

Oud beton staat voor een nieuwe uitdaging

Citation for published version (APA):

Wijte, S. N. M. (2016). *Oud beton staat voor een nieuwe uitdaging*. Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 15/01/2016

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Intreerede
prof.ir. Simon Wijte
15 januari 2016



/ Faculteit Bouwkunde

TU **e** Technische Universiteit
Eindhoven
University of Technology

Oud Beton staat voor een Nieuwe Uitdaging

Where innovation starts

Intreerede prof.ir. Simon Wijte

Oud Beton staat voor een Nieuwe Uitdaging

**Uitgesproken op 15 januari 2016
aan de Technische Universiteit Eindhoven**

Inleiding



Figuur 1

Gewapend betonbalk in Vertigo (TU/e)

Mijnheer de Rector Magnificus, dames en heren,

Iedere keer als ik op de universiteit mijn kamer binnenkom, zie ik deze betonbalk. Als ik achter mijn PC zit te werken dan hangt hij voor mijn hoofd. Nee, hij belemmert mijn blik niet, maar leert mij juist veel over de mogelijkheden, vooral ook de hernieuwde mogelijkheden van beton als constructiemateriaal. Maar hij leert mij ook dat constructief ontwerpers, of constructeurs zo u wilt, anders naar het materiaal beton kijken dan ieder ander. De scheuren vertellen ons dat de constructie prima functioneert. In de scheuren is het aanwezige wapeningsstaal effectief geworden. De constructie heeft niets aan draagkracht ingeboet. Het scheuren van beton is zo'n onderwerp waarbij wij, de constructief ontwerpers, nog een taak hebben te verrichten in het bijstellen van de perceptie van onder andere opdrachtgevers van bouwwerken. Maar daarnaast zouden we ook in staat moeten zijn de wensen van opdrachtgevers wat betreft esthetica en bruikbaarheid beter te vertalen naar de juiste uitgangspunten voor een ontwerp.

Maar laten we eerst eens teruggaan in de tijd.

Historie van het beton

Reeds enkele duizenden jaren voor Christus werd drukvaste mortel gebruikt. Deze mortel was gemaakt op kalkbasis [1]. In de tijd van de Romeinen werd het materiaal verbeterd. Vitruvius beschreef rond 25 voor Christus in een van zijn 'Tien boeken over architectuur' het Romeinse beton: opus caementicium [2]. Voor mortels bedoeld voor constructieve toepassing, adviseerde hij het gebruik van puzzolaan in combinatie met kalk. Het Engelse woord voor beton 'concrete' is afgeleid van het Latijnse begrip 'concretus', hetgeen 'samengroeien' betekent.

Caput 6

1. Est etiam genus pulveris quod efficit naturaliter res admirandas. nascitur in regionibus Baianis et in agris municipiorum quae sunt circa Vesuvium montem. quod commixtum cum calce et caemento non modo ceteris aedificiis praestat firmitatem, sed etiam moles cum struuntur in mari, sub aqua solidescunt. hoc autem fieri hac ratione videtur quod sub his montibus et terrae ferventes sunt et fontes crebri, qui non essent, si non in imo haberent aut e sulphure aut alumine aut bitumine ardentis maximos ignes. igitur penitus ignis et flammae vapor per intervenia permanens et ardens efficit levem eam terram, et ibi qui nascitur tofus turgens est sine liquore. ergo cum tres res consimili ratione ignis vehementia formatae in unam pervenerint mixtionem, repente recepto liquore una cohaerescunt et celeriter umore duratae solidantur, neque eas fluctus neque vis aquae potest dissolvere.

Chapter 6

1. There is a species of sand which, naturally, possesses extraordinary qualities. It is found about Baiæ and the territory in the neighbourhood of Mount Vesuvius; if mixed with lime and rubble, it hardens as well under water as in ordinary buildings. This seems to arise from the hotness of the earth under these mountains, and the abundance of springs under their bases, which are heated either with sulphur, bitumen, or alum, and indicate very intense fire. The inward fire and heat of the flame which escapes and burns through the chinks, makes this earth light; the sand-stone (tophus), therefore, which is gathered in the neighbourhood, is dry and free from moisture. Since, then, three circumstances of a similar nature, arising from the intensity of the fire, combine in one mixture, as soon as moisture supervenes, they cohere and quickly harden through dampness; so that neither the waves nor the force of the water can disunite them.

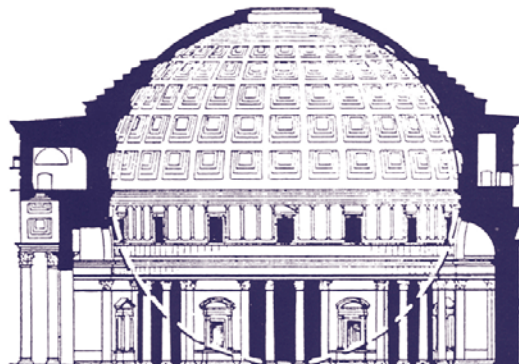
Hedendaags onderzoek leert dat de druksterkte van opus caementicium ongeveer 20 N/mm^2 bedroeg [3]. Deze druksterkte is van een gelijke orde van grootte als van het nu gebruikelijke grindbeton. De Romeinen hebben veel constructies gebouwd met dit materiaal. Het naar mijn mening meest tot de verbeelding sprekende voorbeeld daarvan is het Pantheon in Rome, dat omstreeks 120 na Chr. is gebouwd en dat nog steeds te bewonderen is.



Figuur 2

Interieur van het Pantheon te Rome (120 na Chr.)

Zowel Van Herwijnen als Hordijk, eerdere hoogleraren bij de capaciteitsgroep Constructief Ontwerpen, verwezen in hun intreedere ook naar dit bijzondere bouwwerk [4,5].



Figuur 3

Langsdoorsnede over het Pantheon

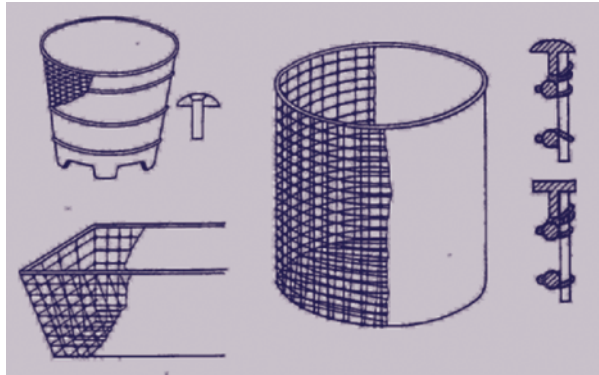
In de langsdoorsnede van het Pantheon past een bol met een diameter van 43,3 meter. De onderste helft van de bol wordt omvat door een cilindervormig deel van het gebouw, met een wanddikte van ruim 6 meter. De bovenste helft van de bol wordt omvat door de koepel. Deze heeft aan de basis een wanddikte gelijk aan de onderbouw en aan de bovenzijde een wanddikte van 1,2 m. Geheel bovenin bevindt zich de oculus – de ronde opening – met een diameter van 9 meter. In de koepel is gewicht gespaard door cassettevormige uitsparingen te gebruiken. Ook is de samenstelling van het beton gewijzigd. Het beton boven in de koepel heeft een lager soortelijk gewicht dan dat aan de basis.

