

STUDIEVERENIGING KOers
CONSTRUCTIEF ONTWERPEN

persief

EDITION 97
September 2015

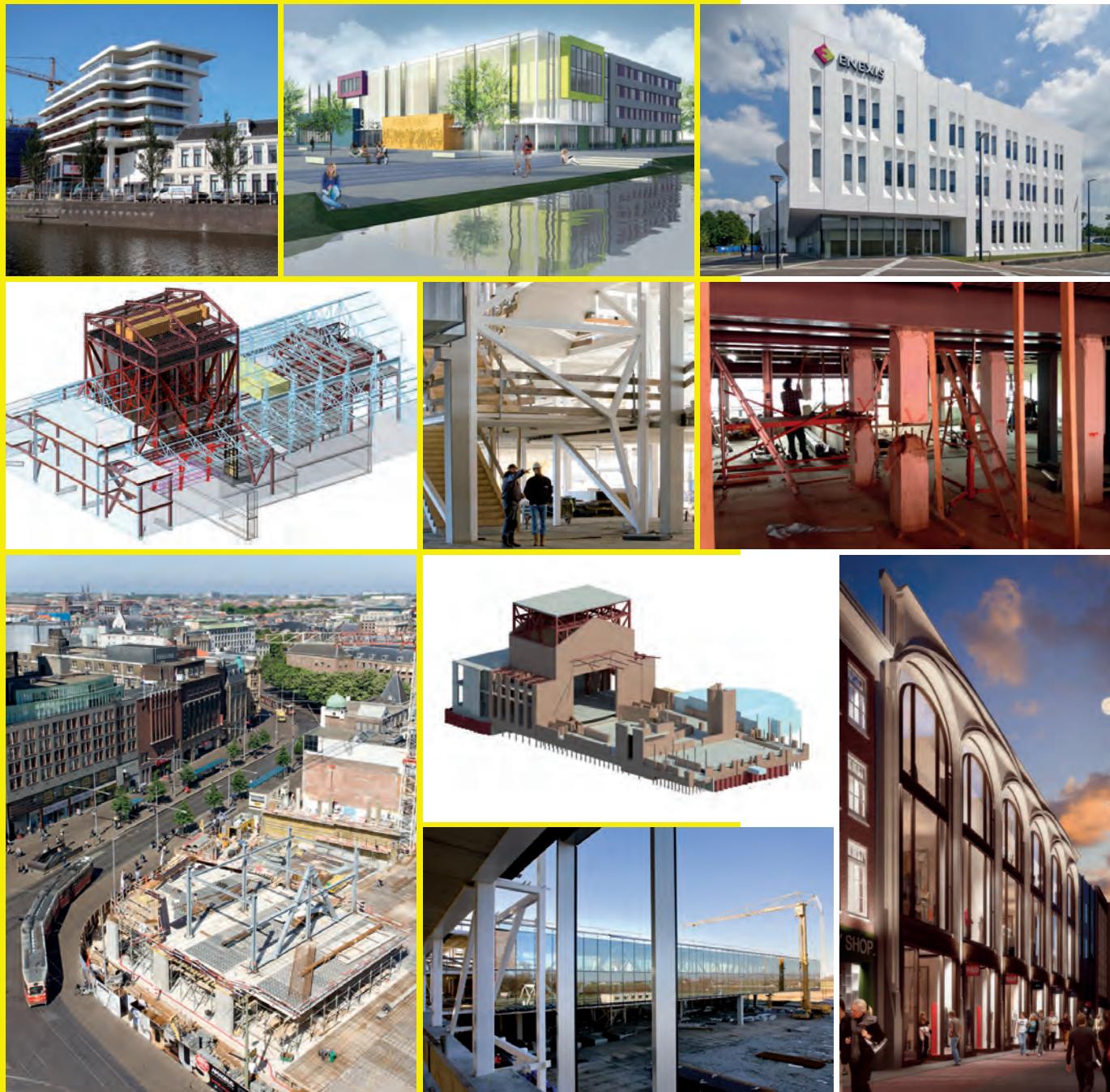


Unconventional Design & Materials

Slimme en efficiënte constructies voor nieuwbouw en hergebruik

IMD

Raadgevende
Ingenieurs



Piekstraat 77
3071 EL Rotterdam

T 010 201 23 60
E imd@imdbv.nl

www.imdbv.nl

Editorial



Editorial	3	Dear reader,
Chairman's note	5	[ev-uh-loo-shuh-n] noun, any process of formation or growth; development. This is what you will find when you look up the word 'evolution' in a dictionary. Evolution is an important word in many industries as they are constantly growing and developing, and of course also applies to the building industry: the built environment is constantly evolving. We no longer live in our caves, but are building our own homes with materials such as bricks or concrete. Even now, this is still in development; new materials such as glass, composites, or aluminium are making their debut.
Agenda	7	
Board of KOers 2015 - 2016	8	
Theme: Unconventional Design & Materials		
<i>Engineered Transparency</i>	11	
<i>Innovatieve vloer met traditionele elementen</i>	15	
<i>Tentech: innovative lightweight structures</i>	19	
<i>Tensile structures: mobile and stationary</i>	21	
<i>Skywalk at the Grand Canyon</i>	24	
<i>Glas, uitdagend innoverend</i>	26	
<i>Patch 22 - Amsterdam</i>	29	
Concrete Canoe Race		
<i>Weekendverslag</i>	32	
<i>Innovatieve kano</i>	34	Not only are we building with new materials, but we are also using our conventional and trusted building materials in new and innovative ways. At first, these innovations are seen as strange, or better said, unconventional, but in time we might well accept them as these are applied more often. KOersief 97 is dedicated to these unconventional designs and materials. In several articles the editorial board would like to show you what occupies our building industry lately.
Study Trip 2015		
<i>Dubai & Abu Dhabi</i>	37	Also, the KOersief is subjected to evolution. This academic year started with the launch of the Graduate School, an updated master track with a new language. As you might have noticed while reading this, the editorial board has followed this change in language. In this edition you will find many sections and articles written in English, but some are still in Dutch, as evolution is a gradual development.
New on floor 9		
<i>Prof. dr. ir. Johan Maljaars</i>	40	
Master's thesis		
<i>Rob Wolfs</i>	42	
<i>3D Printing of Concrete Structures</i>		
Column Hans Lamers	46	
CO-lophon	46	

On behalf of the editorial board,

Niels Hanegraaf
Editor-in-chief KOersief 97



Wij verbinden ons tot een duurzaam partnership

ENCI. Het cement voor een zekere toekomst.

In de bouwsector moet iedereen zijn ecologische, sociale en economische verantwoordelijkheid opnemen. ENCI verbindt er zich toe dat samen met de klant te doen. Daarom ontwikkelen we duurzame producten, aangepast aan de economische en ecologische realiteit, en staan we voor een sterk partnership. We delen ervaringen en bieden oplossingen aan. Eco-responsibility betekent samenwerken aan een zekere toekomst voor de volgende generaties.



Meer over onze eco-verantwoordelijke aanpak op www.encl.nl

HEIDELBERGCEMENT Group

Chairman's note

Dear members and affiliations,

Mixed feelings of joy and melancholy arise while writing this note. This is the third and last time I get the opportunity to look back on the last period. Two big events, the Concrete Canoe Race and the study trip to Dubai and Abu Dhabi, are mentioned in this edition. The committees of these activities have written reports that will definitely get you excited about future editions! The release of last KOersief 96 was combined with the closing of the academic year, celebrated with a BBQ. More than seventy members were present and joined a luxurious meal. A better way to prepare for the last exams was not possible. Not many KOers activities have been organized after this event, because most of us were enjoying our vacation or graduation.

However, representing the board of KOers did not necessarily stop during the summer. A new board for the academic year 2015-2016 also needed to be formed. Four candidates for the 46th board have given their commitment and will introduce themselves further on. The 45th is delighted with this group of enthusiasts and this is where the melancholy starts.

It is nice to see them having the same questions as we had a year ago and it shows in retrospect how much we have learned and the experiences we have had. On behalf of my



fellow board members, I would like to thank you for the opportunity you have given us to preside this wonderful association.

For now I wish you pleasure in reading this KOersief concerning Unconventional Design & Materials. A wide scope that gave the possibility to the editors to make the last edition of the year memorable and write about topics that inspire them.

Salute,
On behalf of the 45th board of KOers,

Thijs de Goede
Chairman of the 45th board of KOers



Gezocht: Commissieleden

Mail naar KOers@bwk.tue.nl of kom langs in de KOershoek

BetonKanoRace



Redactie

PROEF

vaktijdschrift Bouwen met Staal abonnement

1 jaar

BMW WELT MÜNCHEN (D)

München is sinds 17 oktober een politieke en culturele rijker. Op die dag gingen daar oenemelde de deuren open van BMW Welt, het nieuwe uitverkeerde en experimentele gebouw van het Groeninge Museum - gebouwde namens het museum door de architecten van Coop Himmelb(l)au. De architecten voor de constructie en de glas-in-lood gevel die respectievelijk worden gebruikt voor de tentoonstellingen en de entree en Maarse Schone. De opdracht voor de bouw werd al in

ditjaar, gedurende negen van 18 m hoog. De Oostenrijkse architect, prof. Wolf D. Prix van Coop Himmelb(l)au - beheerder van het Groeninge Museum - gebruikte namens het museum de beschikbare ruimte om de verschillende functies voor de constructie en de glas gevel die respectievelijk worden gebruikt voor de tentoonstellingen en de entree en Maarse Schone.

Hersteller sprak bij de opening lever over van

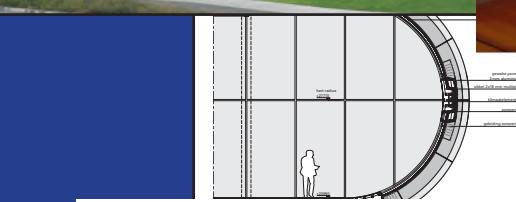
Deze bouw is een voorbeeld van de vaste en stabiele

Met

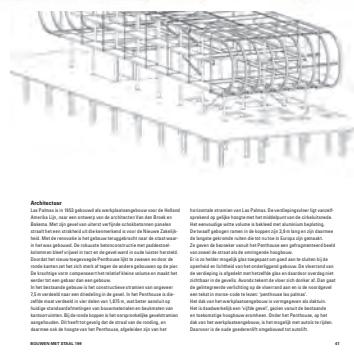
Misschien is daarom de antrebe wld uitgevoerd als een

2001 gegeven, maar de eerste werken pas in 2004, omdat de bouwperiode te lang was voor de Olympisch Stadion. In de bouwperiode werden er tot 170 tot 250 arbeiders per dag actief beschikbaar voor de bouw, waarvan 1000 tot 1500 voor de voorbereiding.

Duitse draai



BOUWEN MET STAAL
vakblad over staal en staalconstructie
02|12 225



Architecten

Lindner + Partner, Münich gebouwde de werkplaatsgebouwen voor de Medizintechnik Ammerländer Upt, voor een initiatief van de architecten Van den Broek en Bakema. De gebouwen zijn gebouwd voor de medische apparatuur en dienen als een belangrijke voorbeeld voor de ontwikkeling van de Nieuwe Zuidelijke bouwperiode. De gebouwen zijn gebouwd voor de medische apparatuur en dienen als een belangrijke voorbeeld voor de ontwikkeling van de Nieuwe Zuidelijke bouwperiode.

Daardoor het nieuwe belangrijke Permacultuur Upt te zetten en door de gebouwen te gebruiken voor de ontwikkeling van de Nieuwe Zuidelijke bouwperiode.

De kantoor van de compagnie heeft relatieve kleine schalen en moet het gebouw kunnen gebruiken voor de ontwikkeling van de gebouwen.

In het bestaande gebouw is het constructieplan verlaten van origineel.

De gebouwen zijn gebouwd voor de medische apparatuur en dienen als een belangrijke voorbeeld voor de ontwikkeling van de Nieuwe Zuidelijke bouwperiode.

De gebouwen zijn gebouwd voor de medische apparatuur en dienen als een belangrijke voorbeeld voor de ontwikkeling van de Nieuwe Zuidelijke bouwperiode.

De gebouwen zijn gebouwd voor de medische apparatuur en dienen als een belangrijke voorbeeld voor de ontwikkeling van de Nieuwe Zuidelijke bouwperiode.

De gebouwen zijn gebouwd voor de medische apparatuur en dienen als een belangrijke voorbeeld voor de ontwikkeling van de Nieuwe Zuidelijke bouwperiode.

De gebouwen zijn gebouwd voor de medische apparatuur en dienen als een belangrijke voorbeeld voor de ontwikkeling van de Nieuwe Zuidelijke bouwperiode.

De gebouwen zijn gebouwd voor de medische apparatuur en dienen als een belangrijke voorbeeld voor de ontwikkeling van de Nieuwe Zuidelijke bouwperiode.

De gebouwen zijn gebouwd voor de medische apparatuur en dienen als een belangrijke voorbeeld voor de ontwikkeling van de Nieuwe Zuidelijke bouwperiode.

De gebouwen zijn gebouwd voor de medische apparatuur en dienen als een belangrijke voorbeeld voor de ontwikkeling van de Nieuwe Zuidelijke bouwperiode.

De gebouwen zijn gebouwd voor de medische apparatuur en dienen als een belangrijke voorbeeld voor de ontwikkeling van de Nieuwe Zuidelijke bouwperiode.

Geef je op voor een jaar lang een gratis proefabonnement op het vaktijdschrift Bouwen met Staal. Ga naar de website www.bouwenmetstaal.nl en klik in de menubalk op 'publicaties', 'vakblad' en 'proefabonnement'. Vul daar je naam, adres en collegekaartnummer in. Je krijgt dan vanaf het eerstvolgende nummer zes edities in de brievenbus. Gedurende je studie kun je éénmaal gebruik maken van dit aanbod.

Neem een gratis proefabonnement voor 1 jaar. Het abonnement wordt automatisch stopgezet. Wil je meer? Word dan student-lid.

Bouwen met Staal
Postbus 190
2700 AD Zoetermeer
tel 079 353 12 77
info@bouwenmetstaal.nl
www.bouwenmetstaal.nl

Agenda

Nationale Staalbouwdag

1 October **Kromhouthal, Amsterdam**

Every year, the association Bouwen met Staal (Building with Steel) organizes a day where companies centered around steel structures present themselves. They range from software engineers to construction companies. We as a study association are invited to this day. Transport will be arranged from Eindhoven to the event in the 'Kromhouthal' in Amsterdam and back. Along with the exhibitions, there are also lots of lectures to attend. Please subscribe at our website if you want to join!

KOers Design Challenge

8 October **TU/e, Eindhoven**

The Design Challenge is a new activity by KOers, with 'Floating Structures' as theme for its first edition. Both bachelor and master students will, in teams, try to tackle the challenge set before them. They will not only design their own structure, but also build it and eventually put it to the test under the watchful eyes of a jury of professionals. Furthermore, two speakers will inspire students through a small lecture. To top it all off, lunch is provided as well as drinks at the end of the day.

Betondag

19 November

De Doelen, Rotterdam

The 'Betondag' (Concrete Day) is not only a congress, there also is a trade fair and is traditionally the place to meet concrete minded Holland. The base is a real knowledgeable day where the latest technological developments in concrete are presented. And there is a diverse and interesting congress, with several parallel sessions and many open presentations. KOers has a limited amount of tickets for free entrance to this day. If you want to attend to this activity, you have to subscribe at our website. First come, first served.

K-M@il and website

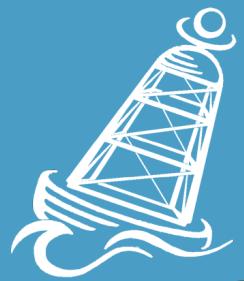
Every two weeks we send a K-M@il newsupdate by e-mail. Also visit our website and Facebook page regularly for recent newsmessages and events. Also on our website, you can subscribe for activities, check photos of past events and read previous editions of the KOersief.

KOers Design Challenge

'FLOATING STRUCTURES'

8 October 2015

To subscribe and for more information, go to KOersTUe.nl



Board of KOers 2015 - 2016



Chairman
Gosse Slager



Secretary
Pierre Hendrikx

Dear KOers-members,

My name is Gosse Slager and after a long period of studying in Groningen I ended up in Eindhoven. I am 27 years old and I grew up in Winsum, a village 10 kilometer north of Groningen. After I graduated from MBO electrical engineering, I started with the bachelor Built Environment at Hanze University of Applied Sciences. Soon I realized that I liked studying Built Environment a lot. During this study, I chose the specialization Structural Design. What I like about this study is to design from a technical point of view. After graduated I knew that I wanted to become a Structural Engineer, but first I wanted to learn a lot more. Therefore I started with the master Structural Design at the TU/e. After finishing the pre-master program, I started in the master Structural Design in September 2014. Last year I finished the courses and projects, and now I am going to start with a graduation project.

During the pre-master course I became familiar with KOers study association. After the KOers introduction day I participated in more activities whereby I got to know KOers and its members better. Last year I wanted to get more involved with the study association, which expressed itself in a small attribution in the Concrete Canoe Race and committee member of the Editorial Board Committee of SUPport study association. With the active attitude of last year I got more interested in KOers, where I have chosen to serve as chairman on the board of KOers study association.

I hope to see all KOers-members next year at many educational and social activities!

Yours sincerely,
Gosse Slager

Dear KOers-members,

My name is Pierre Hendrikx and I live in Bergeijk, a small municipality located between Eindhoven and the Belgian border. Before I came to Eindhoven University of Technology, I studied structural engineering for four years at Avans University of Applied Science. My first idea was to become an architect, but after a year of orientation, I decided that it was not my field of expertise. That's why I left the 'vague' world of architecture behind, and chose for the explicit world of Structural Engineering. When I graduated four years later, I wanted to find a job. Unfortunately, by that time the building world was crippled due to the financial crisis. The lack of jobs made me decide to go for my masters' degree in Structural Design.

Shortly after the start of college, the first activities of KOers were held. KOers was an unknown thing for me at that time. From internships I did at my applied science study, I knew it had to be a great association since everyone I met told me I had to be a member of KOers sometime during my study. And so I started as a freshman master student between all the seniors, drinking beer on the KOers introduction activity. In the time that followed, I got to know many and more people and my interest in KOers grew. That's why I have decided to fulfill the roll of secretary, in combination with my graduation, for the 46th board of KOers Student Association.

