



Beton, een feest voor de maatschappij!

# Betononderzoek aan Technische Universiteiten loont



Jos Brouwers

Theo Salet

Dick Hordijk

Betononderzoek op de Technische Universiteiten Eindhoven en Delft leeft als nooit tevoren. Net als in de voorbije decennia is er veel aandacht voor het materiaal beton. Het materiaal doorgronden op recepturen, eigenschappen, functies en toepassingen. Daarnaast is er traditiegetrouw het onderzoek naar betonconstructies, met name sterkte en gedrag in producten en toepassingen. "Er zijn echter een heleboel interessante onderzoeksvelden voor beton bijgekomen," stelt prof. dr. ir. Dick Hordijk, hoogleraar bijzondere betonconstructies aan de TUe. "Denk hierbij aan vezelbeton, ultrahogesterktebeton en constructief lichtbeton." Maar ook toegevoegde functies aan beton, zoals translucentie en het luchtzuiverend en warmteaccumulerend vermogen worden genoemd. "Beton is het meest toegepaste bouw materiaal en betononderzoek is zeer in trek bij studenten, afstudeerders, promovendi en externe opdrachtgevers. Soms zelfs meer dan wij aankunnen."

In Eindhoven komen al die deelonderzoekvelden samen. Prof. dr. ir. Theo Salet, hoogleraar betonconstructies, legt uit: "Wij kennen hier het zogeheten Eindhovens model. Daarmee willen wij bereiken dat verschillende disciplines onderling nauw samenwerken om meer toegevoegde waarde te bereiken. Hierbij staat het uiteindelijke gebouw

centraal. Een goed ontwerp komt tot stand door samenwerking vanuit verschillende disciplines en onderlinge afstemming van de verschillende onderzoeken op beton. Het is geweldig dat architectuurstudenten kiezen voor vrije vormen en dit tegelijk koppelen aan zaken als ultrasterk of superlicht beton en warmte-isolatie of betonkernactivering."

Prof. dr. ir. Jos Brouwers, hoogleraar bouwmaterialen, wijst op de spannende ontwikkelingen in beton. "We zijn op zoek naar andere typen van het aloude materiaal beton. Evoluties en soms ook revoluties. Zo evolueren wij van hogesterktebeton naar ultrahogesterktebeton. Er zijn ook revolutionaire innovaties, zoals zelfverdichtend beton en ecobeton. Lag het zwaartepunt vroeger veelal op het berekenen van draagstructuren, vandaag de dag is het onderzoek naar beton zeer veelzijdig en uitdagend. Dergelijke ontwikkelingen zorgen voor een nieuw imago voor beton, ook bij studenten die zich graag op die nieuwe velden toeleggen."

### **Beton op maat**

Dick Hordijk tekent daarbij aan dat het bekende constructieve onderzoek blijft bestaan. Rekenmodellen worden daarbij verfijnd en afgestemd op nieuwe betonsoorten. Het materiaal beton blijft zich ontwikkelen. "Zonder beton loopt het niet in Nederland. Beton is in dit licht een feest voor de maatschappij. We komen steeds verder. Belangrijk is dat wij (prefab) beton steeds meer op maat kunnen maken. Uitdenken hoe beton in zijn toepassing functioneert en daar materiaal, constructie en techniek op afstemmen."

De hoogleraren geven enige bespiegelingen welke kanten het materiaal de komende jaren opgaat. Theo Salet: "We kunnen veel lichter qua gewicht. Er zijn mijns inziens veel mogelijkheden om ultralicht beton toe te passen, aantrekkelijk voor het transport, de montage en zwaarte van een fundering. Het is al mogelijk om beton van 400 kg/kuub te produceren. Beton dat drijft. Misschien is dat extreem, maar ergens tussen dit uiterste en de huidige 2.400 kg/kuub liggen reële mogelijkheden, waarbij ook de sterkte van beton aan alle eisen voldoet. Het is niet ondenkbaar dat ook het wapeningsstaal hierbij, geheel of gedeeltelijk, wordt vervangen door een kunststof."