Van Herwijnen beschrijft dat de overspanning die de Romeinen in het Pantheon hebben gecreëerd, door het gebruik van ongewapend beton, lange tijd de grootste overspanning in de wereld is geweest. De koepels van de Brunelleschi's Dome van Florence en de Sint Pietersbasiliek in Rome – werk van onder andere Bramantes en Michelangelo – zijn met een overspanning van 42 meter juist iets kleiner. Pas in 1912 werd in Breslau (Polen) een koepel gebouwd met een overspanning van 62 meter. Deze koepel is echter gemaakt van gewapend beton. Zo ver mij bekend, is de koepel van het Pantheon tot op de dag van vandaag nog steeds de grootste overspanning die met ongewapend beton is vervaardigd.

Na de Romeinen is de toepassing van beton min of meer in de vergetelheid geraakt. Een mogelijke reden hiervoor was dat het door de Romeinen gebruikte puzzolaan maar op weinig plaatsen beschikbaar was. De grote constructies, zoals de kathedralen uit de middeleeuwen en renaissance, werden vervaardigd van zand- of kalksteen. Het gebruik van mortel bleef veelal beperkt tot dat van bindmiddel tussen stenen.

In het midden van de achttiende eeuw was men in Engeland in staat de eigenschappen van het cement te verbeteren. Vanwege de gelijkenis van de kleur van het verharde cement met de in Engeland gebruikt Portlandsteen, wordt dit type cement Portlandcement genoemd. In 1824 verwierf de Engelsman Joseph Aspdin het patent op dat Portlandcement.

Het materiaal beton werd in het begin van de negentiende eeuw voor diverse toepassingen gebruikt. Er werden bijvoorbeeld boten en plantenbakken van gemaakt. In 1850 bedacht de Fransman Josef Monnier de mogelijkheid om betonnen plantenbakken te versterken met staaldraad [6].

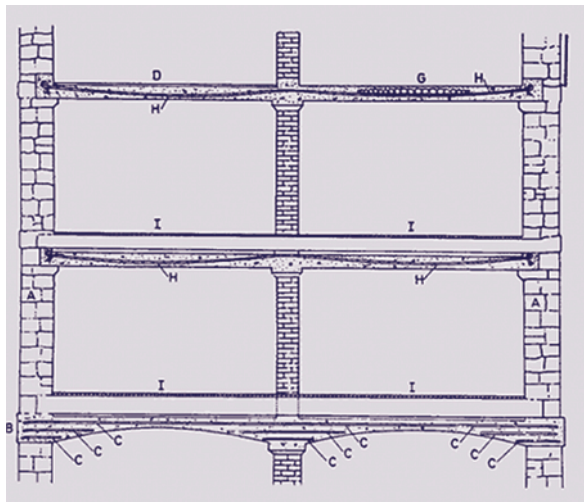


Figuur 4

Voorbeelden van gevlochten ijzerdraad voor versterken van betonnen plantenbakken

In 1867 verwiëf Monnier een octrooi op het versterken van betonnen plantenbakken met gevlochten ijzerdraad. Vanaf die tijd is het toepassen van gewapend beton ook lang bekend geweest als het Monnier-systeem en wordt hij beschouwd als de ontdekker van het gewapend beton.

Hij was echter niet de enige die in die tijd tot het besef kwam dat het versterken van beton met ijzer tot nieuwe en/of verbeterde toepassingen van beton kon leiden. In Engeland kreeg in 1854 William B. Wilkinson – van origine een stukadoor – een patent op het vervaardigen van een betonvloer die werd voorzien van ijzeren



Figuur 5

Toepassing van ijzer in betonnen vloeren volgens Wilkinson 1854 [6]

staven of ijzeren draden [6]. Aangenomen is dat hij de eerste is die bouwconstructies heeft vervaardigd van gewapend beton. De wijze waarop hij de staven en draden in de vloer positioneerde, kan wijzen op enig inzicht in waar trekspanningen in de constructie optreden, maar vooral op inzicht dat beton goed drukkrachten en ijzer goed trekkrachten kan weerstaan.

Dat de ontwikkelingen op dat moment snel gingen en ook op verschillende plaatsen plaatsvonden, blijkt uit het gegeven dat de Fransman Francois Coignet in 1855 ook een patent verwierf voor de toepassing van ijzer in betonnen vloeren.

Vanaf die tijd zijn de ontwikkelingen van betonconstructies in rap tempo doorgegaan. Zo is bijvoorbeeld het voorgespannen beton geïntroduceerd en zijn steeds meer betonconstructies opgebouwd uit geprefabriceerde elementen. Daarnaast zijn er ontwikkelingen ten aanzien van wapeningsmaterialen en allerlei soorten beton, zoals ultra-hogesterkte beton en warmbeton. In onze capaciteitsgroep wordt nu onderzoek gedaan naar het 3D-printen van beton. Een totaal nieuwe wijze van vervaardigen van betonconstructies, die nieuwe mogelijkheden voor het architectonisch en constructief ontwerpen opent.

Durability van beton

Het duurzaam behoud van de constructieve eigenschappen van gewapende betonconstructies is mede afhankelijk van het milieu waarin ze worden toegepast. De duurzaamheid – hierna verder aangeduid als ‘durability’ – van beton en het daarin aanwezige wapeningsstaal wordt onder andere bepaald door de inwerking van vocht, zouten en chemicaliën en de wisseling van temperatuur, met name de vries-dooiwisselingen. De samenstelling van het beton en de manier van verwerken bepaalt of het beton hier tegen bestand is en daarbij voldoende in staat is het staal te beschermen tegen corrosie. Het optreden van het zogenaamde ‘betonrot’, waarbij stukjes beton van de constructie afspatten ten gevolge van het uitzetten van gecorrodeerd wapeningsstaal, is een algemeen bekend voorbeeld waarbij de bescherming onvoldoende is.

Ervaring, uit wetenschappelijk onderzoek opgedane kennis over de invloed van de samenstelling van het beton en een goede uitvoering moet voorkomen dat dit type schades aan constructies optreedt. Op dit moment is jammer genoeg sprake van een nieuw voorbeeld, waarbij de durability van het beton minder goed lijkt te zijn: kijk bijvoorbeeld naar de onzekere durability van het beton dat bij diverse kunstwerken van de HSL-lijn is gebruikt [7].

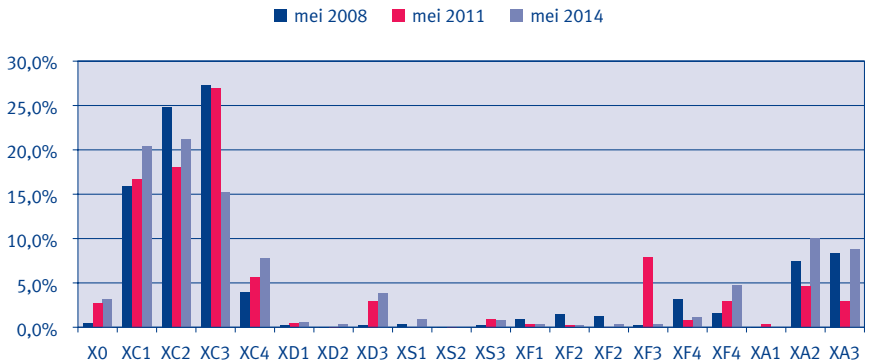


Figuur 6

Beton van kunstwerk in HSL-lijn

Anderzijds moet geconcludeerd worden dat bij beton dat in een mild milieu wordt toegepast, bijvoorbeeld binnenin een gebouw, er geen sprake is van een achteruitgang van de constructieve eigenschappen. De betonconstructie van het Pantheon is hiervan wederom een prachtig voorbeeld. Het beton is al bijna 2000 jaar in staat de effecten van het milieu te weerstaan en de constructieve taak uit te voeren.

