

Bouwen is geen wetenschap

Citation for published version (APA):

Hendriks, N. A. (2005). Bouwen is geen wetenschap. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/2005

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.

Afscheidscollege

Uitgesproken op 14 oktober 2005
aan de Technische Universiteit Eindhoven

bouwen is geen wetenschap

prof.ir. Nico Hendriks



Inleiding

Mijnheer de Rector Magnificus, waarde collega's, familie en vrienden, dames en heren,

Bouwen is geen wetenschap. Toen u las dat dit de titel is van mijn afscheidscollege zult u waarschijnlijk gedacht hebben: dat meent hij natuurlijk niet. Hoe kan nu een hoogleraar aan de faculteit Bouwkunde van de Technische Universiteit Eindhoven dat beweren? Hij zal zich toch bezig hebben gehouden met wetenschappelijk onderzoek van bouwkundige problemen? Jazeker, dames en heren, dat heb ik en ik zal u daar ook het een en ander over vertellen. Een aantal van u heeft zojuist ook het minisymposium bijgewoond met de titel 'Wetenschappelijke kijk op tweeschalige gevelconstructies', een terrein waarmee ik mij intensief heb beziggehouden, samen met mijn collega's, de sprekers op dat symposium.

En toch is het geen grap, zelfs geen cynische. Bouwen is geen wetenschap, dat is een feit en dat zal ik u laten zien. Het wil niet zeggen dat bouwen en wetenschap niets met elkaar te maken hebben, gelukkig niet. Ook dat zal ik u laten zien.

De stelling is overigens niet van mij, maar van wijlen prof. Piet de Lange, ooit medeoprichter en voorzitter van FAGO en tot 1987 decaan van de faculteit Bouwkunde. Ik heb het genoeg gehad als raadgevend ingenieur enige tijd met Piet samen te werken. Als we dan weer eens aanliepen tegen een merkwaardige gang van zaken, dan kon hij zeggen, met een twinkeling in zijn ogen: "Nico, bouwen is geen wetenschap, bouwen is traditie. Want kijk maar als je de grens overgaat. Dan zie je direct aan de huizen dat je in het buitenland bent. Toch bouwen ze daar met ongeveer dezelfde materialen in hetzelfde klimaat. Dat kan dus niet op wetenschap berusten."

Ik heb me de stelling eigen gemaakt, maar geleerd dat bouwen nog veel meer is dan traditie, het is ook emotie, mode zo u wilt, het is politiek en regelgeving en natuurlijk is bouwen geld verdienen.

Het niet wetenschappelijk zijn van een menselijke activiteit is overigens niet uniek voor de bouw. Wij doen immers dingen graag op ons gevoel en als iemand anders dan de wetenschap erbij haalt is dat lastig, zo niet irritant. Denkt u maar eens aan zoiets basaals als eten. Er is buitengewoon veel onderzoek gedaan naar de effecten van voedsel en eetgewoonten op onze gezondheid, maar daar willen wij niet aan herinnerd worden. En kijkt u maar eens hoe de Franse, de Italiaanse en de Indonesische keuken verschillen, om er maar een paar te noemen. Heerlijk trouwens, al die verschillen. Dat maakt de bouw ook zo boeiend. Maar er zou wel meer dan een snuffje wetenschap aan toegevoegd mogen worden.

Aan de hand van een aantal voorbeelden zal ik bespreken hoe de bouw beïnvloed wordt door traditie, emotie, politiek en geld en hoe de wetenschap zou kunnen bijdragen aan verbetering. Maar eerst zal ik uitleggen wat ik in dat verband bedoel met ‘wetenschap’.

Toegepaste wetenschap

Wat wij bij bouwkunde doen aan onderzoek is geen fundamentele wetenschap, ook niet als het bouwfysica, mechanica of materiaalkunde betreft, hoewel er op die vakgebieden stevige banden zijn met natuurkunde en scheikunde. Waar wij ons mee bezighouden is toegepaste wetenschap. In de bouw zal het steeds gaan om een vertaling van die wetenschap naar de praktijk.

De laatste tijd staat de wetenschap weer eens aardig ter discussie, ondanks het feit dat in de afgelopen eeuw wetenschappers allerlei ziekten hebben uitgebannen en hebben bijgedragen aan een enorme technologische vooruitgang. Doorbraken in de natuurkunde, biochemie en biologie lijken ervoor gezorgd te hebben dat de wetenschap in staat is alle aspecten van de werkelijkheid te verklaren op basis van een handvol natuurwetten. In het kader van het Einstein-jaar is een enquête gehouden onder wetenschapsjournalisten en 250 wetenschappers, onder wie elf Nobelprijswinnaars. Overwegend hebben zij de overtuiging dat de wetenschap ons unieke kennis verschaft over de werkelijkheid, veel beter dan bijvoorbeeld het gezond verstand of de religie. [1] Zelf ben ik van mening dat in de bouw gezond verstand, ik heb het dan graag over boerenverstand, zeer belangrijk is.

De discussie over wetenschap spitst zich toe op de vraag of er 'iets' (iets hogers) is of helemaal 'niets'. Niet-wetenschappers vinden de antwoorden van de wetenschap vaak onvoldoende, zo niet afstotelijk. Dat ligt volgens de fundamentele wetenschappers niet aan hen maar aan de diepgewortelde domheid van de massa, die koppig blijft geloven in een 'iets', terwijl de wetenschap heeft aangetoond dat dat 'iets' niet bestaat. Dat is echter nog maar de vraag. Diezelfde fundamentele wetenschap heeft immers nog nooit aangetoond dat God niet bestaat, zij heeft ongeveer een eeuw geleden eenvoudig voor dat standpunt gekozen. Begrijpt u mij goed, ik ga mij hier in deze discussie niet mengen. Het interessante is echter dat de controverse die er bestaat tussen de toegepaste wetenschap van bouwkunde en de bouw zelf, veel overeenkomsten vertoont met de discussie tussen wetenschappers

en niet-wetenschappers op een hoog abstractieniveau. Dit zou de 'bouwwetenschap' zich moeten aantrekken. Uiteindelijk staat of valt die wetenschap met het praktische gebruik ervan in de bouw. De wetenschapsbeoefenaren bij bouwkunde dienen te beseffen dat wetenschap iets heel anders is dan een optelsom van publicaties. Wetenschap bij bouwkunde mag geen doel op zichzelf zijn, het is een hulpmiddel, waarvan de toetsing plaatsvindt in de harde werkelijkheid van de bouw.

