





Onze partners

Cement is een kennisplatform van én voor constructeurs. Het platform legt kennis vast over construeren met beton en verspreidt deze onder vakgenoten. Om deze kennisdeling te ondersteunen en het belang ervan te onderstrepen, kan een bedrijf partner worden. Een partner geniet een aantal aantrekkelijke voordelen, zoals zichtbaarheid, flinke korting op lidmaatschappen, gratis plaatsing van vacatures en de mogelijkheid mee te praten over de inhoud van het platform. Heb je ook interesse om partner te worden, neem dan contact op met Marjolein Heijmans, m.heijmans@ceneas.nl.



CEMENTONLINE

Meer informatie over deze bedrijven en over het partnerschap staat op www.cementonline.nl/partners.

Cement wordt mede mogelijk gemaakt door:

abt

Alferink van Schieveen
INGENIEURSBUREAU

BEKAERT
better together

Betonhuis
Cement

CUR CROW

CUGLA
Concrete Solutions

FDN GROUP **ULTRABRUG**

geelhoed
engineering b.v.

IMd
Raadgevende Ingenieurs

JVZ
INGENIEURS

NOBLEO
bouw & infra

Pieters
BOUWTECHNIEK

SWINN

verhoeven-leenders
CONSTRUCTIEF IN BOUW EN INFRA

Witteveen + Bos

YouCon



Inhoud

Vakblad over betonconstructies

COLOFON

Cement, vakblad over betonconstructies, is hét vakblad van en voor constructeurs en versijnt 8 keer per jaar. Het vakblad is een onderdeel van het kennisplatform *Cement*, een uitgave van Aeneas Media bv in opdracht van het Cement&BetonCentrum.

Uitgever Aeneas Media bv, Veemarktkade 8, Ruimte 4121, 5222 AE 's-Hertogenbosch
T 073 205 10 10, www.aeneas.nl

Redactie dr.ir. Dick Hordijk (hoofdredacteur), ir. Paul Lagendijk, ir. Marloes van Loenhout, ir. Jacques Linssen, ir. René Sterken, ir. Cindy Vissering, ing. Henk Wapperom, dr.ir. Rob Wolfs
Redactieraad ir. Edwin Vermeulen (voorzitter), ing. Dick Bezemer, prof.dr.ir. Jos Brouwers, ir. Maikel Jagroep, ir. Stijn Joosten, ir. Ad van Leest, dr.ir. Mantijn van Leeuwen, ing. Michael van Nielen PMSE, ir. Paul Oomen, ir. Dirk Peters, ir. Ton Pielkenrood, ir. Kees Quartel, ir. Hans Ramler, ir. Luc Rens, ir. Paul Rijpstra, prof.dr.ir. Theo Salet, ir. Dick Schaafsma, ing. Roel Schop, dr.ir. Raphaël Steenberghe, prof.dr.ir. Kim van Tittelboom, dr.ir. Rutger Vrijdag, ing. Henk ter Welle, ing. Jan van der Windt

Uitgever / vakredacteur ir. Jacques Linssen
j.linssen@aeneas.nl, T 073 205 10 22

Planning en coördinatie Hanneke Schaap
h.schaap@aeneas.nl, T 073 205 10 19

Eindredactie Hanneke Schaap

Ontwerp Twin Media bv, Miranda van Agthoven

Vormgeving Twin Media bv, Joyce Dekker

Media-advies Leo Nijs, lnijs@aeneas.nl, T 073 205 10 23

Klantenservice abonnementen@aeneas.nl, T 073 205 10 10

Website www.cementonline.nl

Overname artikelen Overname van artikelen en illustraties is alleen toegestaan na schriftelijke toestemming.

Lidmaatschappen 2020 Kijk voor meer informatie over onze lidmaatschappen op www.cementonline.nl/lidworden of neem contact op via abonnementen@aeneas.nl of 073 205 10 10.

Voorwaarden Je vindt onze algemene voorwaarden op www.cementonline.nl/algemene-publicatievoorwaarden. Hoewel de grootst mogelijke zorg wordt besteed aan de inhoud van het blad, zijn redactie en uitgever van *Cement* niet aansprakelijk voor de gevolgen, van welke aard ook, van handelingen en/of beslissingen gebaseerd op de informatie in deze uitgave.

Niet altijd kunnen rechthebbenden van gebruikt beeldmateriaal worden achterhaald. Belanghebbenden kunnen contact opnemen met de uitgever.

ISSN 0008-8811

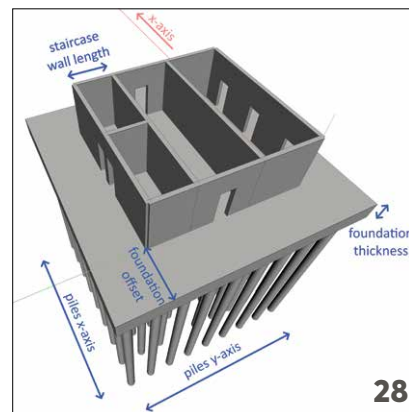
Aeneas MEDIA



Betonhuis



MVW
media voor vak & wetenschap



Artikelen

- 6 Uitkraging op uitkraging**
Door de vorm en grote uitkragende balkons, is woontoren Belvédère een opvallende verschijning.
- 14 Horecalandmark hangt boven de markt**
Bijzondere aspecten van het casco van Merckt in Groningen zijn de seismische en akoestische knip.
- 28 Optimaliseren kernconstructies**
Toelichting van het optimaliseren van kernconstructies met Generative Design aan de hand van een case.

- 48 Krommingsdruk nader beschouwd**
De invloed van het verloop van voorspankabels en de ligging in de omhullingsbuis.
- 64 Wie zijn de Constructeur en het Talent van het Jaar?**
In gesprek met Arjan Habraken en Marijn Bruurs.
- 68 Duurzaamheid: de constructeur heeft invloed!**
De transitie naar duurzaam materiaalgebruik brengt het vak van de constructeur in beweging.



En verder

5 Waterdichte centering met Modula DUO betonconussen

Gesponsord bericht van Hakron.

24 Kunstmatige Intelligentie: kans of 'fuik'?

Column Sander den Blanken.

26 De jonge constructeur

Liesette la Gasse over de ontwikkeling van een Verkeersbelastingmodel voor bruggen.

38 Interview Peter de Vries

In gesprek met Peter de Vries, technisch voorlichter en deskundig betontechnoloog bij ENCI.

58 De kracht van imperfectie

Schoonheidsfoutjes in het beton van het Taizhou Contemporary Art Museum in China geven het gebouw karakter.



APK

Met de titel 'Duurzaam veilig!' besteedde ik in mijn eerste voorwoord dit jaar aandacht aan constructieve veiligheid. Ik wees erop dat we er al heel lang mee bezig zijn, dat het nog steeds niet goed zit en dat er nu echt successen moeten komen. Onlangs pleitte de Onderzoeksraad voor Veiligheid (OVV) voor een soort APK voor grote publieke gebouwen. Gaat dat de noodzakelijke kentering brengen?

Een parallel lijkt te worden getrokken met de periodieke keuring bij auto's, maar er is toch wel een duidelijk verschil. Bij auto's is het primair de achteruitgang van veiligheid als gevolg van tijd en gebruik, terwijl we er niet aan twijfelen of dat in orde was bij aflevering van de nieuwe auto. Bij incidenten met gebouwen echter, is het probleem dat ze door ontwerp en/of uitvoeringsfouten al niet goed zijn bij oplevering. En ja, mogelijk dat gedurende de levensduur er indicaties (beter) zichtbaar worden die op die fouten wijzen. Maar primair zal de aandacht er toch op gericht moeten zijn dat de gebouwen bij oplevering goed en dus constructief veilig zijn. Vele factoren kunnen bijdragen aan een constructief veilig gebouw bij oplevering en één ervan is dat

constructeurs en aannemers beschikken over voldoende, relevante en goede kennis. Een zeer belangrijke pijler daarbij is het onderwijs (regulier en postacademisch), en met de kennisdeling in *Cement* en de archieffunctie van *Cementonline*, hopen wij daar ook een steentje aan bij te dragen.

Ik zou zeggen, kijk zelf welk stukje kennis je uit deze editie van *Cement* weer kunt halen. Misschien over het optimaliseren van kernconstructies of over het kabelverloop bij voorgespannen constructies. Maar wellicht dat informatie over hoe collega's een uitdagende constructie met uitkragingen en grote balkons hebben aangepakt, je kan helpen. Laat ik duidelijk zijn. Ik denk zeker dat het goed is om grote publieke gebouwen regelmatig aan een grondige inspectie te onderwerpen. Maar het mag de aandacht voor de noodzaak om er alles aan te doen fouten bij het ontwerp en de bouw te voorkomen niet verminderen. Maar laat ik positief afsluiten in deze bizarre coronatijd, die velen van ons leed en overlast bezorgt. Het advies van de OVV zet de urgentie van aandacht voor constructieve veiligheid weer eens goed op de kaart en nu ook bij gebouweigenaren. Laten we hopen dat we in 2021 snel naar een coronavrije situatie toe gaan en we de veiligheid van onze nieuwe en bestaande constructies nog weer beter in de hand hebben. Veel leesplezier!

Dick Hordijk

Voor reacties: d.hordijk@cementonline.nl

Aan dit nummer van *Cement* werkten mee:

Birgit Barten
Aeneas Media
p. 64 – 67



ir. Marijn Bruurs
Witteveen+Bos
p. 64 – 67



ir. Lonneke van Haalen
ABT
p. 68 – 72



ir. Monique Haenen
Advies- en Ingenieurs-
bureau Van de Laar
p. 6 – 13



ir. Jacques Linssen
Aeneas Media /
redactie *Cement*
p. 38 – 47



ir.ing Sander den Blanken
BAM Infra
Nederland
p. 24 – 25



ir. Lisette la Gasse
TNO
p. 26 – 27



ir. Arjan Habraken
SIDStudio
p. 64 – 67



ir. Kirsten Hannema
Freelance
architectuurjournalist
p. 58 – 63



Dietmar van Loon, BSEng
Arcadis
p. 28 – 36

ing. Anne Renkema
Dijkhuis ingenieurs
p. 14 – 23



ing. Marcel Vlaar
Arcadis Nederland
p. 48 – 56



ir. Theo van Wageningen
Dijkhuis ingenieurs
p. 14 – 23



Michael van Telgen, MSc.
Arcadis
p. 28 – 36



ing. Peter de Vries, FICT
ENCI
p. 38 – 47



ing. Theo van Wolfswinkel
ABT
p. 68 – 72

De Hakron Modula DUO centering



Waterdichte centering *met de Modula DUO betonconussen*

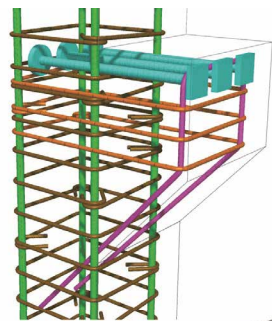


WWW.CEMENTONLINE.NL
/HAKRON_MODULA

Meer over de Modula en de Modula DUO betonconussen staat in een gesponsord artikel op www.cementonline.nl/Hakron_Modula.

Voor het maken van **waterdichte verloren centeringen** levert Hakron de **Modula betonconussen**. Het systeem bestaat uit een stalen kern voorzien van een opzetstuk van vezelbeton dat de dekking waarborgt. Het geheel wordt in de bekisting bevestigd. Aan de buitenzijde van de conus wordt een centerpen ingeschroefd die met volplaten en vleugelmoeren of plaatvleugelmoeren de bekisting

opsluit en de betondruk opvangt. Eventueel is aan de centerpen een waterkering bevestigd (UFO), die zorgt voor een betere waterdichtheid. Aan het assortiment is nu de Modula DUO toegevoegd. Deze variant is geschikt voor dunnere wanden, bestaat uit één geheel en wordt exact op maat geleverd. Hiermee worden tijd en dus arbeidskosten bespaard. ●



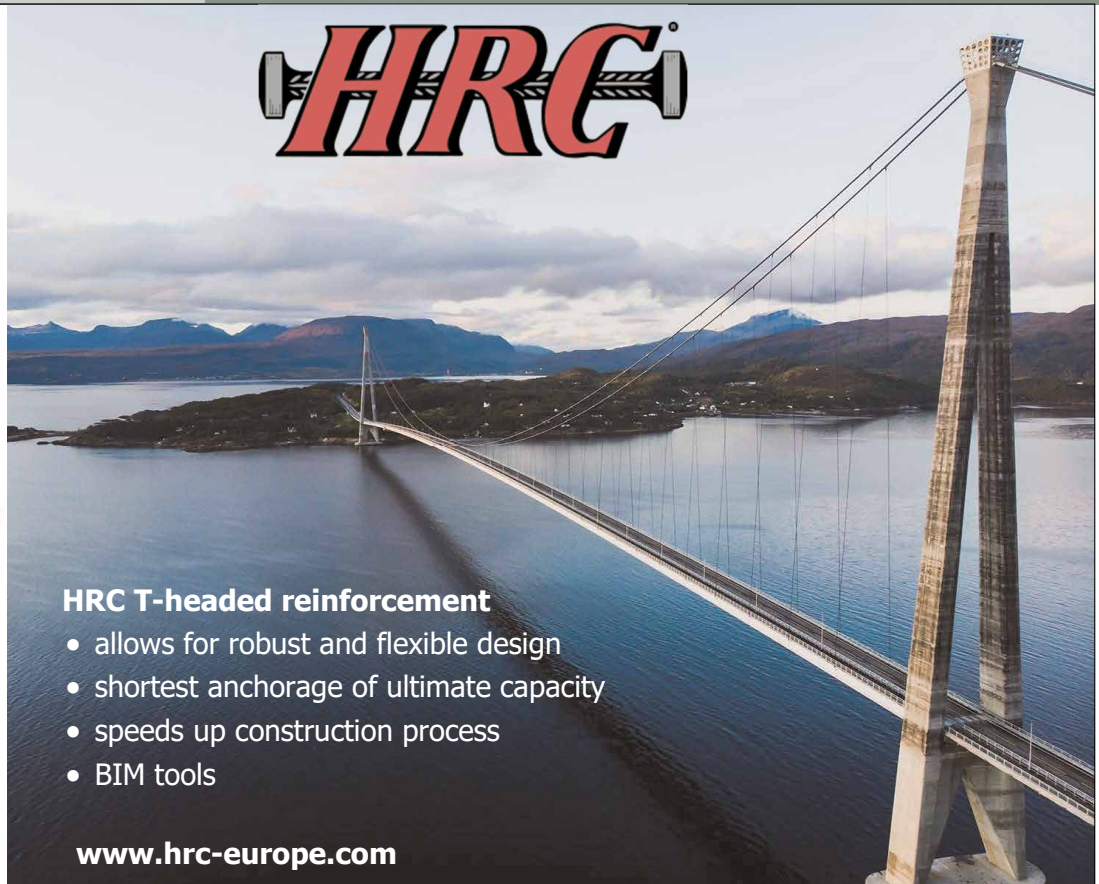
HRC Europe NL BV
8211 AD Lelystad
+31 320 727030



HRC T-headed reinforcement

- allows for robust and flexible design
- shortest anchorage of ultimate capacity
- speeds up construction process
- BIM tools

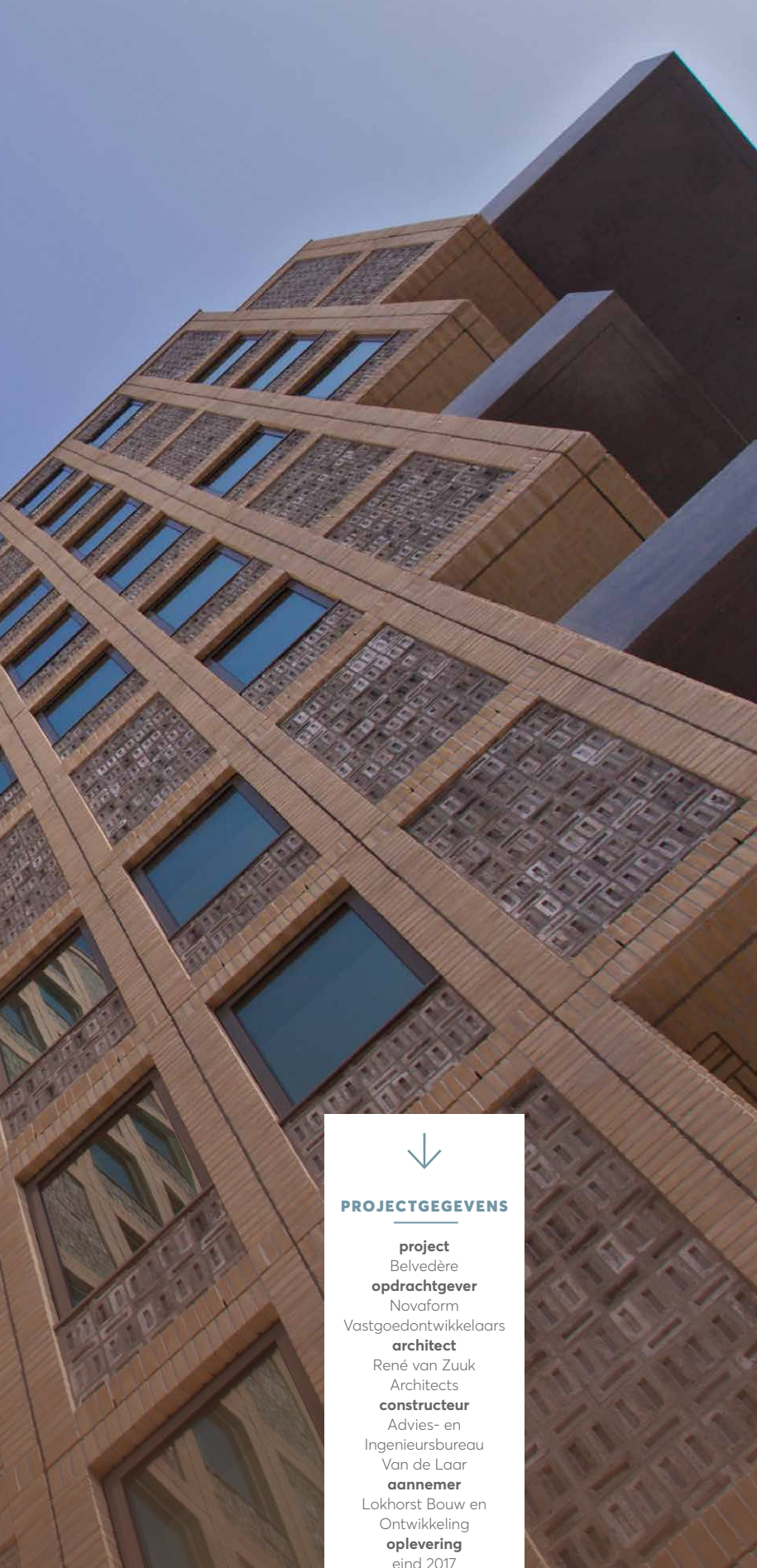
www.hrc-europe.com



Uitkraging op uitkraging

Woontoren Belvédère wordt naar boven toe steeds breder

Bij het binnenrijden van Hilversum door de Amaliatunnel is woontoren Belvédère niet te missen. Door zijn vorm – met een smalle basis die naar boven toe steeds breder wordt – en dankzij de grote uitkragende balkons, is het een opvallende verschijning.



↓

PROJECTGEGEVENS

project
Belvédère

opdrachtgever
Novaform
Vastgoedontwikkelaars

architect
René van Zuuk
Architects

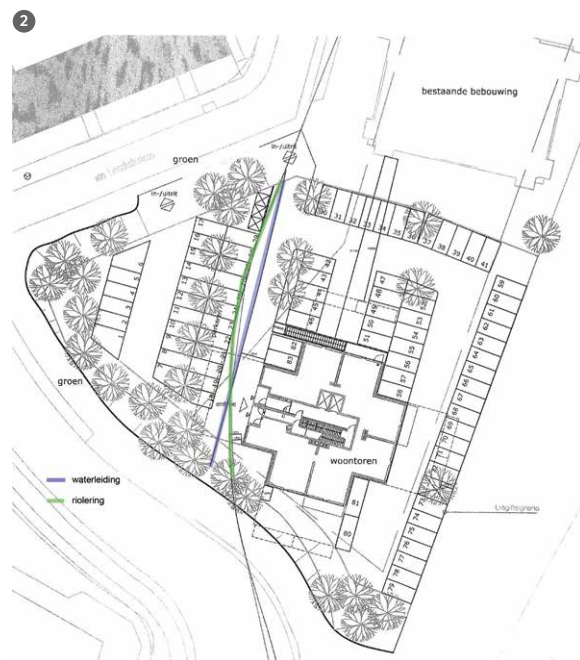
constructeur
Advies- en
Ingenieursbureau
Van de Laar

aannemer
Lokhorst Bouw en
Ontwikkeling

oplevering
eind 2017

De 34 m hoge Belvédèretoren is gebouwd op een kavel in de oksel van Oostereind en Van Linschotenlaan, aan een van de invalsroutes aan de oostkant van Hilversum.

Deze kavel heeft een driehoekige vorm en een totaaloppervlak van 3000 m². Slechts een klein deel daarvan, namelijk 450 m², kon worden bebouwd als gevolg van vereiste minimale afstand tot de erfgrans en de aanwezigheid van een hoofdwaterleiding en een riolering (fig. 2). Met dit kleine bebouwbare oppervlak waren slechts vier appartementen op de begane grond mogelijk. Bij de maximaal toegestane bouwhoogte van 11 verdiepingen zouden 44 appartementen kunnen worden gerealiseerd. Dit appartementencomplex was financieel echter pas haalbaar bij ten minste 55 wooneenheden. Dit gegeven, in combinatie met de hoge grondprijs, waren belangrijke randvoorwaarden die aan de basis lagen van het markante ontwerp: een kleine footprint en naar boven toe steeds verder uitkragende verdiepingvloeren. Met dit ontwerp kon niet alleen het gewenste aantal appartementen worden gerealiseerd, ook de wens van de opdrachtgever om de appartementen in verschillende grootte aan te kunnen bieden kon zo worden ingevuld (fig. 3).



auteur

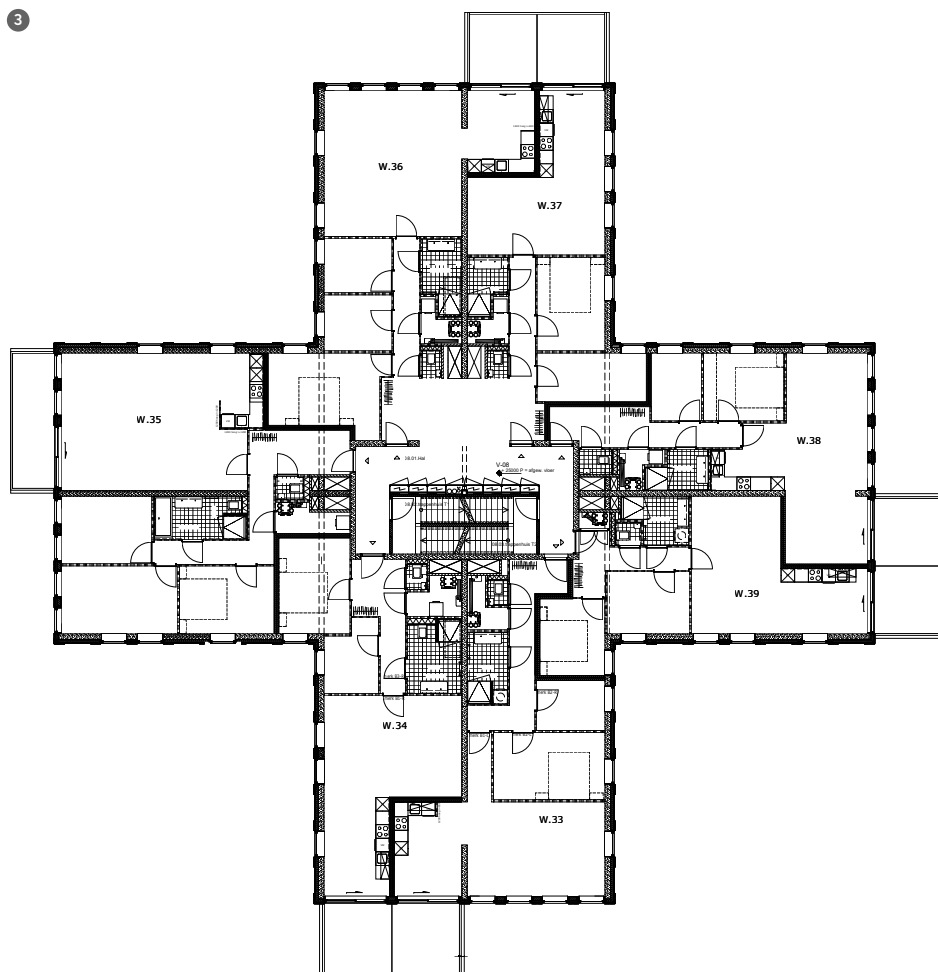


IR. MONIQUE HAENEN

projectleider /
constructief ontwerper
**Advies- en
Ingenieursbureau
Van de Laar**

*De totale
uitkraging
bedraagt 6,4 m
aan alle vier
de zijden*

3



Iedere keer wanneer het gebouw een sprong maakt, is dat er een van 1,6 m. Dit gebeurt in totaal vier keer, wat de totale uitkraging aan alle vier de zijden op 6,4 m brengt (fig. 4). Wanneer ook de uitkragende balkons hier nog bij worden opgeteld, ontstaat een uitkraging van 9,6 m.

De appartementen in de woontoren zijn overhoeks geplaatst, zodat ieder appartement twee oriëntatierichtingen heeft (fig. 3). Dit geeft een hoge mate van flexibiliteit bij het indelen van de plattegronden en zorgt er tevens voor dat iedere bewoner een balkon heeft dat door de zon kan worden bereikt.

Constructieve opzet

De hoofddraagconstructie van het gebouw bestaat uit zes in het werk gestorte betonwanden, drie in elke richting (fig. 5). Het zijn deze wanden die uitkragen. De vloeren

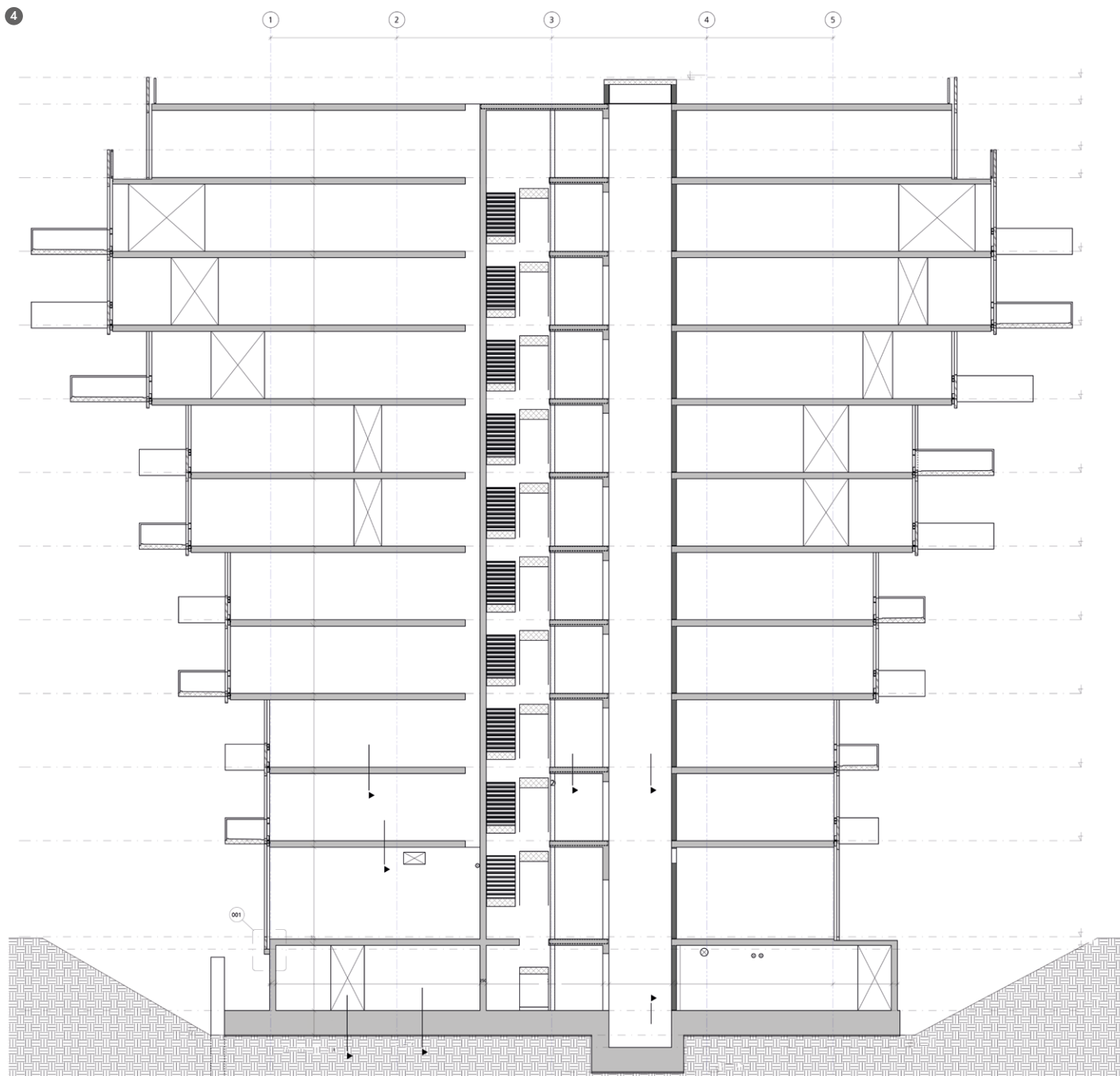
– uitgevoerd als breedplaatvloeren – dragen van wand naar wand en kragen op zichzelf niet uit. Wel zorgen de vloeren voor de horizontale krachtoverdracht tussen de tegenover elkaar gelegen wanden. Daartoe zijn trekbanden in de vorm van wapening in de vloeren aangebracht (fig. 5 en 6).

Om zoveel mogelijk plattegronden in de woningen te kunnen realiseren, zijn op veel plaatsen openingen in de dragende wanden ontworpen.

De metselwerk buitenschil hangt per verdieping met geveldragers aan de vloeranden. Ter plaatse van de overstekken zijn panelen met steenstrips aan de onderzijde van de vloeren bevestigd.

