

ir. F.J.M. van Gassel, universitair docent Uitvoeringstechniek TU Eindhoven en onderzoeker Universitair Centrum voor Bouwproductie (UCB).

De bouw wil mechaniseren en robotiseren. Daar zijn tal van geldige redenen voor. Maar, kan dat wel? Als we kritisch naar het werk op de bouwplaats kijken ligt het mechaniseren en robotiseren niet direct voor de hand. Het gaat er namelijk niet om de arbeider extra mechanische armen en handen te geven, maar produkt en proces in samenhang te ontwikkelen. Bovendien moet het ontwerp zijn gebaseerd op uitgekende bouwprodukten. Dit artikel is gebaseerd op een voordracht die ir. Van Gassel heeft gehouden tijdens de redactieraadsvergadering *Cement*, die in januari 1994 is gehouden.

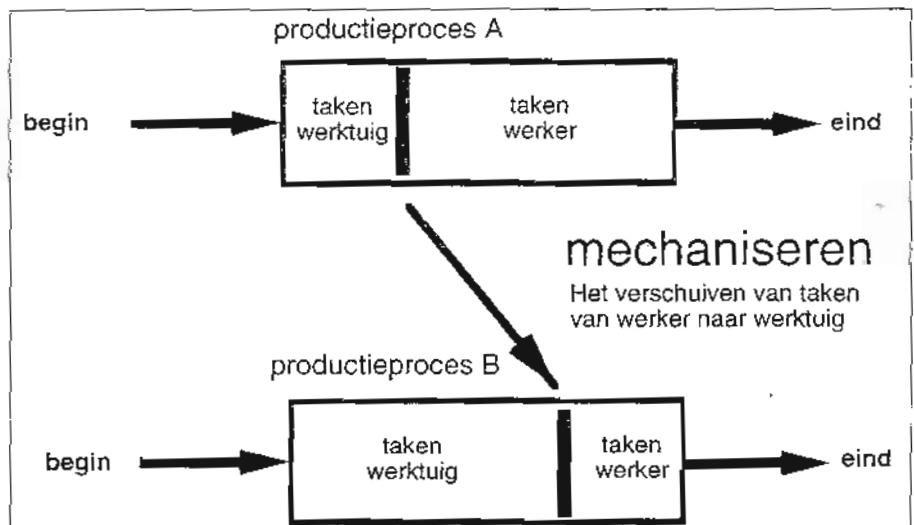
MECHANISEREN EN ROBOTISEREN OP DE BOUWPLAATS

Het begrip mechaniseren wordt omschreven als het verschuiven van taken van werker naar werktuig. De bouwvakker tilt niet zelf de lasten op maar doet dit met behulp van een hijskraan. Het begrip mechaniseren is schematisch weergegeven in figuur 1. De rechtehoek stelt een productiesysteem voor van werkers en werktuigen, die een aantal taken moeten uitvoeren om een bepaald bouwdeel te maken. De ingangspijl geeft de beginsituatie aan en de uitgangspijl de eindsituatie. Bijvoorbeeld een pakket stenen wordt vanaf de vrachtwagen naar de steiger getransporteerd. Door nu een werktuig meer taken te laten verrichten, mechaniseert men het productieproces.

De verhouding tussen de taken die een werktuig uitvoert ten opzichte van alle te verrichten taken, noemen we het niveau van mechanisatie.

Guo en Tucker geven dit niveau bijvoorbeeld aan op een man-machinelijn (fig. 2). Links van de lijn worden alle taken door de werker uitgevoerd en rechts allemaal door een werktuig [1].

De taken die een werktuig uitvoert zijn te verdelen in energietaken en stuurtaken. Door deze taken in een matrix te plaatsen ontstaat de mechanisatiematrix. Verticaal is de relatieve energietaak van het werktuig uitgezet. Er zijn drie mogelijkheden: het werktuig levert geen energie, alleen de aandrijfenergie of alle energie. Horizontaal is uitgezet de relatieve stuurtaak van het werktuig. Hierbij wordt de indeling van Guo en Tucker gehanteerd. De mechanisatiematrix is in figuur 3 weergegeven. Door middel van deze matrix kunnen we werktuigen indelen en mogelijke ontwikkelingen ervan aangeven.



