

16 maart 2023 | Programma

10e BRUGGENDAG

Thema: GRENsverleggend BRUGGEN BOUWEN

11.45 uur | **Ontvangst**
met een lichte lunch

12.30 uur | **Opening Bruggendag 2023**
Door dagvoorzitter ir. Hans Ramler, design-manager BAM Infra, docent TU-Delft
Inleiding op het thema en over de rol van opdrachtgevers hierin.

12.45 uur | **Bruggen voor Afrika**
Door Joris van Dijk, directeur DIJKSTAAL uit Maassluis
Over de ervaringen van een Nederlandse bruggenbouwer op het Afrikaanse continent. Werken op grote afstand en in andere culturen: wat betekent dit voor ontwerp en uitvoering van de bruggen?

13.15 uur | **De langste draaibrug van Europa**
Door Joris Meersschaert, SBE Engineering Consultants uit Sint-Niklaas (België)
Met een lengte van 130 m vestigt de draaibrug over het Verbindingsdok van de haven van Zeebrugge een Europees record. De presentatie gaat over het conceptueel ontwerp en de uitvoering van deze indrukwekkende brug.

13.45 uur | **Pauze**

14.15 uur | **Schuivend over het Terbregse Plein**
Door Erik Maarten Vermeulen, werkvoorbereider Bouwcombinatie De Groene Boog
De bouw van een fly-over voor de A16 volgens de 'incremental launching method' is een grensverleggend project met inbreng van specialisten uit o.a. België, Frankrijk en Polen.

14.45 uur | **Een nieuwe visie op beweegbare bruggen**
Door ir. Kodo Sektani, adviseur kunstwerken ANTEA Groep
Presentatie van de resultaten van het promotieonderzoek aan de TU-Delft naar de levensduur van de bewegingswerken van beweegbare bruggen. Eindelijk kan wetenschappelijk aangetoond worden

waar de norm te behoudend is en waarom vervolgens onterecht bewegingswerken afgeschreven worden.

15.15 uur | **Pauze**

15.45 uur | **Toppunt van duurzaamheid: niet bouwen? Wales als voorbeeld**
Door een vertegenwoordiger van het Welsh Government i.s.m. ARUP Cardiff

Een grensverleggend perspectief op het bouwen van infrastructuur: niet doen! Tenzij het niet anders kan. Het afblazen van de 'M4', wat het grootste infrastructuurproject van Wales had moeten worden, is min of meer de start geweest voor deze omslag in beleid. Het ministerie van transport wordt in Wales nu geleid door de minister van klimaat: het is nu *environment first*.
Wat betekent dit voor een land en wat betekent dit voor ons bruggenbouwers?

16.15 uur | **De ongemakkelijke waarheid**
Door ir. Mantijn van Leeuwen, managing director NIBE – Experts in Sustainability uit Utrecht

De klimaatcrisis dwingt ons om de CO₂-uitstoot terug te brengen. Hiervoor zijn maar drie opties: ontwerpen met zo min mogelijk grondstoffen, inzet van bio-based bouwmaterialen en hergebruik / urban mining. Maar hoe passen we dit inzicht toe bij het ontwerpen en bouwen van bruggen?

16.45 uur | **Rondetafelgesprek met een aantal van de sprekers**

- Met medewerking van Fred Westenberg, voorzitter Bruggenstichting.
- Presentatie van het themanummer van het tijdschrift Bruggen

17.15 uur | **Netwerkborel in het Grand Café van Villa Jongerius**

BEGUNSTIGER

Belangstellenden voor het werk van de Bruggenstichting kunnen begunstiger worden, als particulier of als bedrijf/organisatie. U ontvangt dan viermaal per jaar het tijdschrift *BRUGGEN*. Begunstigers en donateurs kunnen advies krijgen van de Bruggenstichting en ontvangen korting op onze activiteiten en boekuitgaven.

De Bruggenstichting is door de Belastingdienst erkend als ANBI, wat staat voor Algemeen Nut Beogende Instelling. De minimumbijdrage voor particulieren is € 39,50 (incl. btw) en voor bedrijven en instellingen vanaf € 135,- per jaar (excl. btw), zzp'ers € 70,- (excl. btw). Studenten betalen € 10,- (maximaal 2 jaar). U kunt zich aanmelden door het overmaken van de bijdrage op: IBAN NL82 INGB 0000 0589 75 t.n.v. de Nederlandse Bruggenstichting te Rijswijk.

Anmelden is ook mogelijk via de website www.bruggenstichting.nl > begunstiger worden.





2014 | Pagina 7



2015 | Pagina 11



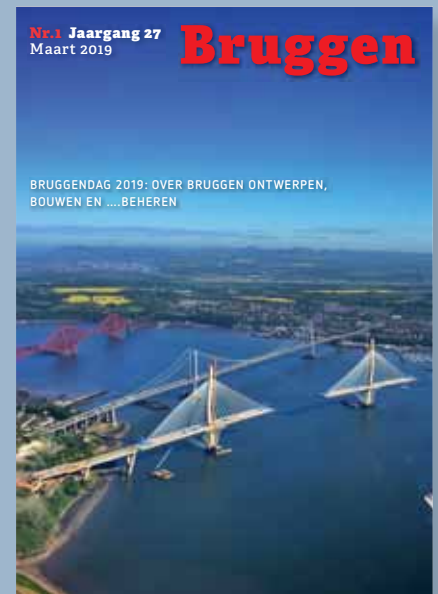
2016 | Pagina 19



2017 | Pagina 24



2018 | Pagina 30



2019 | Pagina 36



2020 | Pagina 44



2021 | Pagina 52

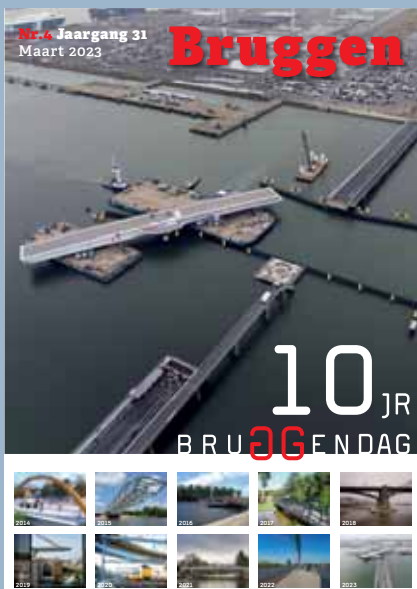


2022 | Pagina 58



BIJ DE 10E BRUGGENDAG

Foto Dijkstaal Maassluis



Op 16 maart 2023 organiseert de Bruggenstichting voor de tiende maal een Bruggendag, een jubileum dat het waard is om even bij stil te staan.

De Bruggenstichting profileert zich als de 'Partij voor de Bruggen'. Enerzijds doen we dat door aandacht te besteden aan bruggen als cultureel erfgoed, anderzijds door nieuwe ontwikkelingen onder de aandacht te brengen van opdrachtgevers, ontwerpers en bouwers.

Hoofdartikelen van de Bruggendagen

- 2014 Ontwerpwijzer voor Bruggen voor langzaam verkeer
- 2015 Carolinabrug in Suriname
- 2016 Bruggen in beweging
- 2017 Innovatieprogramma Stroomversnelling Bruggen
- 2018 Waalbrug Nijmegen Renovatie van een monument
- 2019 Structural safety from an international perspective
- 2020 Hulpconstructies uit de schaduw
- 2021 De Nieuwe Pooleybrug
- 2022 Bruggen van de toekomst
- 2023 Brug over het Verbindingsdok in Zeebrugge

De Bruggenstichting is een ANBI instelling die, materiaalafhankelijk, kennis wil delen met iedereen die op de één of andere manier met bruggen bezig is. De term 'bruggen' is breed op te vatten, het gaat om de ongelijkvloerse kruisingen in de infrastructuur van wegen, spoorbanen, rivieren en kanalen. Het resultaat van dit werk is in de afgelopen 25 jaar vastgelegd in een mooie serie boeken. Als laatste verscheen vorig jaar het boek **'Van Bron tot Zee / Bruggen over de Maas'**, een beschrijving van de meest opvallende bruggen over deze mooie rivier vanaf de bron in Noord-Oost Frankrijk tot aan het Haringvliet. De uitgave van het boek **'De NL Brug / 40 markante voorbeelden'** was ruim 12 jaar geleden de aanleiding om voor het eerst een boekpresentatie met een mini-symposium te organiseren dat plaatsvond in het auditorium van Bouwend Nederland in Zoetermeer. Uit het succes van deze bijeenkomst ontstond het idee een jaarlijks symposium te gaan organiseren met Bruggen als verbindend onderwerp. Er diende zich een goede aanleiding aan: in het voorjaar van 2014 kwam de CROW-publicatie **'Bruggen voor langzaam verkeer'** gereed, een studie waar de Bruggenstichting aan heeft meegewerkt. Het thema voor de eerste Bruggendag op 27 maart 2014 was gevonden: Fiets+Voetbruggen! Die dag waren we te gast in het auditorium van RWS/Westraven. Onder leiding van dagvoorzitter Joris Smits kwamen onderwerpen als vormgeving, materiaalgebruik en regelgeving aan de orde.

En natuurlijk de presentatie van de CROW studie. Een mix van onderwerpen waar wij nog steeds in geloven. Zelden heeft de organisatie van een event zo'n groot gevolg gehad: niet alleen zijn wij nu toe aan de 10^e Bruggendag maar het is ook de aanleiding geweest voor de oprichting van het Platform Fiets+Voetbruggen. Onder auspiciën van de Bruggenstichting organiseert deze groep nu ook jaarlijks een event. Fiets+Voetbruggen vormen een interessant vakgebied waar veel ontwikkelingen in de bruggenbouw hun oorsprong vinden. Ieder jaar stelt een selectiecommissie een interessant programma samen met een bepaald thema als bindend element. Alle aspecten van de bruggenbouw komen aan bod waarbij per jaar de accenten wel kunnen verschillen.

De intentie is ook ieder jaar een onderwerp 'van over de grens' in het programma op te nemen. Dit kan een buitenlandse bruggenautoriteit zijn of een Nederlandse collega die vertelt over zijn activiteit elders. De ambitie van de Bruggenstichting komt goed naar voren als we de thema's uit de verschillende jaren beschouwen.

De editie van 2020 zal ons blijven heugen: tijdens het event kwam het bericht van de overheid dat Nederland in lock-down moest gaan. Wij vormden voorlopig de laatste bijeenkomst in het Jaarbeurscomplex te Utrecht, ook zij moesten hun deuren sluiten. In 2021 hebben we de Bruggendag als 'online event' georganiseerd, waarbij ook de Nationale Bruggenbank is gelanceerd. Gelukkig konden we in 2022 weer een fysieke bijeenkomst organiseren, weliswaar drie maanden later dan de gebruikelijke derde donderdag in maart. Zoals het er nu naar uitziet is de Bruggendag 2023 weer als vanouds.

Dit jaar zullen we te gast zijn in de monumentale Villa Jongerius te Utrecht. Het programma is op pagina 3 afgedrukt. Ter gelegenheid van het jubileum is er een speciale editie van het tijdschrift Bruggen samengesteld met artikelen die zijn ontleend aan de verslagen van de verschillende Bruggendagen. Met elkaar vormen ze een goed beeld van waar een Bruggendag voor staat: **delen van kennis!**

De selectiecommissie bestond dit jaar uit Joris Smits, Tristan Wolvenkamp, Stijn Joosten en Jan Kroon als externen en Beate Vlaanderen en Jan de Boer namens het bestuur.

Wie doet er mee voor de editie van 2024?



Viaduct Terbregseplein

Eerste Bruggendag NBS een succes!

Dagvoorzitter Joris Smits



Op 27 maart jl is op verzoek van Rijkswaterstaat door de Nederlandse Bruggenstichting een bruggendag georganiseerd, dat als thema Fiets- en Voetbruggen heeft meegekregen. Op deze dag is er niet alleen aandacht voor ontwerp- en regelgeving, maar ook voor nieuwe materialen voor dit type kunstwerk. Het thema heeft tevens wat meer breedte gekregen door aandacht te besteden aan de bruggen in en om Nijmegen, alsmede het trillingsgedrag van bruggen is uitgebreid aan de orde gekomen. Deze dag is ook aangegrepen om het eerste exemplaar van de CROW-publicatie 'Bruggen voor langzaam verkeer' te overhandigen aan het bestuur van de Bruggenstichting. In deze aflevering wordt uitgebreid stil gestaan bij de publicatie, alsmede de andere presentaties.

Niet alleen het programma heeft garant gestaan voor het succes van de dag, ook de deelname aan de middag was goed te noemen. De uitwisseling van de onderlinge contacten tussen de diverse disciplines heeft dit zeker bevorderd, wat, naast de kennisoverdracht, de bedoeling van deze bijeenkomst is. Een goede leeftijdsopbouw van de ca 150 deelnemers heeft daar zeker toe bijgedragen. En natuurlijk is het gebouw van Rijkswaterstaat naast de Galecopperbrug een inspirerende omgeving voor zo'n bijeenkomst.

Bruggen voor langzaam verkeer worden steeds meer als landmark voor een bepaald gebied of stad gebruikt.

De aandacht voor de vormgeving lijkt dan ook groter dan voor wat oneerbiedig met de huis en tuin viaducten kan worden aangeduid.

Dagvoorzitter Joris Smits, bestuurslid van de Bruggenstichting, architect bij Royal HaskoningDHV en lector aan de TU-Delft, besteedde in zijn introductie ruime aandacht aan de vormgeving van bruggen. Het ontwerp van bruggen speelt zich af in het spanningsveld tussen schoonheid, functionaliteit en duurzaamheid en komt tot stand in een wisselwerking tussen opdrachtgever, vormgever en constructeur.

Voorbeelden van hoe het wel en niet zou moeten, passeerden de revue. (afb.1a en 1b)

Ook werd het begrip 'leuningjeuk' nader toegelicht. De leuning is een karakteristiek onderdeel van een brug voor langzaam verkeer en is voor vormgevers een item waar de ontwerphanden van gaan jeuken. Het resultaat is vaak opmerkelijk en draagt zeker bij tot de brug als beeldbepalend element in een stedelijke of landschappelijke omgeving.

Voorbeelden van leuningontwerp: afb. 2 functionaliteit en vormgeving vullen elkaar aan; afb. 3 gedurfd fraai ontwerp over de Dommel in Eindhoven.

In de inleiding is ook plaats ingeruimd voor het gebruik van VVK (vezelversterkt kunststof) een bouw materiaal dat specifiek in deze sector van de

bruggenbouw furore maakt en speciale mogelijkheden voor de vormgeving biedt.

Op vier lezingen gaan we in dit bruggennummer verder in:

- Ontwerpwijzer Bruggen voor langzaam verkeer, Hillie Talens, CROW
- Nieuwe bruggen in Nijmegen, René Duifhuizen, Gemeente Nijmegen
- Langzaam verkeersbruggen: kansen en bedreigingen, Jaco Reusink, Gemeente Rotterdam
- Vezelversterkt Kunststof: de nieuwheid voorbij, Jan Peeters, FiberCore

Het was bestuurslid Jan de Boer die de aanwezigen erop attent maakte dat er in juli in Londen een driedaags congres wordt gehouden over verleden, heden en toekomst van voetgangersbruggen. Wellicht een idee voor de NBS in Nederland om een platform Voetbruggen te vormen om deze verworvenheden verder onder de aandacht te brengen.





afb. 1b Zo is het beter



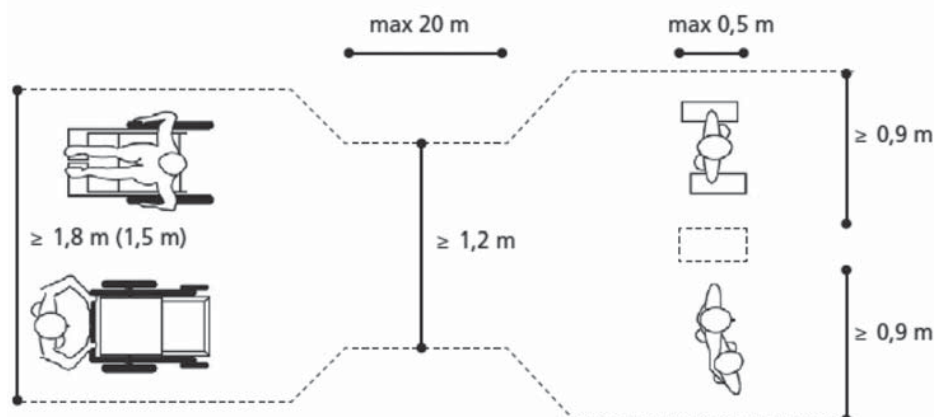
afb. 2 Leiden



afb. 3 Dommeltuinbrug, Eindhoven



afb. 4 Dragonfly, Harderwijk - ontwerp van RoyalHaskoningDHV en Delft Infra Composites



figuur 1 richtlijnen benodigde ruimte voetgangersbrug

In de afgelopen jaren zijn er veel vragen over ontwerpaspecten van bruggen voor langzaam verkeer bij de helpdesk van CROW binnengekomen. Ook de ontsluiting van recreatiegebieden, de ontwikkeling van veel stadsuitbreidingen aan gene zijde van (natuurlijke) barrières (Nijmegen, Amersfoort) en de vraag naar snelle fietsroutes hebben veel ontwerp vragen opgeworpen. Reden voor het CROW om publicatie samen te stellen waarin de huidige kennis op het gebied van bruggen voor langzaam verkeer is gebundeld.

De publicatie is tot stand gekomen in nauwe samenwerking met een breed samengestelde werkgroep. In deze werkgroep waren, naast Rijksaterstaat, diverse gemeenten en het waterschap ook de Bruggenstichting, de Fietsersbond en Veilig Verkeer Nederland vertegenwoordigd. Het ingenieursbureau ipv Delft heeft de bestaande informatie verzameld met als randvoorwaarden zich te beperken tot bruggen die uitsluitend voor voetgangers of voor een combinatie van fietsers en voetgangers bestemd zijn en die over water- en (spoor)wegen, dan wel over vijvers en singels voeren. Allereerst wordt in de publicatie ingegaan op de context van de brug. Hierbij komen vragen aan de orde zoals:

Wat is de exacte locatie voor de brug?
Hoe past de brug in het wegennet en de belangrijkste routes?
Wie gaan gebruik maken van de brug?
Er overheen en er onder door?
Wat is het budget nu en in de toekomst?
Vervolgens zijn de gebruikers van langzaam verkeerbruggen in kaart gebracht.

Men maakt een onderscheid in:

- Reguliere gebruikers: naast (brom) fietsers en voetgangers is er ook aandacht voor bijzondere gebruikers in deze categorie, zoals kinderen en minder validen;
- Incidentele gebruikers, zoals motorvoertuigen van hulpdiensten en onderhoudsvoertuigen;
- Onbedoelde gebruikers, zoals (niet incidentele) motorvoertuigen, ruiters en (recreatieve) bruggenspringers, maar ook (brom)fietsers voor bruggen, bestemd voor louter voetgangers;
- Overige gebruikers, zoals kabels en leidingen van nutsbedrijven, maar ook flora en fauna.

Opmerkelijk is, dat landbouwvoertuigen niet tot de gebruikers worden gerekend; deze worden tot de reguliere gebruikers van verkeersbruggen gerekend en dus niet tot de 'onbedoelde gebruikers'.

Bruggen reserveren voor alleen fietsen, is een utopie: altijd zullen bromfietsers de brug blijven gebruiken.

De fietsers worden aan een nadere beschouwing onderworpen. Bij fietsen moet men zich realiseren dat het een evenwichtsvoertuig zonder vering is, dat met spierkracht wordt voortbewogen in de open lucht en tevens een activiteit is die men veelal met elkaar doet (naast elkaar rijden), de eenzame fietser buiten beschouwing gelaten.

Daarna is het gedrag van de voetganger bestudeerd. In de vier grote steden blijken de verplaatsingen van mensen voor zo'n 30% uit voetgangers te bestaan, een niet te verwaarlozen aantal, dat bijzondere maatregelen rechtvaardigt. Ook voor voetgangers geldt dat er spier-

kracht in het geding is, zij zich veelal in de open lucht bevinden en dat er sprake is van een sociale activiteit. Voetgangers kunnen alle kanten uitgaan en zijn daarmee erg flexibel in hun gedrag.

Wat gehandicapten betreft wordt er onderscheid gemaakt tussen visueel en motorisch gehandicapten. Bij de eerste groep wordt aangesloten bij bestaande richtlijnen ten aanzien van de vrije ruimten naast (natuurlijke) gidslijnen en geleidelijnen. (zie fig. 3)

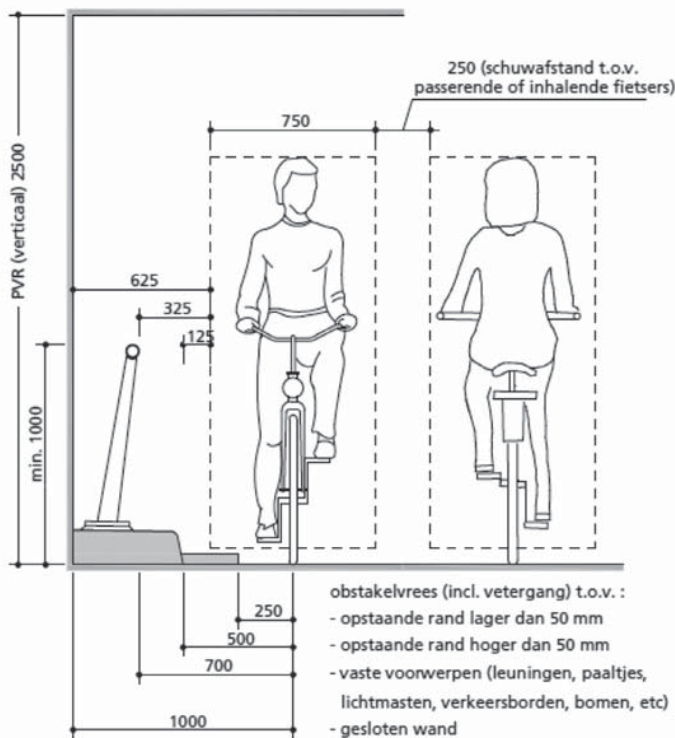
Bij de motorisch gehandicapten zijn er alleen eisen ten aanzien van de dwarshelling ($\leq 1:50$).

Bij langshellingen zijn het hoogteverschil en de lengte van de helling bepalend voor het hellingspercentage van de oprit. (zie fig. 4) Deze eis geldt overigens niet alleen voor gehandicapten, maar ook voor fietsers in het algemeen.

Maar naast al deze technische aspecten, moeten we natuurlijk niet vergeten dat het ontwerp van een langzaam verkeersbrug een visitekaartje kan zijn van een gemeente, een plek een meerwaarde kan geven, waarbij alle mogelijkheden als omgevingsplek moeten worden benut. Al met al is met deze publicatie een richting gegeven voor alle betrokkenen bij het ontwerp en uitvoering van dit type brug.