Prefab balkons

De appartementen zijn ontworpen met balkons tot 6,3 x 3,2 m². Deze zijn uitgevoerd in prefab beton. De dieptemaat van 3,2 m



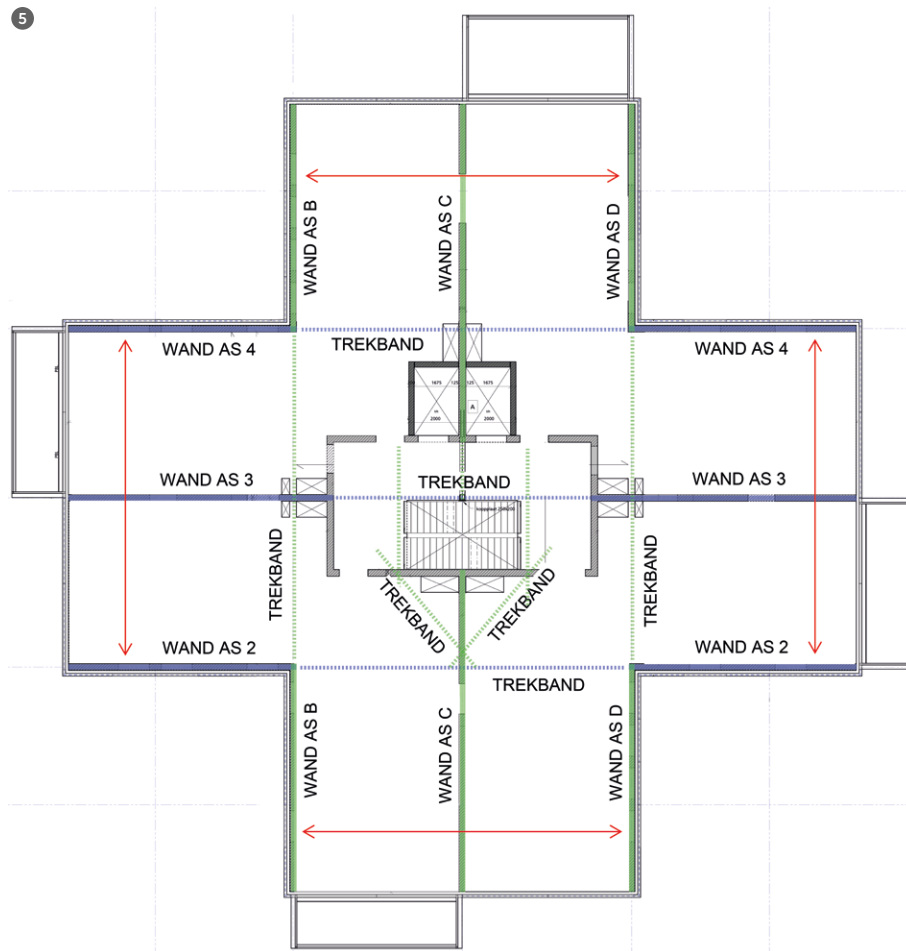
was te groot om de balkons als uitkragende plaat aan de vloerrand te realiseren. Dit zou leiden tot te grote krachten in deze vloerrand. Niet alleen zouden de momenten en vervormingen hier zeer groot worden, ook het ophangen van de reactiekrachten uit de vloer in de betonwanden waar de verdieping uitkraagt, was niet meer goed mogelijk. In plaats daarvan zijn de zijwan-

den van de balkons gebruikt als dragende elementen. Deze wanden zijn door middel van isokorven als uitkragende wandliggers aan de betonwanden en –penanten van de hoofddragestructuur opgehangen (doordat zowel in de gevel- als in de middenwanden raam en deursparingen aanwezig zijn, is op die plaatsen sprake van penanten, fig. 4 en 7). De balkonplaat van 215 mm dik

overspant op die manier de 6,3 m van zijwand naar zijwand. Constructief gezien zijn de balkons losgehouden van de vloer.

De penanten waaraan de zijwanden van de balkons zijn bevestigd, zijn behoorlijk slank wat leidde tot een extra uitdaging bij de verankering van de isokorven. De reactiekrachten uit het balkon hebben daardoor zware, dichte wapening tot →

5

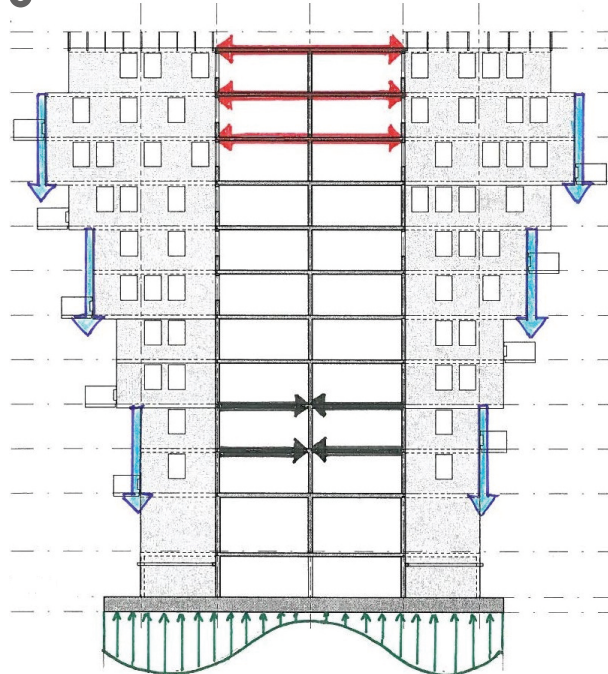


gevolg. De penanten zijn 1:1 uitgetekend om er zeker van te zijn dat alle wapening en isokorfstaven met de juiste buigstralen en dekkingen in de penant konden worden opgenomen. Door het betonmengsel aan te passen naar een hoge sterkte met een fijne korrel, konden de penanten in de door de architect gewenste slanke vorm worden uitgevoerd. De wanden en penanten van de kelder tot aan de 3e verdiegingsvloer zijn uitgevoerd in C53/65, daarboven is alles uitgevoerd in C35/45, met uitzondering van de kleine penanten waar balkons aan hangen. Deze zijn ook in C53/65 gestort.

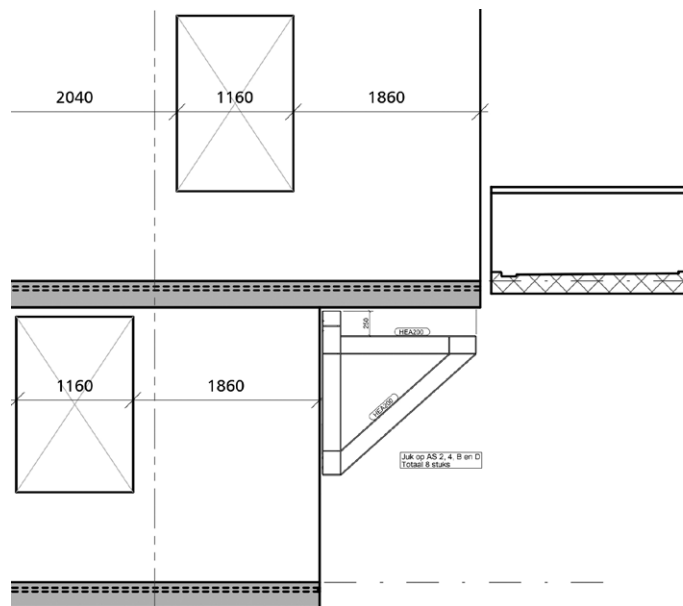
Fundering

Doordat Hilversum op de zandgronden van de Utrechtse Heuvelrug ligt, hoefden geen funderingspalen te worden aangebracht. Op het zandpakket is op 4 m diepte een betonplaat van 1 m dik aangebracht – onder de toren zit een eenlaagse kelder met bergingen. De sterkteklasse van deze keldervloer is C35/45 en hij bevat 120 ton wapeningsstaal (foto 8). Er is een berekening gemaakt van de benodigde krimpwapening. Hiervoor wordt een aanzienlijk deel van het basisnet Ø25-150 gebruikt. Op

6



7



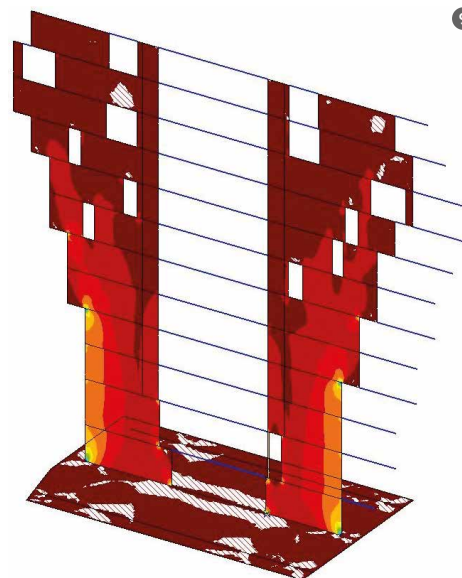


Ten behoeve van voldoende constructie-hoogte zijn de zijwanden van de balkons gebruikt als dragende elementen

de plaatsen waar de grote dwarskrachten in de vloer optreden is tevens beugelwepening opgenomen.

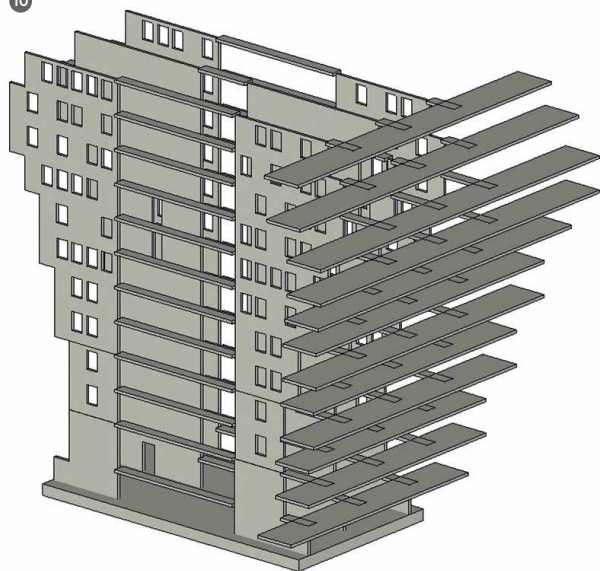
In de rekenmodellen zijn naast de windbelastingen ook de situaties belast-onbelast meegenomen. Ook het feit dat de wanden niet exact symmetrisch zijn, leidt tot een excentriciteit op het systeem. Dit vertaalt zich in lokaal hogere beton- en grondspanningen. De grote van de funderingsplaat is zodanig gekozen dat grondspanningen en horizontale verplaatsingen van het gebouw aan de top binnen de daaraan gestelde eisen blijven. De funderingsplaat is 1,5 m breder dan de footprint van het gebouw.

In een van de oksels van het gebouw is ook gelijk een funderingsplaat gestort voor de torenkraan. Voor de aannemer was de aanleg van deze fundering een behoorlijke uitdaging. Vanwege de aanwezigheid van een betonnen waterleiding, een riolering en een doorgaande weg vlak langs de bouwka-vel (fig. 2) kon de bouwput name-lijk niet overal worden uitgegraven met een talud. Plaatselijk was een grondkering nodig. Deze grondkering moest met be- hulp van een trillingsvrije methode wor- den aangebracht, omdat trillingen zouden



kunnen leiden tot onacceptabele zettingen voor de hoofdwatervleiding. Bovendien moest de grondkering als verloren worden beschouwd, omdat het verwijderen ervan ook weer zou kunnen leiden tot onacceptabele zettingen. Daarom is aan twee zijden gewerkt met een CSM-wand (foto 8). Dit is een wand die in het werk wordt gemaakt door de harde zandige grondslag te ver-snijden en te vermengen met een cement-mix. →

10



Berekening

Om de dragende betonconstructie van de vierzijdig uitkragende toren te berekenen is het eindige-elementenprogramma AxisVM gebruikt. Hoewel het gebouw op het eerste oog symmetrisch lijkt, is dit ten gevolge van de diverse sparingsen en asymmetrisch geplaatste balkons niet het geval. Om de berekening van de bovenbouw inzichtelijk te houden, is het model geknipt in twee losse modellen, namelijk de wanden in de x-richting en de wanden in de y-richting (fig. 9). In deze modellen zijn ook de vloerschijven gemodelleerd, die de wanden aan elkaar koppelen (fig. 10). Op deze manier kon de stijfheid, de verdeling van de belastingen over de verschillende wanden en de horizontale vervorming worden bepaald.

Het effect van de koppeling van de twee systemen op de stijfheid van het geheel is niet meegenomen. Wel is in een aantal vereenvoudigde modellen bepaald welke gevolgen het samenwerken van de wanden in de cijferassen en letterassen heeft. Uit deze modellen blijkt dat de vervorming van de wanden ten gevolge van de koppeling met ongeveer 40% afneemt. Het totale gebouw is dus aanzienlijk stijver dan uit de berekening blijkt. Dit komt doordat in werkelijkheid de wanden gaan samenwerken omdat ze aan elkaar vast zijn gestort.

11



De doorsnede waar beide wanden elkaar raken is gecontroleerd op de afschuiving die er doorheen moet. Beide afzonderlijke wanden zijn vervolgens gewapend alsof de koppeling er niet is, wat voor de wanden een veilige aanname is.

Vervolgens is nader ingezoomd op de verschillende spanningen in de wanden om de wapening te bepalen. Hierbij is rekening gehouden met de 120 minuten brandwerendheidseis.

Uitvoering

Tot en met de wanden op de tweede verdieping was het in de uitvoering een kwestie van traditioneel stapelen van betonwanden met daarop de breedplaatvloeren. Maar vanaf ongeveer peil +10 m beginnen de wanden uit te kragen. Rondom de toren is een steigerconstructie mee opgetrokken die steeds de stortbelasting van een bovengelegen verdiepingvloer en het eigen gewicht van één laag prefab balkons kan dragen (foto 11). Deze steigerconstructie kon echter de hoge stortbelasting uit de uitkragende wanden niet dragen. Daarom zijn in iedere betonwand onder de uitkragingen stalen jukken gemonteerd, bevestigd via stekankers aan de wand (fig. 7). Deze jukken dragen de stortbelasting van de uitkragende wanden en de daarop dragende verdiepingvloeren. Gedurende de bouw

Stalen jukken dragen de stortbelasting van de uitkragende wanden en de daarop dragende verdiepingvloeren

zijn de jukken bij iedere nieuw te maken uitkraging mee naar boven verplaatst.

Omdat de uitkragende betonwanden tijdens de uitvoering de stortbelasting van de bovenliggende wanden en vloeren moeten kunnen dragen, treden tijdens de uitvoering andere krachten op dan in de eindsituatie. Per stap in de uitvoering is hiervan een beschouwing gemaakt en waar nodig is wapening in de wanden toegevoegd. Er zijn eisen gesteld aan de minimale betonsterkte van de wanden in de verschillende uitvoeringsfasen. Voor de aannemer is een werkvolgorde uitgeschreven waarin per fase is aangegeven wat de betonsterkte zou moeten zijn voordat verder mocht worden

gebouwd. Dit is door de aannemer samen met de betoncentrale gemonitord. Op een enkele plaats zijn zelfs wandsparringen tijdelijk dichtgestort om op die manier de capaciteit van de wandschijven te verhogen en daarmee meer snelheid in de uitvoering mogelijk te maken.

Betonprijs

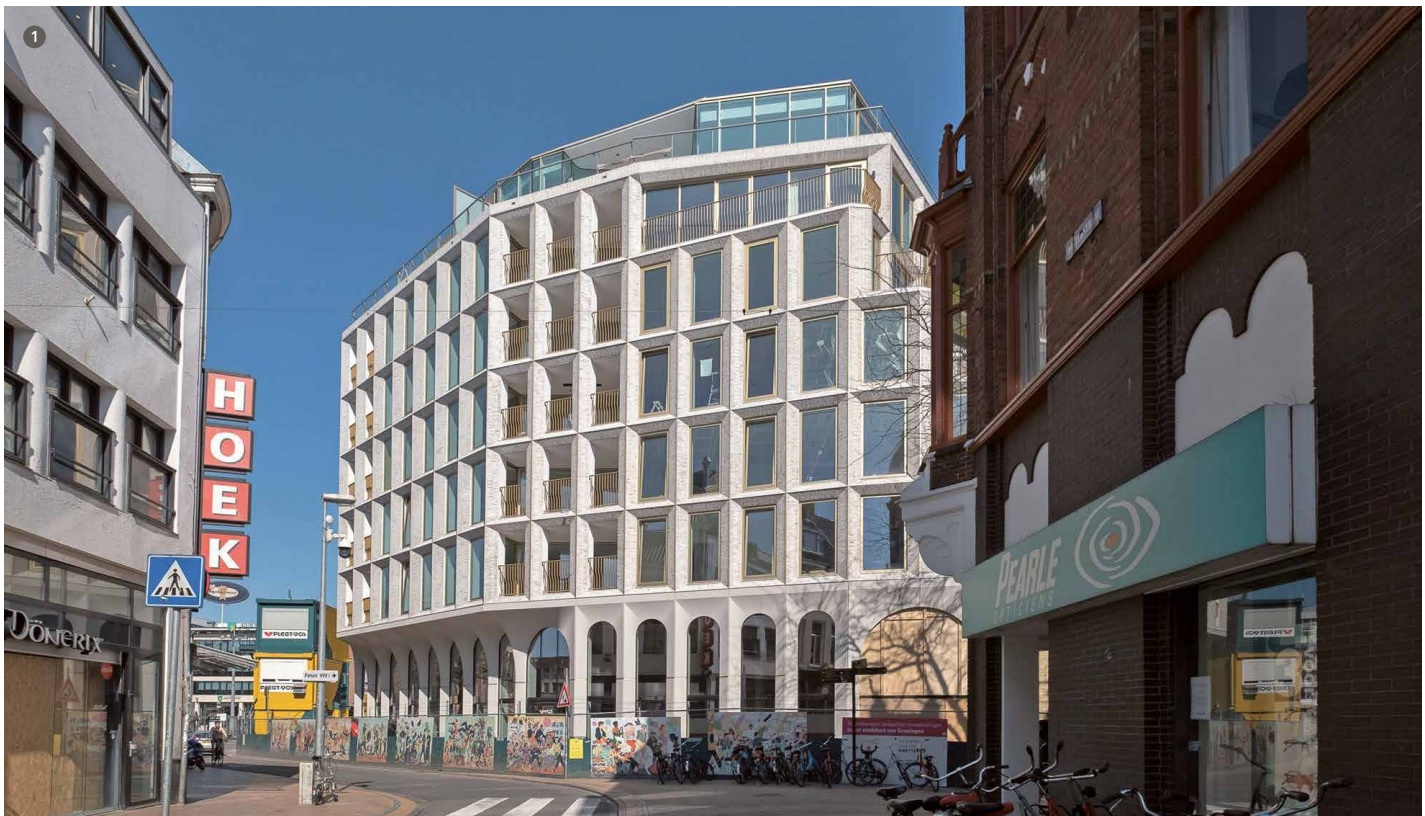
Het resultaat mag er zijn. Sinds 2017 pronkt er bij binnenkomst van Hilversum vanuit het oosten een heel bijzondere woontoren. Dat was ook de mening van de jury van de Betonprijs 2019, die het project tot winnaar in de categorie woningbouw heeft uitgeroepen. ●



Horecalandmark hangt boven de markt

Merckt, beeldbepalend op de Grote Markt in Groningen

In hartje Groningen, aan de Grote Markt, wordt de laatste hand gelegd aan het project Merckt. Met de diverse invulling met horeca en luxe appartementen, faciliteert het nieuwe gebouw de verbinding tussen mensen. Een van de meest bijzondere aspecten van het casco zijn de seismische en akoestische knip. Deze vallen geheel weg achter de sierlijke gevelelementen.



Het nieuwe gebouw Merckt ligt op de hoek van de Oostzijde van de Grote, op de plek van het vroegere pand Grote Markt 33.

Het is pal tegen het rijksmonument aan de Poelestraat 8 aangebouwd. De naam van het gebouw is geïnspireerd op de naam die de Grote Markt in de 19e eeuw had: 'Breede Merckt'. Het gebouw is het sluitstuk van de zogenoemde Oostwand van de Grote Markt. In de afgelopen jaren heeft deze Oostwand een metamorfose ondergaan: de nieuwbouw van studentenvereniging Vindicat is in 2014 opgeleverd, Merckt opent begin 2021 zijn deuren en het Westcord Hotel wordt komend voorjaar opgeleverd (fig. 3). Op dat moment zijn alle gebouwen van de wederopbouw na de tweede wereldoorlog aan deze zijde vervangen.

Geschiedenis

In de nadagen van de Tweede Wereldoorlog in Nederland, in april 1945, werd de binnenstad van Groningen hevig toegetakeld: in totaal werden ongeveer 270 gebouwen verwoest of raakten beschadigd. Grote branden waren het gevolg van de hevige beschietingen. Grote delen van de Grote Markt, Waagstraat, Guldenstraat en de Oude Ebbingestraat verdwenen in het puin.

Met de verwoesting van grote delen van de binnenstad stond het stadsbestuur na de bevrijding voor de taak Groningen een nieuw stadshart te geven. Daarbij werd niet gekozen voor reconstructie van de oorspronkelijke situatie, maar voor een plan met de allure van de nieuwe tijd. In 1949 leverde architect en stedenbouwer Granpré Molière het plan dat in de daarop volgende jaren grotendeels is gerealiseerd.

Ten opzichte van de oorspronkelijke situatie werden de gevelwanden aan de noordzijde van de Grote Markt in geringe mate en aan de oostzijde sterk teruggelegd. De Martinatoren kwam daardoor vanuit de Oosterstraat geheel in het zicht. De smalle entree naar de Oude Ebbingestraat werd verbreed en de Kreupelstraat en het Kwinckenplein werden aangelegd.

In de nieuwe situatie zijn de gebouwen aan de oostzijde van de Grote Markt, waaronder Merckt, meer naar het westen ge-

auteurs



ING. ANNE
RENKEMA

constructeur /
projectleider
Dijkhuis ingenieurs



IR. THEO VAN
WAGENINGEN

adviseur / directeur
Dijkhuis ingenieurs



PROJECTGEGEVENS

project
Merckt Groningen
opdrachtgever
MWPO
architect
Powerhouse Company
Rotterdam
hoofdaannemer
Plegt Vos
hoofdconstructeur
Dijkhuis ingenieurs
constructief seismische advies
Zonneveld Ingenieurs
geotechnische advisering
Fugro
leverancier sandwichelementen, prefab sierbogen en dakranden
Hibex
leverancier sliders
Vilton
leverancier en adviseur geluiddempers
CDM
adviseur bouwphysica
Peutz

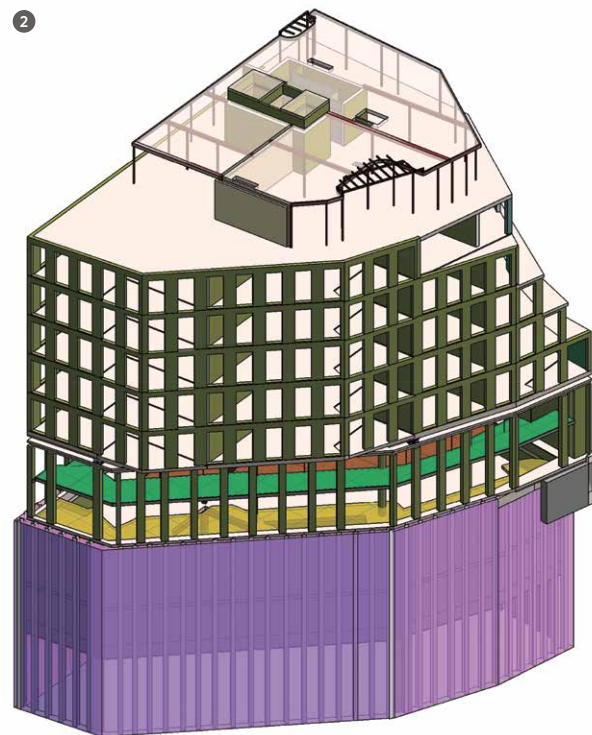
plaatst, richting het stadhuis. Daarmee is de rooilijn van voor de Tweede Wereldoorlog hersteld (fig. 4). Dit heeft geresulteerd in een intiemere beleving van het marktplein.

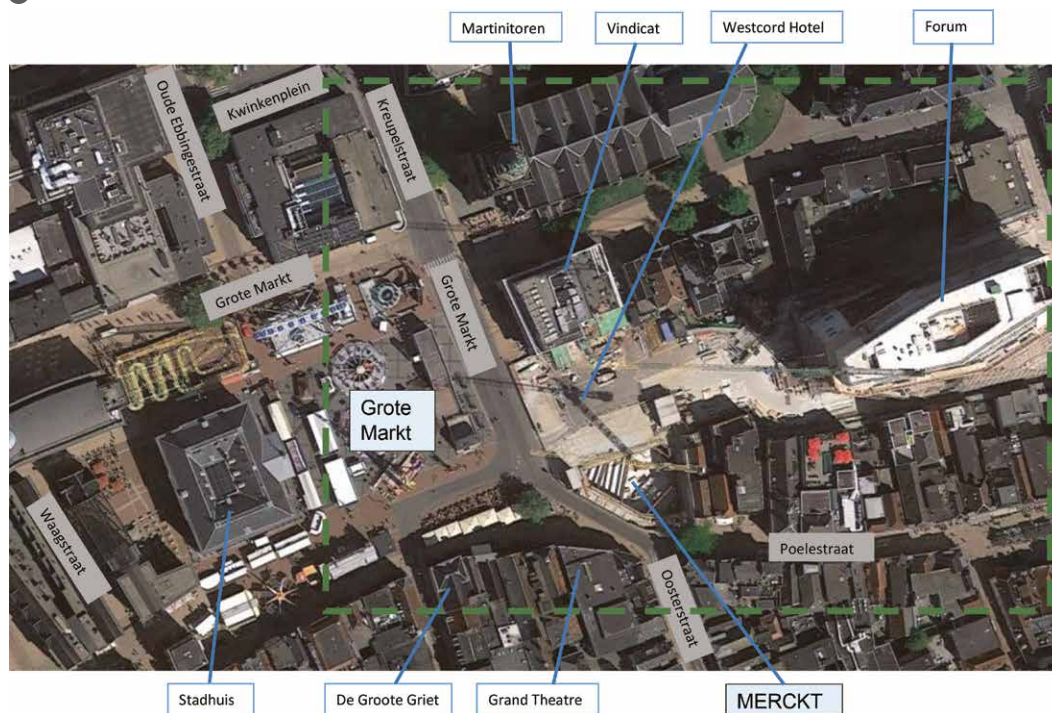
Programma

Merckt is een 25 m hoog gebouw met een dubbellaagse kelder eronder (fig. 3). Deze kelder was in de ontwerpfase aanvankelijk 6 m diep, maar omdat de wanden van de bouwput vanwege de waterdichtheid heel diep de grond in moesten, werd een extra hoge ondergrondse kelderlaag mogelijk. Hierdoor kon er naast bergingen en installieruimtes ook horeca worden ondergebracht met een volledige bierbrouwerij. Vanwege de hoogte die beschikbaar is door vides, kunnen installatieonderdelen met een grote hoogte worden geplaatst.

De begane grond wordt ook ingevuld met horeca. Op de 1e tot en met de 5e verdieping liggen woningen. De 6e laag wordt gedeeltelijk ingenomen door horeca, een rooftopbar met serre. En gedeeltelijk door het penthouse, een woning van 180 m² en een dakterras van circa 100 m². In de kern bevinden zich de liften en de trappen.

Ondanks de relatief beperkte totale →





situatie 1920



situatie 2007



situatie 2020

Onderbouw en bovenbouw kunnen los van elkaar bewegen door toepassing van zogenoemde 'sliders'

hoogte van het gebouw, voorziet het ontwerp in maar liefst 11 niveaus en een dak (fig. 6). De totale hoogte is bijna 35 m, maar bijna 10 m daarvan zit in de grond.

Een van de meest bijzondere aspecten van het casco is de seismische en akoestische knip in het gebouw. Bijzonder zijn verder de dragende sandwichgevelelementen, met de speciale vormen en witte gevelstenen. In deze elementen komen bij uitstek uitstraling en constructie samen.

Aardbevingsbestendigheid

Merckt bevindt zich in de invloedssfeer van door gaswinning geïnduceerde aardbevingen. Op basis van de NPR 9998 versie december 2015, zijn er maatregelen genomen om een aardbevingsbestendig gebouw te realiseren.

Voor een compact en stijf appartementsgebouw als Merckt, is het toepassen van 'base isolation' een geëigende oplossing. Het is met deze oplossing niet nodig de constructie zwaar over te dimensioneren, waardoor de architectuur en schaarse ruimte niet worden geraakt. De belastingen uit de aardbevingen worden hierdoor aanmerkelijk

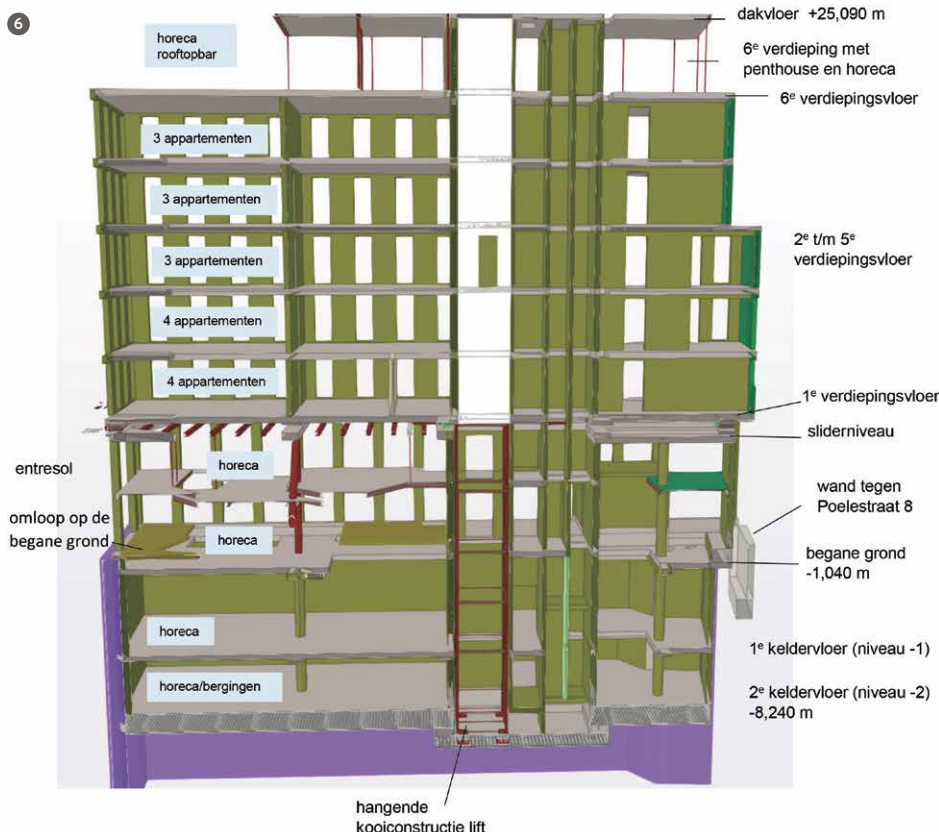
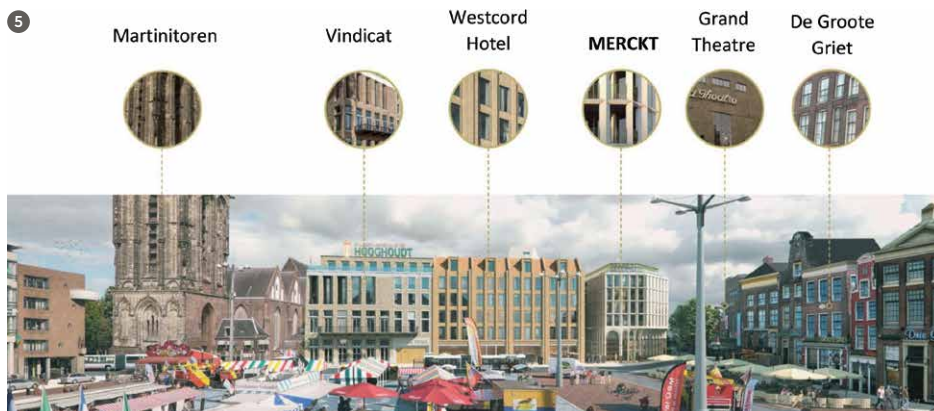
gereduceerd, doordat onderbouw en bovenbouw los van elkaar kunnen bewegen door toepassing van zogenoemde 'sliders' (fig. 7a en foto 7b). Sliders bestaan uit twee roestvaste stalen glijschalen met daartussen een met teflon beklede 'puck'.

De sliders worden bij voorkeur zo laag mogelijk in het gebouw geplaatst, bijvoorbeeld op het beganegrondniveau. Er is in dit geval echter voor gekozen om, ter voorkoming van een complexe aansluiting op het maaiveldniveau, het sliderniveau te realiseren tussen de horeca en de woonverdiepingen. Hierdoor kon de seismische ontkoppeling worden gecombineerd met de eveneens noodzakelijke akoestische ontkoppeling.