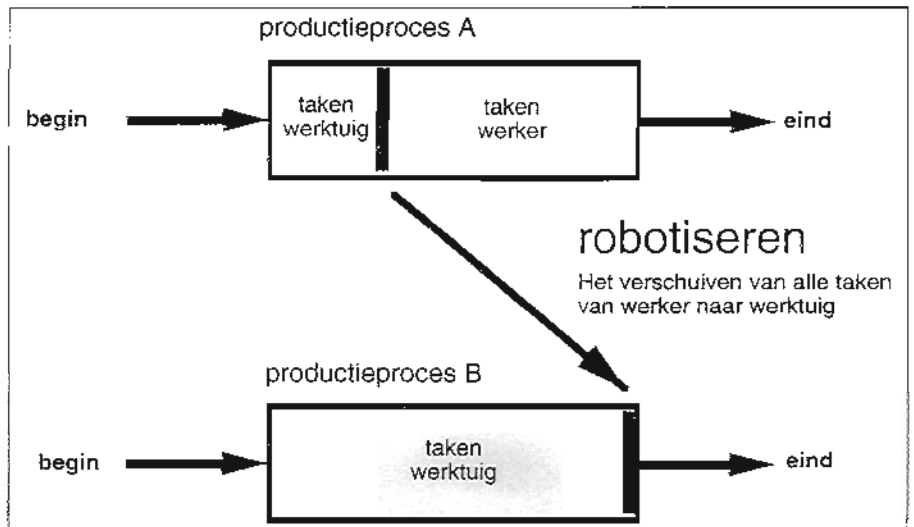
① Mechaniseren: het verschuiven van taken van werker naar werktuig

Wat is nu robotiseren?

Op basis van de schema's in de vorige paragraaf is het mogelijk het begrip robotiseren te omschrijven. Robotiseren is het verschuiven van *alle* taken van werker naar werktuig (fig. 4).

De controle- en ondersteuningstaken die door de werker worden uitgevoerd, worden hier buiten beschouwing gelaten omdat deze taken niet direct met het productieproces te maken hebben.

In de mechanisatiematrix is het ook mogelijk aan te geven welke werktuigen (robots), zonder hulp van werkers taken kunnen uitvoeren. Dit gebied is in figuur 3 gearceerd aangegeven.



④ Robotiseren; het verschuiven van alle taken van werker naar werktuig

Het nut van mechaniseren en robotiseren

Om produktietaken te mechaniseren of te robotiseren, is een aantal redenen voor op te noemen:

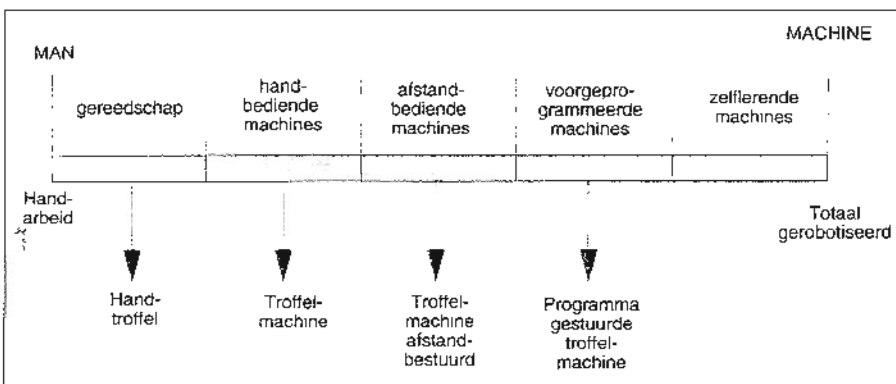
- verlagen van de uitvoeringstijd;
- verlagen van uitvoeringskosten;
- verhogen van de produktiviteit;
- verbeteren van arbeidsomstandigheden;

- uitvoeren van werkzaamheden die niet door mensen kunnen worden gedaan;
- uitvoeren van werkzaamheden waarbij de arbeidsomstandigheden onaanvaardbaar zijn.