Wetenschappelijke onderzoeksmethode

Bij de eerdergenoemde enquête is door veel deelnemers de *wetenschappelijke methode* naar voren gebracht als het belangrijkste dat de wetenschap ons kan leren. Een lastig aspect hierbij is dat 'de' wetenschappelijke methode niet bestaat. Elke wetenschap heeft hiervoor zijn eigen raamwerken en regels. In de toegepaste wetenschap die wij beoefenen is dat niet anders. Zelf ben ik een groot voorstander van een aanpak die gebaseerd is op de klassieke trits: probleemstelling, hypothese, validatie, aanpassing hypothese, validatie, etc., totdat een bruikbaar resultaat is bereikt.

In de praktijk van ons onderzoek wordt dit vertaald naar:

- probleemanalyse;
- (ontwerp van) kansrijke alternatieven (hypothese);
- modelleren, rekenen;
- prototype en testopstelling bouwen;
- beproeven (experimentele validatie);
- aanpassen model;
- enz.

Het spreekt vanzelf dat hierop nog allerlei variaties mogelijk zijn.

Met deze aanpak hebben wij bij FAGO interessante resultaten geboekt, vaak in samenwerking met andere capaciteitsgroepen, faculteiten en zelfs universiteiten. Bovendien lopen er nog verschillende onderzoeken, zoals ook gepresenteerd tijdens het minisymposium van deze middag.

Gelukkig lukt het heel vaak ook instanties of bedrijven in de bouw voor onze onderzoeken te interesseren en die erbij te betrekken. Waar het nu om gaat is de resultaten werkelijk in de bouwpraktijk te implementeren. Bij de behandeling van de voorbeelden kom ik daar op terug.



Bouwen is traditie

Als voorbeeld van de grote invloed van traditie op de bouw heb ik gekozen voor de gemetselde spouwmuur, een geveltype dat in Nederland nog steeds veel wordt toegepast, evenals in delen van Duitsland, België en Engeland. Afbeelding 1 toont de verspreiding van de spouwmuur in Noordwest-Europa. Als je de kaart bekijkt dringt zich direct de vraag op: waarom juist daar? Waarom wordt die constructie vrijwel nergens ter wereld verder nog aangetroffen? Ik kom daar zo op terug.

figuur 1

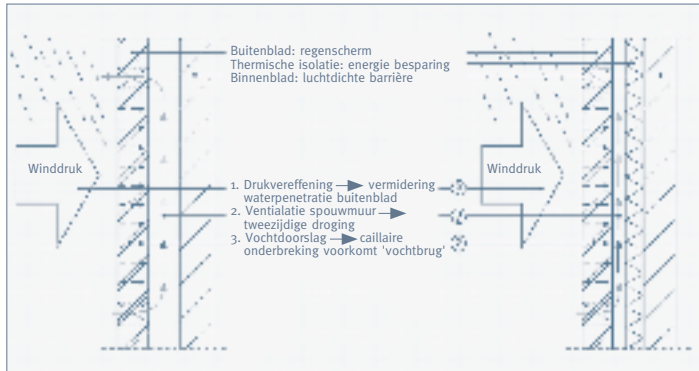
Verspreiding van de
stenen spouwmuur in
NW-Europa



Het principe van de originele ongeïsoleerde spouwmuur, zoals die in het begin van de twintigste eeuw ontstond, is weergegeven in afbeelding 2. Het is een klassiek voorbeeld van een tweevoudige dichting, dat wil zeggen het buitenblad fungeert als waterkering en het binnenblad als winddichting. Door middel van open stootvoegen aan onder- en bovenzijde van de spouw ontstaat drukvereffening, waardoor een belangrijke oorzaak voor het binnendringen van regen wordt weggenomen. [2, 3]



De traditionele
(ongeïsoleerde)
spouwmuur en de
huidige geïsoleerde
spouwmuur



figuur 2

Hoewel het principe van drukvereffening al heel lang bekend is ontstaat pas de laatste tijd, onder andere door lopend onderzoek bij FAGO, meer inzicht. Het ziet er naar uit dat we binnen afzienbare tijd het effect van drukvereffening beter kunnen voorspellen. Op zichzelf is het wel merkwaardig dat we er nu pas aan toe zijn deze bouwwijze wetenschappelijk te onderbouwen. Bij die oorspronkelijke spouwmuur heeft de spouw nog een belangrijke tweede functie. De lucht die via de onderste stootvoegen binnenkomt wordt (onder winterse omstandigheden) opgewarmd door het relatief warme binnenblad en stijgt daardoor op. Dit noemt men ook wel het schoorsteeneffect. Bovendien kan die opgewarmde lucht veel vocht opnemen van het buitenblad. Via de bovenste stootvoegen wordt dit vocht dan met de spouwlucht afgevoerd. Het buitenblad kan dus na een regenbui *aan twee zijden* drogen. Dit is de belangrijkste verklaring voor het succes van de beluchte spouwmuur in Noordwest-Europa. Het is goed hier even bij stil te staan. Men kan zich namelijk afvragen: waarom is het eigenlijk nodig dat het gemetselde buitenblad ook aan de *binnenzijde* droogt? Bij een dichte steen en dichte mortel dringt het regenwater toch nauwelijks het buitenblad in? Juist. Maar een dichte, dus weinig poreuze steen en een goed verdichte mortel zijn aanzienlijk duurder dan de bekende rode baksteen en gangbare mortel. De belangrijkste reden voor het grote succes van deze constructie was dan ook dat hij veel *goedkoper* was en toch goed functioneerde. Dat moet je Nederlanders nageven, in goedkoop bouwen waren en zijn we nog steeds heel goed.

Dus was er weinig mis met die ongeïsoleerde spouwmuur: een goedkope, goed functionerende vochtwering. De belangrijkste bouwtechnische en bouwfysische voorwaarden waren: boven en onder ongeveer twee open stootvoegen per strekkende meter, een (vrijwel) luchtdicht binnenblad en een afsluiting met bladlood aan de onderzijde om zakwater naar buiten af te voeren.

Maar toen kwam in 1973 de energiecrisis en moesten gevels en daken thermisch geïsoleerd worden. Hoe doe je dat bij een spouwmuur? Heel eenvoudig, door isolatie in de spouw te plaatsen. In zijn intreedere van vorig jaar [4] noemt prof. Jos Lichtenberg dit ‘innovation by addition’ want de nieuwe eis, namelijk isoleren, werd toegevoegd aan de bestaande bouwtraditie. In een groot deel van Duitsland en in Frankrijk kent men de spouwconstructie niet en werd de isolatie respectievelijk aan de buiten- en de binnenzijde toegevoegd. Een feit blijft dat het plaatsen van de isolatie *in* de spouw verreweg de *goedkoopste* oplossing is. Die Nederlanders toch.