### **Hoge verwachtingen vezelbeton**

Ander aandachtsveld is het vezelbeton. Daar verwacht de markt veel van. De hoogleraren plaatsen hierbij als kanttekening dat men daarbij het traditionele wapeningsstaal niet moet vergeten. Alle wapeningsstypen hebben hun specifieke eigenschappen en juist door zaken te combineren kan een lucratieve symbiose ontstaan voor doelgerichte toepassingen. Datzelfde geldt voor allerlei toeslag-

stoffen. Maar beton moet nog wel verwerkbaar zijn en de vereiste kwaliteit behalen. "Essentieel is dat wij onderzoek blijven verrichten naar allerlei nieuwe typen of toevoegingen. Wat de architect omarmt, kan voor de aannemers een ramp zijn. Juist in ons Eindhovens model zorgen wij voor de integrale benadering van dergelijk onderzoek," aldus de hoogleraren.

Voorts wordt het onderzoek naar de tweede draagweg aangehaald. Na een gasexplosie in 1968 stortte in Londen een flatgebouw voor een groot deel in. Dat was aanleiding om te gaan onderzoeken hoe we voortschrijdend instorten kunnen voorkomen; bijvoorbeeld door het inbouwen van een tweede draagweg. Ook hier worden bij de TUE studies naar uitgevoerd. Theo Salet vult aan: "We construeren gelukkig vrij conservatief in Nederland. We zitten aan de veilige kant. Mogelijk kunnen constructies echter slimmer of efficiënter worden ontworpen. Dan moet je wel diepgaand onderzoek uitvoeren. Optimalisaties moeten worden nagestreefd, maar altijd met behoud van constructieve veiligheid. Dat is een interessant spanningsveld."

### **Bestaande bouw**

Dick Hordijk wijst erop dat men de splitsing kan maken tussen bestaande constructies en nieuwbouw. "Er staat al heel veel in Nederland aan gebouwen en kunstwerken. We willen graag weten wat de restlevensduur van deze constructies is, mede in relatie tot gewijzigd gebruik. Moet je slopen of kun je constructies versterken c.q. aanpassen op toekomstig gebruik? Ook op dit terrein worden afstudeeropdrachten uitgevoerd. Hoe beoordeel je bestaande constructies? Hoe versterk je gebouwen?" Theo Salet: "Onderzoek naar vitaal beton neemt een steeds belangrijkere plaats in bij ons betononderzoek. Zowel de veiligheid van bestaande constructies als de constructieve aanpassingen die nodig zijn voor een nieuw leven van een gebouw. Naast slim gebruik van in situ beton is prefab beton bij uitstek geschikt is om via industriële, standaardmatige productie daar een antwoord op te geven. Dan hoeven wij over 40 jaar niet te slopen en te recyclen."

### **Innovaties**

Recycling is één van de werkterreinen van Jos Brouwers. "We studeren bij de TU Eindhoven op slim breken. We willen cementsteen en grind beter scheiden voor hergebruik. Vraag is dus hoe je

brekers kunt modificeren om dit voor elkaar te krijgen. Dan heb je ook minder primair cement nodig. Sowieso studeren wij in het kader van duurzaamheid op betonsoorten met een lager cementgehalte ('ecobeton'). Ook op optimalisatie van de klinker en maximalisatie van substitutie van zand en grind door secundaire grondstoffen. Eén en ander in relatie met de studies naar sterkte en gedrag. Dat is dat Eindhovense model weer." Juist de duurzaamheidsaspecten spreken studenten aan, zo ervaart hij. "Het mooie is dat wij nu zover zijn dat studenten kunnen variëren in hun ontwerp en daarmee de milieuprestatie kunnen zien veranderen op basis van BREEAM rekenregels. Op die manier kun je bij-

voorbeeld heel concreet de lengte en hoogte van een prefab betonligger optimaliseren. Niet alleen op constructieniveau, ook op milieuprestatie." Jos Brouwers refereert tevens aan het lopende onderzoek naar zelfreinigend beton, luchtzuiverend beton en translucet beton. "Veel verwachten wij ook van 'phase changing materials' en nanotechnologie. Beton is een materiaal met veel potentie. Zoals architecten objecten ontwerpen, zo ontwerpen wij beton. Veel van onze mengselontwerpen zijn nu in productie. We weten veel, maar we weten nog veel meer niet. Daarom blijft het betononderzoek recht overeind in Eindhoven." :