I hope to give you an idea of who I am, and I'd like to meet the current and new members of KOers on one of the activities we will organize this year!

Yours sincerely,
Pierre Hendrikx



Treasurer
Wessel Manders

Dear KOers-members,

My name is Wessel Manders. I'm 23 years old and I come from a small town close to Eindhoven called Boekel. After 3 months of studying at the university I decided to move to Eindhoven. Before starting at Eindhoven University of Technology I was a student pre-university education at a high school in Gemert. After doing the 4th year twice I graduated in 2011 after 7 years of studying.

After this study, I decided to do the Bachelor building engineering at the TU Eindhoven. From the start I knew that architecture was not what I wanted to study. Subjects such as drawing even led me to almost pick another Bachelor. The first year of the bachelor was pretty tough because of all the architecture involved. But I managed to get through. During the second and third year I specialized myself in the structural design of buildings. Therefore it was a logical choice to continue as a structural designer in the master.

It now has been one year since I started the master. I tried to participate in as many activities of KOers as I could. I started in the committee of the Concrete Canoe Race. A wonderful weekend was organized by our committee with the innovation award to be taken back to Eindhoven. Because I still have some courses to finish I decided to do a Traineeship at Tielemans in Eindhoven. Besides that I want to be part of the board of KOers. I will be the treasurer this year.

I hope to see you all at our activities!

Yours sincerely,
Wessel Manders



Com. Education
Lieneke van der Molen

Dear KOers-members,

I am Lieneke van der Molen, 24 years old, born in Almere and I live in Eindhoven nowadays. After primary school I started with "Theoretische Leerweg" at Het Baken Park Lyceum located in Almere. Eventually after switching to "havo/VWO", I was allowed to continue on "VWO" and I graduated with two diplomas (N&G and N&T).

Artistic objects and creativity, sciences and everything related to nature are things that drive me. Eventually in 2009 I started with the bachelor Architecture. I chose the profile Architecture & Technology which taught me that I preferred courses related to Structural Design, Construction Technology and Building Technology. I ended up starting with the Structural Design master, a certificate of Construction Technology and some other courses.

I have been studying for 6 years now which includes multiple activities outside my studies. From the lustrum committee of the study association CHEOPS to a board function within the Bouwkunde Bedrijvendagen and now active member in the new KOers Design Challenge committee. While participating in the activities organized by KOers I enjoyed the charisma of the study association. Which is why I want to fulfill a board function within KOers. With the upcoming changes (Graduate School) I would like to be commissioner Education. Within this function I will try to inform you well about the changes and happily receive feedback from any of you to improve the system.

I hope to meet you all at our activities in the upcoming year!

Yours sincerely,
Lieneke van der Molen

Advies- en Ingenieursbureau voor bouwconstructies

van de laar

Adviesbureau Van de Laar is een onafhankelijke en betrouwbare partner bij het verwezenlijken van de droom van elke opdrachtgever.

We zien het als een uitdaging om constructief mee te denken in het technisch realiseerbaar maken van bouwprojecten.

Constructief vernuftig, optimaal geïntegreerd en duurzaam



Rozet, Arnhem

Foto: scagliolabrackee/

© Neutelings Riedijk Architects



Bastionder, Den Bosch

Van Roosmalen Van Gessel

Advies- en Ingenieursbureau
Van de Laar bv
Brucknerplein 19
5653 ER Eindhoven
Telefoon: (040) 25 26 625
Internet: www.vandelaar.info
E-mail: info@vandelaar.info

BOUWKUNDE BEDRIJVENDAGEN

MEET YOUR OPPORTUNITIES

10

NOVEMBER

LEARN IT
Trainingen

17

NOVEMBER

WORK IT
Workshops

18

NOVEMBER

SELL IT
Bedrijvenmarkt

www.bouwkundebedrijvendagen.nl



Structural design in glass

Engineered Transparency

By: Wouter van der Sluis & Chris Noteboom

Structural Designers Octatube Delft & Commissioners of YouCon

Glass, a material with the unique property to let light inside an area, is normally used in building practice as just an enclosure. Its use in facades is also due to its chemically inert properties; it can be cleaned easily and lasts for many years. However, when applied correctly, there is so much more possible with glass! Mechanically, glass has the capacity to withstand high compression forces and also high tension forces if heat- or chemically-threatened. As knowledge and production methods progress, larger glass units can be produced as well as designed. In the last decades, glass has been used more and more in major structural elements, by applying it as glass fins. It can be bonded to steel to create special composite structures. So-called hot or cold bent glass is also possible in order to create single or double curved elements. Combining these possibilities of glass one can reach one of the ideal concepts of architects and engineers, almost invisible transparent load-bearing elements in every shape: engineered transparency!

Structural properties

The particular material properties of glass greatly influence how a system is designed and built. Glass is a brittle material, which means that glass will not plastically deform prior to failure. Glass will fail once it surpasses its elastic deformation and reaches its maximum yield stress. One small peak stress can lead to the breakage of the total glass pane. Tension stresses are always normative in glass design as glass is much stronger in compression. Heat treating or chemical strengthening increases the overall tensile strength of glass by introducing pre-stress; compression stresses at the glass surface where fracture starts and tension stresses in the center of the section. When glass breaks, the breakage pattern reveals the pre-stress (stored energy) that was present before. The larger the pre-stress, the smaller the glass particles. Due to the nature of the pre-stress, allowed tension stresses are different in the center of a glass pane than at the edge of a glass pane. Also, allowable stresses are time dependent. For example, allowable stresses in case of snow load are significant lower than in case of wind load.

Glass fin structures

Glass fins (or beams) are the most commonly used structural elements in structural glazing. In horizontal position one can compare it with a steel girder, which supports a roof or a floor. In vertical position one can compare it with a wooden column or aluminium mullion. Glass fins represent one of the most transparent forms of structures. One of the earliest use of glass fins as a structural element dates back to the 1950's: the application of the Hahn suspended glass system at Maison de la Radio in Paris, which used single ply glass fins as stiffeners to reduce deflection. In the following years this system evolved to allow even larger glass facades, with Norman Foster's Willis Faber & Dumas building as one of the first modern glass fins on a commercial scale. However, due to production limitations, maximum dimensions of the glass parts were just a couple of meters. Even until recently, most float glass was produced with standard maximum lengths of 3,6 – 6 meter depending on the manufacturer. Hence, in the past fins longer than 6 meter have typically been composed of multiple pieces spliced end-to-end, with



Figure 1: V&A Museum in London

moment stiff coupling elements between the pieces. Just after the millennium the possibility to produce larger fins by new tempering ovens initiated the possibility to make glass structures with full glass fins as the major structural beams in the following years. A development partly driven by the high standards set by the worldwide 'flagship' Apple stores, engineered by Eckersley O'Callaghan. Current maximum measurements in reach of manufacturers in China and Germany are around 18 by 3.6 meters, including lamination, hot bending, coating and tempering. However, these measurements require extreme investments of the manufacturers in material, knowledge and time to master production.

In recent years Octatube has designed, developed and built numerous projects with glass fins, e.g. translucent glass fins for the V&A Museum in London (*Figure 1*), quadruple laminated main glass fins for the roof of the Municipal Museum in The Hague, where glass fins span 10 meters (*Figure 2*) and glass fins for the roof and the facade of the Van Gogh Museum in Amsterdam that span up to 12 meters (*Figures 4 and 6*). All these projects display glass fins as main component for the load bearing structures in roof and facade. Their safety behavior after breakage was reason for research as well. Execution of the safety philosophy of glass differs per country, but always leads to a safe situation in which progressive collapse and a second load bearing system is taken into account.



Figure 2: Municipal Museum in The Hague

If a monolithic element is broken, the glass and all that it supports will most likely collapse. Laminated glass solves this issue of brittleness. Glass plates are bonded to each other to make sure they always stay in place when they break. When one glass plate breaks, the adjacent one will



Figure 3: Failure of tempered glass after a bending test

keep it in position. When all plates break, the supports are designed to prevent the glass from falling and can often remain in place until the area is cleared of occupants. These failure scenarios have been part of experimental testing at Octatube, as proof for third parties. For example, the breakage of all fully tempered glass plates of a glass fin is shown in *Figure 3*.

Stabilizing glass

Next to using glass as primary structural elements, glass is often used by Octatube to stabilize other structural members. For example, in the design of a glass facade for Centro de Arte de la Fundación Botín, designed by Renzo Piano, slender stainless steel mullions (22 x 220 millimeter) up to 16 meters in length were supported sideways by the glass units in between them. In plane, the glass units are very stiff due to their large width to height ratio. To act as bracing the connection between the glass and steel is very important. For this connection, often small blocks of the material polyoxymethylene (POM) are used due to their high stiffness and strength properties compared to rubbers, but relatively low stiffness compared to glass (Glass E=70 000 N/mm²; POM E=3 000 N/mm²) to minimize peak stresses in the glass. Only compression forces are transferred through the connection, which, as mentioned before, is favorable since glass has a great capacity to withstand compression forces.

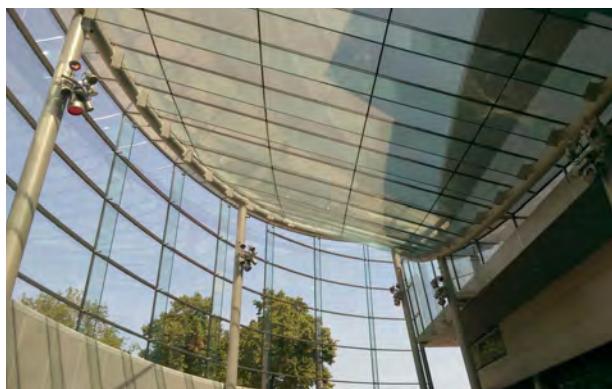


Figure 4: Roof and facade of the Van Gogh Museum in Amsterdam

Likewise, for Octatube's most recent project, expansion of the Van Gogh Museum in Amsterdam, glass is used to stabilize other elements. In this case, the insulated glass units in the facade and roof are used to stabilize glass fins mentioned earlier. Therefore, in this case glass supports glass. The connection between glass fins and glass units

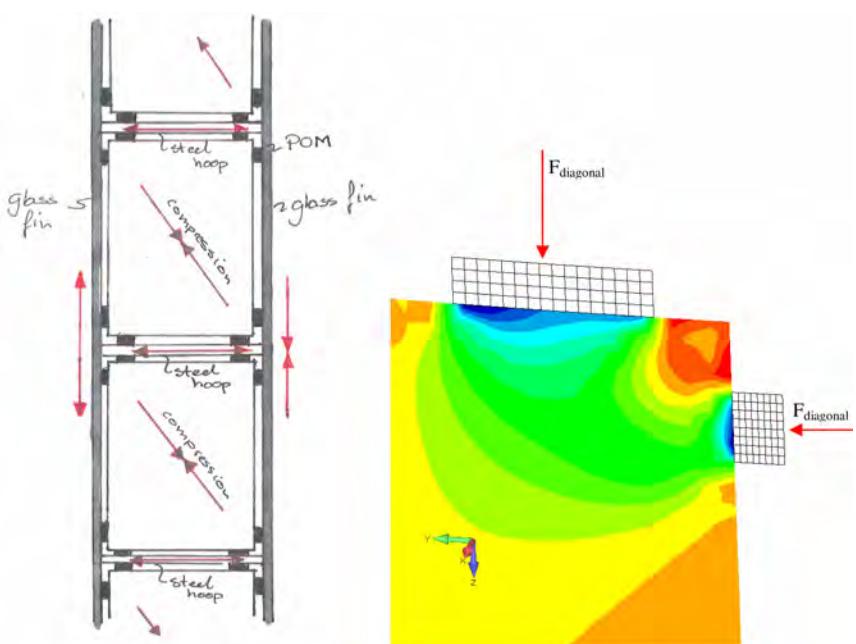


Figure 5: a) Royal Picture Gallery Mauritshuis in The Hague, b) Sketch of structural system and FEM-model of the corner of a glass pane

is made by bonding stainless steel rectangular hollow sections to the glass fins on which blocks of POM are screwed.

For the glass elevator of the Royal Picture Gallery Mauritshuis in The Hague (Figure 5a), glass is even used as the main stability system. Vertical glass fins act as columns and hot bent laminated glass plates act as bracing. The connections between the glass fins and bend glass units are designed to generate a compression diagonal in the curved glass. This is done by applying two blocks near the corner of the pane as shown in Figure 5b. The exact position and dimensions of these blocks are very important as this determines the tension stresses that also exist when a compression diagonal is present.

Instead of 'simply' locking in the glass units by POM elements, also mechanical connections between the glass units can stabilize a glass structure as done at the Dreefgebouw in Haarlem (Figure 7). Moment connections transfer forces between the glass units in the facade and roof to create one connected glass enclosure. To ensure the load introduction in all glass panes of the laminated unit, special injection mortar is used that fills the space between glass and steel connector.



Figure 6: Van Gogh Museum by night

Future: Robust, transparent and efficient buildings

Laminated glass is tough, resilient and not prone to sudden breakage and would greatly deform before yielding. A great material to build with and to optimize our structures with. With the latest glass engineering milestones like the Zorlu Center Apple Store in Istanbul, absolute transparency is reached by a total absence of steel fixings. As well as the extension of the Van Gogh Museum where glass is omnipresent, i.e. to stiffen the steel structure and used as main structure of the glass staircase, shows the diversity of glass usage. These concepts of architects included full transparent structures. Concepts that can only be reached by an intensive engineering process. What will the possibilities in the future be? What will our boundaries be? Let architects challenge the engineers and let the engineers inspire the architects!

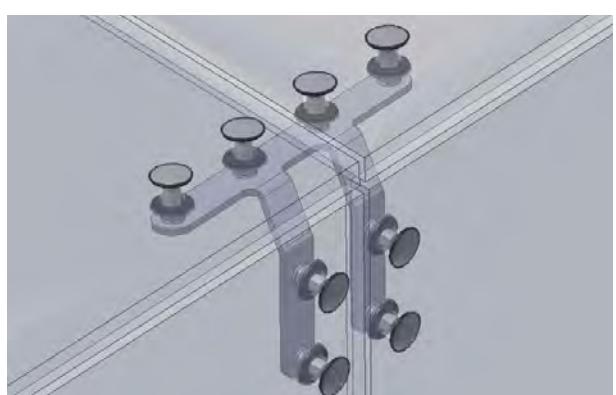


Figure 7: Glass mechanical connection elements in Dreefgebouw in Haarlem

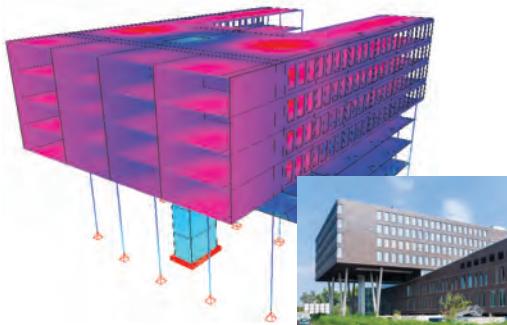
Footnote:

The title of this article is taken from a biennially glass conference held in Dusseldorf. Together with Challenging Glass and Glass Performance Days (GPD) the leading conferences on glass engineering. Check those conferences if you want to know more about state of the art glass engineering.

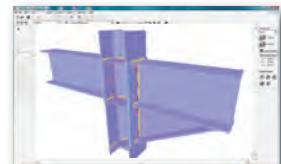
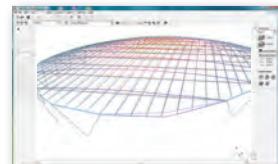
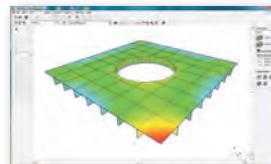
Figures:

Header 1,2,3,4,5,b, 5a 6	Jacqueline Knudsen, ArchitectuurNL Octatube Delft Luuk Kramer Jan Kees Steenman, Van Gogh Museum
-----------------------------------	---

Gratis software voor studenten & docenten TU Eindhoven!



- ✓ GRATIS gebruik van alle BuildSoft software voor alle TU/e studenten & docenten
- ✓ Raamwerken & platen, 3D gebouwen, staal, beton & hout, verbindingen, seismisch, ...
- ✓ Volledige versies - geen beperkingen!
- ✓ Eenvoudig & snel te gebruiken!



Jouw GRATIS licentie in 5 stappen:

1. **Registreer** je als student op <http://www.buildsoft.eu/nl/students>

Je ontvangt meteen de bevestigingsemail met login en paswoord.

2. **Log in** op de website, sectie 'Downloads'.

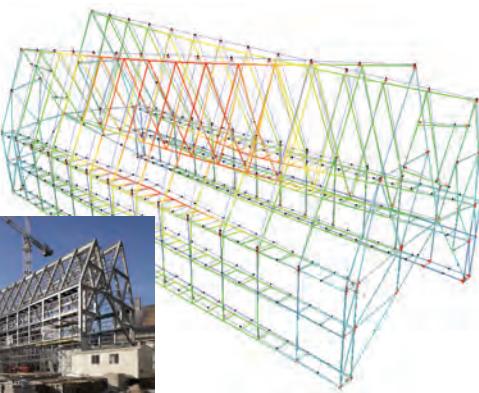
3. **Installeer** de software naar keuze.

4. **Vraag** online je gratis licentie aan. Instructies vind je in de bevestigingsemail.

5. **Je ontvangt** na enkele werkdagen jouw gratis licentie per email.

Meer info of vragen:

studenten@buildsoft.eu



BuildSoft - structural design analysis software | <http://www.buildsoft.eu> | info@buildsoft.eu | +32 (0)9 252 66 28

Dromen realiseren

Bijzondere gevel- en bouwconstructies ontwikkelen op basis van prefabricage. Uitgekiende betonnen gebouwcomponenten samenstellen met creativiteit, kennis en vakmanschap. Complexe vormen realiseren op basis van krachtige 3D computertechnologie.