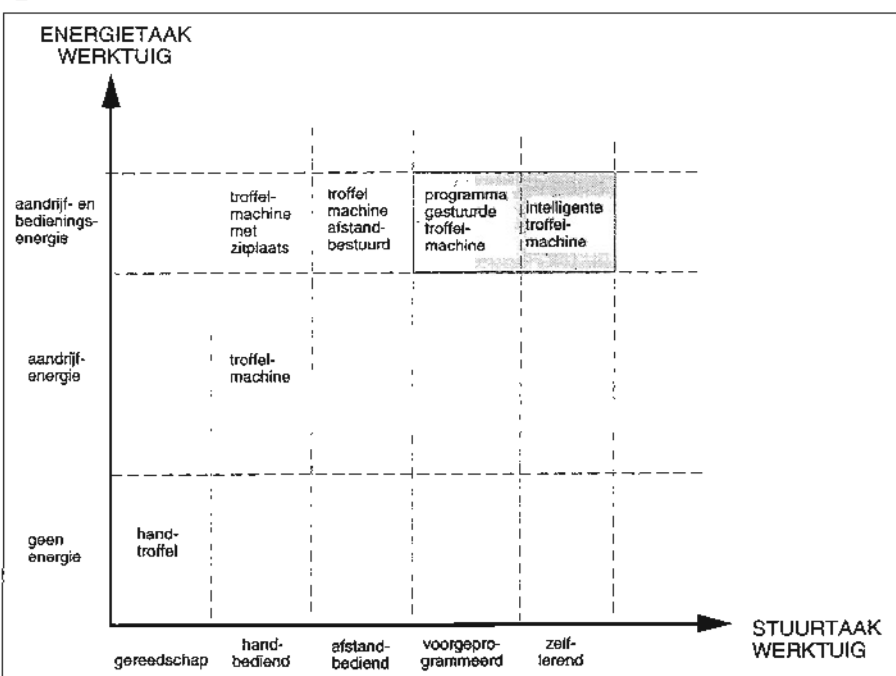
Wanneer men produktietaken mechaniseert of robotiseert kan zich een aantal problemen voordoen:

- de ambachtelijke vakman wil niet met een werktuig werken en heeft niet het gevoel dat het werktuig een hulp voor hem is;
- de beloning van de werker blijft gebaseerd op het bestaande productieproces;
- het werktuig is niet voldoende afgestemd op de omstandigheden op de bouwplaats.

② Man-machine-lijn van Guo en Tucker



③ Mechanisatiematrix



Hoe mechaniseren en robotiseren

Wanneer men op de bouwplaats met succes mechaniseren en robotiseren dan is het niet verstandig de taken van de werker bij ambachtelijke bouwmethoden zoals metselen, stukadoren en timmeren, zonder verdere aanpassingen van produkt en proces door een werktuig te laten vervangen.

Hier bestaat een aantal redenen voor:

- bouwmaterialen en -produkten van veel ambachtelijke bouwmethoden zijn niet ontwikkeld om te worden gemechaniseerd;
- de stuurtaak van de ambachtsman is te complex om te mechaniseren of te robotiseren;
- de ontwerper van het gebouw houdt geen rekening met het mechanisch verwerken van bouwmaterialen en -produkten.

⑤ *Ontwerp-productie omslagpunten bij productie op de bouwplaats en in de fabriek (Everett)*

Nu volgen twee voorbeelden van het mechaniseren van ambachtelijke bouwmethoden waarbij het succes nog even op zich laat wachten.

1. Eind 1993 zijn proeven genomen om voegen in metselwerk mechanisch te verdichten. De hardheid van het voegwerk is aanmerkelijk verbeterd. Maar de voeger maakt minder meters omdat pas mechanisch wordt verdicht nadat met de hand is gevoegd. De voegspijker zal wel succes hebben wanneer keihard een hoge hardheid van de voeg wordt voorgeschreven [2].