In dat kader is het interessant om na te gaan in welke milieus betonconstructies veelvuldig worden toegepast. Een verkenning uitgevoerd door het Cement& BetonCentrum en de VOBn geeft hier uitsluitsel [8]. Hieruit blijkt dat ruim 2/3 van de totale hoeveelheid beton die in Nederland door betoncentrales in 2014 is geleverd, is toegepast in een omgeving waar de maatgevende milieuklasse X₀ of X_{C1} t/m X_{C4} was. Dit duidt op een omgeving waarbij uitsluitend sprake is van een vochtbelasting. Veel van deze constructies, dit zijn de constructies waarvoor X_{C1} en X_{C3} zijn gespecificeerd, bevinden zich in een binnenmilieu.



Figuur 7

Verdeling door betoncentrales geleverde betonmortel naar maatgevende milieuklasse

Het uit deze inventarisatie naar voren gekomen beeld wordt bevestigd als we kijken naar de verdeling van het gebruik van beton over de verschillende bouwsectoren: 62% van het beton werd in 2014 gebruikt in de woning- of utiliteitsbouw. Daarnaast is nog 20% gebruikt voor constructies in de agrarische sector.

Waarom een nieuwe uitdaging?

In Nederland, en in veel andere landen, zijn over vele decennia betonconstructies gebouwd, die in staat zijn hun taak, het leveren van draagkracht met voldoende veiligheid, veel langer uit te voeren dan dat de gebouwen waar zij onderdeel van uitmaken, gebruikt zullen worden.

Daarom kunnen we de vraag stellen waarom we betonconstructies niet vaker hergebruiken en ze na het einde van de levensduur van het gebouw waarin zij zich bevinden, geen nieuwe taak geven.

Als betonconstructies een cultuurhistorische waarde vertegenwoordigen, is hergebruik reeds een serieus genomen optie. Aansprekende voorbeelden hiervan zijn:

- De Nedinsco-fabriek in Venlo. Dit fabriekspand is door de woningcoöperatie Woonwenz omgevormd tot appartementen en commerciële ruimten;
- De Van Nelle-fabriek in Rotterdam. Dit pand, ontworpen door Brinkman en Van der Vlugt dat staat op de Unesco erfgoedlijst, heeft een nieuwe bestemming met bedrijfsruimten en ruimten voor evenementen;
- Strijp S in Eindhoven, waar de panden van voormalige Philipsfabrieken aan een tweede leven zijn begonnen.



Figuur 8

Nedinsco-fabriek in Venlo

In dit kader kan ook de huidige renovatie van het hoofdgebouw van onze campus als hergebruik worden gezien.

Er zijn verschillende redenen om hergebruik van betonconstructies ook in andere situaties toe te passen. Denk aan sustainability en economische overwegingen.

Sustainability

In haar intreedende 'More is less' [9] is onze decaan uitgebreid in gegaan op de noodzaak om duurzaam te bouwen. Zij spreekt van twee soorten duurzaam:

1. duurzaam met betrekking tot tijdsduur;
2. duurzaam met betrekking tot een ontwikkeling:
 - de ontwikkeling van een proces: dat permanent kan worden toegepast omdat het de aarde niet uitput
 - of de ontwikkeling van een product: dat gemaakt wordt met een dergelijk proces.

Building Sustainability, het vakgebied van haar leerstoel, heeft betrekking op duurzaam bouwen in beide betekenissen van duurzaam en heeft tot doel dat het product, oftewel het gebouw, voor, tijdens en na de gebruiksfase het milieu niet op een onverantwoordelijke wijze belast.

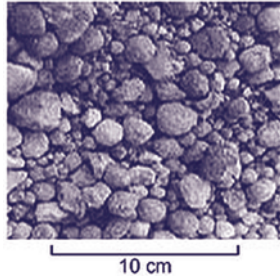
Hiervoor heb ik betoogd dat betonconstructies wat betreft tijdsduur duurzaam kunnen zijn, ik verwijs daarbij naar het Engelse begrip durability. Bij de duurzaamheid ten aanzien van de ontwikkeling, wat ik hierna zal aanduiden als sustainability, scoren betonconstructies minder goed. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door het productieproces van portlandcement.

De wereldwijde productie van cement is volgens een rapport van UNSTATS [10] verantwoordelijk voor circa 5 % van de door de mens veroorzaakte CO₂-emissie. Een belangrijke reden hiervoor is de chemische reactie die plaatsvindt bij de productie van cement en de omstandigheid waaronder die plaatsvindt.

Portlandcement wordt gemaakt uit zogenaamde cementklinker. Cementklinker bevat het molecuul CaO dat wordt verkregen via een chemische reactie, waarbij kalksteen (CaCO₃) het basismateriaal is:



Zoals u ziet, komt er bij deze reactie kooldioxide vrij.



Figuur 9
Cementklinker

Om deze chemische reactie te kunnen laten plaatsvinden, is een hoge temperatuur nodig, namelijk $1450\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kalksteen en andere toevoegingen worden daarom verhit in een oven. Mede gelet op de forse afmetingen van deze ovens, kunt u zich voorstellen dat voor het in stand houden van deze temperatuur, veel energie benodigd is. Ook dat heeft een significante CO_2 -uitstoot tot gevolg.



Figuur 10
Klinkeroven ENCI in Maastricht: lengte 200 meter, diameter 5,5 meter,
productiecapaciteit 950.000 ton per jaar

Overigens is het in Nederland gebruikte cement verantwoordelijk voor slechts 1 % van de in Nederland door de mens veroorzaakte CO_2 -uitstoot. Het verschil tussen de wereldwijde en de Nederlandse uitstootverhouding heeft te maken met het feit dat in Nederland andere oorzaken relatief meer bijdragen aan de uitstoot en dat in Nederland veel hoogovenslak wordt gebruikt als alternatief voor de klinker [11], zodat bij de productie minder CO_2 vrijkomt.

In Stufib-rapport 21 [12] worden verschillende mogelijkheden beschreven om de CO₂-footprint van een betonconstructie te verbeteren. Mogelijkheden die hierbij onder andere aan de orde komen zijn:

- het verlagen van het bindmiddelgehalte in beton
- het toepassen van hoogovenslak in plaats van cementklinker
- het baseren van de druksterkte op de sterkte bij 91 dagen in plaats van 28 dagen
- recycling van beton door toepassing van betonaggregaat in nieuw beton
- het optimaliseren van het ontwerp met betrekking tot materiaalgebruik
- het verlengen van de ontwerplevensduur van een gebouw
- het hergebruiken van een bestaande constructie met een andere functie

In het rapport wordt gesteld dat vooral de laatste twee opties het meest succesvol zijn als het gaat om het beperken van de CO₂-uitstoot. Het is evident dat we de relatieve hoeveelheid CO₂-uitstoot, die nodig is om de constructie te maken, fors kunnen reduceren door betonconstructies twee- of driemaal langer te gebruiken, dan de vooraf geplande levensduur van het gebouw.

Dit laat natuurlijk onverlet dat we ook alle andere beschouwde maatregelen in acht dienen te nemen. Producenten van cement zijn in dit kader reeds jarenlang met productonderzoek bezig om de sustainability van het cement te verbeteren.

