

Gebouwen zijn een stuk sneller en met veel minder materiaalgebruik neer te zetten als je het hele productieproces digitaliseert. De centrale stap in dat proces, het 3D-printen van beton, is langzaam volwassen aan het worden. tekst ir. Jim Heirbaut

BOUW IS TOE AAN AUTOMATISERINGSSLAG

# Huizen uit de printer

**H**et blijft een fascinerend gezicht: een 3D-betonprinter aan het werk. Een robot beweegt een uit de kluiten gewassen tandpastatube, waar een ononderbroken sliert van vloeibaar beton uit komt. Laagje voor laagje ontstaat zo een muur, brugdeel of ornament. Binnen een paar uur is het af en zelfs al deels uitgehard.

Nu klinkt 3D-printen met beton misschien eenvoudig, maar er kan van alles misgaan. De spuitmond kan verstopt raken doordat het beton te snel droogt. Of het beton is juist te nat, waardoor vers geprinte laagjes in elkaar zakken. '3D-printen met beton is net Formule 1; je moet in korte tijd alles precies goed doen', zegt Berry Hendriks, oprichter en CEO van CyBe.

Hendriks' vader leidt een groot bouwbedrijf in Oss. Berry trad daar in dienst, maar de gewone bouwwereld ging hem niet snel genoeg. 'Ik kan er echt niet tegen als mensen zeggen: 'Dat doen we nu eenmaal zo.' Daar word ik onrustig van. Ik ben altijd geïnteresseerd geweest in innovatie.'

In 2012 begon Hendriks daarom te experimenteren met het 3D-printen van een betonmengsel, in de jaren daarna raakte dat proces in een stroomversnelling en nu wordt CyBe – twintig mensen, van wie twaalf in vaste dienst – overal in de wereld gevraagd om gebouwen neer te zetten.

De afgelopen jaren waren dat vooral demoprojecten, op plekken als Dubai en Milaan, om te laten zien wat er allemaal kan met 3D-betonprinten. Maar er zitten ook grote woningbouwprojecten in de pijplijn, waarbij in één keer tientallen woningen moeten verrijzen.

Daarnaast verkoopt CyBe betonprinters aan klanten, inclusief een uitgebreide opleiding om ze te leren hoe je ermee werkt. In een grote loods van het bedrijf staan er een paar klaar voor transport. 'Wij helpen ook andere start-ups op weg', zegt Hendriks. Dat klinkt misschien raar,

Dit op een portaalkraan lijkend systeem gebruikt de TU Eindhoven om beton te printen.



foto TU Eindhoven



foto CyBe

De 3D-betonprinter van het Nederlandse bedrijf CyBe aan het werk. '3D-printen met beton is net Formule 1', aldus Berry Hendriks, oprichter en CEO van CyBe.

maar daar heeft CyBe belang bij. 'Het is dan wel de bedoeling dat ze onze printer kopen. We hebben er nu vier verkocht en zijn in overleg met een aantal andere klanten.'

Hendriks (31) stelt vast dat de bouw toe is aan een digitaliseringsslag. 'Met digitaal ontwerpen en digitaal bouwen kun je snel veel woningen neerzetten. Daar is op veel plekken in de wereld behoefte aan. Het gaat eigenlijk helemaal niet om het 3D-printen; dat is maar een manier van uitvoeren.'

Dat de bouw moet moderniseren, is prof.dr.ir. Theo Salet, hoogleraar betonconstructies aan de TU Eindhoven, met hem eens. 'Andere sectoren hebben in de afgelopen decennia grote sprongen gemaakt in arbeidsproductiviteit, maar de bouw nauwelijks (zie ook de infographic op pagina 6 - red.). Metselaars stapelen nog steeds stenen een voor een op elkaar. We laten als maatschappij een hoop geld liggen dat we aan andere nuttige dingen kunnen besteden.'

Het digitaliseren van de bouw bestaat eigenlijk uit drie onderdelen: digitaal ontwerpen, digitaal vervaardigen van onderdelen, en ten slotte het door robots in elkaar laten zetten van gebouwen. Salet en zijn onderzoeksgroep richten zich op alle drie deze dingen, maar 'voor de buitenwereld is vooral het 3D-printen zichtbaar.'

Ook om andere redenen is het een goed idee om te streven naar minder handen en meer automatisering in de bouw. Zo is er momenteel een schreeuwend tekort aan arbeidskrachten. Daarnaast moet het materiaalgebruik in de bouw omlaag, vindt Salet. Dat gaat gepaard met een navenante CO<sub>2</sub>-uitstoot en daar is nog een hoop te winnen. Het laatste argument voor digitalisering is esthetisch. 'Veel nieuw-

bouw is nog behoorlijk eenvormig; meer van hetzelfde, vooral als je kijkt in Azië', zegt Salet. Als je een gebouw in de computer tekent, heb je een veel grotere vormvrijheid. En dankzij 3D-betonprinten kun je de meeste van die gebouwen ook nog realiseren, zonder mallen.

