

CEMENT



TEKTONIEK



hoe maak ik de beste architectuur in beton?



Kennis zit in mensen. Binnen het Tektoniek-netwerk beschikken we over de kennis voor de beste architectuur in beton. Daarbij gaat het altijd om de relatie tussen vormgeving, constructie en maakbaarheid. Met expertise op het gebied van schoonbeton, constructieve optimalisaties, productontwikkelingen en materiaalontwikkelingen.

Op de netwerkpagina van www.tektoniek.nl zijn de juiste mensen te vinden. Misschien hoort u er ook bij? Dat kan, het kennisnetwerk is groeiende.

TEKTONIEK.NL

Cement wordt mede mogelijk gemaakt door onze partners

Cement is een platform van én voor constructeurs. Het platform legt kennis vast over construeren met beton, en verspreidt deze onder vakgenoten. Om het belang hiervan te onderstrepen kan een bedrijf partner worden.

Een partner geniet een aantal voordelen, zoals een flinke korting op het lidmaatschap, gratis vacatures plaatsen en meepraten over de inhoud van het platform. Heb je ook interesse om partner te worden, neem dan contact op met Jacques Linssen, j.linssen@aeneas.nl.



**Alferink
van Schieveen**
INGENIEURSBUREAU

AMP
INGENIEURS

ARCADIS | Bridge & Consultancy
For national and
global assets

ARUP

bam

BEKAERT
better together

Betonhuis
Cement



BuildSoft
structurally loved by engineers

Centraal overleg Bouwconstructies

concrefy
Fresh thinking for construction

CONSTRUSOFT

**CUR
CROW**

Dijkhuis

geelhoed
engineering b.v.

goudstikker | de vries

**Adviesbureau
ir. J.G. Hageman B.V.**

50 Jaar
Hakron
Trendsetter sinds 1968

IMd
Raadgevende
Ingenieurs

KREKON
RAADGEVENDE INGENIEURS

LIEVENSE
adviseurs ingenieurs

MATRIX
Software

Pieters
BOUWTECHNIEK

**VAN
ROSSUM**
RAADGEVENDE
INGENIEURS

**Royal
HaskoningDHV**
Enhancing Society Together

SCIA
A NEDERLANDSE K-CONTRACT

CONSOLIS
SPANBETON

Stufib

Verhoeven en Leenders
ingenieurs in bouwconstructies

VeriCon
ingenieurs voor de bouw

VolkerInfra

VNconstructeurs

YouCon



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



4 – 27

Stationsgebied Driebergen-Zeist

In een vierluik over de vernieuwing van Stationsgebied Driebergen-Zeist wordt de nieuwe onderdoorgang, de onderwaterbetonvloer, het inschuiven van de dekken en de TIS-controle besproken.



28 – 36

Vernieuwend met een vleugje sentiment

In hartje Utrecht wordt al jaren gewerkt aan een vernieuwing van het stationsgebied. Belangrijk onderdeel is het winkelcentrum Hoog Catharijne. Een kijkje achter de constructieve schermen.



66 – 69

Beton en tongewelf

Het Mexicaanse Acolhuas House verrast. Het is niet de eerste villa samengesteld uit wit betonnen rechthoeken, maar de combinatie met tongewelven van metselwerk is bijzonder.

14 Innovatief bouwen tussen archeologie

Het Bastion is gebouwd op, over en in een middeleeuwse verdedigingstoren. Tijdens de bouw zijn archeologische vondsten aangetroffen die op fraaie wijze in het plan zijn opgenomen.

46 Joggersbelasting in norm reëel?

Een onderzoek naar de versnellingen van een betonnen voetgangersbrug met korte overspanning als gevolg van joggers.

52 Tweede draagweg volgens de norm

In een afstudeerstudie is de nationale en internationale regelgeving m.b.t. het rekenen met een tweede draagweg geanalyseerd en zijn enkele voorstellen gedaan voor wijzigingen in de regelgeving.

58 Wat gaat er veranderen aan de Eurocodes?

De Eurocodes gaan flink op de schop. Tijdens een symposium van VNconstructeurs en NEN op 21 november werd veel duidelijk over de stand van zaken en de te verwachten wijzigingen.

62 Stuur constructeur software of acteert deze zelf?

Tijdens de eerste editie van de Cement-Software-dag 31 oktober, kregen constructeurs een update van de laatste ontwikkelingen op softwaregebied. Een terugblik op het succesvolle evenement.

70 70 jaar Cement

In een serie artikelen blikken we terug op zeven decennia Cement. In deze aflevering is het de beurt aan Johan Galjaard en Dik-Gert Mans, die de periode 1981 – 1998 onder de loep nemen.

- 1 partners
- 75 column
- 80 service/online
- 80 Colofon

Redactioneel



Partner Het is begin december als ik dit schrijf en de term 'partner' komt in me op als verbindend woord voor deze hoofd-redactioneel. Nee, niet omdat in 'Boer zoekt vrouw' afgelopen zondag bleek dat weer diverse boeren een partner hebben gevonden. Heel mooi natuurlijk. En realiserend dat het helaas niet iedereen is gegeven, bedenk ik me hoe mooi het is een fijne partner te hebben. In de privésfeer, op het werk of waar dan ook. Ik had overigens ook kunnen kiezen voor het woord 'samen', want met een partner doe je dingen samen. En december is natuurlijk een feestmaand waarin, hopelijk velen, mooie momenten samen worden beleefd.

Kijkend vanuit het perspectief van partner of samen, zie ik ook in deze wederom prachtige editie van *Cement* aanknopingspunten. Zo komen in het artikel over De Bastei oud en nieuw heel mooi samen, hebben de twee dames uit de redactie samen een stuk geschreven over de succesvolle *Cement*-Softwaredag en komen in de diverse constructies vele uitdagingen samen. Daarnaast vormen de vier artikelen over stationsgebied Driebergen-Zeist samen een mooi geheel. Maar bovenal zullen we er samen aan moeten werken om de constructieve veiligheid te verbeteren en instortingen te voorkomen.

Hoewel het voorgaande zeer gemeend is, moet ik toch bekennen dat ik het woord 'partner' vooral ook heb gekozen vanwege de zeer geslaagde *Cement*-partnerdag, die op maandag 26 november jl. in de prachtige Bastei is gehouden. U weet niet wat dat is, partner van *Cement*? Nou, kijk dan eens voorin deze *Cement*, waar u kunt zien dat vele bedrijven inmiddels partner zijn. Met de partners samen onderstrepen we het belang van *Cement* voor de constructeurspraktijk!

Ik wens u allen een prachtig 2019, waarin u hopelijk vele mooie dingen samen met anderen mag beleven!

Dick Hordijk

Voor reacties: d.hordijk@cementonline.nl

76 Belasting ten gevolge van vandalisme

Comfort is een belangrijk ontwerpcriterium van voetgangersbruggen. Daarnaast moet ook de sterkte getoetst worden onder een dynamische belasting, bijvoorbeeld door vandalisme. Hoe bereken je dit?

78 De jonge constructeur

Jeroen Evers, constructief ontwerper bij BREED Integrated Design BV, vertelt over de uitdagingen in zijn werk en zijn rol als constructeur en tekenaar voor het ontwerp van het Bahrein Paviljoen.

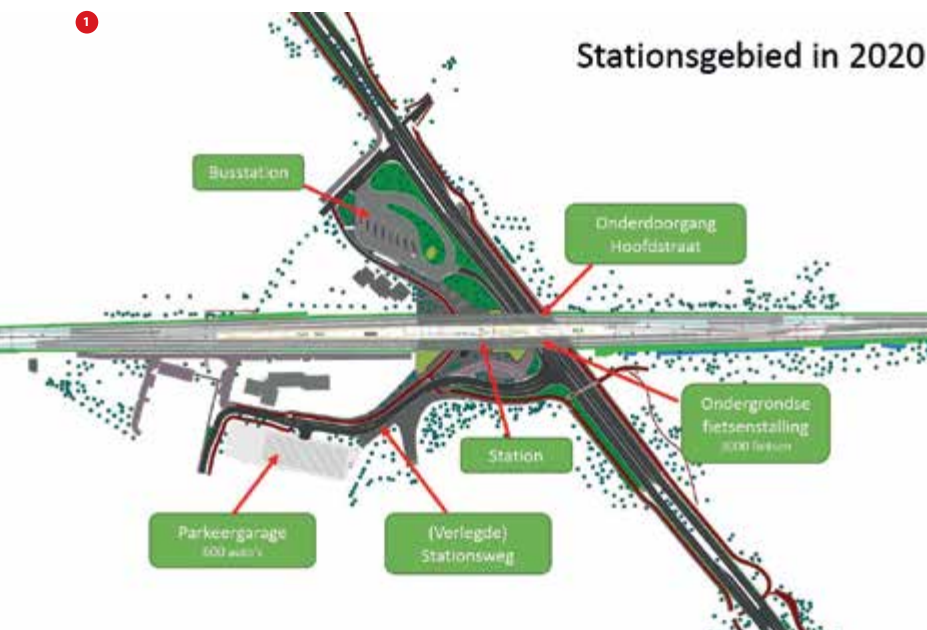
Stationsgebied Driebergen-Zeist (1): Inleiding en onderdoorgang

Grote uitdagingen bij **facelift** station Driebergen-Zeist

Vierluik Driebergen-Zeist

Dit artikel is het eerste deel in een vierluik over het project Stationsgebied Driebergen-Zeist (fig. 1). Dit deel is een inleiding en beschrijft de onderdoorgang. Het tweede artikel gaat over de onderwaterbetonvloer, het derde over de inschoven dekken en het vierde over de onafhankelijke toets door een TIS-bureau.

De Hoofdstraat bij station Driebergen-Zeist is al decennialang een knelpunt. Daarom krijgt het stationsgebied een grondige facelift. Het project kent vele uitdagingen. Eruit springen onder meer de onderdoorgang, de onderwaterbetonvloer die al na 72 uur is belast en twee spoordekken die in langsrichting zijn ingeschoven.



Het stationsgebied Driebergen-Zeist is behoorlijk berucht: files bij de spoorwegovergang, overvolle fietsstallingen en een tekort aan parkeerplekken. Met de wens van de opdrachtgever het spoor uit te breiden van drie naar vier sporen was het niet meer mogelijk deze situatie in stand te houden.

Daarom is besloten het gebied flink aan te pakken. Het project bestaat uit verschillende onderdelen (fig. 2). Naast de uitbreiding van drie naar vier sporen wordt de Hoofdstraat tussen Driebergen en Zeist verbreed en loopt deze straks via een onderdoorgang voor het verkeer onder het spoor door. Er komt ook een nieuw station, met een nieuw busstation én een nieuwe parkeergarage met ongeveer 600 parkeerplaatsen. Voor de fietsen komt er een nieuwe stalling.

Dit artikel geeft een beknopte toelichting op de onderdoorgang.



2

Onderdoorgang

Het ongelijkvloers kruisen van het spoor is mogelijk gemaakt door het aanleggen van een betonnen U-bak, gerealiseerd in een bouwkuip met damwanden. In een ideale situatie zou deze weg gedurende de bouwwerkzaamheden worden afgesloten om ongestoord te kunnen bouwen. Dit was echter geen optie. Mede door ruimtegebrek was het noodzakelijk de onderdoorgang in twee bouwstappen te realiseren met een knip in lengterichting (fig. 3 en foto 4).

Bouwstappen

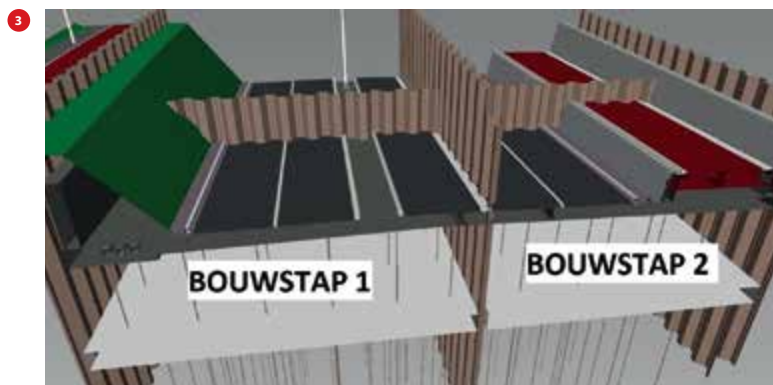
Bouwstap 1 bestond uit het maken van het westelijke gedeelte van de onderdoorgang naast de Hoofdstraat. Het verkeer kon tijdens deze fase gewoon doorgang vinden over de bestaande spoorwegovergang. Het verkeer afkomstig van de Stationsweg werd met een tijdelijke Janson Bridging over de bouwkuip geleid (foto 4).

Na het afronden van de schuifwerkzaamheden van het zuidelijke spoordek kon het verkeer gebruikmaken van de inmiddels afgeronde eerste helft van de onderdoorgang. Vervolgens kon de ruimte ten oosten van de middelste rij damwanden worden vrijgemaakt om de werkzaamheden voor bouwstap 2 mogelijk te maken en daarmee de onderdoorgang te voltooien. Daar was geen buitendienststelling voor nodig.

Moten

De constructie voor de onderdoorgang is onderverdeeld in negen losse moten. Tussen deze moten is een W9Ui-profiel aangebracht voor de waterdichtheid. Elke moot werkt constructief gezien los van de naastgelegen moten. De dikte van de vloer varieert van 600 tot 800 mm afhankelijk van de positie in de onderdoorgang. Vanwege de grote diameter van bepaalde leidingen in de vloer zijn er lokaal verdikkingen toegepast.

- 1 Situatieschets
- 2 Impressie nieuw stationsgebied Driebergen-Zeist
- 3 3D-weergave bouwfasering
- 4 Onderdoorgang in aanbouw tijdens bouwstap 1





5

Fundering

Alle bouwkuipen onder of direct aan het spoor zijn uitgevoerd met behulp van onderwaterbeton. De delen daarnaast zijn voorzien van waterglasinjectie. Daarbij worden vanaf maaiveld slangen op diepte ingebracht met een fijnmazig grid. Hierna wordt op diepte waterglas ingebracht zodat een waterdichte laag ontstaat tussen het bovenliggende grondpakket en de

5 Dwarsdoorsnede van de onderdoorgang

6 Bouwkuip (moot OD4) op 20 augustus 2018 (de rode punt is het referentiepunt tussen foto 6 en 7)

7 Moot 4 in aanbouw op 24 augustus (de rode punt is het referentiepunt tussen foto 6 en 7)

onderliggende waterdruk.

De meest hooggelegen moten zijn aangelegd met behulp van bemaling.

Nagenoeg de hele onderdoorgang is gefundeerd op Gewi-palen in een stramien van $3 \times 3 \text{ m}^2$, alleen de hogergelegen twee moten zijn op staal gefundeerd.

Wanden gekoeld

De grondkerende wanden worden tweezijdig gekist en hebben een dikte van 800 mm. Deze worden later gestort dan de vloer. Hierdoor ontstaan er tijdens het verharderen trekspanningen in de wand die door het jonge beton niet opgenomen zouden kunnen worden, met mogelijk (te) grote scheuren als gevolg. Om dit fenomeen te beperken, is er een combinatie gebruikt van extra langswapening in de wanden en koelen tijdens het verhardingsproces. Dit werd gedaan door het opnemen van buizen met koelwater in de bekisting, die vervolgens tijdelijk warmte afvoerden gedurende het verhardingsproces.



6

Spoordragende moot

Een van de grootste prestaties van de onderdoorgang was de zeer snelle realisatie van de spoordragende moot (OD4). Deze is namelijk binnen een TVP van 16 dagen gemaakt. Het onderwaterbeton met glasvezels dat voor deze kuip is gebruikt, moest zelfs binnen 72 uur op sterkte zijn om daarna de constructieve vloer te kunnen storten. Over dit deel is een apart artikel gepubliceerd ('Onderwaterbeton na 72 uur belast'). In foto 5 en 6 is te zien hoe een natte bouwkuip binnen vier dagen met behulp van deze techniek wordt omgetoverd tot een constructieve vloer.



7

Tot slot

Inmiddels wordt er gebruikgemaakt van de westelijke zijde van de onderdoorgang en zijn de voorbereidende werkzaamheden voor de oostelijke zijde volop aan de gang. Wachttijden voor het spoor behoren tot het verleden. Dit project laat zien dat dankzij de nodige durf en inventiviteit de grootste uitdagingen kunnen worden opgelost. Twee van deze oplossingen worden in afzonderlijke artikelen toegelicht: 'Onderwaterbeton na 72 uur belast' en 'Dekken in langsricting ingeschoven'. ☒

PROJECTGEGEVENS

Project Stationsgebied Driebergen-Zeist

Opdrachtgever ProRail

Architect Arcadis

Opdrachtnemer BAM Infra

Engineering BAM Infraconsult

TIS BouwQ

LIEVENSE

adviseurs ingenieurs

Vanaf 1 september 2018 heten wij niet meer LievenseCSO of Bartels. Voortaan zijn wij Lievense! Een multidisciplinair advies- en ingenieursbureau op gebied van bouw, infra, water en milieu.

LievenseCSO

BARTELS

Lievense Adriaens



Wij zijn Lievense!

lievense.com



AFZINKKELDERS
PREFAB KELDERBAKKEN
PREFAB KELDERWANDEN
GESTORTE KELDERS
TRILLINGVRIJ
GEEN BARRIÈREWERKING GRONDWATER
BOUWEN OP DE ERFGRENS
BESPARING BOUWTIJD EN RISICO DAMWAND (NIET NODIG)

MBS Kelderbouw

Energieweg 2
3762 ET Soest

035-588 1888

info@kelderbouw.nl

www.kelderbouw.nl

MBS Kelderbouw



Stationsgebied Driebergen-Zeist (2): Onderwaterbetonvloer

Onderwaterbeton na 72 uur belast

Een van de huzarenstukjes van het project Stationsgebied Driebergen-Zeist is de onderwaterbetonvloer voor de onderdoorgang. Om die onderdoorgang in de beschikbare buitendienststelling te kunnen realiseren, is voor een oplossing gekozen waarbij de onderwaterbetonvloer al na 72 uur kon worden belast. Dit was mede mogelijk door toepassing van microvezels.

Vierluik Driebergen-Zeist

Dit artikel is het tweede deel over het project Stationsgebied Driebergen-Zeist en gaat over de onderwaterbetonvloer. Het eerste artikel is een inleiding en beschrijft de onderdoorgang. Het derde deel gaat over de ingeschoven dekken en het vierde over de onafhankelijke toets door een TIS-bureau.

De belangrijkste fase in de realisatie van het project Stationsgebied Driebergen-Zeist was de treinvrije periode (TVP) van 16 dagen. In die periode is onder meer bouwkuip H gerealiseerd (fig. 2). Dit betrof de bouwkuip ten behoeve van fase 1 van de onderdoorgang ter plaatse van de oude spoorwegovergang (zie ook artikel 'Uitdagingen te over bij station Driebergen-Zeist'). Voor deze kuip zijn in een eerdere buitendienststelling de damwanden en de Gewi-ankers aangebracht. In de 16-daagse buitendienststelling is er ontgraven, is de onderwaterbetonvloer gestort en zijn vervolgens direct daarop de definitieve vloer en het asfalt aangebracht.

Onderwaterbetonvloer

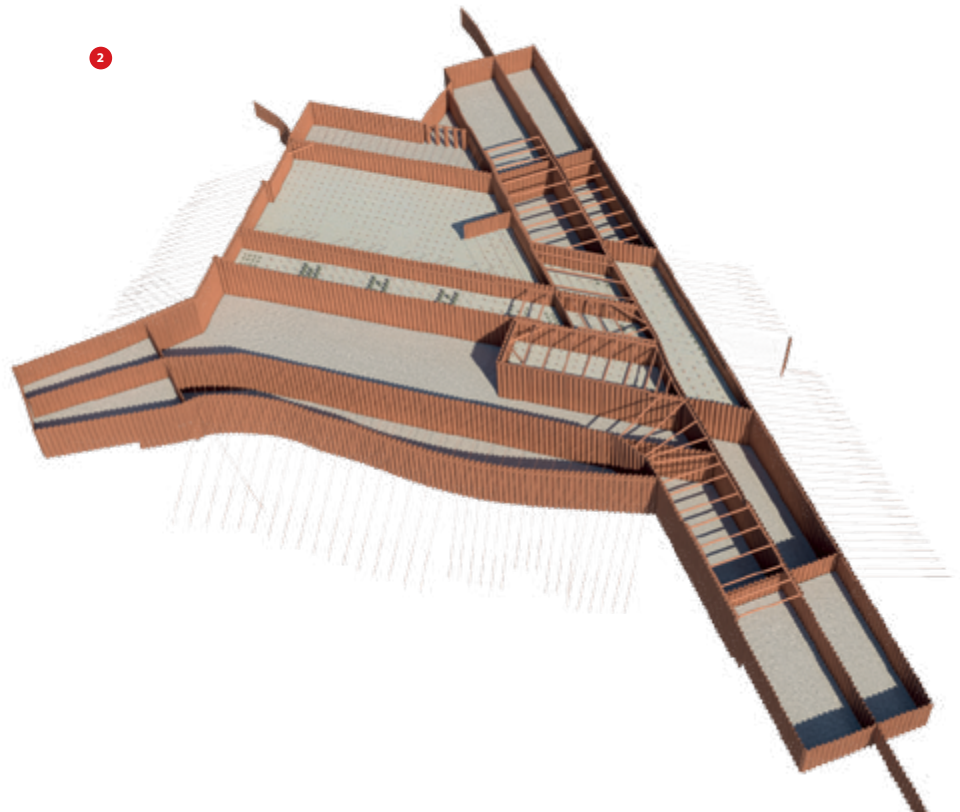
Het realiseren van de vezelversterkte onderwaterbetonvloer was de meest kritische stap in dit geheel. De vloer is 1,25 m dik, 15 m lang en 23 m breed. Het totale volume bedraagt 430 m³.



1

Frederick van Waarde,
ir. Johan Bolhuis RO
BAM Infraconsult

- 1 Storten onderwaterbeton
- 2 Bouwkuip
- 3 Glasezels



Aan de bovenkant van de vloer golden geen strenge vlakheidseisen, aangezien deze nog is uitgevuld met een zand-cementstabilisatie waar bovenop de constructievloer is gestort. De onderwaterbetonvloer is berekend met CUR-Aanbeveling 77. Hierbij is vooral gekeken naar de verhardingsspanning om watervoerende scheuren te voorkomen. Er zou namelijk geen tijd zijn om in de buitendienststelling eventuele scheuren te injecteren.

De wens was de onderwaterbetonvloer al na 72 uur na het storten droog te pompen. Maar was dit wel mogelijk? Voor zover bekend was dit nooit eerder gehaald. Een mengsel realiseren dat na 72 uur voldoende sterkte heeft om te belasten, is op zichzelf geen probleem. Belangrijker zijn de risico's die ontstaan als gevolg van de snelle sterkteontwikkeling, en daarmee ook de hoge warmteontwikkeling. Door de temperatuurverschillen zou dit kunnen leiden tot hoge spanningen met als gevolg het scheuren van het beton. Dit moest, mede gezien het strakke tijdsplan, te allen tijde worden voorkomen.

Er is gezocht naar een beheersmaatregel om de scheurvorming te beperken. Daarbij is ook gekeken naar de mogelijkheid microvezels (glasvezels, foto 3) toe te passen, naar aanleiding van een contact met glasvezelleverancier Owens Corning. Dit leek een interessante oplossing vanuit duurzaamheid en verwerkbaarheid. Afsproken is een onderzoekstraject in te gaan. Daarbij zijn alternatieven als wapening met staalvezels verder niet in detail meegenomen.

3





Onderzoek

De twee belangrijkste vragen in het onderzoek waren:

1. Is het mogelijk een verwerkbaar onderwaterbetonmengsel te maken met toevoeging van glasvezel?
2. Met welke vezeldosering krijgt het beton de juiste constructieve eigenschappen om watervoerende scheuren te voorkomen?

Hoewel deze twee vragen niet los van elkaar kunnen worden gezien, is de eerste als belangrijkste aangewezen. Als het onderwaterbeton niet verwerkbaar zou zijn, zou het überhaupt niet mogelijk zijn de onderwaterbetonvloer te storten.

Na dit onderzoek is een proefstort uitgevoerd en is de vloer berekend op scheurvorming met een eindige-elementenberekening. Deze fasen worden in dit artikel belicht.

Samenstelling

Als eerste is er op kleine schaal een verkennend onderzoek uitgevoerd om te kijken of het beton met de vezels voldoende verwerkbaar was te krijgen. Hierbij zijn verschillende mengsels gemaakt op labschaal met doseringen van 10 en 15 kg/m³. Uit vervolgonderzoek moest blijken wat de exacte dosering van de vezels moest worden.

Bij de tests bleek de opbouw van de toeslagmaterialen heel belangrijk te zijn. Na verschillende optimalisaties werden enkele basissamenstellingen bepaald.

Beproevingen

Van deze samenstellingen zijn diverse proefstukken gemaakt voor het bepalen van de sterkteontwikkeling, warmteontwikkeling en de mechanische eigenschappen. De sterkteontwikkeling is bepaald met ijkgrafieken voor de methode van gewogen rijpheid op basis van proefkubussen. De warmteontwikkeling is vastgesteld met een adiabaat. De mechanische eigenschappen zijn bepaald op 28 dagen met de driepuntsbuigproef op balkjes volgens NEN-EN 14651 (Beproevingsmethode voor staalvezel-

beton – Meten van de buig-treksterkte). Deze proeven zijn door Owens Corning verricht in hun lab in Chambéry (Frankrijk). Uit deze proeven bleek dat het beton nog niet de gewenste sterkteontwikkeling had en daarop is het mengsel aangepast.

Met behulp van de gegevens vanuit de adiabaat en de sterkteontwikkeling is een simpele temperatuursimulatie gedaan van het onderwaterbeton onder water op basis van kubussen. Hierbij werd vastgesteld dat de temperaturen zouden kunnen oplopen naar een maximum van 50 °C.

Hierna is er een groter onderzoek gestart bij de vezelleverancier in zijn laboratorium in Chambéry. Hiervoor zijn alle grondstoffen vanaf de betoncentrale naar dit lab verscheept. Hier zijn wederom de sterkteontwikkeling bepaald met kubussen en de mechanische eigenschappen met balkjes (volgens NEN-EN 14651, foto 4). De proefstukken zijn hierbij echter opgeslagen in een temperatuurgestuurde klimaatkast (foto 5). Hierbij is gebruikgemaakt van de gegevens vanuit de temperatuursimulatie. De klimaatkast is op een constante temperatuur van 45 °C gehouden. Hiermee werden dus de hogere temperaturen gesimuleerd die het beton zou hebben bij verharding onder water. De proefstukken zijn op verschillende tijdstippen beproefd waaronder ook na 72 uur. Hierdoor kon de ontwikkeling van de verschillende eigenschappen in de tijd worden uitgezet.

Verfijnen samenstelling

Parallel aan het onderzoek in Frankrijk is er verder gegaan met het uitwerken van het toepassen van vezels in onderwaterbeton om zo de samenstelling te verfijnen. Een belangrijke voorwaarde van onderwaterbeton is dat deze verdichtingsarm is en goede vloeieigenschappen heeft onder meer ten behoeve van vlakheid en vullen van eventuele damwandnissen. De samenhang moet echter ook voldoende zijn opdat het mengsel onder water stabiel blijft. Ook moet de verwerkbaarheid in de tijd redelijk constant blijven.

- 4 Bepalen driepuntsbuigproef in lab in Chambery
- 5 Proefstukken in de klimaatkast in Chambery
- 6 Proefstort onderwaterbeton



6

Normaal gesproken heeft onderwaterbeton een water-cement-factor (wcf) tussen 0,60 en 0,65. Echter, vanwege de gewenste snelle sterkteontwikkeling was het nu nodig een wcf van 0,48 toe te passen. Om toch voldoende verwerkbaarheid te realiseren, moest een plastificerende hulpstof worden toegepast. Dit alles om niet teveel warmte te ontwikkelen maar wel een snelle sterkte.

Om de werkelijkheid goed te benaderen, zijn op de betoncentrale verschillende tests uitgevoerd met het aanmaken van het beton in een mixer. Hierbij werden weer de twee samenstellingen gedraaid met een dosering van 10 en 15 kg/m³. Deze tests lieten zien dat het mogelijk was met beide doseringen een

goede onderwaterbeton te maken die voldeed aan alle gevraagde eigenschappen.

Na deze tests is het mengsel verwerkt in een werkvloer op het project. Hier is ook getest of het beton goed te verpompen zou zijn. Dit leverde geen problemen op.

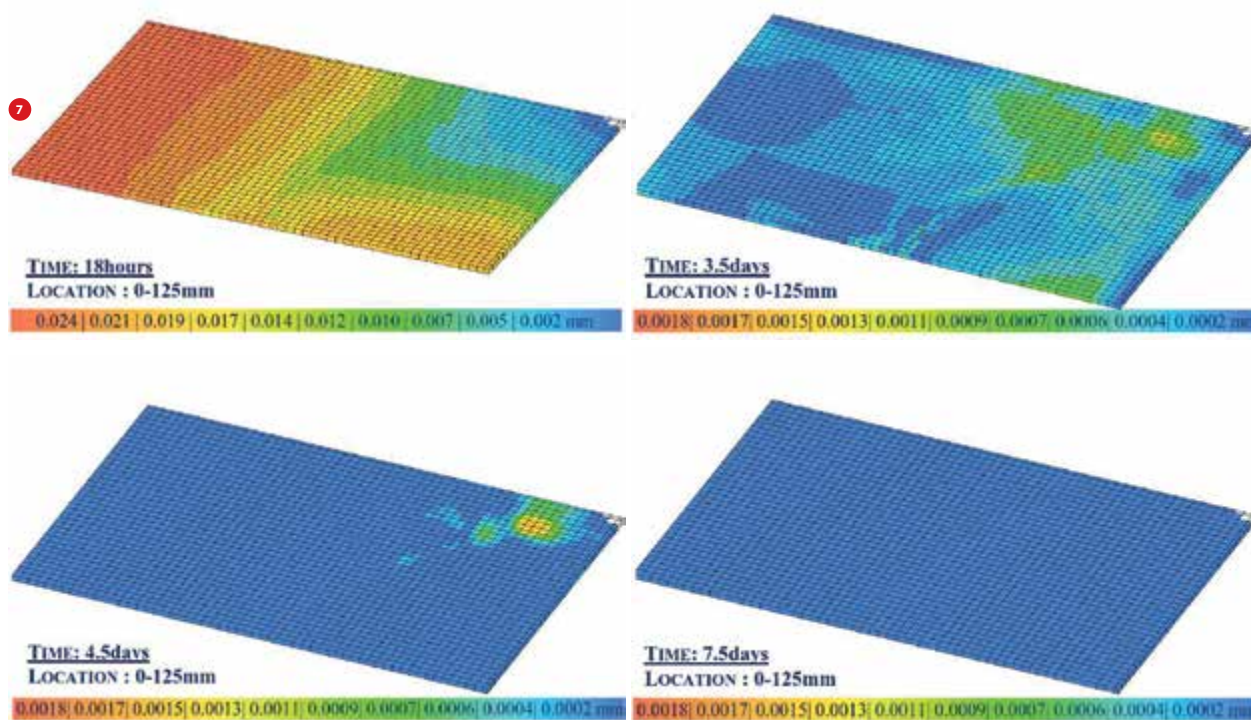
Dosering vezels

Een belangrijk onderdeel van het onderzoek was het doseren van de vezels. Op de betoncentrale was geen automatische dosering mogelijk waardoor de vezels handmatig moesten worden gedoseerd. Er werd geconcludeerd dat het doseren het beste kon worden gedaan op het moment dat de molen het beton lost in de truckmixer. Bij de uitloop werden de vezels gedoseerd door het gecontroleerd leeggooien van een doos (foto 3).

Wat wel werd vastgesteld was dat het handmatig doseren van de vezels het proces van het laden van de mixers zou vertragen. Hierdoor zou de aanleversnelheid terugvallen naar maximaal 70 m³/uur. Normaal gesproken wordt onderwaterbeton geleverd met een snelheid van meer dan 100 m³/uur.

Beproevingsmethode verwerkbaarheid

Tijdens het testen van het betonmengsel werd vastgesteld dat de standaardproef voor bepaling van de vloeimaat niet bruikbaar was. Bij het trekken van de kegel van Abrams zorgden de vezels voor blokkering van het grove toeslagmateriaal. Hierdoor bleef het beton in een hoopje in het midden van de tafel liggen. Na vijf keer schudden van de tafel vloeiende het beton wel goed uit, waarna wel een vloeimaat kon worden gemeten. Er is toen besloten deze aangepaste methode te gebruiken om het beton op verwerkbaarheid te testen. De aan te houden vloeimaatgrens werd gezet tussen de 550 en 600 mm.



Proefstort

In de voorbereiding voor de daadwerkelijke stort is er een proefstort uitgevoerd. Hiervoor is het beton met een betonpomp gestort in een uitgegraven gat, vol met grondwater (foto 6). Hierbij moest worden nagegaan of het onderwaterbeton goed nivelleerde en uitstroomde. Ook hier zijn beide mengsels getest (met dosering van 10 en 15 kg/m³ vezels). Het bleek dat het vloeigedrag van beide mengsels goed was, maar dat het mengsel met 10 kg/m³ het beste presteerde. Daarop is besloten verder te gaan met het mengsel met 10 kg/m³.

In de onderwaterbetonvloer waren ook meetpunten voor de temperatuur aangebracht waardoor de temperatuurontwikkeling in het beton op de voet kon worden gevolgd. Na 72 uur is in deze proef het water weggepompt. Daarna zijn direct kernen genomen die dezelfde dag nog zijn getest op druksterkte. De resultaten lieten zien dat de gewenste sterkte (37 N/mm²) werd gehaald.

Berekening scheurvorming met EEM

Op basis van de gegevens, verzameld in de verschillende onderzoeken en tijdens de proefstort is door de Universiteit van Brescia (verbonden aan Owens Corning) een eindige-elementenberekening gemaakt van de onderwaterbetonvloer (fig. 7). Hierbij zijn alle fasen tijdens het storten en uitharden van de vloer beschouwd, van vlak na stort tot het afpompen van het water. De vraag hierbij was of de vloer in de verschillende fasen van verharding niet te veel zou scheuren en dus waterdicht zou

9



- 7 Resultaten scheurwijdteberekeningen aan de onderzijde van het model op verschillende tijdstippen
- 8 Storten onderwaterbeton in kuip H
- 9 Vloeimaat (afnamecontrole)

blijven. De verschillende modellen lieten zien dat de optredende scheurwijdte in de vloer binnen de gewenste marges bleef. Hiermee kon op basis van de berekeningen worden geconcludeerd dat de vloer na afpompen van het water waterdicht zou zijn.

De praktijk: het storten

Na alle voorbereidingen was het op 17 augustus 2018 om 5:00 uur zover. De onderwaterbetonvloer kon worden gestort (foto 1 en 8). Voor het op de juiste hoogte afstorten, werd gebruikgemaakt van de hob-dobbermethode met een betonpomp en duikers voor inspectie van de vloer.

Met een uitgebreide afnamecontrole werd de verwerkbaarheid van het onderwaterbeton gedurende het gehele stort in de gaten gehouden (foto 9). De waarden werden via een WhatsAppgroep gedeeld met alle partijen (duiker, betoncentrale en uitvoerend personeel). Tijdens het storten werd ook waargenomen dat als de vloeimaat van het beton te ver terugliep, het risico op balvorming van de vezels toenam. Hierop is de samenstelling aangepast en werd de vloeimaatgrens verhoogd naar 580 – 630 mm (van 550 – 600 mm). Duidelijk werd namelijk dat bij een hoge vloeimaat van rond de 630 mm het beton nog goed stabiel was.

Door de duiker werd dezelfde verwerkbaarheid ervaren als tijdens de proefstort; het beton stroomde goed de damwandkassen in. Het verpompen van het betonmengsel ging goed echter, de aanvoersnelheid werd door het handmatig doseren van de vezels dusdanig vertraagd dat maar een snelheid van 45 m³/uur kon worden gehaald. Hierdoor duurde het storten uiteindelijk 10 uur.

Meer over onderwaterbeton

Meer over de uitvoering en technologie van onderwaterbeton staat in *Betoniek Standaard* 16/23 'Tot op de bodem!'.

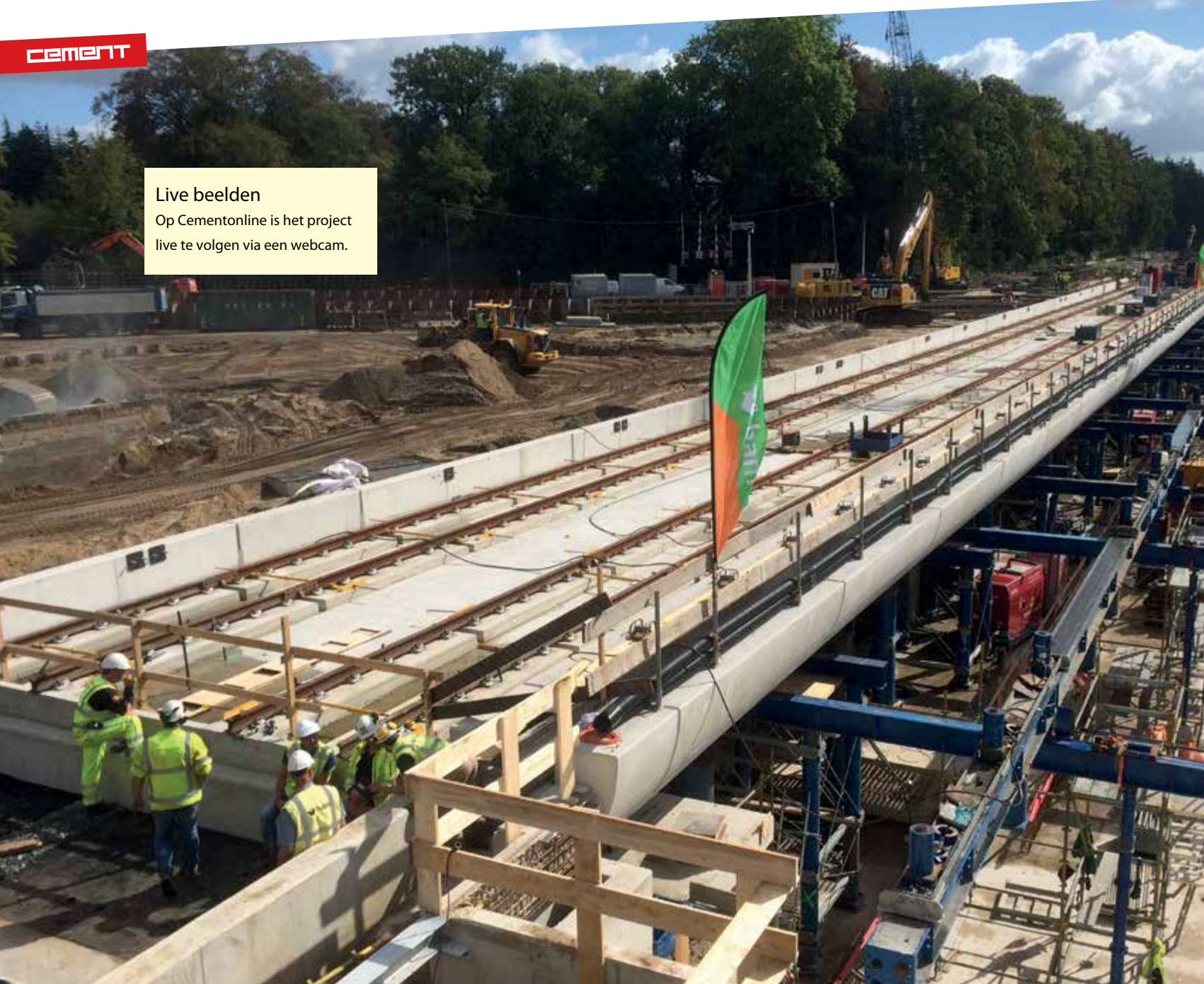
De praktijk: het leegpompen

Na 72 uur is het water van de onderwaterbetonvloer afgepompt. Dit nadat met behulp van verschillende temperatuurmetingen was vastgesteld dat de vloer de gewenste sterkte had bereikt. De uiteindelijke vloer was mooi vlak binnen de toleranties en er zijn geen lekkende scheuren gevonden. Binnen de gewenste tijd kon worden begonnen met het verwijderen van de damwanden evenwijdig langs het spoor boven het onderwaterbeton, het uitvullen van de vloer met zand-cementstabilisatie en het opbouwen van de wapening van de constructievloer. Uiteindelijk zat er tussen het storten van het onderwaterbeton en het openstellen van de onderdoorgang voor alle verkeer 12 dagen. Een unieke prestatie! ☒



Live beelden

Op Cementonline is het project
live te volgen via een webcam.