Met deze aanpak wonnen Hurks delphi engineering en Hurks prefabbeton de TEKLA Global BIM Award in de categorie Prefab Beton. In 2010 met KPMG in Den Haag, in 2012 met P+R De Uithof in Utrecht en in 2014 met de parkeergarage van het Belgische Gare de Mons dat is opgebouwd uit complex gevormde spanten en wanden.

Wat aanvankelijk onmogelijk lijkt, blijkt zomaar haalbaar.
Dromen van nu, realiseren we! Werk jij mee?

www.hurks.nl

 **hurks**





Integratie van leidingen in vloerpakket

Innovatieve vloer met traditionele elementen

Door: Ing. Rob Stark

Directeur & raadgevend ingenieur bij IMd Raadgevende Ingenieurs

Ieder gebouw in de utiliteitsbouw is een soort prototype. De gebouwen worden opgebouwd uit standaard elementen, maar deze elementen worden steeds weer op een andere manier toegepast. Daarbij is de keuze van een vloersysteem een belangrijk onderdeel. Bij verschillende projecten heeft IMd, in samenwerking met architectenbureau cepezed, een innovatief vloersysteem toegepast dat opgebouwd is uit standaard producten.

In de vloer komen veel disciplines samen. Bouwkundige, installatietechnische, bouwfysische en constructieve aspecten spelen in de keuze van een geschikt vloersysteem een belangrijke rol. Om een goede keuze voor een vloersysteem te kunnen maken, maakt IMd in een vroege fase van het ontwerp gebruik van een vloerenmatrix. In deze matrix worden verschillende vloersystemen naast elkaar gezet en worden aspecten als vloerdikte, gewicht, duurzaamheid, mogelijke integratie met installaties en kosten tegen elkaar afgewogen.

Met deze werkwijze wordt een vloersysteem gevonden dat goed past bij de vraag. De vraag is voor een groot deel afhankelijk van de functie die in het gebouw zal worden uitgeoefend en van de randvoorwaarden die vanuit de omgeving aan het gebouw worden gesteld. Maximale bouwhoogte vanuit het bestemmingsplan kan bijvoorbeeld een belangrijke randvoorwaarde zijn voor de toelaatbare pakketdikte van een vloer. Een goede integratie van bouwtechniek, installatie en constructie kan een optimale vloer opleveren.

Opbouw

De innovatieve vloeren zijn opgebouwd uit kanaalplaten met druklaag. Door de kanaalplaten op een h.o.h. afstand van 1800 millimeter te leggen, ontstaat tussen de platen

een open ruimte (*figuur 1*). Door deze opening aan de bovenzijde af te dekken met een stalen Lewis-plaat ontstaat een zone om installatieleidingen te kunnen integreren.

Over zowel de Lewis-plaat als de kanaalplaat wordt een gewapende druklaag aangebracht. De kanaalplaat kan zowel op een staalconstructie als op een betonconstructie worden opgelegd. Door de grote installatieleidingen in de ruimte tussen de kanaalplaten te positioneren, is het mogelijk om alleen de kleinere verdeelleidingen onder de kanaalplaat te laten lopen. Hiermee kan een zeer compact vloerpakket worden verkregen.

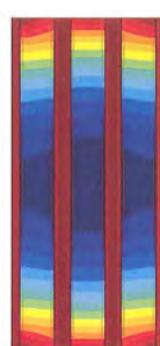
Belangrijk is om al in een vroege fase goed na te denken over het leidingverloop van de grote leidingen. Het vloersysteem kan ongestempeld worden uitgevoerd en is opgebouwd uit lichte prefab elementen. Deze lichte vloer heeft een korte montagetijd wat kan resulteren in een korte bouwtijd.

Constructief gedrag

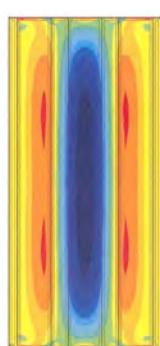
Het vloersysteem werkt constructief als een soort ribbenvloer. De staalplaatbetonvloer, opgebouwd uit de Lewis-plaat en de constructieve druklaag, zorgt voor de afdracht van belastingen boven de 'leidingschacht' naar de kanaalplaat toe. Deze kanaalplaten dragen de belastingen



Figuur 1: Open ruimte faciliteert integratie van leidingen in vloerpakket



Figuur 2: FEM model van het vloersysteem in 2D bovenaanzicht



naar de opleggingen af. Schijfwerking ten behoeve van de stabiliteit wordt verkregen uit de constructieve druklaag. Om inzicht te krijgen in het gedrag van de vloer is een FEM-model opgezet (*figuur 2*). Hierbij is extra aandacht besteed aan de belastingafdracht van geconcentreerde belastingen loodrecht op de overspanning. Uit de analyse van de berekeningen is gebleken dat de Lewis-vloer zonder aanvullende koppelingen op de kanaalplaatvloer kunnen worden geplaatst.

Brandveiligheid

Vloeren vormen vaak de scheiding van brand-compartimenten en/of maken onderdeel uit van de hoofddraagconstructie. Het is daarom van belang dat een vloersysteem een goede weerstand heeft tegen branddoorslag en brandoverslag (WBDBO), maar ook voldoende sterkte heeft bij het belastinggeval brand.

Een belangrijke meerwaarde van de vloer is de integratie van installaties. In de druklaag van de vloer worden daarom ook elektriciteitsleidingen en vloerpotten opgenomen. Uit praktische overwegingen wordt de toegepaste druklaag daarom uitgevoerd in een dikte van circa 80 millimeter. De Lewis-vloer met deze dikte voldoet aan een weerstand van 60 minuten en dat voldoet aan de WBDBO eis. Het bezwijken van dit onderdeel van de vloer zal geen bezwijken van de vloer tot gevolg hebben en hoeft daarom ook niet te voldoen aan de sterkte-eis die aan de hoofddraagconstructie wordt gesteld.

Om aan de eis van de hoofddraagconstructie te kunnen voldoen, moet de kanaalplaat echter wel voldoen. Met de gekozen dikte van de druklaag wordt niet voldaan aan de richtlijn van de Bond van Fabrikanten van Betonproducten (BFBN) voor brandveiligheid van kanaalplaten. Op twee verschillende manieren kan het vloersysteem voldoende brandwerend worden gemaakt:

- Tussen de druklaag en de kanaalplaatvloer kan een folie worden aangebracht zodat deze druklaag niet meer samenwerk met de kanaalplaat en weer wordt voldaan aan de richtlijn van de BFBN.
- Aan de onderkant van de kanaalplaat kan een brandwerende spuitmortel worden aangebracht waarmee de brandwerendheid van de kanaalplaat wordt gewaarborgd.

Bouwfysische aspecten

Geluidsisolatie is een van de belangrijkste bouwfysische eigenschappen die aan een vloer in een gebouw wordt ontleend. De mate van de benodigde geluidsisolatie is afhankelijk van de functie die in het gebouw komt. Voor een standaard kantoorfunctie voldoet de vloer ter plaatse van de kanaalplaat over het algemeen aan de benodigde geluidseisen. Ter plaatse van de Lewis-vloer zullen onder de vloer soms aanvullende voorzieningen noodzakelijk zijn. Indien er hogere eisen worden gesteld, kan een zwevende dekvloer en/of een akoestisch plafond worden toegepast.

Het innovatieve vloer systeem is in de praktijk al drie keer toegepast. Alle drie de projecten zijn samen met architectenbureau cepezed ontworpen.

Project: CHDR II

Het vloersysteem is voor het eerst toegepast bij het nieuwe gebouw voor het Centre for Human Drug Research (CHDR), dat onderzoek uitvoert naar de (bij)effecten van medicijnen met behulp van proefpersonen. Het pand, met als belangrijkste gebruiksfuncties kantoor en gezondheidszorg, is gerealiseerd naast het bestaande gebouw van deze organisatie op het Bio Science Park te Leiden.



Figuur 3: Centre for Human Drug Research te Leiden

Het pand is in diepterrichting opgedeeld in drie ongelijke stroken. De voorste strook aan de straatkant (rechterzijde *figuur 4*) bevat de entree, receptie, vergaderruimten, kantoren evenals de keuringsruimten en een groen ingericht dakterras. De middelste bouwstrook is een facilitaire zone met de toiletten, twee volledig transparante liften en twee geschakelde cascadeladders. Het achterste bouwdeel bevat onder meer het bedrijfsrestaurant, een high care zone en een onderzoeks laboratorium. De bovenste verdieping is gevuld met slaapruimten voor langdurig verblijf en een bijbehorende woonruimte grenzend aan het dakterras.

Omdat het bestemmingsplan een maximale bouwhoogte vereiste, is de draagconstructie opgebouwd uit een slank staalskelet gecombineerd met het innovatieve vloersysteem. De facilitaire zone is de ruggengraat van het gebouw en is opgebouwd uit een stalen rek dat zelfstandig stabiel is. Het rek verzorgt zowel in de bouwfase als in de eindfase de stabiliteit van het gebouw. In de uitvoering is het rek eerst op totale gebouwhoogte gebracht en daarna zijn de twee aanpendelende bouwstroken met hierin het vloersysteem ertegenover gebouwd. Zo is een snelle bouwtijd gerealiseerd. De schijfwerking van de vloeren wordt gehaald uit de druklaag. De vloeren zijn aan de onderkant voorzien van een spuitmortel om aan de geëiste brandveiligheid te voldoen. Om aan de bouwfysische eisen te voldoen, is onder de vloer een akoestisch plafond toegepast.



Figuur 4: Doorsnede van het Centre for Human Drug Research te Leiden

Project: Applikon

Applikon Biotechnology is een wereldspeler op het gebied van de ontwikkeling en productie van bioreactoren en heeft een nieuw hoofdkwartier gerealiseerd op het Science Park Technopolis in Delft.



Figuur 5: Applikon Biotechnology te Delft

De volumeopbouw van het gebouw bestaat uit twee bouwblokken: een hoger en een lager deel. Het lagere bevat de belangrijkste productionele ruimten. Het hogere deel heeft in totaal vijf bouwlagen, waarvan de begane grond functioneel goeddeels een voortzetting van de productionele zone vormt. Daarboven zijn de kantoren en andere functies opgenomen.

Eén constructieve beuk van het hogere bouwdeel vormt over de volledige vijf bouwlagen een separate zone die de stabiliteit van het geheel verzorgt en onder meer de entree, alle stijgpunten, pantry's, sanitaire voorzieningen en schachten bevat. In deze zone is een dunnere vloer toegepast, zodat hier de leidingen loodrecht op de overspanningsrichting van de kanaalplaat kunnen worden versleept. De vloeren in de hoogbouw bestaan, vanwege de wens van flexibiliteit en een beperkte bouwhoogte, uit het innovatieve vloersysteem.

Aan de onderzijde zijn de zones onder de Lewis-vloer optisch afgeschermd door middel van plafondeilanden (zie figuur 6). In deze plafondeilanden zijn alle bouwfysische en installatietechnische voorzieningen opgenomen. Hierdoor was het mogelijk om tussen de plafondeilanden de kanaalplaatvloer aan de onderzijde in het zicht te houden. De brandveiligheid van de vloeren is gewaarborgd door tussen de druklaag en de kanaalplaatvloer een folie aan te brengen.



Figuur 6: Plafondeilanden schermen de voorzieningen optisch af

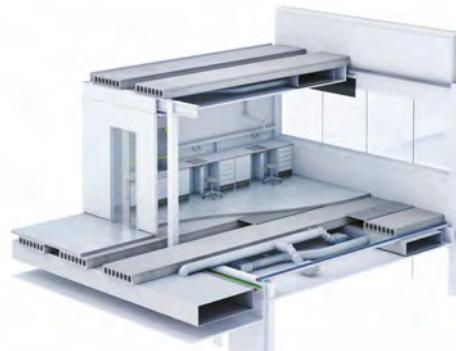
Project: YES!Delft

De succesvolle Delftse incubator voor startende bedrijven YES!Delft is in de afgelopen tien jaar enorm gegroeid. Alleen vorig jaar al deden achttien nieuwe bedrijven hun intrede. Het succes van YES!Delft was onder andere reden voor de TU Delft om de capaciteit verder uit te breiden en tevens om voor het eerst ruimte te kunnen bieden aan startende biotech bedrijven. Samen met de gemeente Delft, de Provincie Zuid-Holland en de Europese Unie wordt deze tweede incubator gerealiseerd. Het ontwerp en de bouw wordt gerealiseerd door Cordeel Nederland BV in samenwerking met architectenbureau cepezed en IMd Raadgevende Ingenieurs. Het pand zal voorzien worden van laboratoria, kantoren en een beperkt aantal algemene voorzieningen zoals pantry's en vergaderruimten.



Figuur 7: YES!Delft

Uniek is dat YES!Delft naast kantoorruimte met bio-faciliteiten ook laboratoriumruimte biedt, plus een 'shared facility lab' met laboratoriumvoorzieningen voor gemeenschappelijk gebruik. Er is een grote mate van flexibiliteit in het gebouw nodig om deze functies onderling uit te wisselen. Het innovatieve vloersysteem is toegepast, zodat tussen de kanaalplaten de leidingen en kanalen vanuit de gang versleept kunnen worden. Ter plaatse van de Lewis-vloeren is een druklaag van 80 millimeter aanwezig, wat in combinatie met de bouwkundige afwerking voldoende is voor de geluidseisen, de brandoverslag en de schijfwerking van de vloer ten behoeve van de stabiliteit. Met dit systeem kan, met behoud van flexibiliteit, de verdiepingshoogte beperkt blijven wat de nodige kostenbesparing oplevert. Net als bij Applikon is bij dit ontwerp de brandveiligheid van de vloer ontleend aan de toepassing van een folie tussen de druklaag en de kanaalplaatvloer.



Figuur 8: 3D weergave innovatief vloersysteem YES!Delft

Figuren:

Header, 1-8 Leon van Woerkom & architectenbureau cepezed

Movares

is mijn bedrijf



“Omdat het oog heeft voor de ontwikkelingen in de maatschappij en de markt èn voor zijn medewerkers.” *Margot van de Moosdijk, adviseur*

Advies- en ingenieursbureau Movares, actief op het gebied van infrastructuur, mobiliteit, ruimtelijke inrichting, water en energie stimuleert mensen **zichzelf** te zijn. Wij geven je de ruimte om je leven in te richten op een manier die bij je past en die je capaciteiten tot zijn recht laat komen. Bij ons werk je aan **duurzame** oplossingen voor maatschappelijk relevante projecten. Met een grote mate van **eigen verantwoordelijkheid** en volop ruimte voor flexibiliteit en **persoonlijke ontwikkeling**. En de mogelijkheid om **mede-eigenaar** te worden. Spreekt dit je aan? Praat eens met ons.

wij verbinden

werkenbijmovares.nl

Tentech: innovative lightweight structures

Interview with: Harmen Werkman

Co-owner & architect at Tentech bv

A field full of innovative and unconventional designs is of course the field of lightweight structures. That is why editors Niels and Gydo travelled to Utrecht, to pay a visit to Tentech; a consultancy specialized in these kind of structures. We spoke with co-owner Harmen Werkman about working at this company and all that entails their projects. On the page after the interview with Harmen you can find an interesting article about two of Tentech's projects.

Could you tell us something about Tentech?

Tentech was founded 18 years ago by my associate, Rogier Houtman. It originally is an outflow of the spatial structures department at Delft University. Back then Tentech was a two-man business mainly focused on designing and engineering with canvas. This is still an important factor in the company, but in recent years we are also working with cardboard, bamboo, and even 3D printing of plastics.



Brief introduction

Harmen Werkman (1978) studied at the Built Environment faculty at Delft University of Technology. In 2003 he graduated cum laude as an engineer on a master's thesis that involved the design and realization of a membrane roof at outdoor theater 'Cabrio' in Soest. After

this first encounter with lightweight structures, complex geometries and unconventional building materials, he immediately got intrigued and started his job at Tentech. In 2005 he graduated again; this time as an architect. In 2010 Harmen Werkman became an associate and joined the management of Tentech. By not only focusing on textile architecture, but also on temporary structures for events and product development of industrial applications of fabric, Tentech has become a company that has the ambition to share its specialized knowledge on an international scale. Harmen Werkman was the designer of the roofing of the amphitheater of the Floriade 2012 in Venlo, and of several projects for the Volvo Ocean Race. At the moment he is working together with Shigeru Ban Architects to develop a series of 'Paper Tube Offices' in the new head office of Swatch AG.

In 2007 we moved to Utrecht, where we currently have an office with fourteen employees.

We are involved in three different markets. The first one is the textile architecture. Here you can think of projects such as canopies of entrances or atria and other spatial complex structures. We are of course involved in the festival and events sector, where we design large tents, pavilions and other temporary structures. The third market is the industrial application of fabric. We develop for instance applications for biogas plants where a membrane needs to be able to expand when the pressure rises.

What kind of projects are you currently involved in?

We have just finished a project for the Tomorrowland festival, where we engineered a tent in the shape of flower (Figure 1). Seven flower petals are supported by three-dimensionally curved steel beams. This was a successful project, as it is now on its way to Atlanta and Brazil to be displayed at other festivals.



Figure 1: Flower-shaped tent at Tomorrowland

Also, we are currently working on a project in the main office of Swatch AG in Biel (Switzerland). Together with Shigeru Ban Architects Europe we are doing the design development of pavilions made of cardboard. We have worked with SBAE before for the Volvo Ocean Race of 2012 (Figure 2). These will be used as meeting rooms in the interior of the building. Bookshelf-shaped walls made of cardboard tubes and planks are used as a load bearing structure, that is even supporting a floor. A glass shell is providing the stability.



Figure 2: Pavilion Volvo Ocean Race (Tentech and Shigeru Ban Architects)

We are also involved with DUS Architects in the Canal House project in Amsterdam. This house will be completely 3D printed. Furthermore, we are seated in the Eurocode committee for membrane structures, but besides all these projects we also provide on-site checks at festivals. After the tragedy at Pukkelpop in 2011, the safety regulations have become stricter. Just before opening of a festival we check if everything is built up correctly and carry out a risk analysis. We do not only check tents, but also decorations, scaffolding and such, since they clearly may not collapse during the festival. We also carry out anchor tests to check the capacity of the anchors and the soil. Since not every event is held on the same soil it is important to check this.

What can I expect when I apply for a job at Tentech?

