

Slim dakwerk: Hoe innovaties het werk veranderen

TNO 2025 R13097 – 18 december 2025

Slim dakwerk: Hoe innovaties het werk veranderen

Auteurs	Ellemarijn de Geit, Anne de Vries, Frank Krause, Anneke Goudswaard
Rubricering rapport	TNO Public
Aantal pagina's	17 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	-
Projectnummer	060.63793

Alle rechten voorbehouden

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

© 2025 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	4
2	Aanpak.....	5
3	Casusbeschrijvingen.....	6
3.1	Inside Out Technologies.....	6
3.2	Patina Dakdenkers/HDO Groep	7
4	Impact van innovaties	10
4.1	Arbeidsproductiviteit	10
4.2	Taken en vaardigheden	11
4.3	Kwaliteit van arbeid	12
4.4	Samenvattend	14
5	Uitdagingen.....	15
6	Conclusie	17

1 Inleiding

Nederland staat zowel voor een grote nieuwbouwopgave als voor de enorme uitdaging om bestaande bouw en infrastructuur te renoveren en verduurzamen. Om deze opgaven het hoofd te bieden, is innovatie in de bouwsector essentieel. Hoogleraren Eichholz en Kok pleitten in november in het NRC voor meer standaardisatie met moderne productiemethoden¹. Dit betekent niet alleen technologische vernieuwing, maar ook het optimaliseren van werkprocessen en het ontwikkelen van (nieuwe) vaardigheden.

Een eerdere rapportage van TNO² bracht in kaart waar kansen liggen voor het inzetten van arbeid ondersteunende technologie bij verduurzamingsuitdagingen in de hele bouwketen. De huidige rapportage gaat in op innovaties bij renovatie en verduurzaming van daken en de impact daarvan op arbeid. Traditionele dakconstructies, zoals bitumen- of pannendaken, zijn arbeidsintensief en moeilijk schaalbaar. Tegelijkertijd ligt de focus in de praktijk nog sterk op innovaties in de laagbouw, terwijl juist gestapelde bouw een belangrijke rol kan spelen in de transitie naar duurzame energie.

Aan de hand van twee praktijkvoorbeelden – innovatieprojecten van Inside Out Technologies en Patina Dakdenkers/HDO Groep – hebben we verkend hoe technologische innovaties in het ontwerp- en renovatieproces van daken bijdragen aan deze transitie. Denk hierbij aan toepassingen zoals digitaal inmeten, geautomatiseerd ontwerpen en het gebruik van prefab elementen.

De centrale onderzoeksvraag in deze verkenning was: ‘Wat is de impact op arbeid van technologische innovatie in dakrenovatie en verduurzaming?’. Daarbij hebben we onder andere gekeken naar arbeidsproductiviteit, taken en vaardigheden, en kwaliteit van arbeid.

Deze rapportage maakt deel uit van een breder innovatieprogramma³, namelijk het Nationaal Groeifonds Toekomstbestendige Leefomgeving (NGF TBL). Dit programma is gericht op de verduurzaming van de bouwsector, waarin onder meer – in samenwerking met een groot aantal partners in verschillende bouw innovatie hubs – wordt gewerkt aan een regionale human capital aanpak⁴.

¹ Eichholtz, P., & Kok, N. (2025, 21 november). Bouw standaardwoningen, zo kunnen we uit de woningcrisis komen. NRC Handelsblad.

² Goudswaard, A., Oosterhout, J., van Rhijn, R., Verhoef, H., & van den Bergh, R. (2024). Verkenning van mogelijkheden voor arbeidsondersteunende technologie in de bouw. TNO.

³ Toekomstbestendige Leefomgeving.

⁴ Regionaal Bouwen aan Human Capital.

2 Aanpak

Voor dit onderzoek zijn twee organisaties geselecteerd die technologische innovaties toepassen binnen het renovatieproces: Inside Out Technologies en Patina Dakdenkers/HDO Groep. De selectie van deze organisaties vond plaats via het netwerk van de partners in het NGF TBL programma. Beide organisaties zijn verbonden aan zogenaamde impactprojecten binnen NGF TBL en werken daarbij samen met genoemde bouw innovatie hubs.

Bij beide organisaties hebben we in de eerste helft van 2025 semigestructureerde interviews afgenomen met betrokkenen op verschillende niveaus, om zowel het perspectief van werkgevers als werknemers te belichten. Bij Inside Out Technologies zijn gesprekken gevoerd met onder andere de technisch directeur, twee project engineers en een BIM (Building Information Modeling) engineer. Bij Patina Dakdenkers/HDO Groep spraken we met de algemeen directeur, een veiligheidskundige en een uitvoerder. Bovendien brachten we een bezoek aan de productielijn om een goed beeld van de prefabricage van dakelementen te krijgen.

De interviews richten zich op de toegepaste innovaties in het renovatieproces en de effecten daarvan op arbeidsproductiviteit, taken en vaardigheden en kwaliteit van arbeid. Daarnaast hebben we gevraagd hoe het implementatieproces is verlopen en wat daarbij goed en minder goed werkte.