# "Zonder vakmensen wordt het een gekke wereld"

Op de TU Delft richt het betononderzoek onder auspiciën van prof. dr. ir. Dr.-Ing.E.h. Joost Walraven, hoogleraar betonconstructies, zich met name op onderzoek naar bestaande constructies. "We kijken bijvoorbeeld naar 3.000 bestaande bruggen in Nederland. Volgens de rekenregels zouden die niet veilig zijn nu de verkeersbelasting al maar toeneemt. Maar dat zou miljarden euro's kosten om ze te versterken of te vernieuwen. Dan is ons onderzoek zeer de moeite waard als wij kunnen aantonen dat het gros van die bruggen die extra belasting wel aankan. We besparen heel wat geld voor de BV Nederland."



Joost Walraven begint echter met een waarschuwing: "Voor dit type onderzoek heb je technische kennis nodig. Echter, de harde kennis verdwijnt. De nadruk ligt steeds meer op multidisciplinair werken en op management. Dat is op zich best te verdedigen, mits men de vakkennis niet verwaarloost. En die trend van verwaarlozing is voelbaar, zo constateer ik helaas," aldus de hoogleraar, die officieel met pensioen is, maar nog geen opvolger heeft. "Het wordt een gekke wereld als we alleen managers zouden hebben. We hebben daarnaast vakmensen hard nodig. De mensen die in staat zijn om problemen te doorgronden en op te lossen. Juist ook in al dat betononderzoek dat nu aan de orde is. Als ik zie dat studenten nu nog maar een derde van de tijd aan betonconstructies besteden, die ikzelf onder prof. Bruggeling aan dit vak besteedde, dan is dat

geen goed voorteken. Dit wordt bevestigd door het feit dat de experts met echte achtergrondkennis op het gebied van draagconstructies tot een verdwijnende generatie behoren. We hebben sterke behoefte aan goede praktijkmensen die meer kunnen dan construeren op grond van voorschriften. Ook bij nieuwe benoemingen in het hoger onderwijs wordt vaak erg veel nadruk gelegd op wetenschappelijke output. Dat is zeker belangrijk, maar de relatie met de bouwpraktijk, om deze wetenschap optimaal te kunnen gebruiken, is net zo belangrijk."

Met name het onderzoek in opdracht van Rijkswaterstaat naar de draagkracht van bestaande bruggen is goed te herkennen in het Stevinlab II. Op een schaal van 1 op 2 wordt een brugdek bestaande uit prefab betonnen liggers met tussen-

storts getest. Joost Walraven: "Zo'n vraagstuk van bestaande bruggen is ook voor studenten uiterst interessant. Dat zijn maatschappelijke uitdagingen. Met betrekking tot het ontwerpen en analyseren van nieuwe constructies, zowel met betrekking tot gebouwen als tot de infrastructuur, is de toepassing van nieuwe betonsoorten een grote en interessante uitdaging, ook voor studenten. Zo doen wij bij de TU Delft veel onderzoek naar vezelversterkt beton. Het is natuurlijk wel belangrijk dat wij beton maken waarbij de vezels optimaal worden gebruikt. Ultrahogesterktebeton met staalvezels kan een prominente rol gaan spelen. Ontwikkelingen die het 'oude vak' van betonconstructies een nieuwe boost geven. Maar dan praat je over nieuwbouw. De bestaande constructies bestrijken een groot deel van het huidige en toekomstige onderzoek. Want als je naar de regels kijkt, zou menig brug in Nederland nu moeten bezwijken. Toch is dat niet het geval. Met de juiste kennis op dit gebied is veel te bereiken."