Publicatie:

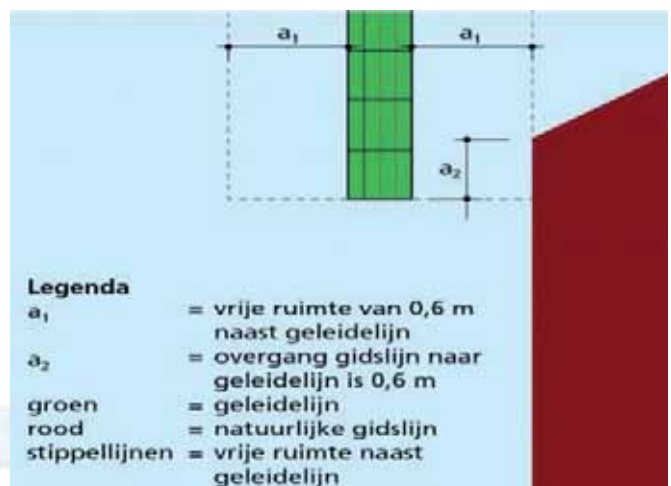
Ontwerpwijzer bruggen voor langzaam verkeer, CROW Publicatie 342, 208 pagina's, prijs € 72,- (ex. 6% BTW). Bestellen via www.crow.nl/342



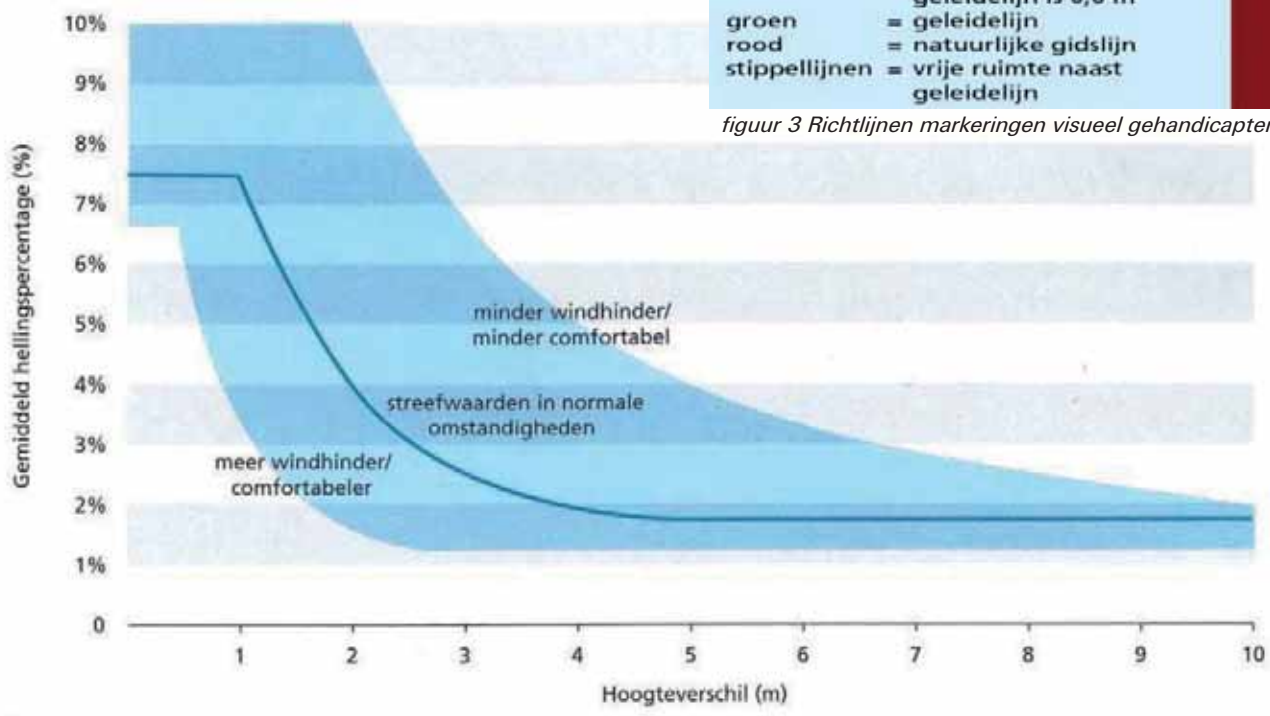
figuur 2 Benodigde ruimten fietsers

Aspect	Voetgangersbrug	Fietsersbrug	Combinatiebrug
Ballustrade	1,0 m hoog met valbescherming	1,4 m hoog met valbescherming	1,4 m hoog met valbescherming
Wegbreedte	> 1,80 m	2,5 - 3,5 m	> 3,50 m
Brugdek	voldoende stroef		
Drainage	geen plasvorming		
Verlichting	- loop-/rijroute te overzien - gezichten te herkennen		
Scheiding Bewegingsrichtingen	nvt	nvt	Geen bij geringe verkeersintensiteit of korte/smalle brug Markering bij matige intensiteit, lengte of breedte Hoogteverschil bij hoge intensiteit of lange of brede brug.

tabel: Samenvatting eisen



figuur 3 Richtlijnen markeringen visueel gehandicapten



figuur 4 Bandbreedte hellingspercentages

2015



CAROLINABRUG IN SURINAME

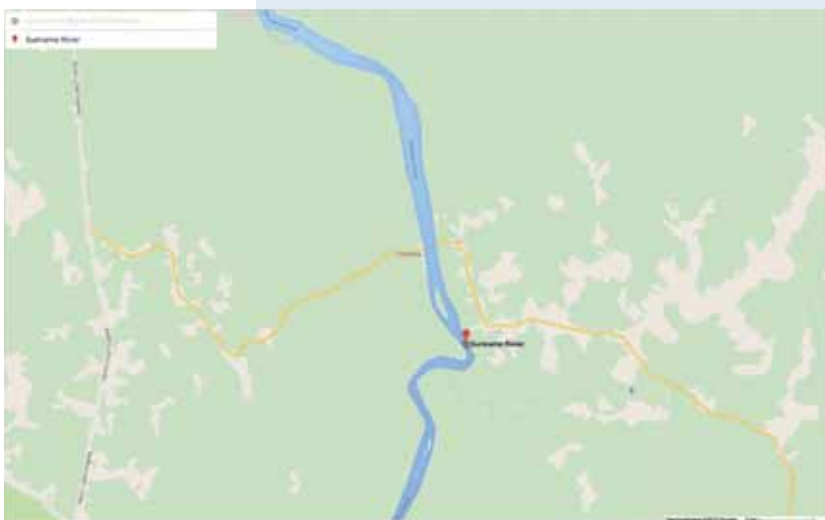
Frank van der Woerd – hoofd Civiele Constructies, Ballast Nedam Engineering

Niels Kuijpers – hoofd Engineering, Janson Bridging

Paul Manuels – projectmanager, Ballast Nedam Infra Suriname

Foto's Paul Bakker

In november 2005 werd door een lokale aannemer de eerste paal geslagen voor de bouw van de 556 m lange Carolinabrug tussen de plaatsen Carolina aan de westoever en Pierre Kondre aan de oostoever van de Suriname rivier. Al tijdens de bouw van de betonnen brug hadden verschillende aanvaringen plaats. Tijdens een donkere nacht in oktober 2007 werd de onvoltooide brug voor de 8^e keer aangevaren door een op drift geraakte zandschuit. Eén van de pijlers van een nevenoverspanning werd geraakt, waardoor twee overspanningen op het schip en in het water vielen. De brug is nooit afgebouwd en de veerverbinding werd aangehouden. Deze onwenselijke situatie was de aanleiding voor het zoeken naar een nieuwe vaste oeververbinding.



↑ **Figuur 1-2** Situatiekaartjes van de locatie van de Carolinabrug

In de eerste plaats is gekeken naar nieuwe locaties voor de brug, die moesten passen in de plannen voor de nieuw aan te leggen oost-westverbinding. Na rijp beraad is gekozen voor een locatie op ongeveer 4 km ten zuiden van de oude brug. Daar is de rivier smaller en hoefde de oeververbinding maar 200 m te overbruggen.

Toen de locatie van de brug was vastgelegd, is een aantal brugvarianten bekeken, waaronder een betonnen variant met prefab liggers, bestaande uit vijf overspanningen en drie rivierpijlers, alsmede een stalen variant van twee overspanningen. Uiteindelijk heeft de opdrachtgever gekozen voor een stalen vakwerkbrug op de nieuwe locatie. Deze keuze werd mede gemaakt vanwege de geringere rivierbreedte van 200 m en vanwege de beschikbaarheid van gronden voor de aan te leggen toeleidende wegen. Eind 2013 is gestart met de voorbereidende ontwerpwerkzaamheden. De brug moest er binnen

een jaar liggen. Dat was geen geringe uitdaging aangezien alle materialen over water moesten worden aangevoerd en ter plaatse nog geen toeleidende wegen waren. Reden voor Ballast Nedam Infra Suriname om samen met Janson Bridging te bekijken hoe dit project aan te pakken.

ONTWERPUITGANGSPUNTEN

Voor dit brugproject werd gekozen voor een vakwerklijger vanwege de twee grote overspanningen van 102 m en de optredende belastingen. De ontwerpisen voor de nieuwe Carolinabrug waren onder meer:

- ontwerplevensduur van 75 jaar;
- ontwerp en belastingen volgens de Eurocode, inclusief de Nederlandse nationale bijlage;
- overspanning van 204 m met één tussensteunpunt;
- wegdekbreedte van 7,2 m en twee voetpaden aan weerszijden van elk 1,2 m breed;
- het hoogteverschil tussen de twee landhoofden is ongeveer 7 m (helling van 3,4%);
- tijdens montage geen stremming van het scheepvaartverkeer.

UITWERKEN ONTWERP ONDERBOUW

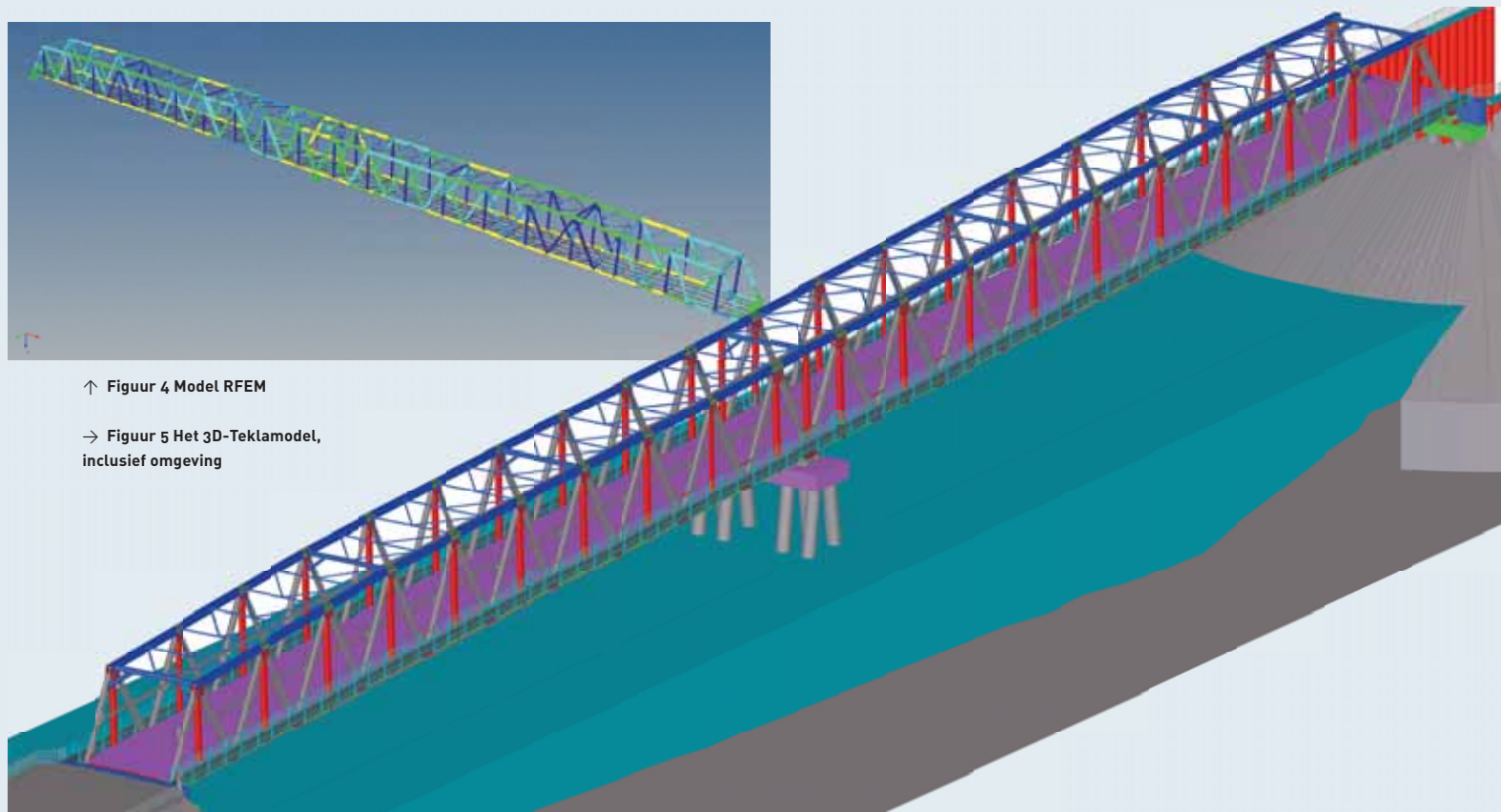
In verband met de beperkte voorbereidingstijd, zijn het ontwerp van de brug en van de onderbouw tegelijkertijd van start gegaan. Op basis van de eerste indicatieve en ervaringswaarden van de oplegreacties, is begonnen aan de onderbouw van de brug. De onderbouw bestaat uit twee landhoofden en een rivierpijler, voorzien van een beschermconstructie tegen aanvaringen.

Kijkend van west naar oost, leidt een als aardenbanen helling uitgevoerde weg van maaiveldniveau van 3,0 m boven NSP (Normaal Surinaams Peil) naar het landhoofd op deze westoever, op 8,23 m +NSP. Over de brug gaat het dan naar het landhoofd op de oostoever, dat ongeveer 7,40 m hoger ligt. De oostoever is steil en ligt dus zo'n 15,6 m +NSP.

De landhoofden zijn uitgevoerd als kistdam, met een combiwand ter plaatse van de landhoofdbalk en damwanden voor de zijvleugels. De palen van de combiwand verzorgen –naast de grondkerende functie– tevens de opname van zowel de verticale als



↑ **Figuur 3** Aanvaarbescherming



↑ **Figuur 4 Model RFEM**

→ **Figuur 5 Het 3D-Teklamodel, inclusief omgeving**

horizontale belastingen uit de brug. Het vaste punt van de brug in langsrichting is gelegen op de westoever, dus het landhoofd aan de westzijde neemt alle horizontale langsbelasting op.

Het middensteunpunt bestaat uit een betonnen sloof, gefundeerd op stalen buispalen met een diameter van 1220 mm. Om tijdens de bouw het werken op het water tot een minimum te beperken, is de sloof met afmetingen van 14,0 m × 5,0 m × 1,6 m (l × b × h) als twee prefab bakken op de palen geïnstalleerd. Daarna is het insitu beton gestort.

Gezien de ervaringen uit het verleden en de locatie van de brug stroomafwaarts na een bocht in de rivier, was een aanvaarbescherming voor de middenpijler een must. De opdrachtgever gaf de voorkeur aan een op palen gefundeerde staal-betonbak die de pijler omsluit (figuur 3).

Deze beschermconstructie moet vier aanvaringen per jaar door een maatgevend schip (een duwbak-combinatie met 3100 ton waterverplaatsing) kunnen weerstaan. De constructie is vrijwel geheel op het water opgebouwd en bestaat uit een bak opgebouwd uit stalen platen met deuvels, die gevuld is met gewapend beton. De stalen platen zijn met lasverbindingen gekoppeld, met een waterdicht geheel als resultaat. Op deze manier ontstond een constructie waarin 800 ton beton, 100 ton staal en 111 ton wapeningsstaal is verwerkt. De stalen palen lopen in de bak over de volle hoogte door en zijn zo geheel

ingebod in het beton. Het inwendig overbrengen van de forse aanvaarkrachten op de bak naar de palen toe, heeft geleid tot een stevige wapening en vormt een niet-alledaagse oplossing.

UITWERKEN ONTWERP BOVENBOUW

Voor de twee eisen 'leveren en monteren binnen één jaar' en 'geen stremming voor de scheepvaart' waren zeer bepalend voor het maken van een ontwerp en het kiezen van de montagemethode.

Wat betreft de montage en de installatie, lag de lanceermethode voor de brug vanaf het landhoofd voor de hand. Uiteraard had deze keuze consequenties voor het brugontwerp.

Gezien de grote overspanningen en de wegdekafmetingen werden de maximale capaciteiten van (praktische) walsprofielen al snel bereikt. Daarom is voor veel profielen gekozen voor een uit platen samengestelde ligger. De vakwerkconstructie kreeg een hoogte van ongeveer 10 m. Voor de bovenranden bijvoorbeeld is gekozen voor een hoedligger en bijna alle I-liggers zijn samengesteld uit plaatmateriaal. Het bepalen van deze profielen is gedaan met behulp van een FEM software programma, genaamd RSTAB/RFEM software (figuur 4 en 5).

Als bouwwijze is ervoor gekozen de brug in gedeelten voor te monteren aan de westelijke oever. Na gereedkomen van een brugdeel is de constructie in stappen gelanceerd waarbij er steeds een brugdeel

gemonteerd kon worden zonder extra grondwerk. Paneelconstructies worden meestal rollend gelanceerd, maar gezien de grootte van deze brug (204 m lang en een massa van meer dan 1000 ton) werd besloten de schuifmethode toe te passen om de brug te positioneren. Het grote voordeel van deze methode was de gecontroleerde (hydraulische) voortbeweging. Daarnaast kon met het aanwezige hydraulisch materieel niet alleen een horizontale verplaatsing gerealiseerd worden, maar ook een verticale (3,4% helling). Het principe van het schuiven bestaat uit het uitleggen van een baan met daarop een glijtafel die met een zo laag mogelijke weerstand over de glijbaan wordt verplaatst. Dit verplaatsen gebeurt met hydraulische vijzels en de lage wrijvingsweerstand wordt gerealiseerd door TEFLON/UHMWP platen te laten glijden over rvs-plaatmateriaal.

Een betonnen dek of constructie kan tijdens het lanceren op veel plaatsen worden ondersteund. Bij een vakwerkconstructie ligt hier een grotere uitdaging: deze brug kan namelijk alleen worden ondersteund onder de knooppunten van het vakwerk.

Samen met de firma De Boer is een schuifplan uitgewerkt, waarbij op verschillende plaatsen onder de brug schuifbanen werden geplaatst met een minimale lengte van 10,2 m, de afstand tussen de knopen. Schuiven kan het beste onder controle gehouden worden bij horizontaal bewegen. Daarom ging hiernaar de voorkeur uit. Voor het verplaatsen van de brug in een helling van 3,4%, werd bedacht na elke schuifstap van 10,2 m de brug in zijn geheel 0,34 m ($3,4\% \times 10,2 \text{ m}$) op te vijzelen. Zodoende liep de brug als het ware een trap op.

Op het westelijk landhoofd was het plaatsen van 10,2 m schuifbanen geen probleem, maar op de middenpijler van 5 m breed was dit niet mogelijk. De grote momenten op de betonnen sloof zouden te grote vervormingen van de sloof met daarop de schuifbalken tot gevolg hebben en daarom is de schuifbaan hier gehalveerd tot 5,1 m.

Hierdoor werd de brug niet alleen ondersteund onder de knooppunten, maar tevens onder de hangers (de verticale elementen die zich in de driehoeken van het vakwerk bevinden). Deze hangers zijn normaal gesproken alleen ontworpen om het dek (en belasting) te dragen, dat alleen een trekbelasting genereert. Door de schuifstaplengte van 5,1 m kwamen er nu dus ook grote drukkrachten op de hanger, die opliepen tot 3500 kN. De grote uitkraging van 102 m en de 5,1 m lange schuifstappen tijdens het lanceren, vormden een bepalende factor voor veel afmetingen van de profielen in de brug. Om voor de brug dit effect enigszins te beperken en de kosten te minimaliseren, is besloten een lanceerneus van 75 m lengte te ontwerpen (figuur 6). Deze lichtere constructie bood technisch en economisch de beste oplossing.

Om de aansluiting met de brugconstructie zo praktisch mogelijk te houden en het lanceerprincipe hetzelfde te



↑ **Figuur 6** Brug met lanceerneus

Bij een vakwerk-constructie ligt hier een grotere uitdaging: deze brug kan namelijk alleen worden ondersteund onder de knooppunten van het vakwerk.



↑ **Figuur 7** Topboor in werking

houden als voor de brug, is voor de lanceerneus-constructie gebruik gemaakt van standaard walsprofielen en eenzelfde systeemmaat van 10,2 m. Tijdens de montage moesten het middensteunpunt en de oostelijke oever toegankelijk worden gehouden, reden om in de lanceerneus een voetpad te plaatsen. Deze punten waren immers alleen via het water te bereiken.

Voor het bepalen van de interne krachten van elk profiel en elke knoop, is niet alleen de verkeersbelasting maar ook elke schuifstap nagerekend. Verder werd rekening gehouden met windsnelheden tot een maximum van 35 m/s.

REALISEREN ONDERBOUW

De brug ligt op zo'n 50 km afstand van Paramaribo in een ontoegankelijk bosrijk gebied. De bouwplaats was niet via de weg bereikbaar gedurende de uitvoering

van de onderbouw en de stalen bovenbouw van de brug. Alle materialen, materieel en personeel zijn via het water aangevoerd.

In combinatie met de ambitieuze korte bouwtijd vormde dit een continue uitdaging voor de uitvoering op de site. Veelal is er in lange werkweken (6 tot 7 dagen per week) en dag- en nachtploegen gewerkt om binnen de planning te blijven.

De onderbouw is gefundeerd op stalen buispalen (diameter 1220 mm) en gedeeltelijk gebouwd vanaf het land. De middenpijler is vanaf het water gebouwd. De bodem bestaat uit zand / kleilagen aan het oppervlak, met daaronder een harde rotslaag, die met de diepte in sterkte toeneemt. Ideaal voor een goede draagkracht, maar het vergt wel een intensief heien- en boorproces om de stalen funderingspalen op diepte te krijgen.



De palen zijn gepositioneerd met een trilblok en geheid (Heihamer IHC S120) tot op stuit. De palen voor de middenpijler in de rivier zijn met een topboor (figuur 7) (reversed circulation drilling) door de stalen buispaal heen uitgeboord tot in de rotslaag, variërend van 8 tot 11 m onder de paalpunt, om daarna de paal – voor zover mogelijk – door te kunnen heien. Vervolgens is er een betonnen plug in de paalpunt / schacht gestort om de benodigde draagkracht te verkrijgen en ter voorkoming van inkalven of eroderen van de boorschacht.

Hierna kon met een 250 tons kraan de betonnen deksloof worden geplaatst en met beton worden afgestort. De betonspecie is geleverd door een lokale leverancier vanuit Paramaribo en de truckmixers zijn bij een tijdelijke, voor het project ingerichte, loswal op circa 4 km van de brug op een ponton geladen voor verder transport over het water tot de stortlocatie.

Een deel van de aanvaringsbescherming (de stalen onderbalk met stalen wanden en een eerste laag beton) is op hoogte geassembleerd, boven de hoogwaterlijn, aangezien de Surinamerivier een getijdenrivier is. Daarna is dit deel met jukken op de palen en trekstangen door de bodem van de constructie 2,6 m afgevijseld tot op de definitieve

hoogte in het water. Vervolgens is de constructie in drie fasen met beton volgestort voor de definitieve sterkte en aanhechting van de palen aan het beton.