3 Casusbeschrijvingen

3.1 Inside Out Technologies

Inside Out Technologies is een onderneming die zich richt op het verduurzamen van hoogbouw door middel van complete modules, waaronder de io Alpha Solarmodule⁵. Dit is een constructie die op het dak wordt geplaatst, waardoor er meer zonnepanelen op het dak passen dan de oppervlakte van het platte dak alleen zou toelaten. De module bestaat uit een staalconstructie met geprefabriceerde frames voor zonnepanelen. Doordat deze frames plug-and-play worden geleverd, kunnen ze in principe door iedereen snel worden geïnstalleerd. Daarnaast heeft Inside Out Technologies een parametrisch model ontwikkeld, dat automatisch een 3D-ontwerp maakt van het gebouw en de module intekent. Inmiddels zijn drie projecten gerealiseerd waar de io Solarmodule is geplaatst. Bij het derde project werd gebruik gemaakt van het parametrische model.

Hoe gaat het bedrijf te werk?

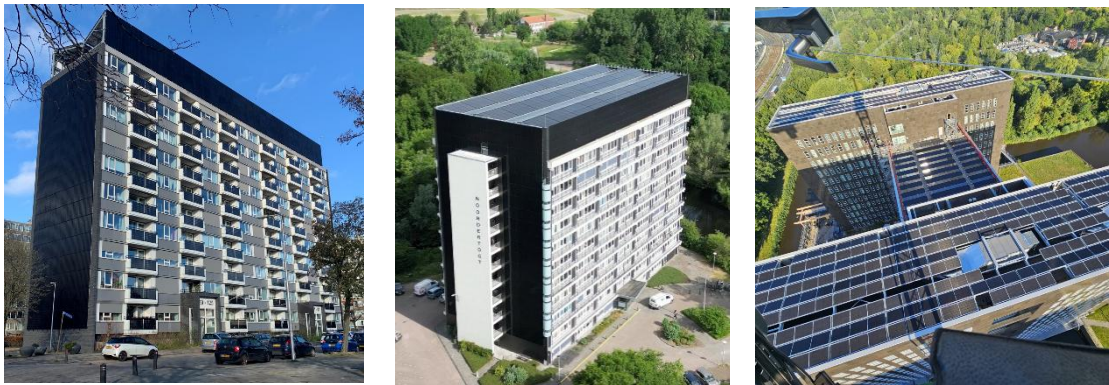
Het begint met het digitaal inmeten van het gebouw, waarbij gebruik wordt gemaakt van laserscanners en gegevens uit Google Maps. De verzamelde gegevens worden vervolgens ingevoerd in het parametrisch model, dat automatisch een 3D-ontwerp van het gebouw genereert en de io Alpha Solarmodule intekent. Hierdoor zijn minder fysieke bezoeken nodig aan de bouwlocaties om alles op te meten. Bovendien zijn ze hierdoor minder afhankelijk van bestaande bouwtekeningen, die nog wel eens afwijken van de praktijk. Het gebruik van het parametrische model versnelt het ontwerpproces aanzienlijk en vermindert de kans op fouten. De prefabricage van de frames voor de zonnepanelen vindt, afhankelijk van het project, plaats in een fabriekshal of op locatie. Prefabricage in een fabriekshal biedt het voordeel van een gecontroleerde en goed uitgeruste omgeving. De frames moeten daarna wel naar de bouwlocatie worden vervoerd, wat extra logistieke inspanningen vraagt. Prefabricage op locatie maakt het mogelijk om de frames direct op het dak te monteren, waardoor geen aparte opslagruimte nodig is. Dit vraagt wel om voldoende ruimte op locatie en er moet meer rekening gehouden worden met de weersomstandigheden. Omwonenden kunnen bovendien tijdelijk minder ruimte ervaren doordat de werkplaats een deel van het terrein inneemt. De laatste stap is dat een staalbouwer het onderstel van de stalen constructie op het dak plaatst, waarna de frames daar eenvoudig en snel (plug-and-play) op worden gemonteerd.

Hoe kwamen de innovaties tot stand?

De ontwikkeling van de io Alpha Solarmodule begon tijdens een afstudeerproject van de huidige directeurs van Inside Out Technologies, Paul Das en Joris van den Heiligenberg, destijds bouwkunde studenten. Het project was gericht op het versnellen van de verduurzaming in de hoogbouw (door middel van standaardisatie en efficiëntie). Bij de uitvoering van het eerste project kwamen knelpunten aan het licht, zoals het achteraf moeten aanleggen van de bekabeling en omvormers, het hanteren van verschillende framegroottes en de samenwerking tussen de staalbouwer en dakdekkers. Deze knelpunten leidden tot de ontwikkeling van een geprefabriceerd kabelgootsysteem, uniforme frames, en een slimme

⁵ Naast de io Alpha Solarmodule heeft Inside Out Technologies ook nog andere modules ontwikkeld voor duurzame hoogbouw, zoals de io Bravo Klimaatmodule, de io Charlie Gevelmodule, het io Delta Gevelement, de io Echo Balkonmodule en de io Foxtrot datamodule.