Vanuit wetenschappelijk oogpunt deed zich een eigenaardig verschijnsel voor. De bestaande spouwmuren werden in de jaren zeventig op grote schaal *volledig* gevuld met isolatiemateriaal. Onderzoek van Tammes en Vos [5] had laten zien dat dit bouwfysisch verantwoord was en in de praktijk deden zich dan ook maar weinig problemen voor, behalve dan door inferieure spouwisolatie zoals ureumformaldehydeschuim. In de nieuwbouw echter werd het isolatiemateriaal eveneens in de spouw geplaatst, maar werd ook een luchtspouw aangehouden van tenminste 40 mm tussen isolatiemateriaal en buitenblad. Een advies dat tot op de dag van vandaag nog door het Koninklijk Nederlands Verbond van Baksteenfabrikanten (KNB) wordt aangehouden. Dus kan men zich afvragen, is die luchtspouw nu zinvol of niet?

Het buitenblad is in feite nog helemaal hetzelfde als bij de oorspronkelijk ongeïsoleerde spouwmuur, dus met open stootvoegen boven en onder en in het algemeen de (goedkope) poreuze baksteen. Maar wat is nu het verschil? De drukvereffening is nog hetzelfde, zelfs iets beter, want hoe smaller de luchtspouw, hoe beter de drukvereffening. Echter, lucht die via de onderste stootvoegen binnenkomt wordt (onder winterse omstandigheden) *niet* opgewarmd, want het warme binnenblad is nu geïsoleerd. Dus ontstaat er geen schoorsteeneffect en wordt ook de

vochtopennamecapaciteit van de lucht niet groter. De lucht komt vrijwel niet in beweging en zal dan ook het buitenblad *niet* drogen. De door het KNB krampachtig vastgehouden luchtspouw van 40 mm is dus niet zinvol, behalve dan voor drukvereffening, maar daar is 1 à 2 cm meer dan genoeg voor. Het betekent dat in dezelfde totale dikte van de gevel meer isolatie toegepast kan worden. Het betekent echter ook dat zolang wij de goedkope, dat wil zeggen poreuze baksteen blijven gebruiken, het buitenblad veel langer nat blijft waardoor ook veel eerder en aanzienlijker zoutuitbloei zal optreden.

In het kader van lopend promotieonderzoek zijn in de testgevel op de tweede verdieping van het Bouwkundegebouw metingen verricht aan een geïsoleerde tweeschalige constructie met luchtspouw. Het blijkt dat zelfs bij het 'klassieke' aantal open stootvoegen van twee stuks per strekkende meter er een zeer goede drukvereffening plaatsvindt. Hierdoor bereikte het vochtfront in de betreffende meetperiode maar één keer de binnenzijde van het buitenblad, ondanks de poreuze steen. Er is echter ook vastgesteld dat de relatieve vochtigheden in de luchtspouw zeer hoog oplopen. Van droging is geen sprake.

In het noordwesten van Duitsland, ongeveer boven de lijn Duisburg – Berlijn, wordt de spouwmuur veelvuldig toegepast. Onder anderen door Künzel [6] van het Fraunhofer Instituut zijn uitgebreide onderzoeken verricht aan wat men daar noemt *zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung*, dus geïsoleerde spouwconstructies *zonder* luchtspouw. Deze constructies blijken bouwfysisch uitstekend te functioneren. [7] Er worden wel stringente eisen gesteld aan de kwaliteit van de stenen en de mortel van het buitenblad. De porositeit van de stenen moet laag zijn en de mortel moet een hoge voeghardheid bezitten. Nog niet zo lang geleden bezocht ik vlak over de grens in Duitsland een project in uitvoering en heb ik mij laten voorlichten door een medewerker van het Ziegelverband, zeg maar het Duitse zusje van het KNB. Het blijkt dat inmiddels 90% van de spouwconstructies in Duitsland wordt uitgevoerd zonder luchtspouw, althans hoogstens met een *Fingerspalz* van 10 à 20 mm, zodat de metselaar nog een beetje makkelijk kan metselen.

Voor het buitenblad wordt vrijwel uitsluitend heel dichte verblendsteen toegepast. Zoutuitbloei komt nauwelijks voor.

Bouwen is emotie

Het aspect emotie betreft vooral de architect. Want een gebouw moet mooi zijn en mooi is een emotioneel begrip. Daarom kun je bij architectuur ook van mode spreken. Toonaangevende architecten kunnen een trend zetten en worden gevolgd door vakgenoten. Vaak worden die trends ingegeven door technische innovaties, dus daarbij zou je nog wel kunnen spreken van een wetenschappelijke invloed. Vroeger sprak men ook wel van een stijl of stroming, maar die begrippen spelen nu voornamelijk nog een rol in de architectuurgeschiedenis. Tegenwoordig is bijna alles mogelijk. Het functionalisme kan nog steeds, maar ook hightech architectuur: hoe gespierder hoe beter, en antroposofische architectuur in aardse materialen. Populair is ook de transparante architectuur, waarbij alles in het gebouw zichtbaar moet zijn en natuurlijk de blob-architectuur, want met de computer kan alles.

Als voorbeeld van het aspect emotie en mode heb ik gekozen voor constructief verkitte beglazing.

Van constructieve verlijming naar verborgen bevestiging

Nog steeds erg populair onder architecten zijn totaal gladde glasgevels zonder enig uitsteeksel. Tussen de glasplaten bevinden zich hoogwaardige kitvoegen in hetzelfde vlak. Dit uiterlijk wordt tot stand gebracht door gebruik te maken van constructief verkitte beglazing, ook wel bekend als Structural Sealant Glazing. Het principe van deze bevestigingsmethode wordt weergegeven in afbeelding 3.

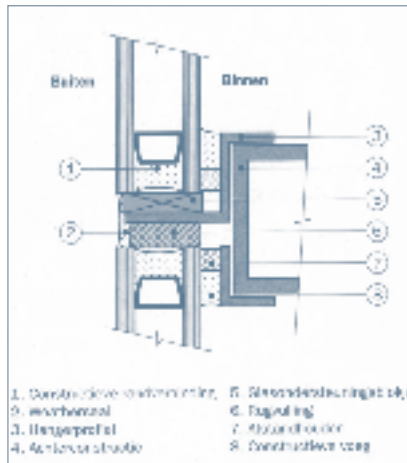
Profiel a, waarmee de glasgevel aan de achterconstructie wordt bevestigd, is met de dubbele beglazing verbonden door middel van speciale siliconenkit.