## In de openbare ruimte

Stond het printen van beton een paar jaar geleden nog in de kinderschoenen, tegenwoordig lijkt het alsof iedereen beton door een nozzle kan persen en in verschillende laagjes op elkaar kan neerleggen. Wereldwijd zijn daar tientallen, zo niet honderden bedrijven en academische onderzoeksgroepen mee bezig.

Toch heeft dat nog weinig te betekenen, vindt Salet. 'Het gaat erom: wat dóe je er vervolgens mee? Wat ga je ermee maken?' Een bloembak is niet zo moeilijk, want die wordt helemaal niet belast met krachten. Lastiger is bijvoorbeeld een bankje voor in het park; daar gaan mensen op zitten. 'En als je betonnen geveldelen maakt, dan moeten die esthetisch helemaal in orde zijn.'

Leg de lat nog wat hoger en je komt uit bij de onderzoeksgroep van Salet. Die houdt zich bezig met het printen van betonnen delen die flink





Deze fietsbrug was in 2017 de eerste ge-3D-geprinte betonconstructie die ook flink kan worden belast.

worden belast. Dat stelt veel hogere eisen aan de veiligheid van het bouwwerk, of het nu een huis of een brug is. 'We zitten hier op de negende verdieping van het bouwkundegebouw en we mogen ervan uitgaan dat de kans dat dit gebouw instort heel klein is. Aan dat soort eisen moet betonprinten ook voldoen.'

In Nederland lopen we voorop met het printen van betonnen bouwwerken die belast worden. Het eerste voorbeeld hiervan is de fiets- en voetgangersbrug die sinds 2017 in het Noord-Brabantse plaatsje Gemert ligt. 'Daar gaan gewoon fietsers en voetgangers overheen en er staat geen bordje 'test' bij. Collega's in het buitenland maken zoiets misschien in de veilige omgeving van hun fabrieksterrein; wij plaatsen het al in de openbare ruimte.'

### Arm op een rail

De groei van 3D-betonprinten gaat gepaard met differentiatie. Waar de Eindhovense groep onderzoek doet naar de constructieve eigenschappen van betonprinten, ontwikkelen wetenschappers aan univer-

siteiten in Gent en Singapore betere betonmengsels. En een universiteit in Thailand past het betonprinten toe op het maken van rijke ornamenten voor op gevels. Weer andere universiteiten richten zich op het verbeteren van de 3D-printers.

Hoe zit zo'n grote 3D-printer eigenlijk in elkaar? De kern van elke betonprinter is een kop waar betonpasta uit komt. Dit proces moet je stabiel en betrouwbaar krijgen, anders kun je het bouwen vergeten. Voor CyBe-oprichter Hendriks was het dan ook logisch om in het begin helemaal te focussen op dit onderdeel. 'De mortel die wij gebruiken, hardt in vijf minuten uit. Na een uur kun je het beton al belasten. Die snelheid heb je nodig, anders kun je nooit concurrerend worden met bestaande bouwmethoden.'

Bedrijven en onderzoeksgroepen laten de kop op verschillende manieren door de ruimte bewegen. Bij de TU Eindhoven staat een systeem dat lijkt op een portaalkraan, maar dan met een printkop in plaats van het hijsgedeelte. CyBe gebruikt een industriële robot die een arm in de rondte kan bewegen, met zes vrijheidsgraden. Omdat die een minder groot bereik heeft dan de Eindhovense printer, zetten sommige bedrijven hem op een rail.

'Het een is niet beter of slechter dan het ander, maar je kunt je redenen hebben om voor een bepaald type te kiezen', zegt Salet. 'Toen wij onze robot ontwierpen, realiseerden we ons dat er studenten mee zouden gaan werken. Zo'n portaalkraan is wat voorspelbaarder in zijn gedrag en daarmee iets veiliger.'

### Mooie kleuren

Het onderzoek van de Eindhovense groep is erop gericht om een zo stevig en betrouwbaar mogelijke constructie te printen. Daarvoor moet ten eerste het proces robuust zijn; het 3D-printen met beton moet onder alle omstandigheden even



Vorig jaar printte CyBe voor een designbeurs in Milaan een compleet woonhuis.

goed gaan. Ten tweede richten de onderzoekers van de TU Eindhoven zich op het direct meeprinten van een stalen kabel in het beton, bij wijze van wapening, zodat het beton trekkrachten beter kan hebben.