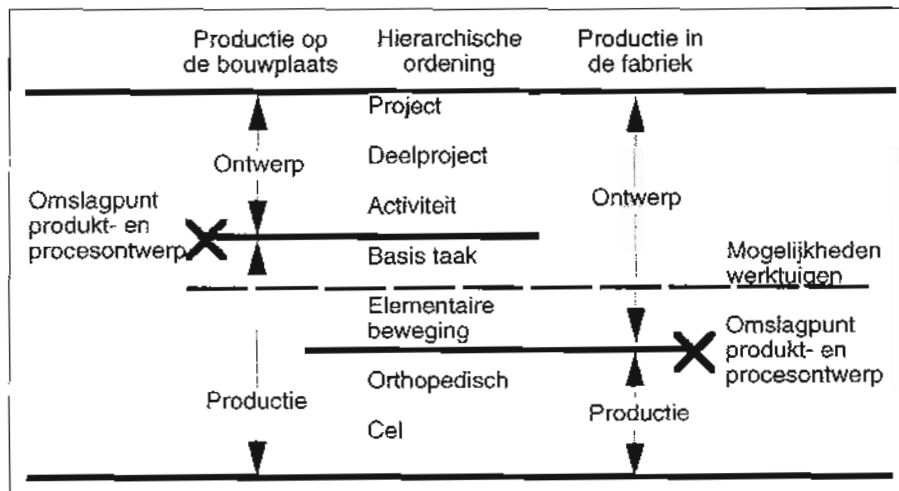
2. Nadat in 1972 de Morres-metselmachine in Genève een gouden medaille kreeg voor de meest praktische uitvinding in zijn soort, komt Laukemper in zijn boek *Automation im Mauerwerksbau* tot de conclusie dat de ontwikkeling van een metselrobot niet zonder risico is. Mobiele robots met een geringe massa, die met een bepaalde reikwijdte voldoende nauwkeurigheid moeten bezitten en die bouwplaats-bestendig zijn, worden op de markt nog niet aangetroffen. Aan de ontwikkeling van deze robots worden hoge eisen gesteld [3].

Om toch met succes te kunnen mechaniseren of te robotiseren, dienen het produkt en het proces in samenhang te worden ontwikkeld en moeten constructies met uitgekien-de bouwprodukten worden ontworpen.

Bouwprodukten en -processen kunnen pas in samenhang worden ontwikkeld wanneer materiaalleveranciers, mateneelproducenten, bouwproduktproducenten, assemblegebedrijven en eventueel verhuurbedrijven samenwerken.

Wanneer deze uitgekien-de bouwprodukten in prijs, tijd en kwaliteit (leveren wat beloofd is) voldoende voordeel opleveren, zullen ontwerpers en opdrachtgevers van gebouwen deze afnemen.

Het mechanisch verwerken van kalkzand-steenelementen is een succes omdat bij de ontwikkeling van dit produkt ook nagedacht is hoe het produktieproces op de bouwplaats moet verlopen. Denk aan de elementensteller, hijsvoorzieningen en het op maat leveren van de elementen.



Stand van zaken

Het mechaniseren en robotiseren van produktietaken heeft zich op de bouwplaats veel minder ontwikkeld dan in fabrieken. Everett heeft hiervoor een verklaring opgesteld. Op een hiërarchische ordening constateert hij verschillende omslagpunten van produkt- en procesontwerp in de fabriek en op de bouwplaats. In deze ordening geeft hij ook de mogelijkheden van werktuigen aan (fig. 5). Hij constateert een kloof tussen de mogelijkheden van werktuigen en het omslagpunt van produkt- en procesontwerp op de bouwplaats. [4]

Om die kloof te verkleinen zullen de mogelijkheden van werktuigen verbeterd moeten worden of er moet meer samenhang tot stand worden gebracht tussen het produkt- en procesontwerp.

En in Japan dan?

In Japan, waar de bouw het imago heeft van 'zwaar, gevaarlijk en vuil', mechaniseren en robotiseren de grote bouwondernemingen op de bouwplaats.

De schaarste aan arbeid is de reden om zeer actief te zijn bij het ontwikkelen van nieuwe en efficiënte bouwmethoden.

Bij een mankracht die 15 maal zo groot is als in de Nederlandse bouw, is de omzet ruwweg 25 maal zo groot. Er zijn in Japan ongeveer 100 'robots' in ontwikkeling [6].

Het woord robots is hier tussen aanhalings-tokens gezet omdat in Japan handbediende werktuigen ook robots worden genoemd.

Japanse bedrijven zijn er zeer beducht voor een apparaat aan het buitenland te verkopen als zij de leverantie niet kunnen ondersteunen met service ter plaatse. [7]

Een Nederlands bedrijf heeft een aantal jaren een vloerafwerkingsrobot gekocht. Dit apparaat wordt niet meer gebruikt omdat het te storingsgevoelig is voor de Nederlandse bouwplaats.