Economie

Een tweede reden om te kiezen voor hergebruik van bestaande betonconstructies is een financiële. Er staan op dit moment veel kantoorpanden leeg die slechts



Figuur 11

Veel kantoorpanden staan leeg en zijn (deels) te huur

dertig of veertig jaar oud zijn. Anderzijds is er op dit moment behoefte aan woonruimte. Hergebruik van de constructie is dan een mogelijkheid om relatief snel en op een economische manier woonruimte te creëren.

Een voorbeeld vinden we in Den Haag. De ministeries van Justitie en Binnenlandse Zaken zijn hier kort geleden gehuisvest in twee nieuwe kantoortorens, genaamd JuBi, een ontwerp van de Duitse architect Hans Kollhoff. De oorspronkelijke gebouwen van het ministerie, gebouwd in 1979 en ontworpen door Lucas & Niemeyer, zijn deels gesloopt (Justitie) en deels hergebruikt (Binnenlandse Zaken).



Figuur 12

De oude en nieuwe huisvesting van de ministeries van Binnenlandse Zaken en Justitie

Aannemer Heijmans heeft bij dit project circa 47 duizend vierkante meter kantooroppervlak omgevormd naar 170 appartementen. Daarnaast is in het project ruimte gecreëerd voor een universiteit, kantoren en andere commerciële ruimten. Het



Figuur 13

Bouwwerkzaamheden aan het voormalige ministerie

hergebruik van de bestaande betonconstructie, waaronder ook een tweelaagse parkeerkelder, kon naar de mening van Heijmans worden gedaan bij een kosten-niveau dat iets lager ligt dan dat van een aanpak waarbij het pand volledig gesloopt zou zijn en vervangen door een algehele nieuwbouw.

Ook hier op de TU/e-campus wordt gewerkt aan nieuwe gebouwen, waarin bestaande betonconstructies gehandhaafd blijven: het hoofdgebouw en het voormalige E-hoog. Collega Rapp heeft u daar tijdens het symposium voorafgaand aan deze rede uitgebreid over geïnformeerd. Hier wil ik toch heel kort een toelichting geven bij de huidige huisvesting van de faculteit Bouwkunde. In het begin van de jaren zestig van de vorige eeuw werden de eerste gebouwen van de TU/e op dit terrein gebouwd. Zij waren ontworpen door architect S.J. van Embden. Het Auditorium (1965), het Hoofdgebouw (1963), E-hoog (1963, nu bekend als Potentiaal) en T-hoog (1965, nu bekend als Vertigo) waren in het oog springende gebouwen. De drie hoge gebouwen zijn opgebouwd uit een betonconstructie en voorzien van vliesgevels. Opmerkelijk is dat het oudste pand, de laagbouw van Het Paviljoen uit 1958, dat vanaf het begin is bedoeld als tijdelijke behuizing, nu nog steeds intensief wordt gebruikt.



Figuur 14

De campus van de TU/e in aanbouw in het begin van de zestiger jaren

T-hoog is door Bert Dirrix verbouwd tot een nieuwe behuizing voor de faculteit Bouwkunde en heet nu Vertigo. In 2002 waren deze werkzaamheden afgerond. De oorspronkelijke betonconstructie is hierbij gehandhaafd en dominant aanwezig in het gebouw. Tijdens de verbouwing is het beton behandeld door het oppervlak te zandstralen.

De verdiepingshoogte van het gebouw is meer dan 5 meter. Op de bovenste vier bouwlagen, waar de medewerkers van de capaciteitsgroepen hun werkplekken hebben, heeft de architect deze grote hoogte gebruikt om een tussenvloer met werkkamers te maken. Dit verklaart het uitzicht in mijn kamer. De betonbalk maakt deel uit van de constructie van de hoger gelegen vloer. In mijn geval is dit de dakvloer. De afmetingen van de verdiepingen, 30m x 40m, maakte extra voorzieningen voor de daglichttoetreding noodzakelijk. Daarom is in de bovenste vier verdiepingvloeren een grote vide gezaagd en zijn de gevels, van vloer tot plafond, voorzien van glasplaten.



Figuur 15

Vide in Vertigo

Het toepassen van de tussenvloer op bepaalde delen van de bouwlaag leidt lokaal tot hogere vloerlasten. Het creëren van de vide, door het wegzagen van twee vloervelden en een ondersteunende balk, leidt zowel voor de verdiepingvloeren als voor de dragende balken tot een gewijzigd statisch systeem waarbij de verhouding tussen veld- en steunpuntsmomenten gewijzigd wordt. Dit heeft ook gevolgen voor de krachtsverdeling in de kolommen. De constructeur moest de consequenties hiervan voor de constructieve veiligheid beoordelen en indien noodzakelijk versterkende maatregelen voorstellen.

Uitdagingen bij hergebruik

Deze beoordeling kan niet worden gedaan zonder informatie over de samenstelling van de betonconstructie. Relevant hierbij is kennis over de kwaliteit van de gebruikte materialen, de afmetingen van de constructie, maar vooral van de hoeveelheid aanwezige wapening. Al deze informatie is noodzakelijk om een uitspraak te kunnen doen over de draagkracht van de constructie.

De genoemde informatie kan worden ontleend aan de ontwerpdocumenten zoals het bestek, de statische berekeningen en (wapenings)tekeningen. Eigenaren zijn echter vaak niet in het bezit van deze informatie. Dit komt voor bij zowel particuliere eigenaren, woningbouwcoöperaties als institutionele eigenaren. Bij de werkzaamheden aan het Hoofdgebouw is gebleken dat ook de TU/e niet meer in het bezit is van alle relevante tekeningen van de betonconstructie. Mensen zijn vaak veel zorgvuldiger met de gebruiksaanwijzing van hun auto dan met die van hun pand. Er wordt onvoldoende beseft dat de set van ontwerpdocumenten een significant kapitaal vertegenwoordigt. Dit blijkt pas als vanwege de afwezigheid van deze documenten, forse kosten moeten worden gemaakt om de relevante eigenschappen in het werk te bepalen.

Binnen mijn leerstoel voert Hamza Chakiri, een masterstudent, onderzoek uit naar de wijze waarop de druksterkte van het beton van een bestaande constructie kan worden bepaald en hoe deze moet of mag worden gecorrigeerd om een sterkte te beschrijven die bij berekeningen volgens Eurocode 2 gebruikt kan worden. Met deze berekening kan de constructieve capaciteit van de bestaande constructie worden beoordeeld. Het onderzoek gaat in op de betoneigenschappen die in de verschillende omstandigheden bepaald of gebruikt worden:

- gespecificeerd op basis van laboratoriumonderzoek door de leverancier van de betonmortel;
- gebruikt door de ontwerper bij het dimensioneren en toetsen van de constructie;
- die in het werk worden aangetroffen.

Afgeleid van het Engelse woord concrete, spreekt Chakiri hier respectievelijk van lab-crete, code-crete en real-crete. Zoals u zult begrijpen, bestaan er tussen deze verschillende soorten 'concrete' allerlei verbanden. Maar de eerste conclusie, is dat voor hetzelfde materiaal, in deze drie omstandigheden, verschillende waarden voor de eigenschappen worden gevonden en/of gebruikt. Veel van de constructieve eigenschappen van grindbeton zijn gekoppeld aan de druksterkte. De druksterkte van lab-crete wordt bepaald door direct na het mengen betonkubussen te vervaardigen. Het beton wordt hierbij, door de kubus na het vullen op een tritafel te plaatsen, goed verdicht. Na het verharden en ontkisten worden de kubussen in water bewaard. Na 28 dagen verharding bepaalt de laborant de geschiktheid van het beton door na te gaan of het gemiddelde van de proefondervindelijk bepaalde druksterkten, voldoende hoog is ten opzichte van een gespecificeerde karakteristieke ondergrens.