Stationsgebied Driebergen-Zeist (3): Spoordekken

- 1 Spoordek op eindbestemming
- 2 Impressie onderdoorgang en station Driebergen-Zeist

Dekken in langsrichting ingeschoven



ing. Kees-Jan den Exter,
ir. Johan Bolhuis RO
BAM Infraconsult

Vierluik Driebergen-Zeist

Dit artikel is het derde deel over het project Stationsgebied Driebergen-Zeist en gaat over de ingeschoven dekken. Het eerste deel is een inleiding en beschrijft de onderdoorgang. Het tweede gaat over de onderwaterbetonvloer, het vierde over de onafhankelijke toets door een TIS-bureau.

Het spoor bij Driebergen-Zeist wordt verdubbeld van twee naar vier sporen. Er komt een nieuwe onderdoorgang en het oude spoor wordt afgebroken en vervangen door twee nieuwe spoorviaducten. Deze zijn op een andere locatie langs het oorspronkelijke spoor voorgebouwd en in langsricting ingeschoven. Voor de constructieve uitwerking van de dekken speelt dit inschuiven een belangrijke rol.

Een deel van de twee spoordekken kruist de nieuwe onderdoorgang, het overige deel wordt onderdeel van het nieuw te bouwen station (fig. 2). Tussen de evenwijdig liggende spoordekken komt een nieuw perron. Beide dekken zijn opgebouwd uit een massieve, voorgespannen constructie die met oplegblokken op de onderbouw is opgelegd (fig. 3). Het zuidelijke spoordek is 137 m lang en bestaat uit zeven overspanningen, waarvan twee ter plaatse van de onderdoorgang. De grootste overspanning is 20 m. Het noordelijke dek is 122 m lang en heeft zes overspanningen, ook weer van maximaal 20 m.

Het betonnen spoordek heeft in dwarsrichting een variabele dikte verlopend van 840 mm aan de buitenzijden tot 883 mm tussen de sporen op het dek (fig. 4). Aan de onderzijde van het betondek zijn in de dwarsdoorsnede drie inkassingen aanwezig van $300 \times 150 \text{ mm}^2$ ten behoeve van lichtgoten. Aan beide zijden

van het dek bevinden zich buitenwanden (ook ter plaatse gestort), voorzien van dwarsvoegen op regelmatige afstanden.

De tussensteunpunten van beide dekken bestaan uit twee ronde betonnen kolommen op een betonsloof. Aan de uiteinden zijn de spoordekken opgelegd op betonnen keerwanden. Aan de oostzijde maken deze keerwanden deel uit van de onderdoorgang en aan de westzijde van de verdiepte bakconstructie die onderdeel is van het verdiepte station.

Ter plaatse van de westelijke landhoofden bevindt zich het vasthoudpunt. Hier worden de spoordekken in langsricting horizontaal gefixeerd aan de onderbouw.

De doorgaande weg kruist het spoor niet haaks. Daarom zijn de oostelijke landhoofden en de twee meest oostelijke tussensteunpunten schuin gepositioneerd (fig. 5).



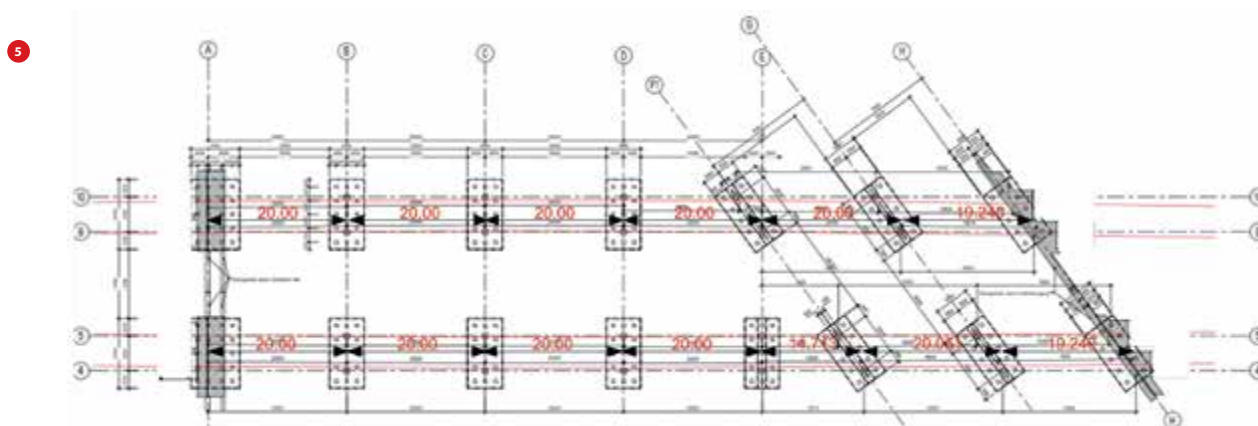
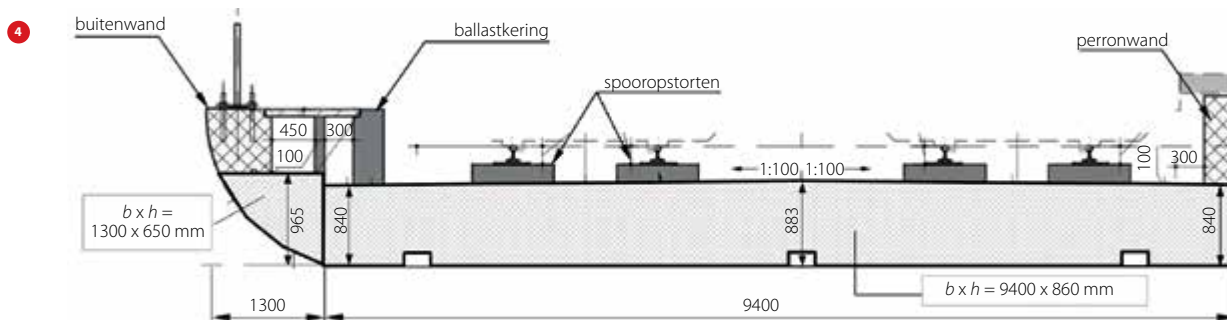
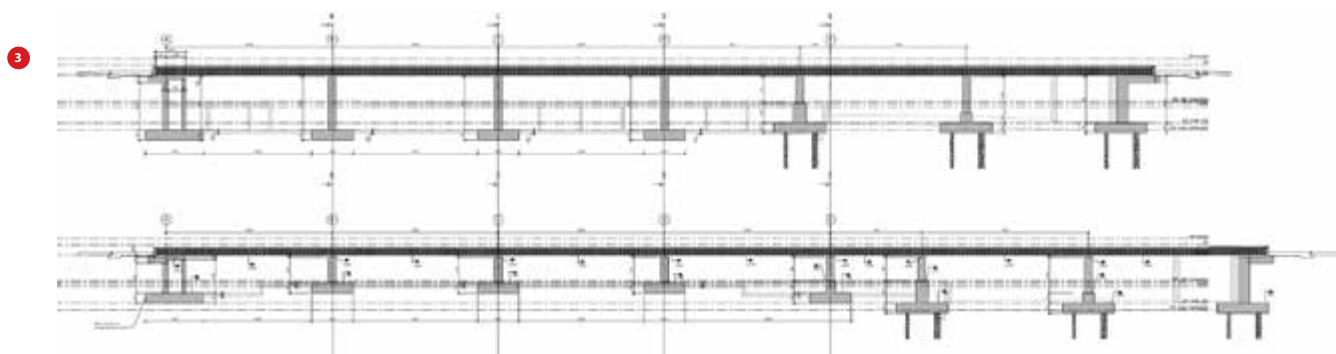
De gehele constructie is op palen gefundeerd. De paalfundatie bestaat uit combischroefpalen met een diameter van 800 mm. Dit zijn in de grond gevormde en volledig grondverdringende schroefpalen met een losse schroefpunt.

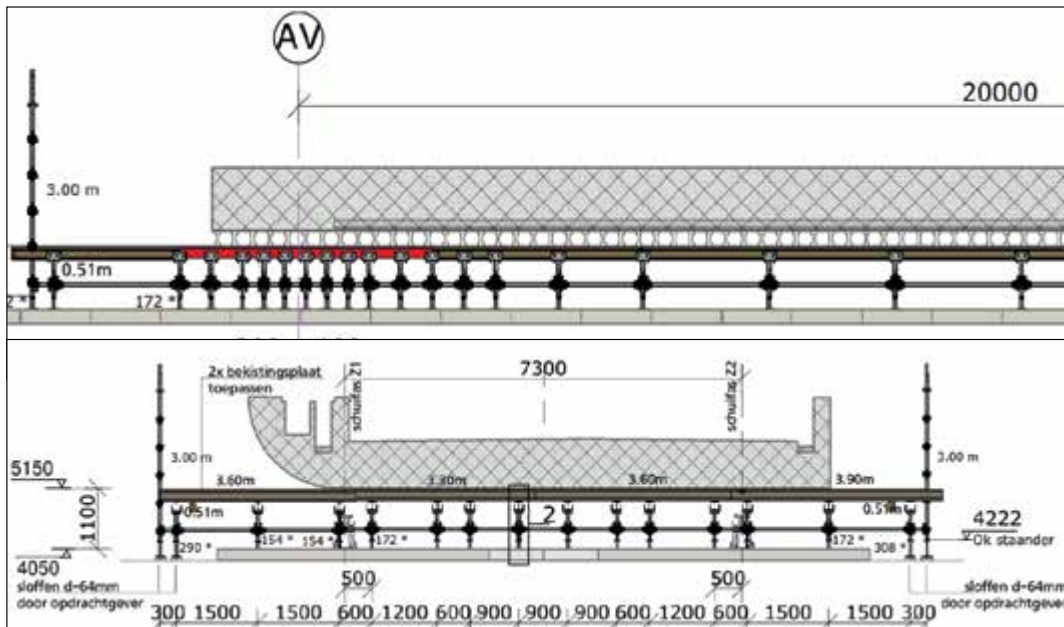
Bouwfaseringspoordekken

De betonnen spoordekken worden op een andere locatie langs het oorspronkelijke spoor voorgebouwd. Hierdoor kan de aanleg van de onderbouw van het viaduct en het spoordek gelijktijdig worden uitgevoerd.

Om het realiseren van het spoordek mogelijk te maken, is de bouwlocatie eerst voorbelast door het aanbrengen van een overhoogte. Vervolgens is begonnen met ontgraven tot het aanlegniveau van de fundatie van de tijdelijke ondersteuningsconstructie voor het betondek.

De ondersteuning voor de dekken is opgebouwd uit steigertorens op een 135 m lange strook van hardhouten draglineschotten met een aanlegbreedte van circa 12 m (5 + 2 + 5 m, fig. 6). Op deze torens is de bekisting aangebracht. Tijdens de stortfase wordt de ondergrond onder het dek gelijkmatig belast door enkel het stortgewicht.





- 3 Langsdoorsnede spoordek noord (boven) en zuid (onder)
- 4 Dwarsdoorsnede spoordek (schematisch)
- 5 Funderingsplan spoordek noord (boven) en zuid (onder)
- 6 Tijdelijke ondersteuning spoordek
- 7 Principe ondersteuning dek stortfase
- 8 2D-raamwerkmodel zuidelijk spoordek met onderbouw (groene lijnen zijn de pijlers)
- 9 3D-model spoordek met onderbouw

Na voldoende verhardingstijd is de voorspanning in drie fasen (10%, 60% en 100%) aangebracht, vanaf weerskanten van het spoordek.

2D-berekening langskrachten

Op de spoordekken is de in de 'Ontwerpvoorschriften ProRail (OVS)' vastgestelde spoorbelasting in rekening gebracht. Onderdeel van deze belastingen zijn de rem- en aanzetkrachten. Deze horizontaalkrachten worden deels via het spoor naar de aansluitende aardebaan (voor en achter de constructie) en deels via het dek met opleggingen naar de onderbouw van het spoordek afgedragen.

De spoorstaven zijn met regelbare spoorstaafbevestiging op het spoordek aangebracht. Hierdoor, en door de relatief grote lengte van het dek wordt een groot aandeel van de belasting naar de onderbouw afgedragen. De mate van afdracht moet eerst worden berekend. Op basis hiervan kunnen vervolgens worden bepaald:

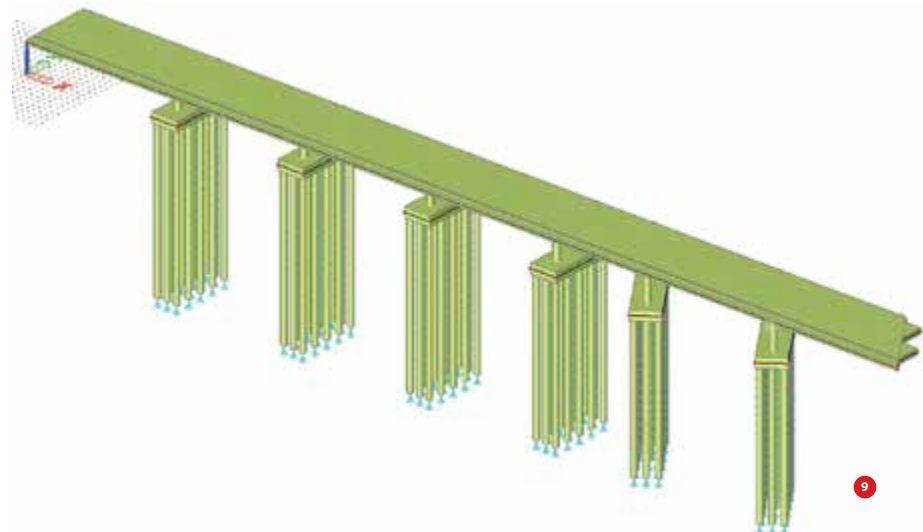
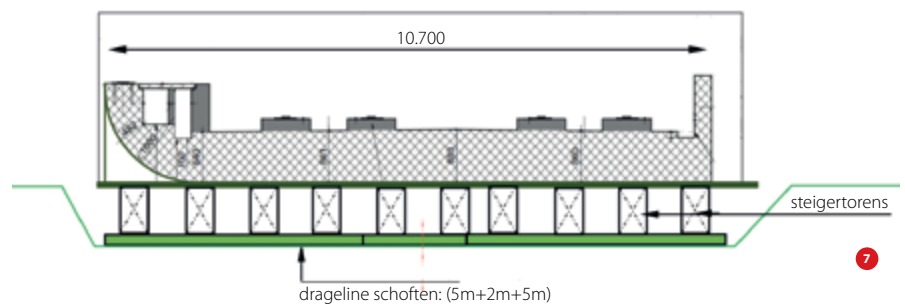
- afmetingen van de oplegblokken;
- afmetingen van de landhoofdconstructie;
- horizontale verankering van het landhoofd;
- spoorstaafspanningen.

Hiertoe is een 2D-raamwerkmodel opgesteld van de volledige constructie met dek, steunpunten en spoor (fig. 8).

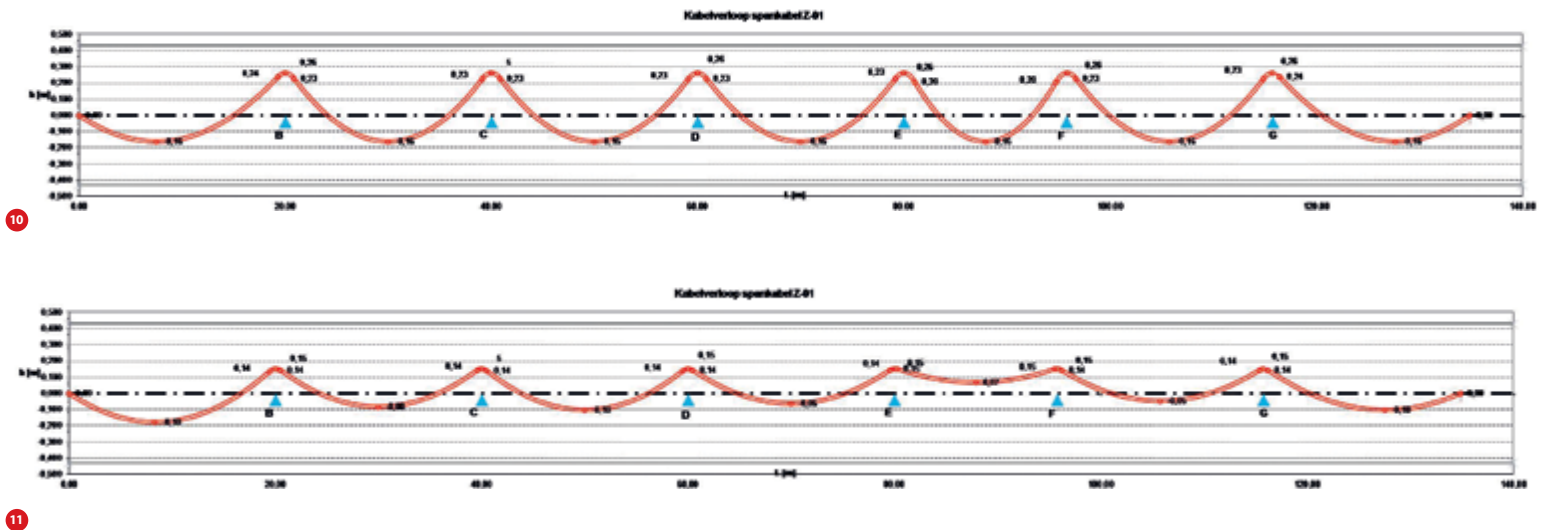
3D-berekening spoordekken

Voor het ontwerp van de spoordekken en de krachtswerking in de constructie is gebruikgemaakt van een 3D-berekening (Scia Engineer, fig. 9). In het rekenmodel zijn de volgende constructieonderdelen van de spoorbrug opgenomen:

- bovenbouw (betonnen spoordek met opleggingen);
- onderbouw (tussenpijlers en fundatie);
- eindopleggingen t.p.v. de landhoofden (verend).



- 10 Verloop voorspankabel als resultaat t.b.v. gebruiksfase
- 11 Verloop voorspankabel als resultaat incl. bouwphase
- 12 Dwarsdoorsnede dek
- 13 Aangebrachte omhullingsbuizen t.b.v. voorspankabels
- 14 Rekenmodel t.b.v. bepaling van de gronddrukken tijdens voorspannen dek



De inkassingen (fig. 9) zijn in mindering gebracht op de effectieve betonde doorsnede en de buitenwanden op het dek zijn als niet-constructief beschouwd. Dit geldt ook voor de overige wandjes, de ballastkering en de betonnen spooropstorten op het dek.

Doordat de doorsnede volledig is voorgespannen, gedraagt het dek zich als een buigligger van ongescheurd beton. De dekken worden uitgevoerd in betonsterkteklasse C50/60 met een E-modulus van $E_{cm} = 37.000 \text{ N/mm}^2$. Het betondek is in het model als doorgaande plaat op het niveau van de neutrale as van de doorsnede ingevoerd (NAP +4,20 m).

Ontwerp voorspanning gebruikssituatie

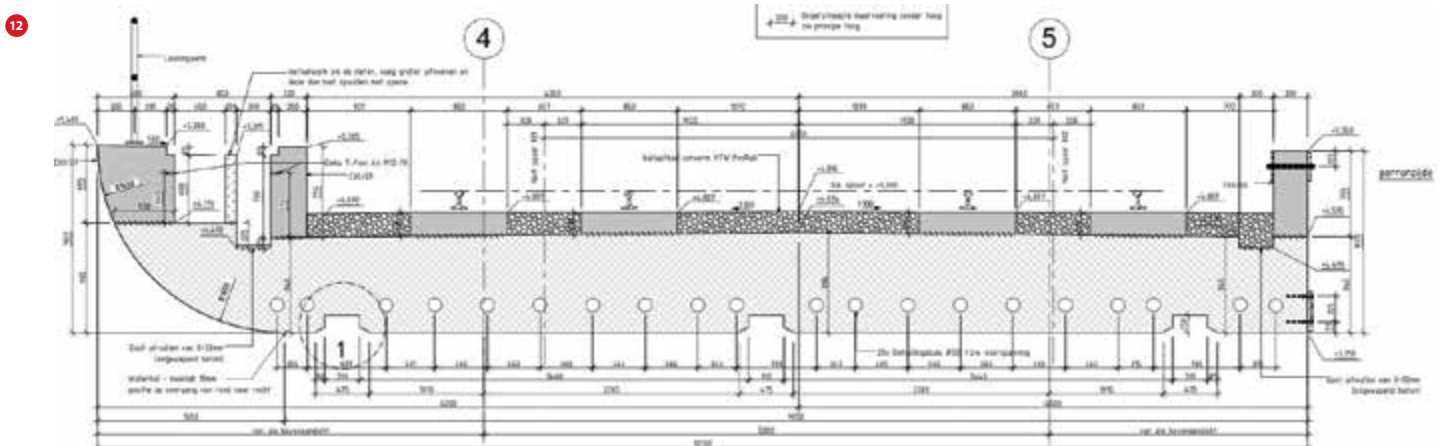
Het ontwerp van de voorspanning (aantal spankabels, voorspanniveau en het kabelverloop) is in eerste instantie afgestemd op de gebruikssituatie van het spoordek. Het spoor ligt hierbij op de definitieve opleggingen. Maatgevend in dit ontwerp zijn de in de OVS voorgeschreven toelaatbare trekspanningen in

het beton in langsrichting van het dek. Het kabelverloop met bijbehorende opwaartse krommingsdrukken is zo economisch mogelijk ontworpen (fig. 10).

Ontwerp voorspanning bouwphase

Aansluitend is de situatie op de voorbouwlocatie beschouwd. De randvoorwaarden weken hierbij sterk af van de gebruiksfase. Op de voorbouwlocatie zijn immers geen vaste oplegpunten aanwezig. Het dek wordt hier over de volle lengte min of meer (via een ondersteuningsconstructie) gelijkmatig ondersteund.

Ten behoeve van deze bouwphase is een apart 3D-rekenmodel opgesteld met alleen een doorgaande drukbedding onder het dek als oplegging op de ondergrond. Uit dit rekenmodel met als belasting alleen de voorspanning en het eigen gewicht, bleek dat er gedurende het aanbrengen van de voorspanning veel te grote trekspanningen in het dek zouden ontstaan.





13

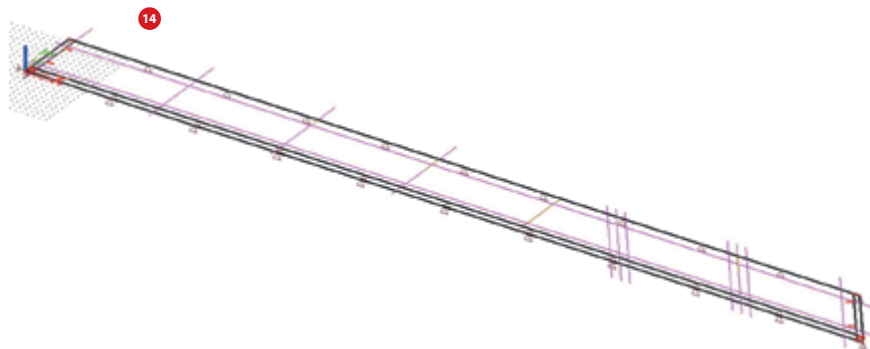
Om dit probleem te compenseren, is overwogen in de bouwlocatie vaste (tijdelijke) oplegpunten ter plaatse van de oplegassen aan te brengen. Dit zou echter veel heiwerkzaamheden vergen. Bovendien waren er ten behoeve van de ondersteuning van de schuifbanen ook al uitgebreide paalfundaties nodig.

In plaats daarvan is ook overwogen tegenvoorspanning in het spoordek aan te brengen: extra tijdelijke spankabels met tegengesteld kabelverloop om de krommingsdruk te verminderen. Deze kabels zouden als het dek op zijn eindbestemming ligt, buiten werking moeten worden gesteld, bijvoorbeeld door ze door te slijpen. De uiteinden van het betondek met spankoppen zouden dan niet vóór de schuifase kunnen worden afgewerkt, maar dit zou tijdens de treinvrije periode (TVP) van 16 dagen moeten gebeuren. Dit zou te grote tijdsproblemen opleveren.

De oplossing is gevonden in het toepassen van een sterk aangepaste voorspanning: een veel vlakker (én oneconomischer) kabelverloop met hogere voorspanning en toepassing van meer voorspankabels (fig. 11). Uiteindelijk resulteerde het ontwerp in toepassing van 20 voorspankabels in de doorsnede, elk 27-strengs (fig. 12, foto 13).

Belasting ondergrond tijdens voorspannen

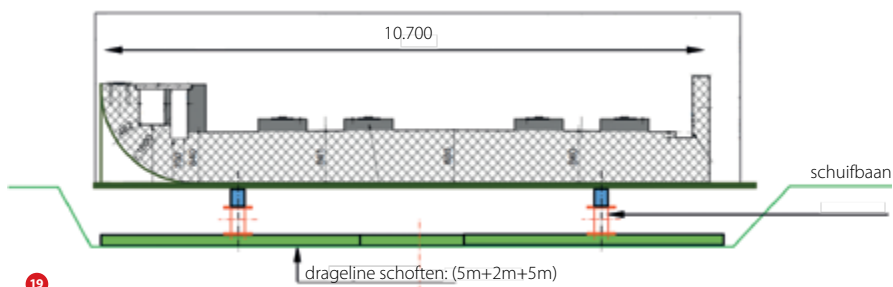
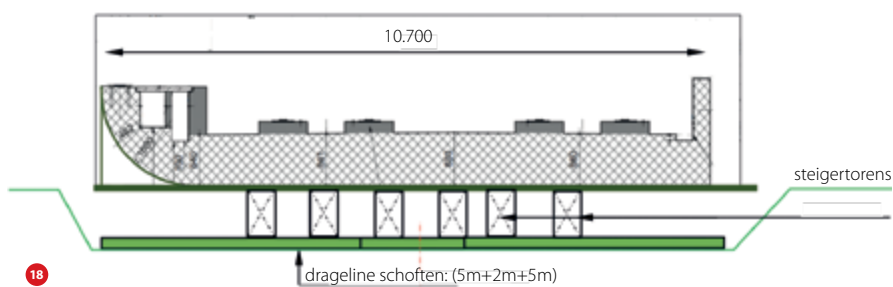
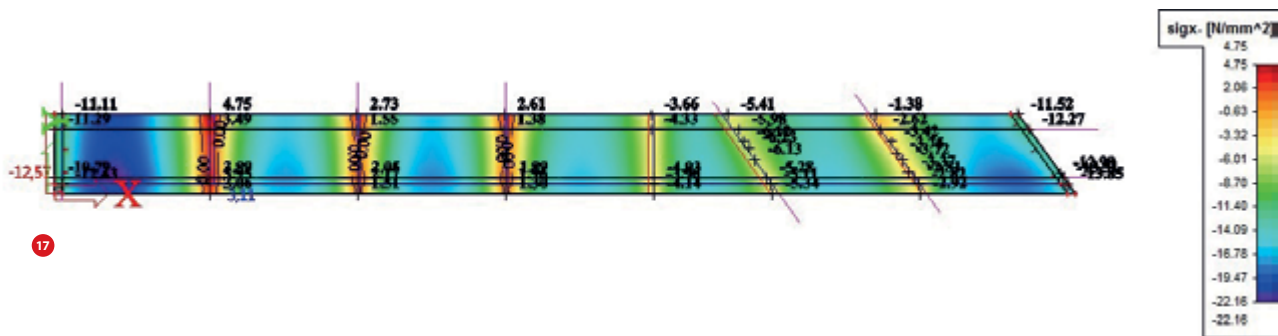
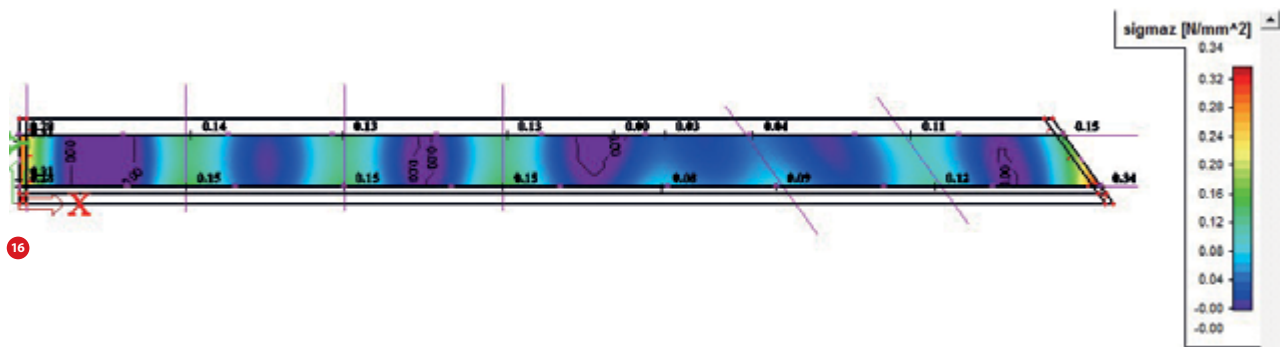
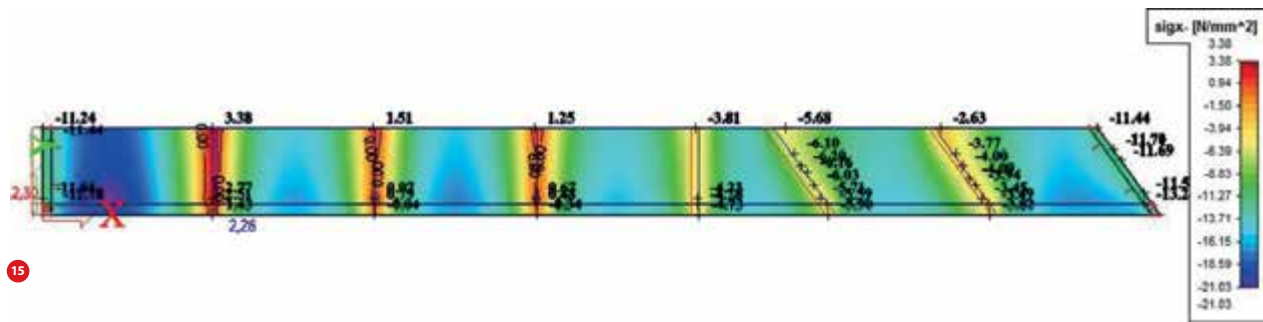
Tijdens het voorspannen treden ter plaatste van de definitieve oplegassen verhoogde gronddrukken op, als gevolg van de krommingsdrukken. Om inzicht te verkrijgen in de grootte van deze drukken is een 3D-rekenmodel van de plaat opgesteld, met een elastische drukbedding als oplegging door de ondergrond en belasting door eigen gewicht en voorspanning, inclusief de krommingsdrukken (fig. 14).



- 15 Resultaat vervormingen (a) en trekspanningen (b) in het spoordek tijdens spannen op maaiveld
- 16 Grondspanningen tijdens deels verwijderde ondersteuningsconstructie

- 17 Trekspanningen beton tijdens deels verwijderen ondersteuningsconstructie
- 18 Principe doorsnede ondersteuning dek t.b.v. aanbrengen schuifbanen
- 19 Principe doorsnede met schuifbanen

- 20 Spoordek op vizels op de schuifbanen
- 21 Spoordek ondersteund door vizels op de schuifbanen



Met een geotechnische zettingsberekening is de vervorming van de ondergrond bepaald, waaruit weer de beddingsconstante is teruggerekend. Door dit iteratieproces is berekend dat er een beddingsconstante van 10.000 kN/m^2 benodigd is ter plaatse van de steunpunten. Dit kon worden behaald door de ondergrond ter plaatse van de steunpunten voor te belasten met 2 m grond (of equivalent 36 kN/m^2 boven het huidige maaiveld). De duur van de voorbelasting bedroeg minimaal 90 dagen. Voor de beddingsconstante is derhalve een waarde van $k_v = 10.000 \text{ kN/m}^2$ aangehouden.

Uit het 3D-plaatmodel zijn de contactspanningen met de ondergrond (funderingsdruk) af te lezen. Hieruit blijkt een maximale grondspanning tijdens het voorspannen van $0,23 \text{ N/mm}^2$ (230 kN/m^2) aan het uiteinde van het spoordek (as A). Het berekende draagvermogen van de ondergrond bedroeg 573 kN/m^2 , dit voldeed dus ruimschoots. Hierbij is alleen de breedte van het dek gerekend als contactvlak met de ondergrond (conservatief bij een aanlegbreedte van de fundatie van circa 12 m).



20

De berekende buigtrekspanningen in de betonconstructie zijn weergegeven in figuur 15. Uit dit figuur blijkt een maximaal optredende trekspanning ter plaatse van de oplegas van $3,38 \text{ N/mm}^2$. Dat is dus net iets hoger dan de grenswaarde van 3 N/mm^2 , de maximale trekspanning gedurende de bouwfasen volgens de OVS. Het betreft hier echter een piekwaarde. Gemiddeld is de spanning op deze oplegas lager, namelijk $2,26 \text{ N/mm}^2$. Hieruit volgt dat de trekspanning vrijwel overal minder dan 3 N/mm^2 bedraagt en dat de constructie dus voldoet.

Schuifbaan

In de volgende bouwphase wordt aan weerskanten in langsrichting onder het dek een schuifbaan aangebracht. Om dit te realiseren, wordt de ondersteuning van het dek eerst deels verwijderd zodat er voldoende werkruimte ontstaat voor de schuifbanen. De resterende breedte van de ondersteuning bedraagt in deze bouwphase dan minimaal circa 7 m (fig. 18).

Van het dek in deze situatie is eveneens een 3D-model opgesteld. Hierbij is uitgegaan van een minder brede oplegging: 7 m

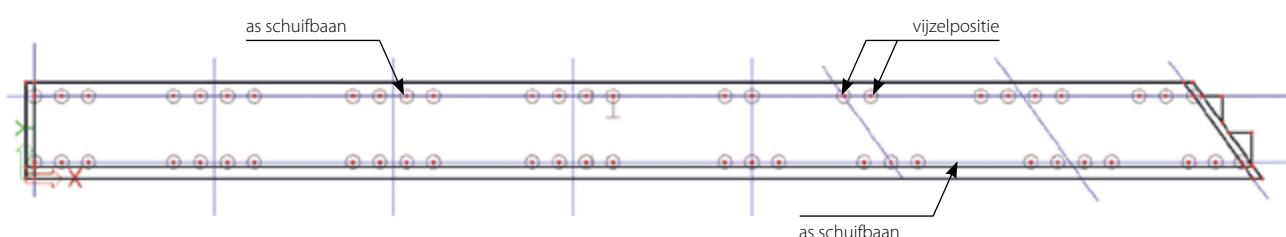
in plaats van 12 m. De belasting bestaat weer uit eigen gewicht en voorspanbelasting. Uit de berekening van de grondspanningen blijkt nu een maximale waarde van $0,34 \text{ N/mm}^2$ ($= 340 \text{ kN/m}^2$, fig. 16). Deze waarde is weliswaar hoger in de situatie met volledige ondersteuning maar nog steeds lager dan de toelaatbare gronddruk van 573 kN/m^2 .

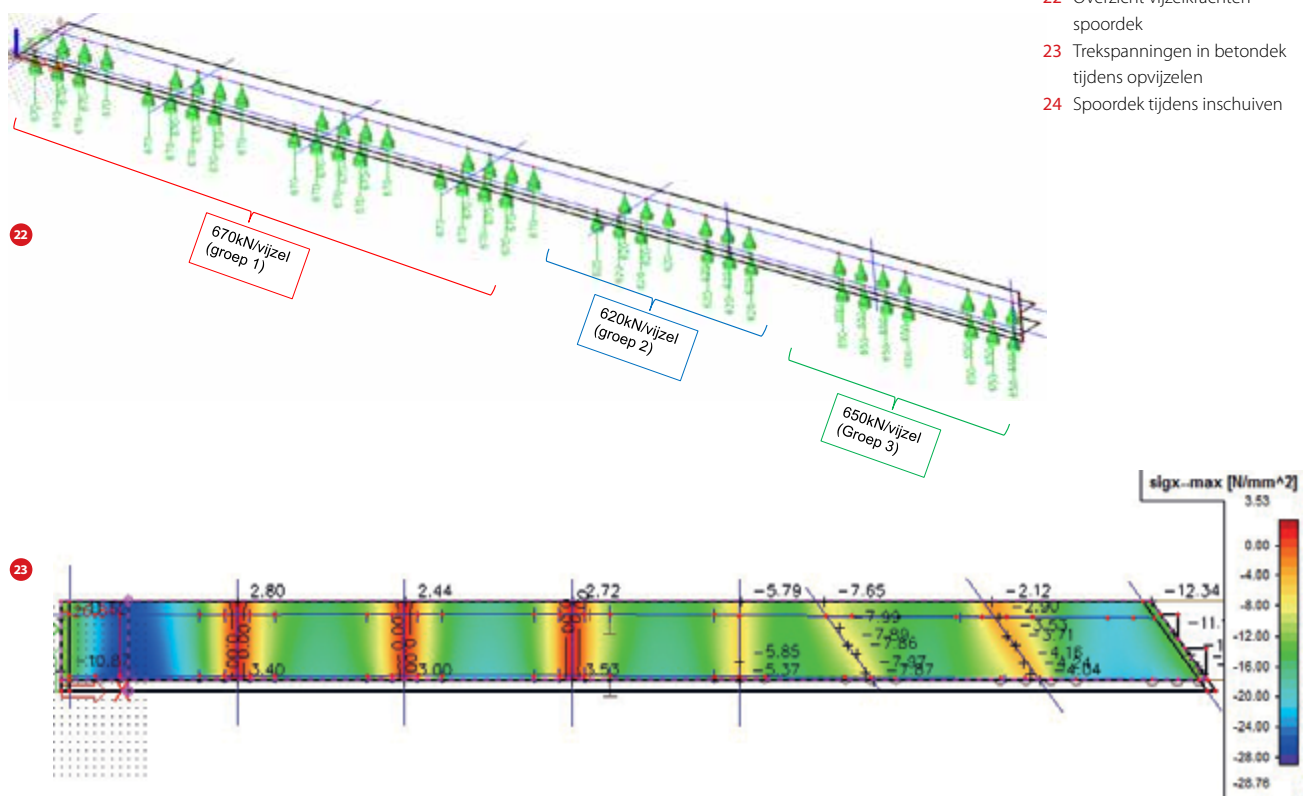
De totale vervorming van de constructie is opgelopen tot maximaal +8 mm (opbuiging) en -35 mm (indrukking) in de ondergrond.