Japanse bedrijven investeren veel geld in het ontwikkelen van (spectaculaire) bouwmethoden. Shimizu heeft het Shimizu Manufacturing System by Advanced Robotics Technology (SMART) ontwikkeld, niet zozeer om de arbeid op de bouwplaats uit te bannen maar veel meer als een bedrijfsstrategie om te kunnen laten zien dat Computer Integrated Construction (CIC) de toekomst heeft [5].

Een Nederlandse robot

In de afgelopen jaren hebben de bouwondernemingen Strukton en HBW samen met boorfabrikant Hilti en TNO-Bouw, een 'loopboor' ontwikkeld en gebouwd (foto 7. blz. 24). Deze robot is in staat zelfstandig grote aantallen gaten in betonnen vloeren te boren. Het prototype wordt ingezet bij het boren van circa 120.000 gaten in de Schiphol spoortunnel. Door het inzetten van deze robot wordt gevaarlijk, ongezond en één-tonig werk voorkomen.

Verbeteren arbeidsomstandigheden

Volgens de ARTB in Bouwvisie 2010 vormen de arbeidsomstandigheden een knelpunt:

- te geringe instroom van goed geschoolde arbeidskrachten;
- hoge instroom van werknemers in de WAO;
- hoog ziekteverzuim;
- hoge sociale premies en slecht imago van de bouw [8].

Brokelman van de Stichting Arbeidstechnisch Onderzoek Bouwnijverheid (SAOB) heeft een analyse gemaakt van de ziektever-

zuim- en invaliditeitspercentages bij een aantal taken die in de bouw worden uitgevoerd.

De ziekteverzuim- en invaliditeitspercentages waren hoger dan gemiddeld bij fysiek zwaar werk (de opperman), bij arbeidsintensief en monotoon werk (de blokken-steller), bij werk onder tijdsdruk (de tegelzetter) en bij werk waar weinig of geen mechanische hulpwerktuigen gebruikt worden [9].

Men zou kunnen concluderen dat, daar waar het niveau van mechanisatie laag is, de ziekteverzuim- en invaliditeitspercentages hoger zijn dan gemiddeld.

Door Project Kleinschalige Mechanisatie Bouw (PKMB) is in 1991 een enquête gehouden onder uitvoerend personeel op de bouwplaats.

60 Procent (n = 379) vond het transport van materialen de oorzaak voor als zwaar er-

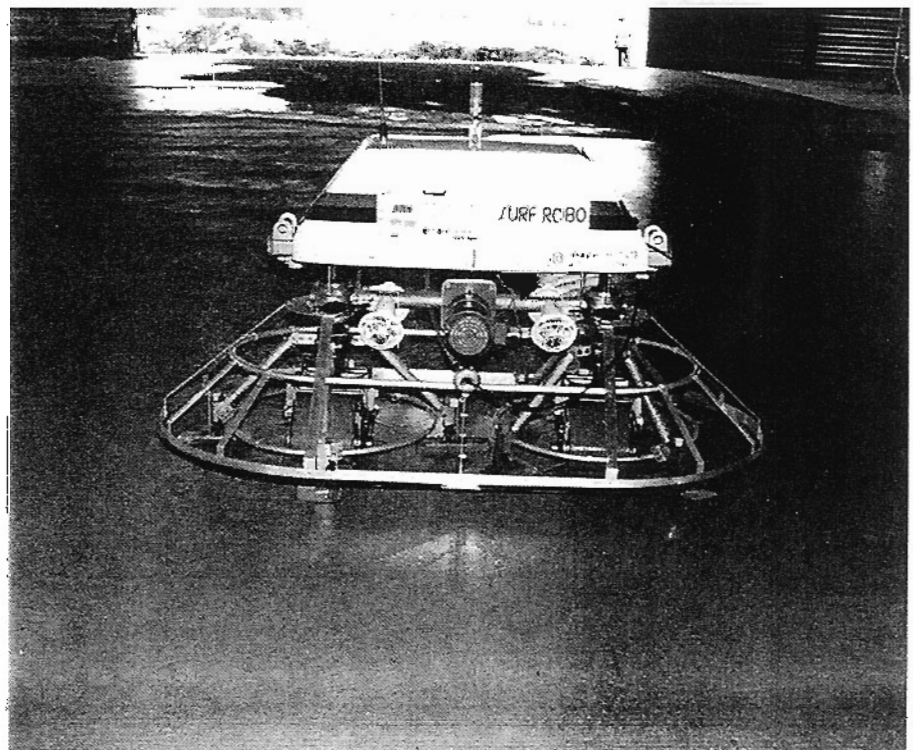
varen werkzaamheden [9].