De ontwerper gaat bij zijn ontwerp uit van deze karakteristieke ondergrens. Deze karakteristieke waarde moet volgens Eurocode 2, voor het ontwerp van constructies worden gecorrigeerd tot een rekenwaarde met de volgende vergelijking:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_C} \alpha_{cc}$$

waarin:

- f_{cd} is de rekenwaarde van de druksterkte van het beton
- f_{ck} is de karakteristieke waarde van de druksterkte
- γ_C is de partiële factor voor de materiaaleigenschappen
- α_{cc} is de coëfficiënt die rekening houdt met lange-duureffecten op de druksterkte

De aanbevolen waarde voor de partiële factor van 1,5, is opgebouwd uit [13]:

- 1,3 als materiaalfactor om van een karakteristieke waarde te komen tot een rekenwaarde die past binnen de toegepaste aanpak met partiële factoren;
- 1,15 om het verschil in rekening te brengen tussen lab-crete en real-crete.

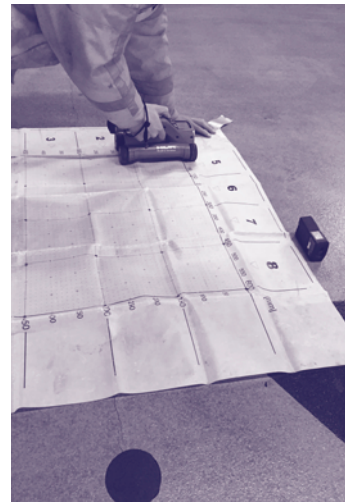
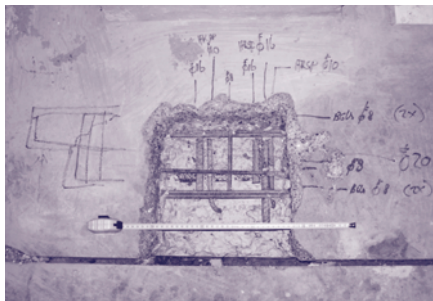
De aanbevolen waarde voor de reductie voor de lange-duureffecten van 1,0, is opgebouwd uit:

- 0,85 om het verschil in rekening te brengen tussen de druksterkte bij korteduur-belasten, zoals het drukken van een kubus en de druksterkte bij langeduur-belasten;

- 1,12 om de toename van de betondruksterkte gedurende de tijd in rekening te brengen, uitgangspunt hierbij is een tijdsduur van een half jaar en een sterkte-toename bij gebruik van een snel cement met beperkte sterkte-toename na 28 dagen.

Het is moeilijk om de druksterkte van real-crete te bepalen op een wijze die vergelijkbaar is met de wijze waarop de druksterkte van lab-crete wordt bepaald. Hiervoor zijn allerlei correctiefactoren nodig, waarop ik nu niet nader inga. Op basis van het voorgaande lijkt het een optie om, als de druksterkte van real-crete is bepaald, deze te verhogen met een factor 1,15 – vanwege het onderscheid tussen real-crete en lab-crete – en voor α_{cc} uit te gaan van 0,85, zoals reeds in de Eurocode is aangegeven voor situaties waarbij rekening is gehouden met een toename van de sterkte van het beton gedurende de tijd. Uit een tijdens het onderzoek uitgevoerde probabilistische beschouwing blijkt dat dit echter een te optimistische benadering is.

Zoals gezegd is de hoeveelheid wapening, vooral voor balken en vloeren, de allesbepalende factor voor de capaciteit van de constructie. Als hierover niets bekend is of als er twijfels zijn over de betrouwbaarheid van de gegevens op de tekeningen, dan staat de constructeur voor een uitdaging. Kennis over de aanwezige wapening kan dan op twee manieren worden verkregen, op basis van destructief onderzoek of middels niet-destructief onderzoek.



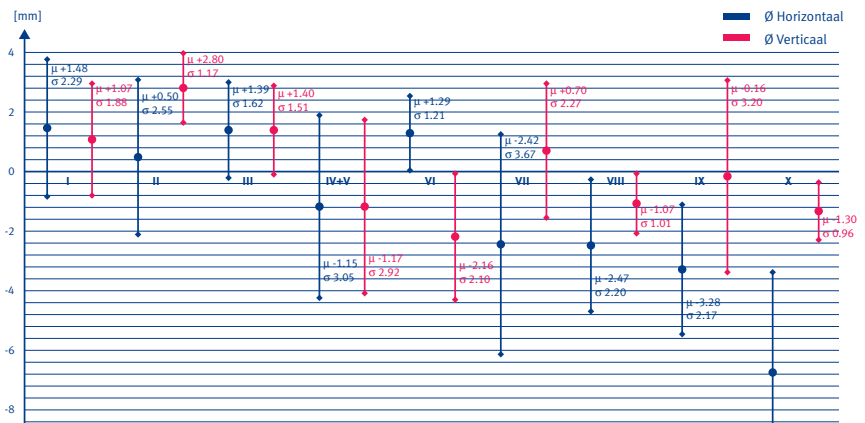
Figuur 16

Destructief en niet-destructief onderzoek naar de aanwezigheid van wapening

Het hoeft geen betoog dat niet-destructief onderzoek de voorkeur heeft. Maar zijn de resultaten van dit onderzoek voldoende betrouwbaar om met voldoende zekerheid een uitspraak te kunnen doen over de draagkracht van een constructie?

Hiernaar heeft Ibrahim Seleke een onderzoek uitgevoerd [14]. Uit zijn onderzoek blijkt dat bij de meest gebruikte niet-destructieve meetmethode, gebaseerd op elektromagnetisme, de positie van de wapening en de grootte van de dekking op de wapening met een goede betrouwbaarheid kan worden bepaald.

Echter de diameter van het betonstaal is nu nog niet met voldoende betrouwbaarheid te bepalen. Vaak worden afwijkingen gevonden van enkele millimeters, wat bij de gangbare staafdiameters tussen 8 en 32 mm tot een te grote afwijking leidt. Bedenk hierbij dat het oppervlak van de dwarsdoorsnede van de staaf bepaald wordt door de diameter in het kwadraat.



Figuur 17

Afwijking tussen werkelijke diameter en gemeten diameter [mm]

Seleke trekt in zijn onderzoek een aantal interessante conclusies:

- de betrouwbaarheid van de meetresultaten, die mede bepaald worden door de interpretatie van diegene die het onderzoek uitvoert, kan worden verhoogd door de metingen te combineren met een beperkt destructief onderzoek;
- de afwijkingen in meetresultaten zijn reproduceerbaar, bij herhaalde metingen worden op dezelfde plaats nagenoeg dezelfde afwijkingen gevonden;
- als de wapening in de lucht achter een houten plaat wordt geplaatst, zijn de afwijkingen significant kleiner en acceptabel.

Deze conclusies nodigen uit tot het voortzetten van het onderzoek naar de oorzaak van de afwijkingen. De daarbij verkregen kennis kan leiden tot een significante verbetering van de betrouwbaarheid van de metingen. Dit onderzoek kan mogelijk met behulp van een fabrikant en collega's bij andere faculteiten van de TU/e tezamen worden uitgevoerd.