Dit gevelprincipe is meer dan 30 jaar geleden in Amerika geïntroduceerd en in Nederland is er al ruim 20 jaar ervaring mee opgedaan. Schades, veroorzaakt door het bezwijken van de lijmverbinding, zijn niet bekend. Toch besloten Bouw- en Woningtoezichtinstanties van een aantal grote steden deze constructie niet meer te accepteren. Zij baseerden zich

daarbij op de nieuwe regelgeving, die voortkwam uit het Bouwbesluit. Op grond daarvan moet aangetoond worden dat de constructieve veiligheid van een gevel ten minste 50 jaar gewaarborgd is. Op basis van 'slechts' 30 jaar ervaring is dat niet mogelijk. Nu kent de betreffende norm NEN 6702 ook de mogelijkheid van regelmatige inspecties, zij het onder stringente voorwaarden. Ook dat biedt echter geen soelaas want er zijn geen gegevens over mogelijk bezwijkgedrag van de lijmverbinding door veroudering en/of vermoeiing. Het is dus niet bekend of de bevestiging misschien 'waarschuwt' dat een glasplaat er ineens uit kan vallen. Dus schrijven Bouw- en Woningtoezicht van onder meer Rotterdam, Utrecht en Almere voor dat, behalve de al langer vereiste (onzichtbare) steuntjes in de horizontale kitvoegen, de glasplaten met (zichtbare) mechanische klemverbindingen geborgd worden tegen uitvallen door windzuiging. Dat vinden architecten niet mooi. Niet alleen omdat de gewenste gladde gevel niet meer mogelijk is, maar ook omdat de uitsteeksels al na vrij korte tijd leiden tot vuilstrepen.

figuur 3

Constructief verkitte
beglazing



In zekere zin hebben we hier dus ook te maken met 'bouwen is politiek en regelgeving', waarop ik nog terugkom. Het moet gezegd, de bezwaren van de betreffende ambtenaren zijn terecht. De constructieve veiligheid is niet voor 50 jaar te waarborgen, hoezeer we ons hoofd daarover ook gebroken hebben.

Toen ik met dit onderwerp bezig was, meldde een student van bouwtechniek zich bij mij met de vraag of ik geen ‘leuk gevelonderwerp’ had. Het leek me een interessante uitdaging. Jos Lichtenberg en ik formuleerden als opdracht: onderzoek de mogelijkheden van een onzichtbare borging van constructief verkitte beglazing, waarmee de constructieve veiligheid voor tenminste 50 jaar zeker wordt gesteld. U begrijpt dat wij ook hierbij strikt de wetenschappelijke aanpak hebben gehanteerd: analyse, alternatieven, vooronderzoeken, berekeningen en experimentele validatie. [8, 9] Wij konden hierbij samenwerken met gevelbouwer Oskomera en dr. Just Renckens, collega geveladviseur en universitair docent aan de TU Delft. Het resultaat kan ik helaas niet in detail laten zien, want op de oplossing is octrooi gevraagd en de procedure loopt nog. Het komt erop neer dat uiterlijk hetzelfde gevelaanzicht wordt verkregen met een verborgen bevestiging, die zo goed is dat de constructieve verlijming achterwege kan blijven. Op grond van de beproevingsresultaten wordt de bevestiging geaccepteerd door de Bouw- en Woningtoezichtinstanties. De beproevingen hebben overigens plaatsgevonden in het laboratorium van BDA Keuringsinstituut, waar wij de beschikking hebben over een dynamische windtester. Waar mode niet allemaal goed voor is.

Bouwen is politiek en regelgeving

Zoals we hiervoor ook hebben gezien moet bouwen gebeuren volgens bepaalde regels en die worden bepaald door de politiek. Dit betreft niet alleen overheidspolitiek maar ook bedrijfspolitiek, al was het maar door het beleid van ‘marktwerking’. Die regels kunnen per land aanzienlijk verschillen, op zichzelf al een bewijs dat het met wetenschap weinig heeft te maken. Dat komt onder meer doordat de politiek, wanneer afgesproken ‘beleid’ uitgevoerd moet worden, per se wil komen tot prestatie-eisen. Dit terwijl de wetenschap nog niet klaar is met haar onderzoek. Fraaie voorbeelden zijn de energieprestatiecoëfficiënt (EPC), gevolgd door de compleet geflopte milieurelevante productinformatie (MRPI) en materiaalgebonden milieu-informatie van gebouwen (MMG) en daarna ook nog de onzinnige stralingsprestatiecoëfficiënt (SPC).

De vliegvlurproef

De genoemde voorbeelden zijn typisch Nederlandse uitglidders geweest maar, dames en heren, Europees is het echt niet beter. En dan te bedenken dat tenminste 70% van alle regelgeving inmiddels Europese regelgeving is.

Als voorbeeld geef ik u de vliegvlurproef. In vrijwel alle Europese landen moeten dakbedekkingssystemen voldoen aan een vliegvlurproef. De globale gedachte daarachter is dat wanneer een pand in brand raakt, er brandende delen terecht kunnen komen op het dak van hetzelfde pand of dat van een naastgelegen gebouw. Het vallen van brandende delen van een hoger gelegen gebouwdeel op een lager dak van hetzelfde gebouw laten we even buiten beschouwing. Het is duidelijk dat het in de andere gevallen moet gaan om relatief lichte delen die *door de wind* op het hoger gelegen dak van hetzelfde gebouw of het dak van een naastliggend pand terechtkomen. Er moet dus sprake zijn van een brandend deel en van *wind*.

Beschouwen we nu het geval dat een brandend deel van een hoger gelegen gebouwdeel valt op een lager dak, dan kan wind van invloed zijn maar het hoeft niet. Het is echter wel duidelijk dat in zo'n situatie

straling een rol speelt, namelijk van het brandende hogere gebouwdeel. Onder bepaalde omstandigheden *kan* er dus sprake zijn van straling. Zou je met een proef de weerstand van een dakbedekkingsconstructie tegen vlieg vuur willen classificeren, dan dienen twee situaties onderzocht te worden:

- vlieg vuur + wind;
- vlieg vuur + wind + straling.