Door te mechaniseren kunnen arbeidsomstandigheden worden verbeterd, in tegenstelling tot robotiseren waarbij geen sprake meer is van directe productiewerkzaamheden.

Robotiseren is wel zinvol wanneer de arbeidsomstandigheden onaanvaardbaar zijn of wanneer de taken niet door een werker kunnen worden uitgevoerd.



Evolutie op het gebied van vloerafwerking: achtereenvolgens de handtroffel, de troffel-machine, de troffelmachine met bestuurs-plaats en de vloerafwerkingsrobot



De Surf-Robo. een vloerafwerkingsrobot, van Voorbij Betontechniek BV, Wilnis

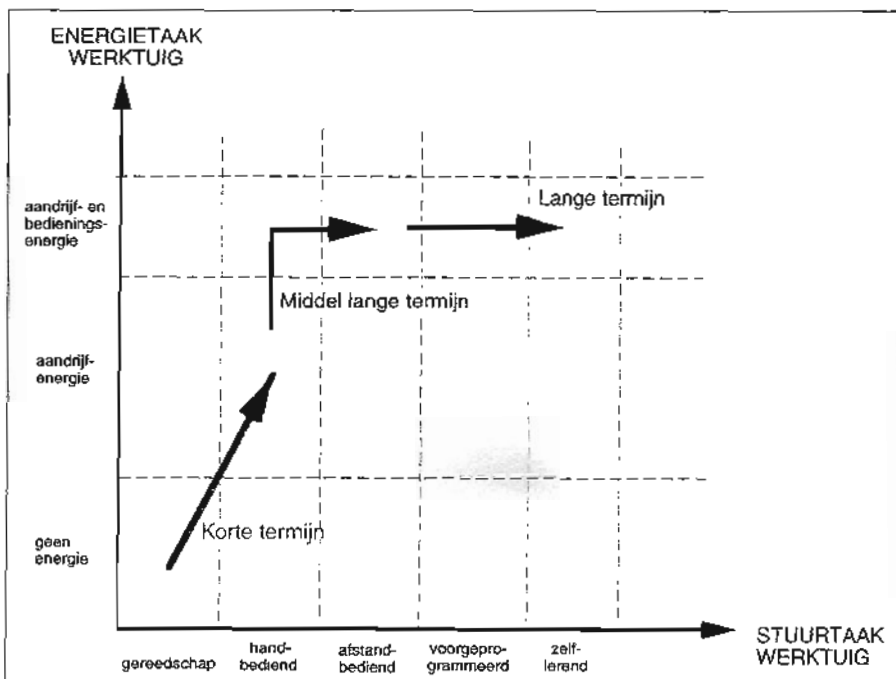
Toekomst

Op korte termijn zullen bij de ambachtelijke productieprocessen de energietaken, en met name de aandrijfenergie, nog verder kunnen worden gemechaniseerd. Bijvoorbeeld het opperen van bouwproducten en het transporteren van mortels.

Op middellange termijn voorspelt de ARTB in Bouwvisie 2010 dat de bouwplaats in toenemende mate een assemblageplaats wordt van geprefabriceerde bouwproducten.

De werktuigen die men dan op de bouwplaats zal inzetten dienen in samenhang met bouwproducten te worden ontwikkeld. De energietaken die een werker dan nog zal uitvoeren zullen minimaal en ergonomisch verantwoord zijn. De stuurtaken zullen blijven.

Om dit te bereiken zullen leveranciers en assemblagebedrijven van bouwproducten en machinefabrieken moeten gaan samenwerken.