Ook zullen de conclusies bruikbaar zijn bij het beoordelen van de constructieve kwaliteit van uitkragende galerijvloeren. Op 23 mei 2011 bezweek een deel van de galerijconstructie van de Antillenflat in Leeuwarden. Uit het daarop volgende onderzoek en de daarna opgedane ervaringen met de kwaliteit van soortgelijke constructies bij andere woongebouwen, blijkt dat bij veel van deze constructies de positie van de wapening in voor de constructieve capaciteit ongunstige zin afwijkt van hetgeen in het ontwerp is bedoeld. Daarom wordt het beoordelen van deze constructies sinds 1 januari van dit jaar, in het Bouwbesluit aanbevolen.



Figuur 18

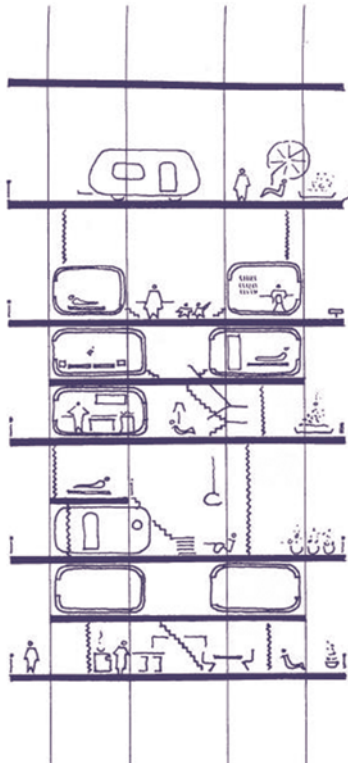
Bezweken galerijconstructie bij Antillenflat in Leeuwarden

Een uitdaging voor ontwerpers

Laten we terug gaan naar de bevinding van eerder. Er staan in Nederland veel gebouwen waarbij de betonconstructie nog in een goede conditie is, maar waarbij de rest van het gebouw het einde van zijn economische levensduur nadert. Collega Bekkering gaf in haar intreerede aan dat de verschillende onderdelen van gebouwen een verschillende levensduur hebben [15]. Zij haalt daarin Steward Brand's zes 'shearing layers of change' aan. Daarin wordt de levensduur van een constructie gelijkgesteld aan een periode van dertig tot driehonderd jaar. Dit kan dus beduidend langer zijn dan de levensduur van gevels en plattegronden waarvoor een maximale levensduur van dertig jaar wordt beschreven.

Wat te doen met die constructies die nog heel lang mee kan gaan en waarvan het zowel vanuit het oogpunt van sustainability als van economie een verspilling zou zijn om ze te slopen? Het ontwerpen van een nieuw gebouw rondom zo'n bestaande constructie, zoals in de getoonde voorbeelden van het ministerie van Buitenlandse Zaken, de gebouwen op Strijp-S en hier op de campus, zou voor architecten een uitdaging moeten zijn. Een uitdaging die zij samen met constructief ontwerpers tot een goed einde zouden moeten kunnen brengen. Een uitdaging, waarvan niet alleen sprake zou hoeven zijn bij grote gebouwen met een zekere cultuurhistorische waarde, maar ook bij de meer gangbare kantoren, woongebouwen en woningen.

Het bouwen van nieuwe woningen in reeds aanwezige constructies roept in dit huis zeker herinneringen op aan de belangrijkste publicatie van een van de oprichters van onze faculteit en vanaf 1967 onze eerste decaan, Johan Habraken. Zijn 'De dragers en de mensen – Het einde van de massawoningbouw' uit 1961, bevat een theoretische overweging waarin dragers – in het Engels vertaald als supports en niet als structures – moeten worden gebouwd waarin bewoners, met behulp van geïndustrialiseerde pakketten zelf hun woning konden vormgeven. Bewust laat Habraken na om in zijn boek een vorm van de drager te schetsen, dit om gebruikers van zijn theorie de vrije hand te laten [16]. De getoonde schets van Habraken, van het dragerprincipe is dan ook pas uit 1963 en is toen ook niet direct gepubliceerd.



Figuur 19

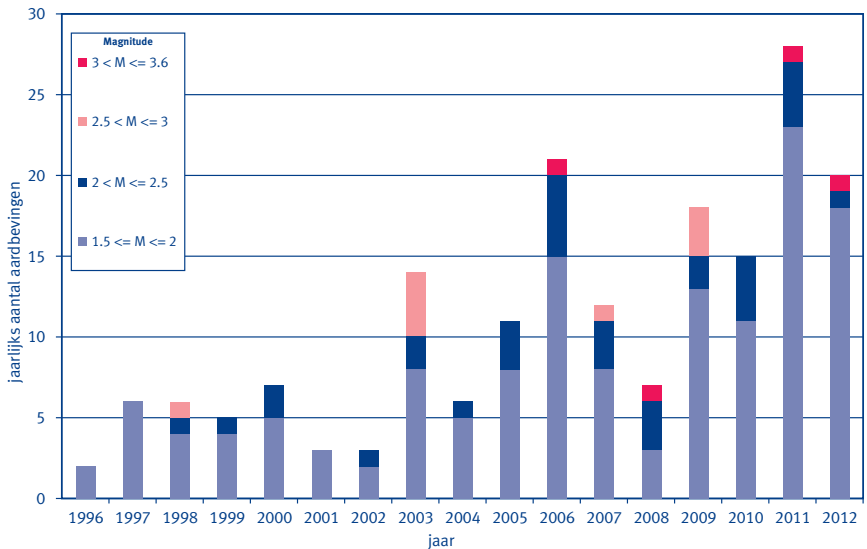
Schets van het dragerprincipe volgens Habraken [16]

Ik ben van mening dat de filosofie van Habraken voor alle bij het hergebruik van bestaande betonconstructies betrokken ontwerppartijen, zoals architecten, constructief ontwerpers en bouwfysici, nuttig kan zijn bij het vinden van een gezamenlijke oplossingsrichting.

Nu we concluderen dat de levensduur van betonconstructies bij toepassing in een gematigd milieu zo veel langer kan zijn dan de levensduur van andere delen van gebouwen, is het mijns inziens nuttig om te trachten hiermee ook bij het ontwerpen van nieuwbouw voldoende rekening te houden. Zeker vandaag de dag is het moeilijk voor te stellen hoe de bouwkunde over vijftig jaar wordt toegepast. Toch zou het voor ontwerpers een uitdaging moeten zijn om vooruit te kijken en na te gaan hoe aan het einde van de levensduur van de gevels, de plattegronden en de installatie met de resterende constructie kan worden omgegaan.

Een onverwachte nieuwe uitdaging

Tot nu toe heb ik gesproken over gebouwen en constructies die gewijzigd gaan worden, waarbij de bestaande betonconstructie een nieuw gebouw gaat dragen. De laatste jaren is er enigszins onverwacht een nieuwe uitdaging naar voren gekomen voor bestaande betonconstructies. In Groningen hebben zij een nieuwe taak gekregen: het weerstand bieden aan de gevolgen van aardbevingen. Deze geïnduceerde aardbevingen – bevingen die worden veroorzaakt door het handelen van de mens – zijn de laatste decennia in aantal en in intensiteit toegenomen. Het is onbetwist dat deze bevingen het gevolg zijn van de compactie van de grondlaag, waaruit sinds het begin van de jaren zestig van de vorige eeuw gas gewonnen wordt.