At Tentech we have people working with different functions. We have project managers who are in charge of the design teams, engineers that account for the structural calculations and CAD-engineers who make drawings. These drawings are very important, since we are working with complex shapes. Therefore, it is useful for us to make a 3D model early on in the process. We use this model to design every little detail of the structure. Finally we also have specialists that know all about cutting patterns or a particular material (e.g. cardboard).

Since we have a lot of in-house knowledge we have set up the so-called 'Tentech academy'. We organize moments to talk about a specific theme where we can broaden the knowledge of our employees. For example, we can discuss software, or our strategy for the upcoming years, but also something basic like how to make a report or drawing. We also treat interesting content used in our projects or let a student talk about his master's thesis.

When you start working here, you usually are not directly an expert in lightweight structures. The first two years of your career we let you get to know this type of structure, which is very different from conventional structures. You need to change your mindset: you need to seek the limits of a material or design. Unity checks very close to 1.00 are not uncommon here.

So, in the beginning you receive a lot of guidance and get the opportunity to see all sides your job has to offer. After this two year period you will be assigned with a specific function. Some people have a lot of affinity with calculations, others are more interested in designs or shapes. At Tentech we try to let you work with whatever suits you.

What separates lightweight structures from the more conventional structural designs?

From the first pencil line, until the tightening of the final bolt we are involved in a project. Let's use tents as an example. Tents are very complex to design and build; each node is different. Not only the structural reliability needs to be assured, but it also needs to be built up easily. We basically supply some sort of 'building kit'. For every tent a so-called 'tent book' is made. In this book you can find a report of the calculations, but also a step-by-step description of the construction. This book travels along with each tent.

When designing a temporary structure you need to think about every little detail. You need to think about transportation, since the pieces will no longer fit when they rust or deform. You need to think about assembly sequence, hoisting plan, cutting patterns, and logical connections that can easily be assembled on-site. It is important to have a certain knowledge of these areas, since you need to take these into account from the beginning of the design process.

In short, construction technology is a lot more important. This is very specific for temporary structures; everything is prefabricated and needs to fit perfectly on-site.

What is your future vision on lightweight structures?

I think the technology will develop even more, because the demand will increase. The concept of designing something to stand up for over 50 years, might become outdated. Structures will no longer be as permanent as they used to be. So temporary structures will make their appearance more and more. I also foresee an uprising of parametric design.

Likewise, in the world of festivals a lot more innovations will happen. Each festival wants to outdo their competition. Designs and shapes are becoming more extreme. The Netherlands and Belgium are market leader when it comes to festivals. New products are tried out here and, when successful, shipped to other countries.

When it comes to Tentech, I foresee us trying out new innovative materials. Recently we already started with cardboard, bamboo and 3D printing. Also we will internationalize even more. Three years ago we started with projects in Belgium. Now we have projects in countries like Switzerland and we are even investigating the opportunities in countries such as South-Africa.

Figures:
Header, 1-2 Tentech bv

Tensile structures: mobile and stationary

By: ir. Daan Rietbergen

Tentech bv

Tensile structures are often used for festivals to create temporary structures which are fast to erect and easy to transport. Tentech, based in Utrecht, is an engineering office that designs and engineers such structures. However, tensile structures with a live-span of more than 50 years are not uncommon. Such structures demand good engineering and high quality materials. In this article we show two extremes. First a temporary, inflated and frivolous pavilion, traveling around world. Secondly, a structure fixed on its location, placed above a condensate loading area demanding the highest safety factors for a structure.

Inno-wave-tion

Tensairity

Tensairity is a term noted by Pedretti and Luchsinger. The term is a combination of tension, air, and integrity and reflects the relationship with tensegrity. It is a method to create inflated structural elements, with a relatively low air pressure. A tensairity beam can be considered an underslung cable beam. In an underslung cable beam the horizontal tension and compression elements are separated and pushed apart by vertical pressure elements. In Tensairity, the vertical pressure elements are replaced by air pressure. The horizontal tension and compression elements are maintained. In 2009 Wever and Luchsinger demonstrated the lower horizontal tension element, the underslung cable, could be replaced with a mesh fabric and demonstrated the increased buckling resistance of the concept.

Experience with Tensairity for Tentech was gained in 2012 with the engineering of a large shelter for events, commissioned by Buitink Technology, in cooperation with ABT. A design with eight spindle shaped Tensairity beams, and with membranes stretched in between. More relevant experience to create the inno-wave-tion project came from engineering many Bio-Gas Covers.

For an around-the-world traveling pavilion, designed by Silvain Dubuisson Architecte, Tentech engineered a light weight roof structure based on the so-called Tensairity principle (*Figures 3 and 4*). Rhino's Grasshopper was used as a starting-point for form-generation and engineering and greatly eased the process to create workshop drawings and patterning of the fabric. The roof structure is part of the main pavilion for exposition WAVE, organized by BNP Paris-Bas, starting in Parc de la Villette, Paris.



Figure 1: Interior of the Wave-Pavilion

In his design and materialization, architect Silvain Dubuisson aimed to reflect the enthusiasm, experimentally and fluidity of these movements. He uses a collage of materials, geometries and techniques. A simple wooden floor, stainless cladding, and the inflated UFO-shaped roof based on a meandering torus, a central sphere and a membrane stretched between the torus and levitated by the central sphere.



Figure 2: Exterior of the Wave-Pavilion

The geometry of the project was well defined by the architect and further developed by Tentech. The concept of the torus, the central sphere, dimensions and materialization as well as the wish to use an inflated structure to magnify the unconventional and temporary image. Beginning the engineering process, the design was rationalized using Rhino's Grasshopper and slightly twiddled to create a more stable and feasible shape. The initially arbitrary shape became a clearly defined geometry described with few parameters. During the further process, the grasshopper model could be altered to create structural data, patterning data, and workshop drawings. The structure of the roof works as a tensile compression ring; the torus works as the compression ring for the membrane. Tensairity appeared convenient to increase the buckling resistance of the torus.

Structural concept

The structural system (*Figure 3*) works as a tensile compression ring. The donut spreads the roof membrane and the central sphere's pressure controls its tension. Both donut and sphere are supported by columns. The compression ring is built from the three Tensairity elements, a pressure element in the top, the fabric web and air pressure. The roof membrane is attached to the top of the torus, the horizontal force in this point is transferred to a steel pressure ring which, in its turn, is stabilized by the pressurised air beam, increasing the buckling resistance of the complete beam.

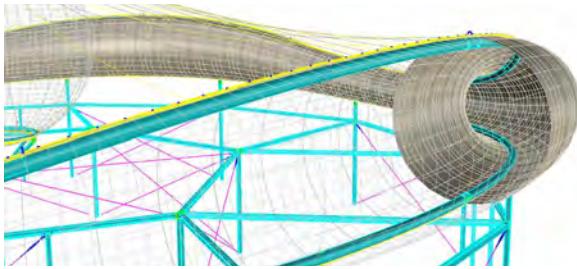


Figure 3: Cross-section of the inflated tube

Inside the air beam, a second steel beam is placed in the bottom. This beam does not have the function to increase the torus' capacity, but to distribute the point loads of twelve supporting columns. The two steel beams are also starting points during the assembly of the structure. The torus is built from two separate membranes, the inside and outside, which are joined along the upper and lower steel beam. The air tightness is achieved by stacking rubber and PE strips, bolted together.

The Inno-wave-tion project shows us Tensairity is a feasible method of constructing temporary structures and shows that the use of Rhino's Grasshopper eases the engineering process of such structures. The combination of Tensairity and Grasshopper has revealed a new path for building striking new shapes.

Condensate Loading Tent, TAQA, Bergermeer

Design

Gas Storage Bergermeer is an independent gas storage facility located near Alkmaar in the Netherlands. It is developed by TAQA Energy and provides Northwest Europe with seasonal storage capacity. The gas storage re-uses a depleted gas reservoir, which has the ideal geological characteristics for gas storage and is strategically positioned in Europe's gas network. The Loading Tent at Bergermeer is located near the entrance of the facility. Its function is twofold; it protects the underlying Condensate Loading Station, and it forms the architectural frontline of the storage area.

The structure is designed by Tentech and Jinx Architects. The design is based on two main columns and four side columns. The two main columns and two of the side columns are placed in a square of 17x17 meters, on the four corners of the loading station. The difference in height of these four columns creates a hyper-shaped surface. However, as a result of the size of the surface, an extra ridge-cable is added. Along the four edges of the hyper, extended surfaces ensure covering the entire area. Guy cables varying from Ø24mm to Ø40mm are used on all six masts. The main masts have a height of 18 meters.

Due to the location of the structure above a gas condensate station, several safety considerations were taken into account during the engineering process. The live-span of the structure in combination with the high wind-pressure in the area was another design objective. The live-span of the structure is 50 years. For a structure, this is not uncommon, however for a tent in this specific wind area, 50 years results in high safety factors.



Figure 4: Condensate Loading Tent, Bergermeer

Another safety consideration is the chance of a fire or an explosion. For this, alternate load paths are incorporated in the design. Failure of any part of the fabric or cable should not endanger the rest of the structure. These alternate load paths were designed by stabilizing every column with at least four cables in four different directions. The next step was to test different load cases with the model in which for every load case one cable was removed. Connections in the project can freely rotate. All possible extreme movements in the fabric are incorporated in the steel elements to be able to follow these movements. For detailing, this resulted in using hinges, toggles, and ball and socket-joints.

Fabric

The fabric used is a Serge Ferrari TX30 type V fabric. The fabric is guaranteed to serve 25 years, which is uncommon for fabrics. Due to the big surfaces of the project, the fabric is strengthened with double layers of fabric and extra welding webbing. The TX30 coating helps to keep the fabric clean. The Bergermeer project is the biggest project up to now with this specific material.



Figure 5: Connection of the fabric to the edge column

Assembly

The tent structure covers an existing pipe-rack. The distance between the tent and pipe-rack is minimal. For construction this meant the structure had to be assembled next to the site, and subsequently hoisted and lowered over the pipe rack, by four cranes working simultaneously in one big choreographed movement. The next step, tensioning the membrane, is done by tilting the four edge columns backwards and jacking up the two main columns.

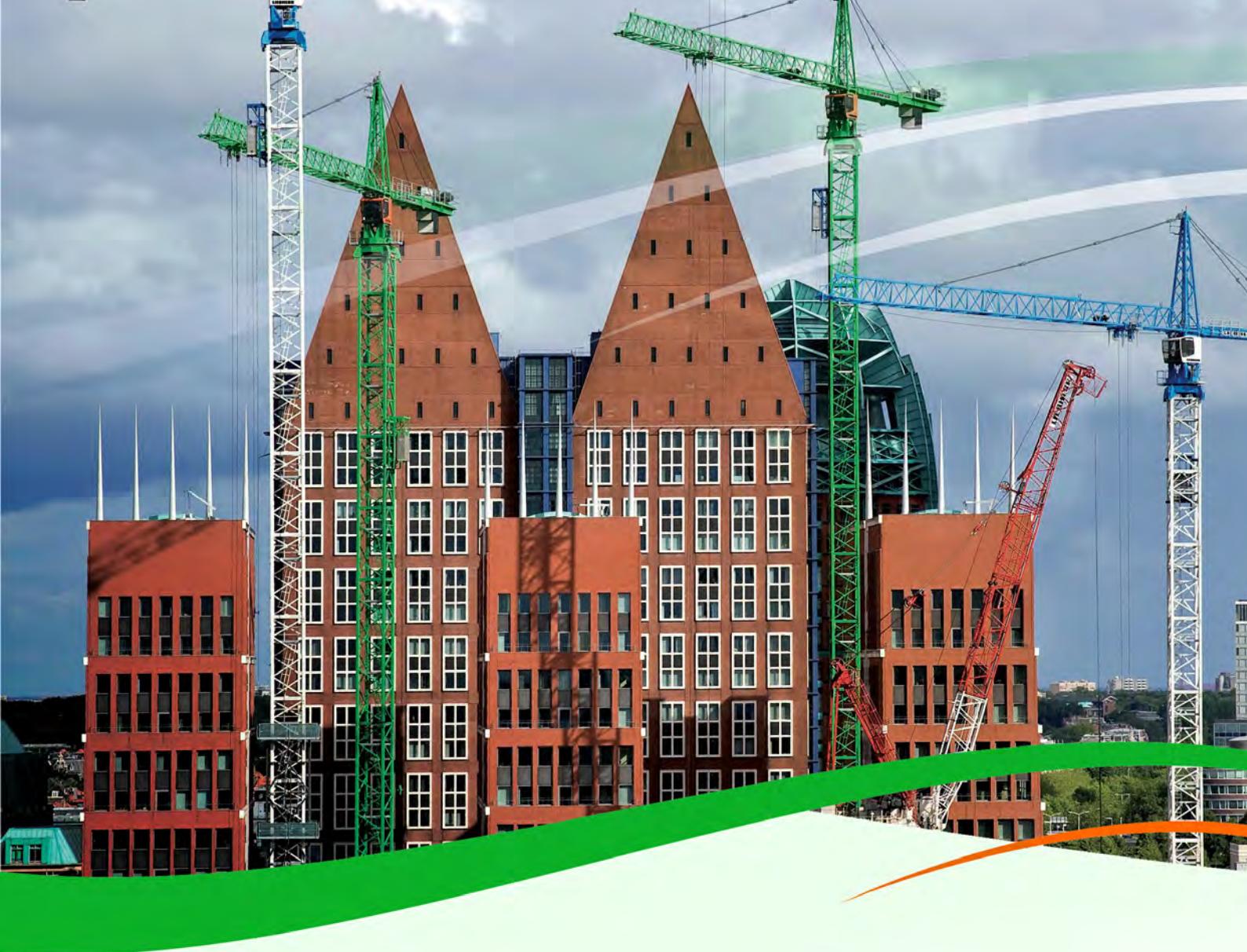
Stationary and mobile

The two projects show two extreme possibilities in respect to mobility. The first is traveling around the world, the second will protect its underlying structure for the coming 50 years. The first uses air as structural element, the second needs 30 meter long grout anchors to stay in place. Tensile structures are divers, and often offer beautiful solutions.

Figures:

1-5

Tentech bv



Gezocht: talent met passie voor techniek!

De projecten van Koninklijke BAM Groep kom je over de hele wereld tegen. In Nederland staat BAM aan de basis van vele veelzijdige, toonaangevende projecten, waarbij innovatie en duurzame ontwikkeling een belangrijke rol spelen.

BAM is thuis in alle aspecten van bouw, infra en techniek. En is betrokken bij de verschillende fases van het bouwproces, van initiatie en ontwikkeling tot aan financiering en onderhoud. Veel projecten zijn integraal en multidisciplinair. Daarom kun je bij BAM aan de slag in diverse startersfuncties. Kijk voor meer informatie over onze mogelijkheden op www.bam.nl/werken-bij-bam.



Skywalk during construction

(from: Megastuctures, NGC)



Sideview of the skywalk and museum building

Skywalk at the Grand Canyon

In March 2007 this tourist attraction in the Grand Canyon National Park (USA) opened for the public. Since then, over 2 million people visited this skywalk. The structure, consisting of steel boxbeams and a glass floor is shaped as a horse-shoe which offers visitors a 21 meter long walkway over the edge of the canyon wall. At the tip of the glass walkway, the structure cantilevers 219 meters above the Colorado River at the bottom of the canyon. This engineering masterpiece that took four years and 30 million dollars to complete provides visitors a spectacular view on the depth and magnitude of the Grand Canyon. Some structural facts of the skywalk are:

- The Grand Canyon Skywalk was designed and engineered by MRJ Architects & Lochsa Engineering.
- The skywalk foundation is strong enough to support about 32 million kilograms – the equivalent of 71 fully loaded 747 airplanes.
- The foundation consists of eight columns that support the steel box beams. Each box beam is 1.6 meters high, 80 centimeters wide and has 5 centimeters thick walls. The Skywalk is designed to absorb vibration and avoid galloping in windy conditions. The beams were custom fabricated in Utah in 12 meter sections and then trucked to Grand Canyon West. The pieces were welded on site in four months.



View from the skywalk on the Grand Canyon

(from: Maniak_AZ on Flickr)

(from: Sileong on Flickr)

- Three tuned mass dampers specifically calibrated to meet the wind and weight requirements of the location were placed inside the horseshoe frame, making it structurally sound.
- Two and a half years after the start of construction, the rollout began. Engineers used the same rod and plate method used on the Egyptian pyramids to roll it out over the Grand Canyon. Rollout was completed in two days.
- The structure consists of more than 450 tonnes of steel and 37 tonnes of glass.
- The glass walls are about 1.5 meters high – safer than code, yet low enough that guests do not feel confined.
- The skywalk is 3 meters in width.
- The 46 bomb-proof glass panels were replaced in 2011, four years after opening. The new glass panels consist of five layers of glass bonded together and measuring over 6 centimeters thick, weighing 800 kilograms.
- Each panel has a thin “sacrificial” layer of glass that can be removed and replaced by hand when it becomes scratched. The sacrificial layer will be replaced annually so visitors may always have a crystal clear view of the majestic canyon.
- Each panel can support 5 kN/m^2 , which means the entire skywalk can handle 800 people at once.



Glass engineering

Glas, uitdagend innoverend

Door: ir. Erwin ten Brincke

ABT

Innoveren is leuk en staat dicht bij het wetenschappelijk onderwijs, omdat het iedere keer gaat om één vraag:

“waarom?”. Waarom stempelen we nog steeds breedplaatvloeren? Waarom construeren we nog zo weinig met glas?

Waarom schrijf ik dit artikel?

Inspirerend onderwijs aan de TU Eindhoven heeft bijgedragen aan mijn drang naar vernieuwing. In de eerste twee jaar daagde architect Bart van der Vossen (Rijnbouw) me uit tijdens het atelierwerk. In een later project tijdens mijn studie daagde Faas Moonen (TU/e) me uit om een breedplaat te ontwikkelen die niet meer onderstempeld hoeft te worden. Het mooie van innoveren is dat het te lopen pad of het eindpunt aan het begin van het traject nog niet duidelijk is. Dat afstuderen voor mij dan niet een standaardkeuze ontwerpopdracht in staal of beton zou worden, mag duidelijk zijn. Het was mijn insteek om een ontwerp te maken van een glazen loopbrug; dat uiteindelijk een groot deel van mijn afstuderen numeriek onderzoek (Ansys) betrof, had ik niet voorzien, maar heeft mijn blik zeker verbreed. Om bij ABT te gaan werken was voor mij een vanzelfsprekende keus; Een groep ingenieurs met brede multidisciplinaire kennis en vaak een specialisme ernaast. Altijd op zoek naar iets nieuws, iets beters.