### **Nieuwe wetenschap**

De hoogleraar legt uit dat de zwaardere verkeersbelasting en het degradatieproces van 60 jaar oude betonconstructies op papier reden tot zorg zou moeten zijn. "De bruggen blijken via een quick scan echter veel meer te kunnen hebben dan uit de oorspronkelijke ontwerpberekeningen blijkt. Natuurlijk, we zijn indertijd aan de veilige kant gaan zitten met rekenmodellen, maar die ruimte wordt door de toegenomen verkeersbelasting al meer dan verbruikt. Sterker, sommige bruggen zouden slecht 25% van de benodigde draagkracht leveren op papier. Toch zie je slechts in een enkel geval een paar kleine scheurtjes. We ontwikkelen hier in Delft een totaal nieuwe wetenschap daaromtrent. Daaruit blijkt dat beton wel tot vijfmaal de oorspronkelijke ontwerpsterkte haalt. Onder andere omdat de sterkte na 28 dagen nog aanzienlijk kan toenemen, doordat de grove cementkorrels na 30 jaar nog steeds vocht benutten voor de ontwikkeling van cementsteen, die sterkte geeft aan het beton."

Met name voor bruggen en viaducten is het onderzoek van groot belang. Daarbij wordt immers uitgegaan van een levensduur van 100 jaar. Bij gebouwen kan na verloop van jaren de functie veranderen. Of stadswijken worden herontwikkeld. "Maar ook bij gebouwen willen we weten wat de draagkracht van de betonconstructie is, omdat je

bijvoorbeeld de woningen wilt uitbreiden met balkons. Steeds meer gebouwen worden gerenoveerd en krijgen een herbestemming." Walraven geeft daarbij een tweede waarschuwing. "Zelfs bij de huidige nieuwbouw kijken wij nog te weinig naar de langere termijn. Nog altijd maken wij gebouwen niet aanpasbaar. Over 40 jaar moeten wij dan weer nadenken over de verdere functie van die bestaande constructies." Al dit soort vraagstukken impliceert dat men tegenwoordig 'anders moet denken'. "Vroeger ontwierp je een gebouw voor een bepaalde functie en thans zou je eigenlijk van meer mogelijke functies moeten uitgaan omdat de bestemming van het gebouw later kan veranderen."

### **Internationale status**

Tot slot wijst Joost Walraven op de kennisinbreng vanuit Nederland in internationaal onderzoek. "Het onderzoek naar de bestaande constructies is een voorbeeld van Nederlands onderzoek waarvoor internationaal interesse bestaat. Keerzijde van de medaille is dat wij door onze teruglopende vak-kennis internationaal minder aanzien zullen gaan genieten. Ik merk dat nu al. Wij zijn niet meer zo onderscheidend." Toch acht hij het betononderzoek nog van dermate hoog niveau dat alle afstudeerders een prima plek in de praktijk kunnen vinden. "We zullen ook meer mensen zien in de combinatie van promovendus met een plek in het bedrijfsleven. Maar we zullen de goede voorstellen voor onderzoek moeten blijven zoeken om op de eerste rij te blijven zitten. Het grote voordeel is dat beton met ontwikkelingen als ultrahogesterktebeton, sustainability, vormgeving met slanke constructies, nieuwe typen dilatatievoegen en opleggingen et cetera heel veel kansen biedt voor uitdagende onderzoeksvragen. Als ik zie dat we met balkons met vezelversterkt prefab beton bij een project in Delft met een dikte van slechts 60 mm kunnen ontwerpen, dan is dat een voorbeeld dat onderzoek blijft lonen."