Figuur 20

Aantal aardbevingen in de periode 1996-2012 [17]

Uit studies die de NAM openbaar heeft gemaakt, blijkt dat zij verwacht dat de intensiteit van de bevingen tot circa 2030 toe zal nemen [17]. Daarna neemt het weer af, totdat er omstreeks 2060 mogelijk geen sprake meer zal zijn van

bevingen die een bedreiging zijn voor de constructieve veiligheid. Dit alles is natuurlijk mede afhankelijk van de hoeveelheden gas die de komende periode gewonnen gaan worden.

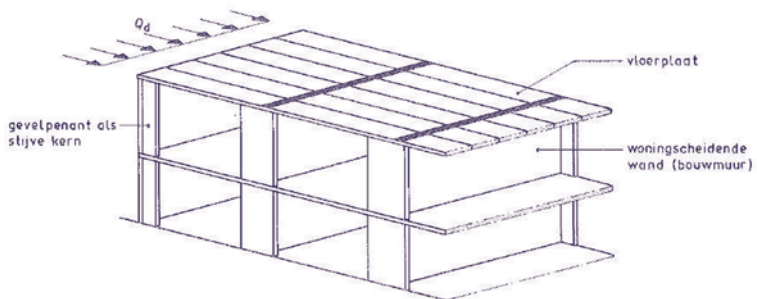
De constructies in de betreffende regio zijn, evenals alle overige reguliere constructies in Nederland, nooit ontworpen om de effecten van aardbevingen te weerstaan. De maatgevende horizontale belasting waartegen de constructies bestand dienden te zijn, was de windbelasting. De grootte van windbelasting wordt bepaald door het oppervlak van de doorsnede van het gebouw. De grootte van de aardbevingsbelasting wordt mede bepaald door de massa van de constructie en de stijfheid. Ter illustratie, bij een rij van vier woningen belast op wind is de windbelasting op de rij even groot als de belasting op één enkele woning. Bij een belasting veroorzaakt door een aardbeving is de belasting op een rij van vier woningen viermaal zo groot als die op één enkele woning. Het zijn dan ook onder andere dit type constructies, dat het meest kwetsbaar is bij een belasting door aardbevingen.

Over het beoordelen van de capaciteit van constructies om aardbevingen te weerstaan, is veel bekend. Echter bouwmethoden in gebieden waar al eeuwenlang aardbevingen voorkomen, zijn significant afwijkend van die wij in Nederland gebruiken. Er worden daar traditioneel bijvoorbeeld dikke muren toegepast. In Nederland waar we geen aardbevings- maar een vochtprobleem hadden, werd de dikke muur juist door een spouw in twee delen gedeeld, en gebruiken we zo doende relatief slanke wanden. Dat geldt ook voor betonconstructies. Betonconstructies ontworpen om aardbevingen te weerstaan, worden uitgevoerd met relatief veel drukwapening en beugels om zo grote vervormingen te kunnen ondergaan. Op die wijze kan veel van de aardbevingsenergie worden opgenomen in de vorm van blijvende vervormingen. Dit wordt energiedissipatie genoemd. De bestaande betonconstructies in Groningen zijn niet zo gedetailleerd. Toch moeten we een uitspraak kunnen doen over de betrouwbaarheid van deze constructies in het geval van aardbevingen.

Een eerste aanzet daarvoor is gedaan in NPR 9998. In deze NPR wordt aangesloten bij bestaande kennis in Eurocode 8 en Eurocode 2, respectievelijk de normen voor aardbevingen en betonconstructies. Op basis van die uitgangspunten komen onze betonconstructies er niet goed vanaf. Hun weerstand tegen aardbevingsbelastingen is beperkt. Dit wordt vooral veroorzaakt door het feit dat we op basis van de huidige kennis maar een beperkte energiedissipatie aan de constructies mogen toekennen. Om dit te verbeteren is een verdere onderbouwing

nodig die gebaseerd moet zijn op de resultaten van experimenteel en numeriek onderzoek.

Binnen mijn leerstoel is een onderzoek gaande naar de belasting door aardbevingen op en de capaciteit van een vloerschijf samengesteld uit kanaalplaten. Dergelijke vloeren zijn veelvuldig toegepast in woningen. Masterstudent Pleun Mijsbergen heeft middels vergelijkingen tussen niet-lineaire tijdsdomeinberekeningen en berekeningen met statisch equivalente belastingen aangetoond dat de krachtsverdeling in de vloerschijf tijdens een aardbeving zich goed laat beschrijven met de relatief eenvoudige statisch equivalente belastingsmethode. De weerstand van de vloerschijf is bij toepassing in de woningbouw echter veelal beperkt door het ontbreken van een trekelement. De aanname in CUR-rapport 136 dat een trekkracht ontleend kan worden aan de aanwezige wanden, zoals gebruikelijk bij het beoordelen van de effecten van windbelasting, moet in het geval van aardbevingen waarbij de wanden ook door veel andere krachten worden belast, nog eens kritisch worden beschouwd.



Figuur 21

Vloerschijven van kanaalplaten bij een rij woningen

Op dit moment loopt tevens een onderzoek waarin een eerste aanzet wordt gegeven tot de onderbouwing van een grotere energiedissipatie in het geval van reguliere betonnen gietbouwconstructies, waarin een beperkte hoeveelheid wapening aanwezig is. Het doel van het onderzoek is om na te gaan hoe knopen in raamwerken, opgebouwd uit betonnen wanden en vloeren, zich gedragen als ze herhaaldelijk extreme grote vervormingen krijgen opgelegd.

Onderwijs

Naast deze onderzoeksactiviteiten ben ik samen met collega Salet verantwoordelijk voor het onderwijs over betonconstructies. Ons doel is om studenten te voorzien van een stevig fundament van kennis over de gangbare wijze van construeren van betonconstructies. Dit op een hoger niveau dan het leren van regels uit de normen. We hebben in Nederland al ruim honderd jaar normen voor het berekenen van betonconstructies [18] en de geschiedenis leert dat deze iedere vijftien à twintig jaar worden herzien en uitgebreid. Ook nu zijn we in Europa bezig Eurocode 2 te herzien. Omdat de normatieve regels dus telkens bijgesteld worden, gaat het vooral om het begrijpen van het gedrag, zodat de huidige en nieuwe regels op een verantwoorde manier kunnen worden toegepast.

Naast dit fundament is het tevens van belang studenten kennis te laten maken met de nieuwste ontwikkelingen op het gebied van het materiaal beton en de wijze waarop dit toegepast en rekenkundig beoordeeld kan worden. Maar ook met de wijze waarop betonconstructies kunnen worden hergebruikt en geschikt gemaakt kunnen worden om aardbevingsbelastingen te weerstaan. Ik zal mijn uiterste best doen om mijn enthousiasme over het materiaal en mijn nieuwsgierigheid naar nieuwe ontwikkelingen op de studenten over te dragen.

Tot besluit

De titel van deze lezing is ‘Oud Beton staat voor een Nieuwe Uitdaging’ maar is het eigenlijk niet zo dat WIJ voor een Nieuwe Uitdaging staan met Oud Beton? Om oud beton de nieuwe uitdaging te kunnen laten aangaan, liggen er voor ons uitdagingen op het gebied van onderzoek en onderwijs. Ik ga die uitdagingen, tezamen met mijn collega’s en de studenten, bij onze capaciteitsgroep, graag aan.

Dankwoord

Aan het eind van mijn rede is een woord van dank op zijn plaats.