‘dekselconstructie’ om samenwerking tussen staalbouwer en dakdekker te stroomlijnen. In latere projecten werden verdere verbeteringen doorgevoerd, zoals de inzet van een voorman voor betere coördinatie en het deels zelf uitvoeren van staalbouw om de afhankelijkheid van externe partijen te verminderen, met als bijkomend voordeel lagere kosten door minder staalgebruik en sneller werken. Vanaf het derde project werd bovendien een parametrisch model ingezet, ontwikkeld door Timo Jacobs (destijds een stagiair, maar nu BIM-engineer bij Inside Out Technologies), waarmee het ontwerpproces sneller verloopt en minder gevoelig is voor fouten. De innovaties leveren niet alleen voordelen op voor het werkproces, maar ook voor de opdrachtgevers, bewoners en omgeving. De kortere bouwtijd leidt tot minder overlast voor bewoners en omwonenden. Bovendien kunnen ze door het dak van een flat van zonnepanelen te voorzien, in één keer tientallen woningen verduurzamen door ze van zonne-energie te voorzien. Hoewel Inside Out Technologies momenteel zowel de productie als de uitvoering verzorgt, is het bedrijf van plan zich in de toekomst vooral te richten op de productie. De modules zullen dan worden verkocht aan partijen die zelf de uitvoering kunnen doen. Op deze manier kan de verduurzaming van hoogbouw nog sneller worden gerealiseerd.



Afbeelding 1. De io Alpha Solarmodule op respectievelijk project 1, 2 en 3 van Inside Out Technologies.

3.2 Patina Dakdenkers/HDO Groep

Patina Dakdenkers is een bedrijf dat zich inzet op technologische innovaties binnen de dakdekkersbranche. Een van deze innovaties is het Dak van de Toekomst, een dak vernieuwing inspelend op de vraag naar duurzame, milieuvriendelijke en betaalbare daken. Het dak bestaat uit een prefab element, waarin zowel isolatie als dakbedekking verwerkt worden. Aan de ene zijde worden zonnepanelen geplaatst, aan de andere zijde groene pockets met sedum, kruiden en grassen. De pockets worden met klittenband bevestigd en zijn onderhoudsarm, omdat ze zijn voorzien van een irrigatiesysteem en zijn afgeschermd van onkruid. Bovendien zijn traditionele dakpannen overbodig, doordat de zonnepanelen van zichzelf al waterdicht zijn.

Hoe gaat het bedrijf te werk?

Het opmeten en produceren van de prefab dakelementen doet Patina Dakdenkers samen met HDO Groep, een bedrijf gespecialiseerd in prefab houtskeletbouw (HSB). Het inmeten van gebouwen gebeurt digitaal door middel van apparaten die vanaf de zijkant een 3D scan maken van het gebouw. Vervolgens wordt met de gegevens die voortkomen uit de scan, een ontwerp van het dakelement gemaakt, waarna het dakelement kan worden geproduceerd. Patina Dakdenkers bepaalt vervolgens de indeling van het dak: waar komen de zonnepanelen, waar het groen. De ligging van het dak en persoonlijke voorkeur zijn hier van invloed en bepalen

samen het optimale ontwerp van het dak van de toekomst. Zodra het element, bestaande uit een frame, isolatie en bitumen bedekking klaar is, wordt het vanuit de fabriek naar de bouwlocatie vervoerd. Daar wordt het oude dak verwijderd, het nieuwe element geplaatst, en worden de groene pockets en zonnepanelen gemonteerd. Ook het irrigatiesysteem wordt ter plekke aangesloten.

Het dak van de toekomst is met name gericht op woningcorporaties die grootschalige renovaties uitvoeren, vooral sociale woningbouw uit de jaren '30 tot '60. Omdat deze woningen vaak sterk op elkaar lijken, is opschalen naar meer seriematig en daarmee efficiënt werken mogelijk. De methode geeft minimale overlast voor bewoners vergeleken met traditionele renovatie, omdat de dakconstructie en binnenzijde van het oude dak intact blijven.

Hoe kwamen de innovaties tot stand?

De ontwikkeling van het dak van de toekomst begon bij de eindgebruiker: wat wil de klant? Max Kwantes kwam hierdoor op een dakoplossing die duurzaam is, minimale milieubelasting kent en tegelijkertijd betaalbaar blijft. Door vervolgens deze elementen te combineren tot een oplossing voor hellende daken, ontstond het idee om zonnepanelen en een groen dak samen te brengen in één prefab dakelement.

Naast de wens om duurzaamheid en betaalbaarheid te combineren, speelden ook praktische knelpunten in het traditionele renovatieproces een rol. Zo moet op meer weerstand van bewoners van huurwoningen worden gerekend dan bij eigenaren die hun dak laten renoveren. Het proces is verder sterk afhankelijk van weersomstandigheden, lastig te plannen en fysiek belastend voor medewerkers. Daarnaast zijn er logistieke knelpunten, zoals de aanvoer van materialen en de bereikbaarheid van de locatie. Het prefab produceren van het dakelement neemt een groot deel van deze variabiliteit weg. De innovaties leveren niet alleen voordelen op voor het werkproces, maar ook voor de opdrachtgevers, bewoners en omgeving.