Het constructieve seismische advies is verzorgd door Zonneveld ingenieurs. Zonneveld heeft de NLTH-analyse gedaan (Nonlinear Time History) en de resultaten zijn door Dijkhuis ingenieurs toegepast in de sterkteberekeningen (zie verder kader 'Taakverdeling').

Stabiliteit

Boven het sliderniveau wordt de stabiliteit verzorgd door de woningscheidende wan-



den en de kernwanden (liftput en trappen-huis), samen met schijfwerking van de vloeren. Onder het sliderniveau tot de begane grond wordt de stabiliteit verzorgd door de kernwanden, de wand die tegen de bestaande bebouwing van Poelestraat 8 aanligt en een schoorconstructie van stalen buisprofielen (windbok) (fig. 8).

Vanaf beganegrondniveau en dieper vormt de kelder een stijve betonnen doos. De vloeren in de kelder fungeren bovendien als stempels voor de kelderwanden.

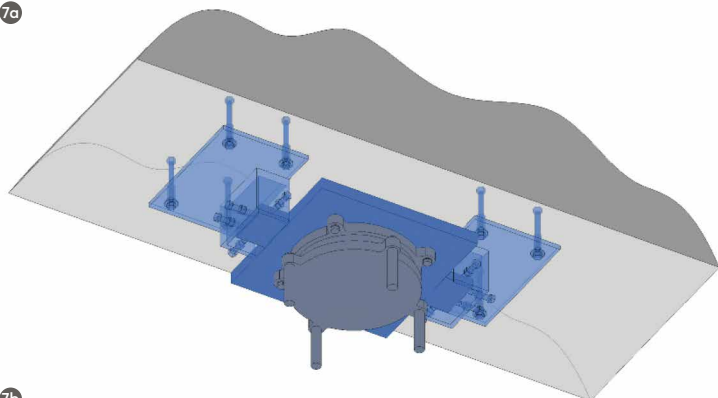
Schoorconstructie op de begane grond Het voorste deel van de begane grond (het deel van de begane grond aan Grote Marktzijde en aan de Poelestraatzijde, links in fig. 6) is een 'open' casco, een vrij indeelbare ruimte. In de ontwerpfase is in eerste instantie onderzocht of de stabiliteit van de onderbouw kon worden ontleend aan de kern en de wand tegen Poelestraat 8. Omdat dit gezien de grootte van de aardbevingsbelasting niet in voldoende mate kon, is een schoorconstructie toegevoegd, opgebouwd uit stalen →

TAAKVERDELING

De seismische analyse is gedaan door Zonneveld ingenieurs. De NLTH-analyse leverde de input voor de constructieve vervolgberekeningen. De algemene werkwijze die is aangehouden voor de dragende en stabiliserende elementen van het casco is als volgt:

1. statische ontwerpberekening, gewichts- en stabiliteitsberekening door Dijkhuis;
2. aangeven van dimensies van de constructiedelen en de wapening in de betononderdelen aan de hand van het statische ontwerp van de constructie door Dijkhuis;
3. controle door Zonneveld van de casco-onderdelen op de krachtwerving ten gevolge van seismiteit;
4. aanvulling op dimensies (eventueel) en op de wapening van de casco-onderdelen;
5. opgave aan de verschillende leveranciers door Dijkhuis;
6. controle van de aangeleverde uitvoeringsstukken door Zonneveld / Dijkhuis.

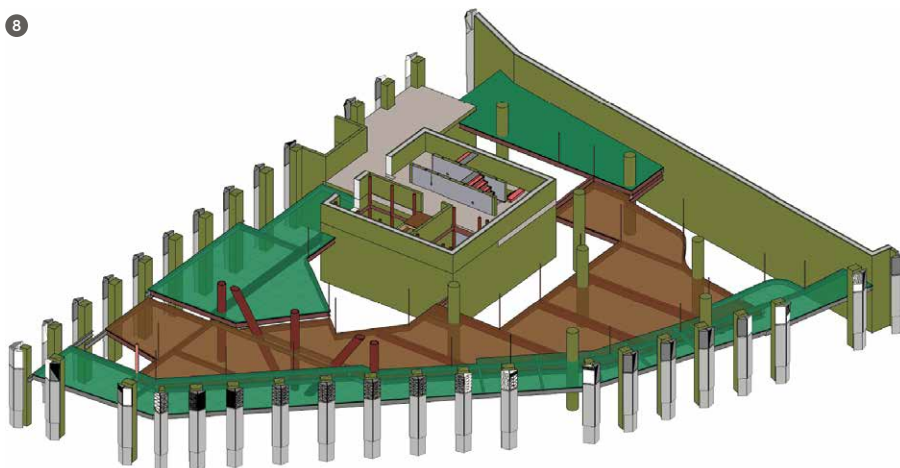
7a



7b



8



buisprofielen (drie kolommen en twee diagonalen, fig. 9). De kolommen zijn voorzien van een dwarskrachtnok, bij de buitenste kolommen aan de bovenzijde en bij de middelste aan de onderzijde.

Deze constructie is aangebracht tussen de begane grond en het sliderniveau. De kolomvoeten zijn met ingestorte ankers verbonden aan de betonconstructie. Aan de bovenzijde zijn draadeinden aangebracht, die zijn ingestort in de betonconstructie. De buizen zijn voorzien van een brandwerende coating.

Horizontale draagstructuur

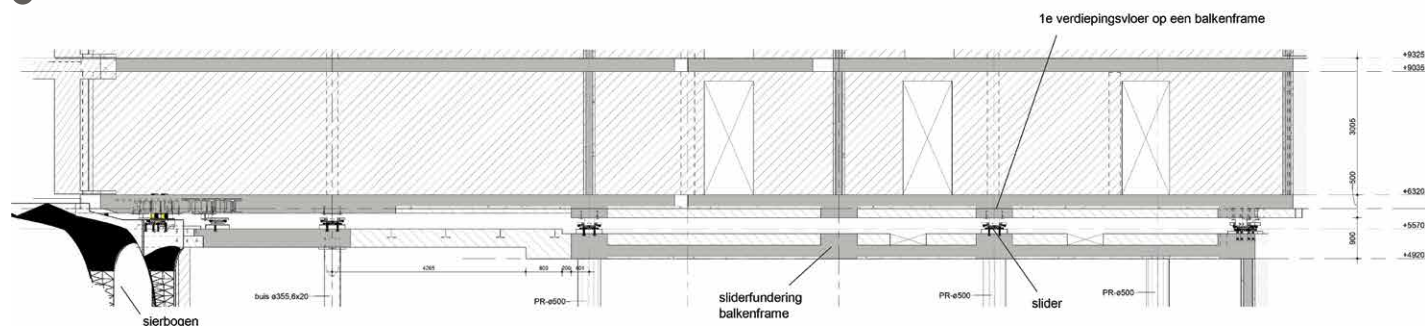
De *dakvloer* is een betonvloer van 250 mm dik (70 mm breedplaat met 180 mm druklaag). In de dakvloer zijn stalen liggers in de vloer gestort, zodat een vrij indeelbare ruimte mogelijk was met voornamelijk dragende kolommen in plaats van wanden. In de dakvloer zijn diverse leidingen geïntegreerd, die de stalen liggers kruisen. Hiervoor zijn aanpassingen aan de stalen liggers gedaan. Het gedeelte van het dak van de horeca is volledig gedilateerd (akoestische ontkoppeling) ten opzichte van het dak van het penthouse.

Op de begane grond is een schoorconstructie toegevoegd, opgebouwd uit stalen buisprofielen

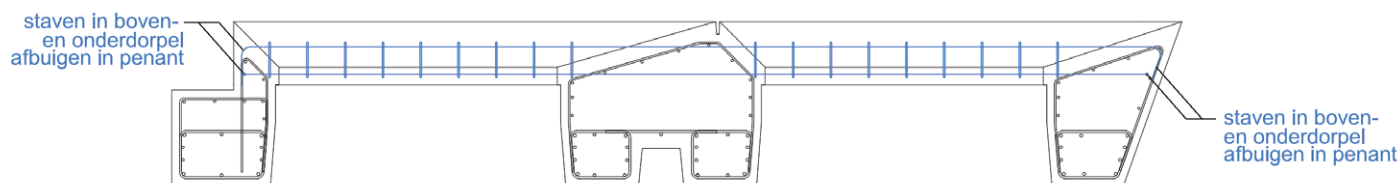
ARCHITECT POWERHOUSE COMPANY OVER MERCKT

Hoewel nieuwbouw, past het ontwerp van Merckt toch heel goed in zijn omgeving. Om de overgang van nieuwbouw naar het oude centrum zo naadloos mogelijk te maken, maakt het gebruik van een kleuren- en materialenpalet dat weloverwogen is afgestemd met dat van het oude stadscentrum (fig. 5). De lichtbruine baksteen van het middendeel voegt zich in de kleurstelling van Vindicat en is een ware afsluiting van de Oostwand. Dit wordt des te meer geaccentueerd door de ranke bogen van Merckt die subtiel verwijzen naar welbekende bogen van de Martinitorren en het stadhuis. De materialisatie van de plint bestaat uit een elegante combinatie van prefab-betonelementen met messing details. Het beton maakt dat het gebouw een schakel vormt tussen het verleden en de toekomst, elementen die ook in het ontwerp van Vindicat duidelijk te herkennen zijn. Doordat de plint zich aansluit op de schouderhoogte van de omliggende panden, landt het gebouw en wordt de Oostwand afgemaakt.

11



12



De 1e keldervloer (niveau -1) is een betonvloer van 250 mm dik op een frame van betonbalken. De balkafmetingen (inclusief vloerhoogte) zijn hier 800 mm breed en 400 mm hoog.

De 2e keldervloer (niveau -2) vormt het laagste niveau. Deze vloer is samen met de kelderwanden tevens de fundering van het gebouw. De vloer is een in het werk gestorte vloer van 1000 mm dik. Ter plaatse van de kern is de vloer 600 mm dik. De vloer onder de kern heeft tijdens de bouw tevens dienst gedaan als fundering voor de torenkraan, die vanwege de beperkt beschikbare ruimte voor de bouwplaats was opgesteld in de liftput.

Verticale draagstructuur

De dakvloer wordt gedragen door de kernwanden, kalkzandsteen scheidingswanden tussen horeca en penthouse, en stalen kolommen die achter de terugliggende gevelpuiken zijn geplaatst. De kolommen en de scheidingswanden zijn op de onderliggende 6e verdiepingvloer geplaatst, deels halverwege de overspanning, deels boven de draaglijnen (wanden) onder deze 6e verdiepingvloer. Deze kolommen zijn voorzien van akoestische ontkoppeling door deze op te stellen op 'akoestische lagers'. Dit zijn blokken opgebouwd uit elastomeer en stalen

platen. De specifieke eigenschappen en dimensies van deze lagers volgen uit de optredende verticale belastingen.

De 6e tot en met 2e verdiepingvloer worden rondom ondersteund door dragende gevels, woningscheidende wanden (betonwanden met dikte 250 mm) en de kernwanden (holle wanden met dikte 300 mm). De dragende gevels zijn prefab sandwichbetonelementen met een dragend binnenblad, dik 250 mm (fig. 12). Het buitenblad is ook van beton. Hierin zijn gevelstenen in de fabriek meegestort. De dikte loopt in schuine hoeken af van de penanten / liggers naar de kozijnen (foto 13).

Het balkenframe van de sliders op de 1e verdiepingvloer wordt rondom ondersteund door prefab-betonkolommen in de gevels (350 x 520 mm²) die op een afstand van circa 2,1 m van elkaar staan. Het frame wordt verder tevens ondersteund door de wanden van de kern, de stalen windbok en de lange wand tegen de bestaande bebouwing van de Poelestraat.

De begane grond en het 1e kelderniveau worden rondom ondersteund door de kelderwanden en in het midden door prefab-betonkolommen (Ø500 mm) en de kernwanden.

Het 2e kelderniveau is op staal gefundeerd. De ondergrond bestaat uit vastgepakt

zand. Het gebouw is namelijk geplaatst boven de laatste uitloper van de Hondsrug, een door de ijstijd ontstane stuwwal van zandlagen.

Bouwput

Voor de bouwput zijn zogenoemde MIP-panelen toegepast. Dit is een systeem waarbij bestaande grond ter plekke wordt vermengd met grout (Mixed In Place), met behulp van een triple-avegaar (drie avegaren naast elkaar). Vervolgens zijn over de hele verticale lengte staalprofielen HEA360 in de wand geplaatst op een afstand van h.o.h. 1,1 m. Deze profielen zorgen voor de sterkte van de wand.

Met Plaxis zijn de bouwput en de omliggende grond gemodelleerd. De MIP-wand is tot in de waterkerende keileemlaag gebracht tot een diepte van 17 m minus maaiveld. Daarmee is de bouwput waterdicht en is er geen gevaar voor opbarsten.

De fundering van de naastgelegen pand Poelestraat 8 bestaat deels uit een kelder op staal en deels uit een gemetselde strokenfundering op staal. De bestaande kelderwand van het oorspronkelijke gebouw (Grote Markt 33) tegen Poelestraat 8 is gehandhaafd. Direct hier tegenaan is bouwputwand aangebracht. De monumentale belending bleef daarmee stabiel.

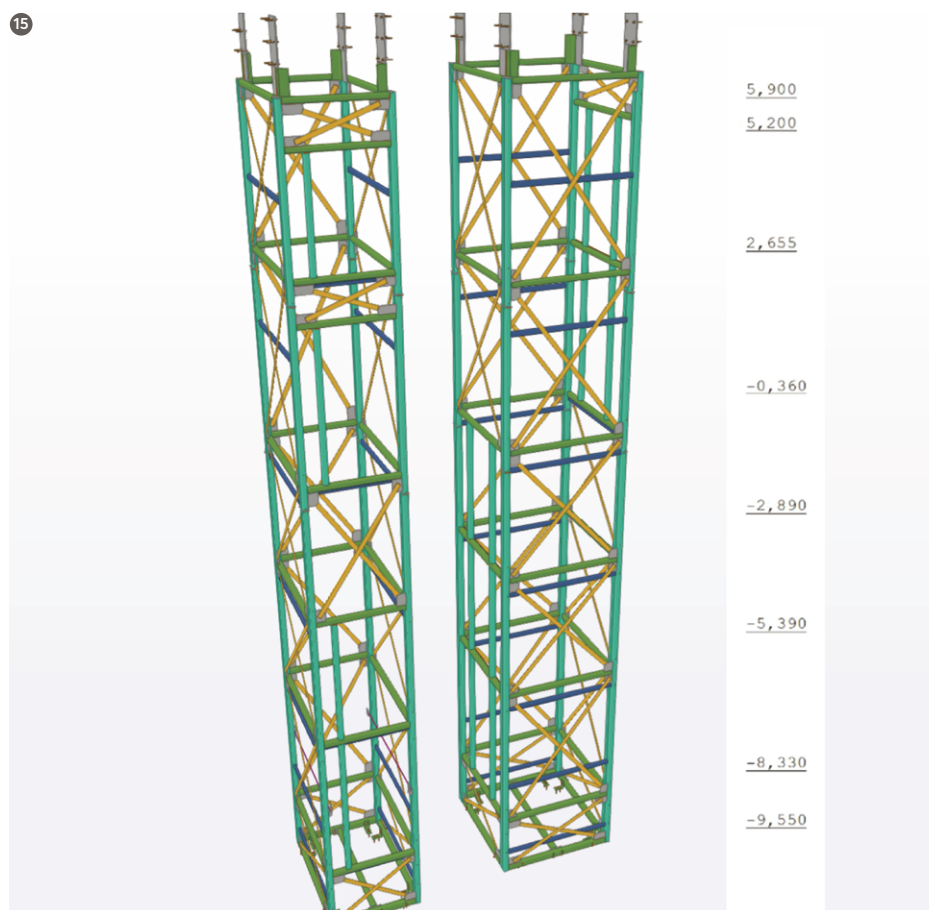
De bouwputwanden worden tijdens het ontgraven op drie niveaus op elkaar af



De sliders zijn opgesteld op een 'funderingslaag', een tussenvloer met erop een betonnen balkenframe

De liftconstructie is opgehangen aan de 1e verdiepingsvloer en rondom vrijgehouden van de onderliggende constructies

15



gesteund met tijdelijke stempelramen (foto 14). De fundering van Poelstraat 8 is daardoor op zijn plek gehouden en vervormingen van de omgeving zijn geminimaliseerd. De bouwputwand is aan de binnenkant voorzien van een extra constructieve betonwand. De keldervloeren en de begane grondvloer nemen de functie van de stempelramen over. Door Fugro is een monitoringsplan opgesteld voor beheersing van de grondwaterstanden en de zettingen van de omgeving.

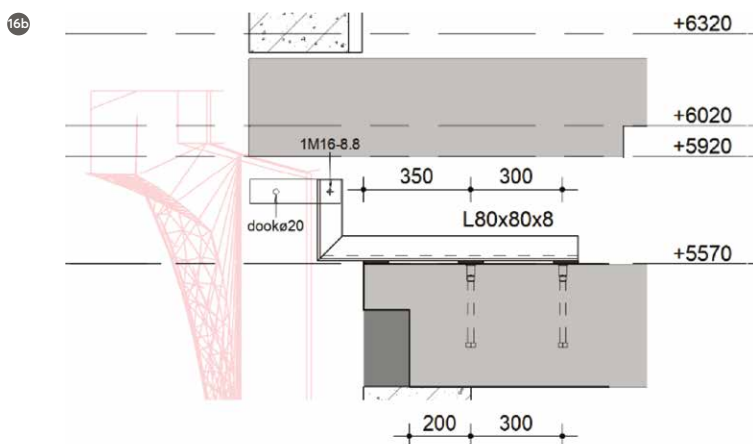
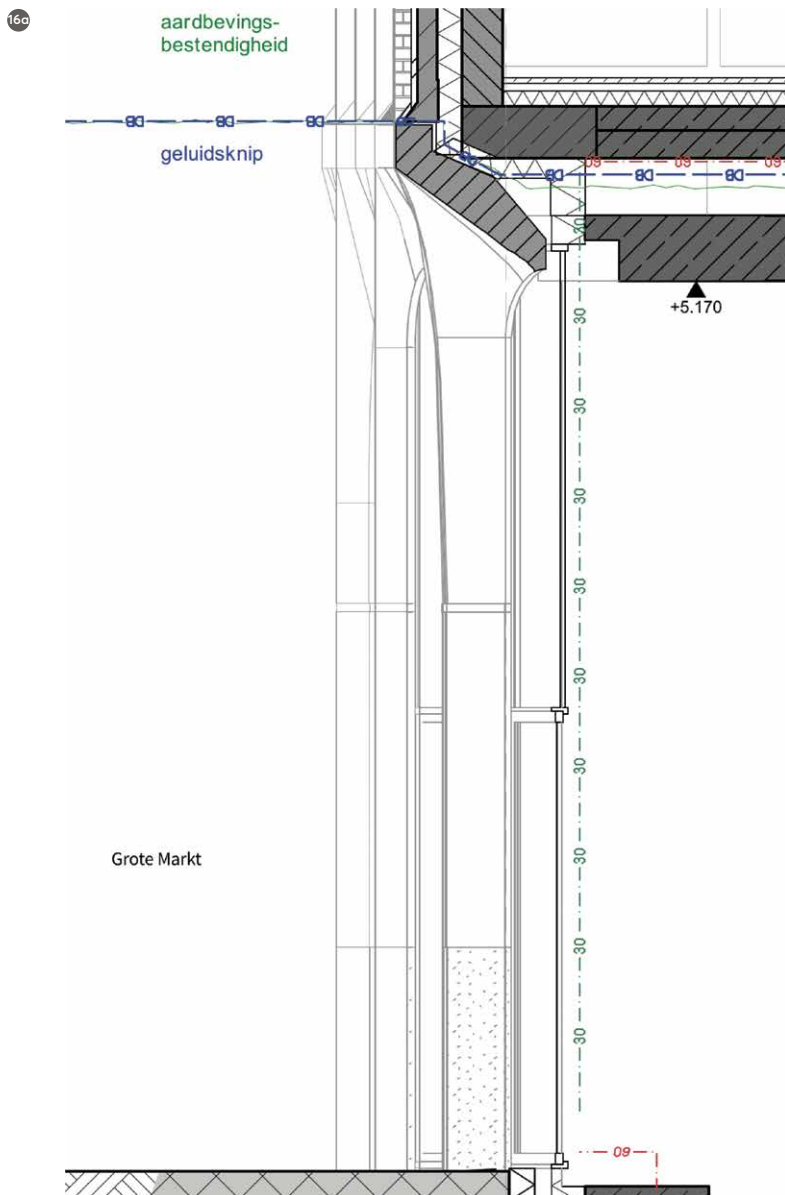
Constructieve uitwerking bijzondere onderdelen

In het volgende deel worden enkele bijzondere onderdelen nader toegelicht.

Hangende liftschacht Er zijn twee liftschachten in het gebouw, een voor de appartementen (woonlagen) en een voor de horecaruimten. Omdat de liftschachten door het sliderniveau gaan, moest hier een oplossing worden gevonden voor de aardbevingbestendigheid.

Om die reden zijn beide liftconstructies opgehangen aan de 1e verdiepingsvloer boven de sliders en rondom vrijgehouden van de onderliggende constructies. Ten behoeve van deze ophanging zijn circa 15,5 m hoge stalen kooiconstructies gemaakt (fig. 15), die met lijnmankers aan de betonconstructie van de 1e verdieping zijn bevestigd. Op deze manier kan de constructie de verplaatsingen tijdens een aardbeving volgen en blijft de overgang over de horizontale knip van de liftconstructie intact. Hoewel de liftinstallatie bij grote verplaatsingen in veiligheidsstand zal schakelen, blijft de geleiding van onder tot boven een doorgaand geheel.

Koppeling sierbogen De gevel over de onderste twee lagen is ingevuld met prefab betonnen sierbogen. Deze sierbogen zijn voor de dragende kolommen geplaatst en buigen terug van het gebouw af. De prefab elementen worden verticaal op de fundering geplaatst en zijn aan de bovenzijde horizon-



taal gekoppeld aan het casco. De koppeling is gerealiseerd onder de seismische knip in het gebouw. Hiertoe zijn stalen jukken gemaakt (UNP profielen, hoekstalen en plaatstaal) die met ingestorte ankers aan de fundering van de sliders zijn bevestigd. Het achteraf installeren van ankers was in de zeer zwaar gewapende betonconstructie niet mogelijk.

De boogelementen zijn in de afbouw-fase geplaatst. Ze konden niet worden gehe-sen en verticaal worden geplaatst, maar moesten 'onder' het gebouw worden gescho-ven (fig. 16). Met een speciaal vervaardigde 'contramal' op een vorkheftruck zijn ze op de juiste positie gemonteerd.

De maatgevende horizontale belastin-gen volgden uit de horizontale versnelling en vergrotingsfactoren als gevolg van een aard-beving. Daarop zijn de bevestigingen statisch berekend en gedimensioneerd. Datzelfde gold voor vele andere secundaire construc-tieve onderdelen.

Beelbepalend

Het bouwen in de binnenstad, met de zeer beperkte ruimte naast een rijksmonument, levert altijd de nodige uitdagingen op. Met het realiseren van Merckt was uitzonderlijk veel planning en werkvoorbereiding gemoeid. Iedere vraag tijdens ontwerp en uitvoering moest uitvoerig worden overwogen en be-schouwd. De constructie is complex en kende geen standaard antwoorden op ver-zoeken om aanpassingen of toevoegingen. In het gebouw is niet of nauwelijks sprake van repetitie in plattegrond of doorsnede: elke cm² is anders.

Het resultaat is een beelbepalend gebouw op een bijzondere plek in de binnenstad van Groningen. ●

Kunstmatige Intelligentie

Kans of fuik'?



Ir.ing. S.M. (Sander) den Blanken RO (47) studeerde Civiele Techniek aan de TU Delft. Hij heeft meer dan twintig jaar ervaring bij diverse ingenieursbureaus, waaronder Arcadis, Ingenieursbureau Gemeente Amsterdam en Arup. Sinds maart 2019 is Den Blanken managing director van BAM Infraconsult en sinds augustus 2020 statutair directeur van BAM Infra Assetmanagement. Samen met Dorien Staal, statutair directeur van Voorbij Prefab, neemt hij gedurende een jaar de column in *Cement* voor zijn rekening.

Wil je reageren op deze column, stuur dan een email naar cement@aeneas.nl.

Kunstmatige Intelligentie (KI), of Artificiële Intelligentie (AI), is aan veel tafels onderwerp van gesprek. Met sprankelende voorbeelden, zoals de afwijking in de kleur van Heinekenbier of juist de bedreigende voorbeelden, zoals het algoritmefuik van YouTube. Zelden lees ik over de unieke toepassingen en de kansen die het biedt in onze bouw- en infrastructuursector. Ik moet toegeven dat ik hierover zelf ook nauwelijks communiceer, terwijl wij inmiddels allerlei toepassingen kennen. Onderzoeksuniversiteit MIT investeert fors in een nieuwe leergang, waarbij AI een kernvak is van alle opleidingen. Dat betekent dat over vijf jaar niet alleen wiskundigen op de arbeidsmarkt komen met AI-kennis en -ervaring, maar dat vanuit alle opleidingsrichtingen mensen weten hoe je AI kunt gebruiken. Om deze reden wil ik in deze column graag stilstaan bij enkele toepassingen en bij wat dit betekent voor onze toekomst.

Expertise blijft noodzakelijk

Een specifieke toepassing van AI die zich in onze sector steeds verder uitbreidt, is de zogenoemde Expertsysteemmethode. Deze methode is gebaseerd op bestaande kennis van menselijke experts en bestaande data, en werkt op basis van vooraf ingevoerde basisregels. In sommige gevallen worden deze basisregels afgeleid uit trainingsdata door middel van machine learning.

Angst is achterhaald

Er bestaat enige angst voor AI en die is terug te voeren tot een rapport van Oxford University uit 2013, waarin onderzoekers voorspelden dat de helft van alle werknemers vervangbaar zou worden. Die voorspelling is inmiddels achterhaald. Vier jaar na de eerste studie kwam dezelfde vakgroep in 2017 met een nieuwe analyse. AI neemt bepaalde taken over en dus niet zo zeer banen. Door AI kunnen mensen zich meer richten op andere of nieuwe taken met andere vaardigheden, zoals originaliteit en de competentie om conclusies te trekken op grond van data.

Van wetenschap naar praktijk

Een vroeg wetenschappelijke onderzoek naar de voorspelling van de betonsterkte (op basis van parameters zoals de betonmix, grootte, vorm, uithardingstechniek en omstandigheden) toonde al aan dat je door de toepassing van AI de nauwkeurigheid van de voorspelling vele malen kunt verbeteren. Het bedrijf Converge borduurde hierop voort en heeft het eerste commerciële zelflerende systeem gebouwd om het verhardingsproces van beton te voorspellen. Hiervoor is een enorme hoeveelheid aan technische data over betonverharding geanalyseerd. Deze 'strength prediction engine' is door Converge ontwikkeld in samenwerking met BAM en is succesvol toegepast bij de uitbreiding van London City Airport.

Patroonherkenning

Andere toepassingen zien wij terug bij met name inspecties, naar analogie van gezichtsherkenning. Mooi voorbeeld is Sobolt, het bedrijf dat

***“De zogenaamde
‘speld in een
hooiberg’ is alleen
structureel
vindbaar met
behulp van
algoritmes”***

samen met Movares werkt aan de ontwikkeling van een deep learning bruginspectie-applicatie. De algoritmische analyse van dronebeelden, die is getraind door input van experts, biedt nauwkeurige rapportage van defecten en schades. Hierbij passen zij circa 80% kunstmatige intelligentie en 20% menselijke intelligentie toe. Dit leidt tot significant lagere kosten en een hogere betrouwbaarheid. Het maakt een tijdige besluitvorming over noodzakelijk onderhoud en eventuele reparatie mogelijk. Een ideaal scenario voor beheerders van bruggen, sluizen en tunnels.

‘Speld in de hooiberg’ is vindbaar

Het analyseren van de toestand van bestaande betonnen bruggen vergt de verwerking van veel ongestructureerde data, waarbij met name de ‘afwijkende’ data interessant is. De zogenaamde ‘speld in een hooiberg’ is alleen structureel vindbaar met behulp van algoritmes. Zoektechnieken die al zijn toegepast bij het analyseren van herkenning van asfaltschade, de inspectie van geleiderails en nu dus ook bij viaducten. Hierbij maak je gebruik van ‘open source’ algoritmes, die worden aangepast voor specifieke ontwikkeldoelinden. De kennis die in de hoofden zit van mensen, wordt vertaald naar datasets en beslisregels. Een goed voorbeeld is hoe een inspecteur kijkt naar een scheur in een betonconstructie. Waar let hij op? Hoe beoordeelt hij het schadepatroon? Deze impliciete beoordeling moet worden verwerkt in het algoritme. Dit moet leiden tot het zichtbaar maken van het patroon en het vaststellen van de afwijking in de dataset. De uitdaging zit er vooral in om de vertaalslag te maken van de kennis en ervaring naar data en beslisregels.

Omarmen is het devies

Het is niet de vraag of we iets met AI willen, maar hoe we het omarmen in onze sector. We hebben veel domeinkennis. De kunst is om dit te verbinden met AI-technologie en -data. De wijze waarop we inspecties uitvoeren is al in transitie naar een datagedreven vorm. Als we een parallel trekken, kunnen we deze aanpak ook vertalen naar onder andere het monitoren van bouwplaatsen, het dragen van Persoonlijke Beschermings Middelen (PBM's) en het ontwerpen van (prefab) viaducten. De mogelijkheden zijn legio. De crux zit in het omarmen van deze nieuwe wijze van denken en het samen in gang zetten van deze verandering.

Naast de businessmogelijkheden is er ook een wereld te winnen om betere besluiten te nemen op basis van interpretatie van data. Hiermee kunnen we de menselijke factor bij het ‘ontkennen’ van eerder gemaakte foutieve inschattingen beter herkennen. Ook kunnen we het voorspellend karakter van investeringen vergroten. AI kan ondersteunen zowel aan de faalkostenkant als aan de onderhoudskostenkant om te komen tot betere besluiten, met een positief effect op onze schaarse middelen en een positief businessresultaat. In tijden van crisis gloort er dus hoop als we in staat zijn kunstmatige intelligentie te omarmen, elkaar te wijzen op de mogelijkheden en eventuele valkuilen samen te voorkomen. ●

***“Het is niet de
vraag of we iets
met AI willen,
maar hoe we het
omarmen in
onze sector”***

de jonge constructeur

In deze rubriek maken we kennis met jonge constructeur **Liesette la Gasse**. Ze deelt haar mening over het vak en belicht een van haar eerste projecten, de ontwikkeling van een verkeersbelastingmodel voor bruggen in het onderliggende wegennet.

Mijn mening

Hoe heb je de overgang tussen studie en werk ervaren?

Mijn afstudeerproject heb ik op dezelfde afdeling bij TNO gedaan als waar ik nu werk, Structural Reliability. Dit maakte de overgang natuurlijk relatief gemakkelijk: ik kende de mensen, de manier van werken en het type projecten. Wel merkte ik dat ik het werken in projecten zelf toch heel anders vond dan tijdens projecten voor mijn studie. Omdat je een project nu (meestal) voor een klant doet, voelde ik een hogere druk. Je wilt toch iets goeds afleveren en je merkt dat je nog zoveel moet leren wanneer je van de universiteit afkomt. Deze overgang werd wel een stuk makkelijker gemaakt door mijn collega's. Zij gaven me gelijk veel vertrouwen en waren ook altijd bereid om bij vragen te helpen. Mijn mentor bij TNO, Wietske van Kanten, speelde hierin ook een grote rol. Het geeft daarnaast ook snel vertrouwen als je je eigen onderzoek kunt presenteren bij de klant en je als expert op jouw vakgebied wordt gezien. Dat vind ik nog steeds een van de leukste dingen van mijn werk.

Zou je jezelf liever als specialist of allrounder willen doorontwikkelen?

