMA automatiseren routineprocessen en helpen mensen betere manieren te ontdekken, te testen en te implementeren om organisatorische doelen te bereiken. Vroege ingebruiknemers van deze technologieën, waaronder Bryden Wood en PIX Moving, constateren aanzienlijke verlagingen van kapitaalkosten en ontwerp- en productietijden en ontdekken meer duurzame materialen en methoden.

Om echt de vruchten te plukken van nieuwe technologische benaderingen op het gebied van innovatie, moeten organisaties ook hun manier van werken veranderen. In AEC zijn succesvolle strategieën onder meer het veranderen van de structuur van contracten en het verbeteren van gegevensverzameling en -analyse, en het creëren van een formelere structuur voor het doordringen van innovatie in dagelijkse werkzaamheden. In de D&M-sector helpt het bevorderen van diversere, multifunctionele interne teams, het samenwerken met universiteiten en start-ups, en het maken van ruimte in de cultuur voor innovatie, organisaties om nieuwe ideeën met succes te koesteren en te gelde te maken. Deskundigen hebben er vertrouwen in dat degenen die de hindernissen voor de acceptatie kunnen trotseren, bereid zijn te profiteren van het omarmen van innovatie in hun ecosystemen.

"Vandaag de dag is er geen andere optie dan innoveren om te kunnen groeien", merkt Geraghty van Culture Consultancy op.

Eindnoten

- 1 Forrester Research, "Grow and Differentiate Business Value Through Continuous Innovation", 10 mei 2021. <https://www.forrester.com/report/grow-and-differentiate-business-value-through-continuous-innovation/RES165159?objectid=RES165159>.
- 2 McKinsey & Co., "The state of AI in 2021," December 2021. <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/McKinsey%20Analytics/Our%20Insights/Global%20survey%20The%20state%20of%20AI%20in%202021/Global-survey-The-state-of-AI-in-2021.pdf>.
- 3 Gartner, "Gartner Says Marketing Innovation Makes Up More Than 20% of Marketing Budgets, Yet Many Marketers Lack a Clear Definition of Innovation," 11 augustus 2021. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/gartner-says-marketing-innovation-makes-up-more-than-20--of-mark#:~:text=Gartner%20defines%20innovation%20as%20%E2%80%9Cthe,execution%20and%20a%20useful%20outcome>.
- 4 Penn, Ivan, "California's Plan to Make New Buildings Greener Will Also Raise Costs," The New York Times, 30 augustus 2021. <https://www.nytimes.com/2021/08/30/business/energy-environment/californias-solar-housing-costs.html>.
- 5 Tony Hansen, Focko Imhorst, Anna Moore, et al., "Decarbonizing the built environment: Takeaways from COP26," McKinsey.com, 12 januari 2022. <https://www.mckinsey.com/industries/engineering-construction-and-building-materials/our-insights/decarbonizing-the-built-environment-takeaways-from-cop26>.
- 6 Markets and Markets, "Digital Twin Market by Enterprise, Application (Predictive Maintenance, Business Optimization), Industry (Aerospace, Automotive & Transportation, Healthcare, Infrastructure, Energy & Utilities) and Geography - Global Forecast to 2027," September 2020. https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/digital-twin-market-225269522.html?gclid=EAIaIQobChMI9Mz6wv_A7wIVinZgCh0gBgMFEAAAYASAAEgJQI_D_BwE.



**Harvard
Business
Review**

ANALYTIC SERVICES

OVER ONS

Harvard Business Review Analytic Services is een onafhankelijke commerciële onderzoekseenheid binnen de Harvard Business Review Group, die onderzoeken en vergelijkende analyses uitvoert over belangrijke managementuitdagingen en opkomende zakelijke kansen. Elk rapport wordt gepubliceerd op basis van de bevindingen van origineel kwantitatief en/of kwalitatief onderzoek en analyse, om zakelijke informatie en peer group-inzichten te bieden. Kwantitatieve onderzoeken worden uitgevoerd met de HBR-adviesraad, het wereldwijde onderzoekspanel van HBR, en kwalitatief onderzoek wordt uitgevoerd met senior leidinggevenden uit het bedrijfsleven en vakspecialisten van binnen en buiten de *Harvard Business Review*-gebruikersgemeenschap. Stuur een e-mail naar hbranalyticservices@hbr.org.

hbr.org/hbr-analytic-services