Patina Dakdenkers legt sterk de nadruk op duurzaamheid en natuur. In het ontwerp worden natuurlijke isolatiematerialen zoals vlas, hennep en cellulose gebruikt. Deze zijn 100% biologisch afbreekbaar en kunnen na gebruik zelfs “teruggegeven worden aan de natuur” – er blijft dus geen afval van over aan het einde van de levensduur. Daarnaast dragen de groene daken bij aan biodiversiteit door bijen en insecten aan te trekken. Ze zorgen ook voor verkoeling in stedelijke gebieden, wat helpt tegen hittestress en het wooncomfort verhoogt. Patina Dakdenkers berekent bovendien de CO₂-besparing van elk dak en levert deze cijfers aan voor milieujaarverslagen van woningcorporaties, waarmee opdrachtgevers hun duurzaamheidsdoelen kunnen onderbouwen. Voor bewoners leveren de zonnepanelen op het dak directe financiële voordelen op via lagere energiekosten. Omwonenden hebben al laten weten blij te zijn met het uitzicht op de groene daken. Dit is naar voren gekomen bij een eerste pilot in Bussum, waarbij de daken van 12 woningen van een woningbouwvereniging werden vervangen door het dak van de toekomst.



Afbeelding 2. Bovenaanzicht dak van de toekomst van Patina Dakdenkers/HDO Groep.

4 Impact van innovaties

Innovaties kunnen op meerdere fronten impact hebben. Uiteraard op het terrein van de doelen die ze nastreven, zoals productiviteitsverhoging, kostenbesparing en verduurzaming. Innovaties hebben vrijwel altijd ook een effect op de werkprocessen en daarmee op het werk dat door werknemers verricht moet worden. In dit hoofdstuk richten we ons op de mogelijke impact van de besproken innovaties op werk: arbeidsproductiviteit, veranderingen in de taken en vereiste vaardigheden en daardoor eventueel noodzakelijke verschuivingen in personele samenstelling, en op de kwaliteit van arbeid.

4.1 Arbeidsproductiviteit

Door het automatisch inmeten en ontwerpen kunnen beide bedrijven sneller werken. Bij Patina Dakdenkers heeft deze innovatie het inmeten en indelen van een woning teruggebracht tot slechts 2 à 3 uur in plaats van enkele dagen. Inside Out Technologies heeft het ontwerpproces versneld van maanden naar dagen. Voor relatief standaard tekenwerk komt een aantal snelle ontwerppiteraties in de plaats. In de gewonnen tijd kunnen medewerkers zich meer richten op afstemming en optimalisatie. Bovendien zorgen standaardisatie en digitale controles, zoals clashtesten⁶, voor minder fouten in het proces.

Ook in de uitvoering zorgen prefab elementen voor een productiviteitswinst. Bij HDO Groep kunnen dagelijks 24 prefab dakelementen worden geproduceerd, die na drie dagen inzetbaar zijn. Het plaatsen van een compleet dak kost Patina Dakdenkers vervolgens slechts enkele uren, waardoor binnen één dag een woning van een nieuw dak zou kunnen worden voorzien – een proces dat voorheen meerdere dagen duurde. Inside Out Technologies ervaart een vergelijkbare versnelling: door prefabricage en herhaling van projecten verloopt het leggen van frames steeds sneller. Daarnaast zijn er minder hijs- en transportbewegingen nodig, wat de bouwtijd verder verkort en minder veiligheidsrisico's geeft. Verder zijn bij het derde project de frames met zonnepanelen geïntegreerd in de staalconstructie, wat ook tijdsbesparing oplevert.

Wel verschuift de gevraagde personeelsinzet. Bij Patina Dakdenkers is er minder mankracht nodig op het dak, maar juist meer capaciteit in de voorbereiding, zoals bij calculatie, engineering en planning. Inside Out Technologies ziet een vergelijkbare trend, waarbij minder mensen nodig zijn bij de uitvoering op locatie, maar meer bij de voorbereiding. Dit komt mede doordat de prefabricage van de frames is verplaatst naar de voorbereidingsfase.