Ik wil mij zeker verder blijven ontwikkelen als specialist, in mijn geval op het gebied van betrouwbaarheid van constructies en probabilistische analyses. Daarnaast vind ik het leuk om dit voor zo divers mogelijke typen constructies te doen. Zo leer ik elke keer weer een heel nieuw toepassingsgebied kennen. Of het nou gaat om waterbouwkundige constructies, bruggen, gebouwen of pijpleidingen, het zijn allemaal civiele constructies, maar steeds weer totaal anders.

Wat zeg je als je op feestjes wordt gevraagd wat voor werk je doet?

Ik maak er meestal van dat ik reken aan constructies, zoals bruggen, gebouwen en water-

keringen, om te bepalen of deze voldoende veilig zijn om in gebruik te blijven. Nog vaak genoeg krijg ik dan de reactie: 'Zo, dat doen vast niet veel vrouwen'. Dit vind ik jammer, want ik werk juist met heel veel vrouwen. In mijn team is de verdeling tussen mannen en vrouwen zelfs ongeveer 50/50. Ook tijdens mijn studie waren we met behoorlijk wat dames. Als ik sommige gastdocenten mocht geloven, is dat aantal de afgelopen decennia behoorlijk gegroeid. Tijdens mijn studie heb ik ook regelmatig voorlichting gegeven over technische studies aan meisjes op middelbare scholen. Het zou mooi zijn als het in de toekomst een stuk normaler wordt gevonden voor meisjes om voor een technisch vak te kiezen.

“In mijn team is de verdeling tussen mannen en vrouwen zelfs ongeveer 50/50”

YouCon

Deze rubriek is tot stand gekomen in samenwerking met YouCon, de vereniging van en voor jonge constructeurs.



IR. LIESETTE LA GASSE

leeftijd

28 jaar

opleiding

TU Delft,
Civiele Techniek,
Structural Mechanics
afstudeerproject

Betrouwbaarheids-
analyse van hoogbouw
bij dynamisch gedrag
onder windbelasting

werkgever

TNO

functie

onderzoeker
Structural Reliability

werkzaam sinds

september 2017

baan gekregen door

afstuderen

belangrijk bij

ontwikkeling

senior onderzoekers
Structural Reliability
en mentor

Wietske van Kanten

eerste project

Verkeersbelastingmodel
bruggen onderliggend
wegennet

rol bij eerste project

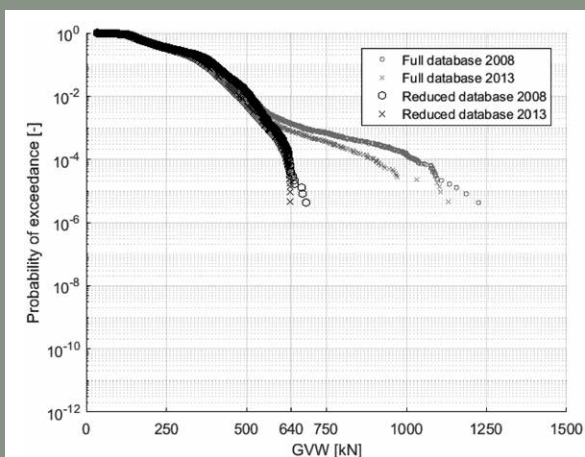
junior onderzoeker

Mijn project

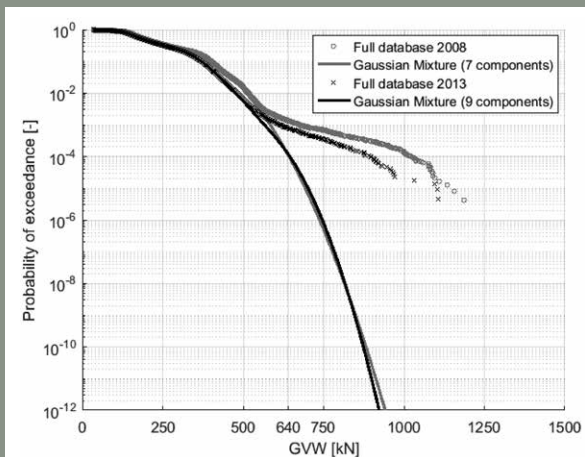
Verkeersbelastingmodel voor bruggen

Het 'Verkeersbelastingmodel voor bruggen in het onderliggend wegennet' was een van de eerste projecten waar ik bij TNO bij betrokken werd. In dit project stond een vraag centraal van een aantal decentrale overheden, zoals de gemeentes Rotterdam en Amsterdam. Zij gaven aan dat de destijds geldende regelgeving voor verkeersbelasting bij de beoordeling van bestaande bruggen en viaducten vaak leidt tot een veiligheidsniveau dat rekenkundig onvoldoende is. Voor het ontwerp van wegverkeersbruggen moet voor de verkeersbelasting uit worden gegaan van de modellen uit EN 1991-2. Deze modellen zijn gebaseerd op metingen op een van de meest zwaarbelaste locaties binnen Europa en dienden ook als basis bij de beoordeling van bestaande constructies in wegen van gemeentes en provincies. Het vermoeden bestond daarom dat meerdere constructies onveilig werden bevonden, terwijl ze wel voldoen als rekening wordt gehouden met een verkeersbelasting die meer recht doet aan het werkelijke verkeer op die wegen.

Veel van de wegen die in het beheer zijn bij decentrale overheden, mogen niet belast worden door voertuigen met een jaaronthefving (dit zijn voertuigen met een voertuiggewicht van meer dan 50 ton, of 60 ton voor kraavoertuigen). In het uitgevoerde onderzoek in opdracht van gemeente Rotterdam zijn we daarom nagegaan wat het effect is van het niet meenemen van dit soort voertuigen op de ontwerpverkeersbelasting. Dit project heeft uiteindelijk geleid tot een aanvullend achtergronddocument bij NEN 8700 en NEN 8701 met een aangepast LM1- en LM2-belastingmodel.



(a) Frequentieverdeling voertuiggewichten voor de ongefilterde (grijs) en gefilterde dataset met verkeersbelastingmetingen zonder jaaronthefvingen (zwart)



(b) Frequentieverdeling met en gefitte verdelingsfuncties voertuiggewichten zonder jaaronthefvingen

1 Verdelingsfuncties van het voertuiggewicht voor het rijkswegennet (full database) en onderliggend wegennet (reduced database)

Voor gemeente Amsterdam hebben we dit model vervolgens uitgebreid met een verkeersbelastingmodel voor 'onbedoeld gebruik' van voet- en fietspaden op bruggen in het onderliggend wegennet. Deze brugdelen zijn vaak lichter ontworpen, maar worden bij uitzondering – en op sommige locaties zelfs regelmatig – wel bereden door zwaardere voertuigen, zoals uitwijkend verkeer ten gevolge van een noodgeval. Om hier uit te gaan van dezelfde verkeersbelasting als bij de hoofdrijbaan, is echter te conservatief. Daarom hebben we hiervoor, op een vergelijkbare manier als hiervoor beschreven, een aangepast model afgeleid.

Mijn rol

Snel veel verantwoordelijkheid

Ik werd in een latere fase bij het project betrokken, toen ik startte bij TNO. Het was mijn eerste project, dus ik heb vooral veel van de gestarte analyses afgerond en tot een eindresultaat verwerkt. Dit heeft uiteindelijk geleid tot het genoemde achtergronddocument voor NEN 8700 en NEN 8701. Dit project heb ik in nauw contact met de betrokken senior onderzoekers uitgevoerd. Ik heb hierbij veel geleerd over verkeersbelastingen op bruggen, belastingmetingen en probabilistische modellen die uiteindelijk achter de normen zitten. Bij het project voor 'onbedoeld gebruik' was ik daarentegen vanaf het begin af aan betrokken. Hierbij heb ik eerst met collega's geprobeerd om de vraagstelling duidelijk te krijgen en heb ik meegedacht over het plan van aanpak in afstemming met de klant. Ten slotte heb ik samen met een collega de analyses uitgevoerd. Er vond tussentijds natuurlijk steeds afstemming plaats met de betrokken senior onderzoeker, maar ik kreeg snel veel verantwoordelijkheid. ●

Het complete TNO-rapport TNO-2017-R10614 'Verkeersbelastingmodel voor wegverkeersbruggen in het onderliggend wegennet zonder jaaronthefvingen' is te lezen op Cementonline.nl.

Optimaliseren kerneconstructies

**Toelichting van het optimaliseren met Generative Design
aan de hand van een case**

De koppeling tussen parametrische software en rekensoftware wordt steeds verder doorontwikkeld en er komen steeds meer interessante nieuwe tools op de markt. Hierdoor is constructief parametrisch ontwerpen en optimaliseren breed inzetbaar, bijvoorbeeld voor het berekenen en optimaliseren van kernconstructies in de SO- en VO-ontwerpfasen.

OPMERKING VOORAF

In dit artikel worden specifieke begrippen en tools benoemd. Deze worden in twee kaders toegelicht.

Computational design is een nieuwe en tegelijkertijd essentiële ontwerptechniek in de gereedschapskist van de constructeur.

Voor constructeurs is de weg hierheen voorname-lijk het kunnen koppelen van het parametrisch model met het constructief ontwerp. Hoewel dit al een flinke stap is, komen de grootste voordelen pas ná het nemen van die stap. Met name de mogelijkheid om constructies geheel of gedeeltelijk te optimaliseren op geautomatiseerde wijze, geeft flinke bijkomende voordelen. Maar ook het leveren van een integraal ontwerp, waarbij het parametrisch model als de basis van het ontwerp wordt genomen, is onderdeel van onze toekomstige werkwijze. Hiermee wordt het constructief advies, samen met ontwerp-, duurzaamheids-, bouwfysische en installatietechnische adviezen constant afgestemd en is het voor de klant inzichtelijker wat de gevolgen zijn van de ontwerpkeuzes. De constante verbetering van het ontwerpproces en resultaat vormt de reden waarom we willen – en moeten – ontwerpen met computational design.

Autodesk Generative Design

Een handige manier om met Dynamo ge-gereeerde modellen snel te analyseren, is met behulp van *Autodesk Generative Design* (voorheen: Project Refinery). Dit is een analyse-tool waarmee *optimalisaties*, *randomization studies* en *cross product studies* kunnen

worden gemaakt. Deze gratis te gebruiken tool neemt de noodzaak weg om zelf een optimalisatie-algoritme te schrijven. Zonder kennis te hebben over de complexe wiskundige berekeningen die bij optimalisaties op de achtergrond worden gemaakt, is de gebruiker met deze tool in staat ontwerpen te verbeteren. Dankzij de koppeling met RFEM (via DynamoStructural, zie kader 'Ontwikkelingen binnen Arcadis'), kunnen constructieve berekeningsresultaten ook worden gebruikt in de optimalisatie (fig. 1). Dit zijn de gebruikelijke numerieke resultaten, zoals de uitkomsten van vervormings-, of sterkteberekeningen. Generative Design kan resultaten minimaliseren of maximaliseren, maar ook resultaten binnen een bereik van waarden houden – handig bijvoorbeeld voor unity checks. Generative Design optimaliseert door de controle over het Dynamo model over te nemen en meermaals andere invoerparameters in de *graph* te kiezen, mits binnen de gestelde *design space*. De graph wordt vervolgens afgespeeld en de resultaten worden onthouden. Door op slimme wijze de volgende set parameters te kiezen, wordt na een aantal analyses een optimum gevonden op het *pareto frontier*.

Optimaliseren met Generative Design kan deels plaatsvinden zonder aanwezigheid van de ontwerper, omdat meekijken tijdens het berekenen vaak niet noodzakelijk is. De resulterende set geoptimaliseerde resul- →

auteurs



**MICHAEL VAN
TELGEN, MSC.**

design automation
specialist en
constructeur
Arcadis



**DIETMAR VAN
LOON, BSENG**

teamleider / adviseur
Arcadis

ONTWIKKELINGEN BINNEN ARCADIS

Als Autodesk-partner maakt Arcadis gebruik van Dynamo, net als het bekendere Grasshopper een parametrisch modelleringsprogramma. Omdat deze software wordt ontwikkeld met steun van Autodesk is de integratie met Revit erg goed, wat voordelen biedt voor het BIM-proces. Het nadeel is echter dat er geen 'out-of-the-box' koppelingsmogelijkheden zijn met de diverse constructieve rekenprogramma's. Om die reden koppelen we zelf constructieve software aan Dynamo, met behulp van een zelf ontwikkelde Dynamo plug-in die we de werknaam 'DynamoStructural'

hebben gegeven. Dit begon met een koppeling met het rekenprogramma Dlubal RFEM (zie artikel 'Parametrisch model gekoppeld aan rekenprogramma' uit *Cement* 2018/6), en inmiddels is er ook een koppeling met CSI Etabs. Plannen zijn in de maak om dit ook voor Robot Structural Analysis te doen, mogelijk in samenwerking met Autodesk. Ook wordt er gesproken over het koppelen van Plaxis. Het voordeel van één koppeling voor alle programma's ligt in de mogelijkheid om hetzelfde parametrische model zowel in Nederland als elders in de wereld te gebruiken.

TOOLS

- **CSI Etab**
constructieve rekensoftware
- **Dlupal RFEM**
constructieve rekensoftware
- **Dynamo**
parametrische software gelinkt aan Autodesk-software
- **DynamoStructural**
door Arcadis in-house ontwikkelde software voor het koppelen van Dynamo met RFEM
- **Generative Design**
(voorheen Project Refinery) generative design software
- **Grasshopper**
parametrische software gelinkt aan Rhinoceros3D
- **Karamba3D**
geïntegreerde analyse- en engineering tool voor Grasshopper
- **Plaxis**
geotechnische rekensoftware
- **Revit**
BIM-software (Autodesk)
- **Rhinoceros3D**
CAD/modelleer-software
- **Robot Structural Analysis**
constructieve rekensoftware (Autodesk)

taten moeten wel altijd door de ontwerper worden beoordeeld. Bovendien is de kwaliteit van de optimalisatie sterk afhankelijk van de kwaliteit van het parametrisch model. Het is dus niet zo dat Generative Design een ervaren ontwerper kan vervangen. Wel kan het een ervaren ontwerper aanvullen.

Stabiliteitskernen

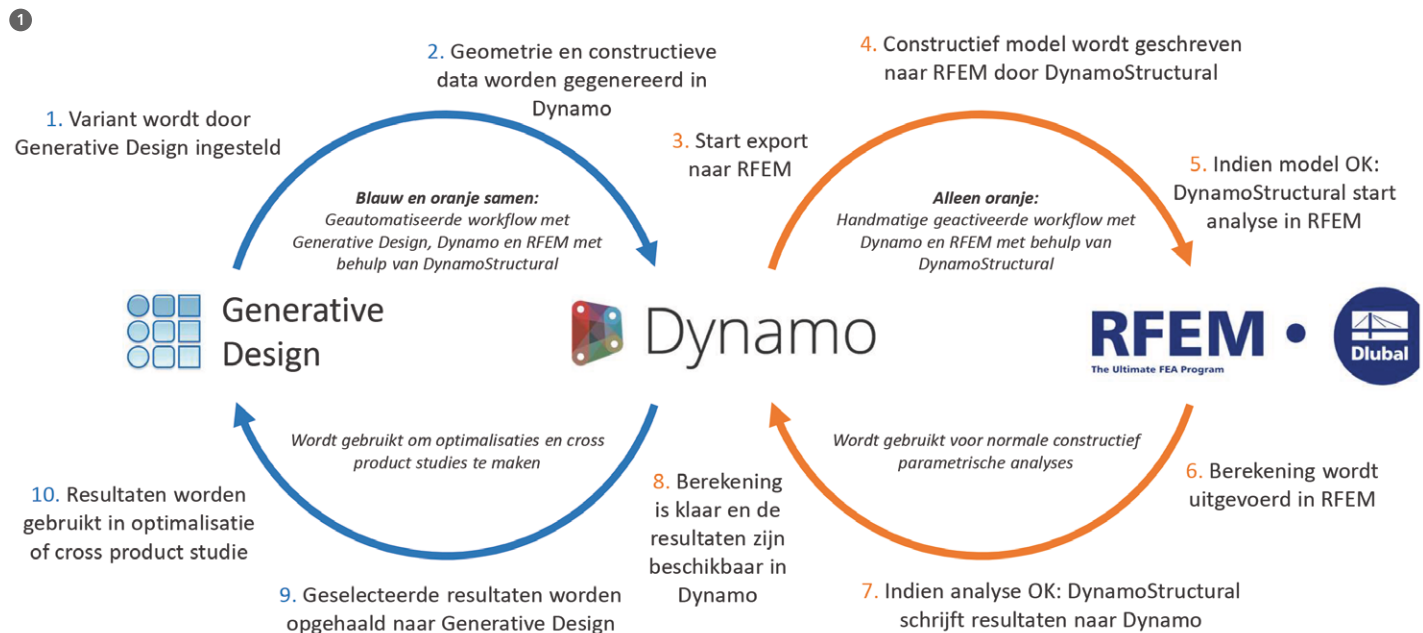
Computational design en de mogelijkheid om optimalisaties te maken bieden interessante kansen bij het ontwerpen van hoogbouw. Om dit te onderzoeken, werd besloten een Dynamo-model voor stabiliteitskernen te ontwikkelen, waarmee informatie over de kern wordt vergaard. Voor dit Dynamo-model is het constructieve ontwerpproces in kaart gebracht en vervolgens is het model gekoppeld aan RFEM met behulp van DynamoStructural. De analyses die hiermee worden gemaakt zijn gedetailleerd en er is veel minder giswerk nodig. Doordat er in een vroeg ontwerp stadium meer zekerheid is over het ontwerp, kunnen kleinere marges worden aanhouden, wat ten goede komt aan de kwaliteit van het ontwerp, bijvoorbeeld doordat wandafmetingen kleiner kunnen zijn of omdat er minder palen nodig zijn.

Omdat het wenselijk is de EEM-berekeningen te verifiëren met een analytische be-

schouwing en omdat de uitgangspunten voor het ontwerp toch al in het Dynamo-model worden vastgelegd, wordt ook een analytische principeberekening gemaakt in hetzelfde Dynamo-model. Dit geeft de ontwerper meer houvast tijdens het ontwerpproces en geeft bovendien de mogelijkheid om eerste inschattingen te maken van het kernontwerp zonder gelijk in de EEM-sommen te duiken.

Het uitgangspunt bij constructieve optimalisatie van stabiliteitskernen is bijna altijd een principeontwerp van de kern, vormgegeven op basis van inpassing en gebruikseisen. Gevraagd wordt om de kern zo slank mogelijk te ontwerpen, zodat de netto bruikbare vierkante meters vloeroppervlak van de verdieplingsplattegrond gemaximaliseerd zijn. De kern moet vervolgens constructief worden gecontroleerd (en geoptimaliseerd) op sterkte-, en stijfheidsaspecten. Hierop van invloed zijn:

- Het traagheidsmoment: de afmetingen van de kern en kernwanden, zoals de breedte, diepte, dikte en topologie. Ook de invloed van sparingsen moet worden meegenomen.
- De stijfheid van het beton: bijvoorbeeld de aanwezigheid van trekkrachten (wat leidt tot scheurvorming) in wanden en lateien verlagen dit.



Met computational design wordt het voor de klant inzichtelijker wat de gevolgen zijn van de ontwerpkeuzes

→ De stijfheid van de funderingsplaat en de palen. Dit bepaalt de rotatiestijfheid van de fundering en de totale verplaatsing aan de top van het gebouw door rotatie van de fundering.

De totale hoeveelheid belasting en de hoogte van de kern zijn uiteraard ook van invloed, maar deze zijn voorgeschreven vanuit het gebouwontwerp, en zijn dus geen directe ontwerpparameters.

Optimaliseren met Generative Design

De werking van het parametrisch model en de functie die Generative Design heeft in de optimalisatie, worden hierna toegelicht aan de hand van een voorbeeld van een stabiliteitskern. Dit voorbeeld wordt vanwege de omvang niet volledig uitgeschreven. Zo wordt bijvoorbeeld alleen wind in x-richting beschouwd. De hieronder gegeven invoerwaarden zijn doelmatig versimpeld en uiteraard is verfijning mogelijk en wenselijk.

Analytisch ontwerp Voor een fictief hoogbouwproject wordt een analyse in Dynamo opgezet van de benodigde stabiliteitsvoorzie-

ning. Het 18 verdiepingen tellende gebouw heeft een totale hoogte van 72 m en is 36 m breed en 24 m diep. Het gebouw wordt voorzien van een stabiliteitskern. Als stabiliteitsbelasting wordt uitgegaan van de windbelasting die voortkomt uit wind op de 36 m brede gevel, overeenkomend met de richting van de x-as. De kern wordt in het werk gestort, en is 9,6 m diep en breed (fig. 2). De benodigde wanddikte wordt aangenomen op 0,25 m.

Onder de kern wordt een 1,2 m dikke funderingsplaat van 15,6 m diep en breed aangenomen met 9 x 9 funderingspalen. Deze palen worden geschematiseerd als verende opleggingen met veerstijfheid $k_{\text{paal}} = 100.000 \text{ kN/m}$ voor korteduurbelasting onder wind.

Met de gebouwafmetingen wordt de windbelasting bepaald (druk en zuiging op de gevels en frictie op de zijgevels) als $q_{\text{wind};36\text{m gevel}} = 70,7 \text{ kN/m}$ (deze belasting wordt voor de eenvoud niet gereduceerd over de hoogte). Met behulp van de vergeet-mij-nietjes kunnen we snel de totale verplaatsing bepalen ten gevolge van het buigen van de kern en het roteren van de fundering. De stijfheid van de kernwanden wordt, zonder rekening te houden met de sparingsen, die een reducerende invloed op de stijfheid hebben, geschat op $I_{yy} = 173,2 \text{ m}^4$. Dit geeft met een aangenomen betonstijfheid van $E = 22.000 \text{ N/mm}^2$ een zijdelingse verplaatsing van $\delta_{x;\text{kern}} = 62,4 \text{ mm}$. Door rotatie van de fundering treedt nog eens $\delta_{x;\text{fundering}} = 79,8 \text{ mm}$ op, zodat de totale zijdelingse verplaatsing (1e orde) wordt geschat op $\delta_{x;\text{handber};1\text{e orde}} = 142,2 \text{ mm}$. De toelaatbare verplaatsing is $\delta_{\text{toelaatbaar}} = (1/500) \cdot 72 \text{ m} = 144 \text{ mm}$, waarmee de stijfheid van de kern en fundering dus net voldoende lijkt, zij het aan de krappe kant.

EEM-ontwerp Vervolgens wordt het Dynamo-kernmodel berekend met een eindigelementenmodel in RFEM, door middel van de DynamoStructural-koppeling. De stijfheidsreductie van de kern door de deursparingsen wordt nu meegenomen. De verticale belasting uit eigen gewicht, permanente en veranderlijke belastingen worden nu ook berekend, zodat het 2e-orde-effect in kaart kan worden gebracht. De verplaatsing blijkt in de 1e orde $\delta_{x;\text{EEM};1\text{e orde}} = 177,7 \text{ mm}$ en is →

BEGRIPPEN

- **Optimalisaties** worden in Generative Design gemaakt met een multi-objective genetisch algoritme (NSGA-II), wat betekent dat er op meerdere doelen tegelijkertijd kan worden geoptimaliseerd.
- Met een **randomization study** kunnen willekeurig varianten worden aangemaakt binnen de gestelde *design space*.
- Een **cross product study** (vertaald: Cartesisch productstudie) wordt gebruikt om systematisch varianten te creëren. Hierbij worden combinaties gemaakt met invoeren vanuit de parameters in de *Dynamo graph*. Voorbeeld: stel input 1 heeft drie opties A, B en C en input 2 heeft twee opties, 1 en 2. In deze studie worden dan alle combinaties gemaakt: A1, A2, B1, B2, C1 en C2.
- De **design space** (vertaald: het domein) is de beweegruimte tussen alle waarden die kunnen worden ingesteld van de parameters in de *graph*. Bijvoorbeeld voor één numerieke invoer bestaat de *design space* uit twee getallen waartussen de instelwaarde minimaal en maximaal moet liggen.
- Een **graph** (vertaald: graaf) is de benaming voor het door de gebruiker in Dynamo geprogrammeerde algoritme.
- Het **afspelen** van de *graph* betekent dat het algoritme volledig opnieuw wordt uitgevoerd.
- Het **pareto frontier** is de denkbeeldige grens waar voorbij één optimalisatiedoel niet optimaler kan worden gemaakt, zonder dat een ander optimalisatiedoel hierdoor minder optimaal wordt. Bij multi-objective optimalisaties liggen de geoptimaliseerde resultaten per definitie langs deze grens.

hiermee 25% groter. Dit verschil volgt uit een aantal effecten:

- de stijfheidsreductie door de sparingen in de wanden;
 - onevenredige belasting op de palen (schotelwerking), waardoor de geschatte rotatiestijfheid van de paalfundering niet wordt gehaald in het EEM-model;
 - buiging van de funderingsplaat doordat de stijfheid hiervan niet oneindig is;
 - de meewerkende breedte van de kopwanden is kleiner dan in de handberekening.
- Een relatief groter belastingdeel wordt in de hoekpunten van de kern opgenomen, waardoor niet alle vezels evenveel belast zijn in de 'flens'.

In de 2e orde blijkt de verplaatsing $\delta_{\text{EEM};2\text{e orde}} = 186,7 \text{ mm}$. Uit deze eerste analyse blijkt duidelijk dat het belangrijk is om ook het effect uit de fundering, het effect uit de 2e orde en de invloed van de deursparingen mee te nemen in de beschouwing van de zijdelingse verplaatsingen en dat de totale optredende verplaatsing groter is dan toelaatbaar.

Cross product study van de fundering

Het is duidelijk dat de verplaatsingen moeten worden gereduceerd. Als doel hiervoor stellen we 70% tot 90% van de toelaatbare verplaatsing $\delta_{\text{toelaatbaar}} = 144 \text{ mm}$, dit komt uit op een verplaatsing tussen de 100 mm en de 130 mm. Er bevinden zich onderaan de kern geen trekkrachten in de wanden, dat willen we graag zo houden. Daarbij willen we het aantal palen en de benodigde kubieke meters

beton minimaliseren. Grofweg zijn er de volgende opties:

- 1 Stijfheid van de kern verhogen:
 - door de geometrie aan te passen;
 - door de wanden te verdikken (eventueel slechts een deel van de verdiepingen).
- 2 Rotatiestijfheid van de paalfundering verhogen:
 - meer palen in één of twee richtingen;
 - stijvere fundering door opdikken van de plaat.

Omdat veruit de meeste verplaatsing volgt uit rotatie van de fundering, en omdat het vanuit het gebruiksaspect minder interessant is om de kern te vergroten, wordt eerst gekeken wat de mogelijkheden zijn met een stijvere fundering. Als gevolg van een toemend aantal palen zal de funderingsplaat ook langer en breder moeten worden, anders wordt de onderlinge paalafstand te klein. Hiervoor wordt een *cross product study* opgezet in Generative Design, waarbij bewust een grote spreiding in parameters wordt gekozen. De volgende parameters

- gevarieerd:
- de funderingsdikte: 1,2*, 1,6 en 2,0 m dik;
 - het aantal palen in x-richting: 9*, 11 en 13 palen;
 - het aantal palen in y-richting: 9*, 11 en 13 palen;
 - de afmeting van de funderingsplaat: 3*, 4,5 en 6 m afstand vanaf de wanden (zie 'foundation offset' in figuur 2).

Het eerste getal (aangeduid met een *) is de instelling voor de dimensionering van de

fundering in het principeontwerp, zoals hiervoor besproken. Er zijn vier parameters, waarbij bij elk drie varianten mogelijk zijn. Hiermee wordt er een totaal van $3^4 = 81$ varianten geanalyseerd. Al deze funderingsvarianten analyseren zou met een handmatige studie niet praktisch haalbaar zijn, maar is met Generative Design juist zeer eenvoudig.

Bij het starten van de *cross product analyse* gaat Generative Design aan de slag met het Dynamo-model en de hierboven gegeven set van invoerwaarden voor de fundering. Generative Design neemt de controle van het Dynamo-model over en voert zelf deze parameters in het Dynamo-model. Vervolgens vertelt Generative Design aan Dynamo dat de berekening moet worden gemaakt. Omdat het Dynamo-model gekoppeld is met RFEM via DynamoStructural, wordt ook de EEM-berekening gestart. Generative Design wacht op dit moment tot de berekening klaar is en de resultaten beschikbaar zijn. Zodra deze beschikbaar zijn, worden ze opgeslagen binnen Generative Design, en gaat het door met de volgende parameters.

Nadat alle 81 varianten zijn berekend, kunnen we de uitvoer in Generative Design beoordelen (fig. 3). In de uitvoer zien we een aantal verschillende dingen (zie genummerde vakken zoals aangeven in figuur 3):

1 De studies die zijn gemaakt (vak 1). De bovenste studie is geselecteerd en wordt in vakken 2, 3 en 4 weergegeven.

2 De grafische uitvoer van de studies zoals te zien in Dynamo. In dit voorbeeld zijn de verschillen niet goed te zien, omdat de verschillen klein zijn. De variant linksboven is geselecteerd.

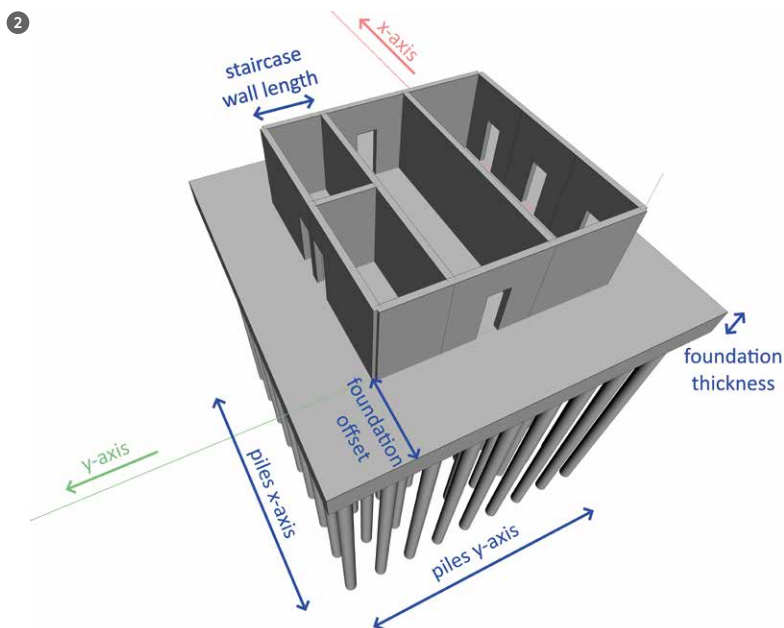
3 De uitvoer van de analyse in een spreidingsdiagram. De x-, en y-assen zijn zelf te definiëren. In dit voorbeeld staat op de x-as de dikte van de fundering (in meters) en op de y-as de UC-verplaatsing. De stippen geven de verschillende opties aan die zijn berekend. Door de variaties in de andere parameters liggen de stippen op verschillende plaatsen op de y-as, want deze geven een ander resultaat voor de UC-verplaatsingen.

4 De gedetailleerde uitvoer van de geselecteerde variant.

Tabel 1 Verplaatsingen in [mm] door wind in richting van de x-as

oorzaak van gevonden verplaatsing op 72 m hoogte	analytisch ontwerp	EEM-ontwerp	toename verplaatsing in EEM-ontwerp t.o.v. analytisch ontwerp
buiging van de kern	62,4 mm	66,6 mm	6,7%
rotatie van de fundering:			
inclusief buiging van de funderingsplaat	niet berekend	104,8 mm	-
exclusief buiging van de funderingsplaat	79,8 mm	85,9 mm	7,6%
totaal verplaatsing in 1e orde	142,2 mm	177,7 mm	25,0%
totaal verplaatsing in 2e orde	niet berekend	86,7 mm	-

Dankzij de koppeling met RFEM kunnen constructieve berekeningsresultaten ook worden gebruikt in de optimalisatie



Met behulp van het spreidingsdiagram kunnen we al iets zeggen over de invloed van de stijvere fundering, maar nog handiger voor de analyse is de parallelle coördinatenplot (fig. 4). Hierin staan op de horizontale as alle invoeren en uitvoeren vermeld. De in de figuur geselecteerde blauwe lijn loopt over de getalswaarden die in die variant zijn ingevoerd, van links naar rechts dus 'foundation thickness': 2m, 'number of piles x-direction': 13, enzovoorts. Verticaal is per invoer de spreiding te zien van de gehele set aan invoerwaarden die zijn gecontroleerd. Hiermee is in een oogopslag te zien wat de in-, en uitvoeren zijn van de variant.