•

**“Onderhoud is een multi-billion dollar issue”**

## Beton gaat voor verrassingen zorgen

Het betononderzoek van prof. dr. ir. Klaas van Breugel, hoogleraar bij de sectie materialen en milieu van de faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen aan de TU Delft, spreekt op voorhand tot de verbeelding. Een voorbeeld: bacteriën die er voor zorgen dat scheurtjes in het beton vanzelf dichtgroeien, het zogenaamde zelfherstellend beton. “Beton is het vakgebied geworden van chemici, fysici, biologen en bacteriologen. Gezamenlijk zijn wij in staat om beton te verduurzamen, in verschillende betekenissen. Het betreft de levensduur, de mate van belasting van het milieu, de oplossing voor vraagstukken van morgen en de vermindering van onderhoud.”



Het materiaalonderzoek bij de sectie Materialen & Milieu is gericht op het sluiten van de materialenkringloop. Prof. Michiel Haas kijkt vooral naar de milieu-impact van materialen, materiaalstromen en materiaaltoepassingen. De expertise van prof. Erik Schlangen ligt op het gebied van de experimentele micromechanica van materialen. Prof. Rob Polder richt zich op de duurzaamheid van materialen en constructies. Het recyclen van materialen en het terugbrengen in de materialencyclus is het aandachtsveld van prof. Peter Rem. Het onderzoek van prof. Klaas van Breugel is vooral gericht op het ontwikkelen en modelleren van verbeterde en nieuwe materialen. Doel van het onderzoek op deze complementaire gebieden is om de materialenkringloop te optimaliseren. Meer ‘performance’ met minder materiaal, minder onderhoud aan constructies, langere levensduur en daardoor minder bouwgerelateerd transport en minder druk op het milieu.

Typerend voor het hedendaagse materiaalonderzoek is de multidisciplinaire aanpak ervan. Daar liggen ook de kansen voor doorbraken. Klaas van Breugel: “Er zitten absoluut verrassingen bij beton aan te komen. Er valt meer uit dit complexe

materiaal beton te halen dan we lang hebben gedacht. Er zijn voorbeelden van hightech ontwikkelingen die worden gerealiseerd met het toepassen van afvalmateriaal. Een mooi voorbeeld daarvan is het gebruik van rijkstkas als vervanging van het dure silicafume voor het vervaardigen van (ultra) hogesterktebeton.” Een hightech materiaal op basis van afval. Het klinkt tegenstrijdig, maar het kan. “Dit soort ontdekkingen doe je vooral als verschillende disciplines samenwerken. Het succes staat niet bij voorbaat vast, maar je werkt samen in de verwachting dat een gekozen onderzoeksrichting antwoorden oplevert op de vragen van nu en van morgen”. Illustratief is in dit verband ook de vraag naar de betrouwbare levensduurvoorspellingen van grote infrastructurele werken en de restlevensduur van bestaande constructies. “Brits onderzoek laat zien dat de infrastructuur goed is voor 50% van de ‘national wealth’ van het land. Zo’n getal laat zien dat het beslist ergens over gaat als we ons bezig houden met het ontwikkelen van nieuwe materialen en betrouwbare modellen om de levensduur van betonconstructies te kunnen verlengen en voorspellen. In Amerika spreekt men met recht over een ‘multi-billion dollar issue’. Betrouwbare voorspellende modellen zijn niet alleen voor be-

heerders, maar in toenemende mate ook voor aannemers van groot belang. Het op de markt komen van DBFM-contracten versterkt de behoefte aan gereedschap dat partijen in staat stelt om onderhoudsstrategieën te ontwikkelen, alternatieven te vergelijken en de risico's van bepaalde keuzes te kunnen inschatten."

### **Open staan voor innovaties**

Een aansprekend concept met het oog op het beheersen en de reductie van onderhoudskosten betreft het onderzoek naar zelfherstellende biobeton (en andere materialen). "Bacteriën die het verouderingsproces van beton stoppen omdat ze calciumcarbonaat produceren en daarmee minuscule scheurtjes in beton opvullen. Zodoende wordt gedurende de levensduur van een constructie de kans op vochtindringing en aantasting van het beton vertraagd en beperkt. Daarnaast wordt gekeken naar allerlei varianten, allemaal met hetzelfde doel: verlagen van onderhoudskosten, reductie van materiaalverbruik, verlengen van de levensduur en grotere operationele betrouwbaarheid. Eenvoudig is dat lang niet altijd. Een succes in het laboratorium is nog geen succes op de bouwplaats. De weg naar grootschalige toepassing in de praktijk is vaak lang. Een nieuwe technologie heeft altijd impact op bestaande procedures en gewoonten. Om het implementatieproces goed te laten verlopen is het van groot belang dat marktpartijen nauw bij innovatief onderzoek worden betrokken. Dat verlaagt de drempel om nieuwe materialen of nieuwe concepten in de praktijk te toe passen."