Figuur 1: Casa da Musica, Porto (2005)

Efficiënt materiaalgebruik.

Voor Casa da Musica in Porto, Portugal (*figuur 1*) daagde Rem Koolhaas ons uit om een gevelvlak van twaalf meter hoog te voorzien van glas. Het buigen van de glaspanelen is het antwoord geworden na een creatief proces. Hoe logisch het er in 2005 op papier ook uitzag, meerdere mensen moesten ervan overtuigd worden dat het écht sterk genoeg was. Proeven doen, geeft het nodige vertrouwen en is daarnaast erg leuk om te doen. Om een voldoende veilige, sterke constructie te garanderen, testen we in dat soort gevallen tot 3 keer de extreme optredende belasting. Bij een ander project hebben we, in het werk, zelfs tot 5 keer belast; men is uiteindelijk gestopt omdat men bang was dat de steiger zou bezwijken. Het resultaat is betoverend en geeft meerwaarde aan de architectuur. OMA werkt met de vier elementen aarde, water, vuur, lucht. In het ontwerp is het witte beton ‘aarde’ en golvende glazen gevel ‘water’. Een onvoorzien bijkomend voordeel was de akoestiek: de vorm droeg bij aan een diffuse geluidsweerkaatsing in de concertzaal.

Kwaliteit benutten

In een gevel wordt glas vanuit haar visuele eigenschappen op haar best benut. Maar als je constructief kijkt niet, omdat glas daar op buigen wordt belast. Buigen geeft trekspanningen, terwijl glas een veel hogere druk-, dan treksterkte heeft: 45 N/mm^2 versus 900 N/mm^2 (!). In 1997 is deze kwaliteit benut in het vakwerk van het atriumdak van Zwitserleven in Amstelveen (*figuur 2*). Drukstaven van



Figuur 2: Glazen drukstaaf, Zwitserleven Amstelveen (1997)

glas met een diameter van 30 millimeter. Een ontwerp dat in zichzelf al de taal van constructief ontwerpen spreekt. Daar waar trek zit staal, daar waar druk zit glas. Als we de drukstaaf langer maken; wordt het een kolom. Om veiligheid en robuustheid te waarborgen worden er zeven staven met een diameter van 30 millimeter aan elkaar gelijmd, dus als er één stuk gaat zijn er voldoende buren die een gereduceerde kracht kunnen overnemen. Aan het idee van een glazen kolom moeten veel mensen, waaronder ook constructeurs, wennen. Om aan te tonen dat het kan, zijn er ontwerpen voor een glazen kolom in ons eigen kantoor in Velp gemaakt (figuur 3). De glazen kolom met zeven staven Ø30 heeft een diameter van 90 mm en vervangt een betonnen penant van 200x600 millimeter. Uiteindelijk zal de kolom belast worden tot 120 kN (het gewicht van zes Audi A8's). Omdat zelfs constructeurs er vragen over stellen, hebben we het ontwerp voorzien van een digitale drukmeter, zodat afgelezen kan worden hoeveel druk er in de kolom zit. We zeggen daarom niet voor niets dat glas zes keer sterker is dan beton.

Precisie

Innoveren betekent lef hebben, dat geldt zowel voor ingenieur als opdrachtgever. De P.C. Hooftstraat in Amsterdam staat bekend om haar bakstenen gevels. Hoe maak je dan een gevel in dezelfde stijl, maar dan totaal anders? Al ontwerpend kwam MVRDV op het idee van glazen bakstenen, en dan niet van die holle glasbouwstenen die we kennen, maar massieve. De uitdaging van de gelijmde glazen gevel lag, naast sterkte, nog op meerdere vlakken. De grootste uitdaging daarvan



Figuur 3: Glazen kolom, kantoor ABT Velp, bestaand en nieuw (ontwerp)



Figuur 4: Crystal House, Amsterdam

zat in de maakbaarheid. Een lijm haalt de hoogste sterkte als deze dun is; niet alleen de vlakheid van de stenen, maar ook de voegen moesten dun zijn. De stenen werden met een nauwkeurigheid van 0,2 millimeter gelijmd. Hiervoor zijn er door de TU Delft metselaars speciaal opgeleid om dit te kunnen doen. Eind dit jaar zal de winkel open gaan (figuur 4).

Ga de uitdaging aan

Innoveren is een creatief proces met onbekende afslagen, tegenslagen resulterend in een gevoel dat je onverslaanbaar bent: je verstaat de kunst om tegenslagen om te buigen naar een kans. Een kritische, optimistische houding brengt je in je studie, maar ook in de beroepspraktijk een stap verder. De TU Eindhoven, en dan met name het Pieter van Musschenbroek laboratorium kan haar innovatieve karakter uitdragen, door de samenwerking met het bedrijfsleven verder uit te breiden.

Figuren:

Header	Raakskubus in Haarlem, ABT
1,2,3	ABT
4	(links) MVRDV, (rechts) TU Delft



Erwin ten Brinck (1974) studeerde in 1999 als eerste student af aan de TU Eindhoven op het gebied van constructief glas (transparante loopbrug in de stationshal van Groningen CS). Sindsdien is hij werkzaam bij ABT, alwaar hij doorgroeid is naar adviseur en leiding geeft aan de Glasgroep: een groep die zich bezig houdt met

het ontwerp, berekening en innovatie van glasconstructies. Een breed georiënteerde adviseur met als specialisatie constructieve glastoepassingen. Hij geeft lezingen op glasconferenties, is Visiting Lecturer aan de TU Delft en het Deense Betoninstituut (DKBI) en begeleidt afstudeerders van HBO en universiteit. Zijn visie is om meerwaarde te leveren aan het project, door bijvoorbeeld met de constructie meerwaarde te leveren aan de architectonische expressie (Groninger Forum, Linnaeusborg, CODA). Op het gebied van glas is momenteel het Dubai-I in aanbouw: het grootste reuzenrad ter wereld van maar liefst 210 meter hoog. ABT verzorgde het ontwerp van de dubbel gekromde glazen cabines die de extreme weerscondities van de Verenigde Arabische Emiraten moeten weerstaan.

Engineer Your Future



We are engineers. We take on the toughest and biggest challenges. And we excel at them.

We believe that we are only as good as our people. So, we make sure we get the best.

We Are Fluor.

FLUOR®

www.fluor.com

© 2013 Fluor Corporation.





Thirty meter tall high-rise building in wood

Patch 22 - Amsterdam

Interview with: ir. Thijs van Schenk Brill

Pieters Bouwtechniek

Wood is a natural material with a limited strength and stiffness and is, unlike other structural materials like concrete or composites, not so easily developed to a higher level of structural performance. Although innovation on the material level is difficult, buildings comprising wood as main load-bearing material can still achieve impressive heights.

At this moment, a wooden high-rise is erected in Amsterdam North, called Patch 22. Located directly at the waterfront, Patch 22 finds itself in an interesting location. Architect Frantzen et al. combined the location with a building design that is supposed to be energy neutral, durable, and above all, flexible. Although undoubtedly the architecture of this building is interesting, the structural engineering supposedly is too. Thus, whilst some of you were enjoying the summer holidays, Angelique and Gydo travelled to Amsterdam and spoke about the structural ins and outs of this project with one of the structural engineers that worked on this project; Thijs van Schenk Brill from Pieters Bouwtechniek.



Brief introduction

"My name is Thijs van Schenk Brill, 32 years old, and currently active as project manager structural engineering at Pieters Bouwtechniek in Amsterdam. After completing the study Architecture, Building and Planning at Eindhoven University of Technology I

started as structural engineer at Bouwadviesbureau Strackee in Amsterdam. From the beginning I was privileged to work there on various building projects, improving my structural engineering skills. I was able to continue improving myself when I switched to Pieters Bouwtechniek in Haarlem, and later, to their office in Amsterdam. 'Connecting' is for me the keyword within the field of structural engineering. Of course literally, because this is what you do daily as a structural engineer, but maybe even more along the lines of connecting the various diverse disciplines that are associated with the building industry: as a structural engineer, you are the person that is able to translate architecture into a feasible structural design and to connect its abstractness to a practical contractor. In seven years, this is exactly wherein I have found my drive."

Design

Flexibility and durability, these are the two most important parameters that dominated the most early design choices. Patch 22 comprises spacious lofts meant for both living and working, but on the lower floors space is reserved for commercial retail as well. Especially floor three to seven, where the lofts are located, are designed to be very flexible. Here, the load bearing structure consists of columns with a large center-to-center distance, which results in a large open space that can be subdivided into any desired floorplan. To further enhance flexibility in a functional sense, the variable floor load is taken as 4 kN/m^2 , where 1.75 kN/m^2 would be required for a living function. The other parameter, durability, is observed mainly in two aspects: a self-sufficient energy system, which is not further discussed here, and the use of material; wood. Of course, the durability of timber compared to other structural materials can be debated, but at least it has an image that is durable.

Structural system

The durable image of wood was one of the things that led the architect to ask if it was possible to construct the whole building out of wood. The feasibility was examined by Pieters Bouwtechniek, but it was soon concluded that this was hard to achieve. Especially ensuring sufficient stability proved to be difficult, in particular because of tension and compression connections for the wind bracing. Since wood is not such a stiff material as other conventional building materials, some connections would undesirably tend to open at the transition of compression to tension. In the end, a more pragmatic solution was chosen with the main loadbearing structure still constructed in timber, while stability of the total structure is now ensured by a concrete core.

The concrete core is located at the center of the building and contains all vertical transport; stairs, an elevator, piping and ducts, see Figure 2. The two walls at the long side of the core are sufficient to provide stability for wind



Figure 1: Current view of the building site (August 2015)

facing the less broad east and west facades of the building. In the other direction, the elevator shaft and several other walls that are connected to this shaft act together to assure stability. The elevator shaft is made very stiff by a larger wall thickness compared to the other walls. *Figure 2* shows the third floor level of Patch 22, including the core lay out.

Moment capacity is enhanced at the two lower floors of the building, where the complete ground floorplan is designed as a robust concrete table structure. Furthermore, this robust structure also helps to spread all horizontal forces more evenly over the foundation. The table's structure is quite simple: it comprises mainly hollow wall elements, which act simultaneously as framework and finished dry interior and exterior, and columns in two long facades. One of the advantages of the hollow wall elements, next to the dry interior and exterior is that due to the 'lost' formwork immediately a certain level of strength is assured. On one of the two facades, where more transparency was desired, the closed wall is replaced by architecturally pleasing inclined columns. These are calculated as inclined load-bearing columns that have to bear one of the relatively closed facades of glued-laminated timber.

As mentioned, flexibility was one of the important parameters governing the design. As such, the application of a flexible floor system that would be able to support free subdivision of the floor plan in any eligible lay out was desired. Furthermore, because timber is the main vertical load bearing structural material, the weight of the floor had

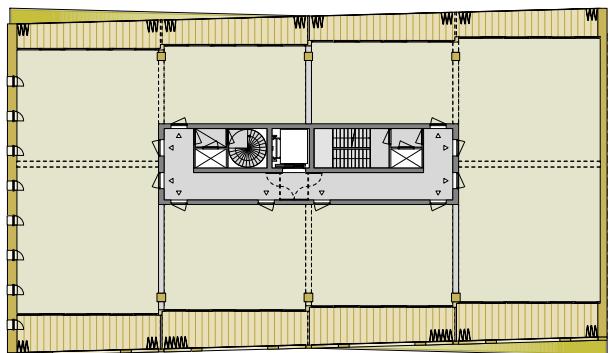


Figure 2: Third floor level



Figure 3: Patch 22 after completion

to be reduced as much as possible. For these two reasons, after a Kerto floorsystem was considered, the Slimline floor system was eventually chosen. This system is relatively light and can provide the required degree of flexibility. On the other hand, due to the fact that this is a light-weight system, sufficient attention had to be paid to vibrations and sufficient fire resistance. In the end both problems were solved simultaneously by increasing the thickness of the concrete slab; the natural frequency is enhanced and fire resistance of the steel beams in the floor is assured.

The floor has to provide diaphragm action to some extent to guide forces from the facade to the core. The forces are not all too large though, because the building is not so large compared to its core and wind loads are guided pretty directly from the facade to the beams and from the beams to the core. It was found sufficient to connect the Slimline floor elements to each other by means of small welded steel plates.

At first sight, it looks like the timber structure is contributing in the stability with its two closed glued laminated walls of 214 millimeter thickness on the short facades of the building and the massive eye-catching truss frames on the other facades. However, the truss frames are purely architectural and the closed facades only aid a little in the stability.

Most of the vertical forces are transferred via a timber column-beam structure in laminated timber. The timber structure, which is constructed by straightforward stacking of elements, was at first calculated using GL36h, but it turned out that the highest cost effective and deliverable strength was GL32h. Although GL36h already would have resulted in large column dimensions, these are now even larger, but decreasing in dimension over the height of the building. The square section of the columns varies from roughly 700x700 to 500x500 millimeters in cross-section. The consequence of the required dimensions is that all beams and columns had to be composed out of two separate elements, which are assembled in the factory and brought to the building site in one piece. Two main issues to consider when constructing in timber are vibrations and fire resistance. However, due to the large

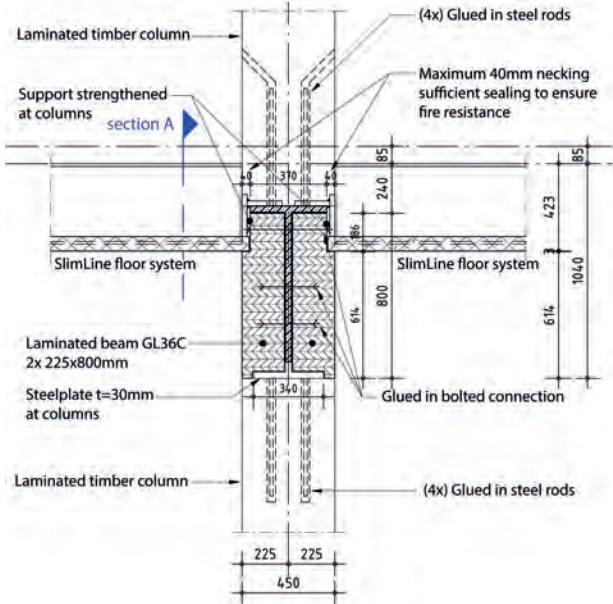


Figure 4: column-beam-column connection detail (section B) (Concept)

dimensions of the timber structural elements, the applied Slimline floors are governing for vibrations and not the load bearing timber structure. Fire resistance was of more concern though, as the building must be able to withstand a 120 minute standard fire. This problem is solved by using the knowledge that wood protects itself by creating a protective coal layer and thereby reduces the burn rate: the dimensions of the beams are based on this fact.

The choice for timber as the main load-bearing material definitely had an influence on the detailing of the building. Especially the column-beam-column connection, from the third to the fourth floor, was difficult, because the vertical forces, which are the highest here, have to be transferred through the column, via the beam, to the column underneath. The forces in the beam act perpendicular to the grain, which is not the strongest property of wood. With steel connecting plates the force introduction is manipulated, but even then some extra threaded screws had to be inserted. Figures 4 and 5 show a preliminary design of the column-beam-column connection. The beam is composed of two parts and has a steel I-shaped connecting plate embedded in it, exactly at the location of the connection to the columns. In the end, additional threaded screws were applied to further increase the strength, such that the required maximum capacity could be guaranteed.

Like every building in Amsterdam, also Patch 22 had to be built on piles. The location of the building, next to an old Fokker airplane factory, imposed a rare problem for building construction. During World War II, in 1943, 41 allied bombers tried to destroy the factory but they largely missed and their bombs fell down on the surrounding residential areas. This was one of the heaviest bombings that Amsterdam had to endure during the war. Two later attempts were successful though, and the factory was destroyed. Nowadays, although most bombs (exploded and unexploded) are cleared from the area, some unexploded bombs could still remain in the ground,

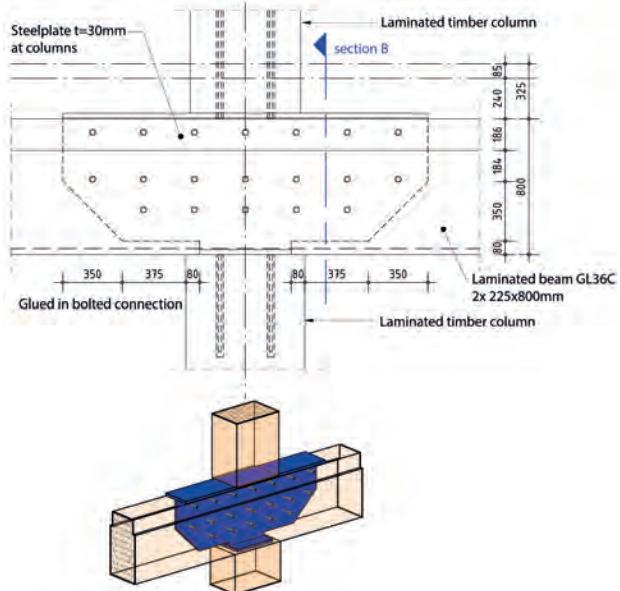


Figure 5: column-beam-column connection detail (section A) (Concept)

which has resulted in a risk during construction of the pile foundation. In this area, the piles have to be driven into the ground absolutely vibration-free and for every pile, a pre-drilling must be done, which is expensive and very time-consuming. To save time, because each cone penetration test (CPT) also had to be pre-drilled, the CPTs in the risk area were executed exactly at the position of some piles.

Review

In the end, several completely different materials are applied in the structural system of Patch 22. Apart from the core, this has resulted in pretty fast erection of the building, with approximately two weeks per floor. However, because several parties were involved in the engineering, disadvantage was that it was sometimes unclear who was responsible for the engineering of the details where these materials meet each other. Better agreements should have been made upfront to avert these problems. Finally, Pieters Bouwtechniek took up most of the problem cases and major problems never occurred.