Tabel 1 geeft een overzicht van de belangrijkste projectkenmerken en prestaties van de drie projecten van Inside Out. Het laat zien hoe de doorlooptijd, bemensing en gemiddelde arbeidsuren per zonnepaneel variëren tussen de projecten. Wat betreft de doorlooptijd en bemensing zien we dat project 1 twee weken nodig had voor de prefabricage en twee weken voor de montage, respectievelijk uitgevoerd door 2 en 6 personen. Bij project 2 waren ook twee weken nodig, maar is de prefabricage tegelijk met de montage uitgevoerd door in totaal 8 personen. De gemiddelde tijd per zonnepaneel (prefabricage en montage) was een stuk lager

⁶ Een clash test in BIM (Building Information Modeling) is een controleproces, waarbij je onderzoekt of er conflicten of botsingen bestaan tussen verschillende bouwonderdelen in een 3D-model. Het doel is om fouten vroegtijdig op te sporen, zodat ze niet pas tijdens de bouw aan het licht komen.

bij het tweede project, wat mogelijk te wijten is aan de aanpassingen die zijn gedaan aan het ontwerp en de ervaring die is opgedaan tijdens het eerste project. Voor project 3 was meer tijd nodig, namelijk in totaal ruim vier weken voor de prefabricage (luifel en dak) en drieënhalve week voor de montage (luifel en dak). Alles bij elkaar genomen is te zien dat de gemiddelde tijd die nodig was per zonnepaneel ongeveer 75 minuten was in project 1, 60 minuten in project 2 en 75 minuten in project 3. Ondanks dat project 3 minder snel lijkt te gaan dan project 2 en ongeveer even snel als project 1, zit daar wel degelijk tijdswinst. Project 3 was een twee keer zo hoge flat wat o.a. meer hijstijd vereist en de uitvoering uitdagender maakt. Bovendien waren er minder mensen nodig bij de montage, maar meer bij de prefabricage.

Tabel 1. Specificaties per project van Inside Out Technologies.

	Project 1	Project 2	Project 3***
Dakoppervlak	550 m2	920 m2	2600 m2
Hoogte	25-30 meter	25-30 meter	50 meter
Zonnepanelen*	504	652	1356
Doorlooptijd	2 weken voor prefabricage, 2 weken voor montage	2 weken voor prefabricage en montage (tegelijktijd)	Luifel: 3 weken voor prefabricage en 2 weken voor montage. Hoge daken: 8 dagen voor prefabricage en 10 dagen voor montage
Bemensing	2 personen voor prefabricage, 6 personen voor montage	8 personen voor prefabricage en montage (tegelijktijd)	4 personen voor prefabricage, 4 personen voor montage
Arbeidsuren**	Gemiddeld 75 minuten per paneel	Gemiddeld 60 minuten per paneel	Gemiddeld 75 minuten per paneel
Metten en tekenen	Handmatig met meetlint en laser. 3D ontwerp door extern bedrijf.	Handmatig met laserscanner. 3D ontwerp door extern bedrijf.	Automatisch met behulp van een parametrisch model

* Voor een consistente vergelijking zijn alleen de horizontaal geplaatste zonnepanelen meegenomen.

** Prefabricage en montage.

*** Hier zijn zowel een grote luifel als het dak van zonnepanelen voorzien.

4.2 Taken en vaardigheden

Dankzij digitale systemen kunnen beide bedrijven het gebouw vrijwel automatisch inmeten en daar direct een 3D-ontwerp van genereren. Zowel HDO Groep als Patina Dakdenkers blijkt hierdoor minder afhankelijk van gespecialiseerde medewerkers; het werk kan nu ook uitgevoerd worden door minder ervaren medewerkers of studenten met een bouwkundige achtergrond. Bij Inside Out Technologies vraagt het werken met het parametrische model juist om nieuwe vaardigheden zoals programmeren en vakspecifieke kennis van de tool. Daarnaast worden communicatieve vaardigheden belangrijker, omdat de engineer een grotere rol pakt in de afstemming met externe partijen.

Ook het gebruik van prefab elementen leidt tot veranderingen in het werk. Bij HDO Groep is het productieproces in de fabriek gestandaardiseerd, waardoor een deel van de timmerlieden van Patina Dakdenkers zijn vervangen door operators bij HDO Groep die machines bedienen en onderdelen assembleren, zonder aan zware fysieke belasting blootgesteld te zijn. Het plaatsen van de elementen op het dak is eenvoudiger geworden, waardoor het aantal specialisten tijdens het plaatsen lager is. Het blijft belangrijk dat er op de bouwplaats ervaren voormannen aanwezig zijn die kunnen inschatten wat er moet gebeuren bij afwijkingen. Aan de andere kant ziet Patina Dakdenkers een grotere behoefte aan digitale vaardigheden; een deel van het vakwerk verschuift naar binnen. Dit proberen ze op te lossen door medewerkers hierin op te leiden. Inside Out Technologies ervaart een vergelijkbare verschuiving: door prefabricage is er minder vakkennis nodig bij het plaatsen van de elementen, maar in hun geval is meer logistieke kennis nodig om de geprefabriceerde panelen van de fabriek naar de locatie te krijgen. Door standaardisatie wordt het werk toegankelijker voor lager opgeleide krachten, mits goed aangestuurd. In beide gevallen zien we dat vakmanschap nog steeds nodig is, maar dat de nadruk verschuift naar voorbereiding, planning en het omgaan met gestandaardiseerde processen.



Afbeelding 3. Werkzaamheden dak van de toekomst van Patina Dakdenkers/HDO Groep

4.3 Kwaliteit van arbeid

De impact op de kwaliteit van arbeid kan worden beschreven aan de hand van de volgende kenmerken: moeilijkheidsgraad, variatie in taken, autonomie, sociaal contact, mentale belasting en fysieke belasting⁷.