REALISEREN/MONTAGE BOVENBOUW

Terwijl de afdeling engineering het ontwerp nog aan het uitwerken was, werd al materiaal besteld en de productie opgestart voor de eerste delen. Dit proces vroeg veel coördinatie tussen engineering, werkvoorbereiding en de verschillende constructiebedrijven. Al het tekenwerk werd gedaan in TEKLA, wat vooral voor het productie- en bouwproces goed heeft gewerkt. De stalen onderdelen van de brug werden door verschillende constructiebedrijven in Nederland geproduceerd en met behulp van de digitale output van Tekla kon direct op basis van deze bestanden materiaal worden gesneden en geboord, zonder fouten in de overdracht. Zeker voor de vele boutverbindingen in het ontwerp was dit erg belangrijk. Er zaten namelijk 45.000 bouten in de constructie waarvan 28.000 voorspanbouten. Figuur 8 geeft een goede indruk van de complexiteit van de verbindingen. Nadat de eerste onderdelen via de verschillende verzinkerijen bij Janson waren afgeleverd, werden deze zoveel mogelijk in containers verpakt. De langere elementen werden gebundeld en als deklading verscheept.



↑ Figuur 9 Bovenloopkraan

De beschikbare ruimte van de voormontage-locatie van de brug was ongeveer 100 m. Dit betekende dat de lanceer-
neus van 75m hier kon worden gemonteerd en drie brugvelden van $3 \times 10,2 \text{ m}^2$.

Na aankomst in Paramaribo werden de brugdelen overgeladen op binnenvaartschepen en via de Surinamerivier naar de projectlocatie gebracht. Aan een tijdelijke aanlegplaats bij de projectlocatie werden alle delen gelost en op een voormontagelocatie geplaatst. Hier werden de onderdelen zoveel mogelijk voorgemonteerd, om in zo groot mogelijk delen met behulp van rupskranen in positie te worden gebracht. De beschikbare ruimte van de voormontagelocatie van de brug was ongeveer 100 m. Dit betekende dat de lanceerneus van 75 m hier kon worden gemonteerd en drie brugvelden van $3 \times 10,2 \text{ m}^2$. De bouwsnelheid liep hierbij op tot 10,2 m per dag. Om dit te kunnen realiseren zijn de montageteams ondersteund door medewerkers van lokale bedrijven. De totale stalen brugconstructie van 1200 ton werd met een wisselende bezetting tussen 4 en 20 mensen gemonteerd en op zijn opleggingen geplaatst in drie maanden tijd. Al tijdens het afvrijelen werden de prefab betonnen dekplaten op de brug geplaatst met behulp van twee tijdelijke bovenloopkranen (figuur 9), die in de brug waren meegebouwd om het installatieproces te versnellen. Deze bovenloopkranen waren voorzien van extra sterke motoren om de helling van 3,4% aan te kunnen. Na het plaatsen van de prefab platen en het vlechten van de aanvullende wapening werd het dek afgestort.

OPENING

Op zondag 21 december 2014 is de brug met een feestelijke openingsceremonie officieel in gebruik genomen. Na jarenlang wachten op een aanvankelijk bijna gereed zijnde brug, bleek het enthousiasme onder de lokale bevolking zeer groot te zijn. Duizenden mensen waren van de partij en hebben op feestelijke wijze de brug in gebruik genomen (figuur 10).



↑ Figuur 8 complexiteit knooppunt



↑ Figuur 10 Feestelijke opening van de brug

SBE

experts at play

Great Place To Work.

Certified
APR 2022-APR 2023
BELGIUM

WIE ZIJN WE?

SBE is een advies- en ingenieursbureau actief in ontwerp van infrastructuur. Dit omvat projecten zoals bruggen in Zuidasdok en Afsluitdijk, de Beatrixsluis en kademuren in de Rotterdamse haven. We zijn een **familiebedrijf** met een platte en wendbare organisatiestructuur. Zo geven we elke collega de kans om mee te bouwen aan onze groei.

ONZE FOCUS

- + infrastructuur & mobiliteit
- + waterbouwkunde
- + architectuur & landschap
- + industrie & gebouwen
- + elektromechanica

WORD JIJ OOK EXPERT AT PLAY?

Stuur je CV naar:
recruitment@sbe-engineering.nl

VOLG #TEAMSBE

-  [sbe-engineering.com](https://www.sbe-engineering.com)
-  SBE nv
-  SBE nv
-  [team.sbe](https://www.instagram.com/team.sbe)
-  Rotterdam Centraal, Groothandelsgebouw

Raad van Advies Bruggenstichting

ARUP



2016



BRUGGEN *in beweging*

Toen ik gevraagd werd om een lezing te geven over bruggen, heb ik enthousiast 'JA' gezegd, niet wetende dat er ook een artikel voor het blad Bruggen geschreven moest worden. Maar hij die A zegt, moet ook B schrijven. Dus eerst maar eens naar de doelgroep gekeken en daar bleek dat ik waarschijnlijk het minste van bruggen weet, dus dit artikel is een behoorlijke uitdaging.





Het seminar waar dit artikel bij hoort, heeft als titel “bruggen in beweging” met als ondertitel “ontwikkeling en innovatie in beweegbare bruggen”. Daar begint het lastig te worden want bij Defensie, in het bijzonder de Landmacht, hebben wij wel bruggen die kunnen bewegen maar daar verstaan we echt heel iets anders onder dan wat we er in de civiele wereld onder beweegbare bruggen wordt verstaan. Ik neem dan ook de vrijheid om, zowel in het artikel als in mijn lezing, het begrip ‘bruggen in beweging’ iets vrijer te interpreteren. In dit artikel wil ik ingaan op het belang van bruggen voor de krijgsmacht in combinatie met civiele kennis. Ik wil dit doen aan de hand van een aantal historische voorbeelden. ‘Bruggen in beweging’ gaat in op het belang van bruggen voor de krijgsmacht en hoe bruggen zich binnen de krijgsmacht zich verder ontwikkelden, in beweging bleven.

Binnen de krijgsmacht zijn bruggen vooral bedoeld om beweging mogelijk te maken. Verrassing is één van de grondbeginselen van het gevecht en door slim gebruik te maken van overgangen (bruggen) vergroten we het verrassingseffect. Om dat te doen moeten we aan een aantal voorwaarden voldoen. We moeten een goed operationeel en tactisch inzicht hebben, we moeten technisch inzicht hebben om de bruggen te kunnen bouwen en we moeten, als het even kan, bruggen bouwen daar waar anderen dat niet verwachten.

Hoe we dat door de jaren heen gedaan hebben en hoe zich dat ontwikkeld heeft, daar ga ik nader op in en hoe we in de nabije toekomst aankijken tegen bruggen en beweging. Belangrijk in deze zijn de verbindende elementen tussen de krijgsmacht en civiele instituten op het gebied van bruggen en hoe we die kunnen exploiteren en uitbreiden.

Bruggen in het verre verleden, de ontwikkeling

Van oudsher is er een sterke band tussen bruggen en het leger. Rivieren, waterlopen en insnijdingen vormen obstakels die het voor legereenheden moeilijk maken om te opereren. Al lang geleden werden bruggen gebouwd door legereenheden om beweging en verrassing mogelijk te maken. Ware technologische kunststukjes zijn uitgevoerd om legers te laten bewegen.

In 480 vChr bouwde Xerxes een brug over de Hellespont met behulp van pontons. Deze brug was meer dan een kilometer lang en bestond uit honderden schepen die bij elkaar de pontonbrug vormden. Kabels van papyrus hielden de boten bijeen en door deze brug was het mogelijk dat Xerxes zijn troepen snel kon verplaatsen. Helaas hebben een groot aantal ingenieurs het niet overleefd vanwege de toorn van Xerxes, die, toen een brug in een storm beschadigd werd, de ingenieurs liet doden. Maar het bouwen en ontwerpen van deze brug toonde een staaltje vakmanschap van de toenmalige militaire ingenieurs. Deze brug leidde het begin in van de pontonbruggen, die in principe hetzelfde zijn als de moderne bruggen die wij nog steeds gebruiken. Huidige bruggen zijn uiteraard aangepast aan de eisen van de moderne tijd maar zelfs met de moderne bruggen is het nog steeds zeer lastig om een brug te bouwen op de plaats waar Xerxes die bouwde.

Veel later bouwden de Romeinen de eerste bruggen over de Rijn. Deze werden in 55-53 vChr gebouwd door de troepen van Julius Caesar om zijn troepen snel te kunnen verplaatsen. De Romeinen bouwden binnen tien dagen een brug over de Rijn. Er waren toen nog geen moderne middelen voor handen. Deze brug werd gebouwd door specialisten en geheel uit hout vervaardigd. Zelfs in onze moderne tijd is dit geen eenvoudige opgave. De Romeinen bouwden nog vele ander kunstwerken om hun troepen snel te kunnen verplaatsen. Zo is een groot deel van het wegennet uit de Romeinse tijd gebouwd voor dit doel, wegen en beweging. De gebruikte technieken wijken niet veel af van de huidige technieken om met behulp van hout geïmproviseerde bruggen te slaan. Om deze bruggen te bouwen is een gedegen kennis van de civiele techniek nodig. Door het bouwen van deze brug in een voor toen zeer korte tijd, was het mogelijk voor Julius Caesar zijn troepen snel te bewegen over het slagveld wat een voordeel ten opzichte van zijn tegenstanders opleverde.

De tijd schrijdt voort en ook de snelheid waarmee troepen zich over het slagveld bewegen, neemt toe. Om de beweging mogelijk te blijven maken, evolueren militaire bruggen mee met deze trend. Zo is er een bekend voorbeeld van eeuwen later dat velen kennen, namelijk de brug over de Berezina gebouwd door en voor de legers van Napoleon. De reden om de brug te bouwen was in dit geval minder heroïsch dat die



van Julius Caesar: Napoleon was immers op de terugtocht. Hier vinden we ook Nederlandse Genie-eenheden aan het werk. De Nederlandse pontonniers bouwen de jukken en verrichten hun taak ondanks het slechte weer en de sterke stroming. Ook hier wordt weer vakmanschap getoond. In deze oude tijden waren het vooral militaire ingenieurs die bruggen en wegen ontwierpen en uitvoerden. Het was immer noodzakelijk om innovatieve methoden te ontwikkelen om de troepen sneller te kunnen verplaatsen dan de tegenstander en door verrassing voordeel te halen op het slagveld. Legers verplaatsten zich in die tijd vooral lopend of per paard of andere lastdieren. De verplaatsingssnelheid en de snelheid op het gevechtveld waren nog laag. Militaire ingenieurs waren van groot belang om het hoofd te kunnen bieden aan de moderne ontwikkelingen, zoals vuurwapens die met zich mee brachten. Innovatie en ontwikkeling kwam dus vaak voort uit militaire ontwikkelingen die later overgenomen werden in de

civiele wereld. Overigens is in de USA het Army Corps of Engineers nog steeds verantwoordelijk voor een groot aantal bruggen. Militaire ingenieurs behoorden tot de top van de innovatie; pas later zijn de kunstwerken en bruggen het domein geworden van civiele ingenieurs.

Tijd van vooruitgang en mechanisatie

Na de uitvinding van de stoommachine kwam de mechanisatie van de samenleving op gang. Tijdens deze mechanisatie konden krijgsmachten niet achter blijven. Na de uitvinding van de auto en het vliegtuig werden er ook andere eisen gesteld aan bruggen. De ontwikkeling van bruggen kwam weer in beweging aangezien de aard van de operaties van de krijgsmacht veranderde: sneller, meer vuurkracht en een extra dimensie in de lucht. Er kwam behoefte aan bruggen die eenvoudig in elkaar gezet konden worden en aan bruggen die meegevoerd konden worden door de troepen te velde. Er was geen tijd meer voor weken tot maandenlange voorbereiding en uitvoering. Maar de bruggen moesten ook sterker zijn, auto's en treinen zijn zwaarder dan paard en wagen. Bruggen moesten snel op het slagveld gebouwd kunnen worden om de nieuwe manoeuvrevormen te ondersteunen. Bruggen moesten ook snel in en uit elkaar te halen zijn, aangezien de luchtdreiging nu een nieuwe dimensie toevoegde. Ik wil hier twee voorbeelden noemen die niet meer weg te denken zijn uit de moderne oorlogsvoering. Ten eerste de Baileybrug. De Baileybrug is tijdens de Tweede Wereldoorlog ontworpen, getest en gebouwd. Het idee was om als een soort mecanodoos voor bruggen te ontwerpen



waarmee troepen te velde elke insnijding of waterloop zouden kunnen overwinnen. Het materiaal moest geschikt zijn om verkeersbruggen, treinbruggen, drijvende bruggen en nog vele ander soorten bruggen te ontwerpen en te bouwen. Dit moest dan gebeuren door speciale Genietroepen die in staat waren te velde (zelfs onder vuur) de brug te ontwerpen en te bouwen. Ik mag het resultaat bekend veronderstellen bij iedereen die enige belangstelling voor bruggen heeft, de Baileybrug is niet meer weg te denken uit zowel de militaire als civiele samenleving. Het is waarschijnlijk het meest flexibele systeem op de wereld om bruggen te bouwen. Het is vele malen gekopieerd en verbeterd en nog steeds leidend als het gaat om een innovatief idee.

De eerste bruggen werden met groot succes gebouwd, eerst in Tunesië en later in Italië gedurende de geallieerde campagne. De snelheid van bouwen en de flexibiliteit van de brug verraste de Duitsers. Tot dan toe waren er alleen veel arbeidsintensievere en minder flexibele systemen gebruikt. Het noopte zelfs tot verandering in tactieken: het werd vanaf nu gemeen goed om brugslagplaatsen te bemijnen om zo het bouwen van de brug te vertragen. Iets wat we tot enige jaren geleden ook nog deden. Deze bruggen leiden tot een grotere bewegingsvrijheid enerzijds en tot verandering van tactieken anderzijds; ze brachten dus zowel letterlijk als figuurlijk veel in beweging.

Als tweede voorbeeld wil ik de brugleggende tank aanhalen. Dit is een zuiver militaire ontwikkeling die gestart is gelijk met

de ontwikkeling van een gemechaniseerde krijgsmacht. Daar waar de Baileybrug een innovatief ontwerp was, is het basic en low tech. De brugleggende tank is van heel andere orde technisch hoogstaand, mobiel en kwetsbaar. Waarom haal ik deze brug aan? De eerste uitvoeringen van de deze tank lijken veel op een basic ophaalbrug (een beweegbare brug) die zelfstandig kan verplaatsen. Latere versies, zoals die nu nog in gebruik zijn, zijn technisch zeer complex, kunnen bruggen lanceren in enkele minuten en zonder enorm hoogtepfiel. De ontwikkeling van dit middel maakte meer en nog snellere beweging van troepen mogelijk.

Deze twee ontwikkelingen zijn puur militair, echter de toepassing van de Baileybrug bleek zo universeel dat deze nu civiel van een groter belang is dan militair. Het is allang niet meer de snelle brug die het was. Maar het is nog steeds een zeer betrouwbaar en flexibel middel dat werkelijk overal op aarde gebruikt wordt. Nieuw civiele versies zijn op de markt en worden nu gebruikt door krijgsmachten over de gehele wereld.

Met de brugleggende tank ligt dit anders. Dit middel wordt sporadisch civiel gebruikt. Maar zou het niet handig zijn een mobiele ophaalbrug te hebben? Bij voorbeeld voor calamiteiten, of gaan we daar Bailey voor gebruiken? De laatste jaren zijn in Nederland een aantal keren deze middelen toch ingezet voor 'civiele' doeleinden, zoals een ontruiming, maar ook als tijdelijke noodbrug. Dus ook hier raken de militaire en de civiele wereld elkaar.



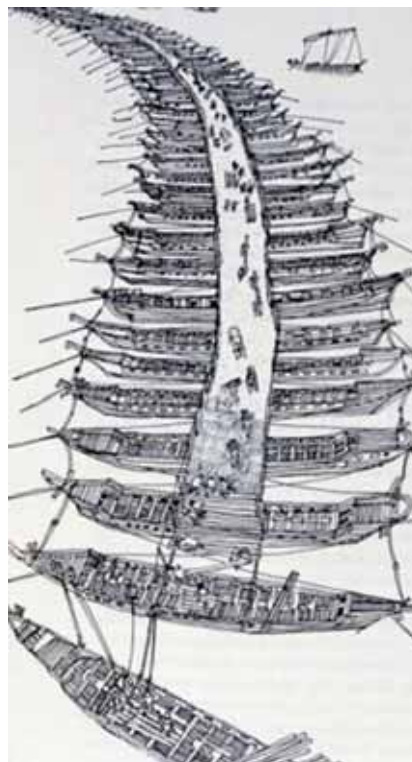


De Civiel Militaire connectie, bruggen bouwen

In de paragrafen hiervoor heb ik in het kort een aantal ontwikkelingen geschetst van militaire bruggen vanaf een ver verleden tot bijna nu. Maar buiten deze ontwikkeling zijn er nog andere ontwikkelingen op het gebied van bruggen, andere bewegingen. In de laatste paragrafen wil ik de nadruk leggen op de connectie tussen militaire en civiele bruggen. Laat ik beginnen met militair gebruik van civiele bruggen. In de laatste militaire missies is dat iets wat veelvuldig voorkomt. Zowel op de voormalige Balkan, als in Irak en Afghanistan wordt op grote schaal gebruik gemaakt van civiel brugslagmateriaal voor militaire doeleinden. Het gaat hier vaak om verbeterde Baileyversies. Om deze te kunnen bouwen is civiele expertise nodig, of een civiele training als het niet mogelijk is om niet-militairen uit te zenden naar bepaalde gebieden. Specifiek militair brugslagmateriaal wordt slechts beperkt gebruikt. Het voordeel van het gebruik van civiel materieel is dat dit later ook onderhouden kan worden door het land waar de brug gebouwd is en veelal aan civiele specificaties voldoet zodat al het verkeer er gebruik van kan maken. Het gebruik van civiele bruggen in missies is een beweging die niet meer weg te denken is.

Een tweede, misschien wel lastiger element is het gebruik van normale, civiele bruggen voor militair gebruik. Speciaal als het hier gaat om beschadigde bruggen of bruggen waar geen load classificatie van bekend is. In veel gevallen kan de militair geen gedegen antwoord geven op de vraag wat zo een brug nu precies kan dragen en dus wat er overheen kan. Voor de eenheden betekent dit minder bewegingsvrijheid met alle gevolgen van dien voor de operatie. Om dus toch alle bewegingen mogelijk te maken, is specifieke kennis nodig om te bepalen wat wel en niet mogelijk is met de desbetreffende brug. Uiteraard is het mogelijk een schatting te doen aan de hand van civiel verkeer dat de brug passeert zonder ogenschijnlijke problemen maar dit is uiteraard slechts een tijdelijke oplossing. Op zo'n moment ontberen wij militairen op missie vaak de specifieke kennis om uitspraken te doen over de belastbaarheid. Hier hebben we civiele kennis nodig van mensen die dit dagelijks doen. Hier zie ik een duidelijke beweging van Militair naar Civiel.

Hoe zit het dan andersom? Nu in vroeger jaren, de jaren van de Baileybrug, was er ook civiel veel kennis van zaken over dit materiaal. Door de uitfasering van dit materiaal en weinig gezamenlijke, nationale oefeningen met dit soort materiaal, ebt de kennis in de civiele wereld waarschijnlijk weg. (uitgezonderd gespecialiseerde bedrijven) Nu zijn militairen opgeleid om tijdens een crisis binnen korte tijd beslissingen te nemen, een plan te maken en dat uit te voeren. En hier zit hem denk ik de meerwaarde. Militairen zijn met zowel militair als civiel materiaal uitstekend in staat in crisissituaties civiele instanties bij te staan. Alle mogelijkheden die hiervoor genoemd zijn, komen daarvoor in aanmerking. Ik zie hier een duidelijke mogelijkheid voor beweging van civiel naar militair. Dit gaat echter niet vanzelf. Het kost tijd en dus geld, maar het is de investering waard; civiel en militair hebben elkaar nodig. Zoals het ooit begon met innovatieve ideeën van militaire ingenieurs eeuwen geleden, en er later civiele innovatie gebruikt werd door militairen, kan dit nu resulteren in een gezamenlijk optrekken om problemen op te lossen. In ieder geval kunnen militaire organisaties zich niet meer de luxe permitteren om alles zelf te kunnen en te weten: samenwerking is dan ook hoogst noodzakelijk. Bruggen zijn al eeuwen in beweging. Dit artikel gaat, zoals u gelezen heeft, niet over highly sophisticated beweegbare bruggen, maar meer over het bouwen van nieuwe bruggen, kijkend en gebruik makend van het verleden. Toch heb ik kort de beweging van militaire bruggen verwoord en daarbij aangegeven dat beweging voor militairen in het geval van bruggen misschien wel iets anders betekent dan waarop gerekend werd. Bruggen in beweging, het zou mooi zijn als we een brug kunnen slaan tussen de civiele en militaire experts, dan kunnen we echt spreken van 'bruggen in beweging'.



2017

INNOVATIEPROGRAMMA

STROOMVERSNELLING

BRUGGEN Maximale beschikbaarheid
– minimale maatschappelijke kosten

Voordracht gehouden door:
ir. Egon Jansen, Bouwcampus Delft en dr. Paul Waarts,
Provincie Noord-Holland, Haarlem

Bewerking tot artikel door:
Maurits van de Toorn

De komende jaren zijn duizenden bruggen, tunnels en viaducten in Nederland aan vervanging toe. Dat is niet alleen een enorme investering, er dreigt ook onvoldoende ontwerp- en bouwcapaciteit te zijn om dit allemaal in betrekkelijk korte termijn uit te voeren. Opdrachtgevers en bouwbedrijven werken daarom op De Bouwcampus samen in het programma 'Stroomversnelling Bruggen' aan manieren om het probleem efficiënt en innovatief aan te pakken. De ambitie van het programma is de totale kosten voor de vervangingsopgave met 40% te verminderen.



1 Vervanging van de Stolperophaalbrug in de N248 bij Schagen

Foto: Anya Boen

Het lijkt een mooie vraag voor een quiz: hoeveel bruggen zijn er in Nederland? Het lijkt, want niemand weet het juiste antwoord, er bestaat geen registratie. Alleen al in Amsterdam zijn er zo'n 2000 bruggen die geregistreerd en genummerd zijn, maar als alle ongenummerde bruggen en bruggetjes ook worden meegeteld, zijn het er bijna twee keer zoveel. Landelijk is er evenmin zicht op het totaal. Als je alles meerekent, van de kleinste til in Groningen tot en met nationale iconen als de Van Brieneoordbrug en de Zeelandbrug, kom je misschien wel op 100.000 stuks. Een serieuze schatting is dat het om 40.000 tot 50.000 bruggen, tunnels en viaducten oftewel kunstwerken van enige omvang gaat.

BOUWPERIODE

Een groot deel van die kunstwerken is verzetten vanaf de jaren vijftig tot circa 1975. Om verschillende redenen zijn er toen zoveel gebouwd. Er moest nog lange tijd schade uit de oorlogperiode worden hersteld. Vervolgens werd het wegennet sterk uitgebreid – denk aan de aanleg van het snelwegennet – en omdat het (auto)verkeer snel groeide en er

steeds meer rondwegen kwamen om dorps- en stadskernen te ontlasten.