On the statement that timber will become a more established material for high rise, Thijs disagrees. The five floors in Patch 22, which the timber structure has to carry, already result in very expensive connections, leaving a very profitable building out of the picture. In this case timber only survived because of the client's wish, but another structural material like concrete might have been a better choice, as wood is the lesser on various areas; larger structural dimensions, more expensive due to more difficult detailing, and not superior when exposed to fire. Furthermore, timber is not always the best solution in terms of acoustics and vibrations. Nevertheless, Pieters Bouwtechniek doesn't walk away from challenges of engineering timberstructures and has already started on the next high rise building in wood. Five meter taller than Patch 22.

Figures:

Header,2,3 FRANTZEN et al architecten BV
1 Redactie KOersief
4,5 Pieters Bouwtechniek

BetonKanoRace 2015 - Weekendverslag

Door: Thijs de Goede

Voorzitter KOers, KOers BKR commissie

29 mei 2015, de dag waar we met z'n allen naar toe hebben geleefd. Zal de vervoersstelling het houden? Zullen de kano's allemaal heel aankomen? Hoe wordt de innovatieve kano ontvangen? Gaan we ook snelheidsprijzen winnen?
Vragen die snel beantwoord gingen worden. Vanaf 9 uur begon men met de installatie van de stellage in de daarvoor gehuurde (nogal lange) aanhangwagen. Na wat pas- en meetwerk kon men beginnen met het inladen van de brancards met daarin de kano's. Het ontworpen systeem leek goed te werken en we ontwikkelden goede hoop dat de kano's dit jaar, in tegenstelling tot vorig jaar, daadwerkelijk allemaal heel aan gingen komen. Ook alle bagage werd ingeladen en al snel kon een kleine delegatie van de BKR commissie met de geleende SUV (van een alleraardigste papa!) richting Zevenhuizen vertrekken.

De rest van de commissie ging samen met de deelnemers naar Rotterdam. Hier hebben zij een presentatie en rondleiding gekregen door het vernieuwde Erasmus Medisch Centrum. Deze extra activiteit werd door Aronsohn raadgevende ingenieurs aangeboden omdat wij het weekend in hun 'thuisstad' verbleven. Dit leverde een interessante kijk op de complexiteit die het bouwen en ontwerpen van een ziekenhuis met zich mee brengt. De strakke planning vroeg om een gehaast afscheid. Het Rotterdamse verkeer werkte ook al niet mee, maar we zijn uiteindelijk bij de Willem Alexanderbaan in Zevenhuizen terecht gekomen.



Figuur 1: Het transport!

Samen met de vervoersdelegatie hebben we de kano's uitgeladen en door de jury laten wegen en keuren. Qua gewicht zat het goed. De samenstelling van onze betonmengsels werd echter niet gewaardeerd. De juryleden vonden het nodig om reeds bestaande, maar altijd genegeerde, regels te handhaven. Wij voldeden niet op het gebied van de minimaal vereiste korreldiameter. Wij waren hier zeker niet de enige in. Ongeveer een derde van



Figuur 2: De kano's zonder enige transportschade

alle deelnemende boten is op gronde van dit reglement benadeeld met strafsecondes. Ons leverde dit 10, 15 en 20 seconden op, op de respectievelijk 100, 200 en 400 meter.

Het weer was op vrijdag niet om over naar huis te schrijven. Veel wind en soms wat regen. In combinatie met de ligging van de roeibaan, midden in de polder met geen boom te bekennen, leidde dit tot het afgelasten van de vlootschouw. Na de introductie van het organiserend comité kon er gegeten worden: BBQ met bier toe. De kantine sloot voor het gevoel te snel, maar dit gaf wel aanleiding tot een lange nachtrust. Iets dat toch wel handig is op zo een weekend. Op naar de tenten en tot morgen!

Goedemorgen! It's race day! Dat was zo ongeveer de strekking van de eerste gesproken woorden op zaterdag. Na een heuse exodus richting de douchegebouwen maakte iedereen zich klaar om van de camping naar de baan te lopen. Een mooi stukje wandelen waar menigeen niet van heeft kunnen genieten, aangezien het ochtendritueel nog niet voltooid was: Ontbijt. Na dit humeur-verbeterende voedsel konden de voorbereidingen beginnen. De boten werden getest en de zwemkleding aangetrokken (voor het geval dat). Omstreeks 10 uur begonnen de eerste races. Op de 100 meter mannen werden de eerste Canadese kano en de innovatieve kano gebruikt. Beiden voldeden goed! Soms maakten de kano's wat water, maar dat mag de pret niet drukken. Zeker vergeleken met andere creaties waren die van ons waterdicht... Nu we toch met vergelijken bezig zijn: wat een pracht exemplaren. De witte brigade zou bij



Figuur 3: Het bivak op de camping



Figuur 4: De manschappen bereiden zich voor met een goed ontbijt

voorbaat de schoonheidsprijs winnen. Zeker de strakke logo's, geschilderd door onze eigen beunhaas Wessel, trekken veel bekijks!

Snel was al wel duidelijk dat we het op qua snelheid niet gingen halen. Qua inzet viel er weinig af te dingen op onze prestaties. Vaak werden we tweede of eerste in de voorwedstrijden. De tijdstraffen waren echter van dien aard dat we na correctie teruggezet werden naar een niet promoverende plek. 10 seconde op 100 meter is vrij fors. Vaak finishten de eerste drie kano's al binnen de 10 secondes. We waren er toch en hebben er daarom een hele leuke dag van gemaakt. Soms lukte het toch om in een finale te liggen en dan werd er van de kant harder geschreeuwd dan ooit! Winnen deden we toch niet, dus gezelligheid alom. Gedurende de races hebben we een heel aantal kano's van andere deelnemers zien zinken. Tijdens de 400 meter mannen vonden Bastiaan en Thijs het nodig om extra meters af te leggen. Een slinger actie leidde tot onafwendbare botsing waarbij de KOers-kano aan het kortste eind trok. De impact van de klap zorgde voor enkele gaten in de bodem die zich manifesteerden als mooie fonteintjes. Door puik peddelwerk van onze roeiers, kwam de boot op tijd bij de kant aan en we hebben niemand in de sloot achter hoeven laten!

Na de races stond er weer een mooie maaltijd voor ons klaar die door alle hongerige deelnemers gewaardeerd werd. Langzaamaan begonnen we ons klaar te maken voor het belangrijkste moment van de dag! De prijsuitreiking... en dan in het bijzonder de prijsuitreiking voor de meest innovatieve kano. De innovatieprijs was onze belangrijkste doelstelling aangezien deze prijs het wetenschappelijke karakter van deze wedstrijd vertegenwoordigd en wij hier graag op scoren. Ook willen we natuurlijk niet onder



Figuur 5: De innovatieve kano die zijn eerste tochtje gaat maken



Figuur 6: Te water laten van de kano's met KOers dames!

doen aan de twee voorgaande commissies. Kortom, er lag een grote druk op onze schouders. Om deze prijs binnen te halen moet de kano het minstens één race volhouden. Aangezien we alle afstanden met de innovatieve vacuümcano gevaren hebben zat dit wel goed. Tijdens de prijsuitreiking werd ons harde werken beloond en de beker voor meest innovatieve (creatieve) kano in ontvangst genomen. Jelmer kon zijn liefde voor bier en bekers niet onderdrukken. Het moment bleek uitstekend om de liefde voor deze twee elementen te combineren. Jazeker, uit deze beker kan ook gewoon gedronken worden.



Figuur 7: Eén van de Canadese kano's

Na alle uitreikingen konden we terug naar de camping om ons klaar te maken voor een mooi feestje in de kantine. Ook ditmaal sloot het hier al vrij vroeg en dus zijn we met een groep Zevenhuizen ingelopen. Een mooie bruine kroeg met bijbehorende vastgeroeste stamgasten. Later was het tijd voor de tent; het matje en gesnurk. Op zaterdag was er in de middag al knakworst op brood geserveerd door chef Arabier. En op zondag is dit nog eens goed herhaald. Met een beter ontbijt kan je de dag niet starten. Nadat de tenten opgeborgen waren zijn we van de zeer prettig bevonden camping vertrokken en hebben we de terugtocht naar Eindhoven ingezet. Winnaars voor de rest van ons leven!



Figuur 8: Alle strijders uit Eindhoven samen met de innovatieve kano

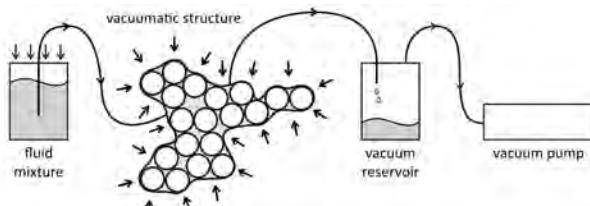
BetonKanoRace 2015 - Innovatieve kano

Door: Jelmer Feenstra, Arjen Deetman

KOers BKR commissie

De hoofddoelstelling voor de betonkanorace 2015 was het winnen van de innovatieprijs. De commissie wilde dit doel bereiken door een kano te maken met behulp van vacuüminfusie. Bij vacuüminfusie wordt een vulmateriaal (bijv. korrels) omsloten door een luchtdicht membraan. De lucht wordt vervolgens uit de flexibele omhulling getrokken waardoor een onderdruk ontstaat. Waarna de constructie (of in dit geval kano) gevormd is, wordt beton door het vulmateriaal getrokken.

Dit is mogelijk omdat binnen het membraan onderdruk aanwezig is (Huijben et al., 2013 [1]). Het principe van deze techniek is in *figuur 1* geïllustreerd. Om de haalbaarheid als techniek en de mogelijke toepassing van de techniek in het vervaardigen van een kano te testen zijn enkele infusie-experimenten opgezet en uitgevoerd. Twee ruimtelijke weefsels zijn getest, te weten: Colbond Enkadrain (3D polyamide structuurmat) en 3D spacer fabric (ruimtelijk geweven nylon structuur). De beschikbare Spacer Fabric samples bleken ongeschikt omdat deze onder een relatief zwak vacuüm al samengedrukt werden. Bij het Colbond bleek de permeabiliteit onvoldoende.



Figuur 1: Het principe van vacuümverzadiging (Huijben, 2014 [2])

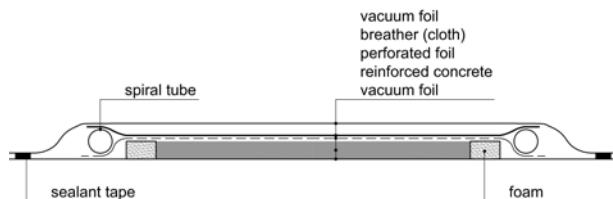
Hoewel de commissie de infusie van beton op een ruimtelijk weefsel haalbaar acht, bleek het optimalisatie proces van het betonmengsel, ruimtelijk weefsel en materieel te tijdrovend. Daarom is gekozen om de focus te leggen op het vacuümformen en uitharden van het beton.

Bij het vacuümformen en uitharden wordt het beton niet door een ruimtelijk weefsel getrokken, maar in een (platte) zak gegoten. Vervolgens wordt, met behulp van een vacuümpomp, de lucht uit de zak getrokken en kan de zak gevormd worden. Het toepassen van een vacuüm zorgt voor een gelijkmatige onderdruk over het oppervlak, met als doel het beton 'op zijn plaats te houden' en daarmee een gelijkmatige betondikte te garanderen.

Voor het vervaardigen van de kano zijn eerst een drietal experimenten uitgevoerd: twee boogconstructies en een



Figuur 2: Twee foto's van het proces



Figuur 3: Opbouw van de zak

punt van de kano. Uit deze experimenten volgt een opbouw zoals is weergegeven in *figuur 3*. Op de eerste laag folie wordt een schuimrand gelijmd die de contouren van de kano vormt. Binnen deze schuimrand wordt het beton gestort. Vervolgens wordt op het beton een gaatjesfolie aangebracht met als doel luchtbellen zoveel mogelijk te voorkomen. Op het gaatjesfolie wordt een ontluuchtingsnet aangebracht (een dik stuk deken). Door het gebruik van een ontluuchtingsnet wordt de lucht uit de gehele zak getrokken, en niet enkel aan de randen waar een spiraalslang is aangebracht. Als laatste stap wordt de zak luchtdicht afgesloten met folie en speciale dubbelzijdige tape.

Nadat de lucht uit de zak is getrokken, is de zak opgehangen in een frame. Na een aantal uren is de vacuümpomp uitgezet; het moment waarop het beton voldoende stijf was. Na een week zijn het frame en de folie verwijderd waarna de kano is afgewerkt.



Figuur 4: Het resultaat na het 'ontkisten'

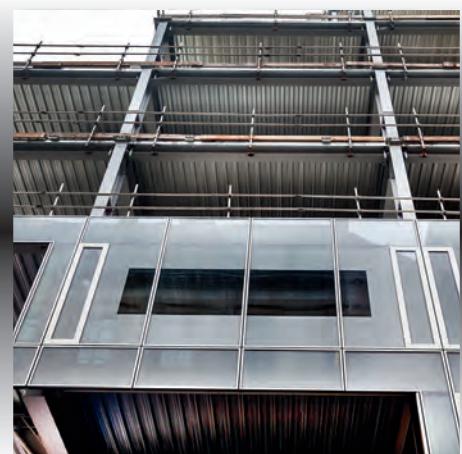
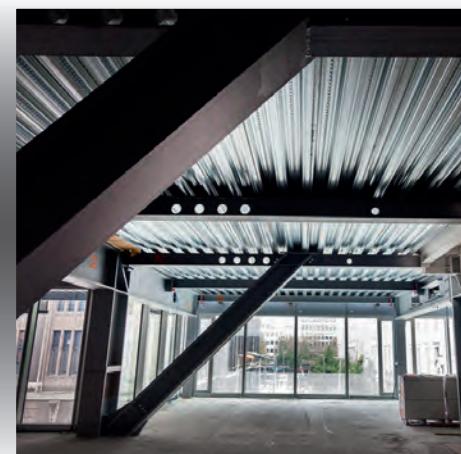
De commissie wil graag alle mensen die hun kennis, kunde en tijd gegund hebben bedanken. In het bijzonder onze dank aan, dr. Q. Yu, dr. F.A.A. Huijben, alle medewerkers van het Pieter van Musschenbroek laboratorium, taskforce vervoer, medestudenten en uiteraard de sponsoren.

Bronnen:

- [1] Huijben F.A.A., Sarfatij O., Slotboom M. (2013). Vrije vormen met vacuümverzadiging. BouwIQ januari 2013.
- [2] Huijben F.A.A. (2014). Vacuumatics: 3D Formwork systems. Eindhoven University of Technology Library: Eindhoven.

Staalplaat-betonvloeren

Onderdeel van uitdagingen



Ontwerpprogramma op onze website
www.dutchengineering.nl



DUTCH
ENGINEERING

T +31 (0)71-5418923 E info@dutchengineering.nl W dutchengineering.nl

Powerful Software for Structural Engineering Fabrication and Construction



Wil jij als student je marktwaarde verhogen, je grenzen verleggen en werken met een software-tool die gebruikt wordt door vele toonaangevende ingenieursbureaus in Nederland?

Wil jij werken met software die met 8000 licenties bij meer dan 5000 engineers wereldwijd ruim is vertegenwoordigd?



Download onze studentenversie www.nemetschek-scia.com/nl/studenten



Passion for a brighter world

Royal HaskoningDHV is een onafhankelijk internationaal adviserend ingenieurs- en projectmanagementbureau met meer dan 130 jaar ervaring. Ons hoofdkantoor is gevestigd in Nederland, met belangrijke kantoren in het Verenigd Koninkrijk, Zuid-Afrika, India en Zuidoost Azië.

Wij voeren wereldwijd, vanuit 100 kantoren in 35 landen, projecten uit die de leefomgeving raken. Onze 7000 professionals voelen zich hierbij gesteund door de kennis en ervaring van hun collega's. Door de combinatie van wereldwijd opgedane kennis en kennis van de lokale situatie leveren we toegevoegde waarde voor onze klanten in hun projecten.

Wij zien een belangrijke rol voor onszelf in innovatie en duurzame ontwikkeling. Daarom willen we bijdragen aan oplossingen om onze maatschappij duurzamer te maken, samen met onze klanten en anderen die eenzelfde visie hebben.

Stage lopen of een afstudeeronderzoek doen bij Royal HaskoningDHV is een goed begin van een succesvolle carrière. Vaak ben je lid van een projectteam en werk je mee aan onderdelen van een project. Nieuwe inzichten en kennis zijn zeer welkom bij het zoeken naar de meest ideale oplossing voor een klantvraag.



Op onze website staat meer informatie over wie we zijn, waar we ons in de praktijk mee bezig houden en ons actuele aanbod afstudeeronderzoeken, stages en vacatures.

“Duurzaam bouwen draagt bij aan een positieve invloed van gebouwen op mens en milieu, nu en in de toekomst. Dat vergt een innovatieve aanpak met het oog op de hele levenscyclus van een gebouw.”

Michiel Visscher, Constructief Ontwerper



Study Trip 2015

Dubai & Abu Dhabi

By: Sander Montréa

Secretary KOers, KOers Study Trip Committee

KOers will be breaking records! The theme of the StudyTrip of 2015 says it all. The trip to Dubai and Abu Dhabi in the United Arabian Emirates (UAE) was packed full of records. Starting with the record breaking number of subscriptions of 37 students, which unfortunately also led to a record number of people we had to let down by the lottery. Ten days in the country where oil is cheaper than water, islands are being built to expand coastlines and the country where high-rise buildings are common and overshadowing their Dutch equivalents, flew by.

It is Saturday, April 25th, 7 PM. A group of 21 enthusiastic students and a possibly even more enthusiastic professor are ready to check in for a trip they will never forget. During the seven hour flight the participants of the study trip were able to get to know each other, and the much needed hours of sleep were traded in for a poker tournament and a thorough inspection of the plane and its toilets. Two landing attempt later we finally arrived in the promised land and first destination of our journey: Dubai.