De gevonden spanningen zijn tevens de maatgevende rekenwaarden van de bekistingsdrukken op de bekisting en ondersteuning. Deze bedraagt 340 kN/m^2 voor de eindsteunpunten en 150 kN/m^2 voor de tussensteunpunten tijdens de bouwphase. Met deze hoge kistdrukken is de dekbekisting ontworpen en de ondersteuningsconstructie gedimensioneerd.

In figuur 18 zijn de maximale trekspanningen in het dek in langsrichting weergegeven in deze bouwphase. Aan de onderzijde zijn enkele overschrijdingen van de toelaatbare spanningen (3 N/mm^2) zichtbaar. De berekende spanningen zijn echter conservatief bepaald. In de praktijk zijn deze lager door de veel

21





groter effectieve funderingsbreedte onder het dek door spreiding van de belasting in de ondergrond. Na visuele controle van onder- en bovenzijde dek bleek er geen scheurvorming in de constructie te zijn opgetreden.

Opvijzelen

Op de twee schuifbanen onder het spoordek worden vervolgens vijzels geplaatst (fig. 19, foto 20). In langsricting van het dek gezien worden de vijzels h.o.h. 3 m geplaatst (max. 4 vijzels per as per zijde). Per oplegging worden aparte groepen aangebracht. Met vooraf vastgestelde vijzelkrachten wordt het dek vervolgens van de ondersteuningsconstructie opgetild en over-

gepakt op de schuifbanen. In figuur 21 staat een overzicht van de vijzelposities en in figuur 22 van de vijzelkrachten.

Ook van deze situatie is een apart rekenmodel opgesteld (fig. 23). Deze vijzelkrachten zijn als belasting opgenomen in combinatie met de overige belastingen (eigen gewicht en voorspankrachten). De oplegging door elastische drukbedding van de ondergrond is vervangen door puntveren. Ter plaatse van de veren zijn puntlasten ingevoerd ter grootte van de vijzelkrachten. De waarden voor de vijzelkrachten zijn zodanig in het model ingevoerd dat de oplegreacties in de puntveren circa 0 kN naderen. Met andere woorden: de constructie is verticaal in evenwicht.

Na het opvijzelen is het spoordek met twee duwvijzels op de kop verschoven over een afstand van circa 170 m naar zijn definitieve locatie (foto 24). Daar aangekomen pakken grote opgestelde vijzelkolommen het spoordek over van de schuifbaan op de definitieve opleggingen (foto 1). De vijzelkrachten worden nauwkeurig gemonitord gedurende het opvijzelen en schuiven.

Millimeterwerk

De ervaring heeft geleerd dat een dergelijk massief dek op de millimeter nauwkeurig moet worden aangebracht en dat dit secuur moet gebeuren. Schuiven in langsricting geeft meer extra complicaties dan in dwarsricting doordat het dek met grote puntlasten wordt verschoven en vele bouwfaseringen doormaakt. Het zuidelijke dek ligt op het moment van schrijven van dit artikel (najaar 2018) op zijn plek. Later zal volgens precies dezelfde methode het noordelijke dek worden geschoven. ☒



STUDENT? LEER VAN DE PRAKTIJK.



Cement is hét kennisplatform over betonconstructies. Het speelt al meer dan 65 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 € 67,50 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.



Zeven stappen richting Verklaring van Geen Bezwaar

TIS-controle Driebergen-Zeist

Bij het project Stationsgebied Driebergen-Zeist (SDZ) speelden risico's een grote rol. Als toprisico's golden voor ProRail constructieve veiligheid en waterdichtheid. Dit is verankerd door de opdrachtnemer te verplichten een Verborgten Gebreken Verzekering (VGV) af te sluiten zonder uitsluitingen. Om een VGV te kunnen afsluiten, is een onafhankelijke toets vereist.

De onafhankelijk toets moet worden uitgevoerd door een zogeheten Technical Inspection Service (TIS)-bureau. Het TIS-bureau moet zijn gecertificeerd door de TIS-erkenning-regeling, waarin onafhankelijkheid en deskundigheid verankerd liggen. Voor dit project is TIS-bureau BouwQ aangewezen als controleur van de constructieve veiligheid en de waterdichtheid. De taken van het TIS-bureau zijn vastgelegd in de vraagspecificatie TIS van het project.

TIS-controles

TIS-controles zijn risicogestuurd en worden in verschillende fasen van het bouwproces uitgevoerd. In de preontwerpfase worden de risico's op verborgen gebreken en beperkingen in de functionaliteit in kaart gebracht en geanalyseerd. In de ontwerp-fase worden geconstateerde risico's met schaduwberekeningen of -analyses geëlimineerd. In de uitvoeringsfase wordt met gerichte, fysieke inspecties ter plekke gecontroleerd of de risico's tot een acceptabel niveau zijn of worden gereduceerd.

De resultaten van het TIS-onderzoek worden vastgelegd in de eindverklaring. Dit is een voorwaarde om de gewenste Verborgten Gebreken Verzekering (VGV) af te mogen sluiten. Eventuele uitsluitingen in de eindverklaring worden vanzelfsprekend niet verzekerd.

Een TIS-toetsing geeft tevens volledig invulling aan de supervisie-niveaus Design Supervision Level 3 (DSL3) en Inspection Levels 3 (IL3) behorende bij Reliability Class 3 (RC3) volgens

Eurocode 0 (NEN-EN 1990). Het betreft zowel een uitgebreide supervisie op ontwerp en berekeningen volgens tabel B4 als een uitgebreide inspectie volgens tabel B5, beide uit Eurocode 0. In de praktijk wordt dit ook wel de onafhankelijke CC3-toets genoemd.

Voor het project SDZ zijn zeven TIS-hoofdstappen vastgelegd op weg naar het einddoel, de Verklaring van Geen Bezwaar. Deze geeft de verzekeraar voldoende vertrouwen om de premie- en dekkingsomvang van de VGV-verzekering te kunnen bepalen.

Analyse vraagspecificatie

De eerste hoofdstap was de analyse van de vraagspecificatie. Voor het project SDZ heeft ProRail gedetailleerde eisen opgesteld voor de constructieve veiligheid, de waterdichtheid en de levensduur van het bouwwerk. Hieruit zijn drie faalrisico's geïdentificeerd. Zo kan een ontwerpfout of een fout in uitvoeringsontwerp leiden tot falen van de primaire constructie. Of de waterdichtheid kan tekortschieten als er bijvoorbeeld een ontwerpfout is gemaakt. Vanuit TIS wordt hierop specifiek getoetst.

Vaststellen scope toets

De tweede hoofdstap was het vaststellen tot op welk detail-niveau de onderdelen van het project SDZ moeten worden beoordeeld en geïnspecteerd. De scope (ook wel invloedssfeer) Constructieve Veiligheid is hiervoor verdeeld in constructieve,



2



3

niet-constructieve en externe elementen. Het TIS-werk heeft zich gefocust op die onderdelen die voor de stabiliteit, sterkte en waterdichtheid van het te verzekeren object van kritiek belang zijn.

De TIS-controleurs hebben hier bijvoorbeeld op gelet bij de spoordekken, de funderingsconstructies (druk- en trekpalen), het betonwerk van de vloerconstructies verdiepte bak, de wandconstructies verdiepte bak, langzaamverkeersbrug, de waterkelder en de fietsenstalling. Ook het nieuwe middenperron en enkele duikers, de geluidsschermen en de perronkap middenperron zijn getoetst.

In het kader van waterdichtheid zijn het betonwerk van de vloer- en wandconstructies verdiepte bak, de waterkelder en van de fietsenstalling getoetst. Tijdelijke constructies als de traverse en de bouwkuipen zijn niet gecheckt, omdat die na het werk weer zijn verwijderd. De verzekeraar is in dit stadium geïnformeerd over de hoogte van de te verzekeren som voor de invloedssfeer Constructieve Veiligheid.

Risicoscan aanbiederontwerp opdrachtnemer

De derde hoofdstap was de risico-inventarisatie van het aanbiederontwerp. TIS onderscheidt hier algemene risico's en project-specifieke risico's en heeft voor beide specifieke scans verricht.

Algemene risico's

De algemene risicoscan focust op kwalitatieve aspecten die zijn benoemd bij de analyse van de vraagspecificatie. Denk hierbij aan algemene ontwerp-risico's, aangevuld met risico's die betrekking hebben op de maakbaarheid van het uitvoeringsontwerp en specifieke algemene uitvoeringsrisico's.

De uitvoeringsrisico's zijn vooral benoemd rond de toegepaste paalfundering, het betonwerk, de staalconstructie, maar ook bij de dilatatieprofielen in verband met de waterdichtheid.

Elk risico heeft natuurlijk zijn eigen beheersmaatregel. De ontwerprisico's zijn vooral onderzocht met ontwerpstoetsen. De uitvoeringsrisico's zijn middels inspecties beheerst.

Projectspecifieke risico's

Bij de projectspecifieke risico's is gekeken naar kwantitatieve eigenschappen. Deze risico's betekenen gevaar voor de constructieve veiligheid of de waterdichtheid. Afhankelijk van de ingeschatte kans en gevolgen is bepaald of het onderdeel wel of niet moest worden getoetst. Voorbeeld van dit type risico is dat als de bestaande, te verplaatsen, perronkappen niet voldoen aan de belastingseisen uit de relevante Eurocodes, deze constructief onvoldoende voor hergebruik kunnen zijn.

Beoordelen definitief ontwerp (DO)

De vierde hoofdstap, het zwaartepunt van de ontwerpbeoordeling, was de toetsing van het definitief ontwerp (DO). Het gaat daarbij om het beheersen van de algemene en projectspecifieke risico's in de ontwerpfasen. Denk dan bijvoorbeeld aan het risico dat een ontwerpfout tot falen van de primaire constructie leidt. Door te controleren of de juiste uitgangspunten zijn gehanteerd, de schematisering van het onderdeel klopt en vooral of een schaduwrekening van de krachtwerving overeenkomstige uitkomsten geeft, is per onderdeel beoordeeld of het ontwerp inderdaad leidt tot een kwalitatief goed bouwwerk.

Beoordelen uitvoeringsontwerp (UO)

De vijfde hoofdstap was de toetsing van het uitvoeringsontwerp (UO). Vanzelfsprekend ook hier weer op algemene en projectspecifieke ontwerprisico's. Zijn er bij de toetsing van het DO restrisico's geconstateerd, kunnen die hier worden meegenomen.

Voorbeeld algemeen uitvoeringsrisico

Een voorbeeld van een algemeen uitvoeringsrisico is dat als er een fout in het uitvoeringsontwerp – die leidt tot falen van de primaire constructie – niet wordt opgemerkt. Om dit gevaar te kunnen wegnemen, kijkt TIS naar de betondekking en wordt het betonmengsel op sterkte, maar ook op milieuklasse (levensduur) beoordeeld. Verder controleert TIS de bescherming tegen corrosie van de staalconstructies en worden de ontwerpdimensies op de uitvoering (wapenings)tekeningen onderzocht.

Voorbeeld projectspecifiek risico

Een projectspecifiek risico dat is getoetst, is in hoeverre maatregelen zijn genomen om lekkages in het beton van de verdiepte bak te voorkomen. TIS heeft hierbij gekeken hoe het risico op scheurvorming door verhardingskrimping wordt beheerst door te letten op toegepaste wapening, keuze betonmengsel en beoogde nabehandeling.

Beoordelen uitvoeringsdocumenten

De zesde hoofdstap van TIS was het beoordelen van de uitvoeringsdocumenten. Dat geeft een indruk van de invloed van de uitvoeringsmethodiek op de definitieve constructie. Hier kijkt TIS vooral naar de werkplannen voor beton, het aanbrengen van de voorspanning op de dekken, de herkomst en kwaliteit van het constructiestaal, de invloed van tijdelijke en hulpconstructies en naar de montageplannen. De uitvoeringsdocumenten doen ook dienst als handvat voor het inspecteren van de uitvoering op de bouwplaats.

Beoordelen uitvoering

De zevende hoofdstap was het risicogestuurd inspecteren van de realisatie, vanzelfsprekend een cruciaal onderdeel van de TIS-toetsing. Ook hier is de toetsing onderverdeeld in algemene, projectspecifieke en restrisico's. Deze worden op hun uitvoeringsconsequenties beoordeeld.

Voorbeeld algemeen uitvoeringsrisico

Een voorbeeld van een algemeen uitvoeringsrisico is een fout bij het aanbrengen van de wapening. TIS heeft hiervoor onder meer gekeken of de wapening uitgevoerd is conform tekening, of de dekking voldoende is en of de verankerings- en overlappingslengte voldoende zijn.

Ook in de andere twee categorieën zijn risico's geïdentificeerd en in de uitvoering gecontroleerd.

Verklaring van Geen Bezwaar op basis eindrapportage

Aan het eind van de zeven TIS-hoofdstappen wordt een eindrapportage opgemaakt. Hierin wordt een conclusie geformuleerd of de gewenste risiconormalisatie, de constructieve veiligheid en waterdichtheid van het bouwwerk voldoen aan de eisen. Tevens wordt een Verklaring van Geen Bezwaar opgesteld. Dan kan het definitieve bouwwerk worden verzekerd tegen verborgen gebreken. ☒

Meer over Driebergen-Zeist

Over het project Stationsgebied Driebergen-Zeist zijn meer *Cement*-artikelen verschenen:

- Scope van het project
- Onderwaterbetonvloer en belasting na 72 uur
- TIS

Deze artikelen staan elders in dit nummer en zijn beschikbaar op www.cementonline.nl.



Constructieve uitdagingen Hoog Catharijne

Vernieuwend met een vleugje sentiment

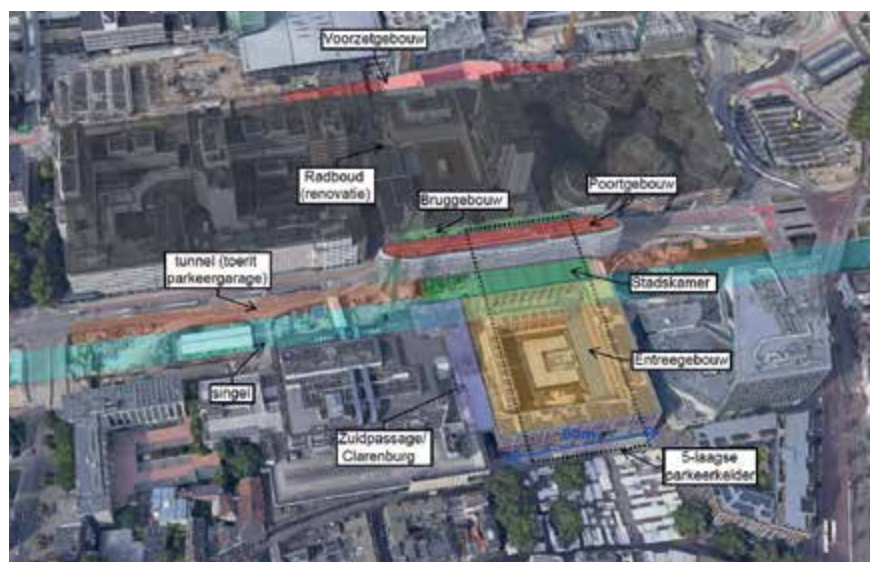


In hartje Utrecht wordt al jaren gewerkt aan een complete vernieuwing van het stationsgebied. Belangrijk onderdeel vormt het vernieuwde winkelcentrum Hoog Catharijne, een project dat uit diverse onderdelen bestaat. Een globaal kijkje achter de constructieve schermen.

Hoog Catharijne, Catharijnesingel, verleden en heden

Hoog Catharijne is in de jaren zeventig gebouwd als hypermodern winkelcentrum (foto 2). Het was destijds zelfs het grootste overdekte winkelcentrum van Europa. De realisatie van dit winkelcentrum betekende ook het einde van de Catharijnesingel. Die had zijn functie als vaarroute grotendeels verloren en werd plaatselijk gedempt, om plaats te maken voor een belangrijke verkeersader door de binnenstad: de Catharijnebaan.

ir. Koen van Uffelen, ir. Fokke van Gijn,
ir. Dirk-Jan Kluit
Van Rossum Raadgevende Ingenieurs



Enkele decennia later besloot de gemeente Utrecht, massaal gesteund door de Utrechtse bevolking, de leefbaarheid in dit gebied te vergroten en de oude Catharijnesingel weer in ere te herstellen en het inmiddels verouderde winkelcentrum te vernieuwen en uit te breiden. Met 26 miljoen bezoekers per jaar is Hoog Catharijne nog altijd het drukst bezochte winkelcentrum van Nederland. Het vormt dé verbinding tussen het drukste treinstation van ons land en de Utrechtse binnenstad.

Planbeschrijving

De aanpak van Hoog Catharijne bestaat deels uit aanbouw en verbouw van diverse planonderdelen zoals Clarenburg, de Zuidpassage, het Voorzetgebouw, en deels uit nieuwbouw (fig. 3).

- 1 Breedplaten en versterkte balkstroken in het Entreegebouw
- 2 Hoog Catharijne in 1973
bron: Bureau ir. K.F.G. Spruit
- 3 Overzicht planonderdelen



Normen

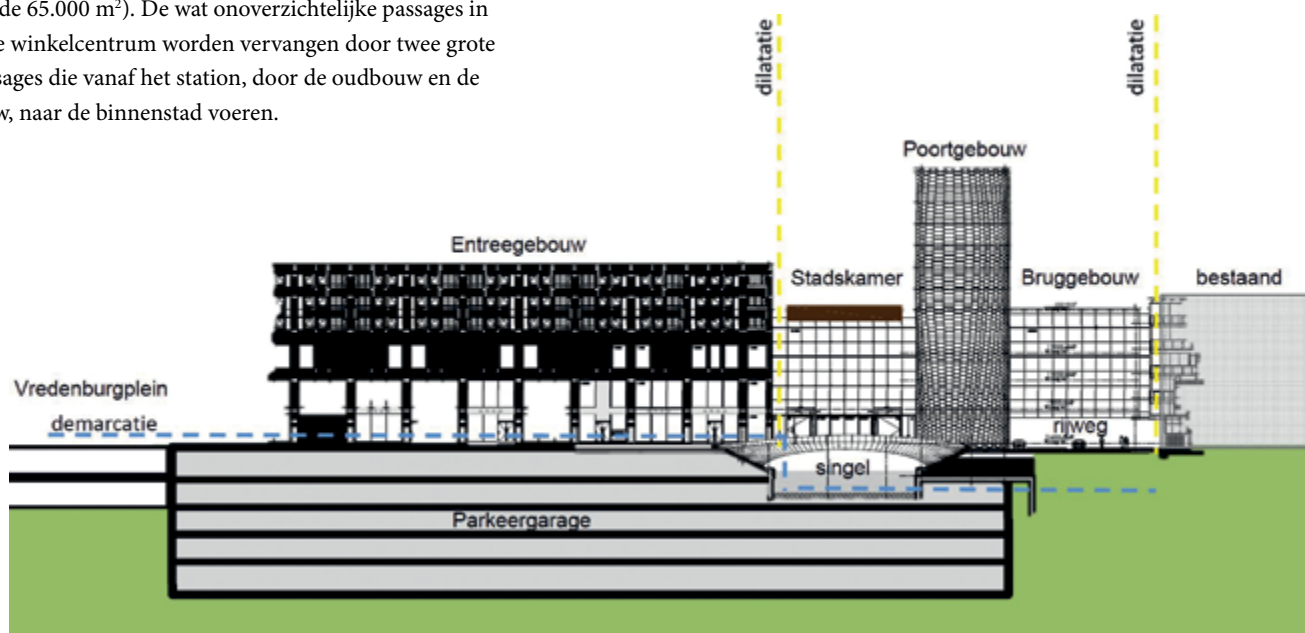
Doordat verschillende planonderdelen onder verschillende bouw-aanvragen vielen, is de parkeerkelder nog volgens de TGB-serie uitgerekend, terwijl het Entreegebouw en Poortgebouw, die hier bovenop staan, aan de Eurocode moeten voldoen. Voor de lasten vanuit de bovenbouw op de onderbouw zijn daarom toeslagfactoren in rekening gebracht om de gevolgen van de Eurocode ook voor de onderbouw en de fundering te laten gelden.

Gezien van het winkelcentrum is de eerste nieuwbouw het zogenoemde Bruggebouw. Dit gebouw bevindt zich boven een drukke verkeersweg langs de singel. Naast het Bruggebouw staat het 42 m hoge Poortgebouw. Daarnaast bevindt zich de Stadskamer, waaronder de nieuwe Catharijnesingel voert (fig. 4). Aan het Vredenburgplein staat vervolgens het Entreegebouw. Onder een aantal van deze gebouwen, namelijk het Poortgebouw, de Stadskamer, de Catharijnesingel en het Entreegebouw bevindt zich een gemeenschappelijke nieuwe vijf-laagse parkeergarage voor 1300 auto's (fig. 5).

Risicoanalyse

Voor dit CC3-project, waarin winkelend publiek, bewoners, forenzen, weg- en waterverkeer met grote regelmaat massaal samenkomen, is een uitgebreide risicoanalyse gemaakt, mede vanwege het grote belang voor de stad Utrecht. In deze analyse zijn, naast de in de voorschriften genoemde buitengewone belastingen, diverse ontwerp-/uitvoeringskeuzen beschouwd. Eén hiervan was het voorkomen van schade aan de belendende bebouwing. Hiertoe is bijvoorbeeld preventief de fundering van het oude Muziekpaleis versterkt.

Het winkelcentrum wordt met 35.000 m² uitgebreid (boven op de bestaande 65.000 m²). De wat onoverzichtelijke passages in het huidige winkelcentrum worden vervangen door twee grote rechte passages die vanaf het station, door de oudbouw en de nieuwbouw, naar de binnenstad voeren.





6

Om het risico op overvloedig lekwater door de kleilaag onder de parkeergarage te voorkomen, werd een permanente polderconstructie uitgesloten en is een rondom waterdichte kelderconstructie ontworpen.

Een ander belangrijk aandachtspunt in de risicoanalyse was de Catharijnesingel, die tussen het Entreegebouw en het Poortgebouw boven de parkeerkelder door zal stromen. Waterdichtheid van deze waterbak is hierbij van het grootste belang.

Bouwfasering

De bouwfasering had grote invloed op de wijze van uitvoering. De directe verbinding tussen het station en het stadscentrum mocht namelijk geen enkel moment buiten bedrijf zijn (de zogenoemde 24-uursroute). De nieuwe Noordpassage, die dwars door het Entreegebouw voert, moest zodoende gereed zijn, alvorens met de sloop van de huidige Zuidpassage mocht worden begonnen (foto 6). Dit heeft tot gevolg dat zowel het Entreegebouw als het Poortgebouw, maar ook het Voorzetgebouw in etappes zal worden opgeleverd.

In het navolgende komen de diverse bouwdelen en hun grootse constructieve uitdagingen achtereenvolgens aan bod.

Vijflaagse parkeergarage/bouwput

Strak te midden van overige bebouwing, is een vijflaagse ondergrondse parkeergarage gerealiseerd. Deze dient tevens als fundering voor diverse bovengelige bouwdelen. De nieuwe parkeergarage resulteert in een bouwkuip van 18 m diep. Om deze waterdicht te maken, is gebruikgemaakt van een tijdelijk gesloten bouwkuip. Tot in de waterdichte kleilaag van Kedichem (NAP -58 m) zijn waterkerende cement-bentonietwan-



7



8

den gerealiseerd. In deze meer dan 60 m diepe wanden zijn stalen damwanden met een lengte van 35 m aangebracht. De bovenste 18 m, het deel in de parkeergarage is volledig afgelast om als permanente grond- en grondwaterkering te dienen.

De bouwput is eerst ontgraven tot -2-niveau. Vanaf dit niveau zijn grote-diameter-boorpalen aangebracht (Ø1500 mm en Ø2000 mm). Alleen het onderste deel van deze boorpalen is gevuld met wapeningskorven en beton. In het bovenste deel zijn de prefab-betonkolommen afgehangen die onderdeel zijn van de onderste kelderverdiepingen (-5- t/m -2-niveau). Na het gereedkomen van de -2-vloer, die op deze prefab kolommen is opgelegd (foto 7) en die direct een stempelfunctie heeft voor de bouwputwanden, kon men gelijktijdig naar boven en naar beneden verder bouwen. Dit zowel door het ontgraven onder de -2-vloer (foto 8) als het omhoog opbouwen van de bovengelige verdiepingen. Voor dit principe is gekozen om een hoge bouwsnelheid te realiseren en voor een zo vroeg mogelijke oplevering van de winkels.

Meer hierover staat in het artikel 'Grensverleggend funderingssysteem in Utrecht', geschreven door BAM A&E, in *Cement* 2014/8.

- 4 Impressie van het Entreegebouw, het Poortgebouw en hiertussen de Stadskamer, waaronder de nieuwe Catharijnesingel voert
- 5 Dwarsdoorsnede Entreegebouw, Poortgebouw en Parkeergarage
- 6 Links op de foto is het (eerste deel van het) Entreegebouw volop in aanbouw; op hetzelfde moment is begonnen met de sloop van de stukjes bestaande bouw boven de bestaande Zuidpassage
- 7 -2-vloer gekoppeld aan prefab-betonkolommen parkeergarage
- 8 Ontgraving onder -2-vloer parkeergarage



9

Entreegebouw

Het Entreegebouw vormt de nieuwe entree van Hoog Catharijne aan de zijde van het Vredenburgplein (fig. 9). Het gebouw staat op de parkeerkelder. Het bestaat uit drie winkelverdiepingen met daar bovenop nog drie lagen met 60 appartementen. Om elke vierkante meter vloeroppervlak zo efficiënt mogelijk te benutten, is voor elke afzonderlijke functie een optimale indeling gekozen. Dit heeft tot gevolg dat de verticale elementen in de draagconstructie vanuit de woningen, winkels en parkeergarage veelal niet recht boven elkaar konden staan (fig. 10). Zo staan de kolommen in de winkels op beganegrondniveau niet recht boven de kolommen in de kelder. Hier is een overdrachtsconstructie bestaande uit betonbalken (in situ) opgenomen van 1200 mm dik om de krachten om te leiden. Op het derde verdiepningsniveau staan de woningwanden veelal niet boven de winkelkolommen van de tweede verdieping (fig. 11). Hier zijn vloer-/balkstroken, variërend van 480/800/1000/1200 mm hoog aanwezig om de krachten om te leiden.

10



Vier betonnen kernen verzorgen de stabiliteit van de verschillende, gedilateerde bouwdeelen.

Bijzonder was ook dat de bouwwerkzaamheden in de kelder al waren gestart, terwijl het Entreegebouw slechts op DO-niveau was uitgewerkt. Hiertoe is een uitgebreid afstemmingsproces tussen boven- en onderbouw opgetuigd om dit op een verantwoorde wijze te kunnen doen.

Flexibiliteit

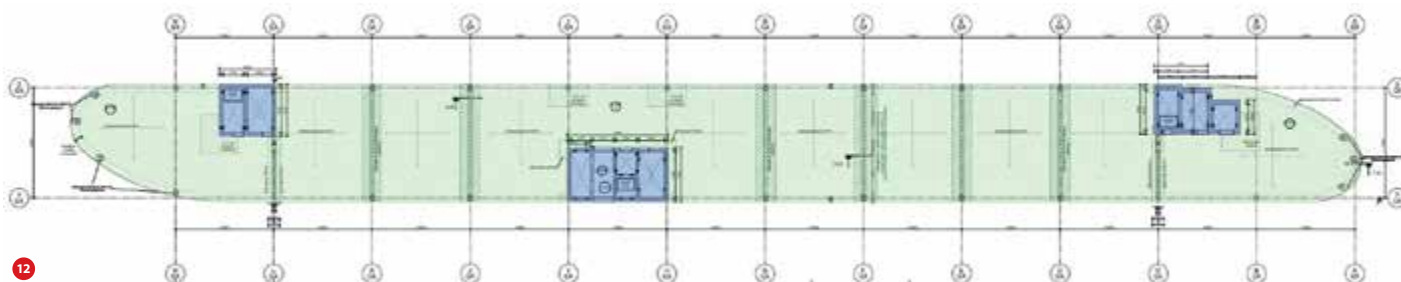
Het sleutelwoord voor de winkelverdiepingen is flexibiliteit. Om voor de huurders een zo flexibel mogelijk ontwerp – voor nu en in de toekomst – te realiseren, zijn er toeslagfactoren op de belastingen gehanteerd en is er, door tussenvelden in de vloer als eindvelden te ontwerpen, rekening gehouden met de mogelijkheid van het maken van vides. Een kolommenstructuur met een combinatie van breedplaatvloeren en versterkte balkstroken bleek hiertoe het meest geschikt (foto 1). Tussen de oplevering van het betoncasco en de opening van de winkels, is er al heel wat gesleuteld om liften, roltrappen of vides te realiseren. Hierbij is dankbaar gebruikgemaakt van de in het ontwerp voorziene flexibiliteit.

Poortgebouw

Midden tussen het Entreegebouw en het oude winkelcentrum, ingesloten tussen de weg en het water van de Catharijnesingel, bevindt zich het Poortgebouw (fig. 4). Net als bij het Entreegebouw zijn de begane grond, eerste en tweede verdieping bestemd voor retail. Vanaf de derde verdieping vestigen zich hier twee hotels (11.600 m²) met een totaal aantal van 320 kamers. Het gebouw is 135 m lang, 42 m hoog en slechts 12 m breed. Het is daarmee zeer slank in relatie tot het door wind



11



12

aangeblazen oppervlak (fig. 12). Dit wordt nog eens versterkt door het feit dat het gebouw aan de zijde van het Bruggebouw over de onderste lagen horizontale gronddruk krijgt te verduren, terwijl zich aan de andere zijde van het gebouw de singel onder de Stadskamer bevindt. Deze gronddruk werkt aanvullend op de windbelasting en geeft extra momenten en dwarskrachten in de kernen.

Kernen

Drie betonnen kernen h.o.h. 40 à 60 m stabiliseren het geheel. Deze kernen hebben een diepte van 6 m (helft van de gebouwdiepte van 12 m). De kernen zijn allen heel stijf uitgevoerd, met wanden van 400 mm dik en op de onderste lagen voorzien van verticale wapening Ø32-150 v/a om de optredende krachten te kunnen weerstaan en het gebouw voldoende stijfheid te kunnen geven. Horizontale vervormingen en trillingen kunnen zo worden beperkt.

De meest noordelijke kern kon, vanwege de verschillende boven elkaar gelegen functies, niet doorgaand worden uitgevoerd. In plaats daarvan verspringt hij horizontaal. Op -1- en -2-niveau worden de krachten door twee-verdiepingen hoge wandliggers van de bovengelegen naar de ondergelegen kern gebracht (fig. 13).



13

- 9 Impressie Entreegebouw
- 10 Dwarsdoorsnede Entreegebouw
- 11 De Noordpassage in het Entreegebouw
- 12 Plattegrond Poortgebouw, waaruit slankheid duidelijk blijkt
- 13 Verspringende kernen Poortgebouw



14

14 Gewichtsbesparende Cobiax-vloeren met geïntegreerde HEM-profielen in het Poortgebouw

15 Het Poortgebouw is deels gefundeerd op de parkeergarage en deels op een tunnel

16 Het Poortgebouw is boven,

17 en door de bestaande Zuidpassage gebouwd

18 Stadskamer met glaspanelen in de vloer

Vloeren

De kernen zijn de enige verticaal dragende elementen die zich in de plattegrond van het gebouw bevinden. Vanwege een optimale flexibele indeling, overspannen de vloeren van gevel tot gevel en zijn alle kolommen in de gevel opgenomen. Om de vloerconstructie met een overspanning van bijna 12 m zo slank mogelijk uit te voeren, zijn hier gewichtsbesparende Cobiax-vloeren ($h = 310$ mm) met geïntegreerde HEM-profielen toegepast (foto 14). Cobiax is een bollenplaatvloersysteem. Vanwege de overspanning in twee richtingen worden er momenten over de voegen overgedragen. Om dit goed te kunnen doen en voldoende afschuifvlak te creëren, is ervoor gekozen om op de aansluiting om en om een bol weg te laten en daar de voegwapening te plaatsen. Dit was overigens al zo uitgewerkt vóór het probleem met de bollenplaatvloeren in de parkeergarage in Eindhoven.

Fundering

Het Poortgebouw is gefundeerd op twee afzonderlijke constructies, namelijk deels op de parkeergarage en deels op



16

een onderliggende tunnel (fig. 15). De te verwachten zettingsverschillen en de bijbehorende optredende krachten zijn in rekening gebracht bij het uitwerken van de bovenbouw.

Omdat de oude Zuidpassage (24-uursroute) tijdelijk gehandhaafd moest blijven, is het Poortgebouw erboven en erdoorheen gebouwd (foto 16, 17). Vier staal-betonkolommen (met een tijdelijke kniklengte van 18 m!) staken hierbij dwars door de bestaande passage en winkels heen. Een overkluizingsconstructie boven het winkelend publiek bood tijdens de bouw fase bescherming.

Na oplevering van de Noordpassage is de oude Zuidpassage voorzichtig tussen deze kolommen uit gesloopt en zijn de drie nieuwe verdiepingen van het Poortgebouw ertussen gebouwd, terwijl de rest van het Poortgebouw al gereed was met gevel en al. Op het niveau van de begane grond en de eerste verdieping is vervolgens de nieuwe Zuidpassage gebouwd, in een compleet nieuw jasje.



15



Stadskamer & Bruggebouw

De Stadskamer is een moderne lichte ruimte tussen het Entreegebouw en het Poortgebouw. Het bevindt zich midden in Hoog Catharijne en is tevens de belangrijkste openbare ruimte.

Onder de Stadskamer voert de Catharijnesingel. Doordat in de vloer 250 m² glaspanelen zijn verwerkt, ontstaat er een duidelijke interactie tussen publiek/reizigers met de singel (foto 18).

Het Bruggebouw bevindt zich tussen het Poortgebouw en het oude winkelcentrum. Het vormt de overgang over de weg langs de singel.

Vloeren

Zowel de Stadskamer als het Bruggebouw kenmerken zich door grote overspanningen (van 20 m) en slanke vloerconstructies waarbij trillingseisen bepalend zijn in het constructief ontwerp.

De vloer van de Stadskamer moet de singelbreedte van 20 m overbruggen. De vloer draagt enerzijds (horizontaal gedilateerd) af op het Entreegebouw en anderzijds op het Poortgebouw. Om een optimale vrije vaarhoogte onder deze vloer te realiseren, mocht het vloerpakket een maximale constructiehoogte van 920 mm hebben.





19

Vanwege de bijeenkomstfunctie (belasting $5,0 \text{ kN/m}^2$), de grote overspanning en de eis waarbij de eerste eigenfrequentie van de vloer niet lager mag zijn dan 5 Hz, bleken trillingen bepalend voor het ontwerp van de vloer.

Met de toepassing van een prefab TT-plaatvloer van 770 mm met hierop een druklaag van 150 mm kon, door deze in te klemmen aan de zijde van het Poortgebouw, aan de eisen worden voldaan en een eigenfrequentie van 5 Hz worden gehaald.

Op de eerste verdieping bevinden zich voetgangersbruggen ter plaatse van de Noord- en de Zuidpassage. De bruggen moesten slanker zijn dan die op beganegrondniveau. Door de samenwerking van stalen liggers met een hieraan verdeuvelde betonvloer



20



21

19 Impressie Voorzetgebouw

20 Staalconstructies onder de vloer om de krachten van de kolommen over te dragen in het Voorzetgebouw

21 Vakwerkconstructie ter plaatse van de kolomvrije entree van het Voorzetgebouw

kon voor de bruggen de benodigde minimale eigenfrequentie van 4 Hz worden gehaald.

Voorzetgebouw

Het Voorzetgebouw vormt de entree van Hoog Catharijne aan de zijde van het Stationsplein (fig. 19). Het is tegen de bestaande constructies van het oude winkelcentrum aan gebouwd. De vloeren van het nieuwe gebouw dragen deels af aan de bestaande bebouwing. Om de belastingen te beperken, is hier voor verschillende lichte vloertypen gekozen, zowel staalplaatbetonvloeren als bollenplaatvloeren. Deels draagt het gebouw af op 's werelds grootste fietsenstalling onder het Stationsplein.

Om nieuwe kolomvrije loopstromen te realiseren, zijn diverse bestaande betonkolommen uit het te behouden deel van Hoog Catharijne gesloopt en hergepositioneerd. De zes bouwlagen van de kantoren boven het bestaande winkelcentrum, die op deze kolommen rusten, moesten hierbij wel in bedrijf blijven. Om krachten om te leiden, zijn binnen de plafondhoogten staalconstructies gerealiseerd (fig. 20) en is gebruikgemaakt van permanente vijzelconstructies. Deze vijzelconstructies waren hier nodig om de te verwijderen constructie-elementen te ontlasten en de krachten via de stalen frames om te leiden naar naastgelegen kolommen. Deze vijzels zijn blijven zitten zodat er, na realisatie, nog kan worden bijgevijseld om de vervormingen te beheersen.

Vanwege een kolomvrije entree met een breedte van 30 m is op de bovenste verdiepingen een 6 m hoog vakwerkspant gerealiseerd, waar de gevel naast dat deze eraan is opgehangen tevens horizontaal door wordt gesteund (fig. 21).