Verder kan men zich afvragen: hoe vaak ontstaan er branden door vlieg vuur? Dat hebben wij bij BDA in 2001 onderzocht in opdracht van Venedak, de Vereniging van Nederlandse Dakroloffabrikanten. Alle bekende grote branden over een periode van vijf jaar - dat waren er ongeveer honderd - zijn onder de loep genomen voor wat betreft de oorzaak van de brand. Van die branden bleken er maar twee enigszins gerelateerd te kunnen worden aan 'vlieg vuur'. Eén geval deed zich voor bij een dakbrand in de millenniumnacht van 1999 op 2000. Een vuurpijl die op een dak terecht kwam zette de inderdaad zeer brandbare dakbedekking in vlam. Een tweede geval betrof een niet al te grote brand op het dak van een ziekenhuis in Apeldoorn. Deze ontstond door een brandend verdroogd vogelnest uit de uitlaat van een noodaggregaat dat volgens de veiligheidsprocedures eens per jaar gestart moet worden.

Het is natuurlijk mogelijk dat het in de andere Europese landen heel anders ligt, maar dit is niet erg waarschijnlijk. Kortom, het eisen van een weerstand van een dakbedekkingssysteem tegen vlieg vuur is nauwelijks relevant. Toch, dames en heren, is dit één van de slechts twee essentiële eisen die de Richtlijn Bouwproducten van de Europese Unie stelt aan dakbedekkingssystemen. De andere betreft de waterdichtheid. Dat ligt iets meer voor de hand.

Enfin, het zij zo. De Europese Unie wil een vlieg vuurproef en wij technici hebben het maar op te lossen. De EU kijkt ook niet naar logische, technische argumenten zoals door mij geschetst. Zij is uitsluitend geïnteresseerd in het wegnemen van *handelsbelemmeringen*. En de vlieg vuurproef is een fantastische *trade barrier*. Want juist de verschillende grote landen hebben zeer verschillende vlieg vuurproeven. De Nederlandse proef is afgeleid van die uit Duitsland en kent alleen maar een 'brandend deel' in de vorm van 600 gram houtwol en verder

wind noch straling. De Franse proef is verreweg de zwaarste en gaat uit van vlieg vuur, wind en straling. Dan is er ook nog de Nordtest die de Scandinavische landen hanteren, met vlieg vuur, al dan niet in combinatie met wind. Het spreekt vanzelf dat de Engelsen hun eigen testmethode hebben op basis van vlieg vuur en wind. 'Vlieg vuur' en 'wind' zijn bij de vier proeven ook nog eens totaal verschillend.

In opdracht van de Internationale Waterproofing Association zijn door BDA Keuringsinstituut de verschillende proefmethoden onderling vergeleken. Vastgesteld is dat de proefbeschrijvingen voor diverse interpretaties vatbaar waren. Ook is vastgesteld dat er geen enkele informatie beschikbaar was over de herhaalbaarheid, laat staan de reproduceerbaarheid van deze proefmethoden, een essentiële wetenschappelijke voorwaarde voor de hanteerbaarheid daarvan. In het kader van diezelfde opdracht hebben wij toen in samenwerking met een groot aantal Europese fabrikanten een nieuwe proefmethode ontwikkeld, zoals weergegeven in afbeelding 4.

figuur 4

De IWA Fire Tester



Hierin zijn de elementen vlieg vuur, wind en straling opgenomen, zoals voorgeschreven in de Richtlijn Bouwproducten. Aangetoond is dat de methode een goede reproduceerbaarheid bezit. Dit voorstel had

echter geen schijn van kans, de nationale belangen waren veel te groot.

Na meer dan 15 jaar vergaderen is men dan nu zover dat er in CEN TC 127 'Resistance to fire' een werkgroep is ingesteld die binnen maximaal vier jaar tot een geharmoniseerde proef moet komen. Eindelijk heeft men besloten eerst eens te formuleren van welk *brandsценario* we nu uit zouden moeten gaan. Hoewel ik me vast had voorgenomen nooit meer mee te werken aan Europees normalisatiewerk heb ik me laten verleiden namens Nederland deel te nemen aan de Task Group die zich daarmee bezighoudt. Misschien dat het me lukt de commissieleden te overtuigen dat het niet gaat om vliegvuur, want dat is wetenschappelijk niet van belang. Het gaat veel meer om brandvoortplanting volgens een bepaald brandsценario. De wetenschappelijke vraag is: hoe kan dakbedekking in brand raken en hoe en waardoor plant die brand zich voort? Hierop moet de testmethode gebaseerd zijn. Ondertussen moeten wij voorlopig verder met vier verschillende armzalige proefmethoden. Het is nog maar zeer de vraag of we in vier jaar tot een geharmoniseerde methode komen. Eén ding is zeker: het wordt vast niet één van de vier bestaande methoden. Dat is politiek ondenkbaar.

Bouwen is geld verdienen

Tja, dames en heren, daar kunnen wij geen van allen omheen. Natuurlijk is bouwen geld verdienen, want bouwen is ondernemen. Maar wie moet nu eigenlijk geld verdienen en wie betaalt dat? Volgens allerlei publicaties zouden de rendementen in de bouw geschat moeten worden op slechts 1 à 2%. De aannemer is dus een beetje zielig. Ik waag dat echter te betwijfelen. De grote aannemers zoals BAM en Ballast Nedam doen het de laatste jaren erg goed en behoren op de beurs tot de best presterende ondernemingen. Waar zit hem dat in? Al geruime tijd worden de faalkosten in de bouw geschat op 5 tot 12%. Waarom is dat niet nauwkeuriger bekend? Diezelfde faalkosten zitten verstopt in de normprijzen die de basis vormen voor de elementenbegroting van de aannemer. Ik denk dat juist die grote aannemers heel goed door hebben dat daar de winst te behalen valt. Zij doen steeds meer aan risico-analyse en weten heel goed hoe risico's neergelegd moeten worden bij onderaannemers. Je kunt dat de aannemer noch de onderaannemer kwalijk nemen. Zijn winst zit niet in die elementenbegroting, maar in het analyseren van het bestek en – na het binnenhalen van de opdracht – in het realiseren van alternatieven met behulp van de onderaannemers. Dit is de vrucht van de nog steeds meest gebruikelijke contractvorm, namelijk de aanbesteding, onderhands, of nog erger: openbaar. Deze contractvormen zijn de doodsteek voor kwaliteit en innovatie. Tegelijkertijd geldt dat ook vele professionele opdrachtgevers nauwelijks belangstelling hebben voor andere contractvormen. Projectontwikkelaars bijvoorbeeld, zijn niet geïnteresseerd in life cycle costing. Zij willen immers een project zo snel mogelijk met winst van de hand doen. Zelfs bij grote vastgoedbeheerders komt het voor dat de afdeling Nieuwbouw niet wil horen van wensen van de afdeling Beheer om de onderhoudskosten zo laag mogelijk te houden. De afdeling Nieuwbouw heeft nu eenmaal de door haar zelf ten doel gestelde stichtingskosten in de gaten te houden.