Deze plot is bovendien te filteren, zodat te zien is dat er slechts enkele opties zijn waarbij het ontwerp voldoet aan een UC-verplaatsing kleiner dan 90% van het toelaatbare.

Het aardige van het diagram en de plot is dat de opdrachtgever duidelijk en snel kan worden geïnformeerd over de gevolgen van bepaalde ontwerpkeuzes. Bovendien kan hiermee enig ontwerpgevoel worden gecommuniceerd: hoeveel effect heeft een bepaalde keuze op het ontwerp?

Voordat we doorgaan met de optimalisatie is het belangrijk om te weten wat nu de verhouding is tussen verplaatsingen door buiging van de kern en verplaatsing door

rotatie van de fundering, omdat we een verhouding van ongeveer 1:1 zoeken. Dit blijkt bij in de figuur geselecteerde variant in de 1e orde 66,6 mm door buiging van de kern en 44,8 mm door rotatie en buiging van de fundering te zijn.

Optimalisatie gehele ontwerp

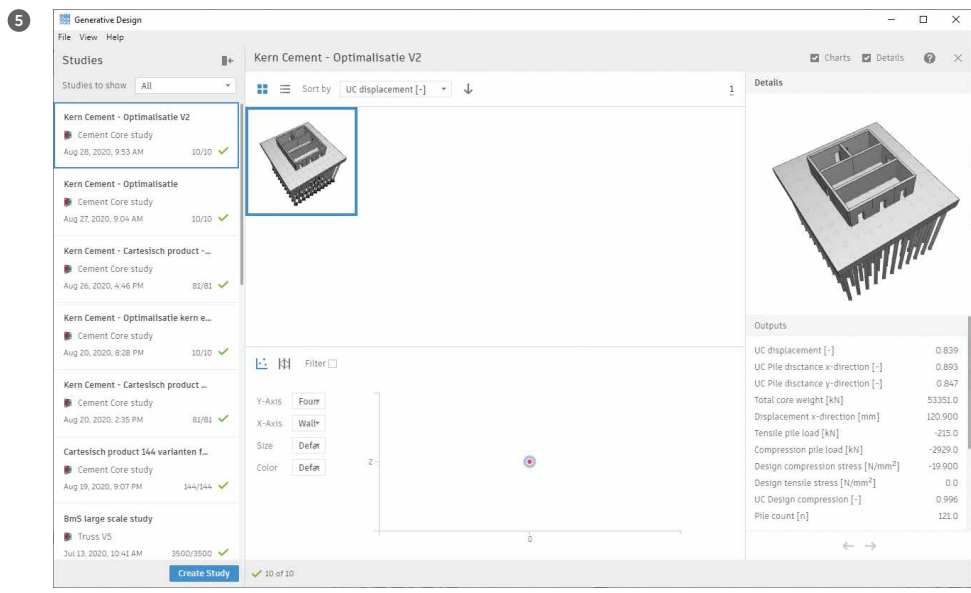
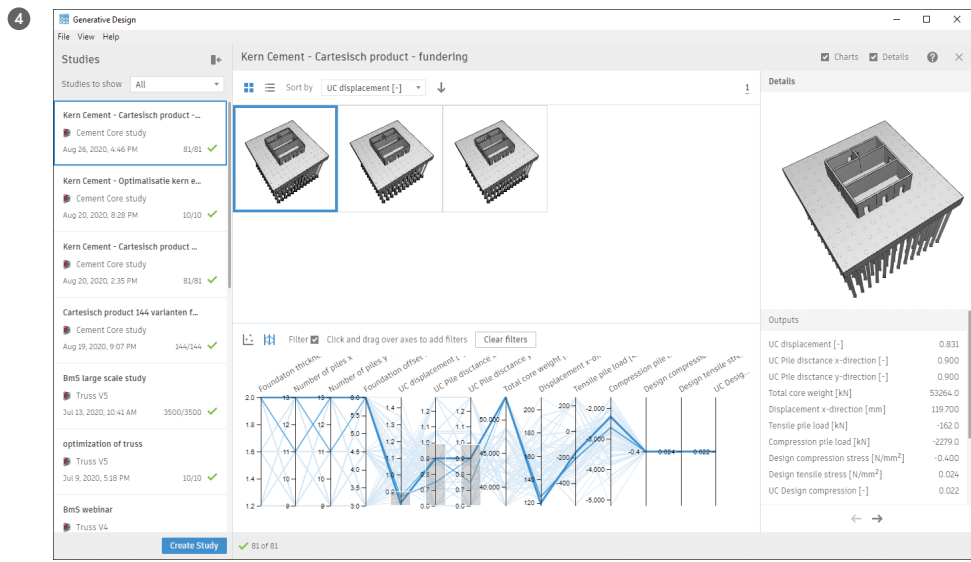
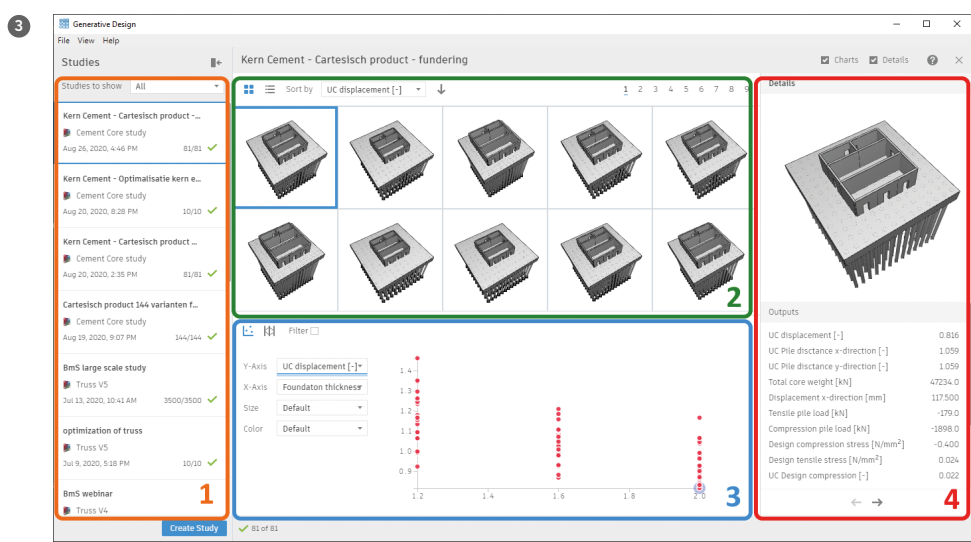
Omdat er wel erg veel beton en palen in het ontwerp zitten, en de verhouding tussen het aandeel van de kernstijfheid en de funderingsstijfheid onevenredig is, ligt het voor de hand om een optimum te zoeken waarbij ook de kern nog wat stijver wordt gemodelleerd. Hiervoor gebruiken we de optimalisatiemogelijkheid van Generative Design. De volgende parameters worden daarom toegevoegd:

- wanddikte: 0,25* tot 0,35 m dik in stapgrootte 0,025 m;
- lengte van het wanddeel bij de trap: 2,4 tot 3,6 m lang in stapgrootte 0,3 m (zie 'staircase wall length' in figuur 2).

Generative Design mag hier zelf de waarden instellen tussen het minimum en het maximum van elke parameter, zij het in de aan-gegeven stapgrootte.

Er wordt gezocht naar een optimum (een minimalisatie) van het totale gewicht aan →

81 funderings-varianten analyseren zou met een handmatige studie niet praktisch haalbaar zijn, maar is met Generative Design juist zeer eenvoudig



beton in de fundering en de kern (in kN), en het aantal palen. Omdat het ontwerp tegelijkertijd aan enkele eisen moet voldoen, worden de volgende berekeningsresultaten gelimiteerd:

- unity check verplaatsing: $0,7 \leq UC \leq 0,9$;
- unity check paalafstand in x-, en y-richting*: $0,7 \leq UC \leq 0,9$;
- minimale paalreactie**: $-1000 \text{ kN} \leq F_{\text{trek}} \leq 0 \text{ kN}$;
- maximale paalreactie: $-3000 \text{ kN} \leq F_{\text{trek}} \leq -2500 \text{ kN}$;
- unity check betondrukspanning in de wand***: $0,7 \leq UC \leq 1,0$.

* Hiermee wordt de verhouding tussen de minimale paalafstand en de gemodelleerde paalafstand bedoeld.

** Het doel is om trek te voorkomen in de minst belaste palen. Voor de paalreactie wordt daarom een domein ingesteld tussen de grens van druk naar trek (0 kN) en een arbitraire drukbovengrens (-1000 kN).

De drukbovengrens zelf is niet belangrijk, maar deze eis kan niet op een andere manier ingesteld kan worden in Generative Design.

*** Een drukkracht $UC = 1,0$ valt samen met -20 N/mm^2 .

Nu alles gedefinieerd is, wordt de optimalisatie gestart. Ook nu neemt Generative Design de controle over het Dynamo-model over, en vult waarden in naar het eigen inzicht van het achterliggende optimalisatie-algoritme. In deze analyse zijn in totaal 200 modellen gegenereerd en beoordeeld.

Afhankelijk van het resultaat van de optimalisatie, kan het zo zijn dat er meerdere optimale ontwerpen langs het *pareto frontier* worden gevonden, maar in deze analyse wordt één resultaat teruggegeven. Met een wanddikte 325 mm, een funderingsplaatdikte van 1,6 m, een wanddeel-lengte bij de trap van 3,3 m en 11 x 11 palen wordt het optimale antwoord gevonden. Hierbij zijn alle unity checks in orde, is het totaalgewicht van de wanden en de funderingsplaat 53.351 kN en is de totale 2e-orde verplaatsing $\delta_{x;\text{EEM};2\text{e orde};\text{geoptimaliseerd}} = 120,9 \text{ mm}$.

Uiteraard is het de bedoeling om deze resultaten met de overige ontwerppartijen en de opdrachtgever te bespreken, zodat

kan worden vastgesteld wat de gevolgen zijn voor het integrale ontwerp.

Voordelen, nadelen en verbeterpunten

Aan het optimaliseren met behulp van Generative Design kleven een aantal voordelen en nadelen.

Voordelen zijn onder andere:

- Er is geen limiet aan het aantal parameters en beschouwde berekeningsresultaten.
- Er zijn geen handmatige stappen en er is geen tijdsverlies tijdens de optimalisatie omdat alles via directe koppelingen tussen programma's verloopt. Dit is een groot voordeel ten opzichte van het gebruik van uitwisselingsbestanden.

→ De uitvoer van de optimalisatie is een al goed gedefinieerd RFEM-model. Dit is dus direct bruikbaar voor het opbouwen van het gehele gebouwmodel.

Nadelen:

- De berekeningstijd, hoewel sterk afhankelijk van de meshgrootte en de rekenkracht van de computer, is wellicht langer dan bij een analyse zoals met Karamba3D (berekeningstool voor Grasshopper).
- Het model moet voldoende complexiteit bevatten om het gebruik van Generative Design te rechtvaardigen. Een simpeler probleem, bijvoorbeeld met minder variabelen of minder bewerkingen, kan beter zonder Generative Design worden opgelost. Het opzetten van een goed optimalisatiemodel kost dan te veel tijd.
- Verificatie van de berekening en de resultaten is zeer belangrijk. Het is niet wijs om er blind op te vertrouwen dat de berekening klopt. Hierom is het parallel aan de EEM-sommen uitvoeren van de analytische beschouwing een noodzakelijkheid.

Ook zijn er tal van verbeteringen mogelijk in het Dynamo-model voor de kernberekening. Het completer maken van die constructieve beschouwing zal een vollediger beeld geven van de mogelijkheden met de berekende stabiliteitskern. Zoals door:

- het meenemen van aanpendelende belasting;
- het meenemen van overige belastingen, o.a. voor de wandspanning;

Er wordt gezocht naar een optimum (een minimalisatie) van het totale gewicht aan beton in de fundering en de kern (in kN) en het aantal palen

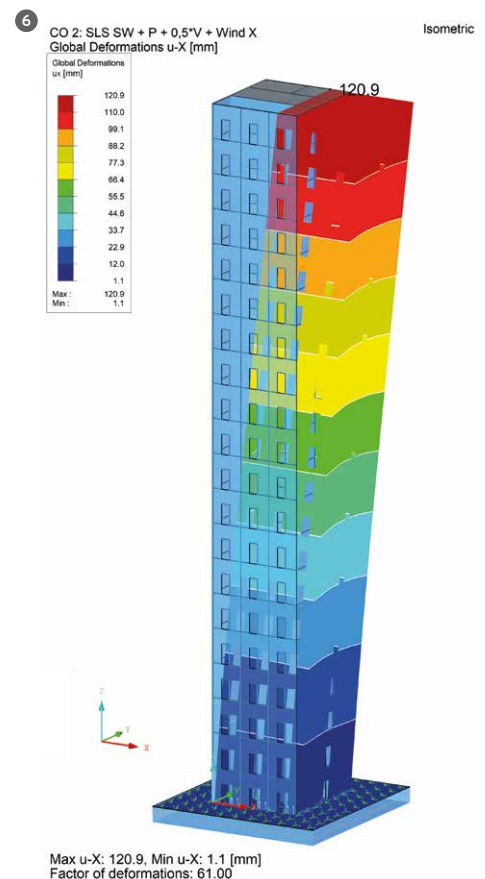
Het ligt voor de hand dat er in opleidings-trajecten steeds meer aandacht moet gaan naar het toepassen van deze ontwerptechniek

- het reduceren van de stijfheid van het beton ter plaatse van de lateien. Dit geeft een vergroting van de totale berekende verplaatsing en geeft een beter beeld van de lateikrachten;
- het meenemen van scheefstand van de constructie. Een gevoeligheidsstudie hierop leidt tot een veiligere constructie. Deze gevoeligheidsstudie zou ook weer goed inzichtelijk gemaakt kunnen worden met een cross product studie;
- het meenemen van groepswerking van de palen, wat kan leiden tot een gunstigere berekening of een kleiner aantal benodigde palen;
- het controleren van wind in diagonale richtingen. Ook dit geeft een beter beeld van de te verwachten krachtwerking en verplaatsingen;
- het beschouwen van torsie door excentriciteit van de windbelasting. Dit moet zonder meer gebeuren in de stabiliteitsanalyse;
- het meenemen van over de hoogte verlopende windbelastingen conform Eurocode 1991-1-4. Ook dit geeft een mogelijk gunstig effect op de totale te verwachten verplaatsings- en sterkteberekening.

Naarmate het model voor de stabiliteitsanalyse in Dynamo zich verder ontwikkelt, is de verwachting dat ook steeds meer van dit soort verfijningen meegenomen gaan worden. Daarnaast zijn diverse multidisciplinaire analyses, zoals de benodigde wandsparringen en het inpassen van installaties, zeker de moeite waard om mee te nemen in het Dynamo-model.

En hoe nu verder?

Met behulp van Generative Design kunnen allerlei (constructieve) ontwerpen, ook in een vroeg ontwerpstadium, worden onderzocht. De mate van inzicht in het ontwerp wordt hiermee verbeterd, zowel voor de ontwerper als voor de opdrachtgever. Vooral voor complexe constructieve berekeningen die tevens vaker moeten worden gemaakt, is het maken van een optimalisatieworkflow met Dynamo en Generative Design erg nuttig. Omdat zowel Dynamo als Generative Design gratis beschikbaar zijn, is de kosten-



drempel om hiermee aan de slag te gaan erg laag. Wel is er tijd nodig om de noodzakelijke ontwerpvaardigheden aan te leren, zoals voor het opzetten van een goed Dynamo-model en het bepalen van de optimalisatie-invoer, en -uitvoer. Het ligt voor de hand dat er in opleidingstrajecten steeds meer aandacht moet gaan naar het toepassen van deze ontwerptechniek. Dit geldt zowel voor studenten als constructeurs die al langer hun vak beoefenen. ●

MEER INFORMATIE

Meer informatie over
Generative Design:
www.generativedesign.org

Breng jouw verhaal onder de aandacht bij de constructeur

Cement heeft het exposurepakket uitgebreid: vanaf nu bieden we ook gesponsorde online publicaties aan. Er zijn verschillende mogelijkheden. De basis is een online artikel en een samenvatting in de printeditie; daarnaast kun je het pakket naar wens verder uitbreiden.

Kijk voor alle mogelijkheden en de actuele prijzen op www.cementonline.nl/adverteren

www.cementonline.nl/adverteren





Als technisch voorlichter en deskundig
betontechnoloog bij ENCI beseft
Peter de Vries als geen ander dat veel
ogen gericht zijn op de cementindustrie
waar het gaat om reductie van de
CO₂-uitstoot. Met veel enthousiasme
draagt hij dan ook bij aan onderzoek
naar bijvoorbeeld alternatieve
bindmiddelen. Daarbij benadrukt hij
niettemin dat we de realiteit in Nederland
niet uit het oog mogen verliezen.





**ING. PETER
DE VRIES, FICT**

66 jaar

WERK

1988 – 2020

ENCI BV

1978 – 1988

De Moel Wegenbouw

NEVENFUNCTIES

2013 – 2020

Redactie *Betoniek Vakblad*

1990 – 2020

Docent diverse cursussen

beton-technologie, o.a.

Betontechnoloog BV

1988 – 2005

Redactie *Betoniek*

Standaard

1990 – 2016

Lid en voorzitter (sinds

2000) Vakcommissie

Technologie

Betonvereniging

1998 – 2020

Lid en secretaris (sinds

2007) Normcommissie

NEN 353 039 Beton

2007 – 2020

Lid van Normcommissie

NEN 353 007

Bindmiddelen

2007 – 2020

Lid van College van

Deskundigen

Bindmiddelen

2008 – 2020

Voorzitter van College van

Deskundigen Ongewapende

Betonproducten

1988 – 2020

Lid van diverse nationale-

en internationale werk-

groepen ter voorbereiding

van (pre)normatieve regel-

geving op het gebied van

cement en beton

2017

Benoemd tot erelid van

de Betonvereniging

OPLEIDINGEN

2004

Betontechnologisch

Adviseur BV

1990

Advanced Concrete Tech-

nology, Institute of

Concrete Technology,

Londen

1986

Betontechnoloog BV

1972 – 1977

HTS Alkmaar, Weg- en

Waterbouwkunde



Waar beton misschien wel onmisbaar is bij het antwoord op uitdagingen als klimaatadaptatie en verstedelijking, lijkt het in de betonwereld tegenwoordig

haast nergens anders over te gaan dan over de CO₂-uitstoot van het materiaal.

Wie anders dan Peter de Vries, die als *senior technical advisor* van de grootste cementleverancier van Nederland in december met pensioen gaat, kan inzicht geven in het beleid en de mogelijkheden binnen de cement- en betonsector op dat gebied. De ontwikkelingen blijken omvangrijk, maar eerlijkheid en realisme zijn op zijn plaats. Daarvoor zijn we bij De Vries aan het goede adres.

Zie jij het terugdringen van de CO₂-uitstoot momenteel als de grootste uitdaging voor de cement- en betonsector?

“Ik denk dat de grootste uitdaging eerder ligt op het gebied van imago. De cementindustrie is wereldwijd verantwoordelijk voor 5 tot 7% van de CO₂-uitstoot. Logisch dat er naar onze industrie wordt gekeken. Maar we moeten het wel in het juiste daglicht zetten. Dat grote aandeel komt vooral doordat er wereldwijd zo ontzettend veel beton wordt toegepast. Ironisch genoeg juist ook om ons te beschermen tegen het milieu. Maar we moeten wel realistisch blijven. Wat zijn de alternatieven? En hoe voorkomen we dat de kwaliteit van het materiaal en daarmee onze bouwwerken wordt ondermijnd?”

Toch is de betonsector heel ambitieus, bijvoorbeeld als je kijkt naar wat is opgetekend in het Betonakkoord.

“We moeten ambitieus zijn. Maar laten we het wel in het juiste perspectief zien, zeker in Nederland. Het milieuprobleem is een wereldwijd probleem. Wereldwijd wordt er jaarlijks 5 miljard ton cement gebruikt, in Nederland circa 5 miljoen ton. Dat is dus maar 0,1%. Is het dan niet veel effectiever om het probleem op wereldschaal te bekijken en aan te pakken?

Mogelijkheden daartoe zijn er legio. Een van de manieren om de CO₂-uitstoot terug te dringen is de toepassing van *secondary cementitious materials*. *Calcined clay* is daar een veelbelovend voorbeeld van. Nu wordt klei wereldwijd nog vaak als afval gezien, maar met een relatief geringe thermische behandeling en in combinatie met kalksteen kan dat als vervanger van portlandcementklinker worden ingezet.

Dat is wereldwijd een interessante ontwikkeling, maar in het beste geval kom je daarmee uit op het niveau dat we in Nederland dankzij de toepassing van hoogovencement al hebben (fig. 1). Het beleid van HeidelbergCement (moedermaatschappij van ENCI, red.) laat dat treffend zien. Het concern wil op groepsniveau de CO₂-uitstoot in 2030 met 30% hebben teruggebracht. Van ongeveer 760 kg in 1990 naar 520 kg gemiddeld per ton cement in 2030. In Nederland zitten wel nu al op 470 kg.

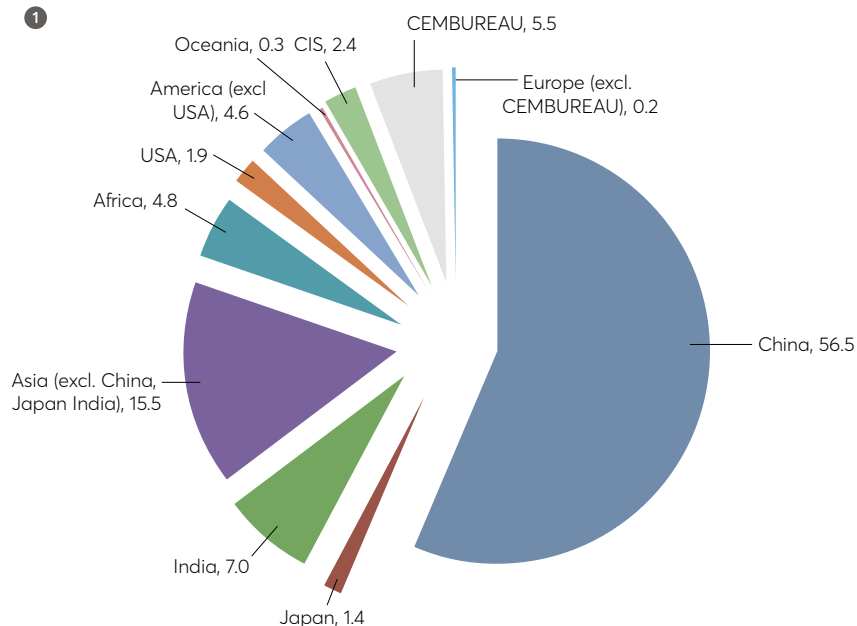
Toch moeten we aan de gang met dit soort ontwikkelingen. Zeker omdat het maar de vraag is hoe lang we nog kunnen beschikken over hoogovenslak en poederkoolvliegias. Bij ENCI besteden we bijvoorbeeld veel energie in de ontwikkeling en toepassing van belietcement, onder de naam Ternocem. Dat is een cement dat bij veel lagere temperatuur kan worden gemaakt en waarmee 30% milieuwinst is te halen. Wel weer ten opzichte van portlandcement. Maar met de kennis die we hiermee opdoen, kunnen we andere landen verder helpen. Ik heb me behoorlijk sterk gemaakt om proefprojecten met Ternocem uit te voeren. Makkelijk is dat niet. Zo zijn ProRail en Rijkswaterstaat terughoudend omdat de CO₂-winst in Nederland beperkt is. Wel zijn we nu in de proeftuin op de Afsluitdijk bezig met een mengsel in de zogenoemde Levvel-blocs. En ook een toonaangevende partij als VBI heeft succesvol kanaalplaten geproduceerd met het bindmiddel.

Er zijn veel vergelijkbare initiatieven. Zo worden producten ontwikkeld als Solidia en Novacem, waarbij zelfs CO₂ kan worden opgenomen. Toch zie je dat deze ontwikkelingen maar moeizaam van de grond komen. Dat heeft alles te maken met de noodzakelijke investeringen. Dit soort alternatieven zijn nu eenmaal een stuk duurder dan het portlandcement dat we al jarenlang kennen. Prof. Karen Scrivener, die zich sterk maakt voor toepassing van *calcined clay*, heeft eens voorgerekend dat cement daarmee een factor 2 tot 2,5 keer duurder wordt. En dat zou ook eigenlijk makkelijk moeten kunnen, als je bedenkt hoe extreem goedkoop cement eigenlijk is. En met zo'n €70 per ton is die prijs de laatste decennia, op zijn zachtst gezegd, niet met de prijsontwikke- →

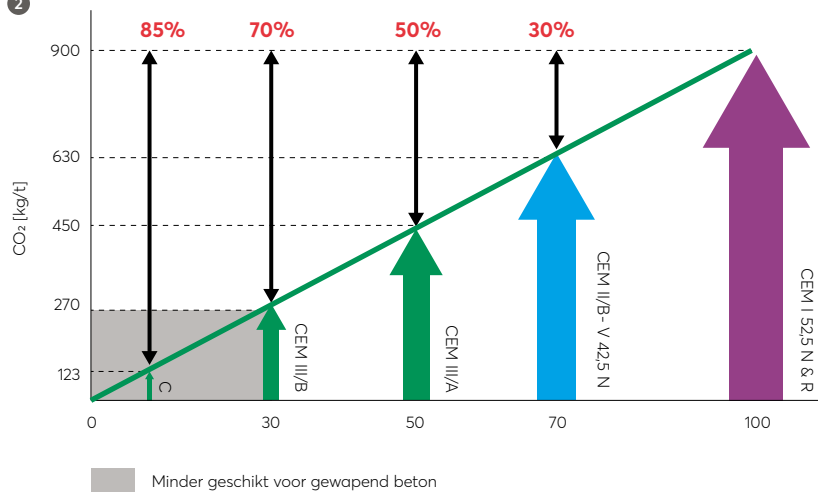


**"Om in 2050
CO₂-neutraal
te zijn, zet
Heidelberg-
Cement in op
opvang, opslag
en toepassing
van CO₂"**

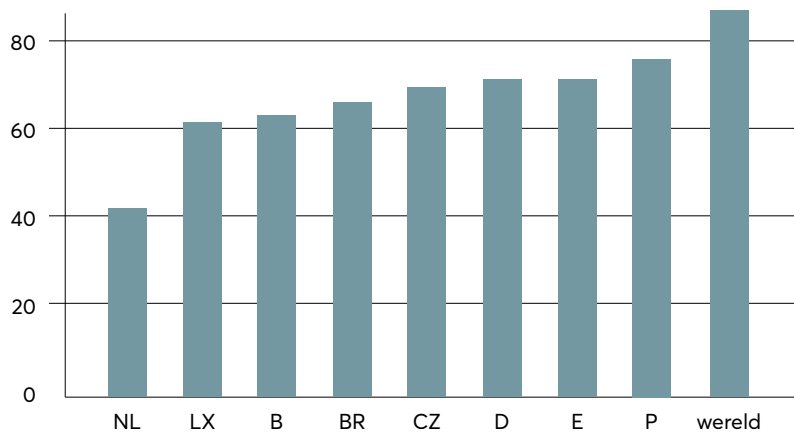
1



2



3



ONTSTAANSGESCHIEDENIS ENCI

ENCI, de Eerste Nederlandse Cementindustrie, ontstaat in 1924 als het Belgische CBR, het eveneens Belgische Société Générale de Ciment et de Matériaux s.a en het Zwitserse Holderbank (sinds 2001 hernoemd tot Holcim dat in 2015 is samengegaan met Lafarge) wel brood zien in een Nederlandse cementfabriek in Maastricht. Voor die tijd komt het cement vooral uit Duitsland en België. Hoewel er al langer duidelijk is dat er bij de Sint Pieterberg erg goede kalksteen beschikbaar is, durft lange tijd niemand het aan om de hoge investeringen te doen. Uiteindelijk wordt de eerste cementoven in 1928 operationeel. Kort na ENCI Maastricht wordt 1930 in IJmuiden CEMIJ opgericht, door ENCI en Hoogovens. Rond diezelfde tijd begint Hoogovens daar met de productie van ruwijzer en al bij de ontwikkeling van het hoogovenbedrijf is duidelijk dat er een oplossing moet komen voor de vrijkomende hoogovenslak. Een cementfabriek ziet men als het beste antwoord.

Omdat er halverwege de 20e eeuw ook plannen zijn voor een hoogoven op de Maasvlakte, wordt vooruitlopend daarop, in 1963, ROBUR opgericht, een cementfabriek in Rozenburg. Die hoogovens zijn er uiteindelijk nooit gekomen.

In 1982 gaan de aandelen van ROBUR over naar ENCI en wordt CEMIJ 100% van Hoogovens. Eind jaren 80, als het financieel minder gaat met Hoogovens, komt ook CEMIJ in handen van ENCI. In 1993 wordt CBR overgenomen door het Duitse HeidelbergCement en komt ENCI volledig in Duitse handen.

In juli 2018 stopt de kalksteenwinning door ENCI en in maart 2019 komt ook een einde aan de productie van portlandcementklinker. In Maastricht beperkt het bedrijf zich tot het malen en mengen van cementcomponenten, totdat op 31 augustus 2020 ook daar een einde aan komt en ENCI Maastricht de deuren definitief sluit. De productie van cement (malen en mengen) in Rozenburg en IJmuiden wordt wel gecontinueerd.

lingen meegegaan. Probleem daarvan is dat er nauwelijks ruimte is om onderzoek te financieren.”

Desondanks is de ambitie om in 2050 CO₂-neutraal te zijn. Hoe moeten we dat dan realiseren?