De beheerders geven inmiddels jaarlijks zo'n zes miljard euro uit aan de instandhouding van al deze infrastructuur. Hoe essentieel een goede instandhouding is, bleek een paar maanden geleden toen de Merwedeburg bij Gorinchem ineens een paar maanden dicht moest voor vrachtverkeer. Het economisch belang van een goede infrastructuur werd – ongewild – weer eens geïllustreerd. Die zes miljard is al veel geld, maar het is peanuts in vergelijking met het bedrag dat vervanging van deze kunstwerken zou kosten. Uitgaande van een levensduur van vijftig tot tachtig jaar is er geen hogere wiskunde voor nodig om te bedenken dat er de komende jaren een golf aan noodzakelijke vervangingen op ons afkomt.

AANPAKKEN

Lindy Molenkamp, hoofd van de Eenheid Wegen en Kanalen van de provincie Overijssel, heeft het probleem benoemd: "Er komt een piek in de vervangingscyclus aan en het gaat erom de golf die op ons afkomt te spreiden,



2 Beweegbare brug, kanaal Almelo-Coevorden

Foto: Harry Roelofs, provincie Overijssel

te verlagen en naar achteren te schuiven. Dat is niet alleen om overheidsgeld uit te sparen, het is ook nodig omdat de markt zoveel opdrachten niet in één keer aan kan. Er zijn gewoonweg niet voldoende ontwerpers en bouwers in Nederland en daarbuiten. We moeten het probleem daarom op verschillende manieren aanpakken. Je kunt kunstwerken inderdaad vervangen, maar je kunt ze ook versterken, het gebruik ervan beperken door de toegelaten aslasten of totaallasten te begrenzen en, het meest drastisch, je kunt een kunstwerk ook weghalen. Maar wat je ook doet, samenwerking is essentieel: het heeft niet zoveel zin als de ene wegbeheerder een kunstwerk helemaal laat vernieuwen, terwijl

de aangrenzende wegbeheerder een paar kilometer verderop in dezelfde weg een aslastbeperking voor een viaduct instelt.”

Het probleem heeft ook een bestuurlijke dimensie, want er is voor een minister, gedeputeerde of wethouder weinig eer aan te behalen. Grootscheepse vervangingen duren meestal langer dan één bestuursperiode, kosten veel geld en leveren amper gelegenheid om feestelijk linten door te knippen. Molenkamp: “Je kunt het vergelijken met het vervangen van je oude wasmachine, dat wekt bij de meeste mensen ook geen warme gevoelens op.”

PROGRAMMA

Voor het aanpakken van het probleem is vorig jaar het programma ‘Stroomversnelling Bruggen’ van start gegaan. Het is ontstaan vanuit een initiatief van de ministeries van Economische Zaken en Binnenlandse Zaken. Inspiratiebron daarbij was de ‘De stroomversnelling’, een efficiënte manier van werken die bij de renovatie van jaren zestig-woningen met succes is toegepast. Aanjager van het programma is De Bouwcampus in Delft.

Robert Koolen, directeur Strategie en Innovatie van bouwbedrijf Heijmans, legt uit wat de bedoeling is: “Het gaat erom dat we ontwerp- en bouwprocessen opschalen en

standaardiseren. Dat standaardiseren kan door, net zoals bij woningen, ook infrastructuur modulair te gaan bouwen. We hebben één keer een opdracht voor twaalf fietstunneltjes in negen gemeenten gehad, waarbij elke gemeente andere eisen stelde. Doordat we de eisen hebben samengevoegd moesten alle tunneltjes weliswaar aan de zwaarste eisen voldoen, waardoor de bouw zelf duurder werd, maar het ontwerpproces verliep zoveel efficiënter dat we uiteindelijk goedkoper uit waren. Nog een goed voorbeeld van deze manier van werken is de 'catalogus' van fiets- en voetgangersbruggen die Rotterdam heeft gemaakt en de gecombineerde aanbesteding voor de gestandaardiseerde vernieuwing van een aantal daarvan.“

OPSCHALEN

Koolen: “Rotterdam is in staat om zo'n aanbesteding te doen omdat het een grote gemeente is met een goed ingenieursbureau. Veel kleinere gemeenten kunnen dat niet. De huidige gang van zaken waarbij een gemeente voor elke opdracht een apart ontwerp laat maken door een architect of een ingenieursbureau, vervolgens een uitvraag doet waar vijf bouwbedrijven op reageren die

elk ook weer gaan rekenen, is niet meer te betalen als je je realiseert welke opgave er op ons afkomt. We moeten dergelijke processen meer modulair oppakken en opschalen tot regionaal, provinciaal of landelijk niveau.“

Molenkamp valt hem bij: “Het is een vraagstuk dat te groot is voor kleine partijen zoals veel gemeenten en waterschappen, terwijl grote partijen – de meeste provincies, grote gemeenten en het Rijk – eveneens zullen moeten samenwerken om kostenvoordelen te hebben door gezamenlijke inkoop en opdrachtverlening. Bovendien geldt: zoveel kennis op dit gebied is er niet; alle partijen hebben elkaar hard nodig. De kwestie van verouderende en oudere infrastructuur speelt in de meeste ontwikkelde landen. Ik zie het als vraagstuk, maar ook als kans. Zo ben ik ervan overtuigd dat bedrijven die hier ervaring opdoen met een innovatieve aanpak hun marktpositie elders in de wereld kunnen versterken.“

'LEGOLISERING'

Paul Waarts, senior technisch adviseur bij de provincie Noord-Holland, houdt zich bezig met het al genoemde modulaire bouwen van

bruggen. Hij gebruikt daarvoor het begrip 'legolisering', iets waar iedereen zich wat bij kan voorstellen, want wie heeft er als kind niet met Lego gespeeld? Waarts: “Elke brug is nu een individueel ontwerp, maar als je door je oogharen kijkt, lijken veel bruggen op elkaar. Veel onderdelen zijn in feite hetzelfde, maar worden nu nog altijd afzonderlijk ontworpen, terwijl standaardisering veel efficiënter is, in bouw en onderhoud. In de automobiellindustrie en in de scheepsbouw is men daar al veel verder mee dan wij.“

Dat is natuurlijk te verklaren door het verschil in schaalgrootte: duizenden auto's bouwen is iets anders dan één brug, en de meeste brugeigenaren komen niet verder dan één of hooguit twee bruggen per jaar. Het idee is dan al snel: waarom zou je standaardiseren? Het antwoord daarop is dat je er al heel snel voordelen van hebt, zelfs al bij twee bruggen. Waarts: “Het idee is om vanaf 2020 op een gestandaardiseerde manier beweegbare bruggen te bouwen door interfaces te definiëren – om in stijl te blijven: dat zijn de 'nopjes' van de Lego – waarmee we ervoor zorgen dat alle onderdelen van de verschillende bruggen op elkaar passen.“

Alle bruggen zullen er nog steeds verschillend uit kunnen zien; wie bang is voor versaaing van het landschap hoeft zich geen zorgen te maken. Waarts: “De ontwerper houdt de vrijheid om een individueel ontwerp te maken, zolang hij er maar voor zorgt dat hij zich aan de interface houdt. Bruggen houden een verschillend uiterlijk, want alles tussen de interfaces kan verschillend zijn.“ Het maken van zo'n interface kost tijd en geld, maar door de standaardisatie heb je al snel een kostenreductie binnengehaald. “Naast die reductie verwacht ik een verbetering van de kwaliteit, een snellere bouwtijd en een duurzamere infrastructuur. Standaardisering brengt hergebruik van onderdelen in beeld. We streven ernaar dit in Noord-Holland en Overijssel zo te gaan doen. Voor het maximale effect zou het mooi zijn als dit model in heel Nederland wordt toegepast.“

CONCURRENTIE

Al die standaardisering, plus de deelname van meerdere bouwbedrijven in het programma, roept de vraag op hoe het zit met de verhoudingen tussen de bouwers. Ze zullen toch met elkaar concurreren als het tot aanbeste-



3 Egon Janssen van De Bouwcampus op de composiet Exercitiebrug in Rotterdam. De aanpak van de vervangingsopgave van 150 fiets/voetgangersbruggen in Rotterdam is een belangrijke inspirator geweest van de 'Stroomversnelling Bruggen'
Foto: M. van der Tol, AmRoR

Elke brug is nu een individueel ontwerp,
maar als je door je oogharen kijkt, lijken veel
bruggen op elkaar

dingen volgens dit nieuwe model komt. Koolen: “Je kunt dat oplossen door in consortia te gaan werken, maar opdrachtgevers kunnen ook op een hoger abstractieniveau aanbesteden. Ik noem dat het ‘sleutel-slotprincipe’: de opdrachtgever bepaalt samen met de opdrachtnemers het slot, de opdrachtnemers bedenken vervolgens hoe de sleutel eruit ziet en zorgen dat die past.”

“Het is wel verstandig dat alle deelnemende partijen een keer een opdracht krijgen om te oefenen met deze manier van werken en zo ervaring op kunnen doen. Bij het woningenprogramma is ook steeds een mandje opdrachten aan alle deelnemers ter beschikking gesteld. Nadat op die manier een eerste innovatieslag is gemaakt, kunnen de aanbestedingen vervolgens ‘open’ worden gemaakt.”

WET- EN REGELGEVING

Buiten techniek en innovatie, zijn er maatregelen op het gebied van wet- en regelgeving te bedenken die kunnen bijdragen aan een beter resultaat en lagere kosten. Molenkamp pleit voor aanpassing van het Bouwbesluit: “In het Bouwbesluit 2012 is vastgelegd dat alle, ook kleinere kunstwerken geschikt moeten zijn voor voertuigen met een totale massa tot zestig ton. Dat is niet altijd nodig, er was vroeger niet voor niets een driedeling in gewichtsklassen. We proberen die driedeling weer terug te krijgen, want dat scheelt miljarden aan investeringen.”

Nog een simpele maar effectieve maatregel, is een stringenter aanpak van de overbelading van vrachtwagens. Naar schatting is circa tien procent van alle vrachtwagens overbeladen, terwijl het in sommige sectoren nog wel meer is. “De ironie is dat de overheid als opdrachtgever van grote bouwprojecten daar medeverantwoordelijk voor is, want juist in de bouwsector komt veel overbelading voor. Dat veroorzaakt schade aan wegen en kunstwerken en naarmate kunstwerken ouder worden, neemt de schade daardoor toe. Het is aan te bevelen dat opdrachtgevers in hun contracten vastleggen dat ze op overbelading controleren en daarvoor een convenant opstellen. Overbelading veroorzaakt nu jaarlijks zo’n 400 miljoen euro aan schade, dus afspraken daarover schelen al gauw veel geld.”

STAND VAN ZAKEN

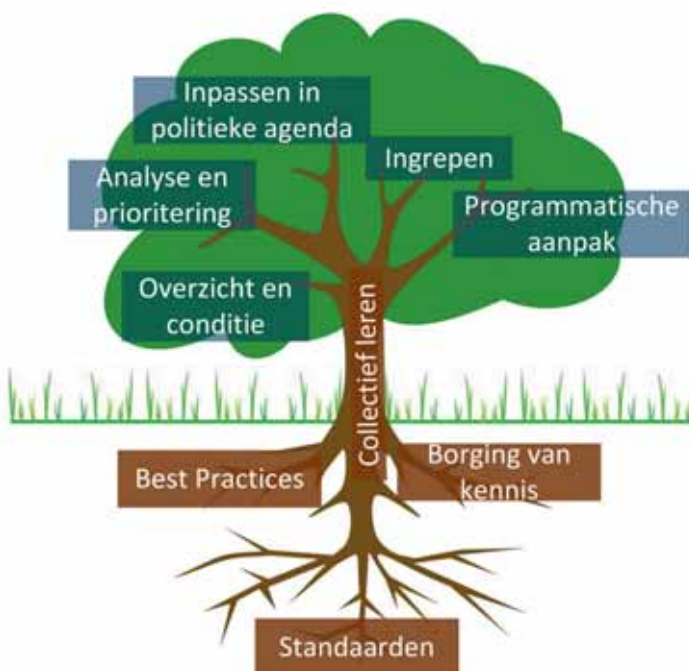
De Bouwcampus, de neutrale aanjager van het programma, heeft sinds begin 2016 een reeks sessies georganiseerd om het probleem te definiëren. In eerste instantie gaat het erom dat de beheerders van de bruggen, tunnels en viaducten, die nu vaak ‘onbewust

onbekwaam’ zijn als het om dit probleem gaat, ‘bewust onbekwaam’ worden gemaakt. Vervolgens moet er een instrumentarium worden ontwikkeld om te kunnen prioriteren, ofwel waar moet het snelst worden ingegrepen? Dat vergt uitgebreide controles van alle kunstwerken, mogelijk met moderne hulpmiddelen als drones en sensoren.

Vervolgens kan worden bepaald wat de beste ingrepen zijn. Vervanging zal niet altijd direct nodig of mogelijk zijn. In die gevallen kunnen maatregelen als beperking van de aslast of de totaallast voorlopig soelaas bieden. In werkateliers en een innovatielab worden innovatieve manieren bedacht om de problemen aan te pakken; de bouwbedrijven die hieraan deelnemen doen dat zonder betaling voor hun nadenk- en meedenkwerk. Op basis van de keuzes uit de werkateliers en *best practices*, zoals de al genoemde Rotterdamse gebundelde aanbesteding, volgen pilots. De concepten die in die pilots hun waarde bewijzen, kunnen uiteindelijk overal in het land worden gebruikt.

Dat is allemaal niet van vandaag op morgen te realiseren, maar de noodzaak van het programma is inmiddels wel breed doorgedrongen, merkt Koolen: “De bijeenkomsten waren de eerste keren nog erg aftasten, maar inmiddels is het besef bij alle deelnemers doorgedrongen dat er een heel grote opgave

4 Aanpak van de Stroomversnelling Bruggen. De hoofdtakken geven de scope weer van het programma. Op deze onderwerpen worden rondom casussen werkateliers ingericht. De opgedane kennis en ervaringen worden verzameld (weergegeven in de wortels van de boom)



ligt.” Waarts voorziet eveneens dat er nog een lange weg te gaan is: “We staan nog maar aan het begin. Het is nu een kwestie van de geesten rijp maken, want het gaat om een omslag in de civiele techniek.”

BETROKKEN PARTIJEN: ZIE WWW.DERBOUWCAMPUS.NL

Voor meer informatie of het leveren van een bijdrage aan deze opgave? U kunt contact opnemen met Egon Janssen, business developer van De Bouwcampus via 06-53467664 of e.janssen@debouwcampus.nl. ■



De Bouwcampus in Delft is dé ontmoetingsplaats waar partijen samen innovatieve oplossingen creëren voor vraagstukken op het gebied van leven, wonen en werken. Het is hét netwerk dat partijen in de gehele bouwsector met elkaar verbindt: alle partijen uit de bouwketen, inclusief de eindgebruiker, zitten aan de tekentafel. De Bouwcampus stimuleert betrokken partijen expertise, creativiteit, netwerk en faciliteiten te delen. Daardoor inspireren ze elkaar om sneller, kwalitatiever en goedkoper te innoveren. Meer informatie over De Bouwcampus: www.debouwcampus.nl.

(ADVERTENTIE)

EEN TWEEDE LEVEN VOOR ONZE BRUGGEN

WWW.NATIONALEBRUGGENBANK.NL

2018

WAAALBRUG NIJMEGEN RENOVATIE VAN EEN

Dick Schaafsma

Senior Adviseur Constructies

Rijkswaterstaat GPO

Afdeling Bruggen en Viaducten

MONUMENT



Waalbrug bij Nijmegen, <https://beeldbank.rws.nl>. © Rijkswaterstaat

Een **rijksmonument** is in Nederland een zaak (een bouwwerk of object, of het restant daarvan) die van algemeen belang is wegens de schoonheid, de betekenis voor de wetenschap of de cultuurhistorische waarde. Een formeel juistere aanduiding is: 'beschermde monument als bedoeld in de Erfgoedwet'. Op dit moment kent Nederland meer dan 63.000 bouwwerken met de status rijksmonument, waarvan circa 1500 archeologische rijksmonumenten.

Sinds 2007 ligt de nadruk bij nieuwe toekenningen op de wederopbouwperiode.

RIJKSMONUMENTALE BRUGGEN

Nederland kent meer dan 1750 Rijksmonumentale bruggen. Vele daarvan zijn de pittoreske bruggetjes in de binnensteden van de Gouden Eeuw, of gelegen over slotgrachten bij kastelen, of gewoon mooie bruggetjes in parken. Ze zijn van cultuurhistorische waarde door hun schoonheid of van betekenis voor de wetenschap.

Rijkswaterstaat bezit op dit moment, naar mijn weten, maar acht Rijksmonumentale bruggen. Wat ze onderscheidt van vele andere bruggen is dat ze nog volledig functioneel zijn, of zouden moeten zijn.

Dit betekent dat ze nog gebruikt worden waarvoor ze ontworpen zijn: zwaar vrachtverkeer. Het betreft de volgende bruggen:

- brug over het Julianakanaal bij Itteren, 1934, stalen vakwerkboog met staal-betonvloer;
- Oude IJsselbrug bij Zwolle (Katerveer I), 1930, stalen vakwerkboogbrug met betonnen aanbruggen;
- brug over het Julianakanaal bij Born, 1934, stalen vakwerkboog met staal-betonvloer;
- brug over het Julianakanaal bij Geulle, 1934, stalen vakwerkboog met staal-betonvloer;
- brug over het Julianakanaal bij Bunde, 1934, stalen vakwerkboog met staal-betonvloer;
- John Frostbrug in Arnhem, 1935, verstijfde staafboogbrug;
- Waalbrug bij Nijmegen, 1936, stalen boogbrug zonder trekband met stalen aanbruggen;
- John S. Thompsonbrug bij Grave, 1929, geklonken stalen brug.

Wat opvalt is dat het allemaal vaste stalen bruggen betreft die in het begin van de jaren dertig van de vorige eeuw gebouwd zijn. Maar het valt verder op dat ze in belangrijke, provinciale en gemeentelijke ontsluitingswegen liggen. Sommige bruggen vormen zelfs de enige ontsluitingsweg!

Dat de bescherming van Rijksmonumentale bruggen, het Nederlands Erfgoed, op gespannen voet staat met de huidige, hoge functionele eisen die men aan ontsluitingswegen stelt, is evident. Het stelt Rijkswaterstaat en andere wegbeheerders voor een grote uitdaging de doorstroming op dergelijke wegen en bruggen te garanderen of zelfs te bevorderen, zonder de schoonheid en/of wetenschappelijke waarde van deze bruggen teniet te doen.



Nederland kent meer dan
1750 Rijksmonumentale
bruggen

WAT IS ZO SPECIAAL AAN DE WAALBRUG BIJ NIJMEGEN?

De Waalbrug is ontworpen als een gemengde verkeersbrug, dus voor snel- en langzaamverkeer, gelegen in de Rijksweg Arnhem-Nijmegen. Hij is in de jaren 1932-1936 geconstrueerd ter vervanging van een gierpontveer dat al sinds 1657 voor de oeververbinding zorgde. De Waalbrug was overigens niet de eerste vaste oeververbinding over de Waal bij Nijmegen. Zestig jaar eerder was al een spoorbrug aangelegd, ontworpen door Pierre Cuypers, de architect die ook het Rijksmuseum en het Centraal Station in Amsterdam ontworpen heeft.

De toon voor de verkeersbrug was daarmee gezet. En een grotere tegenstelling met de spoorbrug kon nauwelijks gemaakt worden. Cuypers greep met zijn ontwerp van zijn middeleeuws aandoende torens bij het Nijmeegse landhoofd terug op het verleden, terwijl de nieuwe brug vooruitkeek naar een



Beschadigde Waalbrug 1940, <https://beeldbank.rws.nl>. © Rijkswaterstaat

nieuwe tijd van mobiliteit en moderniteit, de tijd van ingenieursontwerpen: sober en doelmatig.

De Waalbrug was in zijn ontstaanstijd de breedste verkeersbrug in Nederland en de boogbrug met de grootste overspanning van Europa.

Het ontwerp van de brug was afkomstig van het Bruggenbureau Rijkswaterstaat, dat in 1928 speciaal was opgericht voor de te bouwen verkeersbruggen over de grote rivieren. Bij het ontwerp heeft het bureau zich georiënteerd op Duitse boogbruggen, maar ook op Nederlandse boogbruggen. Het ontwerp



volgde een in die jaren veel toegepast type, maar dan zonder trekband.

De plaatsing van de Waalbrug betekende ontsluiting van de steden Nijmegen en Arnhem, met verstrekkende sociaaleconomische gevolgen voor de stad Nijmegen, veel meer dan de spoorbrug dat had.

Daarnaast had de brug een belangrijke strategische functie. Nog voor zijn eerste lustrum werd de brug al vernietigd door de Nederlandse genie om de Duitse opmars vanuit het zuiden te blokkeren.

Na de wederopbouw, in opdracht van het Duitse oppercommando, vormde de brug (5^{de} schakel) samen met de John S. Thompson-brug bij Grave (4^{de} schakel) en de John Frostbrug (6^{de} schakel) een onmisbare schakel in een keten van zes bruggen in de opmars van de geallieerden tijdens operatie Market-Garden. De brug valt op 20 september 1944 wonderwel onbeschadigd in geallieerde handen. Een gedenksteen aan de 'redder van de Waalbrug' Jan van Hoof herinnert aan deze periode.

De brug heeft een totale lengte van 604 m en bestaat uit twee betonnen landhoofden, twee aanbruggen aan beide zijden en een hoofdoverspanning. De vijf overspanningen zijn uitgevoerd met boogconstructies in staal. De hoofdoverspanning met een lengte van 244 meter, bestaat uit twee vakwerkbogen van het tweescharniertype zonder trekband. De bogen steunen op de rivierpijlars. De half-hooggelegen rijvloer, die bij het ontwerp in hout was uitgevoerd, maar in de oorlog is vervangen door een betonnen dek, hangt aan en steunt op deze bogen. De bogen snijden als het ware door het wegdek heen.

De aanbruggen zijn uitgevoerd als zuivere boogbruggen, met eenvoudige bogen tussen de pijlars en een hooggelegen rijvloer die op staanders op de bogen rust.

De constructie rust op vier, in plattegrond ovaalvormige pijlars, die zich naar boven toe verjongen, en naar het water toe iets uitzwenken. De pijlars zijn bekleed met blokken steen, die aan de buitenzijde ruw behouwen zijn, wat een rustica effect geeft. Doordat het brugdek verdiept ligt in de pijlars, steken de pijlars aan weerszijden van het rijdek uit en vormen daar halfronde torenachtige uitbouwen, afgesloten door overstekende donkere dekplaten.

De betonnen landhoofden zijn uitgevoerd als

viaducten met doorgangen voor verkeer. Het brugdek met een totale breedte van 23,5 meter, is ingedeeld in een rijdek voor snelverkeer binnen de hoofdliggers van 12 meter breed en voor voetgangers- en voor fietsstroken buiten de liggers. Het brugdek is in 1992 aan de westzijde iets verbreed om plaats te bieden aan een aparte busstrook. Ten gevolge van deze verbreding zijn aan de westzijde de halfronde torenachtige uitbouwen van de pijlars, verloren gegaan. Ook de brugbalustrade is niet oorspronkelijk. De kleur van de boogconstructie van de hoofdoverspanning was oorspronkelijk groen, tegenwoordig is deze beige geschilderd.

Medio 2015 is de Waalbrug verlengd om ook over de nieuwe nevengeul, de Spiegelwaal, te reiken. Deze verlenging vormt geen onderdeel van het Rijksmonument.