Geachte leden van het College van Bestuur, mijnheer de Rector Magnificus, geachte collega’s. Ik spreek mijn dank uit voor mijn benoeming tot hoogleraar aan deze universiteit. Zevenentwintig jaar geleden ben ik afgestudeerd aan deze universiteit. Nog steeds ben ik enthousiast over de opleiding die ik toen bij de faculteit Bouwkunde heb gehad. Het is daarom een eer om daar nu zelf een bijdrage aan te mogen leveren.

Het bestuur van de Stichting SKKB wil ik hartelijk danken voor de financiële ondersteuning van mijn leerstoel. Ik zal mijn best doen om door middel van het onderzoek en onderwijs bij te dragen aan de doelstellingen van uw stichting.

Beste collega’s van de capaciteitsgroep Constructief Ontwerpen. Hoewel ik slechts één dag per week aanwezig ben, voel ik me thuis bij jullie. Het is leuk, boeiend en de moeite waard om samen met jullie bouwkundig constructief ontwerpers op te leiden. Dank daarvoor.

Hooggeleerde Stark, Beste Jan,

Hartelijk dank voor het stimuleren van mijn interesse in onderzoek. Ik kwam naar de TU Eindhoven om kennis te vergaren en daarna constructeur te worden. Jij hebt me echter kennis laten maken met de wereld van het onderzoek naar het gedrag van constructies. Die wereld heb ik na mijn studie nooit meer geheel los willen laten.

Beste Peter de Jong,

Nadat je bent afgestudeerd valt er nog veel te leren. Dat heb ik bij jou kunnen doen. Ik wil je daarvoor bedanken.

Hooggeleerde Salet, Beste Theo,

Jij bent van het nieuwe en ik, zoals vandaag weer blijkt, een beetje van het oude. Toch verstaan we elkaar prima. Ik dank je voor de samenwerking in de afgelopen periode en zie er naar uit om die nog lang te continueren.

Hooggeleerde Hordijk, Beste Dick,

We zijn nu collega's op verschillende manieren. Ik verwacht dat onze goede onderlinge band, de verbinding tussen de leerstoelen beton aan de TU Delft en de TU Eindhoven zal versterken. Als collega bij Adviesbureau Hageman wil ik jou, maar ook Sander, Jan en de overige collega's, danken voor de mij geboden mogelijkheid om één dag per week aan onderzoek en onderwijs op deze universiteit te kunnen besteden.

Pa en Ma,

Veel dank voor alles wat vanzelfsprekend lijkt te zijn, maar dat toch niet helemaal is.

Pa, ik zal niet vergeten hoe je mij leerde beton te maken: "Een verhouding van 1:2:3 en van het goedkoopste het meest". Daar sprak de praktische aannemer en ik neem aan dat je begrijpt dat we dat nu iets anders doen.

Berend en Thomas,

Jullie zijn nu aan het studeren. Ik hoop dat jullie daar net zo veel plezier in hebben als ik heb gehad.

Lieve Edith,

Je kent me misschien beter dan ikzelf. Ik heb de ruimte om veel tijd te besteden aan mijn werk, maar je remt me af als dat nodig is en neemt me mee naar leuke interessante plaatsen buiten de universiteit en het kantoor. Heel veel dank daarvoor.

Dames en heren, gewaardeerde aanwezigen, ik dank u zeer voor uw aanwezigheid en aandacht.

Ik heb gezegd

Referenties

1. Scharroo, P.W., Cement en beton, oud en nieuw, 1946.
2. Vitruvius, De Architectura libri decem II.
3. Henry Cowan: The Masterbuilders, New York 1977.
4. Herwijnen, F. van, Constructief Ontwerpen: Van Pantheon naar Millenium Dome. Intreerede TU/e, 29 januari 1999.
5. Hordijk, D.A., Nieuwe betontoepassingen, van proef naar praktijk of omgekeerd? Intreerede TU/e, 14 juni 2002.
6. Barbisan, U. en M. Guardini, Short History of Concrete.
7. Prorail, HSL – TRN, Rapportage inspectie/onderzoek betonkwaliteit en advies herstel, 24 september 2015.
8. Cement&Beton Centrum – VOBN, Onderzoek naar eindverbruik en toepassing betonmortel en cement in Nederland in 2014.
9. Nelissen, E.M.S., More is less, Intreerede TU/e, 8 juli 2011.
10. UNSTATS, Greenhouse gas emissions by sector (absolute values). United Nation Statistical Division: Springer, 2010.
11. Roadmap tot duurzaam cement, Cement&BetonCentrum, oktober 2012.
12. Stufibrapport 21 – Stutechrapport 29, Duurzaamheid als ontwerpcriterium voor beton – toegespitst op CO₂ – Fase A: state-of-the-art, 12 november 2012.
13. Westerberg, Bo, J. Walraven e.o, Eurocode 2 Commentary, European Concrete Platform, 2007.
14. Seleik, I., Reliability of non-destructive testing methods for detecting steel rebar in existing concrete structures, Master-thesis TU/e, oktober 2015.
15. Bekkering, J.D., Architectuur een gebuiksaanwijzing over sculpturaliteit, scenografie en materialiteit, november 2014.
16. Bosma, K. e.a., Housing for the Millions – John Habraken and the SAR (1960-2000), Rotterdam 2000.
17. NAM, Technical Addendum to the Winningsplan Groningen 2013 Subsidence, Induced Earthquakes and Seismic Hazard Analysis in the Groningen Field, November 2013.
18. Gijsbers, J., 100 jaar betonvoorschriften, Cement 2012 nr 8.

Curriculum vitae

Prof.ir. Simon Wijte is op 1 april 2014 aangesteld als hoogleraar ‘Material related Structural Design – Sustainment of Concrete Structures’ aan de faculteit Bouwkunde van de Technische Universiteit Eindhoven.

Simon Wijte is een alumnus van de faculteit Bouwkunde aan de TU/e, waar hij in 1989 afstudeerde bij de vakgroep Constructief Ontwerpen. Daarna is hij in dienst getreden bij Adviesbureau ir. J.G. Hageman B.V. te Rijswijk, waar hij sinds 2004 lid is van de directie. Hij heeft daar een ruime ervaring opgedaan met het beoordelen van bestaande betonconstructies en het analyseren van schade-oorzaken bij bouwkundige constructies en het ontwikkelen van berekeningsmethoden voor constructies.

Hij is lid van een groot aantal nationale en internationale normcommissies op het gebied van beton- en steenconstructies. Sinds eind 2015 is hij voorzitter van TGB Betonconstructies. Als lid van o.a. de CEN-commissies TC250/SC2 en SC2/WG1 werkt hij mee aan de revisie van Eurocode 2, de norm voor het ontwerpen en toetsen van betonconstructies. Binnen de werkgroep Aardbevingen van NEN is hij betrokken bij het opstellen van NPR 9998 voor het beoordelen van constructies bij een belasting door geïnduceerde aardbevingen in Noordoost-Nederland.

Colofon

Productie

Communicatie Expertise
Centrum TU/e

Fotografie cover

Rob Stork, Eindhoven

Ontwerp

Grefo Prepress,
Eindhoven

Druk

Drukkerij Snep, Eindhoven

ISBN 978-90-386-4016-7
NUR 955

Digitale versie:
www.tue.nl/bib/

Bezoekadres

De Rondon 70
5612 AP Eindhoven

Postadres

Postbus 513
5600 MB Eindhoven

Tel. (040) 247 91 11
www.tue.nl/plattegrond