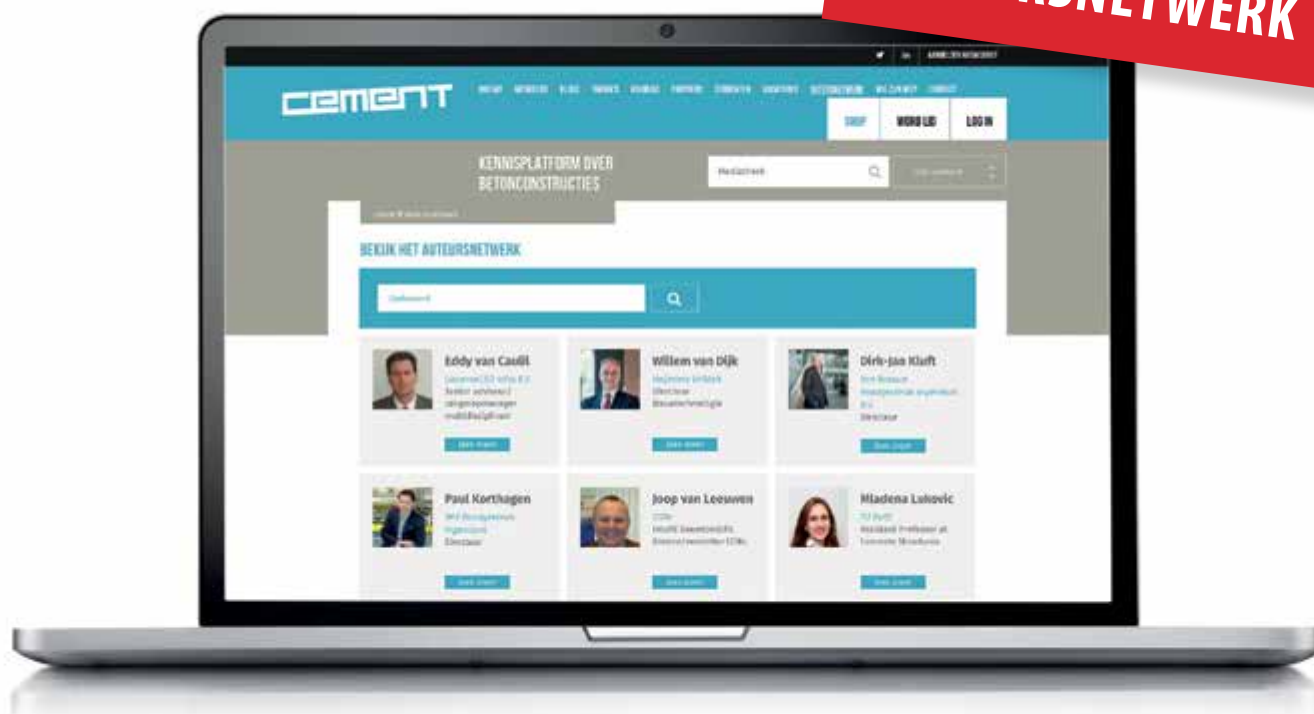
Tot slot

Het voor de jaren zeventig nog zo vooruitstrevende en hypermoderne winkelcentrum, maar anno 2018 verouderde, chaotische doolhof van Hoog Catharijne, heeft met de gerealiseerde (ver)bouw een spiksplinternieuwe jas aan gedaan. Ruimtelijkheid – vanwege de grote verdiepingshoogten van winkels en vooral de brede en hoge passages – en licht – vanwege de vele glaspartijen in gevels en daken van passages – zijn hierbij de opvallendste veranderingen. Een mix van functies komt samen en met de in ere herstelde singel en enkele opgegraven restanten van Kasteel Vredenburg (waar in de nieuwe parkeergarage een plekje voor is gevonden) is er ook ruimte voor sentiment en een vleugje geschiedenis.

Na een bouwperiode die in 2012 is gestart, zullen naar verwachting de laatste delen van het nieuwe Hoog Catharijne in 2019 worden opgeleverd. ☒

LEER DE AUTEURS VAN CEMENT KENNEN!

**NIEUW:
AUTEURSNETWERK**



ONS AUTEURSNETWERK

- krijg inzicht in kennis van onze auteurs
- neem met één klik contact op
- wissel kennis uit

Kijk op WWW.CEMENTONLINE.NL/AUTEURSNETWERK



Boeiende draagconstructie voor nieuwbouw De Bastei in Nijmegen

Innovatief bouwen tussen archeologie



ir. Ronald Wenting

ABT

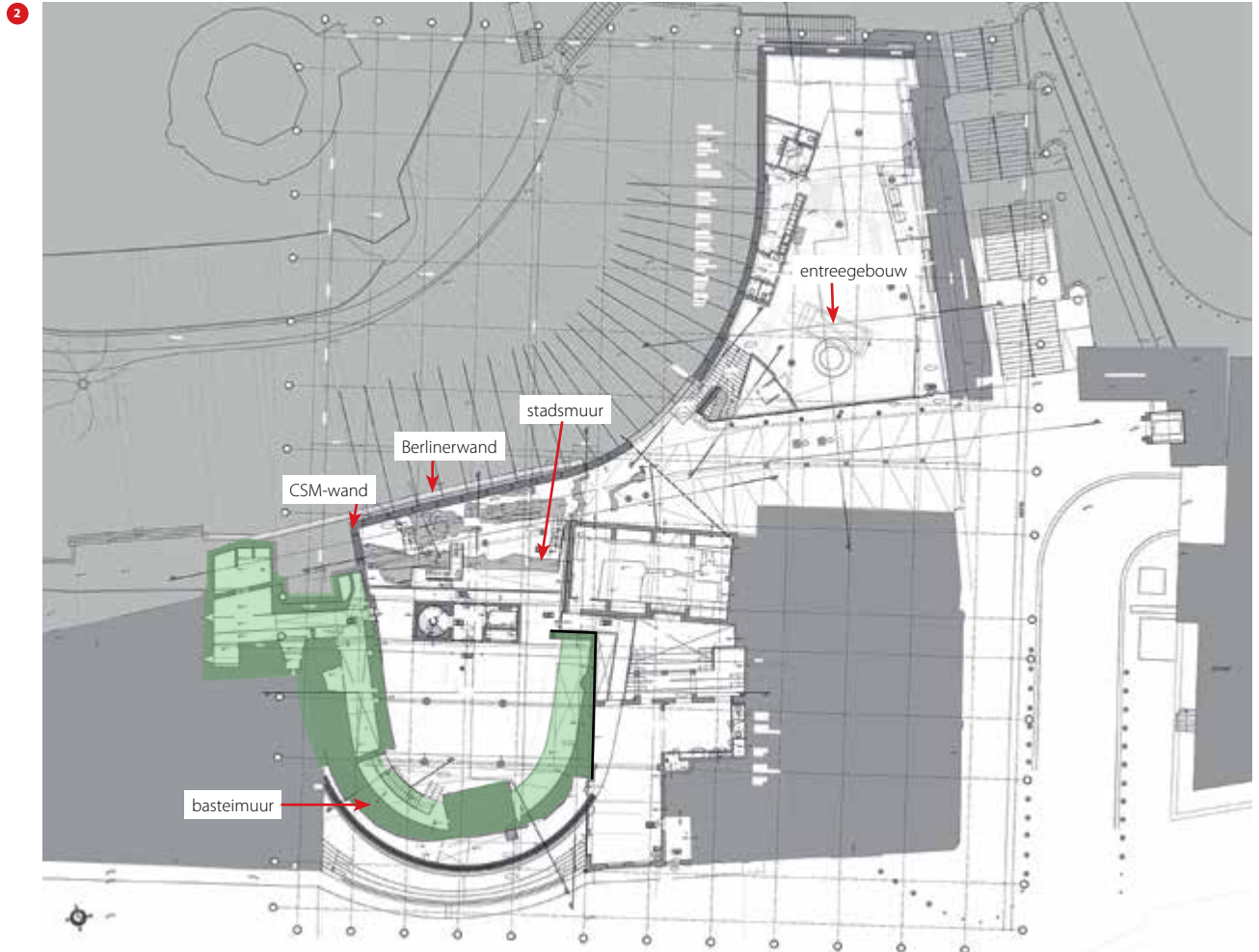
ir. Marlène van Gessel

van roosmalen van gessel architecten e.p.

1 De Bastei aan de Waalkade, met daarachter de Valkhofheuvel met op de uiterste rand de St. Nicolaaskapel

foto: bureau Beeldtaal

2 Plattegrond van De Bastei met in groen de restanten van de oude toren



Aan de voet van de Valkhofheuvel, aan de Waalkade in Nijmegen, is een fascinerend nieuw museum gebouwd op, over en in een middeleeuwse verdedigingstoren. Tijdens de bouw zijn belangwekkende archeologische vondsten aangetroffen die op fraaie wijze in het plan zijn opgenomen. De draagconstructie is mede daardoor spectaculair geworden met onder meer hoge grondkerende CSM-wanden, ruim 10 m lange boomstammen als kolommen en een kern van zandkleurig schoonbeton. Blikvanger van het project is een grote uitkragende, volledig glazen erker.

Het nieuwe museum De Bastei, centrum voor natuur en cultuurhistorie (foto 1) slaat een brug tussen historie en eigentijdse kwesties, passend bij de oudste stad van Nederland. De archeologische vondsten die tijdens de bouw zijn blootgelegd, boden een unieke kans dat verhaal kracht bij te zetten en te laten zien hoe de stad vanouds reageerde op haar levensader: de Waal.

De ontwerpogave was het bestaande museum en rijksmonument De Stratemakerstoren op deze plek uit te breiden en geschikt te maken voor een nieuwe gebruiker. De basis voor het ontwerp is een middeleeuwse hoefijzervormige toren (fig. 2) met een inwendige kanongang, een zogenoemde bastei. Zo'n bastei is met aarde gevuld. In de jaren tachtig is, na het bloot-



3

3 Het entreegebouw aan de achterzijde van De Bastei, ingebed tussen de Valkhofheuvel en de muur van het Groene Balkon

foto: Gersfotografie

4 Het uitgraven van de bouwput met de archeologische vondsten en getrapte grondkering voor de bouwput: achtereenvolgens de middeleeuwse stadsmuur, de nieuwe CSM-wand (rechtsboven) en de bestaande berlinerwand (achter de CSM-wand)

bron: ABT

leggen van de toren, al een groot deel van die aarde afgegraven. Door het volume verder uit te graven en de ruimte vervolgens in te vullen met enkele verdiepingen konden expositieruimten worden gerealiseerd.

Het museum is aan de Waalkade voorzien van een nieuwe gevel. Schuin achter De Bastei is een entreegebouw gerealiseerd, tussen de Valkhofheuvel en een muur van het Nijmeegse 'Groene Balkon' (foto 3).

De entree is, via een onderdoorgang onder een straatje aan de achterzijde van De Bastei, verbonden met het museumgedeelte. Er is bewust gekozen de entree aan de achterzijde van het plan te positioneren, aangezien een verdedigingswerk geen entree aan de aanvalszijde heeft.

De voorgevel is een achteroverhellende conisch gemetselde wand. De Bastei heeft daarmee zijn oorspronkelijke verschijningsvorm teruggekregen.

Op een markante plek in deze gevel kraagt een volglazen tweeverdiepingshoge erker uit, die zowel binnen met buiten als museum met rivier en natuur verbindt.

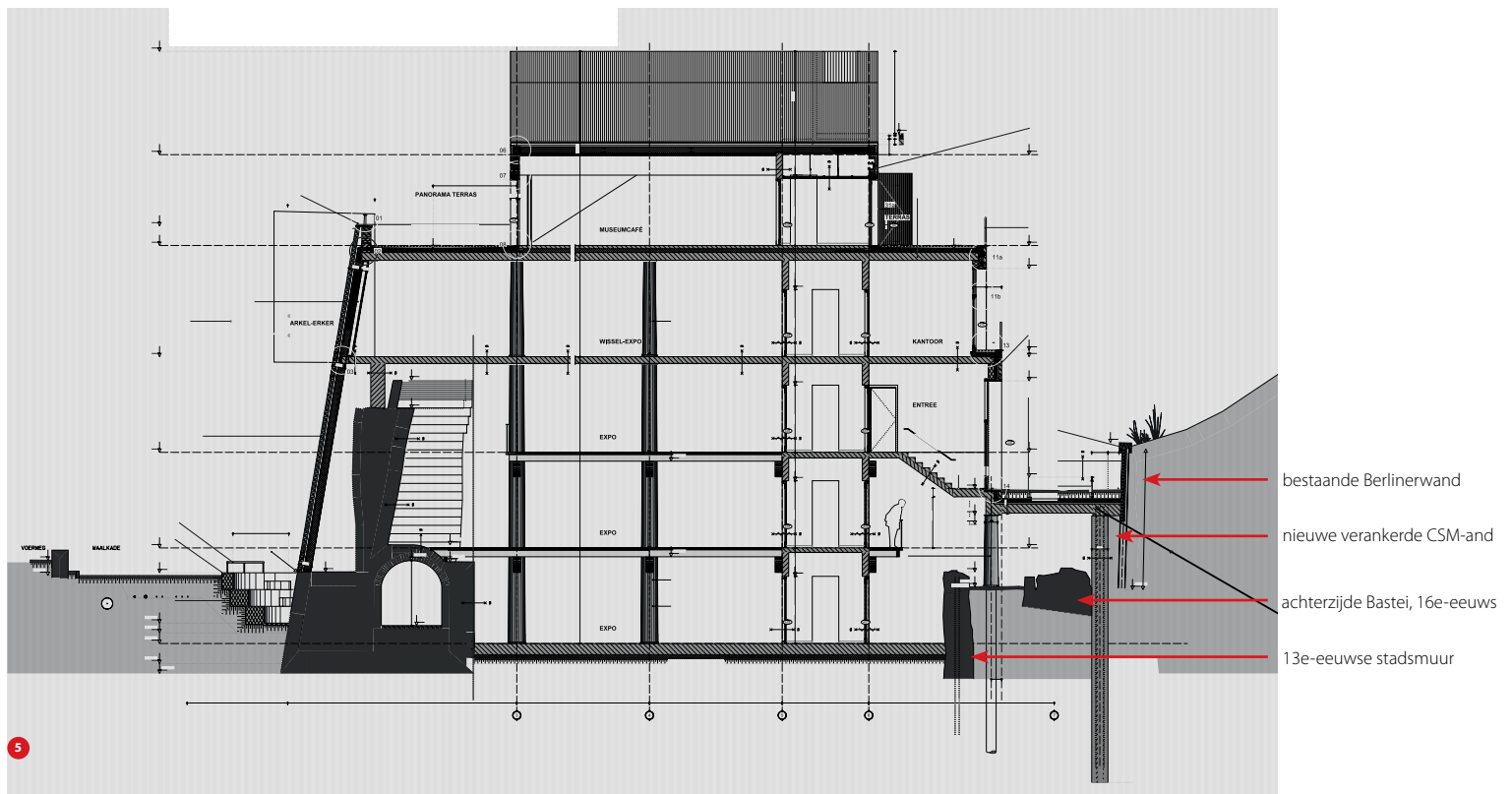
Grondkering

Gelet op de bijzondere plek in de stad, met name omdat er aan de voet van het grondmassief van het Valkhof werd gegraven, is veel aandacht besteed aan het ontwerp van de benodigde grondkeringen. In de jaren tachtig is hier een grondkerende berlinerwand aangebracht, die het grondpakket van de heuvel boven straatniveau keert en stabiliseert, nadat een deel van de heuvel dreigde af te glijden. Deze berlinerwand was volstrekt ontoereikend voor de nieuwe situatie.

Om elke beweging van de grond uit te sluiten en het grondmassief van de heuvel voor de 6 m diepe kelder te keren, is in overleg met de aannemer een stijve grondkerende CSM-wand (cutter soil mix) toegepast (fig. 5). De hoge stijfheid van de wand in combinatie met de verschijningsvorm waren de voornaamste redenen hiervoor te kiezen. Om het krachten spel in de grondkering in toom te houden, waren twee ankerrijen voorzien. Eén rij ter hoogte van het betonnen dek op straatniveau en één rij halverwege de ontgraving.

4





Archeologische vondsten

Tijdens de ontgraving kwamen bijzondere archeologische vondsten naar boven, zoals de achterzijde van De Bastei, de stadsmuur met toren uit de 13e eeuw, Romeinse muren uit de 1e en 4e eeuw, én funderingen van bakstenen huizen uit de 14e eeuw (foto 4). De stadsarcheologen en rijksarcheoloog zijn dan ook nauw betrokken geweest bij de realisering van dit project. Bijzonder is dat uiteindelijk alle archeologische vondsten in situ zijn bewaard en in het museum zijn ingepast. Dit kon alleen dankzij de nodige inventiviteit en intensieve samenwerking tussen alle betrokken partijen. Elke nieuwe vondst kon betekenen dat het ontwerp met bijhorende uitvoeringswijze moest worden aangepast en bijgesteld.

Ontgravingsdiepte

Door de archeologische vondsten kon de tweede ankerrij voor de CSM-wand niet worden gerealiseerd. Hierdoor werd de ontgravingsdiepte voor de kelder gelimiteerd: berekeningen in Plaxis toonden aan dat het krachterspel in de CSM-wand bij dieper uitgraven ontoelaatbaar hoog zou worden. Maar dieper uitgraven was wel gewenst, enerzijds om de archeologische

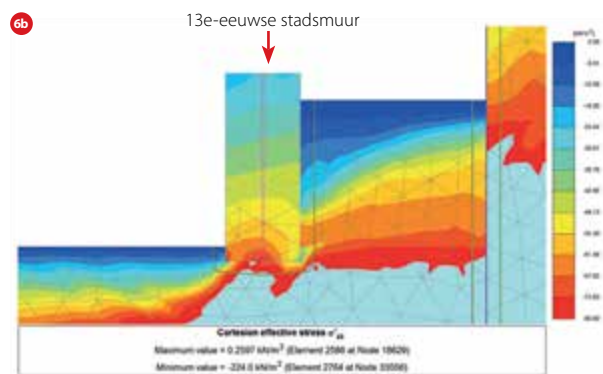
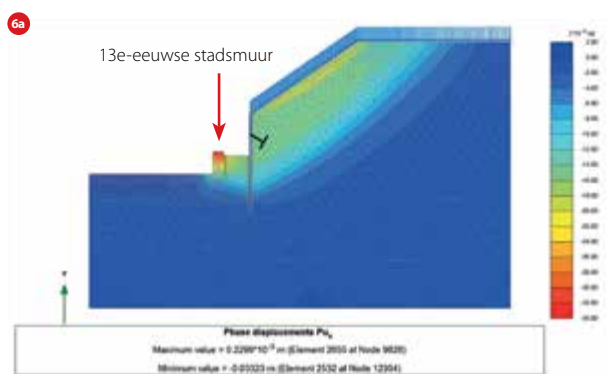
vondsten goed zichtbaar te maken, anderzijds om de kelder voldoende vrije hoogte te kunnen geven.

De oplossing is gevonden in een optimalisatie van de ontgravingsniveaus langs de verschillende tracés in de bouwput en om de oude stadsmuur – die vóór de CSM-wand ligt – in te zetten als extra steun. Deze ruim 1 m brede bakstenen stadsmuur uit de 13e eeuw was een van de archeologische vondsten. Ook is de ontgravingsdiepte 0,5 m verminderd ten opzichte van het oorspronkelijke ontwerp.

Om de stadsmuur als steun in te kunnen zetten, is onderzoek gedaan naar de samenhang van het metselwerk van deze muur en de grondgesteldheid eronder. Hiervoor zijn kernboringen over de volledige hoogte van de stadsmuur verricht. Het metselwerk bleek in goede staat. Ook bleek de grondgesteldheid onder de muur zand te zijn en zodoende voldoende draagkrachtig (fig. 6). Om de krachten in de stadsmuur te kunnen opnemen, is deze versterkt met acht groutinjectiepalen ($\varnothing_{\text{groutlichaam}} 170 \text{ mm}$ met stalen buistype $\varnothing 60,3 \times 16 \text{ mm}^2$, h.o.h. ca. 1,2 m) die vanaf de bovenzijde in het hart van de wand door de wand zijn aangebracht.

5 Dwarsdoorsnede met links de opgehoogde Waalkade, rechts daarvan de restanten van de oorspronkelijke bastei met kanongang en geheel rechts de grondkerende constructie aan de voet van de Valkhofheuvel
bron: De Twee Snoeken

6 Weergave van de de vervormde toestand (a) en spanningen onder de stadsmuur (b) uit het Plaxis-rekenmodel van de grondkerende constructie
bron: ABT





7

7 De beschikbare werkruimte voor uitvoering van de grondkerende constructie was erg beperkt

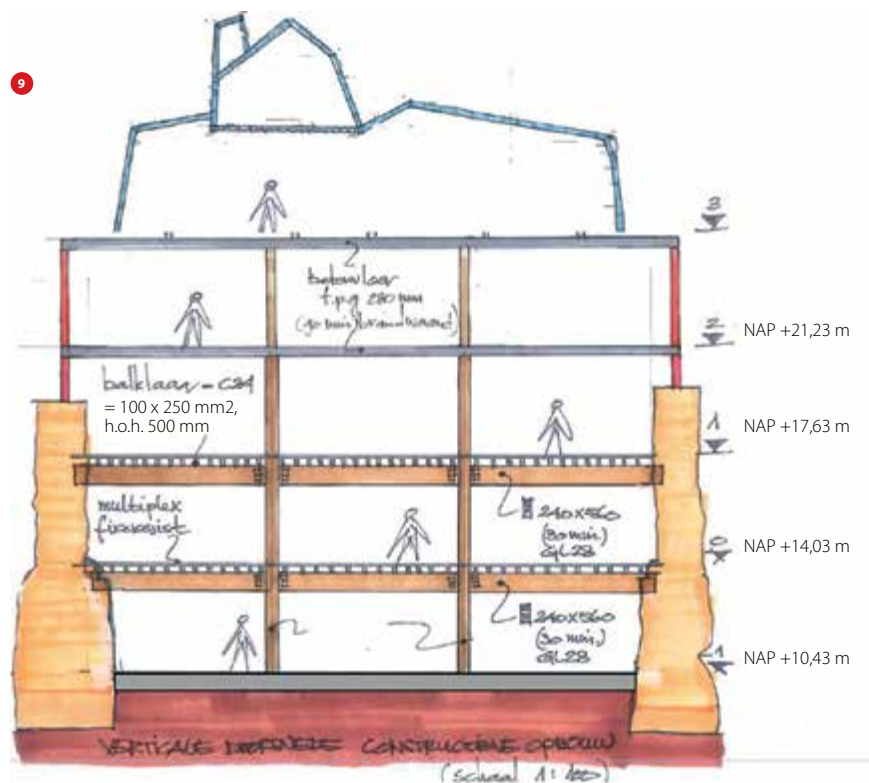
bron: ABT bv

8 Douglasboomstammen tussen de muur-resten. Archeologische vondsten zichtbaar in het museum, net als de grondkerende CSM-wand op de achtergrond

bron: De Bastei

9 Verticale doorsnede met schematisch weergegeven de laagsgewijze stapeling van verschillende constructiematerialen met de over drie verdiepingen doorgaande dragende douglassparren

bron: ABT bv



9

Beperkte werkruimte

Door de binnenstedelijke locatie, het smalle straatje en de aanwezige bebouwing, was de werkruimte voor de aannemer uiterst beperkt. Ook de aanwezige archeologische vondsten vroegen om uiterste zorgvuldigheid. Dat bepaalde welk type materieel kon worden ingezet. Ook heeft dit geleid tot herhaaldelijk grondverzet om tijdelijke werkplateaus te maken. De uitvoering werd hierdoor een uitdagende operatie (foto 7).

Stapeling constructiesystemen

De constructie van de vloeren van De Bastei zijn ontworpen als een stapeling van constructiesystemen in verschillende constructiematerialen. 10 m hoge douglasboomstammen dragen grotendeels de verdiepingen (foto 8). De onderste twee verdiepingen hebben een houten vloerconstructie met gelamineerde houten liggers $240 \times 560 \text{ mm}^2$ bevestigd aan de boomstammen en opgelegd in sparingen in het historische muurwerk. Daarop ligt een vloerpakket, uitgevoerd als een zo compact mogelijke 'constructieve sandwich' van 70 mm dik bestaande uit OSB-plaat, houten regels en multiplexplaat. Het pakket wordt gedragen door houten balklagen $96 \times 246 \text{ mm}^2$ (fig. 9). In het pakket zijn vloerpotten en leidingen voor verlichting en data aangebracht.

De twee bovenliggende vloeren zijn vlakke massieve betonnen plaatvloeren met een dikte van 280 mm. Deze waren nodig vanwege de brandcompartimentering in het gebouw en voor een reductie van de vloerhoogte om binnen de voorgeschreven maximale gebouwhoogte te blijven.

De dakopbouw is door de gearticuleerde vorm uitgevoerd in een lichtgewichtstaalconstructie en ingevuld met een houtskelletpakket met eikenhouten latten als bekleding.

Voor de hoofdconstructie, ook de houten boomstammen geldt een brandwerendheidseis van 90 minuten. Voor de houten liggers en balken is die eis 30 minuten.

Stabiliteit

De stabiliteit van de constructie in zowel dwars- als langsrichting wordt gewaarborgd door de bestaande basteimuur in combinatie met de betonnen kern rondom lift en trap in het hart van De Bastei. De wanden van de kern hebben een wanddikte van 250 mm en zijn uitgevoerd in schoonbeton. Om de wanden een levendige structuur te geven waarin de delen en zelfs de houtvezels soms leesbaar zijn, zijn gezaagde



8



11

vurenhouten planken in de bekisting opgenomen. Op basis van enkele monsters is proefondervindelijk de juiste zanderige kleur bepaald. Met toevoeging van geel pigment bleek de van nature wat blauwige koude eigen kleur van het standaardbeton een meer natuurlijke kleur te krijgen. Deze specie als basis, de bekisting en de verwerking ter plaatse resulteerden in het gewenste karakter dat op sommige plekken als 'béton brut' te karakteriseren is (foto 11), wat uitstekend accommodeert met de bestaande mergelmuren.

Fundering

De constructie is gezien de aanwezige zandgrond gefundeerd op staal, net als de oorspronkelijke basteimuur. Uitgangspunt in het constructieve ontwerp was om zo veel mogelijk van het toegevoegde gewicht van de nieuwe constructies door nieuwe funderingselementen te laten dragen en zo de bestaande basteimuur niet substantieel meer te belasten. De keldervloer is daarom uitgevoerd als een 400 mm dikke geïsoleerde plaat-fundering op staal. Ter plaatse van archeologische vondsten is gekozen de dragende kolommen te funderen op palen. Hierdoor konden de funderingspoeren kleiner blijven en zorgvuldig worden ingepast, waardoor de archeologie maximaal gespaard kon worden. Vanwege de beperkte uitvoeringsruimte is gekozen voor groutinjectiepalen, $\varnothing_{\text{groutlichaam}} 370$ mm met stalen buis $\varnothing 101,6 \times 22$ mm². Deze konden worden ingebracht met licht materieel dat ook is gebruikt voor het realiseren van de groutankers voor de ankerrijen van de CSM-wand.

Douglassparren als kolommen

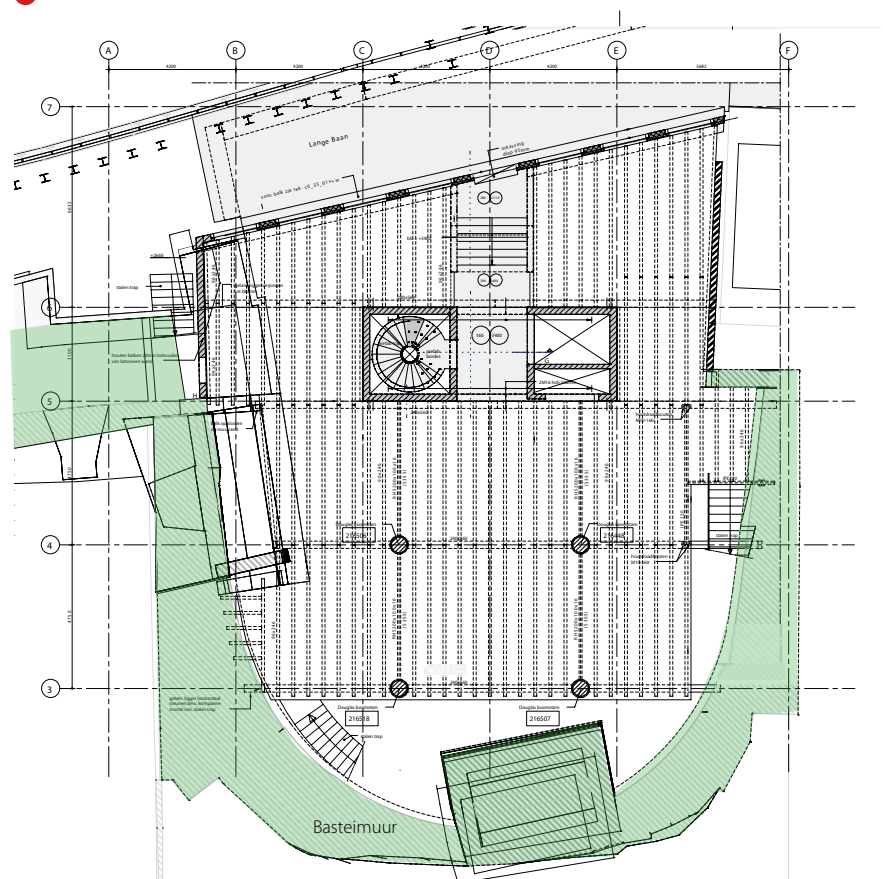
Voor de kolommen in het gehele project, zowel in De Bastei als in het entreegebouw, zijn boomstammen van douglassparren gebruikt (foto 12). Deze sluiten goed aan bij de duurzaamheidsgedachte van het museum en passen in deze middeleeuwse setting.

De bomen zijn afkomstig uit de bossen van Staatsbosbeheer, één van de partners van De Bastei. Onder de onderste drie lagen van De Bastei zijn er vier drie verdiepingshoge boomstammen met een gemiddelde diameter van circa $\varnothing 600$ mm aangebracht met een lengte van ruim 10 m. Op de verdieping daarboven zijn een verdiepingshoge boomstammen met een gemiddelde boomdiameter van circa $\varnothing 420$ mm geplaatst, die de betonnen vloer dragen.

10 Plattegrond inbouwverdieping met houten vloerconstructie en BIM-model draagconstructie
bron: ABT bv

11 Het beton heeft een levendige structuur en een zanderige kleur

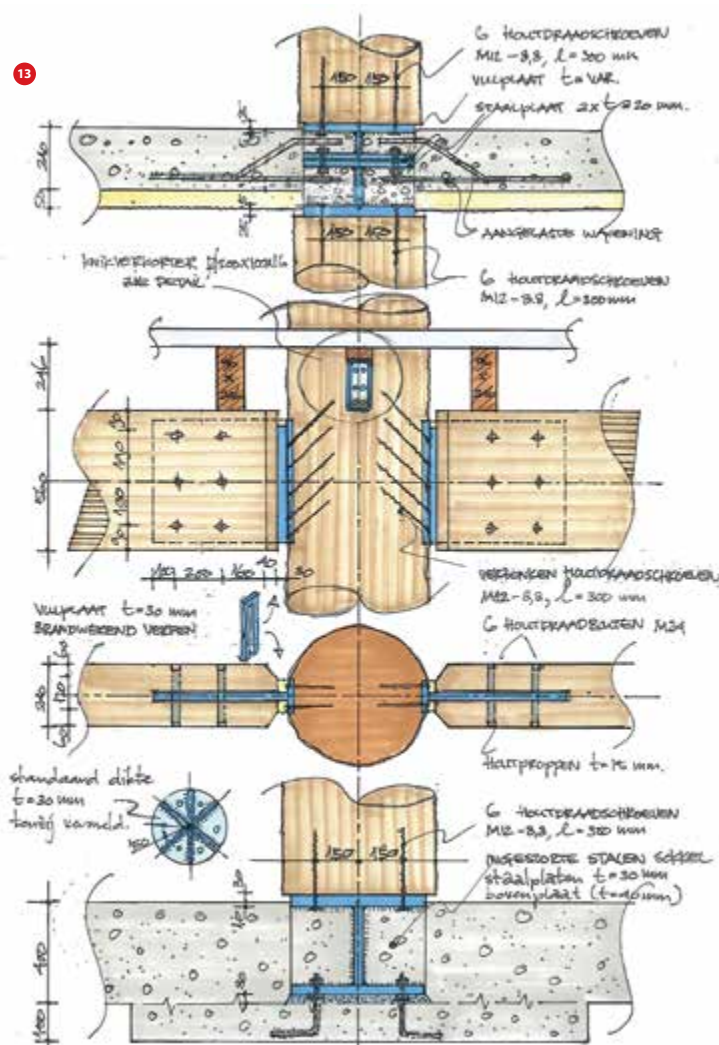
10



De nodige aandacht is uitgegaan naar architectonische, constructieve en uitvoeringstechnische aspecten van de details, mede om recht te doen aan het principe ‘ruwbouw is afbouw’. Voor de verbinding van de gelamineerde vloerbalken met de boomstammen heeft ABT een detail ontwikkeld (fig. 13). Hierbij is een stalen T-plaat aan de boom geschroefd met 300 mm lange voldaadschroeven (M12) die 45° omhoog wijzen. Het lijf van de stalen T-plaat is als slisplaat ingelaten in de gelamineerde liggers.



14



Innovatief bouwen tussen archeologie

12 Douglassparren als kolommen

bron: ABT bv

13 Aansluitdetails douglasboomstammen

bron: ABT bv

14 Uitkragende volledig glazen erker aan de voor-

zijde van De Bastei aan de Waalkade, met een fantastische blik op de Waal en de uiterwaarden

foto: Pieter Kers / beeld.nu

moet worden voorkomen. Dit betekent dat de slisplaat momentvast aan de ligger moet worden bevestigd en dat de passing van de stiften in het hout en staal met minimale tolerantie moet worden uitgevoerd. De aannemer heeft deze klus geklaard door de gaten in de liggers in het werk in te meten en daarna pas te boren. Hierdoor kon een passende verbinding worden gemaakt.

Aansluiting hout-beton

Aan de onderzijde staan de boomstammen op stalen sokkels die zijn geïntegreerd in de betonnen funderingspoeren (fig. 13). Op deze manier konden de bomen goed worden gemoniteerd en is er een relatief simpele en nastelbare verbinding gerealiseerd. Belangrijk aandachtspunt voor de uitvoering was dat de bomen exact haaks moesten worden afgezaagd voor het voorkomen van spanningsconcentraties in het hout.

Dit geldt ook voor de verbinding aan de bovenzijde waar de betonnen vloerplaten op de boomstammen zijn opgelegd. Hier is voor de oplegging een staalplaat met vordraadschroeven in de boomstammen geschroefd om ook hier spanningsconcentraties in het hout te voorkomen. Door fixatie van de bomen met uitsluitend een ingelijmd anker (M24) in het hart van de boomstammen wordt voorkomen dat de bomen ongewenste inklemmingsmomenten aantrekken.

Op dit niveau 2 zijn de ondergelegen boomstammen gekoppeld met de bovenliggende boomstammen op niveau 3. Ook hier is gebruikgemaakt van stalen sokkels voor de nastelbaarheid. Aan deze sokkels is in de fabriek ophangwapening gelast met krachtslassen. Samen met de ponswapening zorgen deze voor de krachtsinleiding van de krachten uit de niveau-2-vloer in de boomstammen (fig. 13).

Door inspanningen van het bouwteam voor een zorgvuldige detaillering is een fraai resultaat ontstaan.

Glazen uitkragende arkelerker

Icoon van het project is een uitkragende volledig glazen erker aan de Waalzijde (foto 14). Dit contrastrijke element verwijst naar het oorspronkelijke gemetselde arkeltorentje, een klein uitkragend torentje aan de bovenzijde van de toren. De huidige erker biedt fantastisch zicht op de Waal en wijde omgeving en 's avonds fungeert deze als lichtbaken.

De bezoeker kan de erker vanaf twee niveaus betreden. Het onderste niveau is bereikbaar vanuit de wisselexpositieruimte in het museum. Het bovenste niveau van de erker is een balkon en is toegankelijk vanaf het dakterras.

De uitkraging van de erker uit de metselwerkgevel bedraagt 3,2 m. De erker is 2 m breed en 5,5 m hoog. Daardoor is een

bijzondere, volledig transparante ruimte ontstaan waarin zonder enig probleem meerdere mensen kunnen staan.

De erker is volledig geïsoleerd uitgevoerd met een binnenruit en buitenruit inclusief spouw om koudebruggen en condensvorming op het glas te voorkomen. De glazen wanden bestaan uit een dragende buitenruit 3 × 12 mm dik gehard glas en een binnenruit van enkellaags gehard glas, 12 mm dik. De binnenruit vormt daarmee de thermische schil die tegen de constructief gelaagde buitenruit is geplaatst.

Om de ontwerpambitie van een volledig glazen erker te realiseren, is aandacht besteed aan de ogenschijnlijk minimale verbindingen. De glazen vloeren zijn via een stalen kader gefixeerd aan de glazen wanden met behulp van rozetten. Door deze in het vloerpakket te integreren is de aanwezigheid ervan beperkt. Door een uitgekiende detaillering is het gelukt de overige verbindingen aan het zicht te onttrekken met een maximale transparantie als resultaat.

Tot slot

Na een bouwperiode van drie jaar vol verrassingen en onverwachte vondsten, is het museum in mei 2018 opengegaan. Nijmegen is daarmee een boeiend museum rijker waarbij de bezoekers ondergronds 2000 jaar geschiedenis van de oudste stad van Nederland kunnen ervaren en beleven. Nieuwe inventieve bouwtechnieken en ook een intensieve samenwerking hebben het mogelijk gemaakt dit museum te realiseren. Het is zeker een bezoek waard. ☒

PROJECTGEGEVENS

project De Bastei Nijmegen

opdrachtgever gemeente Nijmegen

partners Museum de Stratemakerstoren, Natuurmuseum Nijmegen, Staatsbosbeheer, IVN Rijk van Nijmegen, Rijkswaterstaat Oost-Nederland

gebruikers De Bastei, centrum voor natuur en cultuurhistorie

ontwerp en detaillering van roosmalen van gessel architecten e.p.

bouwkundig tekenwerk De Twee Snoeken

constructeur ABT bv

aannemer Mertens Bouwbedrijf

adviseur installaties-bouwfysica-brandveiligheid DWA

bruto vloeroppervlak ca. 3000 m²

bouwperiode mei 2015 – mei 2018 (met een onderbreking van ruim een halfjaar. In verband met de archeologische vondsten is alles op alles gezet deze te behouden. Ter compensatie is het entreegebouw vergroot. Daarvoor was behalve een nieuw ontwerp ook een nieuw bestemmingsplan nodig)

bouwkosten ca. € 8.500.000,-

Afstudeerscriptie

Een link naar de afstudeerscriptie 'Trillingen van betonnen voetgangersbruggen', waarnaar in dit artikel wordt verwezen, staat bij dit artikel op [Cementonline](#).