⁷ Hulsege, G., van der Torre, W., Verbiest, S., & Oeij, P. (2022). De impact van technologie op de taken, skills en kwaliteit van de arbeid. Tijdschrift voor arbeidsvraagstukken, 38(2), 169-191.

Moeilijkheidsgraad

Door het automatisch inmeten en ontwerpen is de moeilijkheidsgraad van het ontwerpproces aanzienlijk verlaagd bij beide bedrijven. Voorheen vereiste het inmeten van een gebouw veel specialistische kennis en ervaring, maar door de innovaties is het proces eenvoudiger en minder foutgevoelig geworden. Bovendien kan het gebruik van moderne technologie de aantrekkelijkheid van het werk vergroten voor nieuwe medewerkers, die het uitdagend en interessant vinden om met deze systemen te werken.

Ook in de uitvoering is de complexiteit van het werk aanzienlijk verlaagd, wat komt door het prefabriceren van de dakelementen in de fabriek. Hierdoor zijn er minder specialistische vakkrachten nodig, zowel in de fabriek als op het dak. De verlaagde moeilijkheidsgraad maakt het werk bovendien toegankelijker voor een bredere groep medewerkers voor wie het werk op het dak, op kantoor, maar ook in de fabriek, wel uitdagend genoeg is. Bij Inside Out Technologies heeft deze nieuwe werkwijze bovendien geleid tot meer vertrouwen en tevredenheid onder monteurs, dankzij de grotere voorspelbaarheid en de snellere plaatsing van de dakelementen.

Variatie in taken

Door het gebruik van digitale inmeet- en ontwerptools is de medewerker minder lang met dezelfde (en soms herhalende) taak bezig, waardoor ruimte ontstaat voor nieuwe taken. Bij Inside Out Technologies nemen ontwerpers in de vrijgekomen tijd bijvoorbeeld ook communicatie en afstemming met externen op zich, wat het werk dynamischer maakt. Patina Dak-denkers geeft ook aan dat medewerkers andere taken of projecten kunnen oppakken. In de prefabricage zien we echter het tegenovergestelde. Het werk in de fabriek verloopt volgens een gestandaardiseerd proces, wat leidt tot minder variatie in taken. Ook bij het plaatsen van de dakelementen is er minder variatie, zonder dat dit wordt gecompenseerd door toevoeging van andere taken.

Autonomie

Autonomie verwijst naar de mate waarin medewerkers zelfstandig keuzes kunnen maken in hun werk en bijvoorbeeld zelf kunnen bepalen hoe zij hun werk inrichten. Het digitaal inmeten en ontwerpen vergroot de ervaren autonomie, doordat medewerkers meer verschillende taken krijgen en tot op zekere hoogte zelf kunnen bepalen hoe zij dat inrichten. Voor medewerkers die betrokken zijn bij de prefabricage in de fabriek en de montage op het dak is de autonomie juist beperkter geworden. Door de standaardisatie is er weinig ruimte voor eigen invulling. Operators in de fabriek moeten bovendien voldoen aan het tempo van machines. Aan de andere kant kan deze werkwijze goed aansluiten bij medewerkers die juist baat hebben bij duidelijkheid en structuur. Hoewel men minder direct betrokken is bij het eindproduct, blijft het mogelijk om van het begin tot eind bij de prefabricage betrokken te zijn.

Sociaal contact

Uit de interviews zijn geen duidelijke aanwijzingen dat er significant meer of minder sociaal contact plaatsvindt met collega's. Wel hebben ontwerpers door het gebruik van digitale inmeet- en ontwerptools meer contact met externe partijen, zoals klanten en ketenpartners. Het werken in de fabriek leidt daarentegen juist tot minder contact met externe partijen en schakels in de keten.

Mentale belasting

Het gebruik van digitale inmeet- en ontwerptools verlaagt de werklast doordat repetitieve taken worden geautomatiseerd. Tegelijkertijd zorgt de toegenomen variatie in taken – zoals

communicatie en coördinatie met externe partijen – voor meer dynamiek en verantwoordelijkheid. Dit kan het werk aantrekkelijker maken, maar kan ook leiden tot een hogere werkdruk. Bij de prefabricage in de fabriek is de mentale belasting juist lager door gestandaardiseerde handelingen. Dit gaat gepaard met minder verstoringen en vertragingen, waardoor kansen ontstaan voor medewerkers met andere profielen. Ook bij de montage op het dak kan het werk nu door minder gespecialiseerd personeel worden uitgevoerd, omdat het proces minder kennis vraagt dan voorheen. Een bijkomend effect is dan wel dat deze werknemers mogelijk minder goed anticiperen op onverwachte situaties, waardoor meer verantwoordelijkheid komt te liggen bij de werkvoorbereider en voorman.