Dubai

The first day in Dubai started with a chilly 35 degrees Celsius and a visit to the Jumeirah mosque. The students were at their best and participated in the religious rituals prior to entering the mosque. Here we got a presentation of the customs in the mosque and other information about Islam. The Emirates Towers proved to be great architectural and structural buildings. The extremely friendly staff gave an elaborate tour, showing the large atrium of the building, guest suites of the hotel, and the conference areas.

After a night of well-deserved sleep a visit to WSP and the construction site of the Dubai Mall was scheduled. The structural engineers at WSP are responsible for the extension of the Mall, to ensure it will remain to be the largest shopping mall in the world. The highlight of the trip was a visit to the most iconic building in Dubai: the

Burj Khalifa. At 452 meters, approximately halfway in the building, a beautiful view over Dubai was given. Back on groundlevel the famous Dubai Fountains were not forgotten. Accompanied by great music we enjoyed the largest fountain show in the world.



Figure 1: Burj Khalifa



Figure 2: Dubai Frame

A visit to an office of the Dutch company Witteveen+Bos was planned on the third day. Because the office is still being set up we were taken for a walk to the beach. During our walk through the Dubai Marina and while enjoying alcohol free mocktails on the beach we talked with the structural engineer from Witteveen+Bos about working and living in the UAE.

The Dubai Frame, a prestigious project to connect the old and the new part of Dubai, was also on our list. Here we got an interesting presentation about the design, the structural problems and the construction of the frame. We went back to the Dubai Marina at sunset to see the city from a different perspective. The view from two bright yellow speedboats on the Persian Gulf confirmed the enormous size of the city.

Of course, we could not skip a visit to the most famous manmade palm islands in the world. During a presentation from the real-estate agent Nakheel, the company responsible for the design and leasing of the islands, we found out that the Dutch experience on artificial land has been used to build the islands. After the presentation we left the mainland behind and went to the palm island itself. Here we visited the waterpark of the Atlantis the Palm hotel: Aquaventure.

We could not leave Dubai without a glimpse of the world's most luxurious hotel, so on our last day in the emirate we got a tour in the seven star hotel: the Burj Al Arab. Unfortunately it was forbidden to take pictures inside the



Figure 3: View of the Atlantis the Palm hotel from the Dubai Yellow Boats

lobby (obviously this rule was soon broken by pretty much everyone). After some group pictures at the beach with the Burj Al Arab in the background it was time for the desert safari. We were driven Dakar-style in SUV's over the dunes in the desert of the emirate Sharja. Afterwards we were given a traditional Arab barbecue.



Figure 4: Presentation at real-estate company Nakheel

Abu Dhabi

On the sacred Friday we left Dubai and headed to the capitol of the UAE: Abu Dhabi. First on the list of destinations was a project by professor Teuffel. He designed a temporary visitors centre next to the first historic settlement of Abu Dhabi, which turned out to be a bit more permanent than anticipated. After a presentation by professor Teuffel we inspected the building and enjoyed the exposition about the origin and history of the city. A tour through the largest mosque of the UAE was planned for the afternoon. The Sheikh Bin Zayed Mosque became even more beautiful when the sun went down.



Figure 5: The Sheikh Bin Zayed Mosque at sunset

Everyone that thinks of the United Arabian Emirates thinks of the desert. A visit to one of the largest desert-cities, located around an oasis could not be missed. So, we got in the bus and drove to Al Ain, a city close to the border with Oman. The first stop was the new soccer stadium of FC Al Ain, built by BAM International. After the necessary safety talks we were able to walk on the playing field, sit in the dugout and on the grandstands, walk on the roof and even visit the chairman's lounge. We were then dropped at the oasis. Most of us had become reasonably used to the temperatures of the UAE, but being in the middle of the



Figure 6: The Etihad Towers in Abu Dhabi

desert, where the temperature easily reaches 45 degrees, turned out to be a whole new challenge. After meeting some camels at the camel-souk, the largest mountain of the UAE, the Jebel Hafeet, was the last stop of the day. Professor Teuffel presented a project that was once planned on the mountain, a massive indoor ski-slope. The journey back from the top was one we will remember for a long time. The smell of the melting brakediscs mixed with the cold sweat of fear is etched in our memories.

Students don't always like to go to the university, especially not on Sundays. Nevertheless, a visit to the Masdar Institute of Science and Technology was organised. The campus is fully sustainable, and a water tower offers natural cooling to the area. An innovative transport system where self-driving cars transport people between two stations was elaborately tested.

A brief visit to YAS-island was next on our schedule. This part of Abu Dhabi is focused on leisure and entertainment. We went to Ferrari-world to look at the magnificent structure of the dome and at the vehicles on exposition. Next was the adjacent Yas Marina Circuit, home of the Abu Dhabi F1 Grand Prix. The day ended with an elaborate tour in the Etihad Towers. After an introduction in the conference centre of the hotel (opened especially for us) we were granted a closer look at the rest of this complex of 5 towers. From the shopping mall in the basement to the viewing platform at a height of 300 meters, the suites of the hotel and the different restaurants, no doors remained closed for us.

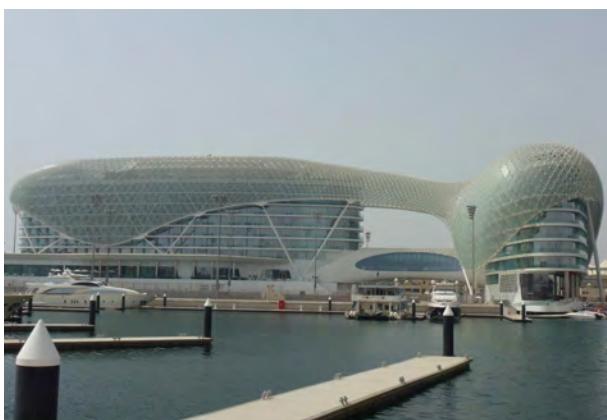


Figure 7: Yas Marina hotel at the Yas Marina Circuit

On the last day in Abu Dhabi we visited the office of the Engineering Consultants Group, where we were presented a quick overview of the different projects they engineered in the UAE and the rest of the world.

The last activity was a tour on the building site of the new Airport Terminal of Abu Dhabi: Midfield Airport. This terminal alone is comparable in size to Schiphol, and at the moment of construction it is already too small for the anticipated amount of visitors.

The trip ended with a farewell dinner at Rosewater Restaurant and a drink at Ray's Bar on the 63th floor of the Etihad Towers, where we enjoyed the view over Abu Dhabi at night for the last time.



Figure 8: A toast on our incredible journey at Ray's Bar

The return trip

On the very last day we left at 10 AM on a Emirates bus to Dubai Airport. After a few hundred meters our journey was suddenly interrupted by a loud bang. The gearbox was broken, and the bus stranded right in the middle of Abu Dhabi traffic. Two hours later taxis finally arrived to take us to the airport. Driving to the airport we could see some of the sites we visited during our trip for one last time. After arrival at the airport we rushed through the terminal to arrive just in time at the gate. The flight was used to watch some movies and a new poker tournament was set up with the remainder of the unused Dirhams as a prize. While we were going home, our suitcases were left in the United Arabic Emirates. They followed a different path than their owners and were delivered 2 days later at the university in Eindhoven.

After 10 days our journey had come to an end. An amazing experience to remember, and friendships for life. On behalf of the committee (Nick Vervoort, Ibrahim Selek, Angelique van de Schraaf, Nahide Soyal and myself) I would like to thank the students for their enthusiasm and participation while making the case studies. We also thank professor Teuffel for his presentations and companionship, and the companies that welcomed us in Dubai and Abu Dhabi and cared for great tours and presentations. Finally we would like to thank the sponsors who are essential in enabling this fantastic trip. We can look back on a tremendous and instructive trip, which the committee and the participants will never forget.

Prof. dr. ir. Johan Maljaars

Chair: Aluminium Structures

In the section "New on floor 9", we give new professors from the unit Structural Design the opportunity to introduce themselves to you. In this edition, professor Johan Maljaars, who is occupying the chair of "Aluminium Structures" since 2014, will tell something about himself.

Dear reader,

Since approximately one year, I hold the chair "Aluminium Structures" at the unit "Structural Design" at our beautiful university. It gives me enormous pleasure to teach people in the structural behavior of aluminium structures.

I am 39 years old and I live in Nieuwerkerk aan den IJssel, a village between Rotterdam and Gouda. I live there together with my wife Madzy and our children Mirthe (3 years old) and Freek (2 years old). The reason to live so far from the university is that I work part-time here. I spend the majority of my working hours at TNO in Delft. The distance between my home and TNO is 21 km, which is doable on a bicycle. Moreover Nieuwerkerk has a train station, meaning that I can arrive at the university while having to change trains only once (and spending more than 1.5 hours reading articles and graduation theses).

I graduated (cum laude) at the faculty of Civil Engineering at Delft University of Technology in 2001. Directly after graduating, I started working at TNO, where I am now the senior scientist for metal structures. Between 2004 and 2008 I carried out a PhD research into the fire resistance of aluminium structures at Eindhoven University of Technology. The research involved experiments and numerical simulations of components loaded in compression while being heated and resulted in prediction models for the collapse of such components. Despite the fact that I burnt my fingers several times (luckily not seriously), I enjoyed that research very much and it served as the start of my academic career.

Currently my main research subjects are fatigue and fracture of aluminium structures. More in general, I am interested in developing accurate constitutive (material) models and using them to optimize structures. Because



the scales of relevant processes acting on the material level and acting on the level of the structure range from 10^{-6} meters to 100 meters, a main challenge is to bridge the difference in scales.

The first graduation student that I supervised in my new role has just finished his thesis. He considered the vibration behavior of light-weight footbridges and he found that the current rules for such bridges are very conservative. Seven other graduation students are currently working on the following subjects:

- Fatigue design of aluminium noise barriers along highways;
- Design of aluminium towers for windmills;
- Creep behavior of aluminium alloys at high temperatures;
- Design of joints in aluminium curtain wall systems;
- Torsional resistance of aluminium lighting poles;
- Resistance models for tubular joints;
- Lateral-torsional buckling of beams with a floor system on top.

I hope being able to bring over my enthusiasm to students and to become enthusiastic myself by the work of the students. Up to now, I experienced that the latter works out well (of course the students have to decide on the first).

I hope to see you on floor 9 or in the lecture room.
Prof.dr.ir. Johan Maljaars

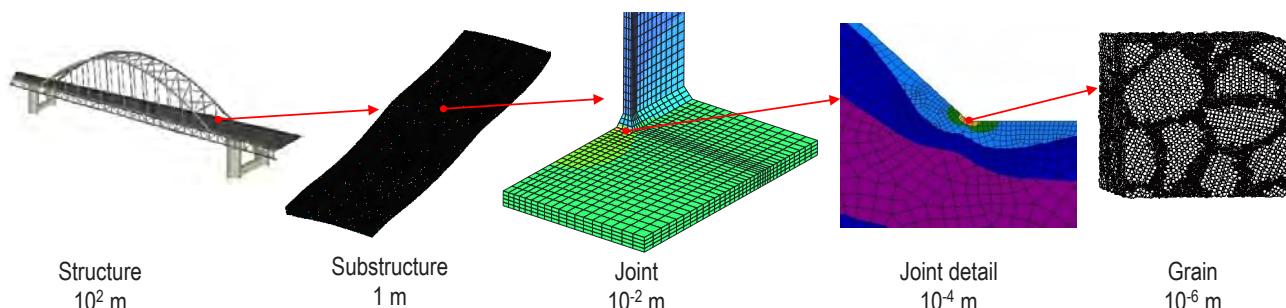


Figure 1: Bridging the scale difference

CONTINU

Intermediair voor bouw en industrie



Maak een afspraak met Continu voor een gratis loopbaanadvies. Kijk voor meer informatie op www.continu.nl



Altijd wind mee

MIJN CARRIÈRE START
AL TIJDENS MIJN
STUDIE!

www.continu.nl

Continu is gevestigd in Eindhoven, Almelo, Amsterdam, Arnhem, Breda, Capelle aan den IJssel, Maastricht en Utrecht

Witteveen + Bos



business course Masterplan Jakarta 17 november 2015

Heb je altijd al willen weten hoe het is om bij een ingenieursbureau te werken en mee te denken over de bescherming van Jakarta tegen het stijgende waterpeil? Een veelzijdig internationaal project met uitdagingen op het gebied van gebiedsontwikkeling, sanitatie en waterbouw in een metropool met een miljoenenbevolking. Een van werelds grootste waterbouwkundige projecten!

Schrijf je dan nu in voor onze business course Masterplan Jakarta die plaatsvindt in Deventer. Inschrijven kan tot dinsdag 10 november 2015.

www.witteveenbos.nl/businesscourse
www.facebook.com/witteveenbos



3D Printing of Concrete Structures

By: ir. R.J.M. (Rob) Wolfs

Supervisors: prof. dr. ir. T.A.M. (Theo) Salet, dr. dipl.-ing. J. (Jakob) Beetz, dr.-ing. G. (Gregor) Zimmermann, ing. L.N. (Berry) Hendriks

3D printing is one of the most promising developments of today. It has shown its potential in a wide range of disciplines, varying from the medical world to the food industry and from aerospace engineering to household uses. The technique holds great potential for the building industry as well. However an application in practice is still limited, which may be attributed to the lack of fundamental research on the (structural) behaviour of the to-be-printed shapes and materials. The graduation project as discussed here aims to contribute to the foundations of this research, by presenting a method to study 3D printing of concrete structures.

3D printing is an Additive Manufacturing (AM) technique, which constructs objects layer by layer until the desired geometry is completed. This new construction technique allows for highly customized objects that are created in an efficient way, applying material solely where it is needed. Additional benefits can be achieved for the building industry when printing is applied on a large scale, using concrete as the main material.

3D concrete printing has some clear advantages compared to traditional methods like casting. The necessity for formwork is removed, which results in a significant reduction of costs and labour. Additionally, both material use and waste generation decreases, and construction can go on 24/7, without loss of accuracy. There is no significant increase in costs or production time when the printer has to continuously create different objects. This allows the building industry to design and realize higher quality, mass customized buildings. However, this can only be achieved if the connectivity of design and construction is understood, which is not yet the case for this new and upcoming technique.

Research Model

The connection between design and construction can be translated to the relations between the three components as depicted in *Figure 1*: printing strategy (i.e. print path, speed, environment and nozzle size), materials, and shape. As long as these relations are unknown, objects can only be designed and printed using a trial-and-error attained printing strategy. Once one of these components changes, i.e. a different geometry is required or a new printable concrete becomes available, the process has to start all

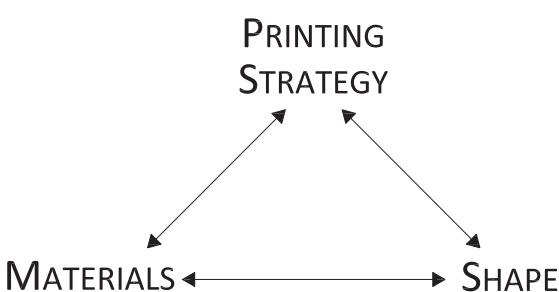


Figure 1: Components involved in 3D Printing

over again and the printer settings have to be varied in an exhaustive way to find a new printing strategy. The efforts and costs involved are far too high using this approach and may slow down the development of the concrete printing technique.

A research model is developed to evaluate the relations between the different components in a smart, efficient way. The structure of the research model is shown in *Figure 2*. The core of the model is a structural analysis (1). This analysis module does not restrict itself to predefined shapes, materials or loading types. Because of the large amount of variables used for this analysis, and the corresponding extensive output, the structural analysis module is placed in a parametric environment. The input is highly adaptable and expendable with new data, while the output remains clear and understandable in a graphical way (2).

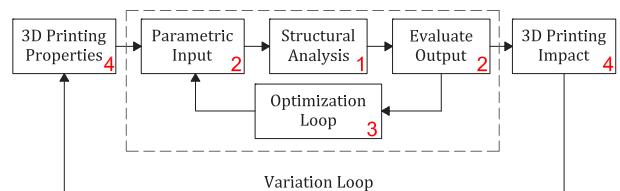


Figure 2: Research model

Due to the comprehensive input module (2), finding the required output may involve a high amount of luck, computational time, or both. It is thus desirable to find the input settings in a smarter way, by varying the input



Figure 3: 3D printed curved concrete wall by CyBe

based on the evaluation of the results. This is achieved by applying an optimization loop (3). Finally, the model is extended with a variation loop and used to evaluate the impact of the 3D printing properties (4). These properties are varied in a stepwise manner, entering the optimization module for each step.

3D concrete printing allows for complex designs, like shown in *Figure 3* by CyBe (a Dutch start-up developing 3D concrete printers). The behaviour of these structures cannot be analysed, much less optimized, if the underlying basic relationships are not understood. The project thus restricts itself in the shape component: a structural shear wall is considered, assumed to be orthogonal and loaded in- and out of plane, similar to the wall shown in *Figure 4*.

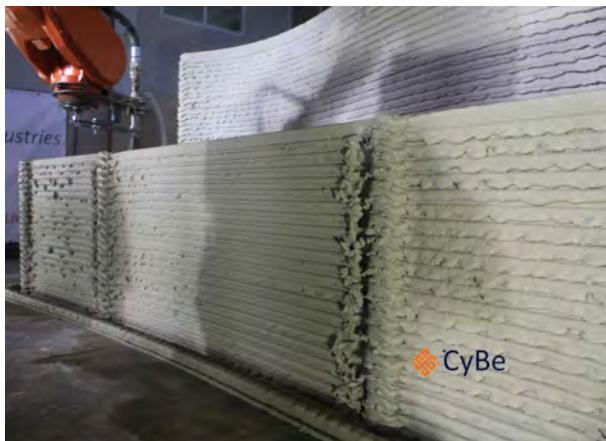


Figure 4: 3D printed orthogonal concrete wall by CyBe

Software Implementation

The structural analysis module is realised in FEM software Abaqus. This allows the printing behaviour to be studied, as it includes orthotropic behaviour, which is a typical result of the layered production method. Considering the developments of new printable materials and shapes, non-linear elastic material properties and sandwich cross sections are also incorporated in the FEM model.

Because of the high amount of variables involved and their interconnectivity, a parametric setup is desirable. In an early stage, this led to the choice for Grasshopper (GH), a graphical algorithm editor, which comes as a plugin for Rhinoceros. The parameters can be categorized as material properties, geometry, and loadings and boundary conditions.