Onderzoek naar versnellingen betonnen voetgangersbrug met korte overspanning als gevolg van joggers

Joggersbelasting in norm reëel?

In de Eurocode wordt voorgeschreven om de te verwachten versnellingen van voetgangersbruggen, als gevolg van joggers, te berekenen door een harmoniserende puntlast te plaatsen halverwege de overspanning. De vraag is of dit wel reëel is. Uitkomsten verkregen met de norm zijn vergeleken met zowel een alternatieve rekenmethode als met meetresultaten uit de praktijk. Dit leidt tot interessante inzichten.

Er worden steeds slankere betonnen voetgangersbruggen ontworpen. Redenen hiervoor zijn esthetische waarde, duurzaamheid en bouwkosten. Een mogelijke bijkomstigheid van het slanker ontwerpen is dat deze bruggen een eigenfrequentie krijgen die zodanig laag is, dat deze in het frequentiegebied terechtkomt waarin een persoon zich voortbeweegt. Hierdoor kunnen trillingen van het brugdek optreden. Als de stapfrequentie van de persoon die zich over de brug voortbeweegt gelijk is aan de eigenfrequentie van de brug leidt dit tot resonantie, waarbij de optredende versnellingen van de brug de versnellingslimiet kunnen overschrijden.

Toetsing

Voetgangersbruggen moeten volgens de Eurocodes worden getoetst op comfort als de eigenfrequentie van het dek kleiner is dan 5 Hz [1]. Hierbij wordt gekeken naar versnellingen die optreden als gevolg van voetgangers en joggers, waarbij de optredende versnellingen de gegeven versnellingslimieten niet mogen overschrijden. Zowel de nationale bijlage van Eurocode 1990 [1] als de nationale bijlage van Eurocode 1991-2 [2] verwijst naar de richtlijn EUR 23984 EN 'Design of Lightweight Footbridges for Human Induced Vibrations' [3]. In deze richtlijn staat de te hanteren rekenmethode om de te verwachten

versnellingen van het brugdek te berekenen. Tevens zijn versnellingslimieten gegeven, die zijn ingedeeld in comfortklassen (onafhankelijk of de versnelling wordt opgewekt door voetgangers of joggers).

Volgens de Eurocode (NEN EN 1991-2 NB.A.3.3) wordt een harmoniserende puntlast, die de jogger representeert, halverwege de overspanning gemodelleerd. Hierna wordt voor de toetsing de versnelling van het systeem in rekening gebracht, die optreedt na een oneindig lange tijdsperiode. Deze oneindig lange tijdsperiode wordt ook wel de 'steady-state' genoemd. De vraag is of dit een realistische benadering van de werkelijkheid is. Het mag dan misschien een goede benadering zijn voor voetgangersbruggen met een lange(re) overspanning, maar als wordt gekeken naar voetgangersbruggen met een korte(re) overspanning, worden de werkelijk optredende versnellingen volgens deze rekenmethode overschat. De jogger beweegt zich immers voort over de brug (en staat niet stil). Bovendien is de jogger enkel voor een korte tijdsperiode op de brug aanwezig. Er is een alternatief model opgezet om de optredende versnellingen van een voetgangersbrug te berekenen. Dit model is opgesteld in een afstudeeronderzoek dat eerder aan de TU Delft is uitgevoerd [4]. In dit model is de jogger gemodelleerd als een harmoniserende puntlast die zich in verloop van tijd over de brug voortbeweegt.

De berekende versnellingen volgens het alternatieve model zijn vergeleken met de versnellingen die optreden als de rekenmethode uit richtlijn EUR 23984 EN wordt gebruikt. In beide gevallen zijn de versnellingen van een betonnen brugdek berekend in verticale richting op de locatie waar de verplaatsingen van het systeem het grootst zijn ten tijde dat het systeem beweegt in de fundamentele trilvorm (ofwel: halverwege de overspanning). De formule voor het bepalen van de eigenfrequentie die hoort bij de fundamentele trilvorm (in geval het systeem aan weerszijden scharnierend is opgelegd) is gegeven in formule 1:

$$f_e = \frac{1}{2\pi} \pi^2 \sqrt{\frac{EI}{\mu L^4}} \quad (1)$$

waarin:

- f_e is fundamentele eigenfrequentie [Hz]
- E is elasticiteitsmodulus beton [N/m²]
- I is oppervlaktetraagheidsmoment doorsnede [m⁴]
- μ is gewicht brugdek [kg/m]
- L is lengte overspanning [m]

1) Speciale aandacht en dank gaat uit naar dr.ir. K.N. van Dalen van de TU Delft voor het overdragen van de kennis op het gebied van dynamisch gedrag van systemen.

Richtlijn EUR 23984 EN

EUR 23984 EN beschouwt twee rekenmethoden voor het berekenen van de responsie van het systeem. Dit zijn de methode waar het systeem wordt beschouwd als een systeem met één vrijheidsgraad (SDOFM, Single Degree of Freedom Method) en de responsiespectrummethode (RSM, Response Spectra Method). Het berekenen van de responsie van het systeem als gevolg van joggers met de RSM wordt niet behandeld in de EUR 23984 EN. In dit artikel wordt daarom alleen het resultaat met de SDOFM beschouwd.

Rekenmethode SDOFM

De joggers worden gemodelleerd als harmoniserende puntlasten, die gezamenlijk halverwege de overspanning van het brugdek worden geplaatst ($F(t)$). De massa van het brugdek is verondersteld een geconcentreerde massa te zijn, de modale massa (m). Ditzelfde wordt gedaan voor de stijfheid (k) en de demping (c). Op deze manier is het brugdek gemodelleerd als een systeem met één vrijheidsgraad (SDOFM). Het model is schematisch weergegeven in figuur 2.

De te verwachten versnelling van het brugdek met de SDOFM is afkomstig uit de steady-state en wordt berekend met behulp van formule 2:

$$a_{\max} = \frac{p^*}{m^*} \frac{1}{2\xi} \Psi \quad (2)$$

waarin:

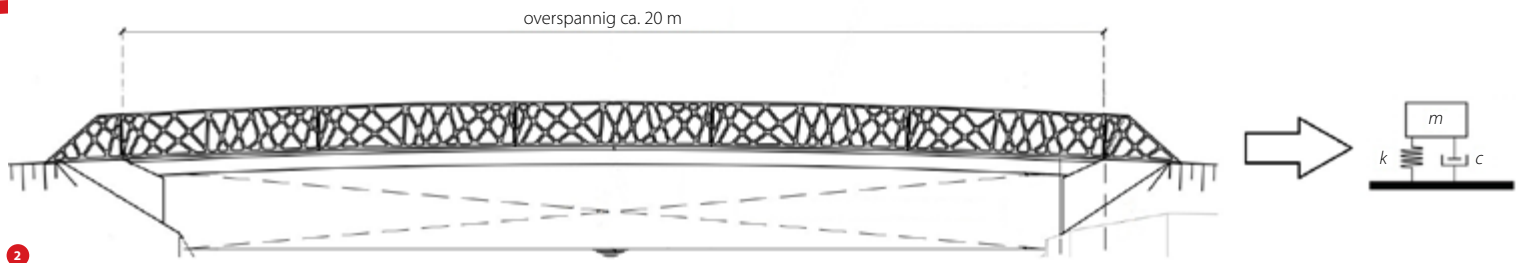
- $a_{\max}$ is optredende versnelling van het brugdek [m/s²]
- p^* is modale belasting [N]
- m^* is modale massa brugdek [kg]
- ξ is dempingscoëfficiënt [-]
- Ψ is reductiefactor ten behoeve van de optredende versnelling [-] (fig. 3)

Joggers

Het kritieke interval van stapfrequenties voor joggers is 1,9 Hz $\leq f_e \leq$ 3,5 Hz. De grootte van de reductiefactor die in rekening moet worden gebracht voor de bepaling van de te verwachten optredende versnelling van het brugdek is afhankelijk van de stapfrequentie van de jogger (fig. 3).

De jogger, die rent met een snelheid ≥ 3 m/s, heeft een verticale belastingscomponent van 1250 N [2, 3]. Er mag vanuit worden gegaan dat elke jogger is gepositioneerd, daar waar de verplaatsing van het dek het grootst is en dat de jogger zich niet voortbeweegt. Daarnaast wordt verondersteld dat de stapfrequentie van de jogger gelijk is aan de eigenfrequentie van het systeem. Voor het bepalen van de optredende versnelling geldt formule 2.

De grootte van de totale verticale belastingscomponent is afhankelijk van de lengte van de overspanning [2]. De hoeveel-



heid joggers die in rekening moet worden gebracht als de overspanning ≤ 20 m, is 5. Als de overspanning > 20 m, moeten er 10 joggers in rekening worden gebracht.

Alternatief model

In geval van een betonnen brugdek met een korte overspanning, waarbij de eigenfrequentie van het systeem binnen het kritieke interval van de stapfrequenties voor joggers valt, overschrijdt de berekende versnelling volgens de SDOFM in bijna alle gevallen de versnellingslimiet [4].

Om een beter beeld te krijgen van de werkelijk optredende versnellingen, is zoals eerder gesteld een alternatief model opgesteld. Dit model maakt gebruik van een belastingsfunctie ($f(t)$) die zich in verloop van tijd over het brugdek voortbeweegt. Deze belastingsfunctie bevat een harmoniserende puntlast die de jogger representeert. Verder is in het model het brugdek aan weerszijden scharnierend opgelegd. Op basis van dit model is een bewegingsvergelijking opgesteld, die vervolgens analytisch is opgelost. De oplossing is een functie die afhankelijk is van plaats en tijd. Met deze functie kunnen de optredende verplaatsingen van het brugdek worden bepaald. Het model is weergegeven in figuur 4.

De gebruikte bewegingsvergelijking om het alternatieve model te benaderen, is gegeven in formule 3:

$$\rho A \ddot{w}(x;t) + c \dot{w}(x;t) + EI w''''(x;t) = p(x;t) \quad (3)$$

Hierin is:

- ρ dichtheid beton [kg/m^3]
- A oppervlakte doorsnede [m^2]
- $\ddot{w}(x;t)$ tweede afgeleide van de verplaatsing, die is geschreven als functie van plaats en tijd, naar tijd, oftewel de versnelling [m/s^2]
- c gelijkmatig verdeelde demping [$(\text{kg/s})/\text{m}$]
- $\dot{w}(x;t)$ eerste afgeleide van de verplaatsing, die is geschreven als functie van plaats en tijd, naar tijd, oftewel de snelheid [m/s]
- E elasticiteitsmodulus beton [N/m^2]
- I oppervlaktetraagheidsmoment doorsnede [m^4]
- $w''''(x;t)$ vierde afgeleide van de functie van de verplaatsing, die is geschreven als functie van plaats en tijd, naar plaats [m^{-3}]
- $p(x;t)$ functie van de belasting afhankelijk van plaats en tijd [N/m]

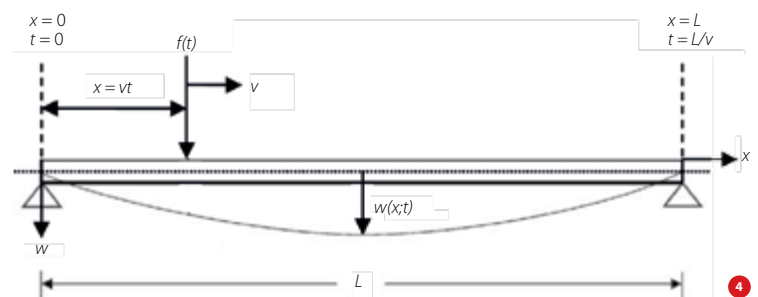
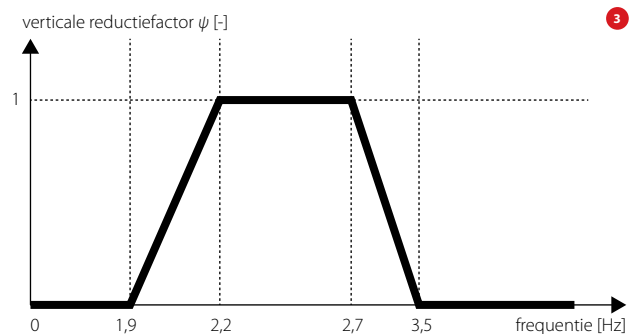
De linkerzijde van de differentiaalvergelijking omschrijft de eigenschappen van het brugdek en de rechterzijde is de belastingsterm die aangrijpt op het systeem. Als de belasting wordt aangebracht door een jogger kan de belastingsterm worden uitgedrukt als gegeven in formule 4:

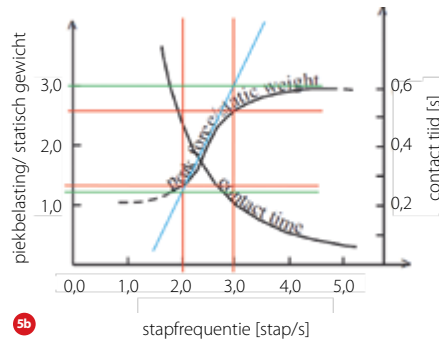
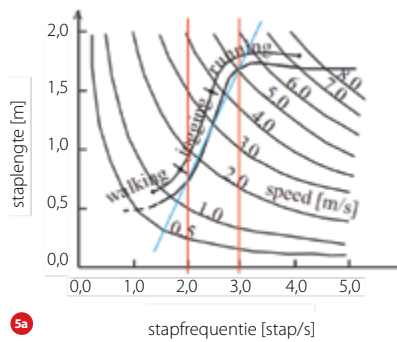
$$p(x;t) = f(t) \delta(x - vt) [H(t) - H(t - L/v)] \quad (4)$$

Hierin is:

- $f(t)$ de belasting geschreven als functie van tijd [N]
- $\delta(x - vt)$ het toepassen van de belasting $f(t)$ in $0 < x < L$ in verloop van tijd, die wordt gekenmerkt door toepassing van de Dirac delta-functie, waarin v gelijk staat aan de snelheid van de voortbewegende functie $f(t)$, en t de tijd [$1/\text{m}$]
- $[H(t) - H(t - L/v)]$ tijdsinterval dat in rekening moet worden gebracht die nodig is om over te steken, geschreven als een Heaviside-functie [-]

De belasting $f(t)$ is afhankelijk van de relatie tussen de stapfrequentie van de jogger en de bijbehorende snelheid, evenals de relatie tussen de stapfrequentie van de jogger en de belasting die wordt uitgeoefend door de jogger (fig. 5).





- 2 Voetgangersbrug gemodelleerd als een gedempt één-massa-veersysteem
- 3 Reductiefactor voor de verticale versnelling door joggers, afhankelijk van de stapfrequentie [3]
- 4 Alternatief model [4]
- 5 Relatie tussen stapfrequentie van jogger met de stapafstand (a), en piekbelasting en statisch gewicht (b) [4]

Ter plaatse van de opleggingen treden er geen verplaatsingen op, evenals dat er geen momenten optreden. Deze randvoorwaarden voor de bewegingsvergelijking in de gegeven situatie zijn gegeven in formule 5.

$$\begin{aligned} w(0;t) &= w(L;t) = 0 \\ w''(0;t) &= w''(L;t) = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

In het model is ervan uitgegaan dat de brug volledig in rust is op het moment dat de jogger de brug betreedt. De beginvoorwaarden voor de bewegingsvergelijking zijn gegeven in formule 6:

$$w(x;0) = \dot{w}(x;0) = 0 \quad (6)$$

Het oplossen van de differentiaalvergelijking resulteert in formules voor het bepalen van de verplaatsingen van het brugdek in verloop van tijd. Er is onderscheid gemaakt tussen de situatie waarbij joggers aanwezig zijn op het brugdek en de situatie waarbij de joggers niet meer aanwezig zijn op het brugdek, zie formule 7 en 8. In dit artikel wordt gekeken naar de verplaatsingen die optreden halverwege de overspanning.

$$w(x;t) = \frac{2}{\rho A L} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Y_n(x)}{\omega_n \eta} \int_0^t P \sin(\Omega \tau) Y_n(v\tau) e^{-\frac{b}{2}(t-\tau)} \sin(\omega_n \eta(t-\tau)) d\tau \quad \text{voor } 0 < t \leq L/v \quad (7)$$

$$w(x;t) = \frac{2}{\rho A L} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Y_n(x)}{\omega_n \eta} \int_0^{L/v} P \sin(\Omega \tau) Y_n(v\tau) e^{-\frac{b}{2}(t-\tau)} \sin(\omega_n \eta(t-\tau)) d\tau \quad \text{voor } t > L/v \quad (8)$$

Hierin is:

- $w(x;t)$ verplaatsing van de ligger als functie van plaats en tijd [m]
- ρ dichtheid beton [kg/m³]
- A oppervlakte doorsnede [m²]
- L lengte van de ligger [m]
- Y_n plaatsafhankelijke functie [-]
- ω_n eigenhoekfrequentie van de beschouwde eigentrilvorm [rad/s]
- η $= \sqrt{1 - \frac{b^2}{4\omega_n^2}}$ = factor voor de bepaling van de gedempte eigenhoekfrequentie [-]

$$b = \frac{c}{\rho A} = \text{vereenvoudiging van de notatie van de}$$

differentiaalvergelijking [1/s]

c gelijkmatig verdeelde demping [(kg/s)/m]

P grootte van de joggerbelasting [N]

Ω stapfrequentie van de jogger [rad/s]

τ integratievariabele [s]

$Y_n(v\tau)$ plaatsafhankelijke functie uitgedrukt in snelheid en integratievariabele [-]

v snelheid van de jogger [m/s]

t tijd [s]

De versnellingen van het brugdek kunnen worden berekend door formule 7 en 8 tweemaal te differentiëren naar tijd.

Casestudy

De berekende versnellingen volgens het alternatieve model en de berekende versnelling volgens de SDOFM zijn vergeleken met een praktijksituatie. Hiertoe is een recentelijk gebouwde betonnen voetgangersbrug te Eindhoven (2015), genaamd brug 'Zwaaiikom' (foto 1 en 6), gebruikt als casestudy. Deze brug is aan weerszijden scharnierend opgelegd.

In twee situaties zijn de optredende versnellingen van het brugdek halverwege de overspanning gemeten. In de eerste situatie wordt één jogger beschouwd die over het brugdek rent. In de andere situatie zijn er twee joggers die over het brugdek rennen.

Voor het verkrijgen van de meetresultaten is de eigenfrequentie van het brugdek niet bepaald en ook zijn de stapfrequenties tijdens het rennen niet gemeten. De hoogst optredende versnellingen die zijn gemeten, zijn verkregen als gevolg van een proces van trial-and-error. De optredende versnellingen zijn gemeten met een versnellingsmeter die geplaatst is halverwege de overspanning. Beide testpersonen hebben een gewicht van ongeveer 80 kg (= 800 N, gelijkwaardig uitgangspunt als [3]).

Parameters

De fundamentele eigenfrequentie van het systeem is berekend in formule 9:

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{\mu L^4}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \pi^2 \cdot \sqrt{\frac{64.000 \cdot 10^6 \cdot 1,7269 \cdot 10^{-2}}{2142 \cdot 21,37^4}} = 2,47 \text{ [Hz]} \quad (9)$$

- | | |
|---|---|
| 6 Gemeten versnellingen halverwege de overspanning door één jogger | 8 Gemeten versnellingen halverwege de overspanning door twee joggers |
| 7 Berekende versnellingen halverwege de overspanning volgens het alternatieve model door één jogger | 9 Berekende versnellingen halverwege de overspanning volgens het alternatieve model door twee joggers |

De berekende eigenfrequentie is kleiner dan 5 Hz. Om deze reden is comfort beschouwd.

Gemeten versnellingen door één jogger

De optredende versnellingen die zijn gemeten als gevolg van één jogger zijn gegeven in figuur 7.

Alternatief model bij één jogger

De berekende versnellingen van het brugdek volgens het alternatieve model zijn gegeven in figuur 8. De berekende versnellingen zijn opgesplitst in twee delen. Hierin is het eerste deel de tijdsperiode waarin de jogger aanwezig is op de brug (blauwe lijn) en het tweede deel de tijdsperiode waarin de jogger niet meer aanwezig is op de brug en de brug uitdempt (rode lijn).

SDOFM bij één jogger

De optredende versnelling berekend volgens de SDOFM in de steady-state is gegeven in formule 10. Een reductiefactor van $\psi = 1,0$ is toegepast volgens figuur 3. Ter indicatie is in figuur 8 ook de ontwikkeling van de optredende versnellingen gegeven in verloop van tijd, als de SDOFM als rekenmethode wordt gebruikt (oranje lijn).

$$a_{max} = \frac{p^*}{m^* 2\xi} \psi = \frac{\frac{2}{\pi} \cdot (1 \cdot 1250)}{0,5 \cdot (2142 \cdot 21,37)} \cdot \frac{1}{2 \cdot 0,01} \cdot 1 = 1,74 \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (10)$$

Gemeten versnellingen door twee joggers

De optredende versnellingen die zijn gemeten als gevolg van twee joggers zijn gegeven in figuur 9.

Alternatief model bij twee joggers

Net als in het geval er één jogger over de brug rent, laat figuur 10 de berekende versnellingen van het brugdek zien volgens het alternatieve model als er twee joggers over het brugdek rennen. De berekende versnellingen zijn weer opgesplitst in twee delen, waarin het eerste deel de tijdsperiode is waarin de joggers aanwezig zijn op de brug (blauwe lijn) en het tweede deel de tijdsperiode is waarin de joggers niet meer aanwezig zijn op de brug en de brug uitdempt (rode lijn).

SDOFM bij twee joggers

De optredende versnelling berekend volgens de SDOFM in de steady-state is gegeven in formule 11. Een reductiefactor van $\psi = 1,0$ is toegepast volgens figuur 3. Ter indicatie is in figuur 10 ook de ontwikkeling van de optredende versnellingen gegeven in verloop van tijd als de SDOFM als rekenmethode wordt gebruikt (oranje lijn).

$$a_{max} = \frac{p^*}{m^* 2\xi} \psi = \frac{\frac{2}{\pi} \cdot (2 \cdot 1250)}{0,5 \cdot (2142 \cdot 21,37)} \cdot \frac{1}{2 \cdot 0,01} \cdot 1 = 3,48 \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (11)$$

Resultaten

Resultaten van beide situaties laten zien dat het alternatieve model de werkelijk optredende versnellingen van een betonnen brug met een korte overspanning beter benadert, in tegenstelling tot het berekende resultaat volgens de SDOFM die wordt voorgeschreven door de EUR 23984 EN.

Conclusies

De werkelijk optredende versnellingen van een brugdek dat aan weerszijden scharnierend is opgelegd, als gevolg van joggers die over het brugdek heen rennen, worden aanzienlijk overschat als de SDOFM uit de EUR 23984 EN wordt gebruikt. In deze methode wordt de te verwachten versnelling van het systeem berekend ten tijde van de steady-state. Het alternatieve model dat is voorgesteld in dit artikel, waarin een jogger is gemodelleerd als een harmoniserende puntlast die zich voortbeweegt in verloop van tijd, benadert de werkelijk optredende versnellingen van het brugdek beter.

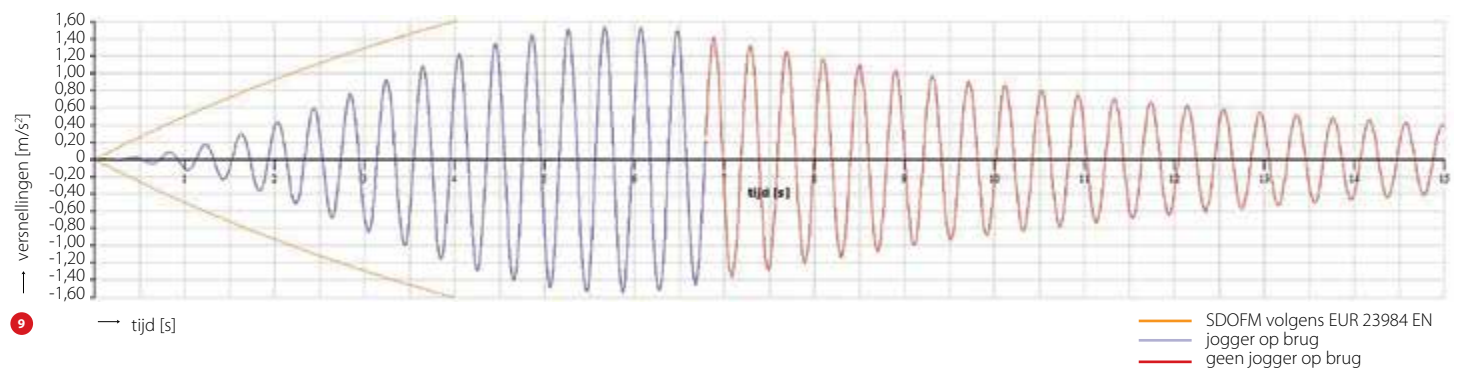
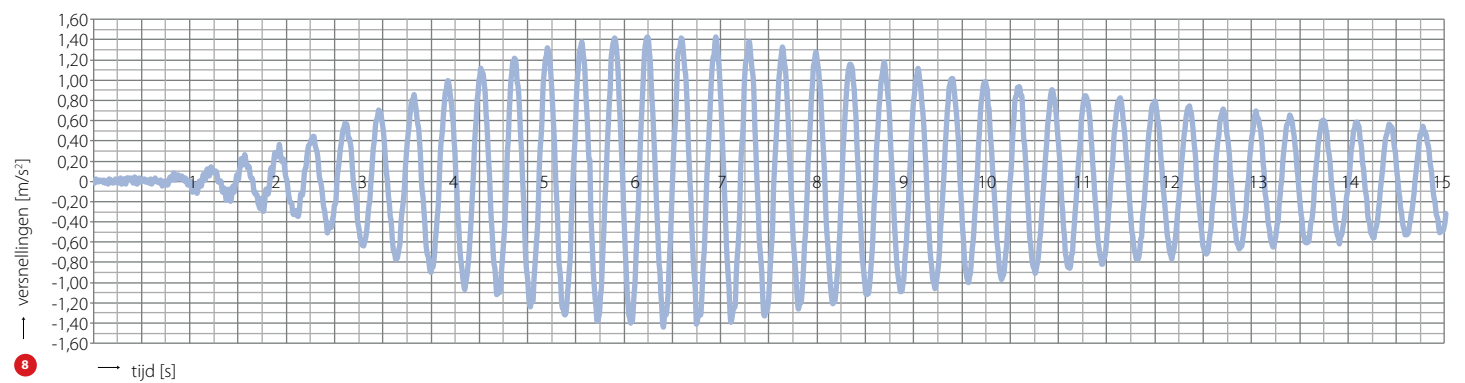
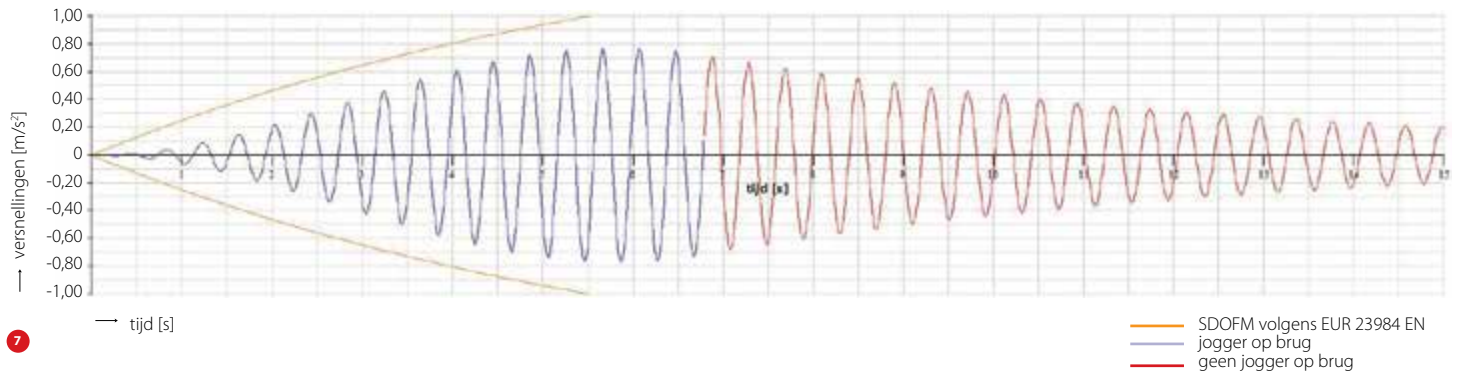
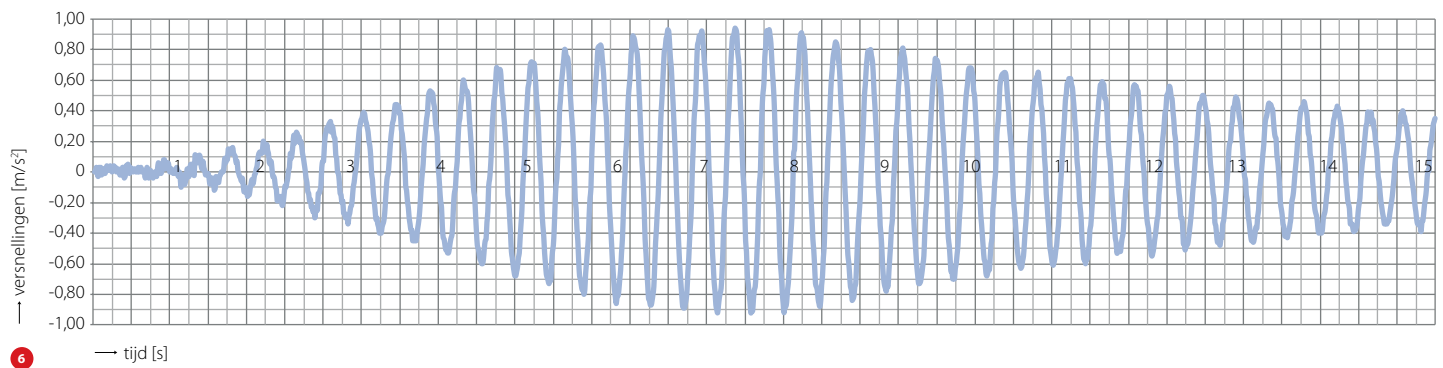
Discussiepunten

Uit het eerdergenoemde afstudeeronderzoek [4] is een aantal aandachtspunten naar voren gekomen. In geval van de case-study moet aandacht worden besteed aan het (gelijktijdig) voortbewegen over het brugdek in een stapfrequentie die gelijk is aan de eigenfrequentie van de brug. Als hier ook maar iets van wordt afgeweken, zal resonantie niet optreden. Dit samen met het feit dat joggers die over een brug met een korte overspanning rennen enkel voor een korte tijdsperiode hierop aanwezig zijn, kan worden gesteld dat grote versnellingen in geen geval zullen optreden.

Overigens is het zeer onwaarschijnlijk dat joggers onderling een stapfrequentie hebben die gelijk aan elkaar is, omdat personen onderling veelal een ander gewicht en een andere heuphoogte hebben. Hierdoor kan al een klein verschil in stapfrequentie tussen de joggers optreden, wat als gevolg heeft dat resonantie van het brugdek niet zal optreden.

In geval van een brugdek met een korte overspanning kan de steady-state niet worden bereikt, omdat de joggers enkel voor een korte tijdsperiode op het brugdek aanwezig zijn. De richtlijn EUR 23984 EN schrijft voor om de versnelling uit de steady-state toe te passen, waarbij joggers zijn gepositioneerd halverwege het brugdek, wat een zeer conservatieve benadering is.

Als in een ontwerp van een voetgangersbrug wordt gekeken naar de optredende versnellingen, moet er een duidelijk verschil worden gemaakt tussen comfort en vandalisme



(gerelateerd aan UGT). In geval van vandalisme is het misschien mogelijk de optredende versnelling in de steady-state als gevolg van de SDOFM te gebruiken. In geval van comfort wordt aanbevolen het voorgestelde alternatieve model te gebruiken. ☒

● LITERATUUR

- 1 Nationale Bijlage bij Eurocode 1990 Grondslagen van het constructief ontwerp (2011). Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.
- 2 Nationale Bijlage bij Eurocode 1991-2 Verkeersbelasting op bruggen (2011). Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.
- 3 EUR 23984 EN, Design of Lightweight Footbridges for Human Induced Vibrations (mei 2009). JRC European Commission.
- 4 Beers, F.N. (april 2014). Trillingen van betonnen voetgangersbruggen. Afstudeerscriptie, Technische Universiteit Delft.



Voorstel voor wijzigingen in de regelgeving met betrekking tot het rekenen met een tweede draagweg

Tweede draagweg volgens de norm

Het realiseren van een tweede draagweg kan als oplossing dienen voor het creëren van voldoende robuustheid in een constructie en zo voortschrijdende instorting voorkomen. Samenhang binnen de Nederlandse normen wat betreft het rekenen met een tweede draagweg ontbreekt echter. Er is behoefte aan duidelijke constructieve oplossingen en eenduidige regelgeving met betrekking tot het ontwerpen tegen voortschrijdende instorting. In een afstudeerstudie is de regelgeving in binnen- en buitenland geanalyseerd en zijn enkele voorstellen gedaan voor wijzigingen in de regelgeving.

Nederlandse regelgeving

Nieuwbouwplannen worden door bouwtoezicht getoetst aan het Bouwbesluit. In het huidige Bouwbesluit 2012 worden de Eurocodes voorgeschreven, terwijl deze niet op elkaar aansluiten als het gaat om het rekenen met buitengewone belastingen, zoals eerder al geconcludeerd in het *Cement*-artikel 'Eisen aan robuustheid' [13]. Dit geldt tevens voor de rekenregels in de verschillende Eurocodes. In het navolgende worden de belangrijkste verschillen en aandachtspunten opgesomd.

Eurocode versus Bouwbesluit

In de huidige Eurocodes wordt gesteld dat een constructie zodanig moet zijn ontworpen en uitgevoerd, dat in een buitengewone situatie de constructie niet zal worden beschadigd in een mate die niet in verhouding staat tot de aanvankelijke oorzaak. Hiertoe moeten volgens NEN-EN 1991-1-7 [9] bij een gebouwontwerp de risico's van bekende buitengewone belastingen en onbekende oorzaken worden beperkt. Deze beperking behoort te worden bereikt door het hanteren van ontwerpstrategieën, waarbij onderscheid wordt gemaakt in de gevolklassen.

Afstudeerstudie

Michelle Kars is afgestudeerd aan de Hogeschool van Amsterdam voor de Master in Structural Engineering met de studie 'Tweede draagweg binnen een geprefabriceerde betonconstructie op basis van balken en kolommen'. In de begeleidingscommissie hadden zitting ir. M.P. Horikx, ir. R.A.J.M. Mom (beiden HvA) en ir. A.G. van der Sluis RO (Van Rossum).

Het Bouwbesluit sluit niet aan op deze regelgeving, in de volgende opzichten:

- Het Bouwbesluit benoemt alleen het bezwijken door bekende buitengewone belastingen zoals beschreven in Eurocode 1. Beoordeling van de effecten van onbekende oorzaken zou dus buiten beschouwing kunnen worden gelaten.
- Het Bouwbesluit maakt geen onderscheid in verschillende gevolgklassen bij het bepalen van de strategieën voor buitengewone ontwerpsituaties.
- Het Bouwbesluit hanteert voor de beschrijving van de toelaatbare schade de oudere TGB 1990-serie, waarin werd gesteld dat de schade beperkt moest blijven tot het belaste constructiedeel zelf en de delen die daar direct op aansloten. In de Eurocodes wordt deze beperking niet genoemd.

Trekbanden

In de ontwerpstrategieën in NEN-EN 1991-1-7 wordt de toepassing van horizontale en verticale trekbanden als maatregel gegeven om het incasseringsvermogen van een constructie te verhogen en om voortschrijdende instorting ten gevolge van lokaal bezwijken te voorkomen. NEN-EN 1992-1-1 [10] en NEN-EN 1991-1-7 geven beide ontwerpregels voor de posities en afmetingen van trekbanden, maar onduidelijk is welke regels per gevolgklasse moeten worden gehandhaafd. In Eurocode 1 wordt bijvoorbeeld voor gevolgklasse CC2 en CC3 de toepassing van trekbanden vereist, terwijl de betreffende bijlage A van NEN-EN 1991-1-7 informatief is. Hierdoor zijn de regels geldend in Eurocode 2 (normatief) leidend, terwijl een berekening volgens Eurocode 1 nauwkeuriger is. Voor constructies in gevolgklasse CC2b en CC3, waar vaak grote permanente en veranderlijke belastingen optreden, zou het in dat geval dus verstandiger zijn de eisen vanuit Eurocode 1 te hanteren. Overigens wordt er in beide normen geen rekening gehouden met de kenmerken van het gebouw. Hierdoor kunnen de dimensies van de benodigde trekbandwapening zwaar ondermaar ook overgedimensioneerd zijn.

Tweede draagweg

In NEN-EN 1991-1-7 wordt, voor gebouwen vanaf gevolgklasse CC2b, tevens de methode van de tweede draagweg aangedragen als alternatieve oplossing voor het toepassen van horizontale en verticale trekbanden. Elementen waarbij geen tweede draagweg mogelijk is, moeten worden ontworpen als kritische elementen. Dit geldt tevens voor elementen waarbij verwijdering een schade optreedt die groter is dan de toelaatbare grenswaarde volgens NEN-EN 1991-1-7. De grenswaarde is gesteld op de twee aangrenzende vloervelden, waarbij de schade per vloerveld niet groter mag zijn dan 15% van het vloeroppervlak of in totaal 100 m². Kritische elementen moeten een belasting van 34 kN/m² kunnen weerstaan, die kan optreden in horizontale en verticale

richting. In het geval dat met kritische elementen wordt ontworpen, wordt echter niet automatisch voldaan aan de eisen uit de norm met betrekking tot de toepassing van effectieve trekbanden en/of het creëren van een tweede draagweg, bij het bezwijken van een willekeurig element. Aanvullend hierop moeten de aansluitingen tussen de vloeren en stabiliserende kernen en/of wanden dus alsnog worden voorzien van effectieve trekbanden en/of een tweede draagweg, om de constructieve samenhang te waarborgen.

Mede vanwege bovenstaand gegeven kan worden geconcludeerd dat de toepassing van kritische elementen niet geheel effectief is om de robuustheid van constructies te verbeteren. Dit geldt tevens voor de waarde van de buitengewone belasting van 34 kN/m² waarmee moet worden gerekend. Vooral kolommen zijn vaak al zonder verdere aanpassingen tegen deze belasting bestand. Dit is zeker het geval bij hoogbouwconstructies waarop grote verticale en horizontale belastingen werken.