Fysieke belasting

Het gebruik van prefab-dakelementen heeft een positieve invloed op de fysieke belasting en veiligheid van medewerkers. Dit komt doordat zware en risicovolle werkzaamheden op hoogte grotendeels worden vervangen door veiliger werk in de fabriek, met meer mogelijkheden om zware fysieke belasting te voorkomen (bijvoorbeeld meer mogelijkheden voor tilhulpmiddelen of andere machines), of door kortdurende montage op het dak. Daarnaast is het aantal medewerkers dat aan schadelijk zonlicht, of andere weersomstandigheden, en extreme hitte is blootgesteld, lager.

4.4 Samenvattend

Tabel 2. De impact op arbeid samengevat per fase

	Ontwerpfase	Voorbereidingsfase	Uitvoeringsfase
Arbeidsproductiviteit	• Sneller een definitief ontwerp. • Minder foutgevoelig.	• Een deel van de werkzaamheden op het dak verplaatst naar de fabriek (prefabricage). • Meer mensen nodig in de voorbereiding voor prefabricage.	• Minder handelingen op het dak. • Minder hijs- en transportbewegingen. • Snellere montage. • Minder mensen nodig voor montage
Taken en vaardigheden	• Minder ervaring nodig voor inmeten. • Meer digitale en programmeer vaardigheden nodig voor gebruik van modellen.	• Minder ervaring nodig door gestandaardiseerd proces. • Meer logistieke kennis nodig om geprefabriceerde onderdelen op locatie te krijgen.	• Minder ervaring nodig door gestandaardiseerd proces. • Wel ervaren voorman nodig voor aansturing en in het geval van afwijkingen.
Kwaliteit van arbeid	• Minder herhalend tekenwerk. • Meer uitdaging door verschuiving naar communicatie en afstemming. • Meerverantwoordelijkheid.	• Prefabricage in veilige en gecontroleerde fabrieksomgeving. • Door standaardisatie. • Makkelijker. • Minder afwisselend. • Minder autonomie.	• Minder fysieke belasting en veiligheidsrisico's. • Door standaardisatie. • Makkelijker. • Minder afwisselend. • Minder autonomie. • Meer mentale belasting voorman

5 Uitdagingen

Zoals in het vorige hoofdstuk is besproken, hebben de genoemde innovaties impact op arbeid, waaronder arbeidsproductiviteit, gevraagde vaardigheden en kwaliteit van arbeid. De inzet van deze innovaties brengt echter de nodige arbeid gerelateerde uitdagingen met zich mee, zoals de beschikbaarheid en ontwikkeling van personeel. In dit hoofdstuk worden deze uitdagingen besproken, evenals andere (meer algemene) uitdagingen en leerpunten die met het innovatieproces te maken hebben.

Beschikbaarheid en ontwikkeling van personeel

Het vinden van ervaren en gekwalificeerd personeel blijft een uitdaging. Technologie biedt mogelijkheden om het werk te ondersteunen of anders in te richten, waardoor het door minder ervaren of anders gekwalificeerd personeel kan worden uitgevoerd. Zowel bij Inside Out Technologies als Patina Dakdenkers/HDO Groep zien we zo'n verschuiving in taken en vaardigheden. Door het werk te standaardiseren en onderdelen te prefabriceren kan het door operators en minder ervaren monteurs worden uitgevoerd. Voor het ontwerp zijn juist meer digitaal ingestelde medewerkers vereist. Volgens Patina Dakdenkers vormt dit geen groot probleem, omdat veel werknemers deze digitale werkzaamheden juist interessant vinden. Hoewel er nog steeds gekwalificeerde en ervaren medewerkers nodig zijn, bijvoorbeeld om aan te sturen en in het geval van afwijkingen van het ontwerp, verschuift een deel van de arbeidsvraag naar krachten met minder specialistische kennis en functies die minder schaars zijn op de arbeidsmarkt.

Kosten

Hoewel de kosten van innovaties vaak als een zorgpunt worden gezien, blijkt uit de praktijk dat deze niet altijd een belemmering hoeven te vormen. Volgens Patina Dakdenkers zijn de totale kosten van innovatieve dakrenovatie vergelijkbaar met die van traditionele methoden. Dit komt doordat de hogere uitgaven voor moderne elementen, zoals zonnepanelen en groene pockets, worden gecompenseerd door het wegvallen van kosten voor dakpannen. Inside Out Technologies benadrukt dat de initiële investeringen in softwareontwikkeling en de io Alpha Solarmodule zich op termijn terugverdienen door tijdwinst en lagere faalkosten. Bovendien kunnen zowel de software als de Solarmodule herhaaldelijk worden ingezet en/of aangeboden aan de markt. Wat betreft arbeidskosten zien we bij beide bedrijven een verschuiving van arbeid van de uitvoeringsfase naar de voorbereidingsfase. Er is meer werk bij het ontwerp en voorbereiding (prefabricage) en minder op de bouwplaats zelf.

Communicatie en schakels in de keten

Korte lijnen en heldere afspraken zijn cruciaal. Minder schakels betekent minder afhankelijkheden, minder kans op fouten en een beter beheersbaar proces. Voor Patina Dakdenkers is dit een belangrijke uitkomst van de pilot in Bussum. Door de samenwerking met meerdere partijen ontstonden er soms misverstanden over verantwoordelijkheden en planning, wat leidde tot vertragingen en inefficiënties. Ook Inside Out Technologies koos ervoor de bouw van een deel van de staalconstructie in eigen handen te houden, omdat ze minder afhankelijk wilden zijn van de staalbouwer.