Industrieel flexibel en demontabel bouwen

Al sinds begin jaren zeventig houd ik mij bezig met wat tegenwoordig

heet IFD: Industrieel Flexibel en Demontabel bouwen. Ik deed dat in mijn functie als hoofd Research en Development bij de Koninklijke Nederhorst Bouw, later overgenomen door de HBG, die op haar beurt is opgegaan in de BAM. Het bouwwereldje is maar klein. Van IFD had toen nog niemand gehoord en de doelstelling was dan ook niet zoals tegenwoordig: duurzaam bouwen. Nee, de doelstelling was heel eenvoudig: geld verdienen. Wij waren op zoek naar tijdbesparende bouwmethoden, minder bouwplaatskosten, eenvoudige aanpassingsmogelijkheden tijdens de bouw, dat soort dingen. Door mijn speurwerk kwam ik in contact met Paul Depondt, een Franse architect die een groot deel van zijn tijd in Chicago doorbracht als decaan van de School of Architecture. Ik beschouw hem nog steeds als de grote pionier op het gebied van IFD, hoewel ook hij die uitdrukking niet kende. Hij heeft vele gebouwen volgens het principe van droog bouwen in industrieel vervaardigde lichte stalen elementen op zijn naam staan. Samen hebben we voor KNB het Themaconcept ontwikkeld voor de bouw van middelgrote kantoren. Ik had de grootste moeite mijn directie ervan te overtuigen dat je met die bouwwijze van Paul Depondt geld kon verdienen. De calculatiemethoden waren er totaal niet op ingesteld want Nederhorst was een typische betonbouwer. Dus werd bij de kostprijsberekening veiligheid op veiligheid gestapeld. Ondanks de hoge prijzen lukte het toch een eerste project in opdracht te krijgen door de gegarandeerde korte bouwtijd, namelijk drie maanden. Het ging om een kantoor van 3000 m², eigenlijk zelfs een nooddkantoor, voor de Goudse Verzekeringen in Gouda. Het werd aangenomen voor de toen aanzienlijke prijs van 3 miljoen gulden. We bouwden het in minder dan drie maanden, inclusief de gestorte betonnen fundering en de winst bedroeg 1 miljoen gulden. In mijn jeugdige overmoed was ik ervan overtuigd nu de middelen te krijgen om het concept verder te ontwikkelen tot een algemeen systeem waarmee je allerlei gebouwen kon realiseren. Welnee, zei de directie, dat gaat toch goed zo? Dit kantoorconcept kunnen we nog wel een aantal keren verkopen. Dat is pas geld verdienen! Dat lukte inderdaad nog vijf keer en die gebouwen staan er nog allemaal en functioneren prima. Aan het succes kwam een eind toen men probeerde het in prefab beton te doen waardoor bijvoorbeeld de mogelijkheid om installaties te integreren en de aanpasbaarheid veel minder werden. Ik was toen al enige tijd weg en inmiddels voor mezelf begonnen.

IFD bouwen lijkt nog steeds niet echt goed van de grond te komen. Ook het omvangrijke en ambitieuze subsidieproject van de SEV heeft geen IFD-revolutie teweeggebracht. De meeste beloofde initiatieven en innovaties komen uit de koker van toeleveranciers.

Hoe komt dat? Ik denk dat ook hier de contractvormen van cruciaal belang zijn, maar ook de calculatiemethoden. Integraal IFD bouwen is niet mogelijk in de klassieke aanbestedingsvorm. Het is namelijk essentieel dat alle partijen in een vroeg stadium worden betrokken bij het ontwerpproces. Bovendien is het noodzakelijk dat in de calculatiemethodiek ook de levenscycluskosten worden meegenomen. Pas dan kunnen ontwerpbeslissingen op waarde worden beoordeeld.

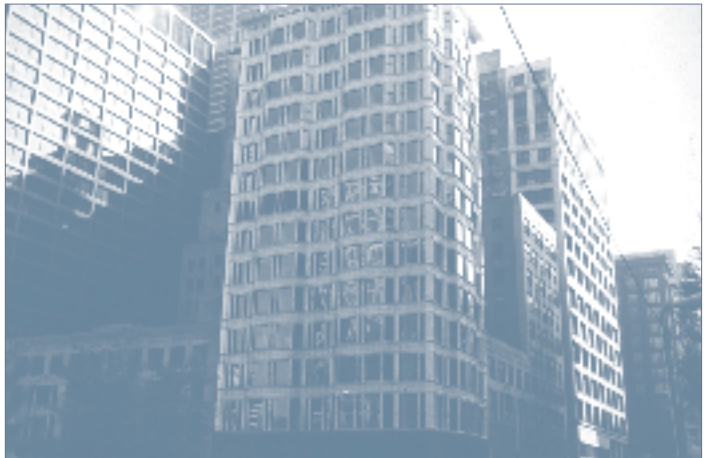
Ondanks de moeizame weg die we zijn gegaan en ondanks de vele tegenwerkende krachten ben ik er nog steeds van overtuigd dat met een goed integraal procesmatig bestuurd IFD-concept alle partijen geld kunnen verdienen en dat tegelijkertijd het milieu de grootste winst boekt.

Bouwen en wetenschap

Dames en heren. Ik wil mijn betoog graag afsluiten met een beschouwing van een gebouw dat mij lief is. Het is een wolkenkrabber in Chicago. U ziet hem hier (afbeelding 5) staan tussen een aantal andere wolkenkrabbers. Dus eigenlijk niet veel bijzonders, zo op het eerste gezicht.

figuur 5

Reliance Building in
Chicago



De gebouwen op deze foto dateren allemaal uit de jaren tachtig en negentig, ook niet erg opzienbarend. Maar er is een verschil: de gebouwen rondom het gebouw waar ik het over wil hebben zijn allemaal gebouwd in de twintigste eeuw, terwijl de wolkenkrabber op de voorgrond dateert uit 1893, dus uit de negentiende eeuw. Het is Reliance Building gelegen aan State Street, “that great street” zoals Frank Sinatra zong, het Broadway van Chicago.