Vergelijking met buitenlandse regelgeving

De regels in de Eurocodes zijn deels gebaseerd op bestaande Britse regels, waar de basis voor het ontwerpen tegen voortschrijdende instorting is gelegd. In tegenstelling tot de Eurocodes zijn er in andere buitenlandse normen specifiekere rekenregels beschikbaar voor het ontwerpen van een tweede draagweg. Met

1



- 2 Stroomdiagram uit de GSA-richtlijnen [5]
 3 Locaties van te verwijderen uitwendige kolommen volgens de GSA-richtlijnen [5]
 4 Locaties van te verwijderen inwendige kolommen volgens de GSA-richtlijnen [5]

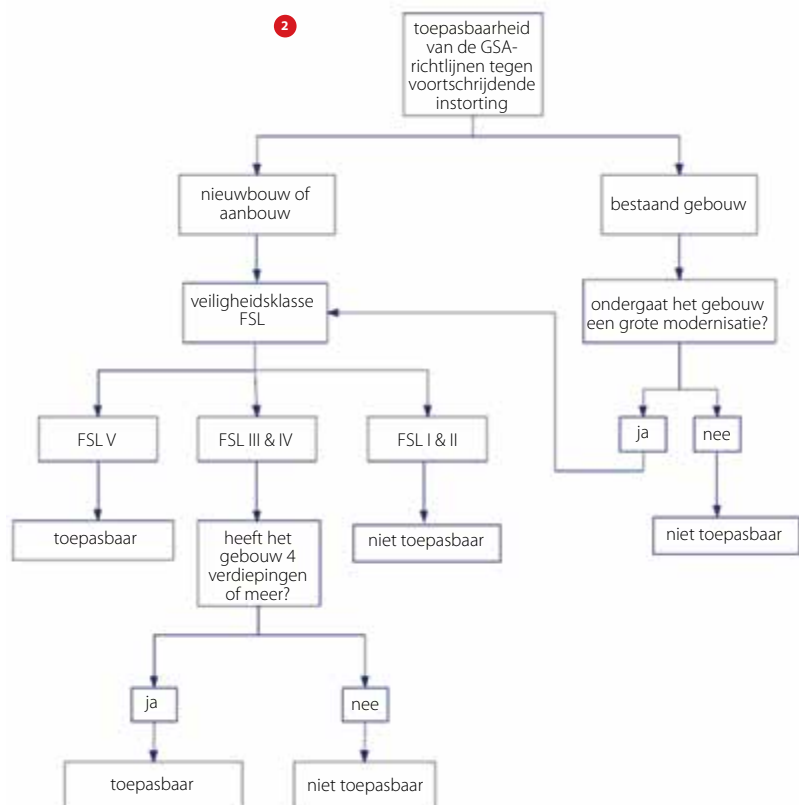
name de Noord-Amerikaanse regelgeving zou als goed uitgangspunt kunnen dienen voor de regelgeving in Nederland.

GSA- en UFC-richtlijnen

In de Verenigde Staten wordt veel gerekend met normen die specifiek gericht zijn op het optreden van voortschrijdende instorting ten gevolge van het plotselinge bezwijken van dragende constructie-elementen. Hierbij ligt de nadruk op het instorten van federale gebouwen, vanwege het risico op terroristische aanslagen. Om gebouwen hiertegen te beschermen zijn speciale normen opgesteld, waaronder de ASCE-richtlijnen [1]. De eis die hierin aan constructies wordt gesteld, is gelijk aan die in de Eurocodes.

Naast de ASCE-richtlijnen, die voornamelijk algemene oplossingen geven, zijn de belangrijkste richtlijnen met betrekking tot het ontwerpen tegen voortschrijdende instorting, de General Services Administration (GSA) Guidelines [4, 5] en de Unified Facilities Criteria (UFC) [12]. Voor alle betrokken partijen bij nieuwbouw en verbouw is het volgen van de GSA-richtlijnen verplicht. De UFC-richtlijnen zijn voornamelijk bedoeld voor militaire gebouwen, maar komen in grote lijnen overeen met de GSA-richtlijnen.

Door het volgen van een stroomdiagram (fig. 2) kan worden bepaald in hoeverre de GSA-richtlijnen moeten worden toege-



past. Er wordt onderscheid gemaakt in nieuwbouw en bestaande bouw, waarbij voor nieuwbouw wordt gestuurd op het reduceren van de kans op voortschrijdende instorting, terwijl de richtlijnen voor bestaande bouw gericht zijn op het beoordelen van de kans op voortschrijdende instorting. Er wordt overigens geen onderscheid gemaakt in verschillende soorten belastingen, maar wel in de veiligheidsklassen van een gebouw:

- FSL I en II weinig gevolgen bij bezwijken;
- FSL III en IV middelgrote gevolgen bij bezwijken;
- FSL V grote gevolgen bij bezwijken.

Veiligheidsklasse I, II, III en IV zijn vergelijkbaar met respectievelijk gevolgklasse 1, 2a, 2b en 3 zoals deze in de Eurocodes worden vermeld. Naast deze veiligheidsklassen kent de Noord-Amerikaanse norm nog een extra veiligheidsklasse, FSL V, geldend voor gebouwen met de grootste risico's op bijvoorbeeld een terroristische aanslag, zoals het Witte Huis.

Ontwerpstrategieën

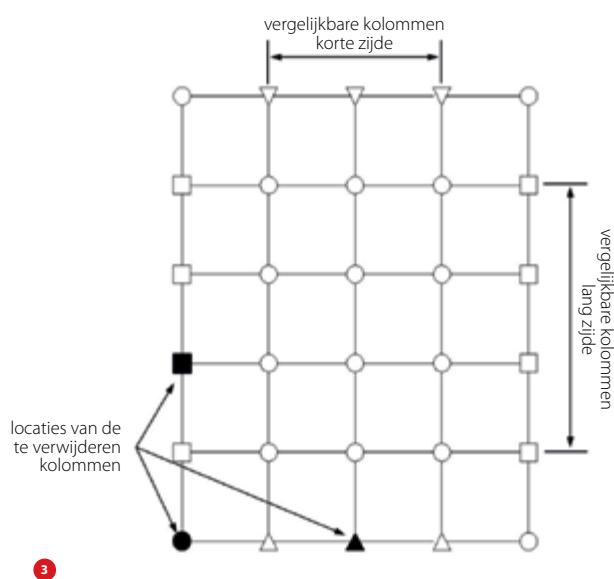
In de Noord-Amerikaanse richtlijnen wordt onderscheid gemaakt in directe en indirecte ontwerpstrategieën om het risico op voortschrijdende instorting te verkleinen. Deze komen overeen met de constructieve maatregelen zoals in NTA 4614-3 [11] benoemd, voor het beperken van het lokaal bezwijken door een onbekende oorzaak. De directe ontwerpstrategieën zijn gericht op het voorkomen van voortschrijdende instorting gedurende het ontwerpproces, waarbij het ontwerpen van een tweede draagweg en kritische elementen als oplossing worden gegeven. De indirecte ontwerpstrategieën schrijven ontwerp- en detailleringsregels voor om een minimumniveau van sterkte, continuïteit en ductiliteit voor belangrijke constructie-elementen te bereiken. Het gebruik van horizontale en verticale trekbanden valt hier ook onder.

Naast de genoemde directe en indirecte ontwerpstrategieën om de weerstand tegen voortschrijdende instorting te vergroten, kan dit ook met het beheersen van het risico op buitengewone belastingen. Deze risicobeheersing kan plaatsvinden door het verwijderen van het risico op een buitengewone belasting of het treffen van voorzieningen om de constructie te beschermen tegen het risico. Dit komt overeen met de ontwerpstrategieën voor bekende buitengewone belastingen die in de Eurocode staan beschreven.

Analysemethode

Volgens de GSA-richtlijnen kunnen drie typen van analyses worden toegepast om de constructie te analyseren op de mogelijkheden van een tweede draagweg:

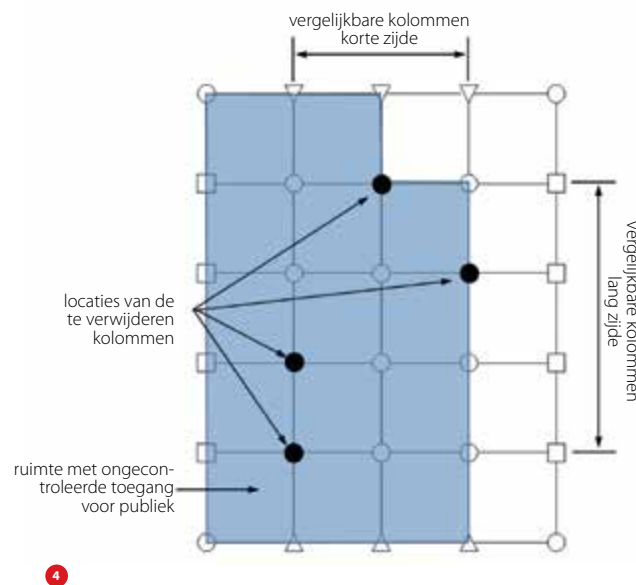
1. statisch lineair-elastische methode;
2. statisch niet-lineaire methode;
3. dynamisch niet-lineaire methode.



Bij elk van deze drie analysevormen is het verplicht het dynamische gedrag ten gevolge van het plotseling wegvallen van een element in rekening te brengen. In de Nederlandse normen is dit uitsluitend verplicht voor constructies in klasse CC3. Wanneer met behulp van een statisch lineair-elastische methode een tweededraagweganalyse wordt gedaan voor een lagere gevolklasse, kan het dynamische gedrag dus buiten beschouwing worden gelaten.

In de GSA-richtlijnen wordt het dynamische gedrag bij de statische lineaire en niet-lineaire methode meegenomen door een vergrotingsfactor in de belastingscombinaties mee te nemen. Deze dient om de dynamische krachten ten gevolge van het bezwijken van een constructie-element om te zetten naar een statische belasting. De waarde van deze factor is afhankelijk van de gekozen ontwerpmethod (vervormingsgestuurd of krachtgestuurd) en het materiaal van het beschouwde constructie-element. De vergrotingsfactor heeft een maximale waarde van 2,0.

Waar de Nederlandse regelgeving stelt dat elke dragende kolom of een willekeurig deel van een dragende wand fictief moet worden verwijderd om een tweededraagweganalyse uit te voeren, wordt dit in de Amerikaanse normen gedetailleerder omschreven. Hierin wordt onderscheid gemaakt in de veiligheidsklassen en inwendige- en uitwendige elementen. In figuur 3 en 4 zijn de locaties van de te verwijderen kolommen voor gebouwen in veiligheidsklasse FSL III en IV weergegeven. Dit hoeft uitsluitend op de eerste verdieping boven het maaiveld en op eventueel afwijkende verdiepingen. Aanvulling hierop is dat alle uit- en inwendige elementen in parkeergarages, laadruimten en ruimten waar een ongecontroleerde toegang van publiek is, fictief moeten worden verwijderd. Voor gebouwen in veiligheidsklasse FSL V geldt dat alle elementen op elke verdieping fictief moeten worden verwijderd.



Voorstel nieuwe regelgeving

Geconcludeerd moet worden dat in de huidige regelgeving eenduidige regels met betrekking tot het ontwerpen van een tweede draagweg ontbreken. Er zijn namelijk geen handvatten, ofwel prestatie-eisen, waaraan de diverse maatregelen voor een tweede draagweg binnen een gebouwt ontwerp kunnen worden getoetst. In het afstudeeronderzoek zijn daarom enkele aanbevelingen gedaan.

Allereerst moeten hiertoe de ontwerpstrategieën per gevolklasse nader worden beschouwd. Aanbevolen wordt om, voor alle constructies waarvoor een tweede draagweg wordt ontworpen, voorafgaand een risicoanalyse van de hoofddraagconstructie te maken, en dus niet specifiek voor gebouwen in gevolklasse 3. Hiermee kan worden vastgesteld welke constructie-elementen risico lopen op bezwijken en welke tweededraagwegmechanismen hierbij mogelijk zijn. Voor het bepalen van de te verwijderen elementen kunnen hierbij de in Amerika geldende GSA-richtlijnen worden gehanteerd.

Een tweede voorstel is om het Bouwbesluit te herzien en hierin de eisen, zoals deze worden gesteld in de Eurocodes, te verwerken. Hierbij is het met name van belang dat het beoordelen van de effecten van onbekende oorzaken wordt benoemd en dat er onderscheid wordt gemaakt in verschillende gevolklassen. Verder zal er een eenduidige beschrijving van de omvang van de schade moeten worden opgesteld, eventueel onderverdeeld in de verschillende gevolklassen, zoals voorgesteld door Wijte [13].

Naast het verwerken van diverse regels uit de Eurocodes in het Bouwbesluit, zal er in de Nederlandse normering een uitspraak moeten worden gedaan over de mogelijkheden het dynamische gedrag, ten gevolge van het wegvallen van een afzonderlijk constructie-element, binnen constructies mee te nemen. Hierbij kan bijvoorbeeld onderscheid worden gemaakt in de

drie analysemethoden uit de GSA-richtlijnen, waarbij per methode wordt benoemd hoe het dynamische gedrag in rekening kan worden gebracht. Het meenemen van een vergrotingsfactor in de belastingscombinaties kan hierin een oplossing zijn.

Bij het meenemen van het dynamische gedrag kan tevens direct onderscheid worden gemaakt in vervormingsgestuurd of krachtsgestuurd ontwerpen, aangezien bij de prestatie-eisen van een gebouw de ontwerpmethode een grote rol speelt. Voor bijvoorbeeld het activeren van trekbandwapening is een kritische zakking benodigd. De huidige normen gaan ervan uit dat deze zakking kan optreden, zonder daarbij eisen te stellen aan de vervormings- en rotatiecapaciteit van de verschillende verbindingen. Wanneer een constructie echter krachtsgestuurd is ontworpen en de verbindingen niet of nauwelijks kunnen roteren, zal deze zakking niet op kunnen treden. In dat geval zal dan ook geen trekbandwerking optreden.

Om de effectiviteit van de trekbanden te vergroten, zal tevens in de regelgeving onderscheid moeten worden gemaakt in verschillende gevolklassen of optredende belastingen die op de constructie aangrijpen. Eenduidige regels in de diverse Eurocodes is hierbij essentieel.

Verder wordt aanbevolen om in ieder geval voor gebouwen in gevolgklasse CC2b en CC3 een combinatie van de toepassing van trekbanden en een tweede draagweg toe te passen, aangezien het uitsluitend toepassen van trekbanden over het algemeen alleen de robuustheid van constructies vergroot. De veiligheid die met het creëren van een tweede draagweg in een constructie wordt ingebouwd, is vele malen groter dan bij het uitsluitend toepassen van horizontale en verticale trekbanden. Het is daarom ook onjuist de toepassing van trekbanden als alternatief te zien voor het ontwerpen van een tweede draagweg.

Tot slot wordt aanbevolen meer onderzoek te verrichten naar de optredende waarde van de belasting bij de mogelijke buitengewone situaties. Het toepassen van kritische elementen wordt nu namelijk als alternatief voor een tweede draagweg beschouwd, terwijl gebleken is dat het effect van deze elementen beperkt is. Pas na het analyseren van de mogelijke buitengewone belastingen en het bepalen van de waarde van deze belasting kan met zekerheid worden gesteld dat het ontwerpen met kritische elementen de veiligheid van een constructie vergroot. Overigens is het wel van belang dat gedurende de bouw van kritische elementen, en dan met name bij gebouwen in gevolgklasse CC3, extra controles op de bouw worden uitgevoerd om zeker te zijn dat deze veiligheid ook echt wordt aangebracht.

Mogelijkheden tweede draagweg

Tweededraagwegmechanismen zijn bij elk type constructie mogelijk. In het afstudeeronderzoek zijn enkele mogelijke tweededraagwegmechanismen voor een prefab-betonconstructie op basis van balken en kolommen onderzocht. Dit type constructies vereist extra aandacht bij het ontwerpen van een tweede draagweg, aangezien het veelal statisch bepaalde constructies betreft. Hierbij is vaak onvoldoende samenhang aanwezig en is geen herverdeling van krachten mogelijk wanneer een constructie-element bezwijkt.

Aan de hand van het onderzoek worden in het navolgende een aantal constructieve methoden benoemd waarmee een tweede draagweg binnen dit type constructies kan worden gerealiseerd, ongeacht de positie van het bezwaken element.

Membraanwerking

Bij in het werk gestorte constructies kan membraanwerking relatief eenvoudig worden gerealiseerd door middel van het toepassen van vloerwapening in twee richtingen. Aangezien bij prefab-betonconstructies veelal in één richting dragende prefab vloeren worden toegepast, moet op een andere wijze de ontstane uitkraging bij het wegvallen van een element worden opgevangen. Dit kan door het toepassen van een gewapende druklaag. Een goede verankering van de druklaag met de vloer is hierbij wel noodzakelijk.

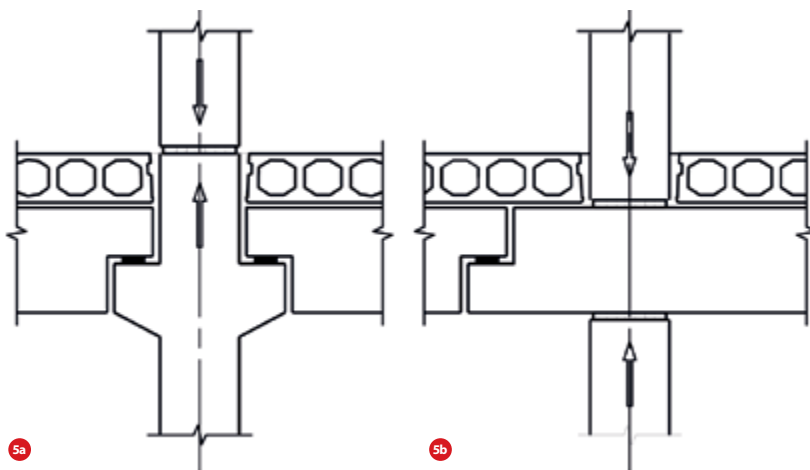
Liggers over meerdere steunpunten

Door het ontwerpen van statisch onbepaalde constructies kan op een relatief eenvoudige wijze een tweede draagweg worden gerealiseerd. Door bijvoorbeeld liggers over meerdere steunpunten toe te passen, kunnen de liggers zelf het beschadigde gebied overspannen wanneer een kolom wegvalt. Er zijn dan geen extra constructieonderdelen benodigd. Een manier om dit te realiseren, is door de veel gebruikte nokoplegging ter plaatse van de kolomaansluiting te verplaatsen naar het momentennulpunt van de ligger (fig. 5).

Ongeschoorde raamwerken

Het toepassen van ongeschoorde raamwerken is tevens een manier om een statisch onbepaalde constructie te creëren. Het gaat dan met name om raamwerken met momentvast knopen en niet zozeer ingeklemde kolommen in de fundering, aangezien dit alleen mogelijk is voor gebouwen met een beperkte hoogte en relatief kleine beukmaten.

Om een goed beeld te krijgen van de optredende verplaatsingen en het krachtenverloop is het wel van belang om niet-lineair te rekenen, waarbij de stijfheid van elk constructie-element en elke belastingssituatie in acht moeten worden genomen. Naast het uitsluitend toepassen van ongeschoorde raamwerken is het ook mogelijk dit te combineren met bijvoorbeeld het laten verspringen van de vloeroverspanningsrichting en het toepassen van liggers over meerdere steunpunten.



5 Oorspronkelijk (a) en
aangepast (b) detail van
de balkoplegging [3]

Overdimensionering

Overdimensionering is niet specifiek een methode om een tweede draagweg te creëren, maar het draagt wel bij aan het creëren van voldoende robuustheid in een constructie. Er wordt dan ook aanbevolen constructies niet volledig 'uit te knippen'. Dit houdt in dat bijvoorbeeld in dakbalken best dezelfde wapening mag worden toegepast als in vloerbalken, ondanks de vaak lagere belasting. Het toepassen van dikkere wanden of kolommen kan ook als oplossing dienen, waarbij deze als kritisch element beschouwd kunnen worden.

Een goed plattegrondontwerp

Bij het ontwerpen van trekbandwapening is het van belang dat de optredende horizontale kracht in de trekband evenwicht kan maken. Wijte [13] concludeert in zijn artikel dat dit bij veel raamwerkconstructies in Nederland niet mogelijk is, door het beperkte aantal dwarswanden dat wordt toegepast. Dit is ook een van de redenen waarom de toepassing van trekbandwapening niet altijd effectief is. Een goed plattegrondontwerp is dan ook essentieel bij het ontwerpen tegen voortschrijdende instorting. In Groot-Brittannië wordt daarom het toepassen van voldoende dwarswanden aanbevolen om voldoende samenhang in een constructie aan te brengen en daarmee de robuustheid te vergroten. Dit is zeker een punt dat ook in de Nederlandse normen meegenomen mag worden.

Tot slot

Optimalisatie van de huidige regelgeving is nodig om voldoende robuustheid te creëren en voortschrijdende instorting van constructies te voorkomen. Duidelijke constructieve oplossingen en samenhang binnen de Nederlandse normen zijn hierbij essentieel. Met voorgaande voorstellen is hier alvast een goede basis voor gelegd. ☒

LITERATUUR

- 1 ASCE (2013). ASCE/SEI 7-10: Minimum design loads for buildings and other structures. Reston, Virginia, Verenigde Staten van Amerika: American Society of Civil Engineers.
- 2 Bouwbesluit 2012. (2017, 01 januari). Geraadpleegd van <http://www.bouwbesluitonline.nl/Inhoud/docs/wet/bb2012>.
- 3 Fib. (2008). Fib bulletin No. 43: Structural connections for precast concrete buildings. Lausanne, Zwitserland: Fédération internationale du béton (fib).
- 4 GSA (2003). Progressive collapse analysis and design guidelines for new federal office buildings and major modernization projects. Washington, D.C., Verenigde Staten van Amerika: General Service Administration.
- 5 GSA (2013). Alternate path analysis and design guidelines for progressive collapse resistance. Washington, D.C., Verenigde Staten van Amerika: General Service Administration.
- 6 NEN (2005). NEN 6700: Technische grondslagen voor bouwconstructies – TGB 1990 – Algemene basiseisen. Nederland: Nederlands Normalisatie-instituut.
- 7 NEN (2007). NEN 6702: Technische grondslagen voor bouwconstructies – TGB 1990 – Belastingen en vervormingen. Nederland: Nederlands Normalisatie-instituut.
- 8 NEN (2011). NEN-EN 1990: Eurocode 0: Grondslagen van het constructief ontwerp. Nederland: Nederlands Normalisatie-instituut.
- 9 NEN (2011). NEN-EN 1991-1-7: Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1-7: Algemene belastingen – Buitengewone belastingen: stootbelastingen en ontploffingen. Nederland: Nederlands Normalisatie-instituut.
- 10 NEN (2011). NEN-EN 1992-1-1: Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen. Nederland: Nederlands Normalisatie-instituut.
- 11 NEN (2012). NTA 4614-3: Convenant hoogbouw – Deel 3: Constructieve veiligheid. Nederland: Nederlands Normalisatie-instituut.
- 12 U.S. Department of Defence (DoD) (2016). Design of buildings to resist progressive collapse. Washington, D.C., Verenigde Staten van Amerika: Unified Facilities Criteria (UFC).
- 13 Wijte, S. (2015). Eisen aan robuustheid: Regelgeving ten aanzien van robuustheid niet eenduidig; verandering op komst. *Cement* 2015/4.

Symposium Eurocodes geeft eerste indrukken

Wat gaat er veranderen aan de Eurocodes?

De Eurocodes gaan flink op de schop. Het is een enorme operatie, waar momenteel door een grote groep deskundigen hard aan wordt gewerkt. Tijdens een symposium van VNconstructeurs en NEN op 21 november werd veel duidelijk over de stand van zaken en de te verwachten wijzigingen.

In totaal zijn er internationaal momenteel zo'n 1500 mensen bezig met de herziening van de Eurocodes, verdeeld over een kleine 100 commissies, zo rekende Steve Denton voor. Denton, voorzitter van CEN/TC250 – de commissie die verantwoordelijk is voor de Eurocodes –, was een van de sprekers op het symposium. Die 1500 is nog gerekend buiten alle mensen die in nationale commissies actief zijn in de diverse landen. Geschat wordt dat het totaal aantal mensen dat zich bekommert om de nieuwe generatie Eurocodes misschien wel 10x zo hoog is. Ook het budget dat beschikbaar is gesteld door de Europese Commissie en EFTA is aanzienlijk, in totaal zo'n € 11,5 miljoen. Dat is exclusief de *in-kind* uren, ofwel de uren die alle commissieleden beschikbaar stellen.

Verwacht wordt dat met de *in-kind* uren meegerekend tenminste het vijfvoudige is geïnvesteerd om tot de nieuwe generatie Eurocodes te komen, nationale bijlagen niet meegerekend.

Het zijn indrukwekkende cijfers die duidelijk maken hoe enorm deze klus is. Het gaat in totaal om 10 normen die uit 59 delen bestaan. Samen beslaan ze uit zo'n 5000 pagina's. Overigens is de hoeveelheid constructieve normen exponentieel gestegen (fig. 2). Met de nieuwe generatie moet een eind komen aan die trend.

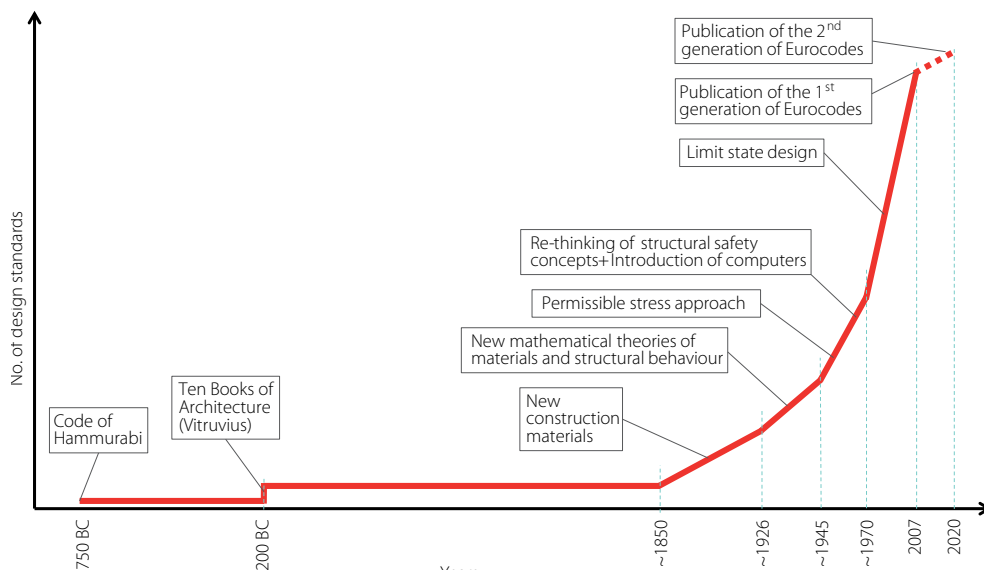
De omvang en de energie die nodig is voor de totstandkoming sluiten op zichzelf goed aan bij het grote belang van de normenserie. Denton schat in dat alleen al in de 33 Europese landen

waar de Eurocodes officieel gelden, er zo'n 500.000 mensen gebruik van maken. Daar komen dan de landen buiten Europa nog bij. En wereldwijd worden de Eurocodes gezien als de meest betrouwbare standaarden voor het constructief ontwerp.

Ease of use

Een van de belangrijkste doelstellingen van de herziening is *ease of use*. De Eurocodes moeten beter gaan aansluiten aan de behoefte de gebruikers. Een document N1250 'Policy Guidelines and Procedures' dat breed beschikbaar moet worden gesteld, moet daarbij helpen. Net als toegankelijke praktische voorbeelden.

Ook Simon Wijte, lid van CEN-commissies TC250/SC2 en SC2/WG1, benadrukte in zijn voordracht het belang van *ease of use*. Hij is ervan overtuigd dat complexiteit in normen fouten eerder zullen bevorderen dan dat ze worden voorkomen. Uit onderzoek, en ook uit dagelijkse praktijk – Wijte komt er nogal wat tegen bij Adviesbureau Hageman – blijkt dat schades bijna altijd het gevolg zijn van menselijke fouten. Oorzaak is dus niet een te laag veiligheidsniveau. Wijte wil dan ook voorkomen dat er te veel energie wordt gestoken in het zeer nauwkeurig vaststellen van veiligheidsfactoren. Beter is het energie te steken in gebruiksgemak. Normen zijn een tool voor de constructeur en geen wetenschappelijke publicaties. Ze moeten niet complexer zijn dan noodzakelijk. Wijte pleit dan ook voor een *code of practice* voor elke Eurocode, die toereikend is voor 90% van de constructies.



- 1 Betoncasco van hoofdkantoor ASR tijdens de renovatie
bron: Ballast Nedam
- 2 Evolutie constructieve normen

Eurocode 2

Wat betekenen deze ambities voor de inhoud van de normen?

Tijdens het symposium gaf Hans Rudolf Ganz, voorzitter van CEN/TC 250/SC 2, een inkijkje in de wijzigingen in Eurocode 2.

Ook voor Eurocode 2 gelden uiteraard de algemene doelstellingen als *ease of use* en het terugdringen van het aantal NDP's. De huidige Eurocode 2 telt er 165. De (voorlopige) teller staat voor de nieuwe versie nu op 38. De totale omvang van de norm moet ook flink omlaag. De ambitie is nu een reductie met zo'n 100 pagina's tot 250. Daartoe zullen regels die weinig praktisch nut hebben worden geschrapt en zullen herhalingen zo veel mogelijk worden vermeden.

Om het gebruiksgemak te bevorderen wordt de navigatie verbeterd en wordt op diverse plekken een methode ingevoerd, waarbij eerst op een relatief eenvoudige manier wordt nagegaan of een controle nodig is. Pas als dat zo blijkt te zijn, moet de iets complexere toets worden uitgevoerd.

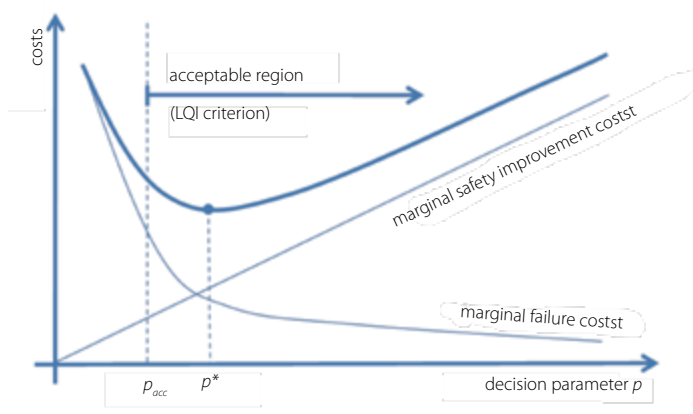
Een van de gevolgen van de wijzigingen is dat de inhoud van delen 2 en 3 van Eurocode 2 waarschijnlijk wordt toegevoegd aan deel EN 1992-2 en 3 wordt ingevoegd in EN 1992-1-1. Voor bestaande bouw zal een bijlage worden toegevoegd. Verder is rekening gehouden met de mogelijkheid bijzondere materiaalvarianten toe te passen, zoals vezelbeton.

Meer specifiek gelden voor Eurocode 2 de aandachtgebieden duurzaamheid (durability), niet-lineair rekenen, size-effect en thermische spanningen in verhardend beton. Uit een belangrijke reviewronde uit 2014, voorafgaand aan de start van fase 1 van het herzieningstraject, kwamen daarnaast enkele inhoudelijke onderwerpen naar voren: dwarskracht, pons, scheurvorming en verankering. Nederland heeft overigens goed meegedaan aan die reviewronde, en stond wat aantal reacties betreft op de tweede plek, na Groot-Brittannië.

Ganz stipte bijna alle wijzigingen aan die in voorbereiding zijn. Een voorbeeld is de introductie van de factoren $\eta_{cc} \cdot k_{tc}$ bij de bepaling van de rekenwaarde van de druksterkte. Deze factoren vervangen α_{cc} , waarmee langduureffecten in rekening worden gebracht. Door de factor η_{cc} komt het verschil in druksterkte tussen de beproefde cilinders en de werkelijke constructie beter tot uiting. k_{tc} is een factor voor langeduurbelasting.

$$f_{cd} = \eta_{cc} \cdot k_{tc} \cdot f_{ck} / \gamma_c \text{ waarin } \eta_{cc} = (40/f_{ck})^{1/3} \leq 1$$

Overigens zal de notatie voor de sterkteklasse (f_{ck}) die uit twee getallen bestaat, waarschijnlijk veranderen in slecht één getal. Alleen de cilinderdruksterkte zal nog worden genoemd.



3

Harmonisatie

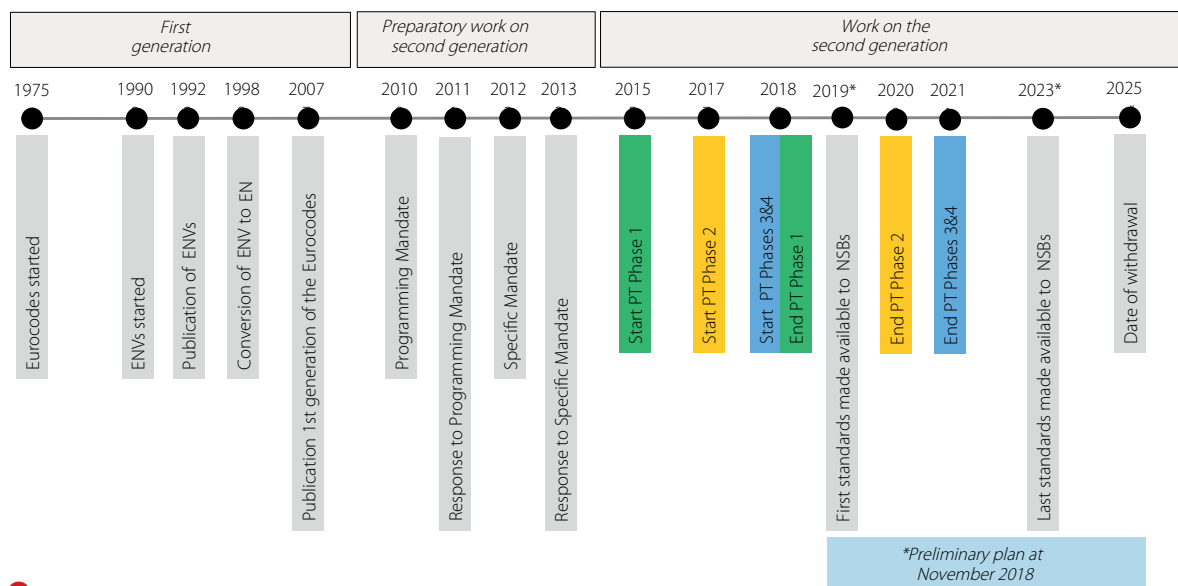
Een tweede belangrijke doelstelling van de herziening is Europese harmonisatie. Uiteraard was dat ook al het doel van de eerste generatie. Maar via nationale bijlagen kunnen landen nog een behoorlijk deel zelf invullen, onder meer via zogenoemde NDP's, ofwel *Nationally Determined Parameters*. Dat aantal moet drastisch omlaag. Een beperkte nationale invulling zal overigens wel noodzakelijk blijven. Al was het alleen vanwege de klimatologische omstandigheden die over Europa fors verschillen en het feit dat ieder land zijn eigen veiligheidsniveau mag bepalen.

De verschillende landen op een lijn krijgen is geen sinecure, zo laten de diverse betrokkenen duidelijke blijken. Maar er wordt niet naar de weg van de minste weerstand gezocht. Denton benadrukt dat als belangrijk uitgangspunt geldt dat waar er geen unaniem besluit mogelijk is, er eerder naar consensus wordt gezocht dan dat er een meerderheid van stemmen geldt. Consensus betekent in dit geval dat er geen onoverkomelijke weerstand of bezwaren zijn tegen een voorstel.

Overige doelen

Naast *ease of use* en harmonisatie gelden er nog tal van andere aandachtspunten. Enkele belangrijke zijn robuustheid, bestaande bouw en klimaatverandering. Ook een aantal praktische problemen moet worden opgelost. Zo moeten begrippen en symbolen in verschillende normdelen consequenter worden gehanteerd. Wijte noemt het begrip slankheid als voorbeeld. In Eurocode 2 betekent dat heel iets anders dan in Eurocode 6. Ook de symbolen voor hoogte, breedte, lengte en dikte worden niet consequent gehanteerd.

Ook redactionele aspecten worden aangepakt. In de Engelstalige versies is er bijvoorbeeld een verschil tussen *shall* en



4

should. Dit vindt zijn oorsprong in het minder dwingende karakter van de Engelse normen en is gerelateerd aan het onderscheid tussen beginselen en toepassingsregels. In de Nederlandse vertaling komt dit tot uiting in het gebruik van *moet* en *behoort*. In de nationale bijlagen is echter gesteld dat waar *behoort* is geschreven, *moet* gelezen moet worden gelezen. Dit soort omslachtigheden zou niet meer nodig moeten zijn.

Veiligheidsfilosofie bestaande bouw

Bestaande bouw gaat zoals gezegd ook een belangrijkere plek krijgen in de Eurocodes. In Nederland hebben we daar al de NEN 8700-serie voor. Die kan een als belangrijk voorbeeld dienen voor de Eurocode, zo lichtte Maurice Hermens toe tijdens het symposium. Hij ging daarbij vooral in op de veiligheidsfilosofie (fig. 3). Die verschilt immers wezenlijk van nieuwbouw en inzicht in die filosofie is ook nodig voor het juist toepassen van de verschillende normen en kaders.

Een belangrijk onderscheid tussen bestaande bouw en nieuwbouw is dat het verhogen van de veiligheid in nieuwbouw relatief goedkoop is. Voor nieuwbouw zullen economische aspecten dan ook veel dominanter zijn dan bij bestaande bouw, waar persoonlijke veiligheid vaak het uitgangspunt is. Anders gezegd: een conservatieve benadering kan voor nieuwbouw nog wel eens uitkomst bieden, maar is voor bestaande bouw vaak erg oneconomisch. Daar moet een meer realistische benadering worden gekozen.

Planning

De voorbereidingen voor de tweede generatie Eurocodes lopen sinds 2010 (fig. 4). De verwachting is dat de eerste delen, waarschijnlijk onder meer NEN 1990, in 2019 als *final draft* beschikbaar komen.

De *first draft* van de bijlage bij Eurocode 2 over bestaande bouw (equivalent van onze NEN8702) wordt in april 2017 verwacht. Gezien onze ervaringen met de NEN 8700-serie wordt feedback vanuit Nederland zeer gewaardeerd. Voor andere delen geldt dat de first draft nog voor *informal inquiry* wordt verstuurd.

De laatste delen van de Eurocode zullen waarschijnlijk pas in 2023 gereed zijn. De verwachting is voorts dat in 2025 de huidige generatie zal worden ingetrokken.