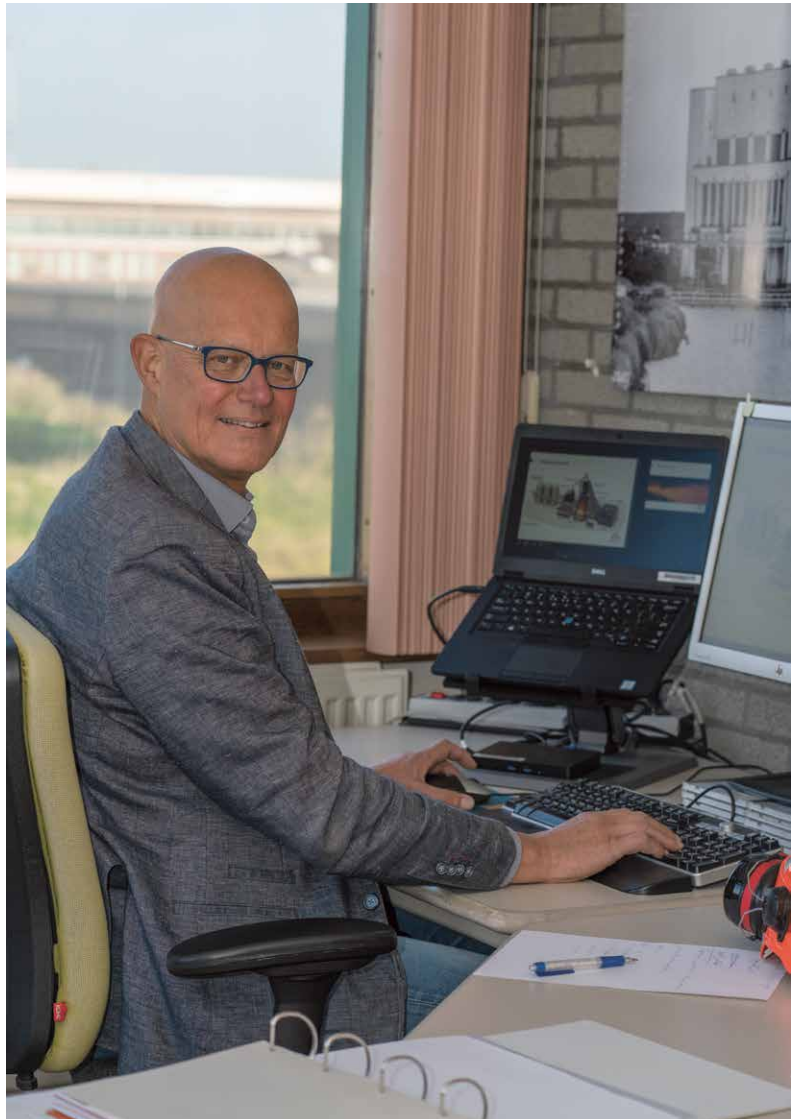
“De pest is dat je bij de productie van portlandcementklinker altijd zit met de CO₂-uitstoot als gevolg van calcinatie van de kalksteen, daar kom je niet onderuit. En je kunt er eigenlijk niet omheen om in kwalitatief goed cement een deel portlandcementklinker te blijven toepassen. Om de ambities toch waar te maken, zet HeidelbergCement in op opvang, opslag en toepassing van CO₂. We zijn daar al behoorlijk ver mee. Zo is in de cementfabriek van Norcem in Brevik (Noorwegen) al een paar jaar ervaring opgedaan met de opvang van CO₂ en in Lixhe in België staat een proefinstallatie waarbij zuiver CO₂ wordt opgevangen dat direct voor andere doeleinden kan worden ingezet. En met onze gasvelden als potentiële opslagplaats, is er in Nederland ook van alles mogelijk. Maar dat zijn vooral politieke keuzes.”

Dus zonder afvang van CO₂ kunnen we in Nederland niet erg veel winnen. Dat is een lastig te verkopen verhaal.

“Zeker. Maar wat we moeten voorkomen is dat we de kwaliteit van het beton te grabbel gooien. Dat is ook iets waar Rijkswaterstaat voor wil waken. Goed voorbeeld is de nieuwe zeesluis in IJmuiden. Bij de uitvraag werd door Rijkswaterstaat ingezet op het milieuvriendelijke CEM III/C, dat maximaal 19% klinker bevat. Wij hebben dat als ENCI niet aangeboden omdat we het technologische risico te groot vonden. Een collega-bedrijf durfde dat wel aan. Toen het idee eenmaal aan het licht kwam bij de technuten bij Rijkswaterstaat, is dat voor een groot deel teruggedraaid.”

Wat is de rol van constructeurs hierbij?

“Constructeurs zijn vooralsnog zeer behoudend, nieuwe ontwikkelingen moeten wel passen binnen de huidige wet- en regelgeving. Milieu en circulariteit zijn



onderwerpen waarmee constructeurs zich nog te weinig bezighouden. Neem het Betonakkoord. Hoeveel constructeurs zijn betrokken bij de verschillende tafels? Nauwelijks. Dat komt ook doordat in deze discussie de aandacht vooral uitgaat naar het materiaal beton zelf, terwijl in het ontwerp en in de uitvoering misschien nog wel meer winst is te behalen. Opvallend is verder dat constructeurs en technologen nog te veel in gescheiden werelden leven en elkaars taal niet spreken. Daarom is het zo belangrijk dat ook betontechnologen actief zijn in clubs als Stufib.

Een ander probleem is dat het materiaal vaak als minder sexy wordt ervaren. Zo gaat er in het reguliere onderwijs al decennia te weinig aandacht uit naar beton. Betonvakken moeten ruimte maken voor softere vakken, bijvoorbeeld over vergader- en presentatietechnieken. →

“Het materiaal wordt vaak als minder sexy ervaren”

De industrie heeft dat ook aan zichzelf te wijten. Vroeger werd er nog volop geïnvesteerd in goede leermiddelen. Dat was een van de redenen dat in de jaren 70 en 80 in het onderwijs meer aandacht uitging naar beton dan naar staal. Gelukkig hebben we nog wel de Betonvereniging die dit gat voor een deel opvult.”

Je hebt zelf ook lesgegeven bij de Betonvereniging. Wat heeft je daarin gemotiveerd?

“Die kiem is al heel vroeg in mijn carrière gelegd. Om dat toe te lichten moet ik terug naar het begin. Na de HTS wilde ik heel graag een jaartje naar het buitenland en ik kreeg die kans bij De Moel Wegenbouw (later opgegaan in Ballast Nedam, red.). Ik kon aan de slag als asfalttechnoloog in Saoedi-Arabië. Dat was echt een bijzondere tijd. We moesten asfaltmengsels ontwikkelen met toeslagmateriaal dat je niet zomaar kon bestellen. De autoriteiten wezen een stuk woestijn aan waar we een groeve konden exploiteren. Met een eigen crusher (steenbreker) en zelfgekozen zeefdekken produceerden we de verschillende steenfracties voor een optimale korrelopbouw. Zes dagen per week aan het werk en de zevende dag ging je jezelf te buiten aan zelfgestookte alcohol of eigen gebrouwen wijn en bier. Maar dat ene jaartje liep wat uit de hand. Na 3,5 jaar kwam ik op een punt waarop ik een keuze moest maken. Nog 15 jaar doorgaan met dit werk en zo een grote zak met geld verdienen zodat ik een eigen huis in Marbella zou kunnen kopen. Of terug naar het gewone en meer sociale leven. Ik koos voor het tweede. Ik had te veel voorbeelden gezien van mensen die door het werk over de hele wereld, wereldvreemd waren geworden en zich nergens thuis voelden.

Ik kreeg een kans om in Alkmaar leiding te gaan geven aan het centraal laboratorium van De Moel, voor zowel beton als asfalt. Voor een betonwegenwerk van Grontmij in de ruilverkaveling Stedum-Loppersum eiste de opzichter dat de kwaliteitsbegeleiding gedaan zou worden door iemand met het diploma Betontechnoloog BV. Ik had daar nog nooit van gehoord! En de persoon bij De Moel die dat diploma wel had, was net vertrokken. Ik ben daarom vrijwel direct zelf met die cursus begonnen. Dat sprak me heel erg aan: spelen

“Amper een jaar nadat ik dat papiertje had ontvangen, stond ik zelf voor de klas”

met getallen en de diepere achtergronden doorgronden. En ik had een klik met de docent, Jan Kroone, een technisch voorlichter van de CEMIJ. Ik kreeg zelfs het idee dat zo'n rol als docent mij ook wel leuk zou lijken.

Later kwam ik min of meer bij toeval weer in contact met Kroone en hij bood mij een baan aan als technisch voorlichter bij CEMIJ. Een van de eisen van die functie was dat ik aan de slag zou gaan als docent. Amper een jaar nadat ik dat papiertje had ontvangen, stond ik zelf voor de klas.

Het is overigens altijd de policy van ENCI geweest dat technisch voorlichters les moeten geven. Het idee daarachter is dat in die klas je potentiële klanten zitten.”

Je bent benoemd tot erelid van de Betonvereniging. Wat betekent dat voor je?

“Ik ben daar echt wel trots op. Ik heb het lesgeven altijd met veel plezier gedaan. En heb ook mede vormgegeven aan de cursussen vanuit de Vakcommissie Betontechnologie. Maar aan dat les geven komt nu wel een eind. In de Vakcommissie hebben we op een gegeven moment een ouderenbeleid geformuleerd. De regel is nu dat je maximaal twee jaar na je pensionering mag doorgaan. De reden is dat je in de les moet kunnen putten uit praktijkervaring. Hoe vaak heb ik in de les niet verteld over wat ik een dag eerder had meegemaakt. Dus ook voor mij geldt dat ik stop met lesgeven. Ik wil anderen ook niet voor de voeten lopen.”

Hoe heb je je in al die jaren je eigen kennis ontwikkeld?

“Commissiewerk is daarin heel belangrijk. Ook dat is beleid vanuit ENCI, dat mensen op onze positie actief zijn in commissies. Onder meer om bij te dragen aan kennisontwikkeling in de sector, maar vooral om in



4 Fabriek ENCI IJmuiden, bron: Wikimedia Commons 5 Levvel-blocs ter bescherming van de Afsluitdijk, bron: Xbloc.com / Delta Marine Consultants 6 Aanleg betonverharding met Ternocem op het terrein van CBR Lixhe 7 Inspectie betonnen dwarsliggers gemaakt met Ternocem bij Spanbeton 8 Leilac, proefabriek voor het afvangen van CO₂ bij CBR Lixhe

contact te komen met anderen en zo je eigen kennis verder te ontwikkelen. Zo ben ik ook al in een heel vroeg stadium in de redactie van *Betoniek* (Standaard, red.) terechtgekomen. Als redactielid krijg je een onderwerp op je bordje en vervolgens aan jou de taak om je daarvan alle 'ins en outs' eigen te maken. En reken er maar niet op dat je mede-redactieleden je tijdens de bespreking van een nieuw artikel sparen! Daarnaast spijkeren wij onze kennis bij in opleidingen. Wij hebben onszelf binnen ENCI verplicht gesteld de opleiding *Advanced Concrete Technology* (ACT) te volgen, een pittige cursus van het *Institute of Concrete Technology* (ICT) in Londen met de absolute wereldtop in het docentenkorps. Nog steeds grijp ik geregeld terug op het cursusmateriaal. Overigens word je, als je die cursus hebt afgerond, uitgenodigd om lid te worden van het ICT en mag je MICT achter je naam zetten, *member* van het ICT. Ik ben zelf FICT, *fellow*. Daarvoor moet je worden voorgedragen door twee sponsors. Eisen zijn verder dat je minimaal 10 jaar *member* moet zijn en dat je een persoonlijk ontwikkelingsplan moet bijhouden. Daarbij gaat het er vooral om dat je je ook buiten je normale werk voldoende inzet voor de ontwikkeling van het vakgebied. Dankzij het lesgeven en de tientallen afleveringen van *Betoniek* die ik heb geschreven, mag ik mijzelf ook *fellow* noemen. Als enige in Nederland, best wel bijzonder eigenlijk."

"Spijtig genoeg hebben we internationaal nu haast niets meer in te brengen"

Zo kom je ook in contact met internationale collega's. Hoe verhoudt ons kennisniveau zich tot andere landen?

"Wij hebben in het verleden veel kunnen bijdragen aan internationale kennisontwikkeling. In de jaren 80 zijn bijvoorbeeld CUR-Aanbevelingen 4 en 5 (over toepassing van betonpuin- en metselwerkgranulaat, red.) ontwikkeld. Daarmee liepen we in Europa echt voorop. Zelf heb ik meerdere malen lezingen gegeven over de Nederlandse ervaringen op dat gebied, met name in Engeland. Zo'n optreden in het buitenland is overigens best spannend. Ik keek altijd vol ontzag naar mensen die op het podium stonden. Cees Souwerbren (technisch voorlichter van Verkoopassociatie Nederlands Cement en later directeur van BMC, red.) was er zo een. Het gemak en het enthousiasme waarmee hij een zaal kon toespreken, daar heb ik veel van geleerd. Ook van mijn collega, en vooral mentor, Rob Bakker, wereldwijd een goeroe op het gebied van hoogovencement. Die heeft veel betekend voor de introductie van hoogovencement in landen om ons heen.

Maar dat zendingswerk is inmiddels voorbij. Spijtig genoeg hebben we internationaal nu haast niets meer in te brengen. Binnen HeidelbergCement gebeurt alle research centraal in Duitsland. Nu Maastricht is gesloten, zijn we op een dieptepunt beland. Vroeger was je trots als je bij een bedrijf als ENCI kon werken. Dat gevoel is nu helemaal weg. Dat doet best zeer. Onze rol is in de 33 jaar dat ik hier werk, behoorlijk afgebrokkeld. In het begin liepen er nog zes man van technische voorlichting rond, onder leiding van Hans Luitwieler. Nu zijn dat er nog maar twee. Terwijl het klantenbestand even groot en de afzet in volume gelijk zijn gebleven. Laboratoriumonderzoek is voor de ondersteuning van onze klanten onontbeerlijk. In Maastricht hebben we hooggekwalificeerde jongens op het cementlaboratorium zitten. Nu met het sluiten van de fabriek is hun toekomst nog altijd ongewis. Op onze vestiging in Rotterdam hebben we nog een goed geoutilleerd betonlaboratorium. Daar worden alle noodzakelijke beproevingen voor het cement uit Rozenburg en uit IJmuiden gedaan. Maar vooral vindt er toegepast betononderzoek plaats voor onze klanten. Voor onderzoek dat noodzakelijk is voor de ontwikkeling van geopolymerbeton en Ternocem, moeten we terugvallen op de ondersteuning van HTC, het *Heidelberg-Cement Technology Center*. Dat contact loopt overigens prima en ze dragen graag bij aan dit soort ontwikkelingen. HTC ziet Nederland graag als proeftuin waar nieuwe ontwikkelingen soms net iets sneller kunnen worden geïmplementeerd dan bij onze conservatieve oosterburen."

Nu je bijna met pensioen gaat, hoe kijk je terug op die 33 jaar cementindustrie?

"Sommige ontwikkelingen betreur ik weliswaar, maar ik ben niet pessimistisch. Dat zou ook alleen maar afstra-

"Ik ben niet pessimistisch. Verandering is van alle tijden"



len op de rest van de organisatie en de sector. Het heeft bovendien geen enkele zin. Verandering is van alle tijden. Toen CEMIJ eind jaren 80 overging van Hoogovens naar ENCI, was dat voor velen binnen CEMIJ een schok. ENCI werd gezien als de 'vijand', de grote concurrent. Maar het bood ook allerlei kansen. Zo werd mijn wereld veel groter en kon ik nu bij klanten ook over portlandcement gaan adviseren. Mijn werk werd er alleen maar leuker door. En ook nu doen zich dit soort kansen voor. Het zoeken naar mogelijkheden om de CO₂-uitstoot te beperken of de inzet van de *cementfines* die vrijkomen bij de opwerking van betongranulaat bijvoorbeeld.

Een van de leukste dingen aan mijn vak is de grote afwisseling. Geen dag is hetzelfde. Mensen schamperen wel eens over de 40.000 km die ik jaarlijks in de auto zit en over alle files waarin ik sta. 'Maar ik sta nooit in dezelfde file', zeg ik dan. Naast het onderzoek dat we doen en initiëren, ben ik veel bezig geweest met het oplossen van problemen. Ook dat is machtig interessant. Niet zelden wordt er bij een probleem of schade met een beschuldigende vinger naar het cement gewezen. In een bouwvergadering bij een klant ben ik zelfs wel eens voor leugenaar uitgemaakt, omdat ik de boel zou hebben besodemieterd. Gelukkig is de werkelijke oorzaak van het probleem of de schade meestal wel te achterhalen. En daar moet je dan op een nette manier met de klant zien uit te komen. Daarbij zit je soms zelfs met verzekeringsmaatschappijen aan tafel om uit te zoeken waar uiteindelijk de rekening kan worden neergelegd.

Illustratief voor ons werk is de volgende verzonnen anekdote* die ik je niet wil onthouden. Ik heb hem uitgeschreven ter gelegenheid van het afscheid van Jaap Holthuis (directeur van Betoncentrum Noord-Nederland, red.). Jaap moest bij een onderdoorgang in aanbouw komen omdat er betonwanden waren gescheurd, opvallend genoeg slechts aan één zijde van de inrit. Holthuis doet de suggestie dat het komt door de chauffeur met de rode helm: 'Die geeft altijd gedonder, en dus scheuren in het beton. Als ik u was zou ik geen beton meer accepteren wanneer de chauffeur van de mixer een rode helm draagt'. Waarop de projectleider antwoordt: 'Maar de scheuren zitten toch niet al in de betonspecie in de truckmixer?' Precies. En zo had die projectleider zelf eigenlijk al het antwoord gegeven: het verschil zat in de verhardingsomstandigheden." ●

** De volledige speech van Peter de Vries staat als blog op www.cementonline.nl*

Krommingsdruk nader beschouwd

Invloed van het verloop van voorspankabels en de ligging in de omhullingsbuis

*Voorspanning met nagerekt staal wordt in berekeningen
doorgaans beschouwd met de evenwichtsbelastingmethode.
Hierbij wordt het effect van de voorspanning vertaald naar een
uitwendige belasting op de constructie. Het maakt een verschil of
je daarbij uitgaat van een cirkelvormig of parabolisch verloop van
de kabel en ook de exacte ligging van de kabel in de
omhullingsbuis heeft de nodige invloed.*

Voorspanning met nagerekt staal in voorspankanalen met een gebogen verloop veroorzaakt specifieke krachten in de constructie.

Met de invoering van de VBC werd voor het bepalen van de effecten op de constructie de evenwichtsbelastingmethode dwingend voorgeschreven. Hiermee kwam de uitwendige momentenmethode te vervallen. In de huidige voorschriften is de evenwichtsbelastingmethode de meest voor de hand liggende manier om de effecten van voorspanning in de berekening te verwerken.

Bij deze methode wordt gerekend met een krommingsdruk die de kabel op de constructie uitoefent. In figuur 1 zijn de onderdelen van een krommingsdruk weergegeven.

De trekkracht in de voorspankabel oefent een kracht uit op het beton loodrecht op de as van de kabel. Deze kracht is afhankelijk van de kromming van de voorspankabel κ en de trekkracht in de kabel P . De kracht is een radiale druk die gelijk is aan $\kappa \cdot P$ en dit wordt de krommingsdruk genoemd.

In een statisch bepaalde ligger wordt over het algemeen de voorspankabel ter plaatse van de twee steunpunten verankerd. Hier veroorzaakt de trekkracht in de voorspankabel een drukkracht op het beton die aangrijpt in deze verankeringen (aan beide zijden van de ligger).

De krommingsdruk en de verankeringskrachten vormen samen het belastinggeval voorspanning (fig. 1). Omdat deze belasting een inwendige belasting is, is de som van deze belasting gelijk aan nul.

In dit artikel worden twee elementen van de effecten van een gebogen voorspankabel beschouwd:

1 het verschil tussen cirkelbogen en parabolen;

2 het effect van de ligging van de kabel in de omhullingsbuis.

Verskil tussen cirkelbogen en parabolen

Wanneer de voorspankabel een gebogen verloop heeft met een constante kromming (cirkelboog) is de krommingsdruk ook constant.

$$q = \kappa \cdot P = \frac{P}{R}$$

q de krommingsdruk

κ de kromming van de kabel

P de trekkracht in de kabel

R de straal van de hartlijn van de kabel (cirkelboog)

Indien de voorspankabel een parabolisch verloop heeft is de kromming niet constant, waarmee de krommingsdruk ook niet constant is. De basis voor de krommingsdruk is ook $q = \kappa \cdot P$. Maar voor de kromming geldt:

$$\kappa = \frac{F'_{(x)}}{(1 + F'^2_{(x)})^{3/2}}$$

Met $F_{(x)} = Cx^2$ volgt $F'_{(x)} = 2Cx$ en $F'_{(x)} = 2C$

Hierin is:

$F_{(x)}$ vergelijking van het kabelverloop

x de horizontale positie op de x-as

C een constante in de vergelijking

Omdat de eerste afgeleide afhankelijk is van x , is de kromming niet constant.

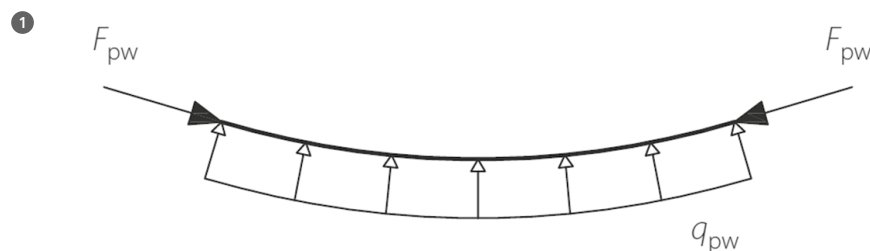
Rekenvoorbeeld De verschillen in het kabelverloop tussen cirkelbogen en parabolen worden toegelicht met een rekenvoorbeeld. In dit voorbeeld zijn de volgende uitgangspunten aangehouden: →

auteur



ING. MARCEL VLAAR

constructeur
Arcadis Nederland



Naast een verticale druk ontstaat er ook een horizontale druk

- L is de lengte van de overspanning: 4,0 m
- f is de pijl van de gebogen kabel: 1,0 m
- P is de voorspankracht in de kabel: 1000 kN
- Overspanning op twee steunpunten, waarbij de as van de kabel ter plaatse van de steunpunten samenvalt met de neutrale lijn van de ligger.

Met deze uitgangspunten ligt het verloop van beide kabelvormen vast. Ze zijn weergegeven in figuur 2. Voor beide kabelvormen geldt dat de hoek tussen de voorspankabel en de neutrale lijn van de ligger ter plaatse van het steunpunt hoek α wordt genoemd. De twee kabelvormen hebben een verschillende constante. De cirkel heeft een constante R en de parabool heeft een constante C . De berekende eigenschappen zijn:

Voor de cirkelboog:

- De straal R volgt uit $R = \frac{L^2 + 4f^2}{8f}$ en hieruit volgt $R = 2,5$ m
- Hoek α volgt uit $\sin \alpha = \frac{L}{2R}$ en hieruit volgt $\alpha = 53,13^\circ$

Voor de parabool:

- Hoek α volgt uit $\tan \alpha = \frac{4f}{L}$ en hieruit volgt $\alpha = 45,0^\circ$
- De constante C volgt uit $C = \frac{4f}{L^2}$ en hieruit volgt $C = 0,25$
- Met de oorsprong van de parabool in het midden van de overspanning kan er voor ieder punt op de parabool een straal worden uiterekend, die alleen lokaal geldt:
- De straal in het midden volgt uit $R_0 = \frac{1^{1,5}}{2C}$ en

hieruit volgt $R_0 = 2,0$ m

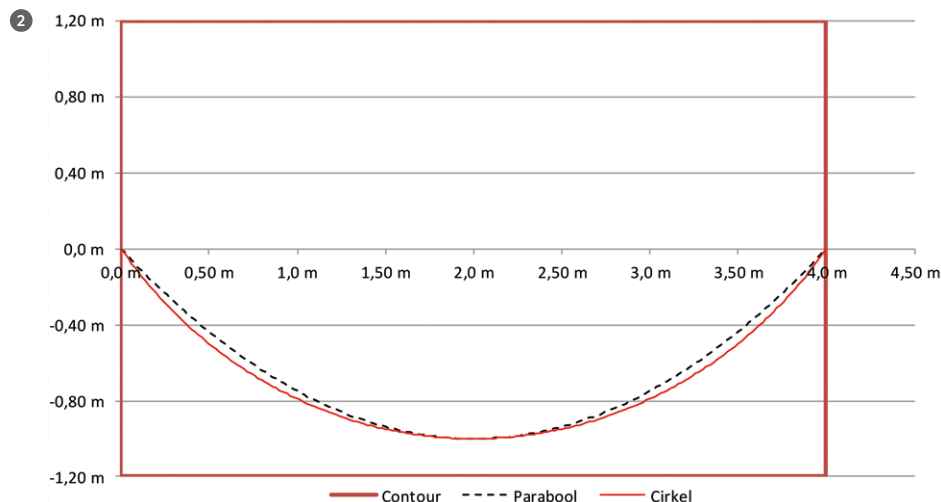
- De straal bij het steunpunt is $R_2 = \frac{2^{1,5}}{2C}$ en hieruit volgt $R_2 = 5,657$ m

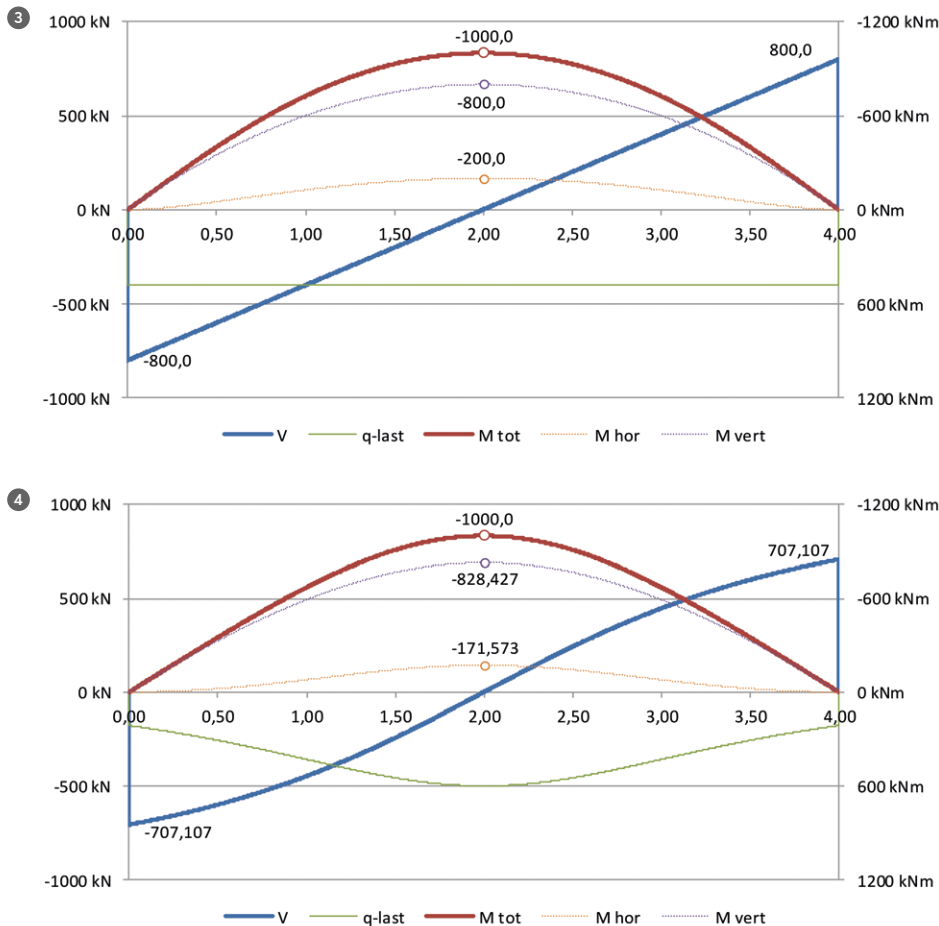
In figuur 2 is te zien dat de parabool in het midden een grotere kromming heeft. Deze kromming wordt richting het steunpunt steeds kleiner, waardoor het bij dit steunpunt weer samenvalt met de cirkelboog. Hiermee is hoek α voor de parabool kleiner dan de α voor de cirkelboog.

In figuur 3 en 4 zijn de krachten ten gevolge van de voorspankabel weergegeven. Deze krachten zijn berekend met een spreadsheet, waarbij is uitgegaan van de daadwerkelijke krommingsdrukken. Het belangrijkste verschil tussen de twee kabelvormen is het wel en niet constant zijn van de kromming. De krommingsdruk bij een parabool is een cosinusfunctie. Deze functie resulteert in een gebogen dwarskrachtenlijn. Bij de cirkelboog resulteert de constante krommingsdruk in een rechte dwarskrachtenlijn.

Benadering moment en dwarskracht

In het algemeen wordt in de praktijk voor beide kabelvormen een gelijkmatige krommingsdruk aangehouden. Voor de parabolen gaat men uit van de maximale kromming van de kabel in het midden. Dit uitgangspunt leidt tot een benaderde krommingsdruk gelijk aan $8 \cdot P \cdot f / L^2$. Als het moment in het midden en de dwarskracht ter plaatse van het steunpunt met dit uitgangspunt wordt uitge-





rekend volgt: $M = 1000 \text{ kNm}$ en $V = 1000 \text{ kN}$. Het is opvallend dat het moment exact klopt met de exacte waarden uit de grafiek uit figuur 4, terwijl de dwarskracht een aanzienlijke afwijking heeft.

Dat het moment klopt zegt nog niet zo veel. Want alleen het moment in het midden is correct. Op alle andere punten wijkt de benadering af van het werkelijke moment. Bovendien blijkt dat het moment in het midden niet correct is wanneer de voorspankabel ter plaatse van het steunpunt niet samenvalt met de neutrale lijn van de ligger.

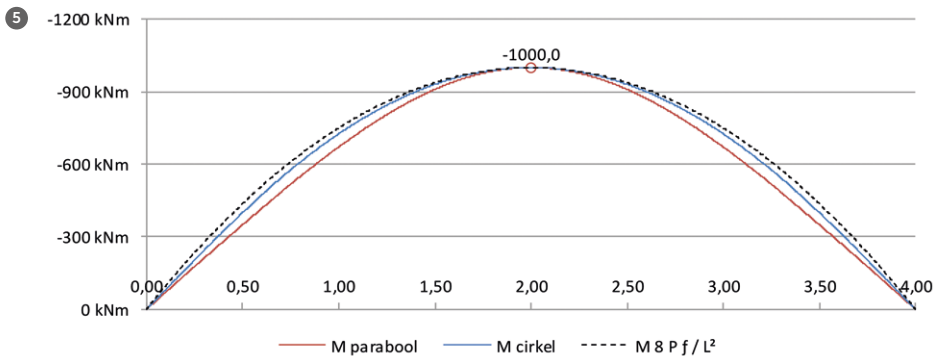
Verder geldt dat als je de parabool met de benaderingsbelasting $8 \cdot P \cdot f/L^2$ uitrekent de dwarskracht niet correct is.

Horizontale en verticale krommingsdruk
Niet alleen de feitelijk niet volledig juiste benaderingsbelasting zorgt voor een verschil, ook het feit dat er naast de verticale druk ook een horizontale druk ontstaat speelt een

rol. Dit komt doordat de krommingsdruk loodrecht op de as van de kabel werkt zoals in figuur 1 is aangegeven. In de praktijk wordt deze horizontale druk vaak verwaarloosd.

Bij een normale verhouding van L/f is dit toelaatbaar omdat de invloed van deze druk dan zeer klein is. In het rekenvoorbeeld is er echter bewust gekozen voor een extreme verhouding van L/f (in dit geval is deze verhouding 4). Met deze verhouding is het verschil tussen de beide kabelvormen goed zichtbaar. Het verschil tussen de werkelijk optredende krachten en de krachten die worden gevonden met de praktische benadering is nu groot. Bij een verhouding L/f van 16 is dit verschil kleiner dan 3%. In de praktijk is de verhouding L/f gelijk aan circa 40. Dit betekent dat het verwaarlozen van de horizontale druk en het gebruik van een benaderingsbelasting bij parabolen in de praktijk geen probleem is. →

Het kabelverloop met een hogere graad functie is vergelijkbaar met een kabelverloop met twee cirkelbogen en een recht horizontaal deel in het midden



Benadering bij cirkelbogen Bij de cirkelbogen is de krommingsdruk gelijk aan $\kappa \cdot P$, wat neerkomt op een verticale krommingsdruk in het midden gelijk aan 800 kNm (fig. 3). Daarbij is de horizontale krommingsdruk verwaarloosd. Het werkelijke moment is 1000 kNm.

Het verwaarlozen van de horizontale krommingsdruk heeft bij de cirkelbogen geen invloed op de gevonden dwarskrachtenlijn.