Reliance Building, ontworpen door Charles Atwood van het architectenbureau D.H. Burnham, vormt één van de hoogtepunten van

de stormachtige wederopbouw van Chicago na de Great Fire in 1871. Door die brand, ontstaan in een houten schuur en aangewakkerd door een harde wind, werd niet minder dan zeven vierkante kilometer van de stad in de as gelegd. Het betrof voornamelijk houten gebouwen. Het was een absolute ramp voor Chicago, dat juist een geweldige bloei doormaakte. Met ongekende energie vocht de stad terug. Het spreekt vanzelf dat hout als bouw materiaal totaal verboden werd. Bouwen is geen wetenschap, bouwen is emotie, weet u wel. Binnen de stadsgrenzen mocht alleen nog maar in steen gebouwd worden. De architecten van de Chicago School gebruikten een nieuw type constructie: het ijzeren skelet. Daar waren al vele successen mee geboekt in de bruggenbouw. De eerste staalconstructies voor gebouwen leken dan ook verdacht veel op rechtovereind gezette vakwerkbruggen. Zoals vaak in moeilijke tijden, zoals oorlogen en rampen, deed de wetenschap de ene na de andere ontdekking. Wolkenkrabbers waren niet alleen mogelijk door de zich snel ontwikkelende staalbouw. Minstens even belangrijk waren de uitvindingen van de liften, de telefonie en nieuwe procédés om grote glasplaten te maken. Zo kon Reliance Building gemaakt worden: met ranke tweeverdiepingshoge vakwerk kolommen en stalen lateien waardoor grote ramen mogelijk waren: de Chicago window. Tijdens de realisatie van de onderbouw in 1891 waren er nog wat problemen maar de bovenste tien verdiepingen werden in twee weken gemonteerd! [10] Dat vinden wij nu nog steeds heel knap. En kijkt u eens goed naar de gevelbekleding. Die bestaat uit geprefabriceerde, geglazuurde terracotta elementen. In die tijd kende Amerika al meer dan 80 fabrieken waar dergelijke gevelelementen werden vervaardigd. Over IFD gesproken!

Het gebouw is een keer gerenoveerd, akkoord. Maar het staat er nog steeds in volle glorie en het kan zich meten met zijn burens. Dus kun je je afvragen: wat is er sinds 1894 in de bouw eigenlijk gebeurd? Natuurlijk heel veel. Zeker op het gebied van installatietechniek en gevelechnologie. Maar we doen nog zoveel dingen precies hetzelfde. Met mijn betoog heb ik u, misschien een beetje uit het ongerijmd, laten zien dat de wetenschap nog zoveel meer te bieden heeft voor de bouw.

Bouwen is geen wetenschap, maar wel een uitdaging voor de wetenschap. Dus laten bouw en wetenschap elkaar omarmen. Er kan zoiets moois uit groeien.



Dankwoord

Meneer de Rector Magnificus, Dames en Heren,

Graag bedank ik het College van Bestuur van de Technische Universiteit Eindhoven, het Bestuur van de faculteit Bouwkunde en het Bestuur van de Unit Building Physics and Systems, die voor mij altijd FAGO zal blijven, voor de geweldige tijd die ik hier heb gehad. Ik heb met groot genoegen diverse onderzoeken begeleid en onderwijs gegeven. Ik zal niet onder stoelen of banken steken dat ik het contact met studenten nog het leukste heb gevonden en trouwens nog steeds vind, want ze zijn nog niet helemaal van me af. Het is geweldig om te werken met jonge mensen die open staan voor wetenschap in de bouw en met verbazing kennis nemen van wat de bouw allemaal vermag

Hooggeleerde Westra, beste Jan,

Wij kennen elkaar nog uit die goede ouwe tijd, eind jaren zestig, toen we hier allebei wetenschappelijk medewerker waren. Nou ja, goede tijd, laat ik zeggen, er gebeurde veel en we waren daar in het paviljoen wel een team. Ik heb je altijd gerespecteerd om je grote kennis van de architectuur, je geestige woordspelingen en je vermogen de zaken van een onverwachte kant te bekijken. Sinds je decaan bent hebben we niet zo heel veel contact meer en dat is jammer. In ieder geval wil ik de aanwezigen jouw commentaar niet onthouden op mijn stelling, vandaag ook naar voren gebracht, dat we in de bouw veel te weinig aan prototypeonderzoek doen. Jouw antwoord daarop was: “Nee, Nico, dat zie je verkeerd, wij doen *voortdurend prototypeonderzoek*, want elk nieuw gebouw is een prototype.”

We houden contact Jan, al was het maar omdat we nog een gezamenlijke promovendus hebben. Ik wens je voor de komende jaren nog veel wijsheid en werkplezier toe.

Hooggeleerde Wisse, beste Jacob,

Uiteindelijk heb ik het aan jou te danken en natuurlijk ook aan Kees van der Linden, dat ik hier als hoogleraar terecht ben gekomen. Want jullie kwamen op het idee mij te polsen of ik misschien belangstelling had om

te reflecteren op de vacature voor een hoogleraar Bouwmateriaalkunde. De procedure heeft nog de nodige voeten in de aarde gehad, want halverwege kwam het Bestuur van Bouwkunde op de gedachte het profiel te wijzigen, dus moest alles weer opnieuw. En zo heeft het bijna twee jaar geduurd voor ik benoemd ben. Maar och, dat komt tegenwoordig wel meer voor.

Ik ben je er nog steeds dankbaar voor, juist ook doordat ik je hier nog beter heb leren kennen en we konden vaststellen dat onze opvattingen inzake onderzoek en onderwijs binnen FAGO goed aansloten. Met grote bewondering heb ik je gevolgd toen je, ondanks je soms wankele gezondheid, het toch voor elkaar wist te krijgen het eerste Building Physics Congres en daarna het Wind Engineering Congres in Eindhoven te doen plaatsvinden. Het fenomeen bestaat helaas niet, maar wat mij betreft verdien je het FAGO ere-hoogleraarschap.

Hooggeleerde Rutten, beste Paul, en zeergeleerde Bakker, beste Ferry, Zonder één van de andere medewerkers van FAGO tekort te willen doen zie ik in jullie toch de hoekstenen van de vakgroep, de capaciteitsgroep en nu dan de Unit. Ferry heeft al afscheid genomen, dus die maakt de volgende naam niet meer mee. Maar ik schat dat Paul nog zeker twee nieuwe aanduidingen zal moeten ondergaan. Wat dacht je bijvoorbeeld van Knowledge Team of anders Master Group, want het Engels zal voorlopig wel in de mode blijven. Trouwens, over wetenschap gesproken

Hoe het ook zij, voor ons blijft het FAGO, Fysische Aspecten van de Gebouwde Omgeving. Daar zijn jullie allebei de exponenten van, ieder op zijn geheel eigen wijze, maar toch met een belangrijke overeenkomst en dat is die van de integratie. Paul vanuit de installatietechniek naar bouwkunde en Ferry vanuit de architectuur naar de bouw fysica. En in beide gevallen ook omgekeerd. Deze visies zijn kenmerkend voor de betekenis van FAGO. Met die gedachte wens ik de Unit Building Physics and Systems en al haar medewerkers veel sterkte en succes toe.