Hoe staat het nu met de Waalbrug? Eigenlijk verbazingwekkend goed, als je erbij stilstaat dat deze brug al meer dan 80 jaar oud is, en als je beseft hoe zwaar deze brug beschadigd is geweest in de Tweede Wereldoorlog. In 2014 en 2015 heeft RoyalHaskoningDHV onderzoek gedaan naar de staat van de brug. Daarvoor heeft het bureau archiefonderzoek gedaan in 1724 tekeningen (!) en 120 documenten. Daarnaast is een vrij omvangrijke inspectie gedaan op alle onderdelen van de brug, waaronder een inspectie van de pijlars onder water, diverse materiaalonderzoeken en het 3D inscannen van onderdelen van de constructie van de brug. Deze inspectie leverde weer input voor de verificatieberekeningen. De verificatieberekeningen richtten zich voornamelijk op herberekeningen van de brug onder het huidige verkeer. Sinds 1936 zijn niet alleen de normen flink veranderd, maar zijn er ook verschillende wijzigingen aan de brug aangebracht die niet alle goed gedocumenteerd zijn/waren. Speciale aandacht werd besteed aan de klinknagelverbindingen, (die overigens een belangrijk onderdeel van de esthetiek van de brug vormen), aan de vermoeiingsberekeningen van de hoofddragconstructie en aan mogelijke versterkingen en uitbreidingsmogelijkheden.



Gat in rijdek. © RHDHV Karel Vis

DRIE ZORGPUNTEN

Al snel bleken zich drie belangrijke zorgpunten voor te doen:

1 Het betonnen dek

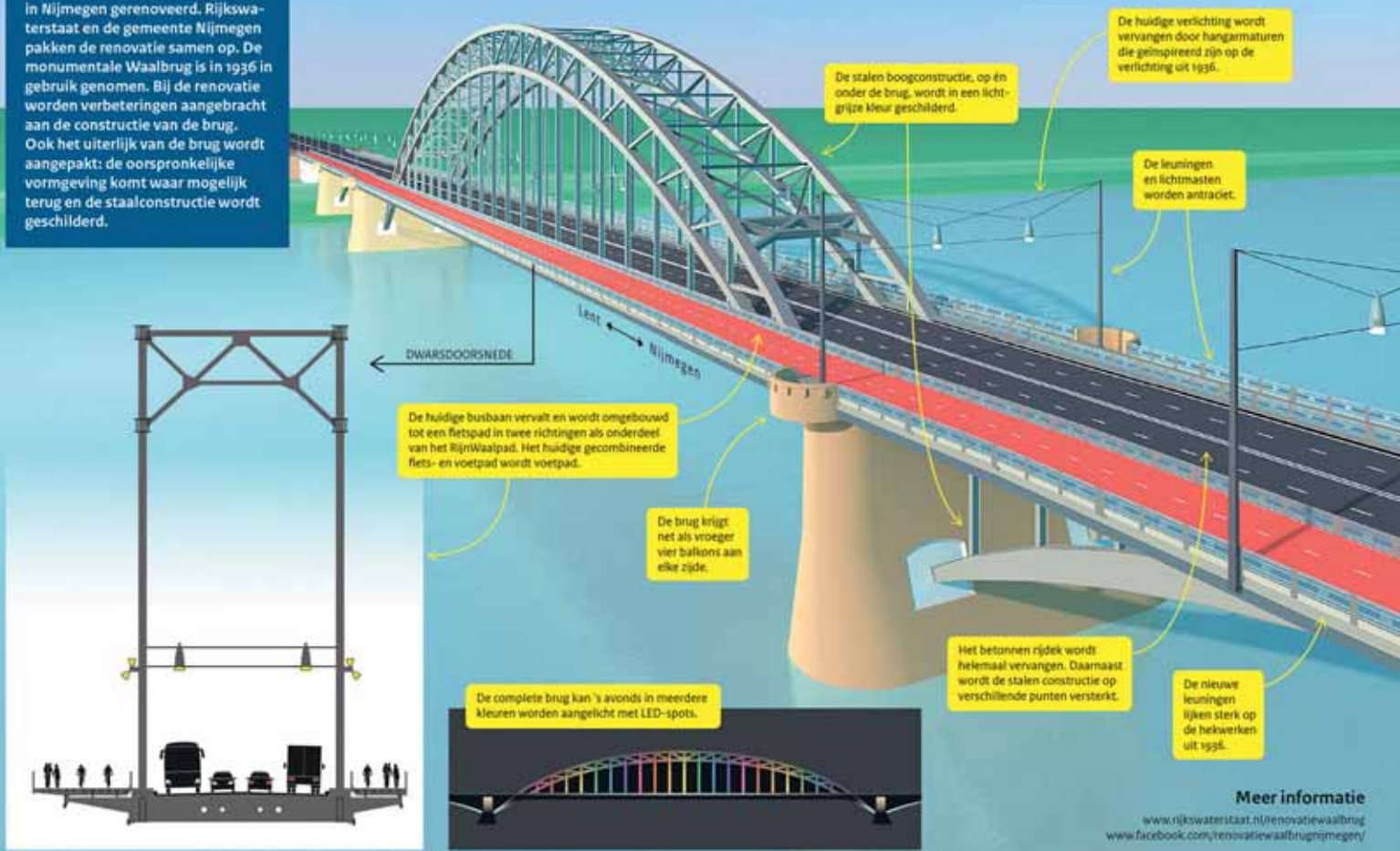
Door de toegenomen verkeersbelasting voldeden het betonnen dek en de wapening niet alleen theoretisch meer aan de huidige voorschriften, het viel ook op dat de brug regelmatig afgesloten moest worden om schade aan dek en asfalt te repareren. Dergelijke schades constateert Rijkswaterstaat trouwens ook aan andere bruggen uit de periode van de bouw van de Waalbrug. De herberekening en de schades maakten het zelfs noodzakelijk om de brug af te sluiten voor de zwaarste typen vrachtwagens en exceptionele transporten. Op dit moment is er een beperking voor vrachtverkeer tot 40 ton en met een maximale aslast van 9 ton.

2 De vermoeiingsbelasting van de stalen onderdelen zoals consoles en staanders.

In 1936 werd nog geen rekening gehouden met de vermoeiing van staalconstructies. Gegeven het aantal verwachte voertuigbewegingen was dit destijds ook niet noodzakelijk. Bij de herberekening is geschat dat het aantal voertuigen dat de Waalbrug dagelijks passeert sinds 1936 van 75.000 tot 350.000 gegroeid is en verwacht wordt dat dit in de komende 30 jaar nog toeneemt tot 500.000 in 2050. Alleen al deze eeuw is het aantal voertuigbewegingen in en rond Nijmegen met circa 20% toegenomen. Hoe dit aantal voertuigbewegingen door de nieuwe stadsbrug De Oversteek wordt beïnvloed, moeten we nog afwachten.

Renovatie Waalbrug Nijmegen

In 2018 en 2019 wordt de Waalbrug in Nijmegen gerenoveerd. Rijkswaterstaat en de gemeente Nijmegen pakken de renovatie samen op. De monumentale Waalbrug is in 1936 in gebruik genomen. Bij de renovatie worden verbeteringen aangebracht aan de constructie van de brug. Ook het uiterlijk van de brug wordt aangepakt: de oorspronkelijke vormgeving komt waar mogelijk terug en de staalconstructie wordt geschilderd.



Renovatie Waalbrug

3 De onbekende wijzigingen in het ontwerp.

Vooral het ontwerp en de materiaaleigenschappen van de reparaties die tijdens de Tweede Wereldoorlog onder auspiciën van de Duitse bezetter zijn uitgevoerd, zijn onbekend. Omdat deze reparaties zulke strategische onderdelen van de brug vormen, is gemeend In 2018 hier nauwkeuriger onderzoek naar te doen.

Wat is men van plan met de Waalbrug? Men hoeft alleen maar naar de breedte van de Verlengde Waalbrug over de nieuwe nevengeul, de Spiegelwaal, en naar de breedte van het Bastion, de overgang tussen de Verlengde Waalbrug en de oude Waalbrug, te kijken om te zien dat de ambities voor de N325 verder reiken dan de

Waalbrug op dit moment aankan. Deze ambitie is wel degelijk door de Gemeente Nijmegen en Rijkswaterstaat in een aantal 'Value Engineeringssessies', gesteund door Arcadis, bestudeerd.

Onderzocht is onder meer of het westelijk fietspad nog verbreed kon worden tot een fietspad dat in twee richtingen bereden kon worden met daarnaast nog een voetpad. De totale uitbreiding ten westen van de westelijke boog zou dan inclusief busbaan/baan voor hulpdiensten uitkomen op meer dan 8 meter. (N.B. de ruimte tussen de bogen bedraagt circa 12 meter!). Ook is onderzocht of de oostelijke busbaan nog verbreed kon worden met een eenzijdig fietsvoetpad van 3,9 meter, zodat de oostelijke situatie op de huidige westelijke situatie zou gaan lijken. Verder is onderzocht of een eventuele tram-

baan midden tussen de bogen of net buiten de bogen mogelijk zou zijn. Herberekeningen tonen aan dat de bogen in de huidige situatie al bijna overbelast zijn. Er kan geen sprake zijn van functie-uitbreiding zonder dat de belasting op de bogen elders wordt gecompenseerd. Hoewel deze compensatie door middel van een gewichtsreductie van het rijdek wel degelijk verkend is, heeft men hier vanwege de kosten en de risico's vanaf gezien. Besloten is het rijdek te vervangen door een nieuw betonnen dek, voor vier rijstroken met gewoon verkeer. De westelijke uitkraging zal gebruikt worden voor een tweezijdig fietsvoetpad. De oostelijke uitkraging zal gebruikt worden voor een eenzijdig fietsvoetpad. Dit betekent dat de bussen in het vervolg weer op de hoofdrijbaan zullen rijden.

INNOVATIEVE OPLOSSINGEN TER VERVANGING VAN HET BETONNEN RIJDEK

Doel: een gewichtsreductie van meer dan 70% ten opzichte van een gewapend-betonnen rijdek.

1 rijdek bestaande uit Ultra Hogesterktebeton (UHSB)

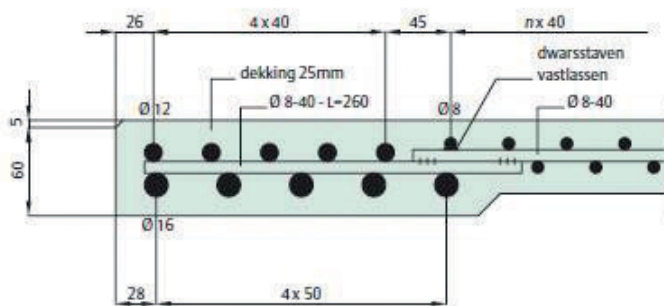
De enige ervaring met UHSB-platen in wegen voor gewoon verkeer in Nederland is bij de Kaagbruggen in Rijksweg A44. De platen die daar zijn toegepast hebben

2 rijdek bestaande uit Sandwich Plate System-platen (SPS)

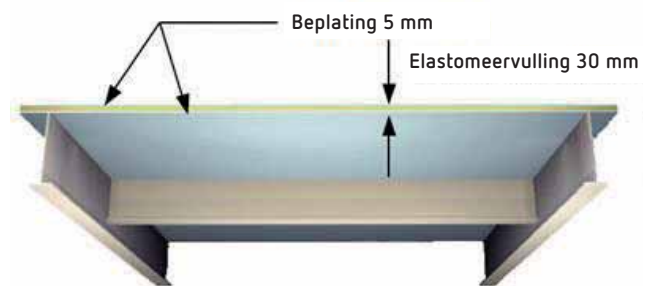
In Nederland hebben we nog geen ervaring met het SPS-systeem op verkeersbruggen. In de wereld is het al wel een geaccepteerde oplossing. Het principe bestaat uit een stalen top- en bottom-plate van 5 mm met

3 rijdek bestaande uit Vezel Versterkte Kunststof (VVK)

In Nederland is al een flink aantal nieuwe verkeersbruggen uitgerust met een rijdek uitgevoerd in VVK. Met de renovatie van bestaande dekken heeft men nog geen ervaring. Hiermee kan een gewichtsreductie van circa 60% bereikt worden.



UHSB-oplossing Kaagbruggen



'SPS'-oplossing

Voor meer informatie over de toekomstige Waalbrug verwijs ik naar het "Ambitiedocument Waalbrug" scope Gemeente Nijmegen, september 2016.

CONCLUSIE

Dit artikel begon met de uitdaging waarvoor wegbeheerders gesteld staan om de cultuurhistorische waarde van Rijksmonumentale bruggen te bewaken. De acht stalen bruggen in beheer van Rijkswaterstaat zijn alle ongeveer 80 jaar oud maar functioneren nog volop en staan nog midden in de maatschappij. Ze zijn als het ware nog lang niet aan hun pensionering toe. Dat gezegd hebbende, beginnen ze wel hun eerste gebreken te vertonen, die wegbeheerders ertoe dwingen om maatregelen te nemen.

Tegelijkertijd zien we dat de omgeving van deze bruggen steeds meer eisen aan de mobiliteit en dus aan deze bruggen stelt. Smart mobility, truck platooning, circulariteit en energieneutraliteit zullen in de toekomst nog meer eisen aan het beheer en onderhoud van bruggen en viaducten stellen.

Voor de Waalbrug zijn de cultuurhistorische waarde en de functionaliteit voorlopig voor één generatie gewaarborgd. De versterkingen en vervanging van het rijdek door een nieuw betonnen dek zijn ontworpen voor minimaal een levensduur van 30 jaar.

Toch trekken donkere wolken zich reeds samen boven de Waalbrug. De infrastructurele omgeving van de Waalbrug wordt al voorbereid voor een toekomst die veel verder ligt dan één generatie. Het functionele ontwerp van de nieuwe stadsbrug De Oversteek en de breedte van de Verlengde Waalbrug zijn hier voorbeelden van. De nevengeul de Spiegelwaal is misschien nog wel een beter voorbeeld van hoe men zich op de klimatologische toekomst kan voorbereiden.

Met een beetje meer lef, wat meer geld en, zeker, met meer verkeershinder had gekozen kunnen worden voor een innovatieve oplossing die tegemoet zou zijn gekomen aan een langere functionele en technische levensduur dan één generatie, maar ook aan de cultuurhistorische waarde van de Waalbrug bij Nijmegen.

Laten we er allemaal voor waken dat de Waalbrug géén Lekbrug bij Vianen wordt.

MET DANK AAN

Frank van Dooren, Ernst Klamer, Arie Romeijn, Karel Vis en Sjoerd Vogels.

LITERATUUR

Ambitiedocument Waalbrug, Gemeente Nijmegen, september 2016
<https://cultureelerfgoed.nl/monumentenregister>

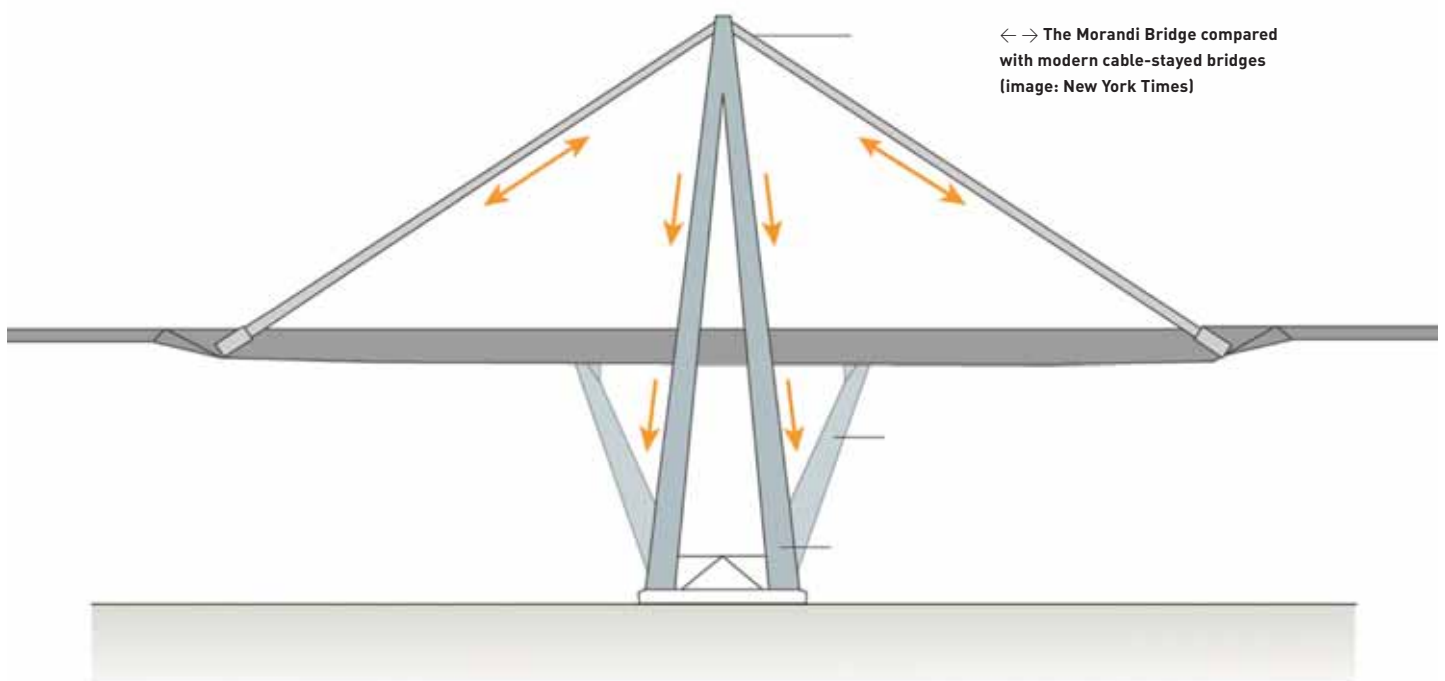


STRUCTURAL SAFETY FROM AN INTERNATIONAL PERSPECTIVE

2019

PAST, PRESENT AND FUTURE

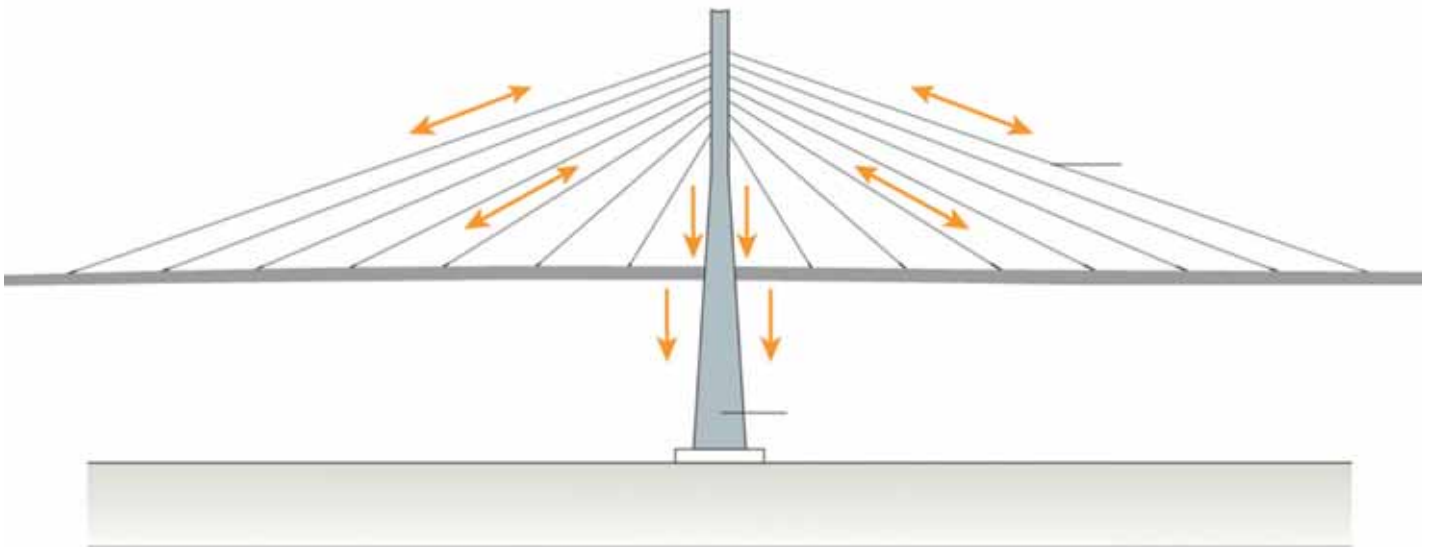
Dirk Rinze Visser MSc CEng RC and Thomas Eckhart MEng CEng MICE,
both working at BuroHappold Engineering in London, United Kingdom





Collapsed Morandi Bridge in Genoa, Italy (image: New York Times)

Although the cause of the Morandi bridge collapse in Genoa, Italy, is not yet confirmed, lessons can already be learnt from this catastrophic event. On the back of “Genoa” and a near-miss in the UK, an international perspective on structural safety is illustrated with examples from the past, present and future.





The three bridges over the Firth of Forth (image: Scottish Construction Now)

MORANDI BRIDGE, GENOA, ITALY

The Polcevera Viaduct, otherwise known as the Morandi Bridge, named after its designer Riccardo Morandi, is a cable stayed bridge completed in 1967. During a thunderstorm on the 14 August 2018, the bridge partially collapsed, killing 43 people, and leaving a huge gap in both the local community and Italy's strategic road network.

First of all, it must be stressed that the investigation into the cause of the collapse is ongoing and until the investigation is complete, it is only possible to speculate. Some possible reasons of the collapse

(adverse weather, increase in traffic demand and age of the construction) have been identified immediately after the tragic event, but maintenance issues, general deterioration of the structural system and presence of corroded stays have also been highlighted by experts.

Morandi's bridge has been much admired by engineers and architects for its simplicity and clear expression of the load paths, but it subsequently created a lack of redundancy in the design. A second load path – the remaining stays to resist the additional load transfer from of a sudden failure of a stay – is not included in the design (see page 43).

The apparent lack of redundancy does place extra emphasis on the need for rigorous inspection and maintenance. However, inspection of the critical stay cables was made difficult by Morandi's use of prestressed concrete encasement.

Morandi innovated with the early use of prestressed concrete and cable-supported spans, but without knowing all about its impact on durability and robustness.

In the 1990s the eastern stays of the eastern most pier were strengthened after detected corrosion, likely due to marine chlorides (Mediterranean Sea) and from the application of road de-icing salt. Additional external steel cables were installed on the exterior of these concrete stays. However similar work was not carried out on the other two piers, including the one that collapsed.

Undertaken studies in Italy, France and Germany have brought to light that the general condition of European bridges, and especially those constructed after WWII, are in need of renovation or replacement due to corrosion and structural deterioration.

STRUCTURAL SAFETY OF BRIDGES IN THE UK

The Highway authorities in the UK undertake regular inspection of bridge structures and they place emphasis on durability and maintenance in their design standards. These measures have generally proved satisfactory



New design Morandi Bridge

First of all, it must be stressed that the investigation into the cause of the collapse is ongoing and until the investigation is complete, it is only possible to speculate.

in maintain the UK's road infrastructure. At a local level, recent research by the RAC foundation has found approximately 3,500 local council-maintained road bridges to be substandard, representing 4,6% of the UK total. Many of these bridges have weight restrictions and are under programmes of increased monitoring.