Grasshopper is a propagation-based system, which restricts cyclic algorithms ('loops') without additional plugins. Both the optimization algorithm and the variational loop of the printing properties are therefore written in programming language Python, as the limits of GH were reached. Additionally, the Python language can be used to control Abaqus. A script is entirely generated in Grasshopper, including all parameters, optimization targets and output requests. This script is then simply sent to Abaqus, which executes both the structural analysis and the optimization loop. In real time results are sent back to GH, allowing the user to keep track of the progress and optimized results.

Optimization Algorithm

Because of the early stage of development, little is known about the behaviour of the components involved and their relations. When evaluating one or multiple printing parameters and searching for a certain goal, it is initially unknown how the range of the parameters' values is related to the optimum value. Moreover, the evaluation function, i.e. the way the chosen values relate to the optimum (the fitness of each solution), is usually strongly non-linear and may contain local optima. Thus, finding the required setting is likely to be computationally expensive. For this reason the optimization technique of Simulated Annealing (SA) is incorporated in the research model. SA is a problem-solving strategy which is able to escape local optima during the iterations and eventually converges to what is hopefully a global optimum [1].

Concrete Properties

Despite the differences in the concrete printing techniques, finally they all end up with a layered end result. The bond strength between these layers depends on the printing time gap, i.e. the time it takes for one layer to be printed on top of the previous one. Research at the Loughborough University has shown that the bond strength decreases as the time gap increases [2]. Considering bond strength, it can be stated that higher printing speeds are preferred, to achieve better mechanical properties. On the other hand, printed objects will be loaded much sooner than traditionally cast structures. The strength development in time is therefore also of interest, as it defines a relation between printing strategy and the minimum time at which a certain loading can be applied. Considering overall strength development, high printer speeds are not always preferred.

Both the bond strength between layers and the development of overall strength are included in the research model. They are linked to the user defined print strategy, as they depend on the given printing environment, speed and layer size. Their values are automatically calculated and used in the FEM analysis and optimization loop.

Results and conclusion

The research model is demonstrated by varying the printing strategy of a 3D printed orthogonal concrete wall. The printing speed, layer size and printing environment (in-situ or prefab) are varied in a stepwise manner. For each step, the optimization loop is entered, which seeks toward the maximum loading capacity of the wall. Two examples are given in *Figure 5* and *6*. These graphs show the normalized printing speed on the horizontal axis, versus the normalized loading capacity on the vertical axis. Each dot represents the result of an optimization loop. Analyses of the wall show that the loading capacity initially increases along with a higher print speed, as the bond between layers strengthens. However, at higher print speeds the overall strength development of the printed element becomes governing, and the capacity decreases. A reduction of layer height is beneficial for the overall strength development, but does strongly increase the total

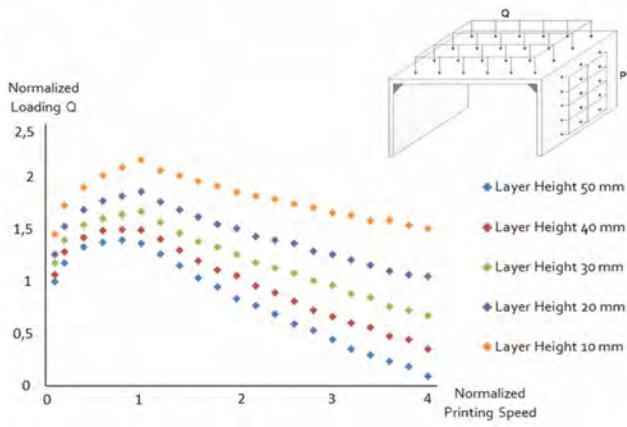


Figure 5: Optimization results of printing speed versus loading capacity for varying layer height

construction time. The choice of printing environment clearly influences the end result as well, as the low temperatures of in-situ printing result in much slower strength development compared to controlled, prefab printing.

These simple analyses have proven that the influence of 3D printing must not be underestimated and that the printing strategy has to be taken into account during each step, from early design to construction. Additional research will have to be carried out aimed at gaining more insight in the components linked to 3D printing. By studying new

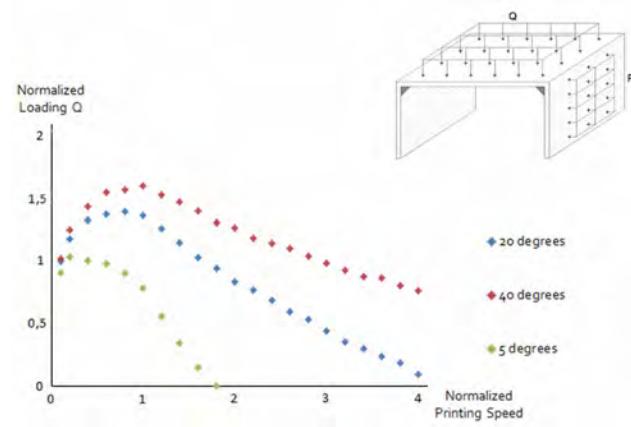


Figure 6: Optimization results of printing speed versus loading capacity for varying temperature

printable materials and optimizing shapes, including the typical properties of 3D printed concrete, the potential of this promising technique can be applied in practice. Using a research model as presented here, and extending it with newly available data, will guide future developments in 3D concrete printing and support its successful implementation in the building industry.

References:

- [1] Michalewicz, Z., & Fogel, D. (2000). *How to Solve It: Modern Heuristics*. Berlin: Springer.
- [2] Le, T., Austin, S., Lim, S., Buswell, R., Law, R., & Gibb, A. (2011). Hardened properties of high performance printing concrete. *Cement and Concrete Research*, 558-566.



Let's connect?!

Wil jij zien op welke wijze Heijmans aan de ruimtelijke contouren van morgen bouwt? En ben jij nieuwsgierig welke spraakmakende en innovatieve concepten Heijmans ontwikkelt en realiseert?

Blijf dan up-to-date en volg ons op Facebook & Twitter!

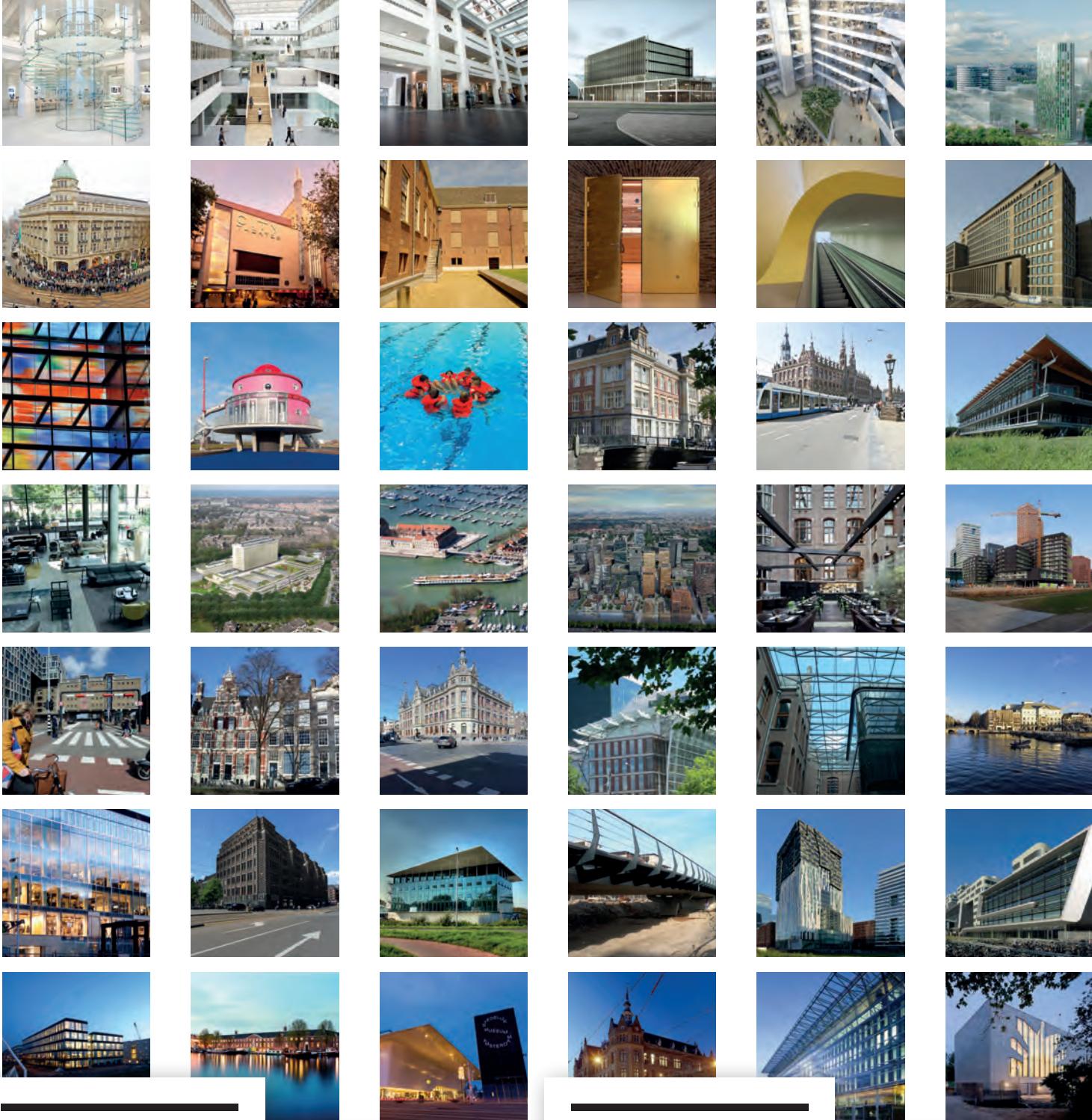


heijmans

HeijmansNL

HeijmansNL





VAN ROSSUM

RAADGEVENDE
INGENIEURS

**Van Rossum Raadgevende
Ingenieurs bv Amsterdam**

Pedro de Medinaalaan 3a
1086 XK Amsterdam
Postbus 37290
1030 AG Amsterdam
T +31(0)20 615 37 11
amsterdam@vanrossumbv.nl
www.vanrossumbv.nl

VAN ROSSUM

RAADGEVENDE
INGENIEURS

**Van Rossum Raadgevende
Ingenieurs bv Rotterdam**
Westblaak 5e
3012 KC Rotterdam
T +31(0)10 404 51 11
rotterdam@vanrossumbv.nl
www.vanrossumbv.nl

VAN ROSSUM

INFRA

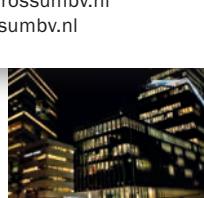
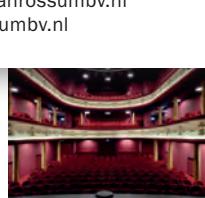
Van Rossum Infra bv

Pedro de Medinaalaan 3a
1086 XK Amsterdam
Postbus 37290
1030 AG Amsterdam
T +31(0)20 61 73 975
infra@vanrossumbv.nl
www.vanrossumbv.nl

VAN ROSSUM

RAADGEVENDE
INGENIEURS

**Van Rossum Raadgevende
Ingenieurs Almere bv**
Kerkstraat 97
1354 AA Almere
Postbus 105
1300 AC Almere
T +31(0)36 531 15 04
almere@vanrossumbv.nl
www.vanrossumbv.nl



Ontwikkeling

Hans Lamers



Je bouwt met wat je omgeving zoal te bieden heeft. Wel zo gemakkelijk voor de kranige mens. We hebben al eeuwen lang geleden ontdekt dat wanneer je onze schrale klei bakt in een oven, je het product baksteen krijgt en dat de vetttere klei dakpannen oplevert. Het hout voor vloerbalken en kapspannen was hier ook in voldoende mate te vinden. Zo hebben we Nederland geleidelijk volgestapeld met huisjes en windmolentjes, al dan niet op palen, achter onze rustieke dijkjes. Met trots hebben we dat op Delfts Blauwe tegeltjes vastgelegd en in onze toiletten aangebracht zodat wij op de dagelijkse momenten van gemak beseffen wat we bereikt hebben met elkaar in ons kikkerlandje.

In de afgelopen eeuw heeft er echter een enorme versnelling plaatsgevonden in de ontwikkeling van de mensheid; er is een ruim assortiment aan materialen bijgekomen; roestvaststaal, aluminium, bitumen, kunststoffen, vezel versterkte composieten. De mens is in staat gebleken materiaaleigenschappen steeds efficiënter te manipuleren; er zijn materialen ontwikkeld met een (deformatie-) geheugen of materialen die zichzelf kunnen repareren bij een beschadiging of die elektriciteit genereren onder invloed van zonlicht. We zijn doorgedrongen in de materialen tot op nanoschaal; we zijn geëvolueerd tot moleculaire componisten die zelfs het erfelijk materiaal DNA kunnen 'repareren'. We kunnen kunstmatig spierweefsel laten groeien zodat we geen dieren meer hoeven te doden voor de voedselproductie. Een ethische vraag is of we niet te veel in de voetsporen treden van onze 'Schepper'? Onze nieuwsgierigheid van het hoe en waarom van de dingen blijft de drijfveer van onderzoek en ontwikkeling. Eenmaal in gang gezet, is het onomkeerbaar. Maar zijn we nog steeds zo trots op hetgeen we bereikt hebben als in de tijd van de windmolentjes op de dijk? Ik betwijfel het; ik heb nog nooit een Delfts blauw tegeltje gezien met een afbeelding van zo'n moderne driewiekgie windturbine langs de poepdoos.

CO-lophon

KOersief is a student magazine published three times a year by KOers, section association Structural Design within study association CHEOPS and the unit Structural Design of the department of the Built Environment at the Eindhoven University of Technology.

KOers

VISITING ADDRESS	POSTAL ADDRESS
Vertigo 5.18	Vertigo 9
Groene Loper 6	Postbus 513
5612 AZ Eindhoven	5600 MB Eindhoven
tel. 040-2474647	e-mail: KOers@bwk.tue.nl

45th board of KOers 2014-2015

Thijs de Goede	Chairman
Sander Montré	Secretary
Gerben van der Meijde	Treasurer
Jelle Mensink	Com. Public Relations & Vice Chairman
Niels Hanegraaf	Com. Editorial Board

Editorial board KOersief 97

Niels Hanegraaf
Gydo Fransen
Angelique van de Schraaf
Richard de Rijk

Student membership KOers

Membership of KOers is free for Bachelor students at the department of the Build Environment, Master students of the master track Structural Design and active members of KOers.

Sign up at: www.KOersTUE.nl

Figure cover

Museo Guggenheim Bilbao - Israel De Alba on Flickr

Figure centerfold

www.facebook.com/GrandCanyonSkywalk

Manuscript

Manuscripts can be e-mailed to KOersief@KOersTue.nl. MS Word format plain text is preferred. Figures (with caption) in original format with a minimal resolution of 800x800 pixels enclosed separately from the text file.

Print run

450 copies, distributed to students, professors, sponsors and other relations of study association KOers.

Printing office

Drukkerij Manders & van Eijk, Meesterdrukkers BV
Eindhoven

Bouw mee aan de toekomst !



Adviesbureau Tielemans te Eindhoven is gespecialiseerd in het ontwerpen van bouwconstructies. Vanuit Eindhoven werken onze ingenieurs met gerenommeerde nationale en internationale architecten aan innovatieve en in het oog springende projecten.

Werken bij Adviesbureau Tielemans betekent in een ontwerpteam streven naar de hoogst haalbare combinatie van vorm, constructie en functie. Technologische ontwikkelingen in het vakgebied worden nauwlettend gevolgd.

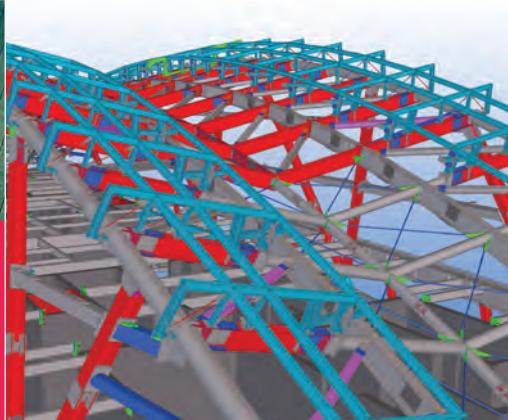
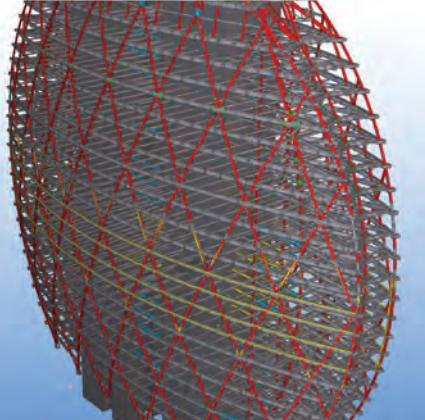
Adviesbureau Tielemans houdt zijn ogen altijd open voor aanstormend talent. Kijk voor meer informatie op www.tielemans.nl of neem contact met ons op.

TEKLA CAMPUS

Platform voor gratis BIM software

 TEKLA
A TRIMBLE COMPANY

LEER
DOWNLOAD
ONTWIKKEL



 **TEKLA[®]**

A TRIMBLE COMPANY

GRATIS TEKLA BIM SOFTWARE VOOR STUDENTEN

Tekla Campus is een online platform voor studenten Constructief Ontwerp aan Technische Universiteiten en Hogescholen. Hier download je de gratis Tekla Structures Learning Edition, bekijk je de online tutorials, discussieer je op het forum en leer je de belangrijkste aspecten op het gebied van het ontwerpen van een BIM.

Ontdek vandaag nog de mogelijkheden van deze volledige Tekla Building Information Modeling software en pas het toe tijdens je studie, stage- of afstudeerprojecten.

Download, leer en ontwikkel jezelf!

- > Download gratis op: campus.tekla.com
- > Voor info mail naar: info@construsoft.com

 CONSTRUSOFT

construsoft.com

 TEKLA
A TRIMBLE COMPANY

AUTHORIZED
RESELLER