Tot slot doen wetenschappers in Salets groep onderzoek naar de ideale contouren van een betonnen object. Dit is een optimaliseringsvraagstuk. Je wil zo weinig mogelijk beton neerleggen, omdat dit materiaal geld kost en CO<sub>2</sub>-uitstoot oplevert. 'Tegelijk moet je wel wat reserverterkte inbouwen voor de momenten waarop een structuur incidenteel meer wordt belast dan gemiddeld', zegt Salet. 'Neem onze fietsbrug. Die kan uiteraard een aantal fietsers houden, maar je kunt niet uitsluiten dat hij op een bepaald moment helemaal vol staat met voetgangers. Die wegen meer, en ook dat moet de burg constructief ruim aan kunnen.'

## Je kunt de wand boven een raam niet in het luchtledige printen

Ondertussen worden de gebruikte betonmengsels steeds beter. De Eindhovense onderzoekers voegen bijvoorbeeld aan hun beton kleine vezels toe, van bijvoorbeeld glas, voor een verhoogde sterkte. CyBe experimenteert met pigmenten om het beton mooie kleuren te geven. En in Singapore werken onderzoekers aan duurzame mortels op basis van biopolymeren. Die moeten de CO<sub>2</sub>-voetafdruk van de bouw nog verder omlaag brengen. Want hoewel het toepassen van 3D-betonprinten al naar schatting 30 % bespaart op het materiaalgebruik ten opzichte van de traditionele bouw, blijft cement, het hoofdbestanddeel van beton, een flinke uitstoter van het broeikasgas. Als het je lukt om beton te maken met minder cement, dan dringt dat de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de bouw dubbel zo hard terug.

Een in het oog springend project is Milestone, waarbij Salets groep samen met bedrijven in Eindhoven nog dit jaar vijf woonhuizen gaat 3D-printen. Dit worden de eerste reguliere woningen met organische vormen waarvan het grootste deel van de structuur uit de printer komt.

Ambitieuus is het project zeker, en in de praktijk zijn er nog genoeg uitdagingen te overwinnen. Want wie een rechte muur kan printen, kan nog geen huis maken. Dat bevat immers ook ramen, stopcontacten en goten voor stroomkabels. Een mogelijke aanpak is om daar als het ware omheen te printen en die onderdelen handmatig in een gebouw aan te brengen. Dat kan, maar doet wel af aan de snelheid en de flexibiliteit. Daarom streeft Salet ernaar zoveel mogelijk te integreren in het 3D-printproces. 'Dus materialen die stroom geleiden, laten we de printkop meeprinten in een apart laagje. Kozijnen zijn waarschijnlijk niet nodig, maar het blijft een feit dat je de wand die boven een raam zit niet zomaar in het luchtledige kunt printen. Daarvoor print Salet een ondersteunend materiaal mee, een zogeheten *scaffold*, die naderhand eenvoudig is te verwijderen.'

Intussen wordt in de academische wereld alweer voorbij de horizon gekeken. Studenten in Spanje bedachten een miniprintrobotje dat voor maar 1000 euro is te maken. Misschien is dit wel de toekomst van het printen, oppert Salet: zwermprinten. 'Het lijkt me vooral voor kleinere structuren interessant, want waarom zou je kleine dingen bouwen met een gigantisch apparaat?' |

## GEPRINTE BRUG VAN 30 METER

Eind mei ging de productie van een fietsbrug voor Nijmegen van start. Hoogleraar Theo Salet heeft hem in zijn lab aan de TU Eindhoven al op schaal geprint om knelpunten te signaleren. De echte brug wordt gemaakt met een nieuwe 3D-printer bij het bedrijf Weber Beamix in Eindhoven.

De Nijmeegse brug wordt met 30 m nog een stuk langer dan zijn voorganger in het Noord-Brabantse Gemert. Ook heeft hij een complexere vorm, wat weer hogere eisen stelt aan de constructie. Daarom wordt een sterkere betonsoort gebruikt, die een veel hogere belasting aankan; tot wel vier keer zo hoog als die in Gemert. Salet: 'Sterker beton wil zeggen: minder water in het mengsel. En dat betekent weer dat het mengsel lastiger te printen is. Dat lossen we op door bepaalde stoffen toe te voegen.'

En wanneer staat de eerste geprinte brug voor auto's op de rol? 'Tja', zegt Salet. 'Bij auto's en vrachtwagens krijg je te maken met aslasten, wat lokaal hogere belastingen oplevert, die ook nog eens snel variëren. Nee, een brug voor auto's printen is nu nog een brug te ver.'