Despite the relative health of bridges in the UK, there have been several high profile near-misses, demonstrating that the UK is not immune to the problems faced by bridge engineers worldwide. According to the New Civil Engineer, the UK have experiences five near-misses in the last 15 years, including the Forth Road Bridge spanning the Forth outside Edinburgh, Scotland.

Actually three world class bridges span the Forth within a few hundred meters of each other. Each bridge is built in a different century and demonstrates a different bridge engineering solution.

- **Forth Bridge** **Cantilever** **1890**
- **Forth Road Bridge** **Suspension** **1964**
- **Queensferry Crossing** **Cable Stayed** **2017**

These bridges provide an interesting array of examples of the issues around bridge maintenance and present an evolution in the attitude taken towards long term maintenance at the design stage of bridges.

THE FORTH BRIDGE

The Forth Bridge is a steel cantilever rail bridge designed by John Fowler and William Barlow, and constructed in 1890. It is the first major structure in the UK to be constructed from steel.

The principal maintenance issue has been the repainting of the large surface area of steelwork requiring a permanent maintenance team of painters. In 2002, work began to apply a new 3-coat paint system which is expected to last a minimum of 20 years. Since completion in 2011, and for the

first time in its history, no permanent painters are employed on the bridge.

In many ways the bridge is an example of the 'build and forget' approach to bridge design. The bridge is inherently resilient due to its very robust construction, but at the high cost of the inefficient use of building material and an expensive and dangerous inspection and painting regime.

FORTH ROAD BRIDGE

The Forth Road Bridge is a long-span suspension bridge and was opened in 1964. At that time, the bridge had the fourth-longest main span in the world (1006 m). Its deck supports a dual two-lane carriageway and there is a separate footway/cycle track on either side. About 25 million vehicles now cross the bridge each year, more than twice the amount of traffic it was designed for. In contrast to its heavy 19th century neighbour, the Forth Road Bridge presents an efficient lightweight structure.

The Forth Bridge (image: EG Focus)





Forth Road Bridge (image: <http://photoeverywhere.co.uk>)

However aspects of the attitude of 'build and forget' was still present during its design, and within less than half of its original design life, the bridge began to show signs of significant deterioration.

One of the major issues to affect the bridge has been corrosion of the main suspension cables. Unfortunately, there is no other way (yet) to inspect the main bridge wires than to

take the wrapping wire off and to open up the cables. In this respect the Forth Road Bridge bears similarity to the Morandi Bridge in Genoa.

In 2004 the Forth Road Bridge became the first suspension bridge in Europe to have its main cable opened up to check for signs of corrosion. Although the main cable showed no exterior signs of deterioration, the concern was that corrosion might be present inside –

as had recently been discovered in the cables of American long span suspension bridges.

When the interior of the cable was inspected, engineers were surprised to find that 8-10% of the cable's strength had already been lost as a result of corrosion – despite the cable at that time being just 40 years old.

It was clear that action was required to try to halt or limit the deterioration. An acoustic



Internal inspection and broken wires (images: Engineer's Journal - Engineers Ireland)

monitoring system was installed in 2006 in order to monitor future wire breaks within both cables, and to provide information regarding the panels to be opened up for the next internal inspection.

Based on good experiences in Europe, but also Japan and the USA, the decision was taken to install a dehumidification system on the Forth Road Bridge with the aim of reducing the relative humidity to below 40% where corrosion cannot occur. The drying out process was completed by the end of 2009. The dehumidification has been successful and inspections to date suggest no further loss of

largest to feature cables which cross at mid-span. This innovative design provides extra strength and stiffness, allowing the towers and the deck to be more slender and elegant.

The bridge presents an evolution in the attitude towards long term maintenance in bridge design. From the outset the design has sought to integrate whole life maintenance, with considerations given to monitoring condition and behaviour and to facilitate the repair and replacement of components if required.

In 2004 the Forth Road Bridge became the first suspension bridge in Europe to have its main cable opened up to check for signs of corrosion.



Queensferry Crossing (image: Construction Enquirer)

strength has occurred. The bridge is now expected to achieve its original 120 year design life.

However, due to the uncertainty and immanent risk of closure, in 2007 it was decided to construct a new road bridge – the Queensferry Crossing – to safeguard a vital road link for the Scottish economy.

QUEENSFERRY CROSSING

The Queensferry Crossing is a new cable stayed road bridge opened in 2017. The 2,7 km structure is the longest three-tower, cable-stayed bridge in the world and also the

The strands that make up the stay cables can be individually replaced without the need to restrict traffic on the bridge. The bridge has also been equipped with an advanced structural health monitoring system: about 1000 sensors have been installed to monitor the global behaviour of the bridge and its environment in real time (wind, temperature, corrosion, motion and any strains).

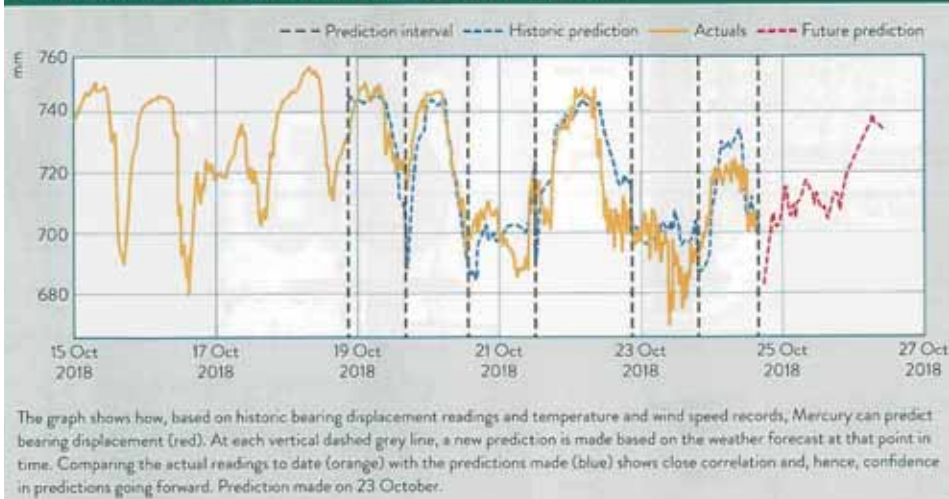
This allows the operator to respond quickly to extreme events, to target inspections and to carry out pre-emptive interventions to avoid potential failures.

Recently machine learning has been added to

the software which will enable it to use historical data to identify trends or behaviours not yet recognised by the maintenance team. It will take time to collect data to make meaningful predictions, but it is expected that the software will be able to make predictions about what safety measures or repairs should be carried out in advance of forecasted severe weather events.

In addition to advanced monitoring systems, advances in technology are also being utilised to improve traditional visual inspections by engineers.

MACHINE LEARNING – DISPLACEMENT PREDICTION OF BEARING ON NEW END-POST DETAIL



Machine learning leading to future predictions of behaviour (graph: New Civil Engineer)

A virtual reality (VR) model of the bridge has been created and the maintainers are trialling the use of VR by engineers to view 360° camera footage captured by drones on site. The use of such technology in bridge inspections is still new, but the Forth Road Bridge and the Queensferry Crossing are at

the forefront of these developments in the UK. The latest technologies are helping to maintain the structural health of both bridges and allowing both to be brought into an integrated 'managed crossing scheme' safeguarding the future of this vital road link.

MAKING THE VISION VIABLE

BuroHappold Engineering designs bridges without disregarding future maintenance. The whole life approach to bridge design is key in each design, including the one for the Northern Spire in Sunderland. Forming a major part of the regeneration of the North East, the Northern Spire - an imposing two span cable-stayed bridge with an A-frame pylon - is the first new road bridge in Sunderland for more than 45 years. Crossing the River Wear, it carries two lanes of traffic in each direction, together with dedicated cycle ways and footpaths, creating a much-needed safe passage for all modes of transport.

The Northern Spire is designed to minimise maintenance requirements and to facilitate ease of maintenance. All elements of the bridge are detailed to cater for future access requirements of a principal inspection. Key areas with regard to access are both the

The Northern Spire (image: BuroHappold Engineering)



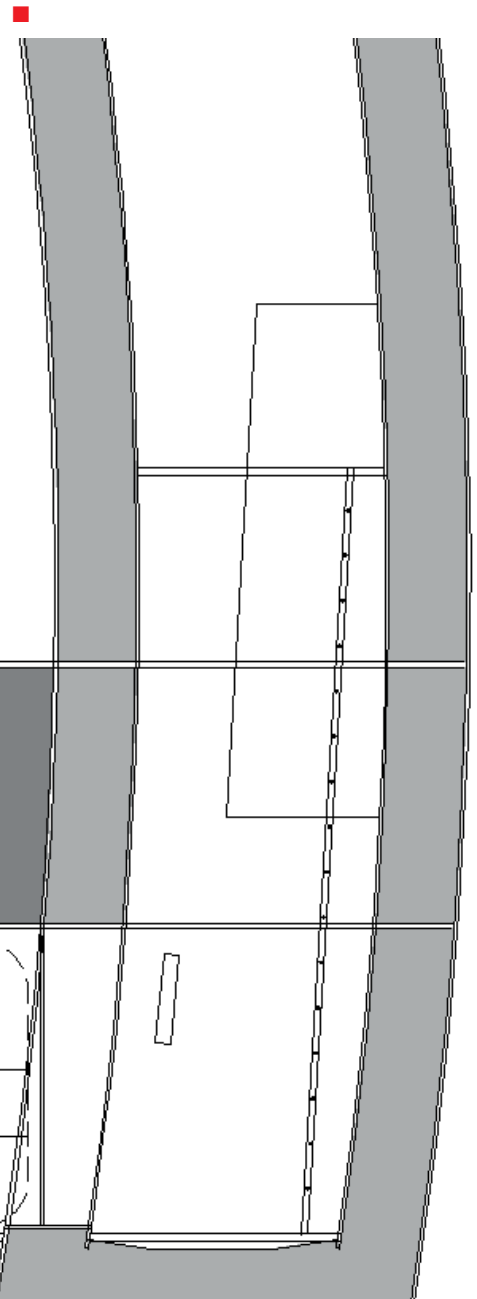
adjustable and fixed end anchors locations at deck level and within the pylon respectively. The access has been fully integrated into the principle structure. Openings in structural members have been considered in the design and detailing of these along with all fixtures, fittings and clearances required for access. Besides facilitating access for inspection and maintenance, it has also been ensured that all inspection and testing equipment are catered for in the design and in the detailing of the bridge. Platforms, ladders, guardrails, internal lighting and power sources have all been provided. Connection points have been provided on the steel pylon for installation of a proprietary scaffolding system for access to the external pylon. The inner face of the pylon is to be accessed by abseiling. Lessons have been learnt from the past and the below mentioned technical enhancements have been incorporated in the

Northern Spire, and these could also be considered in future bridge designs as well:

- Cable strands individually replaceable.
- Dehumidifying system installed in internal steel pylon.
- Concrete pylon base has high strength concrete specified and the outer layer of reinforcement in stainless steel to minimise the need for future repair works.
- Ends of underdeck electrical service ducts are accessible from abutment galleries. Junction boxes and drawing pits accessible from opening in the bridge deck.
- Additional service ducts provided for possible future services.
- Carefully detailed sub-surface drainage integrated with kerb drainage units.
- Minimisation of number of bearings, including elimination of bearings at pylon location.

- No bearings located over water (nor therefore subject to direct salt water spray).
- Jacking points provided at all bearing locations.
- Added robustness and future-proofing provided by extra load and movement capacity of bearings.
- Highly durable elastomeric expansion joints which do not require replacement.

It is up to us, architects and engineers, to prevent disasters like in Genoa and near-misses like in Edinburgh, and to assure structural safety and breath-taking bridge design continues to walk hand in hand for generations to come.



Deck to pylon access (image: BuroHappold Engineering)

2020

HULPCONSTRUCTIES UIT DE SCHADUW

INTEGRALE EN BRANCHEBREDE AANPAK VAN CONSTRUCTIEVE VEILIGHEID

Sander den Blanken | Directeur BAM Infraconsult

Fotografie: BAM Infraconsult

Het instorten van het parkeergebouw op Eindhoven Airport heeft de bouwsector wakker geschud. Veiligheid op de bouwplaats raakt àlle aspecten van de bouw, ook de constructieve veiligheid van hulpconstructies. Die blijken vaker een ondergeschoven kindje. Maar alle partners in de keten bundelen hun krachten voor verbetering. BAM Infraconsult noemt (constructieve) veiligheid niet voor niets één van de topprioriteiten. In dit artikel een best practice en een leerervaring over de inzet van tijdelijke voorzieningen.

PROJECTVOORBEELD 1 TOPPRESTATIE BIJ BUSBRUG ZWOLLE¹

Het stationsgebied in Zwolle is volop in ontwikkeling. Station Zwolle moet een optimaal en comfortabel OV-knooppunt worden in een aantrekkelijke en levendige omgeving. Eén van de al gerealiseerde deelprojecten is de busbrug die het nieuwe busstation ten zuiden van het spoor verbindt met het kruispunt Rieteweg-Willemskade aan de noordzijde. In opdracht van ProRail (namens de gemeente

Zwolle) heeft BAM Infra Nederland het project gerealiseerd. Het architectonisch ontwerp is van ipv Delft, en BAM Infraconsult was samen met Setzpfandt Beratende Ingenieure verantwoordelijk voor het constructief ontwerp.

UITGANGSPUNTEN

Vanwege de S-vorm kon de brug alleen met een zeer torsiestijve stalen bovenbouw in de vorm van een onder de rijvloer liggende kokerligger worden overspannen. Draagcon-

structies boven de rijbaan waren vanwege de vormgeving uitgesloten. De sterke kromming veroorzaakt torsiemomenten die niet door de gebruikelijke staalbetondoorsnede met een rijvloer uit alleen beton konden worden opgenomen. De kokerliggerdoorsnede is daarom aan de bovenzijde door een stalen dekplaat gesloten uitgevoerd.

In de twee aanbruggen, die minder gebogen zijn, is de bovenbouw uitgevoerd als een volledig in het werk gestorte kokerligger in

¹ Zie ook ons artikel in BRUGGEN 2019 nr. 2



Tijdelijke steunouwen buiten het spoor busbrug Zwolle.



Bekistingsconstructie betonnen aanbrug

voorgespannen beton. In de kokers bevinden zich dwarsdragers om de oplegkrachten op te nemen.

De busbrug was, gezien de S-vormige kromming, de beperkte bouwruimte en de strakke planning een complex project. Er waren 65 precieze faseringsstappen gedefinieerd om de optredende krachten in de brug volledig te beheersen. Bij de uitwerking van het faseringsdraaiboek zijn de kennis en ervaring van de uitvoering nadrukkelijk meegenomen. Bij

elke stap zijn de randvoorwaarden bepaald en is aangegeven of het een kritieke stap betreft: een stap die niet eerder mag worden gestart voordat de voorliggende stap is afgerond. Verder gaf elke stap weer hoe de dwars- en langsfixatie was geborgd, in verband met de losstaande bruggdelen (staalconstructie en twee aanbruggen).

COÖRDINEREND CONSTRUCTEUR

Een belangrijke rol was weggelegd voor de coördinerend constructeur van BAM Infracon-

sult. Vanaf de tender- en de ontwerpfase tot en met het inrijden van de staalconstructie was deze persoon de verbindende schakel tussen alle betrokken partners. Het uitvoeringsontwerp heeft hij op locatie in Zwolle meerdere malen besproken met het uitvoerende team om belangrijke constructieve en veiligheidsaspecten nadrukkelijk onder de aandacht te brengen.



Ondersteuningen t.p.v. as 3 en 4

HULPCONSTRUCTIES

Het Belgische Victor Buyck Steel Construction produceerde de 110 meter lange stalen kokerligger voor de hoofdoverspanning in tien delen, die per as naar de bouwplaats in Zwolle zijn vervoerd. Aan de zuidkant van het spoor vond op de voorbouwlocatie de montage tot één ligger plaats. De uitkragingen zijn in nog eens twee keer tien delen aangevoerd en later aan de koker toegevoegd. De in totaal 1.000 ton zware staalconstructie is in afwachting van het vijzelen en het inrijden ondersteund door tijdelijke constructies op zo'n 1,5 meter boven maaiveld.

Op de assen 3 en 4 van de stalen hoofdoverspanning zijn verticale hulpsteunpunten geplaatst om dit gevaarte te dragen totdat er een koppeling was gemaakt met beide betonnen aanbruggen. Bij as 3 zijn hiervoor alleen dwarsfixaties aangebracht, bij as 4 zowel dwars- als langsfixaties. Tijdens de bouw voorkwam de tijdelijke langsfixatie bij as 1 beweging van de noordelijke aanbrug, en ondersteunden de twee hulpsteunpunten 'Marsé' de uitkragingen van de betonnen aanbruggen. Verder zorgde 'Safe' bij de noordelijke en de zuidelijke aanbrug voor ondersteuning van de bekisting en de betondruk na het storten. Om de betonnen aanbruggen tijdens de bouw stabiel te houden, zijn hulpkolommen



Viaduct, gereed voor transport

onder de assen 2 en 5 geplaatst. Ze waren immers nog niet gekoppeld aan de stalen hoofdoverspanning.

Met uitzondering van de ondersteuning op de SPMT's (Self Propelled Modular Transporters) onder de stalen kolos, heeft BAM Infraconsult de hulpconstructies zelf ontworpen. In de rekenmodellen voor de ondersteuning bij as 3 en 4 is uitgegaan van het hoogste veiligheidsniveau (klasse CC3), zoals gebruikelijk is voor constructies op en rond het spoor. Dit betekent dat de meest ongunstige combinaties van alle mogelijke belastingen die kunnen optreden met de hoogste belastingfactoren zijn meegenomen. Dit veiligheidsniveau gold ook voor de ondersteuning op de SPMT's, die naast het gewicht van de brug ook alle extra belastingen moesten kunnen opnemen, zoals traagheidskrachten uit remmen, krachten als gevolg van stuurfouten, windbelastingen, scheve posities, verzakkingen en oneffenheden uit de ondergrond. Ook de bovenbouw moest voor deze belastingssituatie worden getoetst. Alleen de ondersteuning onder de aanbruggen konden één veiligheidsniveau lager worden uitgewerkt, omdat deze het spoor en het treinverkeer niet zouden kunnen beïnvloeden. Dit is met de Uitgangspuntennotitie Hulpwerk aan ProRail voorgelegd en door de opdrachtgever goedgekeurd. Voor de veiligheid is in alle gevallen het 'vier ogenprincipe' toegepast: de berekeningen van Victor Buyck zijn gecontroleerd door de rekenmodellen van BAM Infraconsult, en de berekeningen van de hulpconstructies zelf zijn door een onafhankelijke derde getoetst.

Ter voorbereiding op het inrijdweekend van 19 t/m 21 mei 2018 is de staalconstructie circa 7 meter omhoog gevijzeld en vervolgens op de SPMT's geplaatst. Deze hoogte was nodig om de brug boven de bovenleidingen te kunnen inrijden, zodat deze niet hoefden te worden verwijderd. Dit betekende veel minder hinder voor het treinverkeer.

CONSTRUCTIEF OVERLEG

De coördinerend constructeur speelde opnieuw een belangrijke rol door met Setzpfandt, Victor Buyck en transportbedrijf Sarens om de tafel te zitten en in openheid alle risico's te bespreken. Dit leverde soms



stevige discussies op, maar daardoor zijn wel de juiste maatregelen genomen om de operatie volgens de planning en zonder incidenten te laten verlopen.

Het hoogste veiligheidsniveau heeft het draaiboek van de inrijdactie bepaald. Dit gold niet alleen voor het ontwerp van de hulpondersteuning op de transportvoertuigen, maar ook voor de keuze van deze voertuigen zelf.

TRANSPORT

De eerste groep SPMT's stond circa 10 meter uit het hart van de brug, richting de achterzijde. De achterste groep was onder het uiteinde van de brug gepositioneerd. Er ontstond hierbij een uitkraging van 60 meter aan de voorzijde die is opgevangen door 300 ton ballast aan te brengen op het brugdek. Boven op de achterste groep SPMT's is nog eens 120 ton ballast aangebracht, als buffer voor voldoende stabiliteit tijdens het inrijden.

De grote uitkraging was nodig om het spooreplacement vrijwel haaks te kruisen en om rijden op het spoor te voorkomen. Aan de andere zijde van het spoor stond een derde groep SPMT's te wachten om de uitkraging daar op te pakken. De middelste groep SPMT's kon vervolgens worden verwijderd en met de SPMT-groepen aan beide uiteinden is de brug naar de pijlers gereden.

Tijdens het transport is meegenomen dat in elke fase andere groepen van wielen hydraulisch in verschillende groepen waren verbonden voor de opname van verticale belastingen. Met deze groepsvorming werd telkens de stabiliteit van de hele constructie geborgd, zonder dat te grote spanningen in de bovenbouw optraden.

De brug is na het transport tijdelijk op stalen hulpondersteuning bij as 3 en 4 gelegd die de torsie opnamen en de brug in dwars-

langsrichting tijdelijk fixeerden. Pas toen de aanbruggen waren gekoppeld en voorgespannen aan de stalen brug, is de stalen brug afgelaten op de definitieve opleggingen. De brug is daardoor één gehele doorgaande kokerligger geworden die in staat is torsiekrachten af te dragen naar de landhoofden. Vervolgens zijn de hulpwerken bij as 3, 4 en bij de uiteinden van de betonnen aanbruggen verwijderd en is de betonnen rijvloer aangebracht.

BEST PRACTICE

De hele inrijdoperatie is vlekkeloos verlopen. Eventuele afwijkingen op het faseringsdraaiboek zouden aan de hoofdconstructeur worden gemeld om een juiste oplossing uit te werken alvorens verder te gaan, maar incidenten hebben zich niet voorgedaan. Naast het faseringsdraaiboek van BAM Infraconsult hadden Victor Buyck en Sarens hun eigen risico-inventarisatie gehouden en op basis hiervan een specifiek draaiboek gemaakt. De coördinerend constructeur bewaakte dat alle voorbereidingen inderdaad waren getroffen.

Naast de belangrijke rol van de coördinerend constructeur waren de constructieve samenwerking en open communicatie tussen ProRail, haar adviseurs, BAM Infra, Setzpfandt, Victor Buyck en Sarens cruciaal. Met een gezamenlijk doel voor ogen en begrip voor elkaars uitdagingen zijn alle noodzakelijke maatregelen getroffen en geborgd, met een zeer succesvol resultaat. De busbrug op het stationsplein in Zwolle is op 9 februari 2019 feestelijk geopend en gedoopt als Schuttebusbrug. Dagelijks gaan er sindsdien zo'n 1.200 busritten via dit kunstwerk.

BAM Infraconsult deelde de opgedane ervaringen intern tijdens presentaties voor alle constructeurs en in de kennisgroep Bruggen waaraan medewerkers uit ontwerp en uitvoering deelnemen.

PROJECTVOORBEELD 2 LEREN VAN VIADUCT CARTESIUSWEG UTRECHT

Tussen station Utrecht Centraal en station Leidsche Rijn zijn in het project UtARK twee extra sporen aangelegd en de bestaande sporen aangepast. Het doel is het vergroten van de capaciteit op circa twee kilometer tracé. Eén van de deelprojecten was het verlengen van het bestaande viaduct en de bouw van een nieuw viaduct over de Cartesiusweg/Thomas à Kempisweg om ook op dit kunstwerk aan vier sporen de ruimte te geven.