Een ander innovatief onderzoek betreft de toevoeging van 'slimme' hybride nanodeeltjes aan beton om daarmee de weerstand tegen wapeningscorrosie te vergroten. Van Breugel: "Ja, ook bij bouwmaterialen heeft de nanotechnologie zijn intrede gedaan. Slimme nanodeeltjes zorgen ervoor dat bij carbonatie van het beton de pH aan het staaloppervlak hoog blijft en het staal minder kans loopt te corroderen." Een andere toepassing betreft de ontwikkeling van zelfreinigend beton. "Als door toevoegen van slimme additieven in de vorm van bijvoorbeeld bacteriën of nanodeeltjes betonoppervlakken zichzelf kunnen reinigen, dan betekent dit zowel voor beheer en onderhoud als voor architectonische uitstraling een groot voordeel." Klaas van Breugel noemt ook het onderzoek naar groene betonegevels, een optelsom van vormgeving en na-

tuurlijke beplanting, de maatschappelijke beleving daarbij, het luchtzuiverend vermogen, bijdrage aan CO<sub>2</sub> beperking etcetera. "Uitgangspunten van duurzaamheid en het lifecycledenken lopen zo als een rode draad door ons hedendaagse betononderzoek. Wij richten ons ook sterk op nieuwe technologieën voor recycling, met name op scheiding en hergebruik van de fijne fracties. Dit is een Europees onderzoek, waarin zowel Heidelberg als Holcim participeren."

### **Multischaal en multidisciplinair**

De term nanotechnologie viel al. Typerend voor modern onderzoek naar materialen is de multischaal aanpak. "De beschikbaarheid van steeds krachtiger computers stelt ons in staat om materiaalmodellen, waarmee het materiaalgedrag op een specifiek schaalniveau wordt beschreven, met elkaar te koppelen. Binnen de klassieke cementchemie worden nu modellen ontwikkeld waarmee de groei van hydratatieproducten op atomair niveau wordt gesimuleerd. Lukt dat - en het lukt! - dan opent zich de mogelijkheid om doelgericht nieuwe materialen te ontwerpen met heel specifieke eigenschappen. Voor dit onderzoek werken wij samen met groepen aan andere universiteiten. Hun simulatieresultaten vormen input voor het ontwikkelen van numerieke modellen voor microstructuurontwikkeling, scheurvorming en transportprocessen."

Vanuit de (cement)chemie is er veel aandacht voor de ecologische footprint van beton. "Alternatieve bindmiddelen zouden kunnen bijdragen tot het verlagen van de CO<sub>2</sub> uitstoot. Dit soort onderzoek is vandaag 'in'. Hogere performance bij een lagere CO<sub>2</sub> belasting. Universiteiten hebben een belangrijke rol bij de zoektocht naar oplossingen voor dit soort vraagstukken. Dit kan een sturende rol zijn, maar het kan ook betekenen dat we een pas op de plaats maken. Beton met minder cement is aantrekkelijk als het gaat om reductie van de CO<sub>2</sub> uitstoot, maar je haalt wel een stuk robuustheid uit het materiaal waardoor het zelfherstellend vermogen mogelijk afneemt en de lange termijn sterkteontwikkeling minder zal zijn dan waar wij nu dankbaar gebruik van maken bij het herberekenen van bruggen en viaducten. Dan blijkt steeds weer hoe belangrijk het is om altijd een volledige levenscyclusanalyse uit te voeren, waarin alle levensfasen van een constructie consequent worden meegenomen." :