Ruimte voor een iteratief proces

Innovatie vraagt om een iteratief proces waarin ruimte is om te experimenteren, fouten te maken en daarvan te leren. Zowel Inside Out Technologies als Patina Dakdenkers hebben gaandeweg waardevolle inzichten opgedaan die tot concrete verbeteringen hebben geleid. Zo ontdekte Patina Dakdenkers dat bepaalde onderdelen, zoals de dakgoot, beter direct in het prefab dakelement geïntegreerd kunnen worden. Ook bij Inside Out Technologies zijn steeds meer onderdelen in de prefabricage geïntegreerd, zoals een kabelgoot en een gedeelte van de staalconstructie.

Marktvraag

Voor deze innovaties is een voldoende grote markt essentieel. De vraag naar verduurzaming richt zich momenteel vooral op laagbouw, mogelijk omdat de ingrepen eenvoudiger en kostenefficiënter zijn. Patina Dakdenkers kon inspelen op een duidelijke klantvraag. De tijdsbesparingen bij Inside Out Technologies bieden kansen om ook de verduurzaming van hoogbouw te stimuleren. Niet onbelangrijk want hoogbouw heeft een aanzienlijke duurzaamheids-potentie: één installatie kan tientallen woningen in één keer verduurzamen.

Minimaliseren van ‘onvoorzien’

Bij Patina Dakdenkers wordt het ontwerp van het nieuwe dak gebaseerd op een digitale scan. Als gevolg van verzakkingen of aangebrachte voorzieningen (zoals dakkapellen of ventilatie-units) is eigenlijk geen enkel huis hetzelfde. Een van de uitdagingen is om daken van buitenaf ‘recht te trekken’ zonder een valse spouw te creëren. Om overlast te beperken, heeft het de voorkeur om de opname volledig buiten te doen, maar dan zijn niet altijd alle details van het dak zichtbaar. Hierdoor kunnen ze bij het verwijderen van het oude dak op onverwachte situaties stuiten, zoals doorgeroeste muurplaatankers of andere afwijkingen. Om de opbouw van het bestaande dak goed te begrijpen, is fysiek onderzoek (meestal boren) door de voorman daarom dikwijls nog noodzakelijk. Dit vraagt medewerking van de bewoners, wat niet altijd vanzelfsprekend is, vooral bij sociale huurwoningen waar draagvlak voor renovatie vaak ontbreekt. Dit kan de uitvoering vertragen, zeker als werkzaamheden binnen in de woning nodig zijn. In het eerste pilotproject van Patina Dakdenkers bleken deze uitdagingen echter goed beheersbaar met zorgvuldige voorbereiding. Inside Out Technologies ondervindt deze uitdagingen nauwelijks, omdat zij de io Alpha Solarmodules alleen op gedeelde daken plaatsen en geen daken aanpassen.

6 Conclusie

De casussen van Inside Out Technologies en Patina Dakdenkers/HDO Groep laten zien welke impact andere manieren van werken in de bouwsector – gekenmerkt door digitalisering, standaardisatie en prefabricage – hebben op arbeid. Specifiek hebben we gekeken naar de impact van digitale meet- en ontwerptools en het prefabriceren van dakelementen of zonnepanelenframes op arbeidsproductiviteit, taken en vaardigheden, en kwaliteit van arbeid.

We hebben gezien dat de arbeidsproductiviteit stijgt door kortere ontwerp- en bouw tijden, minder faalkosten, minder arbeidsbelasting en een efficiëntere inzet van personeel. Tegelijkertijd verandert de aard van het werk: fabrieksmatige prefabricatie biedt kansen om de over het algemeen zware fysieke belasting in de bouw te verminderen, terwijl voorkomen moet worden dat hierdoor laagwaardig repeterend werk ontstaat. Hoewel standaardisatie in sommige gevallen leidt tot minder autonomie en variatie, ontstaan er ook nieuwe functies in de voorbereiding en aansturing, met meer verantwoordelijkheid en inhoudelijke uitdaging. Het grotere belang van engineering en afstemming legt het accent bij digitale, coördinerende en communicatieve vaardigheden.

Het effect van deze andere manier van werken is dus niet alleen zichtbaar in de efficiëntie van het bouwproces, maar ook in de kwaliteit van arbeid. Door gericht technologie in te zetten, zien we dat projecten sneller, veiliger en duurzamer kunnen worden uitgevoerd. Tegelijkertijd vraagt deze transitie om een herwaardering van vaardigheden en een herinrichting van functies. De verschuiving van fysieke naar meer digitale en coördinerende taken vereist een andere inzet van mensen, met aandacht voor scholing, begeleiding en loopbaanontwikkeling.

Health & Work

Sylviusweg 71
2333 BE Leiden
www.tno.nl