Dames en heren, er zijn meer mensen die ik wil bedanken, maar we kunnen het niet te laat maken. Toch wil ik er heel graag nog een paar noemen. Allereerst mijn BDA-compagnons en vrienden Albert van den Hout en Johan Sanders die mij altijd door dik en dun hebben gesteund. In hen bedank ik eigenlijk alle BDA collega's. Af en toe hadden ze er

knap last van dat er ook zo iets als de universiteit was. Toch was er altijd de optimale medewerking en dat heeft mijn plezier in die dubbele baan er alleen maar groter op gemaakt. Dat plezier heeft vooral gezeten in de unieke wisselwerking tussen wetenschap en bouwpraktijk. Vaak in letterlijke zin, want vele afstudeerders kennen niet alleen het BDA-laboratorium maar vooral de BDA-sfeer.

Dan wil ik ook heel graag mijn dochters Natascha, Valerie en Manon en mijn bijbehorende schoonzoons Jasper, Matthijs en Paul, allemaal mijn lieve kinderen, bedanken. Jullie zouden me wel wat meer hebben willen zien, dat weet ik. En toch klaagden jullie er bijna nooit over. Maar, het kan nog steeds, want ik krijg nu echt een beetje meer tijd voor jullie en de elf kleinkinderen, dat beloof ik.

Na vandaag zal mijn leven veranderen. Voorlopig misschien niet zo heel erg ingrijpend, doch onontkoombaar. Dat wil ik ook zo en daar kijk ik naar uit.

Mijn Sophietje, lieve schat, hoeveel teksten van me heb je niet gelezen en hoeveel verhalen heb je niet moeten aanhoren. En altijd had je zinvol commentaar. Soms zo zinvol dat ik er wel eens moeite mee had, want vervelend genoeg had je meestal gelijk. Wat heb ik toch veel aan je te danken en wat hebben we het geweldig samen. Het lijkt onmogelijk, maar je zal het zien, het wordt nog fijner!

Dames en heren, ik dank u allen zeer voor de grote belangstelling en uw aanwezigheid.

Ik heb gezegd.



Referenties

- 1 Hulspas, M.: 'Bescheidenheid siert de wijzen', de Volkskrant, 23 juli 2005.
- 2 Hendriks, N.A.: 'Gevels en Daken – Deel 1: Gevels', dictaat TU/e, faculteit Bouwkunde, 2005.
- 3 Hendriks, N.A.: 'Het belang van drukvereffening bij dubbelfaçades', Gevelsymposium, TU Delft, 10 mei 2004.
- 4 Lichtenberg, J.J.N.: 'Slimbouwen© - een herbezinning op bouwen, een strategie voor productontwikkeling', Intreerede, 17 mei 2004.
- 5 'Ventilatie van muren en daken', SBR publicatie 11, opgesteld door de Studiecommissie B2 "Warmte- en vchttransport", N. Samson NV, 1968.
- 6 Künzel, H.: 'Zweischaliges Mauerwerk - mit oder ohne Belüftung?', wksb 43.Jahrgang, Heft 42, blz. 9-14, 1998.
- 7 Hendriks, N.A.: 'Heeft de luchtsponw nog zin?', Bouwwereld nr. 8, 22 april 2002.
- 8 Weg, E. van der: 'De Totale Glasfaçade - Van structurele verlijming naar verborgen bevestiging', afstudeerverslag TU/e, faculteit Bouwkunde, mei 2005.
- 9 Renckens, J.L.M., O. Hartstra, G. Topper en L. van Wingerden: 'Gevels en Architectuur: Façades in glas en aluminium', ISBN 90 - 900 - 9266 - 8, 1996.
- 10 Bach, I.J. en S. Wolfson: 'Chicago on foot', door J. Cornelius bewerkte 5e editie, Chicago Review Press, Inc., Chicago, 1994.

Curriculum Vitae

Prof.ir. Nico Hendriks is sinds 1 juni 1993 in deeltijd verbonden aan de Technische Universiteit Eindhoven (TU/e). Per 1 oktober 2005 eindigt zijn dienstverband als gewoon hoogleraar Bouwmateriaalkunde en Duurzaam Bouwen bij de faculteit Bouwkunde.

Nico Hendriks (1940, Amsterdam) behaalde zijn diploma HBS-B in 1958 in Amsterdam. Van 1961 tot 1973 werkte hij achtereenvolgens als tekenaar, opzichter, constructeur, researchingenieur en stafingenieur bij Raadgevend Ingenieursbureau Aronsohn B.V. te Rotterdam. Vanaf 1970 was hij daar raadgevend-ingenieur, eerste medewerker. Ondertussen behaalde hij in 1968 het diploma van civiel-ingenieur aan de TH Delft. Van 1969 tot 1970 was hij deeltijd docent Toegepaste Mechanica aan de TH Eindhoven. Van 1973 tot 1977 werkte hij bij Koninklijke Nederhorst Bouw te Gouda als stafdirecteur MRE, verantwoordelijk voor R&D en het Ingenieursbureau. In 1977 richtte hij met Hans van Berk BDA op. Binnen de BDA Groep, waarvan hij nog steeds directeur is, is hij verantwoordelijk voor Geveladvies en het Keuringsinstituut.

Zijn wetenschappelijke werk aan de TU/e richtte zich primair op transportverschijnselen in bouwmaterialen, zoals toegepast in gevelconstructies en op Duurzaam Bouwen. Dit leidde tot een aantal succesvolle promoties. Er lopen nog diverse door hem begeleide promotieonderzoeken. Zijn afstudeerders hielden zich bezig met materiaalkunde, bouwfysica van scheidingsconstructies en de bouwtechniek van gevels en daken. Hij is (mede-) auteur van ruim 400 publicaties inzake mechanica, materiaalkunde, bouwfysica en bouwtechniek. In de bouw is hij vooral bekend door zijn maandelijkse artikelen, vanaf 2001 in *Detail in Architectuur* en sinds medio 2004 in *Bouwwereld*. Hierin plaatst hij kritische kanttekeningen inzake materiaaltoepassingen bij projecten van bekende architecten.



Colofon

Productie:
Communicatie Service Centrum TU/e

Fotografie cover:
Rob Stork, Eindhoven

Ontwerp:
Plaza ontwerpers,
Eindhoven

Druk:
Drukkerij Lecturis,
Eindhoven

ISBN:
90-386-1513-2

Digitale versie:
www.tue.nl/bib/