Het viaduct Cartesiusweg is op basis van Best Value Procurement aanbesteed en ProRail heeft met BAM een Design & Construct-opdracht afgesloten. Een grote regierol dus voor de bouwer. De opdrachtgever heeft gestuurd op risicobeheersing, zonder voortdurend toezicht uit te oefenen.

KRAPPE PLANNING

Voor het aanpassen van het viaduct stonden twee buitendienststellingen gepland. Tijdens de eerste buitendienststelling werden de sporen over het nieuw gebouwde viaduct gelegd en in gebruik genomen, waarna de sporen over het bestaande viaduct zijn weggenomen. In de volgende buitendienststelling

werden de sporen over het bestaande (en inmiddels aangepaste) viaduct weer geplaatst en in dienst gesteld. In de tussentijdse periode is een betonnen wand gesloopt die onderdeel was van een voormalig landhoofd. Het krappe tijdsvenster bood geen ruimte voor eventuele uitloop. Mede door deze tijdsdruk is er in enkele gevallen afwijkend gehandeld.

VOORBEREIDINGEN VOOR DE SLOOP

In de te slopen wand waren eerder al sparingen gehakt om ruimte te creëren voor de vijzeltorens van de ondersteuningsconstructie. Vervolgens werden gaten in de wand geboord, ankers geplaatst, voetplaten gesteld en de onderste elementen van de acht vijzeltorens opgebouwd (zie figuur blz. 49). Na de verdere opbouw van de vijzeltorens kwamen de vijzels hier bovenop, die vervolgens werden gesteld. Met de nulmeting stond het dek op stand nul.

VIJZELEN EN SLOPEN

De vijzels kwamen op druk en werden mechanisch geborgd. Ze stonden volledig verticaal onder het dek. Metingen gaven aan dat het dek zich 1 mm boven de nulstand bevond: de vijzels droegen dus het dek en de sloop kon van start gaan.

In de te slopen wand werden gaten geboord voor NX-burst Safety Cartridges. Een proefexplosie met één rij cartridges liet goede resultaten zien: alle acht vijzels stonden nog recht en bleven mechanisch geborgd. In alle gaten kwamen vervolgens cartridges en de wand werd ingepakt met beschermende matten. Na de ontploffing bleek de wand volgens plan gebrokkeld en gekraakt. Wel waren alle vijzels losgekomen en stond het dek 11 mm hoger dan de nulstand. De verzwakte wand droeg daardoor het dek van het viaduct en dat leverde een groot veiligheidsrisico op.

MAATREGELEN

De volgende dag werden de vijzeltorens opnieuw waterpas geplaatst, één voor één op druk gezet en mechanisch geborgd met een borgmoer. De vijzels stonden daardoor weer volledig verticaal, maar compensatie was nodig vanwege de schuine hoek tussen het dek en de vijzels. Het dek stond immers 11 mm hoger dan de nulstand. Groutzakken waren vanwege de tijdsdruk niet mogelijk, omdat deze 24 uur moeten uitharden. Het uitvoeringsteam besloot kunststofstroken te plaatsen om de hoek op te vullen.



Spoorviaduct Cartesiusweg, Utrecht



SLOOP

Het dek stond stabiel en de sloop van de wand kon verdergaan, maar een niet-ontstoken NX-burst cartridge ontplofte waardoor een stuk beton uit de wand brak. Vijzeltoeren 3 kwam los te staan en de vijzel viel ervan af. De overige vijzels en vijzeltoeren bleven stabiel. Vanwege het risico op nog meer ontploffingen van niet-ontstoken cartridges werd de sloop gestaakt.

De dag daarna waren diverse veiligheidsmaatregelen nodig, waaronder het op afstand houden van de medewerkers. De drukke Carthusiusweg werd volledig afgesloten voor het verkeer en de cabine van de graafmachine kreeg extra bescherming. De volgende dag werd tijdens een extra inspectie weer een niet-ontstoken NX-burst cartridge gevonden en opgeruimd. De sloop ging verder, maar nog twee vijzeltoeren kwamen scheef te staan. De gebeurtenissen volgden elkaar nu snel op. Vijzel 8 verschoof en de kunststofvulling tussen dek en vijzel kwam naar buiten. Toen de wand voor driekwart was gesloopt, zakte het dek tot +9 mm. De sloop werd afge maakt en het dek zakte tot de nulpositie.

Intussen kwamen ook de andere vijzels scheef te staan: de middelste twee verschoven circa 50 mm en de overige vijf ongeveer 150 mm. Herstellen bleek niet mogelijk. Toen het dek 's avonds tot -31 mm zakte, kwamen twee SPMT-voertuigen met draglineschotten het dek ondersteunen, zodat de situatie weer



← ↑Vijzeltoeren



SPMT-voertuigen met draglineschotten

stabiel was. Vervolgens is een nieuwe tijdelijke ondersteuningsconstructie gemaakt. Tien vijzelstorens met zwaardere vijzels zijn ingezet en de vijzelplaten werden vastgezet aan het dek. De afbouw ging verder en inmiddels is het verlengde en aangepaste viaduct door het treinverkeer in gebruik genomen.

GEZAMENLIJK ONDERZOEK

Door het verlopen van de vijzels ontstond een instabiele situatie met het risico dat het dek van het viaduct zou instorten. Weliswaar ondervond het treinverkeer geen hinder, omdat het bestaande spoorviaduct tijdelijk niet in gebruik was, maar wel was sprake van een veiligheidsrisico waardoor extra (kostenverhogende) maatregelen nodig waren. Uit onderzoek van TNO en herberekeningen aan het kunstwerk door BAM bleek dat het dek geen schade had opgelopen en dat er geen effecten waren op de rest van de levensduur van het dek. Betrokken partijen besloten gezamenlijk onderzoek te doen onder leiding van opdrachtgever ProRail om dergelijke situaties in de toekomst te voorkomen. De resultaten zijn vastgelegd in het bevindingenrapport en alle betrokken partijen hebben in hun eigen organisatie maatregelen genomen.

LEERPUNTEN

Uit het onderzoek bleek dat het uitvoeringsteam van de uitgewerkte plannen was afge-weken. Er werden oplossingen bedacht die

niet in lijn waren met de kritische uitgangspunten van deze plannen. Een belangrijke reden hiervoor was de krappe periode tussen de twee geplande buitendienststellingen. Zo werden de opleggingen tussen het dek en de wand niet verwijderd. Om te voorkomen dat deze met het puin van de wand zouden worden afgevoerd, zijn de opleggingen voorzien van transportvoorzieningen, maar die stonden een goede vijzelactie in de weg.

Het dek kwam tijdens het vijzelen +11 mm omhoog en de vijzels kwamen los te staan. Hiermee was geen rekening gehouden. De vijzels waren bovendien niet verankerd in het dek. Dit hoeft geen probleem te zijn, maar als een hydraulische sloophamer wordt ingezet, kan dit wel effect hebben, zeker omdat het dek zich op +11 mm bevond en er een hoek was tussen het dek en de vijzels. De afschuifkracht van het dek werd door al deze oorzaken groter dan de frictie tussen het dek en de vijzels. De kunststofstroken tussen dek en vijzels konden dit niet opvangen, waardoor de vijzels konden verlopen met alle gevolgen van dien. Ook van andere afwijkingen was sprake, waaronder de ballast op het dek die niet gepland maar bewust was achtergelaten vanwege het warme weer. Dit gaf extra belasting. Verder waren lichtere vijzels ingezet dan de bedoeling was (50 in plaats van 100 tons) die de extra krachten onvoldoende konden opvangen.

BELANG VAN BORGING

Door het onderzoek werd duidelijk dat de risico's van de tijdelijke ondersteuningsconstructie en de sloopwerkzaamheden van tevoren onvoldoende zijn ingeschat en voorbereid. Toen er afwijkende oplossingen werden bedacht, werden deze niet door een verantwoordelijke ontwerper of constructeur tegen het licht gehouden en goed- of afgekeurd. Bovendien stonden de kritische uitgangspunten in diverse plannen van verschillende partijen en werden deze onvoldoende in samenhang met elkaar beoordeeld. Wel zijn uiteindelijk voldoende maatregelen genomen om de situatie te stabiliseren en schade te voorkomen.

SECTORBREDE AANPAK

De projectvoorbeelden laten zien dat veiligheid in de bouw om continue aandacht vraagt, in elke fase van het bouwproces. Alle betrokkenen – opdrachtgevers, bouwbedrijven en toeleveranciers – zijn hiermee op een intensieve manier bezig. Het instorten van het parkeergebouw op Eindhoven Airport in 2017 maakte duidelijk dat we er nog niet zijn. Alleen in samenwerking met de hele keten kan de sector volledig veilig worden met als resultaat dat er geen dodelijke ongevallen of ongevallen met ernstig letsel meer optreden en er geen onveilige bouwwerken of instortingen ontstaan.

De Onderzoeksraad voor Veiligheid heeft het rapport 'Bouwen aan constructieve veiligheid; lessen uit instorting parkeergebouw Eindhoven Airport' vorig jaar overhandigd aan diverse bouw- en veiligheidsorganisaties om breed breed veranderingen teweeg te brengen. Eind vorig jaar hebben de organisaties hierop gezamenlijk gereageerd, waaronder Bouwend Nederland, VNconstructeurs en Koninklijke NLIingenieurs.

REGIEROL VOOR VEILIGHEID

Eén van de belangrijkste maatregelen is regie op veiligheid in het hele bouwproces. Deze moet worden geborgd door de regierol nadrukkelijk in handen van de opdrachtgever te geven en vast te leggen in contracten. Alle betrokken bouwpartners blijven ook zelf verantwoordelijk voor veiligheid en nemen zichtbaar alle maatregelen die nodig zijn. De opdrachtgever als (veiligheids)regievoerder bewaakt echter dat dit ook gebeurt en heeft het mandaat om in te grijpen en zelfs het project stil te leggen als dit vanuit veiligheid noodzakelijk is.

Veiligheid vraagt om een integrale aanpak die de bouwveiligheid van alle (hulp)constructies, de veiligheid voor de omgeving en de veiligheid voor de mensen op de bouwplaats omvat. Dit geldt voor alle fasen van het bouwproces: vanaf initiatief, ontwerp, uitvoering, beheer en onderhoud tot en met eventuele sloop. De opdrachtgever als regievoerder krijgt hierin geen nieuwe, maar wel een explicietere taak.

BORGING VAN CONSTRUCTIEVE VEILIGHEID

De brancheorganisaties stellen in hun reactie voor in elke bouwfase een coördinerend constructeur verantwoordelijk te maken voor de constructieve veiligheid, zodat deze voor elke permanente en tijdelijke constructie wordt geborgd. Door de verantwoordelijkheid hiervoor nadrukkelijk bij één persoon neer te leggen, worden onduidelijkheden en misverstanden en daardoor eventuele incidenten voorkomen. De coördinerend constructeur bewaakt of ontwerp, detailuitwerking en realisatie voldoen aan de constructieve veiligheidseisen, zowel betreffende de hoofd-constructie als de bouwkundige en hulpconstructies. Ook krijgt deze persoon het

mandaat om in te grijpen als dit vanuit veiligheid noodzakelijk is. Bij het viaduct Cartesiusweg in Utrecht zou dit de juiste handelswijze zijn geweest.

De rol van de constructeur wordt dus zwaarder en de benodigde kwalificaties worden geborgd via certificatie en/of registratie, bijvoorbeeld in het Constructeursregister. Ook de opdrachtgever stelt een gekwalificeerde constructeur aan om de veiligheidsaanpak in de eigen organisatie te toetsen.

CULTUUR VAN LEREND VERMOGEN

Het openlijk delen van ervaringen is van cruciaal belang om de veiligheid in de sector te verbeteren. Dit vraagt echter om een kwetsbare opstelling van alle bouwpartners. Door duidelijke verantwoordelijkheden te stellen en werkprocessen te verbeteren, neemt de kans op onveilige situaties steeds verder af. In hun reactie aan de Onderzoeksraad voor Veiligheid bepleiten de brancheorganisaties een leercultuur op te bouwen waarin incidenten en best practices op het gebied van veiligheid in openheid met elkaar worden gedeeld – zowel op eerstelijns project- en organisatieniveau als op tweedelijns sectorniveau inclusief overheid en onderwijsinstellingen. Met een meerjarenprogramma wordt deze cultuuromslag gestimuleerd en mogelijk komt er een onafhankelijk landelijk meldpunt.

IN DE PRAKTIJK

Dit jaar starten diverse bedrijven met het implementeren van de voorgestelde maatregelen op een aantal proefprojecten, met als doel leerervaringen op te doen en de aanpak in 2021 gemeengoed te maken. De brancheorganisaties die door de Onderzoeksraad voor Veiligheid waren aangeschreven, hebben vorig jaar al het TOP-overleg Veiligheid opgericht waarvan de stuurgroep komt met een implementatieplan.

BAM heeft zich nadrukkelijk geëngageerd aan het rapport en de maatregelen. Zo heeft BAM Infraconsult inmiddels elf gekwalificeerde registerontwerpers als coördinerend constructeurs aangesteld – landelijk zijn er negentig. Hun verantwoordelijkheden zijn verzaamd en worden vastgelegd in het managementinformatiesysteem.

De kracht van het ontwerp bureau in eigen huis is de verbinding tussen ontwerp en praktijk, ook al in de tenderfase. BAM stimuleert kennisuitwisseling en kennisontwikkeling in kennisgroepen op diverse terreinen, waaronder bruggen. Hieraan nemen ontwerpers, uitvoerenden en medewerkers vanuit beheer en onderhoud deel, en soms ook externe deskundigen. Via het informele netwerk gebeurt dit eveneens veelvuldig, maar tegelijkertijd wordt nagedacht over een systeem om de kennis binnen en buiten de organisatie structureel te delen.

IEDEREEN VEILIG THUIS

De maatregelen die worden uitgerold en de stappen die op individueel organisatieniveau worden gezet, laten zien dat veiligheid – ook voor hulpconstructies – breed breed topprioriteit heeft. Een proactieve houding past bij trede 4 op de Veiligheidsladder, waar veel organisaties naartoe werken. De cultuur van openheid ontwikkelt zich merkbaar. Zo neemt ProRail na incidenten het initiatief voor een onderzoek, waarvan de bevindingenrapporten die hieruit volgen in openheid op haar website worden gedeeld. Alleen met een gezamenlijke aanpak lukt het om dodelijke ongevallen of ongevallen met ernstig letsel en onveilige bouwwerken of instortingen te voorkomen. De wil is er, want over het uiteindelijke doel is iedereen het eens: iedereen elke dag veilig thuis!

BRONNEN

Viaduct Cartesiusweg Utrecht: gebaseerd op het bevindingenrapport van ProRail
Sectorbrede aanpak: gebaseerd op de breedere reactie op het rapport 'Bouwen aan constructieve veiligheid; lessen uit instorting parkeergebouw Eindhoven' van de Onderzoeksraad voor Veiligheid.

ProRail publiceert diverse bevindingenrapporten op haar website:
[https://www.prorail.nl/reizigers/veiligheid-langs-het-spoor/veiligheidsonderzoeken](https://www.prorail.nl/reizigers/veiligheid/langs-het-spoor/veiligheidsonderzoeken)

Laura Langridge, Héctor Beade-Pereda |
Knight Architects VK



↑ 1 Zijaanzicht van de Nieuwe Pooleybrug
© Tom McNally

→ 2 Historische Pooleybrug over de Eamont
© Peter McDermott



Het Engelse gehucht Pooley Bridge vormt de noordoostelijke toegangspoort tot het Lake

District National Park, een UNESCO-werelderfgoedgebied met een uniek en liefelijk landschap in het noordwesten van

Engeland, ongeveer 130 km ten noorden van Manchester. Het dorp voorzag meer dan 250 jaar lang in een oversteekplaats over de rivier de Eamont via een in 1764 gebouwde, stenen boogbrug met drie overspanningen, die op de Britse monumentenlijst is geplaatst en die een cruciale schakel vormde in het dagelijkse leven van het gebied. De historische Pooleybrug was niet alleen belangrijk als functioneel bouwwerk maar was ook een bron van identiteit en trots voor de gemeenschap van Pooley Bridge, die haar naam dankt aan de oversteekplaats.

De storm Desmond in december 2015 veroorzaakte uitzonderlijk hoge waterstanden die leidden tot ontgronding van de rivierpijlers en de uiteindelijke instorting van het hele bouwwerk. Dit was een vernietigend verlies voor de gemeenschap en hun gevoel van identiteit. De schok na de abrupte vernietiging werd gedeeltelijk verzacht door de installatie van een tijdelijke brug, drie maanden later, om een omweg van 16 km te vermijden, maar de voortdurende aanwezigheid ervan was ook een dagelijkse herinnering aan verlies en kwetsbaarheid.

PARTICIPATIE VAN BELANGHEBBENDEN EN ONTWERP

Brugspecialisten Knight Architects, in samenwerking met Mott MacDonald, werden medio 2017 door Cumbria County Council (CCC) aangesteld voor het conceptontwerp van een nieuwe brug en betrokkenheid van belanghebbenden. Het doel was om een overstromings- en toekomstbestendige brug te ontwerpen, die draagvlak heeft bij de lokale gemeenschap en die voldoet aan de huidige technische normen en de regelgeving van het Environment Agency (EA).

De nieuwe brug zal nauw verbonden zijn met de identiteit van het dorp - misschien wel voor de komende 250 jaar - en dus was het van vitaal belang dat de gemeenschap kon bijdragen aan het ontwerp. Knight Architects leidde een uitzonderlijke en zinvolle inspraakprocedure waarbij aandachtig geluisterd werd naar de gemeenschap en de aandacht gericht werd op hun gemeenschappelijke verwachtingen om zo tot een unaniem gedragen ontwerp te komen dat voldeed aan hun ambitie voor een nieuwe oversteekplaats van hoge kwaliteit.

Dit proces omvatte verschillende overlegondes over de algemene ambities voor het project en verschillende ontwerpvoorstellen. Sommige reacties waren duidelijk, zoals de wens van een zo licht mogelijk bouwwerk dat uitzicht biedt op het prachtige landschap, dat elegant is en past bij het gebied. Andere meningen waren minder eenduidig: sommigen wilden een brug die zo veel mogelijk leek op de oude brug en anderen wilden een modern bouwwerk dat op zichzelf een nieuw herkenningspunt zou kunnen worden. Deze wensen werden zorgvuldig tegen elkaar afgewogen door gebruik te maken van de unieke locatie, het bruggenerfgoed in het Verenigd Koninkrijk en door nieuwe materialen en technologie te omarmen om tot een ontwerp te komen dat door de gemeenschap kon worden gesteund.

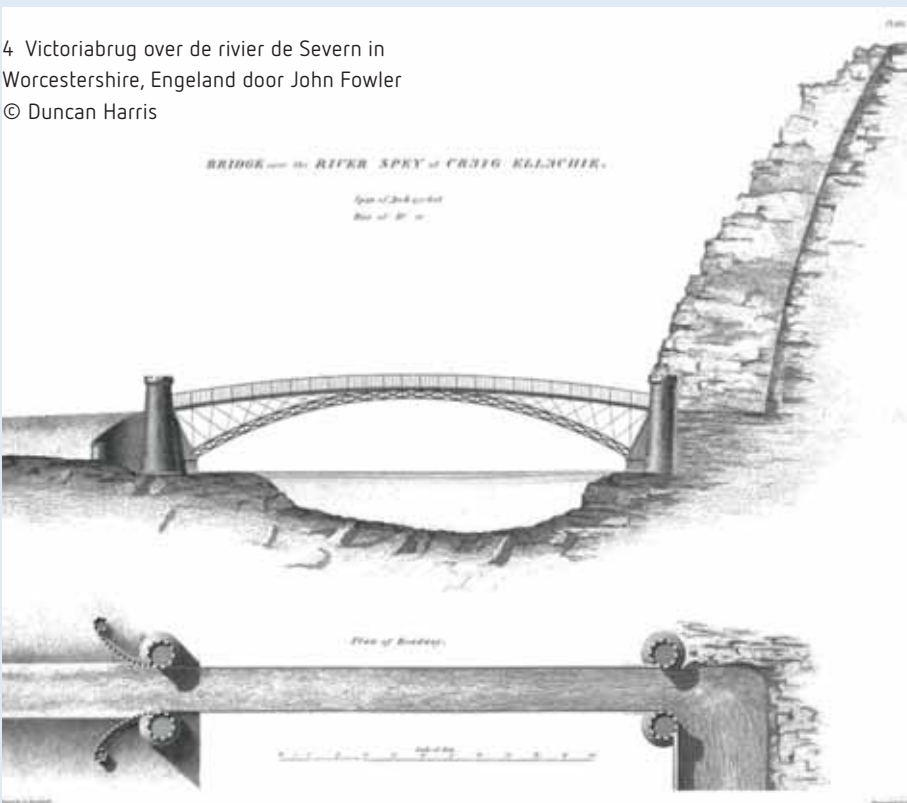
BRUGGEN ERFGOED

Het ontwerp dat op de laatste vergadering van belanghebbenden werd gepresenteerd, is opgesteld met verwijzing naar de geschiedenis van de 'Pooley Bridge'. De voorgestelde typografie met een boog van 40 m doet weliswaar niet denken aan de historische Pooleybrug met drie bogen, maar verbetert wel de doorstroming van het rivierwater onder de constructie door de pijlers in de rivier weg te laten (een belangrijk punt van zorg voor de bewoners). Door het dek in het midden van de brug te verbreden (van 7,5 m naar 9,0 m) is er een ruimte toegevoegd waar gebruikers kunnen stoppen en van het uitzicht kunnen genieten. Dit lijkt sterk op de uitzichtplaatsen boven elke pijler op de oorspronkelijke brug, die een geliefd aspect waren van het oude ontwerp. Het nieuwe ontwerp maakt gebruik van elegante schoren die radiaal ten opzichte van de boog zijn geplaatst, als verwijzing naar de voegen tussen de blokken van de stenen boog.



3 Illustratie van Craigellachiebrug in Speyside door Thomas Telford

4 Victoriabrug over de rivier de Severn in Worcestershire, Engeland door John Fowler
© Duncan Harris





5 Zijaanzicht van de Nieuwe Pooleybrug
© Tom McNally



6 De 'Overbrug' over de rivier de Severn door Thomas Telford

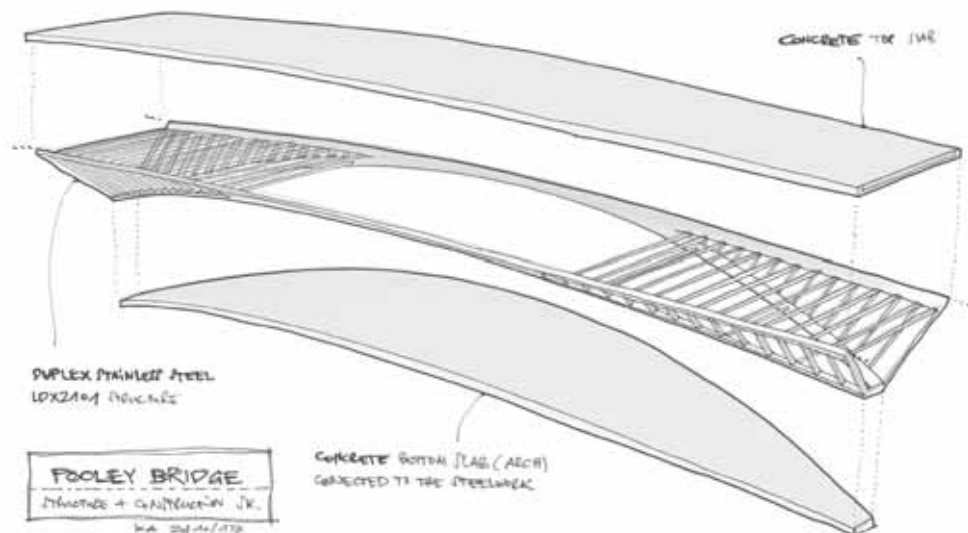
Het gebruik van steen in het ontwerp van de brug werd door velen gezien als een belangrijke verwijzing naar de historische brug waarnaar vaak werd gevraagd in de feedback die het ontwerpteam ontving. Geïnspireerd door het ontwerp van Thomas Telford voor de Craigellachiebrug in Speyside of de Victoriabrug van John Fowler, werden de landhoofden ontworpen met een lokale zandsteenbekleding (zo veel mogelijk vergelijkbaar met de oude brug) die het lichte, transparante karakter van de staalconstructie versterkt. Bovendien verwijzen de lichte verbindingskolommen naar het delicate vakwerk in het ontwerp van Telford, dat aan beide uiteinden van de boog een interessant en transparant element vormt.