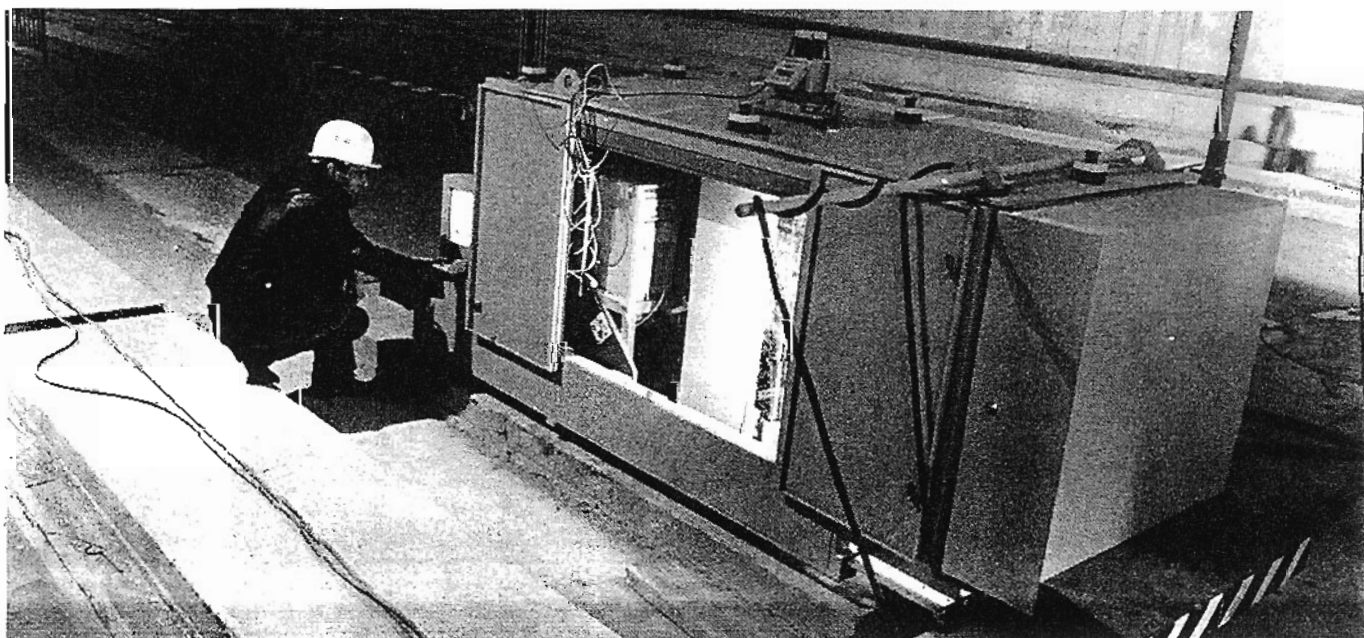


⑥ *Mechanisatiematrix met toekomstige ontwikkelingen*

Op lange termijn zal het misschien mogelijk zijn ook de stuurtaken door een werktuig te laten uitvoeren; pas dan zal de robot breed worden ingezet.

Dit wil niet zeggen dat we voorlopig geen robot op de bouwplaats zullen aantreffen. Maar ze zullen alleen in die situaties voorkomen waar de taken niet door een werker kunnen worden uitgevoerd. Figuur 6 geeft de ontwikkelingen weer.

⑦ *De loopboor, waarvan het prototype is ingezet in de Schiphol spoortunnel (zie ook blz. 62)*



Literatuur

1. Guo, S en Tucker, R, 'Automation needs de-termination using AHP approach'. Proceedings of the 10th International Symposium on Automation and Robotics in construction (ISARC), Elsevier Amsterdam 1993.
2. *BouwWereld*, nr.1 (januari 1994), Mechanisch voegen verhoogt kwaliteit.
3. Laukemper, J., 'Automation im Mauerwerksbau'. Expert Verlag, Stuttgart 1992.
4. Everett, J.G., 'Design-Fabrication Interface Construction vs Manufacturing', Proceedings of the 10th International Symposium on Automation and Robotics in construction

(ISARC), Elsevier Amsterdam, 1993.

5. Miatake, Y. 'SMART-system: A full scale implementation of computer integrated construction', voordracht op ISARC X in Houston, USA 1993.
6. Stumpel, J., 'Bouwbeleid en bouwtechnologie in Japan', Voordracht voor de adviesraad ARTB, 1993.
7. Stumpel, J. Brief aan auteur, 1994.
8. ARTB *Bouwvisie 2010*, juli 1993, Den Haag.
9. Brokelman, L, Voordracht tijdens college 'Mechanisatie op de bouwplaats', TU Eindhoven, 12 december 1993.