De nieuwe Eurocodes laten dus nog even op zich wachten. Maar er worden nu flinke vorderingen geboekt. In november 2018 is er weer een belangrijke stap gezet. De dagen na het symposium vond in Nederland de jaarlijkse vergadering van CEN Technical Committee 250 'Structural Eurocodes' plaats. Daar werd overigens duidelijk dat er enorme interesse is in wat de praktijk vindt van de Eurocodes. Van ontwikkeling in achterkamers is dan ook zeker geen sprake. ☒

Jacques Linssen

3 Economische optimalisatie
4 Ontwikkeling Eurocodes

Meer lezen

Bij de online publicatie van dit artikel zijn ook beschikbaar:

- Position paper Enhancing ease of use;
- Position paper Reducing the number of NPDs;
- N1250 Policy Guidelines and Procedures.

Lees ook het interview 'Waarom een nieuwe generatie Eurocodes?'. En ben je benieuwd naar de specifieke details van de herziening, zie dan www.nen.nl/eurocodes2020





Ervaringen eerste Cement-Softwaredag

Stuurt constructeur software of acteert deze zelf?

Een constructeur loopt door het kantoor, druk pratend in zijn headset en gebarend naar het driedimensionaal geprojecteerde model. Als het aan Martinus van de Ruitenbeek van VolkerInfra had gelegen, dan was dit ogenschijnlijk futuristische beeld al lang werkelijkheid. Hij gaf tijdens de eerste Cement-Softwaredag een verrassende blik op de toekomst.

Van de Ruitenbeek is de drijvende kracht achter het Future-Lab bij VolkerInfra, een creatieve omgeving om nieuwe ontwikkelingen in de bouw te stimuleren en te versnellen. Als keynote speaker op de Softwaredag schudde hij de aanwezigen flink wakker met zijn ideeën over spraakgestuurde robots en balken die met elkaar communiceren. Zelf is hij al jaren bezig met ontwikkelingen die moeten leiden tot een manier van communiceren met de computer die gelijk staat aan

¹⁾ ir. Marloes van Loenhout en ir. Cindy Vissering maken deel uit van de redactie van Cement.

ir. Marloes van Loenhout ¹⁾

VolkerInfra

ir. Cindy Vissering ¹⁾

Betonhuis

menselijke communicatie. Hij hield zich in zijn promotieonderzoek bezig met evolutie van natuur en paste vergelijkbare principes toe op de bouw.

Communicerende bouwdelen

Computers kunnen al heel veel met menselijke taal. Maar nu gaan ze vooral uit van vooraf ingestelde zinsbouw. Een afwijking daarop resulteert in een 'niet begrijpen'. Mensen gebruiken de bouwstenen van de taal op veel verschillende manieren en weten elkaar zo te begrijpen, ook in toepassing van synoniemen en uitdrukkingen. Voor computers wordt dat ook mogelijk. Het ideaalbeeld van Van de Ruitenbeek gaat zelfs nog een stap verder. Met intelligente communicatie kunnen machines niet alleen beter begrijpen wat de constructeur bedoelt, maar kunnen zij ook onderling communiceren. Rekendelen kunnen een identiteit krijgen, bijvoorbeeld als bouwdeel. Zo kunnen de prefab-betonbalken onderling in gesprek gaan en bepalen hoe zij hun druksterkte, wapening en milieuklasse op elkaar en de rest van de componenten in het gebouw af moeten stemmen.

¹ Als keynote speaker schudde Martinus van de Ruitenbeek de aanwezigen flink wakker met zijn ideeën over de toekomst

foto: Dionne Versteegen

² Tijdens een expositie en via diverse deelsessies presenteerden softwareleveranciers de mogelijkheden van hun constructieve programma's

foto: Dionne Versteegen

Softwaredag

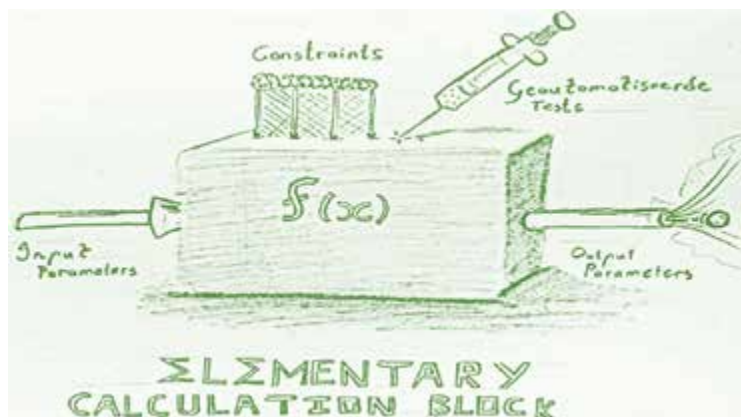
Op 31 oktober vond in Congrescentrum 1931 in Den Bosch de eerste Softwaredag van *Cement* plaats. Tijdens een expositie en via diverse deelsessies presenteerden softwareleveranciers de mogelijkheden van hun constructieve programma's. Zo kregen constructeurs een beeld van de laatste ontwikkelingen op softwaregebied. Voor leden van *Cement* was deze middag gratis.

Aanwezige leveranciers:

- | | |
|-------------------|-----------------------|
| - Buildsoft | - SCIA |
| - Construsoft | - Struct4U |
| - Diana FEA | - ech Data / AutoDesk |
| - Matrix | - Viktor |
| - MSc Engineering | - White Lioness |

De reacties op het evenement waren zeer positief, zowel van de softwareleveranciers als van de bezoekers. Met een gemiddeld rapportcijfer 8 raden bezoekers de *Cement* Softwaredag aan bij collega vakgenoten. Voor herhaling vatbaar dus!





3

De taak van de constructeur bestaat er dan uit om de randvoorwaarden goed aan te geven. Binnen die randvoorwaarden kunnen de componenten hun eigen op elkaar afgestemde oplossing vinden. Zo is de software een hulpmiddel voor de constructeur om te komen tot snelle, efficiënte berekeningen om constructieve veiligheid aan te tonen van de constructie.

Waar herkennen we dat van? Juist, van parametrisch ontwerpen. *Cement* heeft twee themanummers over dit onderwerp uitgebracht. Het is een onderwerp dat ook op de Softwaredag ruime aandacht kreeg.

Parametrisch ontwerpen

Parametrisch ontwerpen, dat nu volop in de belangstelling staat, is volgens Van de Ruitenbeek een belangrijke stap richting zijn ideaalbeeld. Wanneer de modellen te groot en ingewikkeld worden, dan kan de constructeur het niet meer begrijpen en geen expertoordeel geven. Van de Ruitenbeek pleit ervoor in deze fase kleine *building blocks* te ontwikkelen. Deze *building blocks* kunnen als kleine onderdelen per project anders worden geschakeld om tot een specifieke oplossing te komen.

Het begint met het automatiseren van routinematige rekenklussen. Veel constructeurs ontwikkelen nu nog zelf modellen in Excel of met Python. Volgens Van de Ruitenbeek moet de constructeur zich weer helemaal richten op zijn eigen kernexpertise en niet ook nog kunnen programmeren. Veel rekensoftware is gebruikersvriendelijker geworden, en staat op verschillende manieren open om parametrisch te kunnen ontwerpen om op efficiënte wijze verschillende varianten door te kunnen rekenen. Parametrisch ontwerpen is op deze manier niet alleen nog maar voor de diehard programmeerder/constructeur, maar ook voor de 'gewone' constructeur.

Softwareleveranciers

Verschillende softwareleveranciers, die op de Softwaredag een parallelpresentatie hielden, kwamen met oplossingen die hier heel erg op aansluiten. Over het algemeen zijn er in software drie verschillende manieren van parametrisch ontwerpen:

- invoer van parameters in het programma zelf met behulp van invoerblokken;
- invoer van parameters gekoppeld aan invoer in Excel;
- invoer via API (Application Programming Interface), bijvoorbeeld met Dynamo of Grasshopper.

Het inzetten van parametrisch ontwerpen kan dus op verschillende niveaus, afhankelijk van wat de gebruiker kan. Naast varianten voor het doorrekenen van bijvoorbeeld palenplannen, zijn er ook mogelijkheden om normcontroles toe te voegen met behulp van een API, om op die manier te werken aan innovatieve oplossingen waarvan de meeste normen nog geen voorschriften hebben. Ook dit biedt de constructeur weer mogelijkheden om tot oplossingen te komen voor de toekomst.

Softwareleveranciers staan ook open voor nieuwe plug-ins voor het toevoegen van extra toepassingen. Daarnaast zijn er mogelijkheden om doorsneden te optimaliseren, ook weer afhankelijk van de kennis van zaken. Ofwel snel en robuust, ofwel optimaliseren door een uitgebreide toets.

White Lioness technologies gaat een stap verder, zo liet Jeroen Coenders in zijn parallelsessie zien. Met platform Packhunt.io kan de constructeur kleine rekeneenheden aan elkaar schakelen. Hij creëert hiermee de randvoorwaarden voor speciale behoeftes van zijn project. Op die manier modelleert de constructeur een *digital twin*, een digitale weergave van het object dat straks wordt gebouwd. Een wijziging is dan snel weer helemaal doorerekend.

Per project kan er zo een specifiek model worden ontwikkeld. Een voorbeeld hiervan is een trapfabrikant die een model heeft gebouwd waarin zijn klanten zelf kunnen aangeven welke wensen zij aan de trap hebben. De gegevens en tekeningen gaan direct door naar de productie. Het is hierbij ook al mogelijk, indien de fabriek grotendeels geautomatiseerd is, om de machines in de fabriek direct aan te sturen.

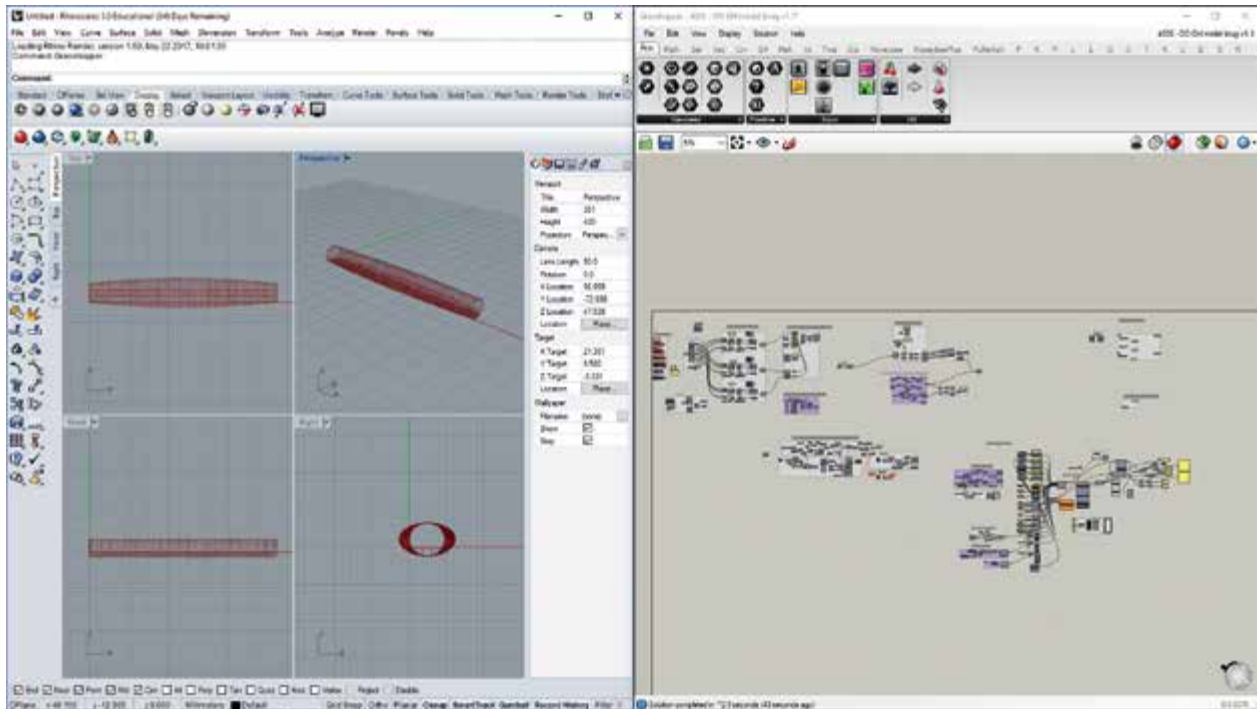
Beweging in de sector

De omgeving van de constructeur is aan meerdere veranderingen onderhevig, die het parametrisch ontwerpen in de hand werken. Dat werd onder meer duidelijk aan de hand van de deelsessie van Marc Breugelmans van Autodesk.

- Projecten worden steeds complexer, dus het wordt steeds meer werk om verschillende varianten geheel door te rekenen.

3 Van de Ruitenbeek pleit ervoor kleine building blocks te ontwikkelen

4 Rhino- en Grasshopper-model
bron: White Lioness technologies



4

- Er wordt steeds meer gevraagd naar optimalisatie: zowel in kosten als in materialen (vanuit duurzaamheid).
- Teams die aan een project werken worden steeds groter, omdat verschillende expertises aanhaken en bijvoorbeeld fabrikanten in een eerder stadium aan tafel komen.
- Er wordt steeds meer gevraagd om in 3D-modellen te werken, waarin alle projectdeelnemers informatie toevoegen.
- Er wordt steeds meer iteratief gewerkt.
- Door automatisering wordt ook de bouw aangestuurd vanuit het model.
- Het werk van de constructeur breidt uit, van eerst vooral de ontwerpfase nu ook meer de uitvoeringsfase in.

Kortom, het wordt hoog tijd dat parametrisch ontwerpen de standaard wordt. Op de Softwaredag van *Cement* zagen we die beweging al heel mooi ontstaan.

Wat zijn dan nu de trends binnen softwaregebied? De rode lijn is gebruiksvriendelijkheid, efficiëntie, plug-ins en keuzemogelijkheden om parametrisch te ontwerpen en programma's aan elkaar te koppelen. Zo geeft de software van nu al veel mogelijkheden om meerdere varianten door te rekenen, programma's aan elkaar te koppelen, maar ook optimalisatiemogelijkheden voor de doorsnedetoetsen.

Hoe lang nog totdat de constructeur al pratend en armzwaaiend tegen zijn model zijn werk doet? ☒



Acolhuas House ontving de 1e prijs nationaal en 2e prijs internationaal van de Cemex 2017 Works Award. Het project won de zilveren medaille op de X Bienal de Arquitectura de Jalisco 2017 en kreeg een eervolle vermelding op de XV Bienal Nacional Nacional Mexicana 2018. Nu is het project genomineerd voor de Mies Crown Hall Americas Prize 2018 en voor de Oscar Niemeyer Latin American Architecture Award 2018.

Tongewelven in wit betonnen villa

Beton en tongewelf

Acolhuas House verrast. Het is niet de eerste villa samengesteld uit wit betonnen rechthoeken, maar de combinatie met tongewelven van metselwerk is bijzonder. Het contrast in kleur en materiaal is samengebracht door de hoogte van de bekistingslatten af te stemmen op de hoogte van de stenen. Het wit betonnen casco verbindt de gestapelde volumes tot een stijlvol, solide geheel.





3



2 De gevel bestaat geheel uit wit beton met een zichtbare houtstructuur

3 De woonruimte is gerangschikt rond een patio

Witte compositie

Acolhuas House staat in een woonwijk van de heuvelige stad Guadalajara in Mexico. De gevel bestaat geheel uit wit beton en is slechts incidenteel onderbroken door raampartijen met aluminium kozijnen (foto 2). De vrijstaande villa grenst aan een dichtbebost, openbaar park. De woning is verder omringd

door tuinen. Voor het waarborgen van de privacy, is de woonruimte gerangschikt rond een patio (foto 3). Met de speelse opbouw in volume is rekening gehouden met zowel het uitzicht van burens, als het verhullen van een massieve wand van het pand ernaast.

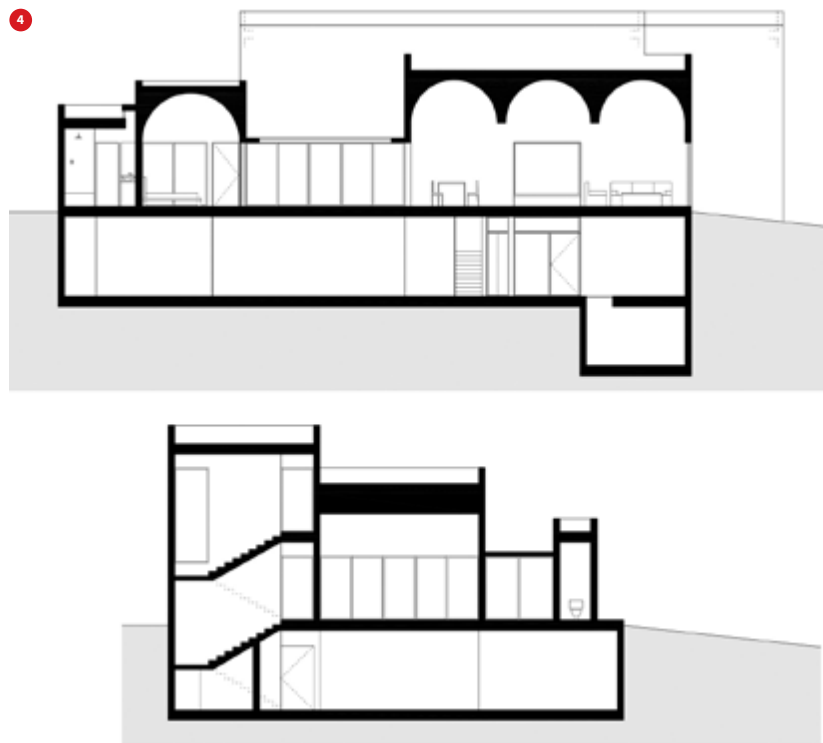
Met beton verenigd

Ook binnen vormen de wit betonnen wanden de gemene deler. Er zijn verschillende typen plafonds en twee soorten afwerking op de vloer toegepast, maar de binnen- en buitenwanden zijn consequent van tweezijdig schoonbeton. Er zijn drie materiaalsoorten voor de plafonds toegepast: grijs beton bij de entree en in de garage (foto 5), hout in de secundaire ruimtes zoals de keuken, slaapkamers, gastenverblijven en de gangen, en metselwerk tongewelven in de woonkamer en de eetkamer (foto 1). Voor de vloer is in de woonkamer en eetkamer Italiaans marmer in groot formaat gebruikt, in een ingetogen kleur grijs voor de balans. Ruimten zoals de studeerkamer en slaapkamers hebben houten vloeren.

Autovriendelijk gefundeerd

De draagconstructie bestaat uit gewapend beton. Uit een bodemstudie kwam voort dat de woning onderheid zou moeten worden met palen. Als alternatief is gekozen voor een betonnen funderingsbak op staal onder de volledige woning, van circa 3 m diep. De grijs betonnen kelder heeft een vloerplakket van 280 mm en wanden van 200 mm dik. Er is nu parkeerterrein voor wel acht auto's.

- 4 Doorsnede woning
bron: SPRB arquitectos
- 5 Bij de entree is grijs beton in de plafonds toegepast



De massieve wanden in wit beton zijn dragend en hebben een breedte van 220 mm. Er is geen isolatie nodig vanwege het warme, gematigde klimaat. De met de hand gemaakte metselwerk tongewelven zijn gevoegd met witte klei. Waar mogelijk zijn de stenen opgelegd in de betonnen wanden. De overspanning van de woonruimte is echter onderverdeeld in drie gewelven (fig. 4). Daar zijn stalen t-liggers toegepast ter ondersteuning van de gewelven. Ze zijn met het betonnen dak verbonden via stalen ankers.

Timmeren aan resultaat

De houten bekisting is vakkundig met de hand vervaardigd. Aan bijvoorbeeld de regelmatige positie van de centerpenen is te zien hoeveel aandacht daaraan is besteed. Het was uitdagend om alle benodigde wapening en leidingwerk te verwerken in een kist van slechts 220 mm breed. Daar kwam nog bij dat bijna alle witte wanden tweezijdig schoonbeton zijn. Het vergde zeer secuur timmerwerk om de naalddhouten latten, van 100 mm hoog en variërend in lengte, precies te laten stroken met de daken en de bovenzijden van kozijnen. De bekistingen konden ongeveer drie á vier keer worden hergebruikt.

Er is een zelfverdichtend beton toegepast. Het beton heeft een druksterkte van 29 MPA. Er is wit cement gebruikt en toeslagmateriaal van wit marmer voor de kleur. Het betonmengsel is in de fabriek samengesteld om kleurverschil tussen verschillende keren storten tot een minimum te beperken. Dankzij de fijne textuur van het beton tekent het naalddhout van de bekisting haarfijn af op het oppervlak.

PROJECTGEGEVENS

project Acolhuas House, Guadalajara, Mexico
opdrachtgever Particulier
gebruiker Particulier
architect SPRB arquitectos, Guadalajara, Mexico
constructeur Jaime Velasco, Ismael Correa, Guadalajara, Mexico

aannemer Jaime Velasco, Ismael Correa, Guadalajara, Mexico
uitvoering beton Cemex, Mexico
totaal vloeroppervlak 980 m² (bruto)
periode ontwerp: 2014; start bouw: 2015; oplevering: 2016

Tektoniek

Het project Acolhuas House, Guadalajara, Mexico 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.

De grote werken

70 jaar Cement: 1981 - 1998

Wat was het leuk om weer eens door oude jaargangen van Cement te bladeren. Het terugblikken in de jaargangen 1980-1998 was voor ons een nostalgische ervaring. Het was de periode dat wij als constructeur begonnen bij Grabowsky&Poort (later opgenomen in Arcadis) en doorgroeiden tot raadgevend ingenieur respectievelijk directeur. Er was veel herkenning van projecten en namen van auteurs, vaak met persoonlijke herinneringen. Een paar observaties uit deze periode.

Wetenschappelijk onderzoek – bekende namen van toen en nu

Het eerste wat opvalt, is dat er in begin jaren 80 veel meer dan nu werd gepubliceerd door de wetenschappelijk medewerkers en onderzoekers van de faculteit Civiele Techniek van de TU Delft. In die tijd stond de vakgroep Betonconstructies onder leiding van prof.dr.ir. A.S.G. Bruggeling. Hij heeft dan ook sterk zijn stempel gedrukt op de onderwerpen die aan bod kwamen. Talloze onderzoeken leidden tot nieuwe inzichten voor rekenregels voor betonconstructies. Onder de auteurs vinden we veel mensen terug die nu nog een belangrijke functie vervullen in de betonwereld, zoals Walraven, Van Breugel, Cornelissen, De Bruijn, Frenay, Braam en Van der Veen. In de jaren 80 waren zij als promovendus of afgestudeerde betrokken bij het onderzoek van de vakgroep.

Een groot deel van die onderzoeken was gericht op het verkrijgen van meer inzicht in het materiaal beton. We zien artikelen over het gedrag van verhardend beton, beton onder trek, modellen voor scheurwijdteberekening, temperatuurspanningen, bepaling van de buigstijfheid, vermoeiing van beton en temperatuurontwikkeling in verhardend beton.

Deze onderzoeken vormden naast Europees onderzoek van CEB of FIP (de voorlopers van Fib) een basis voor zich steeds meer ontwikkelende rekenregels voor het gedrag van beton.

Serie met terugblikken op Cement

Begin 2019 bestaat *Cement* 70 jaar. Met een serie artikelen blikken we terug op die zeven decennia. In vier delen beschouwen diverse auteurs een periode van 15 tot 20 jaar. Nu is het de beurt aan Johan Galjaard en Dik-Gert Mans, die de periode 1981 – 1998 onder de loep nemen. De eerste periode nam onze hoofdredacteur Dick Hordijk voor zijn rekening en de tweede periode werd beschouwd door Pierre Hendrikx, bestuurslid van YouCon.

Het is geheel aan de auteurs overgelaten wat zij uit de betreffende *Cement*-periode naar voren willen halen.

In 1984 werd de toen bestaande reeks betonnormen van de VB74 samengevoegd in NEN 3880 Voorschriften Beton VB 1974/1984. Naar aanleiding hiervan kwam er in *Cement* veel aandacht voor het detailleren van betonconstructies. In een reeks van 13 delen 'Berekenen en detailleren van constructieonderdelen' [1] (fig. 1) werd door prof. Bruggeling en zijn medewerkers uitleg gegeven over de uitwerking van een aantal betondetails conform deze nieuwe norm. Een serie die door menig constructeur (ook door ondergetekende) uit het tijdschrift gekopieerd werd en in de kast als een basisnaslagwerk voor het uitwerken van betonconstructies werd bewaard. Ergens in deze reeks werd ook aandacht besteed aan de berekening van (tweepaals)poeren. Een onderwerp dat van alle tijden is. Toen Johan afstudeerde en als jonge constructeur bij een ingenieursbureau begon, meende hij dat dit soort onderwerpen voor ervaren collega's gesneden koek was. Maar al in een van de eerste dagen op kantoor belandde hij in een discussie hoe om te gaan met dwarskracht in een gedrongen poer. En tot op de dag van vandaag wordt er op zijn huidige bureau gediscussieerd over de meest economische wijze om een poer te ontwerpen en te wapenen.

Een andere serie artikelen veranderde in die tijd misschien wel de visie op en de berekeningswijze van voorgespannen beton. Tot die tijd werd voorgespannen beton als een apart materiaal

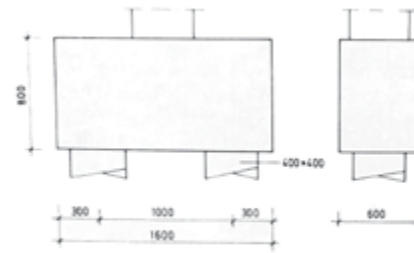
behandeld, maar in een reeks van veertien artikelen [2] introduceerde prof. Bruggeling de term 'constructief beton'. Hij legde uit dat voorspanning eigenlijk niets meer dan een belasting vooraf op een constructie is, en dus ook als zodanig moet worden berekend. Deze heldere uitleg maakte voor veel constructeurs de drempel om voorspanning toe te passen een stukje lager.

Grote projecten

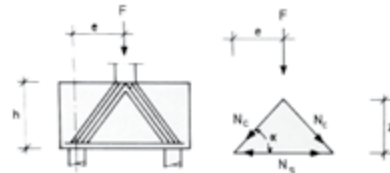
Cement was en is nog steeds een kennisdocument met informatie over projecten en de daarbij behorende constructieve ontwerpen, engineering en uitvoeringen. In de artikelen doen de auteurs verslag van de ontwikkeling van hun project, van initiatief tot en met oplevering. De aanleiding voor een publicatie is soms gelegen in het spraakmakende karakter van het project, soms in nieuwe technieken of combinaties van technieken. Ze vormen en vormden een bron van inspiratie voor ontwerpers en uitvoerenden. Een greep uit de vele boeiende artikelen.

Oosterscheldekering

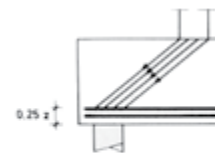
Begin jaren 80 zijn de Oosterscheldewerken (foto 2) in uitvoering. *Cement* besteedt hier uitgebreid aandacht aan (1982-1986 [3-8]). De bouw van de 66 pijlers is een majeur betonproject.



1 Afmetingen van de poer



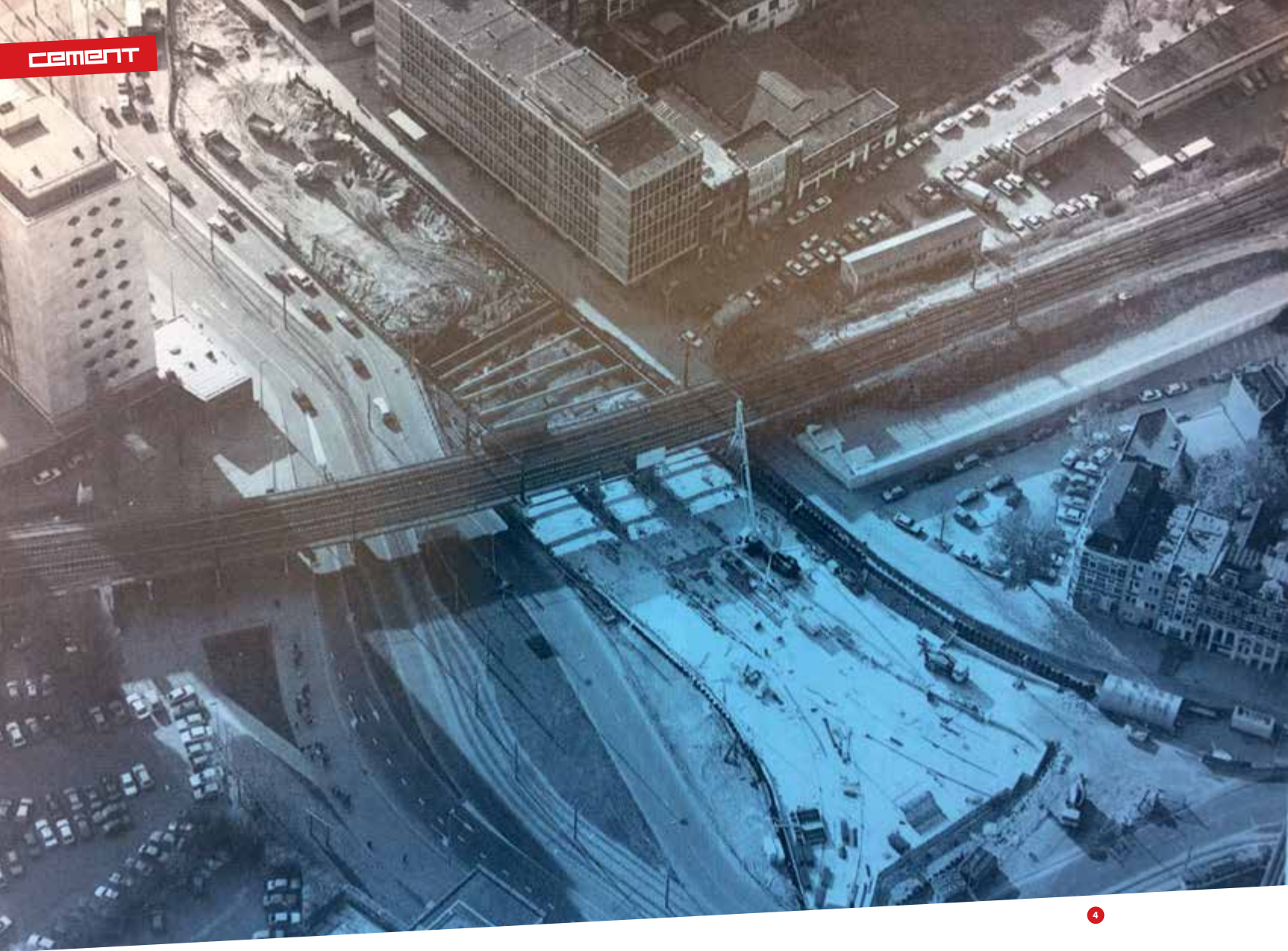
2 Schematisering ten behoeve van het rekenmodel



3 Beperking in de hoogte van lusvormige hoofdwapening

De bouw vindt plaats in bouwdokken die ingericht zijn als een fabriek zonder dak. In de artikelen wordt veel aandacht besteed aan de voorspanning, de betonsamenstelling en de uitvoering.





4

3



World Trade Centers

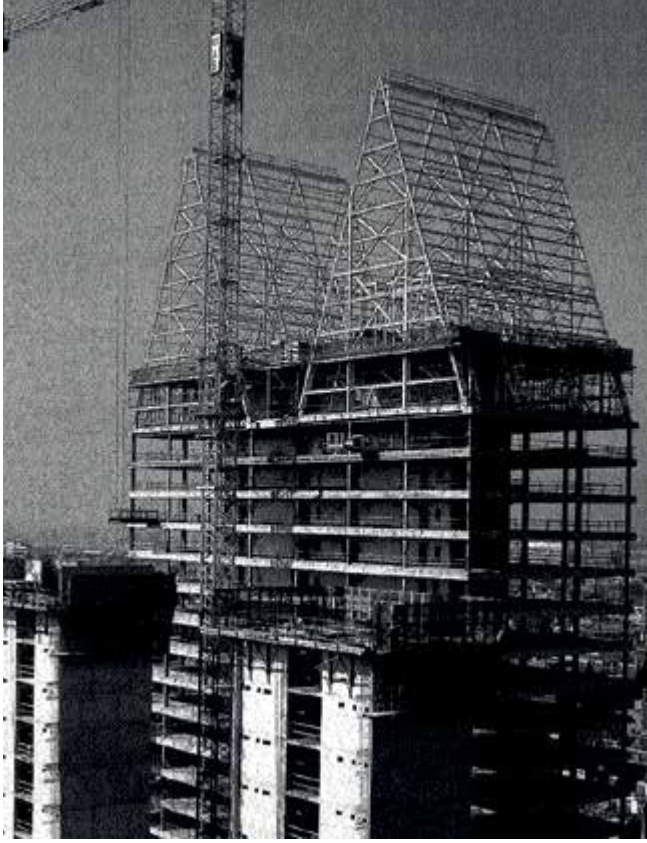
In 1983 worden er meerdere World Trade Centers beschreven, te beginnen met het World Trade Center te Amsterdam [9-11]. World Trade Center Rotterdam (1987 [12, 13]) is een mooi voorbeeld van binnenstedelijke bouwoplossingen: een toren bouwen door en op een bestaande hal.

Rotterdam

Rond de jaren 90 zijn er grote projecten in Rotterdam. Kantoor Deltse Poort (foto 3) [14] werd als hoogste kantoorgebouw gebouwd over de metro. De draagconstructie was voor een groot deel geprefabriceerd: in verband gestapelde prefab gevel-elementen en prefab vloerplaten, die met een zelfklimmende bouwloods als montagesysteem werden geplaatst. De Willem-spoortunnel zorgt voor een ongestoorde spoorverbinding tussen Noord en Zuid; de bouw en de bouwputten in de stad zijn uitdagend (1993 [15]). Metrostation Wilhelminaplein is een mooi staaltje vakmanschap (foto 4) (1995 [16]).

Den Haag

Ook in Den Haag gebeurde in die jaren het nodige op het gebied van grootschalige bouwprojecten. Als Haags bureau



5

waren wij daar intensief bij betrokken: het Haagse stadhuis, gebouwen rond (en boven) de Utrechtsebaan (o.a. kantoor Haagse Poort [17]), de reeks van nieuwe ministeries en tenslotte hele gebiedsontwikkelingen als De Resident (foto 5) [18, 19]. Over al deze projecten zijn artikelen geschreven.

Bruggen

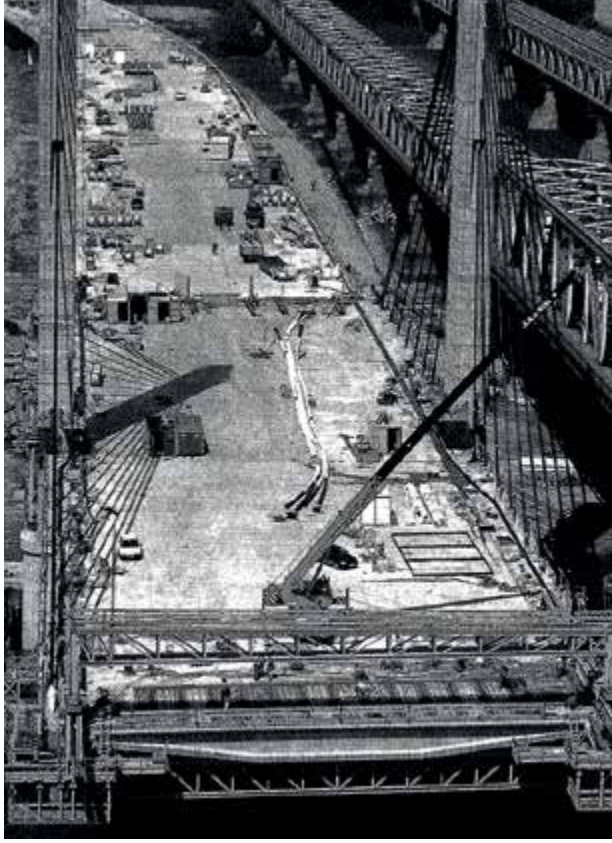
Op bruggengebied vallen twee projecten op. De King Fahd Causeway tussen Bahrein en Saudi-Arabië (1982 [20]) is een mooi staaltje export van Nederlandse know how. De artikelen over de Martinus Nijhoffbrug bij Zaltbommel (foto 6) (1996 [21]) vormen een gedegen naslagwerk over alle aspecten van tuibruggen.

Trends

Van enige afstand bekeken zijn er wel wat trends te onderscheiden: er wordt meer geprefabriceerd, de ontwerpen worden complexer (vormgeving, schaal) en tegelijkertijd worden de werkzaamheden op de bouwplaats zo industrieel mogelijk gepland.

Constructieve veiligheid

Het begrip 'constructieve veiligheid' komen we begin jaren 80 nog niet expliciet tegen in *Cement*. Het is soms gevat onder de titel 'kwaliteit' en, in het verlengde daarvan, 'bouwschades'. In 1985 schrijft Van Roosmalen, op dat moment directeur constructie van de Rijksgebouwendienst, een artikel waarin hij de relatie tussen kwaliteit en opdrachtgever belicht [22]. Na enkele algemene beschouwingen gaat het daarna al snel over schades. Hij meldt onder andere resultaten van een registratie van 300 schades; (bijna een-op-een vergelijkbaar met abc-meldpunt van 2011). In het artikel concludeert hij o.a. dat de veiligheid meestal niet in het



6

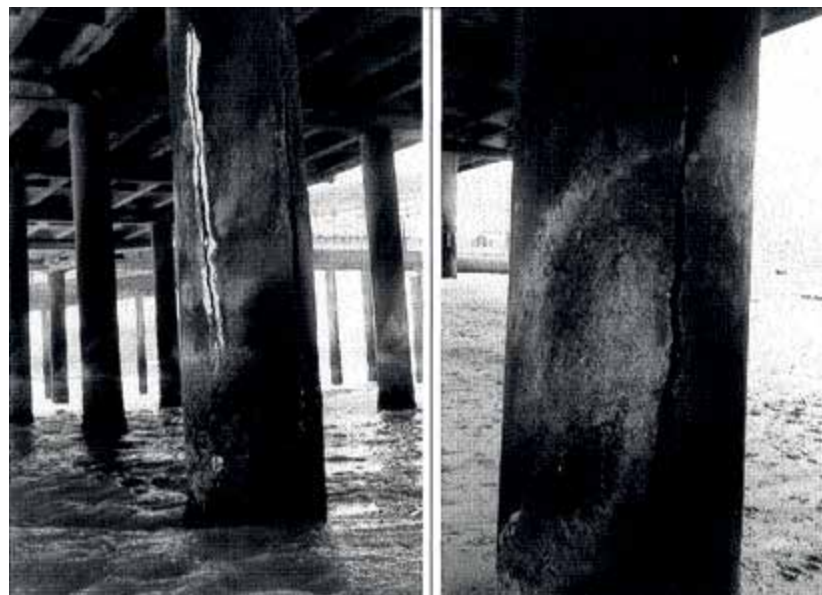
3 Delftse Poort in aanbouw [14]
foto: R. Kras

4 Metrostation Wilhelminaplein, Rotterdam [16]

5 Castalia, onderdeel van De Resident [19]
foto: Adeq

6 De Waalbrug (tegenwoordig bekend als de Martinus Nijhoffbrug) bij Zaltbommel in aanbouw [21]

7 Verticaal gescheurde palen onder de pier van Scheveningen [23]



7

geding is, maar dat er wel sprake is van ergernis en extra kosten.