Verschillen De fout in het moment is afhankelijk van de ligging van de kabel ten opzichte van de neutrale lijn van de ligger. De fout in de dwarskracht (komt alleen voor bij de parabool) is over het algemeen maatgevend en deze fout is direct uit het kabelverloop te bepalen. De fout is gelijk aan:

$$\text{Dwarskracht fout} = (1 - \cos \alpha)$$

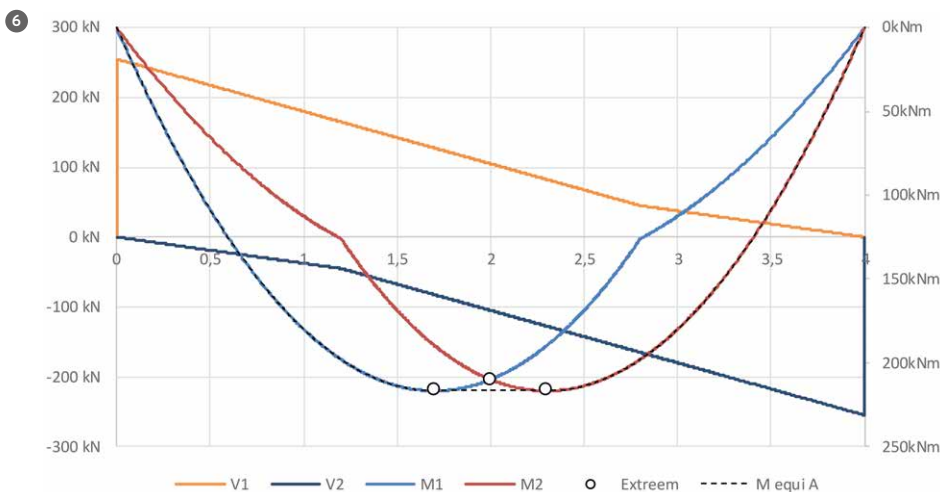
Hierin is α de hoek tussen de voerspankabel en de neutrale lijn van de ligger ter plaatse

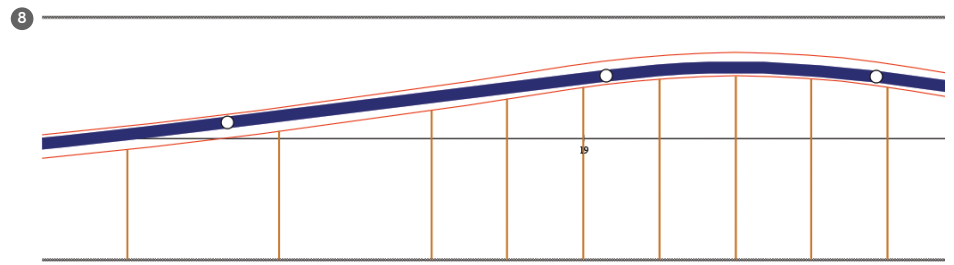
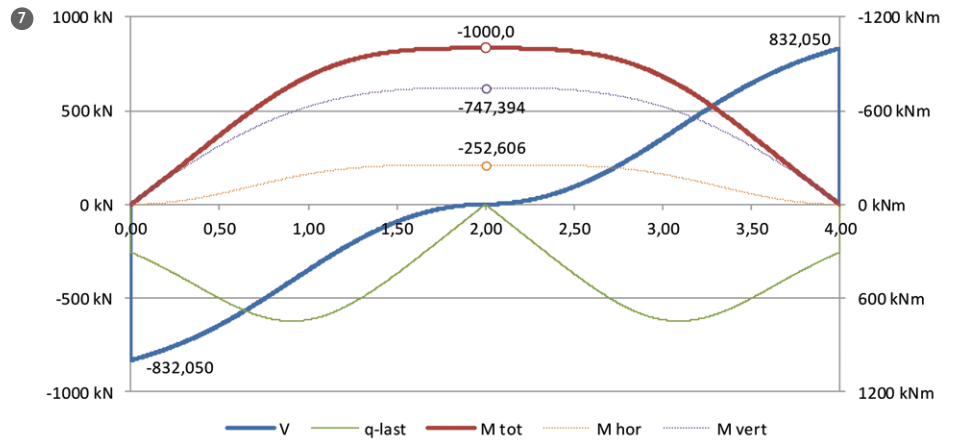
van de eindoplegging of in het buigpunt. Als deze hoek kleiner of gelijk is aan $14,0^\circ$ is de afwijking in de dwarskracht kleiner dan 3%.

In figuur 5 zijn de momentenlijnen uit bovenstaande afleidingen samen gepresenteerd. Uit de figuur blijkt de momentenlijn met cirkelboog dichterbij de momentenlijn van een gelijkmatige q-last ligt dan de momentenlijn met parabool.

Het is de bedoeling dat de krommingsdruk ten opzichte van de verticale neerwaartse belasting een tegengesteld effect heeft. Over het algemeen is de momentenlijn van de verticale neerwaartse belasting overeenkomstig met een gelijkmatige last.

Tandemstelsel Voorspanning kan behalve voor het compenseren van een gelijkmatige belasting ook worden gebruikt voor het compenseren van de belasting uit een tandemstelsel. In figuur 6 zijn de krachten door een tandemstelsel weergegeven. Hier is het →





ALGEMENE FORMULES VOOR EEN PARABOOL

Functie van de parabool:

$$F(x) = e_2 - C_1 \cdot x^n$$

Constante van de parabool:

$$C_1 = \frac{2^n \cdot f}{L^n}$$

($x = \frac{1}{2}L$)

Hoek alfa

$$\alpha = \arctan(2 \cdot n \cdot f/L)$$

Verlopende hoek t

$$t = \arctan(F'_{(x)})$$

q-last

$$q_p = -P \cdot F''_{(x)} \cdot \cos^3 t$$

Normaalkracht

$$N_p = -P \cdot \cos t$$

Dwarskracht

$$V_p = P \cdot \sin t$$

Moment

$$M_p = -P \cdot \cos t \cdot F_{(x)}$$

x is de horizontale afstand op de boog t.o.v. de oorsprong

t is de hoek tussen de kabel en de neutrale lijn in punt x

e_1 is de excentriciteit van de kabel ter plaatse van de oplegging

e_2 is de excentriciteit van de kabel in het midden ($f - e_1$)

P is de voorspankracht

f is de pijl van de boog

L is de lengte van de boog

Tabel 1 Vergelijking van het kabelverloop

onderdeel	met rechte delen	zonder rechte delen
straal eindveld	$R = 94,325$ meter	$R = 98,583$ meter
straal middenveld	$R = 93,177$ meter	$R = 97,798$ meter
hoekverdraaiing eindoplegging	$\alpha = 3,7^\circ$	$\alpha = 4,0^\circ$
hoekverdraaiing tussensteunpunt	$\alpha_1 = 4,9^\circ$ en $\alpha_2 = 5,3^\circ$	$\alpha_1 = 6,0^\circ$ en $\alpha_2 = 6,4^\circ$

stelsel uit LM1 toegepast met de halve as-last (wiellast). De equivalente M is een neerwaartse krommingsdruk met cirkelbogen (ten behoeve van de vergelijking is het moment door krommingsdruk neerwaarts). De cirkelboog is in het midden (tussen de twee maximale momenten) onderbroken met een stukje rechte kabel. Het momentenverloop met cirkelbogen blijkt ook hier goed vergelijkbaar met de momenten uit de optreden belasting.

Voor het compenseren van zowel een gelijkmatige belasting als voor de belasting met tandemstelsels is de krommingsdruk met cirkelbogen beter.

Parabolische kabelvorm volgens

3e-graad-vergelijking Tot nu toe is voor de parabolische kabelvorm uitgegaan van een 2e-graad-vergelijking. Bij een kabelverloop volgens een 3e-graad-vergelijking blijft de kabel in het midden over een groter deel onderin de constructie, waardoor het moment over een groter gebied groot blijft (fig. 7).

Het kabelverloop met een hogere graad functie is vergelijkbaar met een kabelverloop met twee cirkelbogen en een recht horizontaal deel in het midden.

In het kader op voorgaande pagina zijn de algemene formules voor parabolen gegeven. Opgemerkt wordt dat de formules voor dwarskracht en moment alleen voor statisch bepaalde constructies gelden. Het zijn formules voor de oude uitwendige momentenmethode.

Berekenen met raamwerkprogramma's In raamwerkprogramma's kunnen gebogen kabelverlopen worden ingevoerd. Deze programma's delen de gebogen kabel op in kleine stukjes en bepalen voor ieder stukje kabel de gemiddelde kromming. Dit gemiddelde wordt omgezet naar een horizontale en een verticale kracht. De krachtenlijnen in dit artikel zijn, zoals aangegeven, in een spreadsheet gemaakt. Als het rekenvoorbeeld uit dit artikel in een raamwerkprogramma wordt gezet worden dezelfde resultaten gevonden. Wel is het zo dat de normaalkrachten, en dwarskrachtenlijn niet vloeiend zijn. Dit komt door het opdelen in kleine kabelstukjes.

Voor deze programma's geldt dat zij wel met horizontale en verticale druk rekenen. En dat zij bij parabolen de cosinusbelasting benaderen met kleine gelijkmatige krommingen.

Ligging kabel in de omhullingsbuis

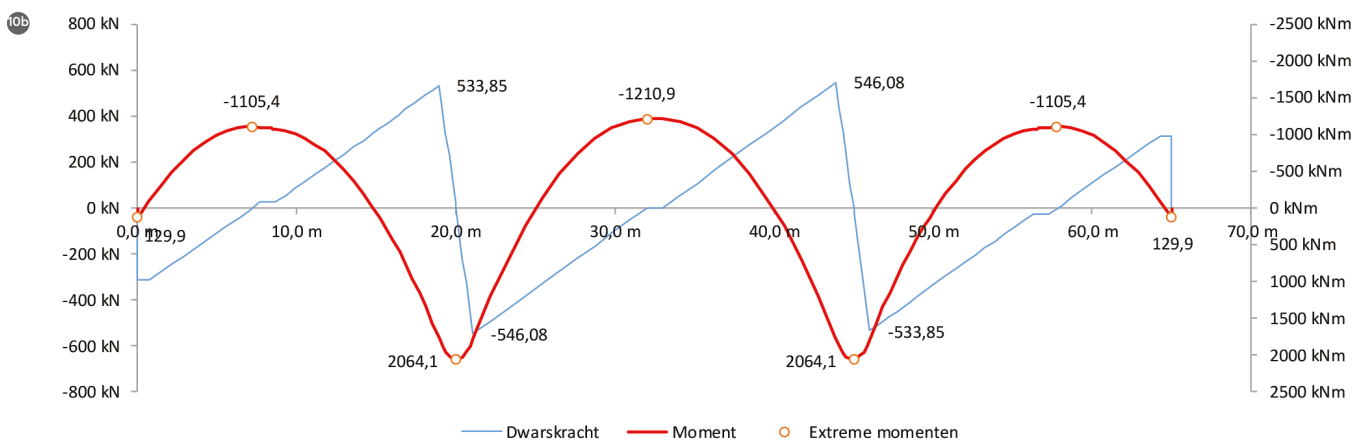
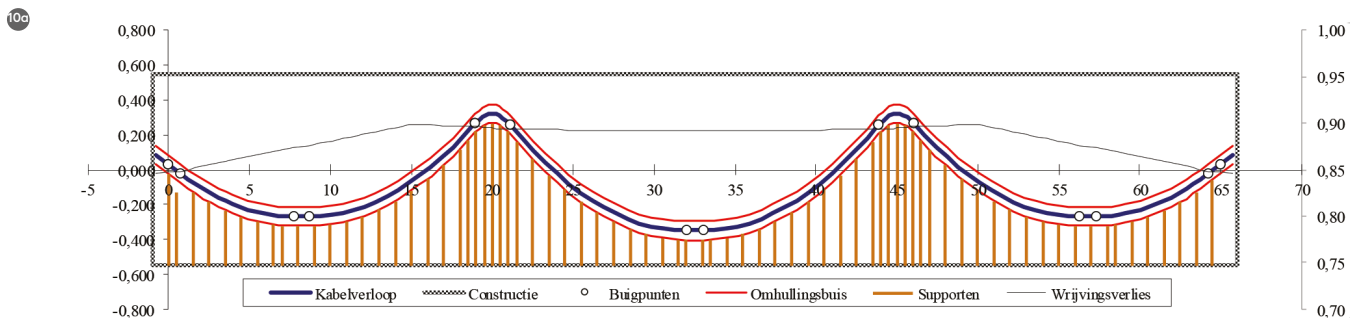
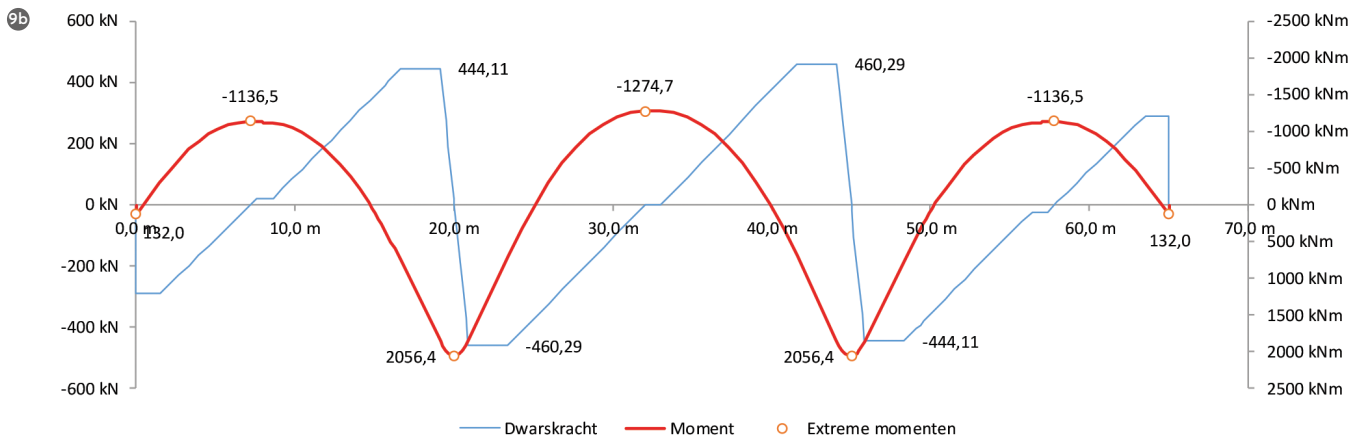
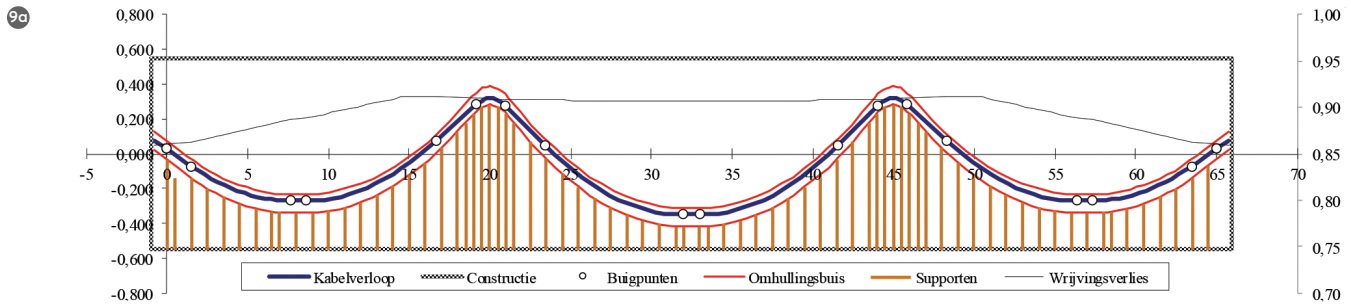
Omdat een voorspankabel bewegingsvrijheid in de omhullingsbuis moet hebben volgt de as van de voorspankabel niet exact de as van de omhullingsbuis. De constructeur moet rekening houden met een verschuiving van de as van de voorspankabel ten opzichte van de as van de omhullingsbuis. De verschuiving is afhankelijk van het toegepaste voorspansysteem. In tabel 6-3 van de ROK zijn verschuivingen voor de verschillende voorspansystemen gegeven.

In berekeningen van statisch onbepaalde liggers (of vloeren) zijn de krommingsdrukken voor de top-, en dalbogen, over het algemeen, aansluitend geschematiseerd. Dit betekent dat de voorspankabel over een zeer kleine lengte van topboog overgaat in een dalboog. Door de verschuiving van de as van de kabel in de omhullingsbuis zal dit in werkelijkheid nooit optreden. In een dalboog wordt de kabel tegen de binnenkant van de omhullingsbuis gedrukt aan de bovenzijde. In de topboog zal hij aan de onderzijde tegen de binnenkant worden gedrukt. Dit betekent dat de kabel nabij het buigpunt in de omhullingsbuis oversteekt van bovenzijde naar onderzijde (fig. 8). Tijdens deze oversteek is de kabel nagenoeg niet gebogen en is er dus geen krommingsdruk. De lengte waarover geen krommingsdruk aanwezig is kan meters bedragen.

Rekenvoorbeeld De invloed van de rechte kabeldelen rondom de buigpunten is in een rekenvoorbeeld nader beschouwd. Uitgangspunten in dit voorbeeld zijn (fig. 9a en 10a):

- drie overspanningen 20,0 – 25,0 – 20,0 m;
- betondoorsnede $1,0 \times 1,1 \text{ m}^2$ ($b \times h$);
- stralen:
 - topboog R 10 m;
 - dalboog R nader te bepalen;

Voor raamwerkprogramma's geldt dat zij wel met horizontale en verticale druk rekenen



→ excentriciteiten:

- eindsteunpunt + 0,028 m;

- eindveld - 0,270 m;

- tussensteunpunt + 0,320 m;

- middenveld - 0,350 m;

→ in alle velden ligt de kabel ter plaatse van het maximale veldmoment over een lengte van 1,0 m horizontaal;

→ verschuiving van de kabel in de buis 0,015 m;

→ tweezijdig voorspannen 50% van de kabels;

→ direct optredende verliezen volgens ROK met wigintrekking van 7 mm;

→ voorspankracht $P_m(0) = 5500$ kN.

Bij de uitwerking zijn de verschillen bepaald tussen een kabelverloop met rechte delen en een kabelverloop zonder rechte delen bij de buigpunten. In dit voorbeeld hebben de rechte delen rondom de buigpunten een lengte van circa 2,5 m. In beide kabelverlopen zijn wel de rechte horizontale delen onderin de constructie aanwezig.

Het verschil in kabelverloop is weergegeven in tabel 1. Bij het kabelverloop met rechte delen zijn de stralen voor de dalbogen kleiner, waarmee de kromming en dus ook de krommingsdruk groter is. Ook de hoekverdraaiingen zijn kleiner. Hiermee zal de wrijving tussen kabel en omhullingsbuis kleiner zijn.

Voor beide kabelverlopen zijn de krachten bepaald. Het verschil in krachten is weergegeven in figuur 9b en figuur 10b. Bij de momenten valt op dat de veldmomenten met rechte delen iets groter zijn, waar het steunpuntmoment iets kleiner is. Het grootste verschil is 5,3%. Het verschil bij de dwarskracht is aanzienlijk groter. Met rechte delen is de dwarskracht 15,7% kleiner. Dit betekent dat men de gunstig werkende dwarskracht overschat als er zonder rechte delen wordt gerekend. De overschatting bevindt zich precies op het punt waar de dwarskracht getoetst wordt (op d uit de oplegging).

Samenvatting

In de beschouwing van het verschil tussen het kabelverloop met cirkelbogen en met parabolen is duidelijk geworden dat bij parabolen in werkelijkheid de krommingsdruk niet gelijkmatig is. Bij beide gebogen kabelvormen wordt standaard het horizontale deel verwaarloosd (in programma's waarin het kabelverloop kan worden ingevoerd niet). Als de hoekverdraaiing in de eindopleggingen en/of in de buigpunten kleiner dan 14° is, voldoet de praktische benadering.

Door de verschuiving tussen as voorspankabel en as omhullingsbuis ontstaan rechte kabeldelen ter plaatse van de buigpunten in de omhullingsbuis. Als deze rechte kabeldelen niet in de berekening wordt meegenomen wordt de dwarskracht door voorspanning op het kritische punt met 16% overschat (bij $\Delta R = 15$ mm). Deze overschatting reduceert de optredende dwarskracht in de constructie. Het advies is om deze rechte delen wel mee te nemen. De berekening met rechte delen is niet complexer of tijdrovender. ●

Tijdens deze oversteek van de bovenzijde naar de onderzijde is de kabel nagenoeg niet gebogen en is er dus geen krommingsdruk

STUDENT? LEER VAN DE PRAKTIJK.



Cement is hét kennisplatform over betonconstructies. Het speelt al meer dan 70 jaar een onmisbare rol voor constructeurs. Omdat kennis juist voor aankomende constructeurs essentieel is, is het belangrijk dat ook jij de weg naar Cement weet te vinden.

Via Cementonline.nl, het vakblad en via onze nieuwsbrief krijg je toegang tot een schat aan informatie over onder meer actuele projecten en ontwikkelingen op het gebied van constructietechniek, materiaal en regelgeving. Je kunt nu een compleet lidmaatschap afsluiten voor slechts € 74,50 per jaar. Een online lidmaatschap is voor jou helemaal gratis zolang je student bent!

Meld je nu aan bij het kennisplatform Cement WWW.CEMENTONLINE.NL/VOOR-HET-ONDERWIJS.

DE KRACHT VAN *imperfectie*

Museum voor
hedendaagse kunst,
Taizhou, China



DRIEDELIG

De gewelfstructuur vormt kolomvrije ruimtes, biedt een specifieke atmosfeer en geeft richting aan de ruimtes, waardoor bezoekers zich gemakkelijk kunnen oriënteren. Je komt het museum binnen via de lobby met het café en de museumwinkel, gelegen aan een stedelijk plein. Vanuit deze ruimte lopen bezoekers in een spiralende beweging omhoog langs de drie verdiepingen met in totaal acht expositieruimtes (fig. 3). Op de bovenste verdieping begeleidt de belijning van de gewelven de blik richting het westen en eindigt het bezoek op een open terras, dat spectaculair uitzicht biedt op de nabijgelegen bergen.

beton in beeld

Het Museum voor hedendaagse kunst in Taizhou, een jonge stad zo'n 350 kilometer van Shanghai, staat op een voormalig industrieterrein dat getransformeerd wordt tot een nieuw stuk stad, met werkplekken voor creatieve ondernemers, retail en horeca. Voortbouwend op de architectuur van de bakstenen en betonnen graanpakhuizen ontwierp architectenbureau Atelier Deshaus een gewelfconstructie van in het werk gestort beton waarmee een bijzondere ruimtelijke atmosfeer is gecreëerd.



PROJECTGEGEVENEN

project

Taizhou Contemporary
Art Museum, Taizhou,
China

opdrachtgever

Taizhou Trading
Cultural Creative
Industry Development
Co., Ltd.

architect

Atelier Deshaus,
Shanghai

projectarchitect

Liu Yichun

ontwerpteam

Liu Yichun, Chen
Yifeng, Shen Wen

constructeurs

Zhang Zhun, Shao Zhe

totaal vloeroppervlak

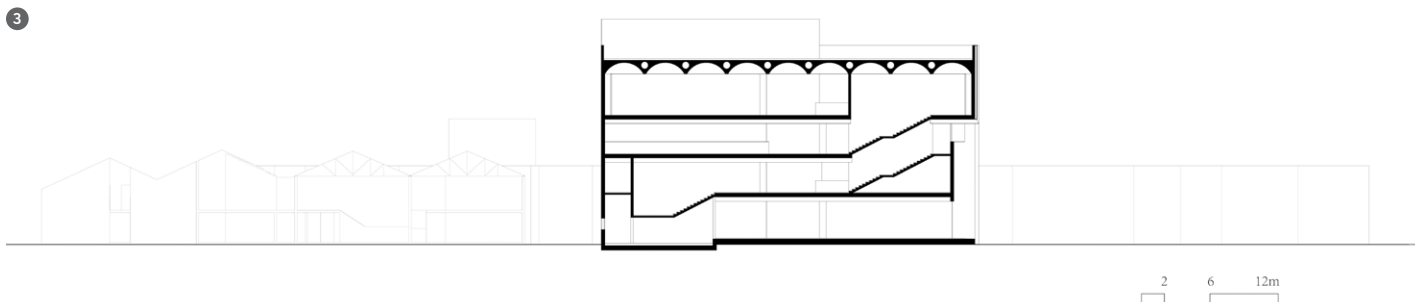
2454 m² bruto

start ontwerp

2015

oplevering

2019



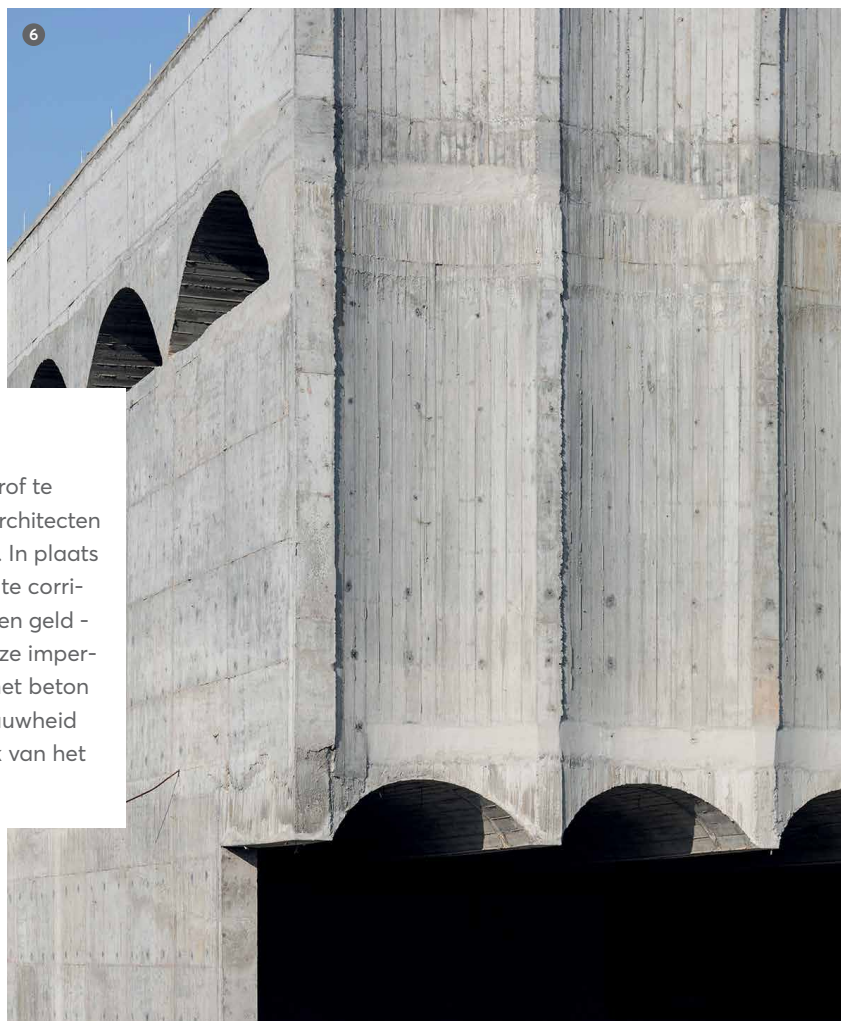
BOOGMOTIEF

Het panorama wordt benadrukt door het dakoverstek boven de minimalistisch vormgegeven glazen gevel; het beton lijkt hier te zweven (foto 4). De constructieve bogen zijn in de glazen gevel en grote gevelopeningen duidelijk afleesbaar, terwijl het boogmotief in verticale richting terugkeert in de voorgevel aan het plein. Op deze manier werkt de boogstructuur als een soort logo voor het museum, dat de relatie met de openbare ruimte versterkt.



TEKTONIEK

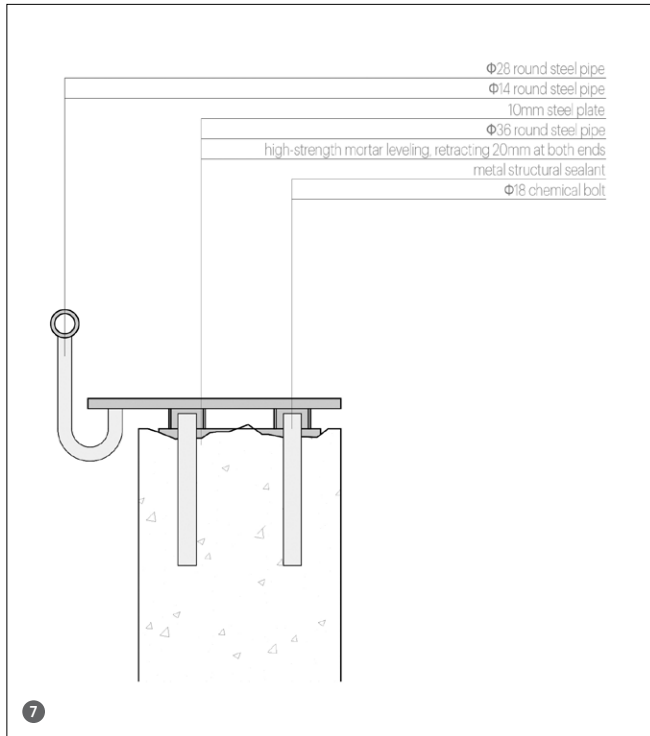
Het Museum voor hedendaagse kunst in Taizhou staat uitgebreid beschreven en geïllustreerd op www.tektoniek.nl. Tektoniek is het kennisnetwerk voor architectuur in beton. Via lezingen, projectbezoeken, workshops, expert meetings en online communicatie wordt informatie, inspiratie en ondersteuning geboden aan (toekomstige) architecten, constructief ontwerpers, bouwkundig adviseurs en producenten. Daarbij gaat het altijd om de relatie tussen vormgeving, constructie en maakbaarheid.



WHAT YOU SEE IS WHAT YOU GET

De betonnen draagconstructie is tegelijk gevel- en binnenafwerking; *what you see is what you get*. Deze bouwwijze was hier mogelijk omdat Taizhou een gematigd klimaat heeft, waardoor thermische isolatie niet noodzakelijk is en er geen eisen golden ten aanzien van de energieprestatie. De lokale

aannemer ging vrij grof te werk, ontdekten de architecten in de uitvoeringsfase. In plaats van de bouwvakkers te corrigeren, wat veel tijd - en geld - zou kosten, besloten ze imperfecties en foutjes in het beton te omarmen en de rauwheid tot een karakteristiek van het gebouw te maken.



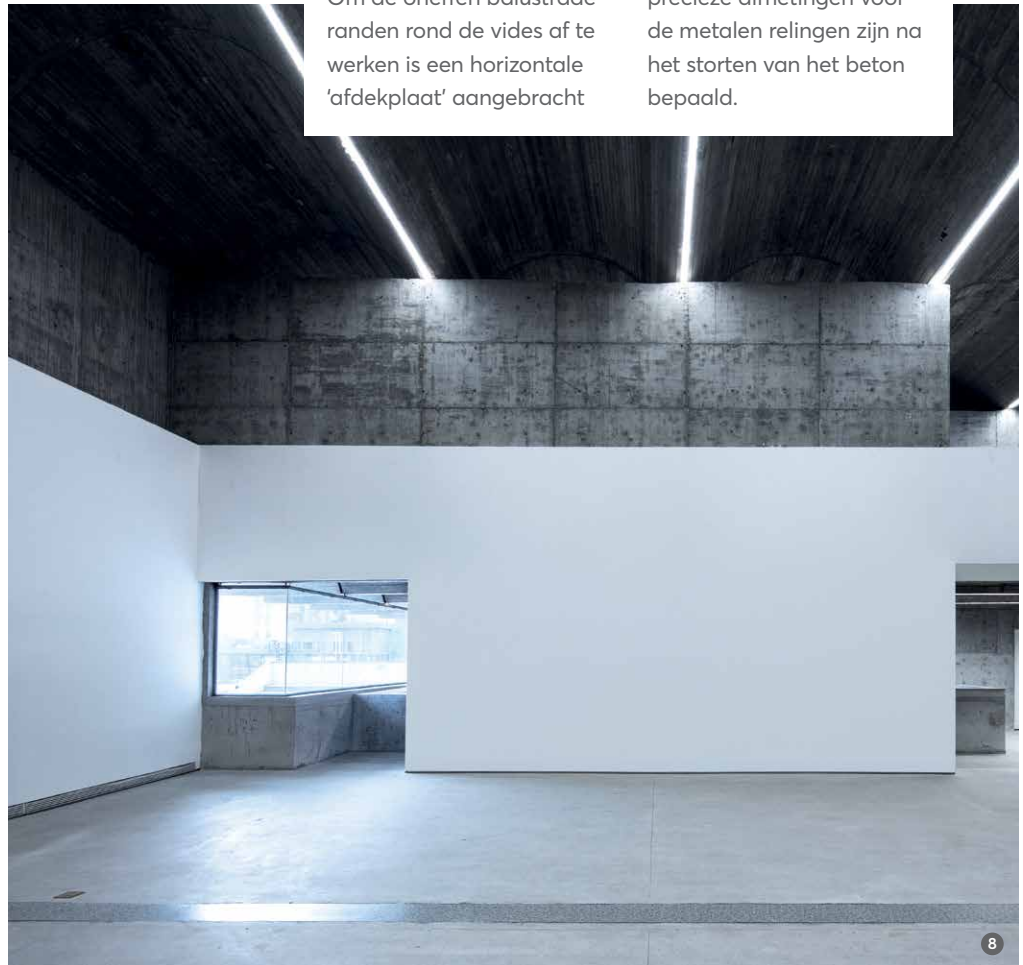
AANPASSEN

Door de vele oneffenheden moesten de aansluitingen van het beton met de ramen, deuren en trapleuningen na de bouwfase worden aangepast. De architecten hebben de betreffende gebouwoonderdelen ingemeten en de details in overleg met de producenten aangepast; in plaats van met prefab producten, zijn de kozijnen op locatie gemaakt.

(fig. 7). Op deze manier is de wand waterpas gemaakt, en kon de reling netjes worden bevestigd, terwijl het ruwe totaalbeeld van het beton overeind bleef. Voor de bevestiging van de trapleuningen is een vergelijkbare oplossing met een metalen plaat bedacht, waarmee oneffenheden in het beton rond de bevestigingspunten zijn opgevangen. Een aantal ankers voor de leuningen is in het werk meegestort. De precieze afmetingen voor de metalen relingen zijn na het storten van het beton bepaald.

CONTRAST

Binnen de kathedrale betonstructuur, met zeven meter hoge verdiepingen, zijn 4 m hoge witte wanden geplaatst om de schilderijen aan op te hangen (foto 8). Stucwerk bleek een specialiteit van de lokale aannemer; de wanden zijn zeer precies afgewerkt, wat een fraai contrast geeft met het ruwe beton. Oog voor detail spreekt ook uit de manier waarop de kunstverlichting naadloos in de boogstructuur is geïntegreerd. De uitsparingen voor de armaturen zijn voor het storten van het beton bepaald, waarna de TL-achtige LED-lampen erin zijn geplaatst.



7 Detail balustraderand met afdekplaat, bron: Atelier Deshaus

8 De 4 m hoge wit gestuukte wanden geven een fraai contrast met het ruwe beton, foto: Tian Fangfang

“Stiekem hebben constructeurs een grote impact op het dagelijks leven van veel mensen”

Interview met Constructeur en Talent van het Jaar

Arjan Habraken mag zich een jaar lang Constructeur van het Jaar noemen en Marijn Bruurs het Talent van het Jaar. Dit werd bekendgemaakt door VNconstructeurs tijdens Building Holland Digital eind oktober. Hoe denken de twee constructeurs over het vak, welke thema's vinden zij belangrijk en hoe willen ze invulling geven aan hun rol dit jaar? Cement ging met ze in gesprek.



“Stiekem hebben we een hele grote impact op het dagelijks leven van heel veel mensen”, vertelt Talent van het Jaar Marijn Bruurs.

“Op vakantie gaan mensen op de foto met een brug of reizen soms zelfs naar een plek om een gebouw te bewonderen, dat is prachtig.” Bruurs werkt bij Witteveen+Bos en heeft zich gespecialiseerd in 3D-betonprinten en de digitalisatie van het vak. De jury over Bruurs: “Je bent pas vier jaar aan het werk, maar in korte tijd een van de gezichten van het 3D-printen van betonnen constructies geworden.”

Arjan Habraken, Constructeur van het Jaar, verraste de jury met zijn alternatieve constructies, voorliefde voor architectuur en lichte draagconstructies. Habraken is oprichter van constructief ontwerp bureau SIDstudio, maar hij is ook assistent professor aan de TU Eindhoven.

Daar levert hij een zeer actieve bijdrage aan de ontwikkeling van het vak, zowel qua onderwijs als onderzoek. Dit alles waardeert de jury, aldus het juryrapport. Habraken: “Het vak gaat veranderen en de komende generatie constructeurs dient innoverend te zijn, want de CO₂-uitstoot en het gebruik van fossiele grondstoffen moeten omlaag. Je hebt veel mogelijkheden om iets wezenlijks te veranderen in de wereld. Ik denk dat dat het mooie is van het vak van nu. Ik wil aan mijn kleinkinderen later iets expressiefs kunnen laten zien. Zo ben ik eens gevraagd mee te denken over een herdenkingsmonument. Het is mooi dat je als constructeur iets kunt ontwerpen waar mensen naartoe gaan en erdoor ontroerd raken.”

ACHTERGROND

De constructeur is een onmisbare, maar vaak ook onzichtbare schakel in de bouw. De verkiezing Constructeur van het Jaar is bedoeld om de zichtbaarheid van zijn of haar bijdrage te vergroten. Daarbij gaat het om meer dan de constructieve veiligheid, de constructeur draagt ook bij aan het realiseren van architectonische waarde en kan door slim om te gaan met materiaalkeuze en -gebruik invulling geven aan duurzaamheidsambities. De titel Constructeur van het Jaar wordt jaarlijks toegekend aan iemand die gedurende langere tijd heeft bewezen op een hoog niveau te opereren, en als zodanig ook wordt erkend door vakgenoten en anderen. Daarnaast wordt ieder jaar een Talent van het Jaar benoemd; een jonge constructeur (tot 35 jaar), die ondanks zijn of haar leeftijd de potentie toont om in de toekomst een positieve, belangrijke, bijdrage te leveren aan het constructeursvak.



Zichtbaarheid constructeur

De constructeur is volgens Habraken vaak een beetje terughoudend, terwijl hij een veel centralere rol verdient binnen het bouwproces. Daar sluit Bruurs zich bij aan. “Het is belangrijk buiten de beroepsgroep duidelijk te maken wat we nu precies doen en waar we in de toekomst naartoe willen. Het vak zal de komende jaren veel veranderen en daarmee ook onze rol in het bouwproces”. Habraken: “Wat je vaak ziet is dat de constructeur te laat en te kort betrokken wordt bij een project, terwijl hij in het bouwproces de spin in het web is. Hij heeft een aanzienlijke impact op alle fases; van ontwerp, bouw en demontage tot hergebruik. Dat je checkt of een constructie voldoet, is evident voor de veiligheid, maar alles moet kloppen, ook functionaliteit, maakbaarheid, transport, bouwmethodiek, milieu-impact en aanpasbaarheid. Ik zie de rol van de constructeur als een cirkel van verschillende disciplines en fases die continu rond blijft draaien. Hij is niet meer een schim in het bouwproces die af en toe vanaf de zijkant wat toevoegt. Zo werkt het niet.”

Geen lineair proces

Habraken: “De bouw is nu vaak nog een te lineair proces. Het kan niet zo zijn dat een architect en constructeur het ontwerp maken en het vervolgens naar de aannemer sturen. Voor een goed ontwerp moeten we weten hoe het geproduceerd en gebouwd wordt. De constructeur dient kennis te hebben van de uitvoering en in een ideale situatie geven de partijen die aan het bouwen gaan al in de ontwerpfase hun input. Een iteratief proces dat het ontwerp naar een hoger niveau tilt en risico's tijdens de uitvoering beperkt.”

Hergebruik

Waar het werk van een constructeur voorheen op een bepaald moment zou stoppen, gaat dat nu dus verder. Verder dan de bouw als het aan Habraken ligt. Hij vraagt zich af: “Wat gebeurt er met het gebouw tijdens het gebruik en daarna? Oude bouwwerken worden nu nog vaak gesloopt, omdat ze niet langer voldoen en daar ontstaat een enorme berg puin uit. Ik maak daar foto's van en laat aan mijn studenten zien dat dit is wat we niet willen. Gelukkig wordt heel veel

ORGANISATIE

De bekendmaking van de Constructeur van het Jaar en het Talent van het Jaar 2020 vond plaats op 29 oktober, tijdens Building Holland Digital. De organisatie was dit jaar in handen van VNconstructeurs in samenwerking met Building Holland, KPE Groep en het Hoger Technisch Instituut (HTI). KPE Groep stelde voor de winnaars twee opleidingsvouchers van € 1500 ter beschikking.

JURY

In de jury hadden dit jaar zitting: Noortje de Geus - Ingenieursbureau Gemeente Den Haag (voorzitter)
Willem van Dijk - Heijmans
Roy Crielaard - Heijmans (Talent van het Jaar 2018)
Patrick van Dodewaard - IMD (Talent van het Jaar 2019)
Koen van Doremaele - BAM Infraconsult (Talent van het Jaar 2019)
Joost Vos - Benthem Crouwel Architects
Pim Peters - IMD

“De komende generatie constructeurs moet innoverend zijn, want de CO₂-uitstoot moet omlaag”

“Het zou goed zijn als er in de opleiding bouwkunde meer aandacht zou zijn voor de ontwikkeling van soft skills”

EERDERE WINNAARS

Constructeur van het Jaar

2019 n.v.t. (in dit jaar werden twee talenten gekozen)

2018 Hubert Kuijpers (Pieters Bouwtechniek)

2017 Pim Peters (IMd)

2016 Jan Peeters (Fibercore)

2015 Maurice Hermens (RHDHV), Frank Kaalberg (Witteveen en Bos)

2014 Johan Galjaard (ABT)

2013 John Kraus (Royal HaskoningDHV)

2012 Lázló Vákár (Movares)

Talent van het Jaar

2019 Patrick van Dodewaard (IMd) en Koen van Doremaele (BAM Infraconsult)

2018 Roy Crielaard (Heijmans)

2017 Steven Schoenmakers (Van Rossum)

2016 Marloes van Loenhout (VolkerInfra)

2015 Frank Huijben (ABT / Hogeschool Rotterdam)

materiaal tegenwoordig gerecycled en kunnen we ontwerpen maken waar we hele elementen van hergebruiken. Dat is een flinke stap richting circulair bouwen, een interessante en noodzakelijke ontwikkeling.”

Soft skills

Naast bouwkunde, studeerde Bruurs ook bedrijfskunde. Driekwart van die studie richt zich op de ontwikkeling van soft skills en het overige deel richt zich volgens Bruurs op het leren toepassen van bedrijfskundige modellen. Het grote verschil dat hem opviel op de opleiding bouwkunde is dat negentig procent van de studie gaat over technische aspecten en een klein deel over samenwerken. “Ik denk dat het goed zou zijn als er in de opleiding bouwkunde meer aandacht zou zijn voor de ontwikkeling van soft skills. Het is een illusie om te denken dat iedere constructeur nog een cursus gaat doen om zich bij te scholen. Door het in de opleiding bouwkunde al mee te nemen, zouden constructeurs wat minder worden en dat komt het gehele proces ten goede denk ik.” Habraken sluit zich hierbij aan. Hij ziet op de TU vaak dat hij de studenten nog veel kan leren over de praktijk. “Soms speel ik de

opdrachtgever en laat ik studenten mij overtuigen waarom ik hun ontwerp zou moeten kiezen. Hoe ga jij je ontwerp nu aanprijzen? Je ziet dat het de ene student goed afgaat, maar heel veel studenten hebben daar ook moeite mee. Ze worden er zenuwachtig van.”

Impact als constructeur

Bruurs: “Hoewel we onszelf een heel bescheiden rol toedichten, hebben we een heel grote impact op de wereld. Alles wat er gebouwd wordt, daar zijn wij verantwoordelijk voor. De vakantiefoto's die erbij gemaakt worden, maar ook de CO₂-uitstoot die die bouw van dat gebouw veroorzaakte. Ik hoop dat wij met onze rol als Talent en Constructeur van het Jaar kunnen laten zien dat het interessant is om constructeur te zijn”. ●

ARTIKELENSERIE

In 2021 volgt een serie artikelen in *Cement* waarin we nader kennismaken met de Constructeur en het Talent van het Jaar, hun werk en visie op het constructeursvak.



DUURZAAMHEID: DE CONSTRUCTEUR HEEFT INVLOED!

Samen bouwen aan duurzame constructies, maar hoe dan?

De transitie naar duurzaam materiaalgebruik brengt het vak van de constructeur in beweging. Steeds vaker onderbouwen we de impact van onze ontwerpen op duurzaamheid. Steeds vaker voor de klant, die een duurzaam en herbruikbaar bouwwerk wil. Maar ook steeds vaker als gevolg van veranderende regelgeving.

Duurzaamheid wordt door velen nog beleefd als een containerbegrip. Het verschil tussen durability en sustainability is helder; we praten nu over milieu-impact, CO₂-reductie en circulariteit. Door verschillende terminologie of belangen kan duurzaam ontwerpen ontaarden in 'window dressing'. Als constructeurs en ontwerpers willen we de kwaliteit van onze ontwerpen onderbouwen met getallen, op basis van meetbare criteria. Deze criteria zijn enorm afhankelijk van hoe duurzaamheid wordt bekeken en beoordeeld.

Invloed constructeur

De constructeur is mede verantwoordelijk voor een groot deel van de milieu-impact van het bouw materiaal dat wordt toegepast. Ongeveer de helft van het materiaal in een gebouw bestaat uit de constructie. De gemiddelde constructeur is daardoor jaarlijks verantwoordelijk voor

1.000.000 kg CO₂-uitstoot. En dat is veel! Om dit in perspectief te zetten: het komt overeen met meer dan 200 rondjes om de aarde met de gemiddelde hedendaagse auto (fig. 2).

De gemiddelde constructeur is jaarlijks verantwoordelijk voor 1.000.000 kg CO₂-uitstoot

Deze impact betekent ook invloed. Wij zitten aan de knoppen om deze uitstoot naar beneden te brengen. In de huidige praktijk zien we echter dat de ervaring van de constructeur beperkt is op het gebied van duurzaam construeren. Enkele bureaus lopen hierin voorop. Door de milieu-impact van de constructie standaard in het ontwerp mee te nemen kunnen we onderbouwd het

auteurs



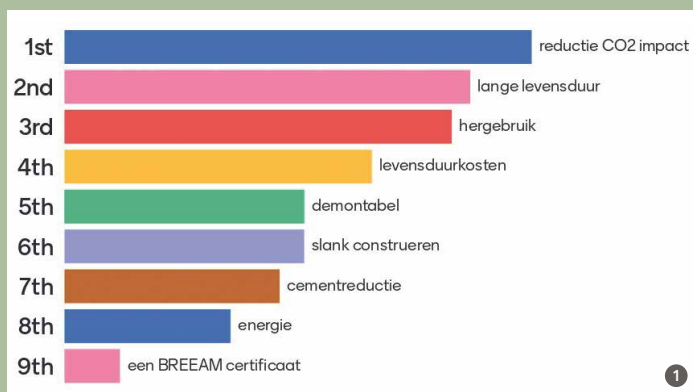
**IR. LONNEKE
VAN HAALEN**

constructeur
ABT



**ING. THEO VAN
WOLFSWINKEL**

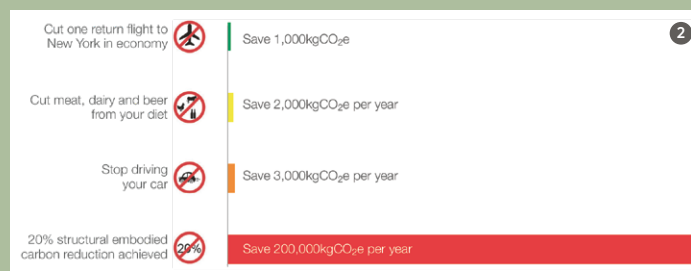
adviseur
ABT



KENNISTAFEL DUURZAAM CONSTRUIEREN

Afgelopen zomer (2020) is in samenwerking met ABT de eerste kennistafel van *Cement* georganiseerd, met als thema duurzaam construeren. Met een kleine groep deskundigen van verschillende ingenieursbureaus (utiliteitsbouw en infra) is er gesproken over het thema en hebben we met elkaar ervaringen uitgewisseld (fig. 1).

Hoewel de manier van benaderen voor gebouwen en infraprojecten iets verschilt, zijn we het met elkaar eens dat het belangrijk is om kennis te ontwikkelen en de verschillen in milieu-impact objectief inzichtelijk te maken. Er heerst het gevoel dat er nog weinig eenduidigheid is, waardoor het sturen op duurzaamheid voor velen lastig is. Een duidelijke doelstelling kiezen om de resultaten in een project zo concreet mogelijk te maken, is daarbij essentieel. Sturen op CO₂-impact, MPG en MKI vinden we het meest zuiver. Door daar de verwachte levensduur aan te koppelen, en daar in het ontwerp ook op te sturen, kunnen we per project de milieu-impact inzichtelijk maken. Sturen op cementreductie is een thema dat we bij de huidige MPG, met de bijbehorende Nationale Milieudatabase, nog weinig zien terugkomen. Het is belangrijk dat dit beter inzichtelijk wordt gemaakt omdat ook hier bij beton grote winsten te behalen zijn.



verschil maken. Door continu te innoveren streven we als beroepsgroep naar bouwen met 'zero impact', dus zonder negatieve effecten voor het milieu.

Duurzame brillen

Voor een duurzaam ontwerp kunnen we door verschillende duurzaamheidsbrillen kijken. De verschillende brillen leveren verschillende resultaten op. Door integraal naar deze verschillende thema's te kijken kunnen we de totale milieu-impact van constructies verlagen.

Reduceren milieu-impact materialen

De milieu-impact van materialen kan worden gereduceerd door efficiënter te ontwerpen, materiaal te besparen en variantenstudies te doen in de ontwerpfase. Vooral een variantenstudie naar de milieu-impact van de vloeren is erg waardevol. Zeker de helft van al het materiaal in een gebouw bestaat uit de gebouwconstructie, daarvan bestaat zeker 55% uit vloeren. Een →

1 Reacties op de vraag tijdens de kennistafel over het belang van verschillende duurzaamheidsthema's

2 Diagram potentiële impact van de constructeur, bron: How to calculate embodied carbon, The Institution of Structural Engineers, augustus 2020 3 WRZV-sportthal in Zwolle, bron: AGS Architects 4 Variantenstudie voor de sportthal



Een flexibel ontwerp levert niet per definitie een lagere milieu-impact op

efficiënt vloerontwerp kan je dus een grote besparing opleveren.

Een voorbeeld van een variantenstudie is de WRZV-spoththal in Zwolle (fig. 3 en 4). Voor de dakconstructie is een variantenstudie gedaan, waaruit volgt dat door de toepassing van houten vakwerken ten opzichte van stalen vakwerken 40.000 kg CO₂ is bespaard, zo'n acht rondjes rond de aarde met een auto. Daarnaast is de afwerkvloer (zandcement) in de spoththal weggelaten, en zijn installaties en voorzieningen in de constructieve vloer opgenomen, wat nog eens een besparing van 73.000 kg CO₂ oplevert en is er voor de begane grondvloer actief gestuurd op een betonmengsel met een lagere milieu-impact.

Behalve in het ontwerp is er bij beton een grote milieuwinst op materiaalniveau te halen. Hoewel elk blok beton grijs is, kan de milieu-impact erg verschillen. Cement heeft daarin het grootste aandeel. Dus door te kiezen voor meer milieuvriendelijke bindmiddelen zijn grote winsten haalbaar. Het toepassen van hoogoven-cement ten opzichte van portlandcement scheelt al zeker de helft van de CO₂-voetafdruk.

Flexibel ontwerp en levensduur verlengen

Door een flexibel ontwerp te maken kan de levensduur van een gebouw worden verlengd. Hierbij kun je denken aan indelingsflexibiliteit door kolomvrije ruimtes en verplaatsbare scheidingswanden, functieflexibiliteit door het rekenen van verhoogde vloerbelastingen, leidingflexibiliteit door de constructie en installatie niet

te integreren of uitbreidingsflexibiliteit door het gebouw voor te bereiden op extra bouwlagen.

Voor bijvoorbeeld het project Saxion Apeldoorn was flexibiliteit een belangrijk aandachtspunt gezien de veranderlijke onderwijsconcepten. Hier is gestuurd op indelingsflexibiliteit, leidingflexibiliteit en functieflexibiliteit (foto 5).

Een flexibel ontwerp levert echter niet per definitie een lagere milieu-impact op. Grotere overspanningen en zwaardere belastingen betekenen meer materiaal. Bij een tijdelijk gebouw of paviljoen is dit dus geen duurzame oplossing. Maar bij een gebouw waarbij de levensduur kan worden verlengd, kan dit per levensduurjaar uiteindelijk wel een milieuwinst opleveren. Het is de voorinvestering dan waard. Het is belangrijk om in dat geval de realistische toekomstsituaties inzichtelijk te maken.

Circulair materiaalgebruik

Remontabel bouwen, hergebruik van onderdelen en recyclen van grondstoffen dragen bij aan circulair materiaalgebruik. Het ABT-kantoorgebouw in Delft is met deze gedachte ontworpen. Het is volledig remontabel en zou kunnen worden geremonteerd op een andere locatie (foto 6).

Beton is een geschikt materiaal om te recyclen en daarmee nieuwe grondstoffen te vervangen. Dat maakt het afvalscenario van beton gunstig. Het toepassen van deze gerecyclede granulaten leidt echter niet altijd tot een lagere milieu-impact. Betongranulaat vervangt zand en grind, terwijl cement voor de grootste impact zorgt in een betonmengsel.

Omdat beton vrijwel altijd als maatwerk wordt toegepast ligt legalisering minder voor de hand. Hergebruik van beton op casco- of materiaalniveau is momenteel

eenvoudiger dan op elementniveau. Circulariteit van elementen toepassen vraagt om meer standaardisering. Zoals IFD-bouwen nooit echt is doorgebroken, is de vraag of dit ooit echt toekomst heeft.

Energie

Lange tijd heeft de focus voor een duurzaam ontwerp op energie gelegen. De betonsector is verantwoordelijk voor 1,5% van het totale energiegebruik in Nederland. Het energiegebruik tijdens de gebruiksfase van een gebouw is vele malen groter. De thermische massa van beton kan een goede bijdrage leveren aan energieneutrale gebouwen. Bijvoorbeeld door de toepassing van betonkernactivering, waardoor beton een positieve bijdrage levert aan het energetisch concept van een gebouw.

Wanneer we echter kijken door de bril van circulariteit, lijkt dit een minder voor de hand liggende keuze. De hoofddragconstructie en de installatie verschillen namelijk erg van levensduur. De installatie heeft een levensduur van 25 jaar terwijl de constructie een levensduur van zeker 50-100 jaar heeft. Veel installaties instorten in beton is daarom geen passende en circulaire oplossing voor gebouwen met een lange levensduur, vooral als je bedenkt dat de installatie gemiddeld na 25 jaar alweer zal worden vervangen (fig. 7).

Certificering

Certificering lijkt soms een doel op zich en associëren we vaak met papieren tijgers. Er komt veel administratie bij kijken. Het voordeel van deze meetmethodieken is echter dat duurzaamheid integraal vanuit verschillende brillen wordt bekeken. Zo wordt voor duurzaam materiaalgebruik aandacht besteed aan het percentage gerecycled materiaal, het aantonen van een lagere milieu-impact en betere gebouwflexibiliteit, maar wordt ook breder gekeken naar bijvoorbeeld energie, uitvoering en locatie.

Rekenen aan duurzaamheid

Om voor de constructie te kunnen sturen op een lagere milieu-impact is het van belang dat varianten inzichtelijk worden gemaakt. We kunnen op verschillende manieren rekenen aan duurzaamheid.

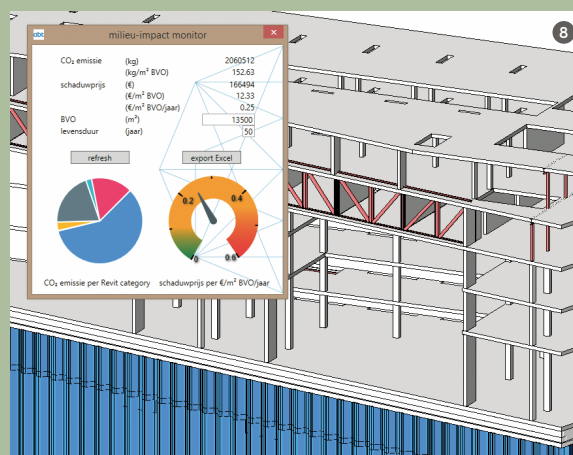
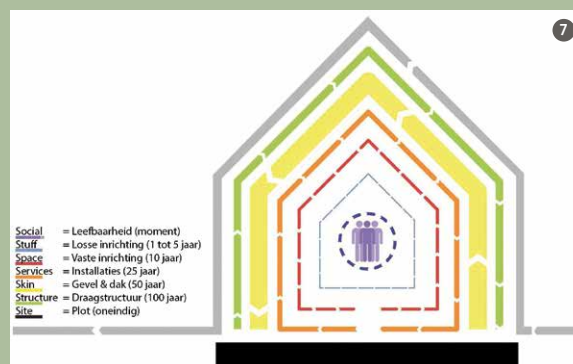
Tools

De gegevens over de milieu-impact van materialen zijn beschikbaar in de Nationale Milieudatabase. Er zijn verschillende tools beschikbaar die op basis van deze gegevens en specifieke meetmethodieken de impact kunnen kwantificeren.

DuboCalc is een door Rijkswaterstaat ontwikkelde rekentool, die leidt tot een MKI, een schaduwprijs op milieu-impact. Deze tool wordt vooral gebruikt in aanbestedingstrajecten voor infraprojecten. Dit type projecten heeft vaak een groot aandeel beton, waardoor vooral slank ontwerpen en mengseloptimalisatie impact hebben.

Voor gebouwen kunnen we *MPG Calc* gebruiken om de schaduwprijs te bepalen. Dit is een tool waarin veel materialen en gebouwcomponenten zijn opgenomen. De keuze voor betononderdelen en -mengsels is echter beperkt. De hoeveelheid cement, het type cement en hoeveelheid wapening is slecht inzichtelijk, maar wel erg bepalend voor de werkelijke milieu-impact. Op dit moment wordt dit vaak niet door de constructeur ingevuld, waardoor er geen bewustzijn ontstaat om hierop te sturen.

De *Ontwerptool Groen beton* van Betonhuis biedt de mogelijkheid dieper in te zoomen op de beton- →



Zoals IFD-bouwen nooit echt is doorgebroken, is de vraag of meer standaardisering ooit echt toekomst heeft

CASE BETONKOLOM

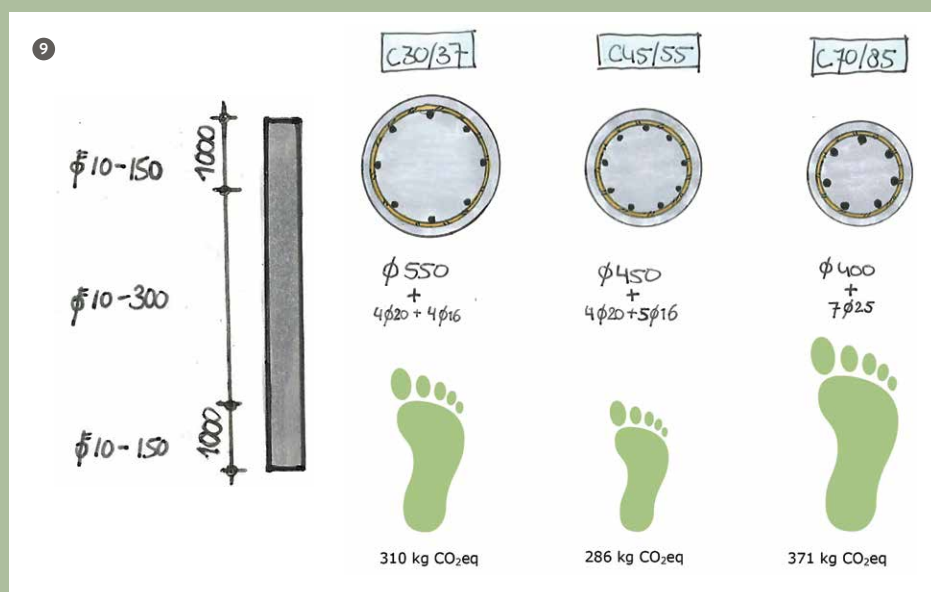
Een voorbeeld van een methode waarmee je kan sturen op de milieu-impact van betonconstructies is terug te vinden in *Cement* 2020/4. In de rubriek Rekenen in de Praktijk is de milieubelasting van verschillende betonkolommen inzichtelijk gemaakt. In dit artikel is voor een specifieke case onderzocht wat de invloed van slank construeren is.

Door slank te construeren kan materiaal worden bespaard. Maar dit is niet altijd duurzamer. Slank construeren betekent een hogere sterkte beton en dat bevat meer cement en heeft daardoor een hogere milieu-impact. Bovendien is er door slank ontwerpen ook meer wapening nodig.

In het rekenvoorbeeld is het verschil in de milieu-impact van een specifieke situatie inzichtelijk gemaakt. Hieruit volgt dat slank construeren een gunstig effect kan hebben op de milieu-impact. Voor erg slanke kolommen zijn echter hoge wapeningspercentages noodzakelijk, waardoor de milieu-impact weer toeneemt. Door deze vergelijkende berekeningen te maken kan concreet worden onderbouwd welke ontwerpkeuze voor een betonnen onderdeel de minste milieu-impact met zich meebrengt (fig. 9).

THEMANUMMER DUURZAAMHEID

Volgend voorjaar komt *Cement* met een themanummer over duurzaamheid. Daarin gaan we in op de vraag welke concrete invloed de constructeur heeft op duurzaamheid en hoe het thema het verschil kan maken binnen een project.



onderdelen. Hierin kan een mengsel worden berekend met verschillende soorten cement en wapening. Het is een meer nauwkeurige rekenmethode voor beton en beter passend voor de vergelijking van betonnen onderdelen.

In deze tools kun je handmatig je materiaalhoeveelheden invoeren en de milieu-impact berekenen. Om deze impact snel en real-time in BIM te kunnen berekenen hebben we de ABT MIM-tool ontwikkeld, de Milieu-Impact Monitor (fig. 8). Dit is een in-house ontwikkelde Revit plug-in om de carbon footprint en schaduwprijs van de gemodelleerde draagconstructie real-time te monitoren en continu te sturen op een lagere impact.

Slotwoord

Het benaderen van de duurzaamheidsopgave vanuit verschillende perspectieven geeft inzicht in de werkelijke duurzaamheid van beton, maar laat ook zien waar deze kunnen conflicteren. De constructeur heeft een grote rol in het beperken van de milieu-impact en kan door de brillenbenadering de opdrachtgever in een vroeg stadium meenemen in het maken van duurzame keuzes.

De verwachting is dat de aanscherping van de MPG komende jaren bepalend zal worden in materiaalkeuzes en -ontwikkeling. Wie doet mee met het verder verduurzamen van beton? Wie helpt om te komen tot het eenduidig kwantificeren van de milieu-impact van constructies? ●



Ben jij op zoek naar je droombaan in de constructeursbranche?

Kijk in onze vacaturebank op
cementonline.nl/vacatures



Beton verduurzamen, hoe doe je dat?

Beton wordt duurzamer door meer samen te werken in de keten zonder concessies te doen aan kwaliteit, veiligheid en levensduur van beton. Opdrachtgevers, constructeurs en ingenieurs kunnen bij Betonhuis aangesloten bedrijven om advies vragen.

Veel informatie is te vinden op
betonhuis.nl/beton-verduurzamen