Bouwschades (foto 7) krijgen ook aandacht in andere artikelen o.a. van De Jong (1992 [23]) en van Stoffers en Wubs (1992 [24]).

Er zijn ook meer visionaire beschouwingen terug te vinden, zoals in een column 'Veiligheid; dat kun je bekijken!' van de Verdichter, pseudoniem van prof. Charles Vos, uit 1994 [25]. Daarin worden CAD en CAM als belangrijke ontwikkelingen gezien die gaan helpen bij het voorkomen van bouwfouten. Maar er zijn ook kritische beschouwingen over (on)controleerbare computerberekeningen. *Cement* fungeert dan als opinie-tijdschrift. Dat zien we ook terug in de in 1997 gepubliceerde artikelen onder de naam 'De tikkende tijdbom', van auteurs

Complete literatuurlijst

Op www.cementonline.nl staat de complete lijst van alle geraadpleegde artikelen uit het online archief van *Cement*.

Vambersky en Sagel [26]. Deze artikelen zullen later nog vaak worden gememoreerd in discussies over constructieve veiligheid. Er wordt gewaarschuwd voor verkeerde trends: adviesopdracht gunnen op basis van laagste prijs, verregaande delegatie van engineering in de keten, gebrek aan coördinatie en controles, geen verantwoordelijke voor de constructieve samenhang.

De ontwikkelingen omtrent constructieve veiligheid, zoals waarneembaar in de jaargangen 1980-2000 van *Cement*, zijn in zekere zin een afspiegeling van meer algemene trends: focus op rendement door opdrachtgevers en door opdrachtnemers, specialisaties zoals bij toeleveranciers van bouwproducten en systemen. Dat sommige van deze trends te ver doorschoten is buiten kijf, maar alles bij het oude laten kon ook niet.

Tijdloos

Is er nu zo veel veranderd in *Cement* in de afgelopen dertig jaar? In vormgeving wel natuurlijk, daarin is *Cement* met haar tijd meegegaan. Van de zwart-wit bladzijden toen tot de kleurrijke, fraai vormgegeven pagina's nu. Maar wat de inhoud van de artikelen betreft vallen die veranderingen eigenlijk wel mee. Het viel ons juist op dat thema's van toen eigenlijk nog altijd actueel zijn. Er wordt nog steeds over dezelfde onderwerpen geschreven, al is de inhoud natuurlijk wel verder doorontwikkeld. In de jaren 80 zien we enthousiaste verhalen over hoe CAD/CAM de bouw zal gaan veranderen en in de afgelopen nummers van *Cement* wordt volop aandacht besteed aan alle mogelijkheden die de computer ons in het ontwerp biedt. Het tijdschrift geeft nog steeds ruimte voor artikelen over onderzoek en regelgeving. En de verhalen over de bouwprojecten van toen lijken eigenlijk nog heel sterk op de verhalen die wij nu lezen. Helaas geldt dat ook voor de zorgen over constructieve veiligheid, zoals we hebben geconstateerd.

Veel artikelen uit de oudere nummers van *Cement* blijken dus tijdloos te zijn, en vormen nog altijd een interessante bron van informatie wanneer men iets over een bepaald thema zoekt. Daarom is het prachtig dat het grootste deel van deze artikelen digitaal beschikbaar is, en dus ook nu nog gevonden kan worden. Het weer teruglezen van artikelen uit de jaren 80 was dus niet alleen het ophalen van een persoonlijke herinnering. Het was de ontdekking dat zeventig jaar *Cement* een enorme schat aan nog altijd bruikbare informatie – kennis en ervaringen van anderen – heeft opgeleverd voor ontwerpers, constructeurs en bouwers met het materiaal beton.

Wij hopen dat *Cement* deze rol als kennisplatform nog heel lang zal blijven volhouden. ☒

● BRONNEN

1. Bruggeling, A.S.G., Straman, J.P., Toepoel, L., Hogeslag, A.J. en Brak, L. (1984-1985). Artikelenserie Berekenen en detailleren van constructie-onderdelen (I- XIII). *Cement*.
2. A.S.G. Bruggeling (1986-1988). Artikelenserie Constructief beton (I- XIV). *Cement*.
3. Dixhoorn, J. van (1982). Stormvloedkering Oosterschelde : Introductie. *Cement* 1982/11.
4. Leeuw, R. de (1982). Transport en plaatsing van de 18.000 tons pijlers. *Cement* 1982/11.
5. Redactie *Cement* (1983). Eerste pijlers in de Oosterschelde geplaatst. *Cement* 1983/9.
6. Redactie *Cement* (1984). Voortgang Stormvloedkering Oosterschelde. *Cement* 1984/6.
7. Wiegers, S. en Boone, P. (1984). Prefabricage voor de stormvloedkering op het werkterrein te Kats. *Cement* 1984/10.
8. Spits, P.L. (1986). Stormvloedkering officieel in gebruik gesteld. *Cement* 1986/11.
9. Redactie *Cement* (1983). World Trade Center Amsterdam (I) – A. Inleiding. *Cement* 1983/8.
10. Dijk, H.A. van en Mans, D.G. (1983). World Trade Center Amsterdam – B. Constructie. *Cement* 1983/8.
11. Alphen, J.R. van (1983). World Trade Center Amsterdam (II) – C. Uitvoering. *Cement* 1983/9.
12. Köhne, J.H.L. (1987) Beurs – World Trade Center – Nieuw hoogtepunt in Rotterdam. *Cement* 1987/2.
13. Köhne, J.H. (1983). Uitvoering Beurs – World Trade Center Rotterdam. *Cement* 1987/3.
14. Boo, A.J. de en Mans, D.G. (1990). Delftse Poort, hoogste kantoorgebouw van Nederland. *Cement* 1990/4.
15. Hagen, H.J. en Tol, A.F. van (1990). Willemspoortunnel: Bouwputten voor het gedeelte op de rechter Maasoever. *Cement* 1990/4.
16. Feijen, Th.A. (1995). Metrostation Wilhelminaplein Rotterdam. *Cement* 1995/11.
17. Galjaard, J. (1993). Kantoor Haagse Poort : In het oog springende nieuwbouw voor Nationale Nederlanden. *Cement* 1993/6.
18. Galjaard, J. (1998). De Resident : Ontwikkeling van een nieuwe stadswijk in het centrum van Den Haag. *Cement* 1998/12.
19. Galjaard, J. (1998). Roeien met de riemen die je hebt!. *Cement* 1998/12.
20. Tongeren, H. van (1982). Saudi Arabia Bahrain Causeway. *Cement* 1982/11.
21. Kuilboer, C.P.M., Uden, O.M. van en Koning, S.J.F. (1996). Artikelenserie Waalbrug Zaltbommel (I-IV). *Cement* 1996/1, 2, 4 en 5.
22. Roosmalen, H.A.Ph. van (1985). Relaties tussen opdrachtgever en kwaliteit. *Cement* 1985/4.
23. Jong, P. de (1992). Artikelenserie Bouwschade ter lering (I-IV). *Cement* 1992/2, 3, 5 en 6.
24. Stoffers, H. en Wubs, A.J. (1992). Bouwschade ter lering (V). Scheurvorming in kelderwanden, *Cement* 1992/12.
25. Verdichter (1994). Veiligheid; dat kun je bekijken!. *Cement* 1994/12.
26. Vambersky, J.N.J.A. en Sagel, R. (1997). Artikelenserie De tikkende tijdbom onder de bouw I, II en III. *Cement* 1997/3, 6 en 9.

Ir. Erik Middelkoop is Register Ontwerper en als Manager Structural Design werkzaam bij Royal HaskoningDHV Rotterdam. Gedurende een jaar neemt hij samen met ir. Dirk Rinze Visser CEng RC de column in *Cement* voor zijn rekening.



De bouwsector onbegrepen

De Onderzoeksraad voor Veiligheid (OvV) heeft, na ruim een jaar onderzoek naar de instorting van de parkeergarage in Eindhoven, het rapport en de aanbevelingen gepresenteerd. De aanbevelingen zijn breed gedragen. Niets mis mee, maar gaan we hiermee toekomstige instortingen voorkomen? Missen we niet veel belangrijkere aanbevelingen en heeft de bouwsector nu echt, zoals de OvV stelt 'beperkt lerend vermogen'?

Volgens de OvV is de parkeergarage ingestort doordat de wapening van de vloeren niet is aangepast op een afwijkend ontwerp. Bij nadere bestudering van het technisch onderzoek, gedaan in opdracht van de OvV, blijkt de analyse exact gelijk aan die van TNO

matig goed zouden moeten gaan. Bij dit incident was echter meer aan de hand. In mijn column 'Instorting brengt systeemfout aan het licht' noemde ik al de rol van certificering. Er is echter nog een aspect dat meer aandacht verdient.

Nadat de bollenvloer de Nederlandse markt opstormde volgden concurrenten met andere vormen van gewichtsbeparende elementen. Die maakten niet de kosten om goed onderzoek te doen naar de eigenschappen van deze producten en gingen op prijs concurreren. In een goed gereguleerde bouwmarkt zouden die concurrenten daar niet mee moeten weggelaten. Dat kwamen ze echter wel. Ik praat zeker niet goed dat de leverancier van de bollenplaatvloer toen bij de door-

waren dus zeker op zijn plaats.

De algemene aanbevelingen die de OvV nu heeft opgesteld hebben niets te maken hebben met het onderzochte incident. Daarmee is het een opiniestuk geworden. Toch kunnen de aanbevelingen waardevol zijn.

De OvV geeft, vreemd genoeg, geen aanbeveling aan de producenten van bouwelementen. Wel aan vertegenwoordigers van de constructeurs, aannemers en opdrachtgevers. Die moeten gaan zorgen dat hun leden de aanbevelingen gaan opvolgen. Sterker nog, ze moeten gaan onderzoeken hoe ze dit verplicht kunnen gaan stellen. Dat zal niet meevallen in een ledenorganisatie.

De mooiste aanbeveling vind ik wel dat de vertegenwoordigers de minister moeten steunen bij 'het helder en coherent regelen van risicoverantwoordelijkheid en samenwerkingsverplichtingen in de algemene voorwaarden'. Waarom geeft de OvV niet zelf een aanbeveling aan de minister? Er zijn tal van maatregelen waarmee de minister zeer effectief de constructieve veiligheid zou kunnen verbeteren. Het verplichten van het constructeursregister inclusief gedragscode, het eisen van deskundig toezicht op de bouw en het verplichten van aantoonbare interne controle door alle partijen. Iedereen kan in Nederland opdrachtgever, aannemer of constructeur zijn. Daar heb je geen diploma of ervaring voor nodig en je hoeft ook nergens lid van te zijn. Dit is één van de spelregels. De OvV wil dat de bouwsector het spel anders gaat spelen zonder de

spelregels te veranderen. Dat lukt niet in een vrijemarkteconomie. De aanbevelingen zouden moeten worden gericht aan diegenen die de spelregels opstellen.

Het langverwachte rapport was nogal teleurstellend. Geen onderzoek naar de achterliggende oorzaken, aanbevelingen niet concreet genoeg en gericht aan de verkeerde partijen. Een gemiste kans doordat de OvV niet begrijpt hoe de mechanismen in de bouw werken. Alleen voor de technische inhoud, die al uitstekend was onderzocht, heeft men externe hulp gezocht.

Juist bij de instorting in Eindhoven heeft de bouwsector lerend vermogen getoond. Het ongeval is door de bouwsector zelf onderzocht en de bouwsector heeft er zelf over gepubliceerd. Er wordt nu onderzoek gedaan naar de capaciteit van de verbinding en alle bestaande gebouwen met een vergelijkbare constructie zijn opnieuw bekeken. Er gaat iets mis en we leren ervan, zo hoort het.

Eén enkele oplossing voor constructieve veiligheid bestaat niet. De oplossing bestaat uit vele kleine stapjes, die we met de gehele bouwsector maken. De OvV kan daar wel een belangrijke rol in spelen door de juiste stakeholders te adresseren en te mobiliseren en daarmee het algemeen belang beter te dienen. Ik ben blij dat ik al aan veel van die stapjes heb mogen bijdragen. Of het snel genoeg gaat mogen anderen beoordelen, maar ik ben trots op wat we met elkaar al hebben bereikt! ☒

"In het rapport gaat de OvV zo kort door de bocht dat het feitelijk onjuist is"

en adviesbureau Hageman. In het rapport zelf gaat de raad echter zo kort door de bocht dat het feitelijk onjuist is. Het ontwerp in Eindhoven was helemaal niet zo afwijkend en het is ook niet zo evident hoe de wapening moest worden aangepast. Uit onderzoek is inmiddels gebleken dat het langer maken van de voegwapening niet zo effectief is. De OvV schaar met de onjuiste versimpeling het incident in het rijtje van de B-tower en de Grolsch Veste. De bouwsector maakt inderdaad fouten bij onderdelen die routine-

ontwikkeling is gestopt met onderzoeken, maar ik begrijp het wel. De overheid stelt gedetailleerde eisen aan het eindproduct, maar geen enkele aan het bouwproces. Bij beton kun je aan het eindproduct niet zoveel meer zien. Deze ineffectieve regulering heeft eraan bijgedragen dat een partij, die een schoolvoorbeeld was van hoe je een innovatie op de Nederlandse markt introduceert, afglijdt tot de oorzaak van een instorting. Een onderzoek naar de mechanismen die daar achter zitten en aanbevelingen om de regulering te verbeteren,

Belasting ten gevolge van vandalisme

Comfort is een belangrijk ontwerpcriterium van voetgangersbruggen. Dat komt onder meer door de slankheid die dergelijke bruggen doorgaans kenmerken. In een eerder artikel in deze rubriek is het comfort onder normale gebruiksomstandigheden beschouwd. Daarnaast moet ook de sterkte getoetst worden onder een dynamische belasting, bijvoorbeeld belasting door vandalisme. Deze berekening wordt in dit artikel met behulp van een case toegelicht.

Het is opmerkelijk hoe eenvoudig het is om sommige relatief grote bruggen met slechts een aantal personen op te slingeren tot amplitudes die absoluut als oncomfortabel zullen worden beschouwd. Een dergelijke situatie, waarbij een groep personen moedwillig een brug in de eigenfrequentie belast, valt in Euro-code 2 onder 'vandalisme'. De constructie moet de krachten en momenten die in deze situaties optreden, kunnen weerstaan. In artikel 5.7 van de nationale bijlage van NEN-EN 1991-2 worden enkele uitgangspunten benoemd waarmee deze situatie

moet worden beschouwd (tenzij anders vermeld in de project-specificatie):

- verkeersklasse TC5;
- dempingsmaat 50% van de nominale demping van de constructie.

Verkeersklasse 5 gaat uit van 1,5 personen/m². Deze moet worden vertaald in een equivalent aantal personen. Dit kan worden berekend volgens de theorie zoals beschreven in [1]. Daarbij kan voor de demping 50% worden aangehouden van de demping gegeven in Tabel F.2 van NEN-EN 1991-1-4.

Voorbeeld

We gaan uit van een voorgespannen betonnen brug met een breedte van 6 m en een overspanning van 15 m. De dynamische belasting moet worden bepaald met behulp van de formules uit NEN-EN 1991-2 NB.A [3] of de JRC-documenten [4]. De eigenfrequentie van de brug ligt in het gevoelige gebied, waardoor geldt dat de reductiefactor (ψ) gelijk is aan 1,0. De dynamische belasting wordt met onderstaande formule berekend:

$$p = n' \cdot 280 \frac{1,85\sqrt{n}}{S} \cdot 280 = \frac{1,85\sqrt{1,5 \cdot 15 \cdot 6}}{15 \cdot 6} \cdot 280 = 67 \text{ N/m}^2$$

Rubriek Rekenen in de praktijk

Dit is de zesde aflevering in de *Cement*-rubriek 'Rekenen in de praktijk'. In deze rubriek staat telkens één rekenopgave uit de praktijk centraal. De rubriek wordt samengesteld door een werkgroep, bestaande uit: Mustapha Attahiri (Ingenieursbureau Gemeente Rotterdam), Gökhan Dilsiz (Nobleo), Maartje Dijk (Witteveen+Bos), Jorrit van Ingen (Lievense), Jacques Linssen (redactie *Cement*), Bart Vosslander (Heijmans) en Bas Wijnveld (ABT). Een artikel wordt steeds opgesteld door één van de leden van deze werkgroep. Het wordt vervolgens gereviewd door de andere leden en door minimaal één senior adviseur binnen het bedrijf van de opsteller. Ondanks deze zorgvuldigheid, is de gepresenteerde rekenmethode de visie van een aantal individuen. Er kan nooit volledig worden gegarandeerd dat wat er is geschreven waar is.

met:

p = dynamische belasting

n = aantal voetgangers

n' = equivalent aantal voetgangers op het belaste oppervlak S

S = belaste oppervlak van de brug

De totale belasting voor de brug bedraagt dus

$67 \cdot 15 \cdot 6 = 6030$ N. Dit komt overeen met ongeveer 4 à 5 vanden die op de brug springen. Deze belasting moet worden berekend als harmonische belasting, waarbij de frequentie samenvalt met de eigenfrequentie van de brug.

De verhouding tussen het statische en het dynamische effect (DLF) ten gevolge van een harmonische belasting is op basis van onderstaande formule te berekenen:

$$DLF = \frac{1}{\sqrt{(1-r)^2 + (2\xi r)^2}}$$

In deze formule is ξ de dempingswaarde en r de verhouding tussen de excitatiefrequentie en de eigenfrequentie. Als deze twee samenvallen ($r = 1$) ontstaat resonantie en is de formule te vereenvoudigen tot:

$$DLF = \frac{1}{2\xi r}$$

Het logaritisch decrement (δ_s) van de demping voor voorgespannen bruggen bedraagt 0,04 (Tabel F.2 van NEN-EN 1991-1-4). Dit komt overeen met een dempingsverhouding (ξ) van $\delta_s / (2\pi) = 0,0064$. Volgens de uitgangspunten moet hiervan 50% worden aangehouden (0,0032). Dit levert de volgende vergrotingsfactor op:

$$DLF = \frac{1}{2 \cdot 0,0032} = 156,3$$

Op basis hiervan kan de statisch equivalente belasting worden berekend:

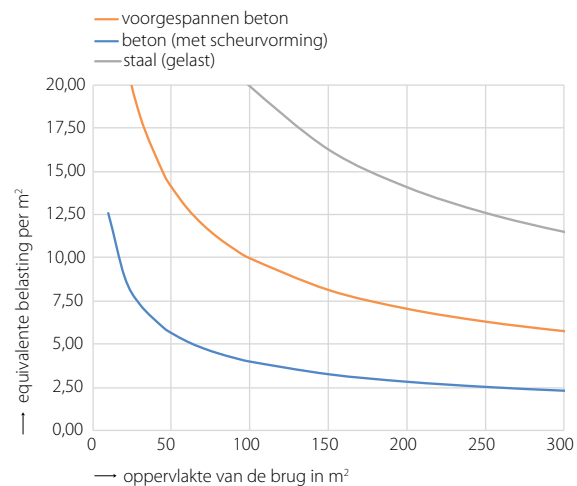
$$p_{\text{equiv.}} = \pm DLF \cdot p = 156,3 \cdot 67 = 10.472 \text{ N/m}^2 = \pm 10,5 \text{ kN/m}^2$$

Deze belasting ligt een stuk hoger dan de variabele belasting waarmee gerekend moet worden bij de fundamentele combinaties ($\leq 5 \text{ kN/m}^2$). Daarnaast is de Eurocode onduidelijk of dit als een buitengewoon belastgeval mag worden beschouwd. Ook moet er rekening mee worden gehouden dat deze belasting zowel in positieve als negatieve richting kan werken (vandaar + en -).

Gevoeligheidsanalyse

In figuur 1 is de statisch equivalente belasting ten gevolge van vandalisme gegeven afhankelijk van het oppervlak van de brug. Dit is gedaan voor drie verschillende materialen:

1. Voorgespannen beton: $\xi = 50\% \cdot 0,04 / (2\pi) = 0,0032$
2. Beton (met scheurvorming): $\xi = 50\% \cdot 0,1 / (2\pi) = 0,008$
3. Staal (gelast): $\xi = 50\% \cdot 0,02 / (2\pi) = 0,0016$



1

Op basis van dit figuur wordt het grote verschil duidelijk tussen de drie materialen. Door de lage demping van staal, is de te rekenen belasting behoorlijk hoog. In iets mindere mate geldt dit ook voor voorgespannen beton. Traditioneel gewapend beton lijkt alleen gevoelig te zijn voor vandalisme bij kleinere overspanning waarbij het oppervlak van de brug kleiner is dan 45 m². Aan de andere kant geldt dat bruggen met korte overspanningen mogelijk niet gevoelig zijn omdat alle eigenfrequenties buiten het gevoelige gebied liggen. Voor bruggen met grotere overspanningen vallen mogelijk meerdere eigenfrequenties binnen het gevoelige gebied, waardoor het nodig is om verschillende belastinggevallen te beschouwen.

Discussie

Bovenstaande berekening laat zien dat bruggen aanzienlijk kunnen worden belast door moedwillige excitatie door vanden. De resultaten zijn echter sterk afhankelijk van de demping. Deze demping moet laag worden aangehouden, maar zonder goede onderbouwing rekenen met een hogere demping wordt afgeraden. In NEN-EN 1991-2 wordt namelijk duidelijk een link gelegd tussen de te rekenen belasting en de daarbij aan te houden demping van 50% van de nominale demping. Een hogere demping is misschien realistisch, maar een hogere belasting ook. Een aandachtspunt is het frequentiebereik waarvoor de belasting moet worden berekend. Hiervoor is nu het belastingmodel voor voetgangers aangehouden. Echter, is het goed mogelijk om ook buiten dit frequentiegebied (zowel hoger als lager) de brug moedwillig te exciteren. ☒

LITERATUUR

- 1 Wijnveld, B. en Attahiri, M., Comfort voetgangersbruggen. Cement 2018/3.
- 2 Rekenen in de praktijk 2: Versnellen voetgangersbrug. Cement 2018/3.
- 3 NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011/NB:2011, artikel A.2.4.3.2. h.
- 4 EUR 23984 EN: Design of lightweight footbridges for human induced vibrations.

Jeroen Evers

Mijn mening

Wie of wat heeft je overtuigd constructeur te worden?

Al tijdens mijn studie vond ik dat constructie meer was dan alleen een functioneel en essentieel onderdeel van een gebouw. Het maakt deel uit van het totale ontwerp, de architectuur. De zichtbare kolommen, balken en vloeren zorgen onder meer voor het ritme, de spanning en het gevoel dat een gebouw uitstraalt. Voor een optimaal resultaat is een goede integratie in het ontwerp belangrijk. Villa 1.0 (Powerhouse

Company i.s.m. BREED ID) is voor mij een prachtig voorbeeld van een project waarin met dit spanningsvlak wordt gewerkt. Een belangrijk constructief element in deze villa is een open stalen boekenkast die het dak draagt en stabiliseert. Hiervoor is de boekenkast uitgevoerd als vierendeelligger. Het dak, met grote overstekken, lijkt hierdoor grotendeels te zweven. Niet de dichte kopgevel, maar de boekenkast en de overige vaste meubelstukken doen al het werk.

Hoe ontwikkel jij je in je vak?

Ik heb dagelijks veel afwisseling in mijn werkzaamheden. Variërend van tekenaar, constructeur en onderzoeker tot projectleider. Deze afwisseling helpt mij om projecten beter te doorgronden en me verder te ontwikkelen naar een completere allround constructief ontwerper. Met Gilbert van der Lee heb ik een goede, ervaren constructief adviseur op de achtergrond om mij hierin te begeleiden en te inspireren.

Welke gouden tip kun je geven aan de generatie constructeurs die bijna is afgestudeerd?

Indien je het leuk vindt om je verder te ontwikkelen als allround constructeur / constructief ontwerper, ga dan aan de slag bij een kleiner bureau met uitdagende projecten! Het geeft je in het begin van je carrière snel een bredere blik op het vakgebied, wat ik als zeer waardevol beschouw. Waar je rol bij een groot bedrijf redelijk beperkt is tot één taak, kun je in een kleiner bedrijf vaak sneller switchen van projecten en taken. Dit zorgt voor een afwisselende en uitdagende functie waarin veel te leren valt. Daarnaast zijn de lijnen kort, worden beslissingen snel genomen en zorgt dit voor een grotere betrokkenheid.



ik ben

naam ir. Jeroen Evers

leeftijd 31 jaar

opleiding TU Eindhoven, Structural Design & Architecture (dual)
afstudeerproject OPERATIE 523-548; verovering van ruimte op de oerelementen (architectonisch en constructief ontwerp van een bezinningsbad nabij Utrecht)

werkgever BREED Integrated Design BV

functie constructief ontwerper

werkzaam sinds 2013

baan gekregen door Nathaniel Rijmsus

belangrijk in ontwikkeling Gilbert van der Lee

eerste project uitbreiding basisschool Rietwierde in Groningen

rol bij eerste project constructeur / tekenaar





1 Het Bahrein Paviljoen is opgebouwd uit 350 unieke witte deels gekromde geprefabriceerde betonnen panelen
foto: Iwan Baan

Mijn project

Paviljoen Bahrein World Expo Milaan

De World Expo is een vijfjaarlijks evenement, waar landen zich aan de wereld presenteren. In 2015 vond het evenement plaats in Milaan. Architect Anne Holtrop en landschapsarchitect Anouk Vogel wonnen de prijsvraag voor het paviljoen van Bahrein. BREED Integrated Design verzorgde in samenwerking met Mario Monotti het constructief ontwerp.

Het paviljoen is opgebouwd uit 350 unieke, witte, deels gekromde geprefabriceerde betonnen panelen (foto 1). Uitgangspunt in het ontwerp was een pure verschijning van droog gestapeld beton. Daarnaast diende het ontwerp demontabel te zijn voor hergebruik in Bahrein. De vormen van de elementen zijn een poëtische interpretatie van het culturele en agrarische erfgoed van Bahrein. Voor de betonsamenstelling is Carrara-marmer als grof en fijn toeslagmateriaal gebruikt. De gewenste witte natuurlijke uitstraling blijft hierdoor altijd behouden. Nadelige bijkomstigheid was dat het beton een lagere sterkte en E-modulus kreeg, wat in het ontwerp is gecompenseerd. De grootste uitdagingen waren de integratie van installaties en het aardbevingsbestendig en demontabel maken van het paviljoen.

De onderste wanden zijn gemonteerd op een betonnen funderingsplaat. Elk wanddeel heeft een aantal T-vormige funderingspoten, die de stabiliteit verzorgen. De onderste wanddelen hebben aan de bovenzijde holle stalen pijpen. Hierover werden de bovenste wanddelen gemonteerd. Hetzelfde is gebeurd bij de bovenste wanddelen en de koppeling met de dakelementen. De vloerdelen hebben een separate ondersteuning. Tijdens de demontage werden de stalen pijpen doorgeslepen. Bij de wederopbouw van het paviljoen in Bahrein was het mogelijk om in de oude afgeslepen pijpen een nieuwe pijp te schuiven om eenzelfde

koppeling te creëren. Installaties mochten nergens in het zicht komen. De lampen lijken rechtstreeks in de betonelementen gedraaid. De bijbehorende elektriciteitsleidingen gaan door drie elementen; twee wanddelen en een dakplaat. De elektriciën kon de kabels pas trekken, nadat de prefab-elementen waren geplaatst. Bij de overgang tussen twee prefab elementen zitten hiervoor ingestorte trechters, die zorgen voor een soepele overgang. Onder de vloeren loopt een wirwar aan leidingen om aan de bovenzijde een minimalistisch beeld mogelijk te maken.

PROJECTGEGEVENS

project: Paviljoen Bahrein – World Expo 2015 (Milaan)

opdrachtgever: Ministerie van Cultuur van het Koninkrijk Bahrein

ontwerp: Anne Holtrop Studio i.s.m. Anouk Vogel

constructeur: BREED Integrated Design BV

aannemer: Restaura SRL (IT)

ontwerp en realisatie: 2014 – 2015

Mijn rol

Van ontwerp tot productietekeningen

Bij het Bahrein Paviljoen was ik betrokken vanaf het definitieve ontwerp tot aan de productietekeningen. In het definitieve ontwerp zat voor mij de uitdaging om bij de gegeven architectonische vormen een integrale oplossing met de installaties in de kruipruimte te vinden. Deze ruimte onder de vloeren was beperkt en iedere wand moest zelf worden gestabiliseerd. De gekromde vormen van de bovenliggende wanden en vloeren in combinatie met het leidingwerk zorgden voor een ogenschijnlijke willekeur aan posities van funderingspoten. Het aantal typen funderingspoten werd hierbij beperkt gehouden, om toch nog een gedeelte van het paviljoen seriematig te kunnen produceren. Behalve de constructieve uitdagingen, heb ik veel geleerd van de internationale samenwerking. We werkten samen met een Zwitserse constructeur en een Italiaanse aannemer, wat veel (culturele) afstemming vereiste. Zo wordt bijvoorbeeld in Italië wapening op een andere wijze uitgewerkt dan wij in Nederland gewend zijn. Echt een project om trots op te zijn! ☒

Rubriek 'De jonge constructeur'

YouCon

In deze rubriek maken we kennis met een jonge constructeur. Hij of zij deelt zijn/haar mening over het vak en belicht een van zijn/haar eerste projecten. De rubriek is tot stand gekomen in samenwerking met YouCon, de vereniging van en voor jonge constructeurs.

Verwachte themanummers

Vakblad *Cement* verschijnt jaarlijks acht keer. Een paar edities per jaar maakt de redactie een themanummer. Deze themanummers staan grotendeels in het teken van één onderwerp, bijvoorbeeld een bijzonder project of een actueel thema.

Thema's die u binnenkort in *Cement* kunt verwachten, zijn:

- Breedplaatvloeren (2019/1)
- 70-jarig jubileum *Cement* (2019/2)
- Aardbevingen (n.t.b.)
- België (n.t.b.)

Hebt u een suggestie voor een thema of wilt u meer weten over geplande thema's? Mail dan naar cement@aeneas.nl.

Gratis lidmaatschap voor studenten

Constructief ontwerpen met beton leer je niet alleen uit de schoolboeken. Actuele informatie en ervaringen uit de praktijk zijn minstens zo belangrijk om met de juiste bagage de arbeidsmarkt te betreden. Wij vinden het belangrijk dat studenten goed op de hoogte zijn van de ontwikkelingen op betongebied en mogelijkheden die het materiaal biedt. Daarom bieden wij studenten een gratis online lidmaatschap aan, met onbeperkt toegang tot 70 jaar constructieve kennis. Meer informatie: www.cementonline.nl/voor-het-onderwijs

Wekelijks alles over beton in je mailbox?

Wil je op de hoogte blijven van nieuws en achtergronden op het gebied van beton en alles wat speelt op www.cementonline.nl, schrijf je dan gratis in voor de nieuwsbrief. Nieuwsbriefleden krijgen ook nog eens een aantal aantrekkelijke voordelen, zoals gratis toegang tot enkele spraakmakende artikelen.

Interesse in vakinformatie?

Vakkennis een belangrijke secundaire arbeidsvoorwaarde? Sluit een licentie af bij Kennisplatform *Cement*. Elke medewerker ontvangt een unieke inlog, de wekelijkse nieuwsbrief en heeft toegang tot de content van *Cement*, eventueel aangevuld met het vakblad.

Licentie voor toegang tot de content

- starttarief eerste licentie €255,-
- Ongelimiteerd licentiemodel €2000,-
- per extra licentie €75,-
- Extra vakblad €35,-

neem contact op met onze klantenservice via lezersservice@aeneas.nl of 073 2051010.

Betronkalender

Op www.Betronkalender.nl ziet u in één oogopslag welke evenementen er voor de beton- en constructieve wereld worden georganiseerd. Ook maakt de website een goede afstemming tussen activiteiten onderling mogelijk. De Betronkalender is voor iedereen toegankelijk en deelname is gratis. Wilt u een evenement onder de aandacht brengen? Vraag een account aan via cement@aeneas.nl.



Meest geraadpleegde artikelen november 2018

1. Wat gaat er veranderen aan de eurocodes? *Cement* 2018/8
2. Waarom een nieuwe generatie eurocodes?
3. Oorzaken aantasting betonconstructies met mosaangroei
4. Wanneer is beton waterdicht?
5. Parametrische beoordeling *Cement* 2018/7



Meer actuele informatie vindt u op www.cementonline.nl

Volg *Cement* ook op Twitter @CementNL en LinkedIn [in](#)

COLOFON

Cement, vakblad over betonconstructies, is het vakblad van en voor constructeurs en verschijnt 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
prof.dr.ir. Dick Hordijk (hoofdredacteur),
dr.ir.drs. René Braam, ir. Paul Lagendijk,
ir. Marloes van Loenhout, ir. Jacques Linssen,
ir. René Sterken, ir. Cindy Vissering,
ing. Henk Wapperom

Redactieraad

ir. Edwin Vermeulen (voorzitter), prof. dr. ir. Jos Brouwers, ir. Maikel Jagroep, Stijn Joosten MSc,
ing. Joop van Leeuwen, ir. Ad van Leest, dr. ir. Martijn van Leeuwen, ing. Michael van Nielen
PMSE, ir. Ton Pielkenrood, ir. Kees Quartel, ir. Hans Ramler, ir. Luc Rens, ir. Paul Rijpstra, ing. Jos Rooijackers, prof. dr. ir. Theo Salet, ing. Roel Schop, dr. ir. Raphaël Steenbergen, prof. dr. ing. Kim Van Tittelboom, prof. dr. ir. Lucie Vandewalle, ir. Cindy Vissering, 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
Redactie & Zo, ir. Caroline van der Meulen
Hanneke Schaap

Ontwerp
Twin Media bv, Rimke Bartels

Vormgeving
Twin Media bv, Joke Boer

Advertentieverkoop
Stefan Terpstra
S.Terpstra@aeneas.nl
T 073 205 10 23

Lezersservice
lezersservice@aeneas.nl
T 073 205 10 10

Website
www.cementonline.nl

Overname artikelen

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

Voorwaarden

Cement wordt tevens elektronisch opgeslagen en geëxploiteerd. Alle auteurs van tekstbijdragen in de vorm van artikelen of ingezonden brieven en/of makers van beeldmateriaal worden geacht daarvan op de hoogte te zijn en daarmee in te stemmen, e.e.a. overeenkomstig de publicatie- en/of inkoopvoorwaarden. Deze liggen bij de redactie ter inzage en zijn op te vragen.

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

CEMENT

Aeneas³³ MEDIA

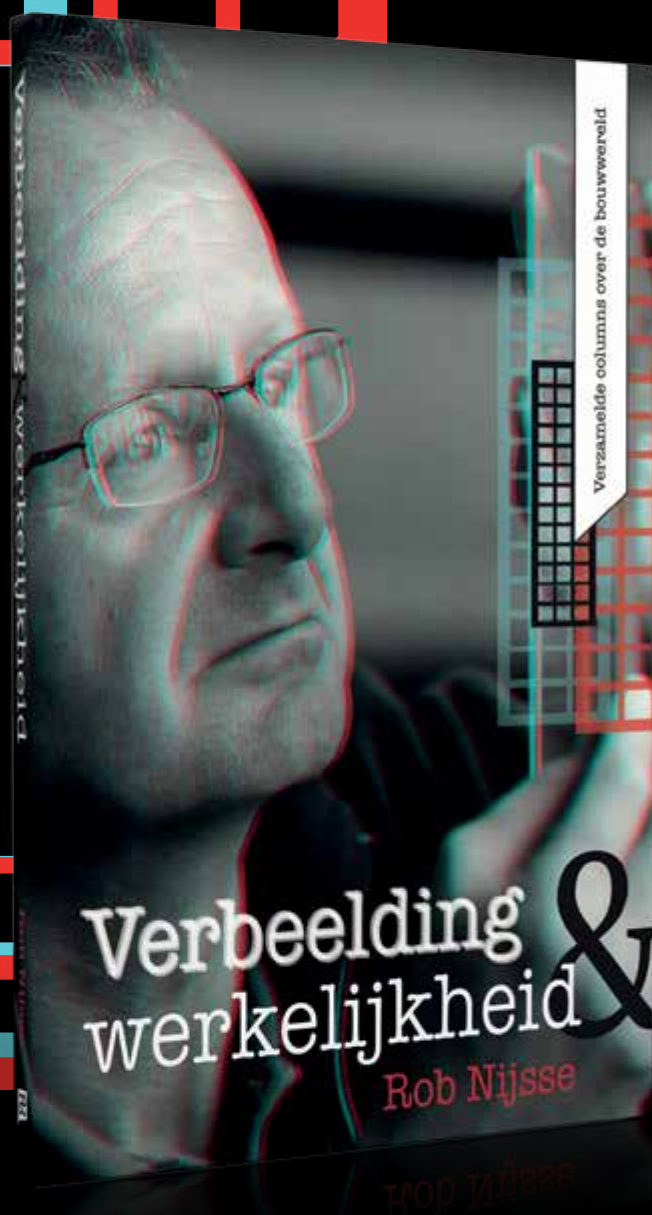
Betonhuis

mvw
media voor vak & wetenschap

MIX
Papier van
verantwoorde herkomst
FSC® C015620

Verbeelding & werkelijkheid

Verzamelde columns over de bouwwereld



Rob Nijse bespreekt in zijn boek actuele kwesties in de bouw. Op een directe en komische manier daagt hij je uit om op een andere manier naar vaak herkenbare situaties te kijken. In korte verhalen spreekt hij zijn bewondering uit over een aantal prachtige, eeuwenoude bouwwerken, maar ook zijn verbazing en soms zelfs ergernis over hoe het er in de bouw nu vaak aan toe gaat.

Bestel het boek voor € 19,95

www.verbeeldingenwerkelijkheid.nl

Waalbrug Ewijk (A 50)

Dyckerhoff Basal levert hoge
sterkte beton C 90/105;
Dyckerhoff levert speciale
cement VARIODUR 30



Fotos: Bart van Hoek

Dyckerhoff ...maakt er meer van.

Dyckerhoff,
Verkoopkantoor Nederland/Belgie
nl@dyckerhoff.com
www.dyckerhoff.nl

BUZZI **Dyckerhoff**