De 'Overbrug' (zie fig. 6) over de rivier de Severn was ook nuttig om met de gemeenschap te communiceren over de manier waarop stenen bruggen die rond dezelfde tijd als de historische Pooleybrug werden gebouwd, niet noodzakelijk dezelfde klassieke uitstraling hadden als hun brug. Voor het nieuwe ontwerp van de Pooleybrug gelden qua vormtaal soortgelijke criteria als voor het ontwerp van Telford, met inbegrip van de schuin aflopende zijvlakken en de taps toelopende onderkant van de brug.

INNOVATIEF ONTWERP

Het nieuwe ontwerp is niet alleen geworteld in de geschiedenis, maar maakt ook gebruik van de allerbeste, moderne bruggenbouwtechnieken. Dit is de eerste roestvaststalen verkeersbrug in het Verenigd Koninkrijk en is uniek wat betreft de gebruikte materialen, de manier waarop ze worden gecombineerd en de constructieve opzet.

De hoofdoverspanning van de brug is een combinatie van twee betonnen platen met een roestvaststalen 'exoskelet' (zie fig. 7, 8 en 9) dat met dwarsstangen is verbonden om een samengesteld geheel te creëren voor zowel boog als dek. Dit is een vrij geavanceerde benadering om een vorm te maken die licht en eenvoudig is - maar niet saai - en om een hulpmiddel te bieden bij de constructie door middel van het staalwerk dat uiteindelijk een integraal deel van de constructie wordt wanneer het met het beton wordt verbonden.



← 7 Schetsontwerp draagconstructie



8 Fabricage van het roestvaststalen exoskelet door M-tec (architectendivisie WEC-Group)
© WEC



De unieke constructieve opzet (zie fig. 7) omvat 7,5 m lange, verborgen uitkragingen (zie fig. 8) binnen de landhoofden om de horizontale component van de drukboog over te brengen op het dek, wat een traditioneel dek-booguiterslijk oplevert, zonder de horizontale reacties over te brengen op het grondlichaam met een lage capaciteit (variabele glaciale bodem, minder geschikt voor heiwerkzaamheden).

Het gebruik van 'Lean Duplex roestvaststaal' (LDX2101) maakt het mogelijk een brug te leveren die er weliswaar hedendaags uitziet,

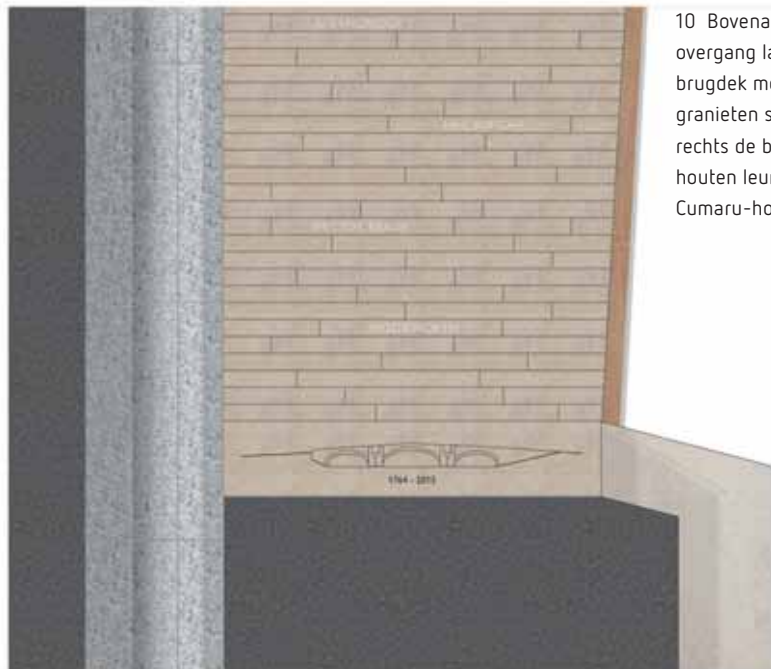
maar net als de historische brug op natuurlijke wijze zal verouderen. Dit type roestvaststaal heeft een uitstekende duurzaamheid zonder dat er onderhoud nodig is en heeft ongeveer 20% meer treksterkte dan conventioneel staal, waardoor de brug zowel qua constructie als qua slankheid lichter kan zijn.

Het slanke ontwerp, mogelijk gemaakt door het hogesterkte roestvaststaal, minimaliseerde de hoeveelheid gebruikte materialen en de daarmee samenhangende CO₂-uitstoot. Het specifieke type staal dat is gebruikt, bevat 20% minder koolstof dan het wereldwijd gemiddelde van roestvaststaal, dankzij het gebruik van 85% gerecycled materiaal en koolstofarme energie op de productielocaties.

Het staalwerk, zowel in de hoofdconstructie als in de balustrade, is onderworpen aan een slijp- en parelstraalproces om een gladde, homogene, matte afwerking te verkrijgen die de lasnaden deed vervagen en wat resulteerde in een afwerking die niet overdreven reflecterend is, maar die op subtiële wijze de tinten van het omringende landschap opneemt. De leuningstijlen zijn slank gehouden door de rol van voertuigkering te verplaatsen naar de voertuigerende granieten stoepranden aan weerszijden van de rijbaan met één rijstrook. Hierdoor konden de leuningen zo licht en transparant mogelijk zijn wanneer ze van opzij worden bekeken.

Het resultaat is een brug die er slank uitziet, elegant opgaat in het landschap en waarvan het ontwerp de uiteenlopende wensen van de bevolking in evenwicht brengt.

9 Geometrie van de onderkant van de nieuwe Pooleybrug
© Tom McNally



10 Bovenaanzicht overgang landhoofdbrugdek met links de granieten stoeprand en rechts de balustrade met houten leuningregel van Cumaru-hout.



↑ 11 De hoofdoerspanning wordt op zijn plaats gehesen
© Eric Wright Civil Engineering en Cumbria Country Council)

↓ 12 Opening van de Nieuwe Pooleybrug
© Steve Barber)



REACTIE VAN DE DORPSGEMEENSCHAP

De tijd zal leren of deze brug net zo geliefd wordt als de oude brug, maar we kunnen nu al zien dat hij deel gaat uitmaken van de plaatselijke identiteit.

Er konden gegraveerde zandstenen klinkers worden aangekocht om de mensen de kans te geven een stukje van de brug te 'bezitten'. Ongeveer 300 namen zijn in het voetpad van de brug gegraveerd (zie fig. 10) en de opbrengst van de verkoop gaat naar plaatselijke gemeenschapsprojecten. Aan beide uiteinden van de brug zijn drempelstenen met gravures van de oude brug en het nieuwe ontwerp aangebracht om

het verhaal van de Pooleybrug te vertellen. Het enthousiasme tijdens de bouwfase was duidelijk zichtbaar: veel bewoners volgden virtueel de spectaculaire installatie van de 290 ton wegende hoofdoverspanning met behulp van een 1.350 ton zware mobiele kraan, één van de grootste kranen in het land (zie fig. 11).

Plaatselijke bedrijven hebben producten vervaardigd om het nieuwe ontwerp te vieren, waaronder legpuzzels en een etiket van een plaatselijk geproduceerd biertje. De officiële opening van de brug in oktober 2020 was een vreugdevol evenement waarbij de brug, in echt Cumbriaanse stijl, door een kudde schapen werd geopend (zie fig. 12).

Met zijn klassiek moderne uiterlijk, zijn verandering van materiaalgebruik en doorzichtigheid tussen de hoofdstructuur en de landhoofden brengt de nieuwe brug hulde aan de rijke geschiedenis van het brugontwerp in het Verenigd Koninkrijk en maakt zij tegelijk gebruik van de beste nieuwe materialen en brugconstructie-technieken om te komen tot een doorzichtige en slanke structuur die past in zijn omgeving en is ingebed in de plaatselijke identiteit.

PROJECTGEGEVENS

Nieuwe Pooleybrug (2020) in Pooley Bridge, VK	
Opdrachtgever	Cumbria County Council
Vormgeving	Knight Architects
Hoofdconstructeur	Mott MacDonald
Constructeur van de aannemer	GHD Raadgevende Ingenieurs
Aannemer	Eric Wright
Staalfabrikant	M-tec (architectendivisie WEC groep)



13 Nieuwe Pooleybrug in het Lake District National Park

© Tom McNally

BRUGGEN VAN DE TOEKOMST

WELKE UITDAGINGEN KUNNEN WE VERWACHTEN?

Jean-Yves Del Forno |
afdeling infrastructuur Bureau Greisch

2022



1 René Greisch

In de negentiger jaren werkte ik bij het ingenieursbureau van René Greisch, een beroemd ingenieur die een bureau had opgericht dat nog steeds zijn naam draagt. En eind 1997, omdat op mijn CV stond dat ik Nederlands had geleerd, nam hij mij mee naar Jo Coenen in Maastricht. Die had hem gevraagd een voetgangersbrug over de Maas te ontwerpen. Ik begreep er tijdens die bespreking helemaal niets van!

Maar het zij zo. In de weken die volgden, hebben wij, of liever heeft René, de brug ontworpen en berekend en het project aan de gemeente Maastricht gepresenteerd. Om budgettaire redenen werd het project vertraagd en René Greisch overleed twee jaren later, in juli 2000.

Zo bleef ik alleen achter met de stad Maastricht als opdrachtgever en de aannemers. Allemaal in het Nederlands. Een echte uitdaging, maar 'De Hoge brug' werd op 16 december 2003 geopend.

Vandaag is mij gevraagd u iets te vertellen over mijn visie op de bruggen van de toekomst. Het wordt mijn visie, zoals wij die in bureau Greisch hebben ontwikkeld. Maar zeker geen absolute visie, wij hebben niet de pretentie deze te hebben.

Deze visie kan alleen worden verankerd in de analyse van het verleden. Onze voorouders waren verre van dwaas en hen negeren zou ons zelf dwaas maken.

Sinds mensenheugenis moeten mensen hindernissen oversteken, vooral rivieren, om de hulpbronnen te verkrijgen die zij nodig hebben om te overleven.

Ver van onze ingenieursoverwegingen wist de mens al, dat om een kleine kloof te overbruggen, het voldoende was om één of meer boomstammen neer te leggen met daarop een paar platte stenen.

En toen de hindernis groter werd, kon door het gebruik van gevlochten lianen, het bereik worden vergroot.

Tenslotte, ook al zijn er sporen van gewelven te vinden die dateren uit de 13e eeuw v. Chr., het was in de Romeinse periode dat de bouw van boogbruggen tot ontwikkeling kwam.

Zonder zich daarvan bewust te zijn, heeft de mens sinds de oudheid gebruik gemaakt van de drie basisvormen van de toegepaste mechanica: de balk, de ketting en de boog. Bijna 2000 jaar lang is het ontwerp van bruggen niet wezenlijk veranderd.

In de loop van de 18e eeuw hebben een aantal ingenieurs en wetenschappers geleidelijk de sterkte van materialen omschreven.

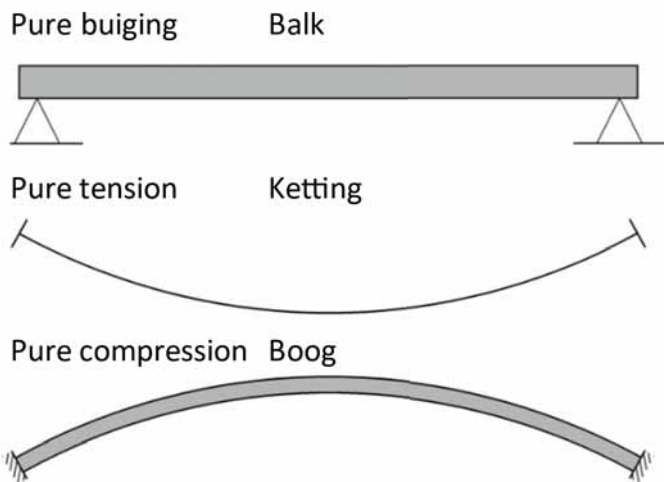
Bijvoorbeeld de wet van Hooke, die het lineair-elastische gedrag van een stalen staaf beschrijft, of de kritische belasting van Euler, die de belasting bepaalt waarboven een kolom uitknikt (zie fig. 3, blz 14). De verzameling van deze theorieën vormt de basis van de eigenschappen van materialen. Parallel met deze theoretische ontwikkelingen verschenen in Engeland de eerste ijzeren en stalen constructies.



← ↑ 2 Hoge Brug, Maastricht

Sinds
mensenheugenis
moeten mensen
hindernissen
oversteken,
vooral rivieren

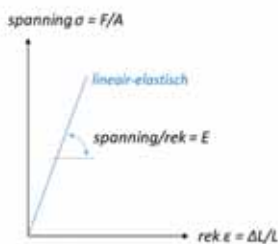
Bruggen over water hebben altijd een meer nobel karakter gehad



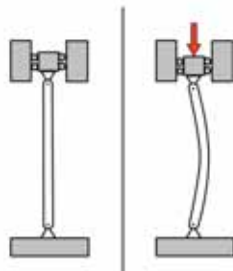
3 basisbegrippen construeren

De eerste was de IJzeren Brug over de Severn in Engeland, die vijf gietijzeren bogen met een overspanning van 30 meter bevatte. Puddelijzer - een type gietijzer waaruit het koolstof uit het ijzer is verwijderd - wordt gebruikt vanwege zijn grotere ductiliteit, bijvoorbeeld in de door Eiffel gebouwde Garabit-brug over de rivier de Truyère in Frankrijk. Staal werd in het midden van de 19e eeuw uitgevonden en de industriële processen om het te produceren, ontwikkelden zich snel. In die tijd werden veel stalen bruggen gebouwd, zoals de Alexander III-brug in Parijs. Deze structuur is zeer elegant door zijn slanke vorm. Of nog de brug over de Forth in Schotland, die voor zijn tijd een opmerkelijke overspanning heeft van 521 m!

Wet van Hooke



Eulerknik



Gewapend beton verscheen ongeveer in dezelfde periode, naar aanleiding van een octrooi dat werd aangevraagd door Hennebique, die één van de eerste bruggen van gewapend beton bouwde, die vandaag trouwens nog steeds in gebruik is.

In de eerste helft van de 20e eeuw werden talrijke bogen van gewapend beton gebouwd, met name door de Franse ingenieur Eugène Freyssinet.



4 Pont Alexandre III, Parijs



5 Primeur gewapend betonnen brug, 1905 bij een expositie in Luik

Voorgespannen beton deed zijn intrede net na de Tweede Wereldoorlog. Het proces bleek revolutionair te zijn. Als de trekspanningen in het beton door de voorspanning verdwenen waren, kon ook veel van de wapening verdwijnen. De begrippen buigzaamheid en robuustheid die in de huidige codes worden gehanteerd, bestonden in die tijd nog niet. In diezelfde tijd begonnen de Verenigde Staten hangbruggen te bouwen. De meest symbolische is de Golden Gate Bridge in San Francisco, die al een hoofdoverspanning van 1280 m heeft. In al deze constructies is het dek geheel van staal, in de vorm van een vakwerk, en de rijplaat is een orthotrope plaatvloer, bestaande uit een plaat en trogvormige verstijvingen.

De Europeanen sloten zich iets later bij deze ontwikkeling aan, maar met een andere dwarsdoorsnede: een doosvormige doorsnede, ontworpen om het een aerodynamisch profiel te geven met een optimale stabiliteit. Het laatste bouwwerk van dit type is onlangs in Turkije ingehuldigd, de '1915 Çannakale-brug', waarvan de overspanning van 2023 m 's-werelds langste is.

Een ander type brug is de tuibrug. Drie van de eerste bruggen van dit type werden in Düsseldorf gebouwd. De eerste generatie tuibruggen werd gekenmerkt door dikke (en dus stijve) dekken en een klein aantal tuien. De komst van computers in de jaren zestig maakte het mogelijk steeds complexere bruggen te berekenen, met inbegrip van de tuibruggen, of deze nu van staal of beton zijn.



7 minder geslaagd voorbeeld van een balklijgerbrug

In onze landen, althans in België, is in de jaren zestig en zeventig een groot aantal autosnelwegen aangelegd. De bruggen die nodig waren om de onderbroken verbindingen te herstellen, werden in een razend tempo gebouwd. Ze waren in de eerste plaats functioneel en ontworpen voor efficiëntie. We hebben veel gelijksoortige bruggen gezien, waarvan de eerste ter plaatse werden gestort, met variabele of met constante hoogte. Vervolgens gemaakt van gestandaardiseerde geprefabriceerde balken, zonder dat dit altijd tot zeer succesvolle resultaten heeft geleid (fig. 7).

Bruggen over water hebben altijd een meer nobel karakter gehad. De voorbije veertig jaar heeft ons bureau het geluk gehad een groot aantal bruggen in en rond de Maas te mogen ontwerpen. Bij dit ontwerp hebben wij steeds getracht bepaalde eenvoudige principes in acht te nemen, die vandaag nog steeds gelden en dat ook in de toekomst zullen blijven doen.

BEGINSELEN INTEGRAAL BRUGONTWERP

- **EEN BRUG VOORZIET MEESTAL IN EEN BASISBEHOEFTE.** Of het nu gaat om een weg, een spoorweg, voetgangers of fietsers, of zelfs een waterweg, een brug maakt het mogelijk een communicatiekanaal over een obstakel, natuurlijk of kunstmatig, te leiden. Het is in deze basisbehoefte, waaraan allereerst en met voorrang moet worden voorzien.
- **EEN BRUG HEEFT MASSA.** De fundamentele beginselen van de statica kunnen bij het construeren niet worden verwaarloosd.
- **EEN BRUG IS DUUR.** Zoals bij elke constructie zijn er twee componenten in de prijs: materiaal en arbeid. De kunst van de ontwerper is het juiste evenwicht te vinden tussen de hoeveelheid materiaal en de hoeveelheid arbeid die nodig zal zijn om het te bouwen.
- **EEN BRUG GAAT LANG MEE.** Het eerste gevolg hiervan is dat het ontwerp niet modieus mag zijn. Het ontwerp moet tijdloos zijn. Het tweede, en even belangrijke gevolg is dat de materialen waarvan het wordt gemaakt, van hoge kwaliteit moeten zijn en zorgvuldig moeten worden toegepast. De constructiedetails moeten duidelijk en robuust zijn.
- **EEN BRUG MOET STABIEL ZIJN** in al zijn configuraties. Tijdens het gebruik natuurlijk, maar ook tijdens alle bouwfasen. Voor de bouw ervan moet gebruik worden gemaakt van realistische middelen, waarvan het belang op de schaal van het bouwwerk moet worden afgestemd.
- **EEN BRUG VEROUDERT.** Naast het principe van duurzaam bouwen moet die dus ook bezocht, onderhouden en gerepareerd kunnen worden.



6 '1915 Çannakale-brug' over de Bosporus



8 Spiraalfietsbrug in Leuven

Het is moeilijk om deze beginselen afzonderlijk te illustreren. Dit is de reden voor de term 'Integraal ontwerp', die hier in Nederland welbekend is. Toch zal ik trachten ze te illustreren aan de hand van voorbeelden, of die zich nu in België of elders bevinden.

- 1 Laten we beginnen met de basisbehoefte: een hindernis oversteken om van punt A naar punt B te komen. In de buurt van het station van Leuven moest een project worden gebouwd om fietsers in staat te stellen deze trap over te steken, uiteraard zonder te moeten afstappen. En de trap moest tegelijk bruikbaar blijven voor voetgangers. De studie moest beginnen met het onderzoeken van de behoeften op het gebied van verkeer, in dit geval fietsers. Het resultaat is beschreven in het decembernummer 2020 van *BRUGGEN*.

Een andere voetgangersbrug illustreert dit zelfde beginsel: een project dat helaas niet zal worden uitgevoerd omdat het aan een ander bureau is gegund.

Het 'Ile du Ramier' in Toulouse moet toegankelijk worden gemaakt voor fietsers en voetgangers. Bij het oversteken van de Garonne moet het doorstroomprofiel in acht worden genomen, wegens het risico op overstroming.

Maar de hellingen die voor dit soort verkeer worden opgelegd, laten een rechtlijnige oversteek niet toe. Alvorens zich de structuur voor te stellen, moet het 'lint' worden getekend, het oppervlak waarop de gebruikers zich zullen bewegen. Hier zorgen de bochten voor een vlotte, aangename en speelse doorstroming van het verkeer. Pas dan kunnen we het structurele antwoord op de functie geven., een structureel antwoord dat ook intrinsiek architecturaal is.

- 2 Laten we ons nu wenden tot de beginselen van statica. Het zal u duidelijk wezen: een brug moet in evenwicht zijn. Het verbaast mij dan ook soms te zien hoe



9 ontwerp voetbrug 'Ile du Ramier' in Toulouse

sommige architecten of zelfs ingenieurs volharden in het bouwen van piramiden op hun kop.

Als men de bruggen van fig.10 vergelijkt, hoeft men geen genie te zijn om te beseffen dat het materiaal dat wordt verbruikt om het eenvoudig structureel evenwicht te garanderen, voor beide projecten niet te vergelijken is. Een zuivere boog- of paraboolvorm (fig. 10) boven, en een meer complexe vorm onder. Hierbij moet worden opgemerkt dat er gestreefd is naar een grotere geschiktheid bij de verdeling van de krachten, aangezien het vasthouden van de hangers plaatsvindt in de zone van de boog die effectief gebogen is. Aan de hand van dit voorbeeld wil ik aantonen dat de computers ons tegenwoordig in staat stellen alles te berekenen en ons de illusie geven van een grotere vrijheid bij het ontwerpen van structuren en met name van bruggen. Maar de technische en economische realiteiten, die achter een schijnbare sensualiteit schuilgaat, kan vrij complex blijken om te beheersen.

- 3 De manier waarop de brug is ontworpen heeft een directe invloed op de kosten ervan, en in dit verband hebben we gezien dat er drie categorieën bruggen zijn. Ten eerste zijn er, die een natuurlijke schoonheid hebben. Goed geïntegreerd in





← ↑ 10 vergelijk
materiaalgebruik

hun omgeving, hebben zij over het algemeen een vorm die overeenstemt met hun structureel gedrag. Hun intrinsieke kwaliteit vereist geen toevoeging van enig overbodig element. Dan zijn er, die niet onopgemerkt willen blijven. Zij nemen een bijzondere plaats in, vaak in een stad, en de ontwerpers willen er een kleine decoratieve toets aan geven, in de kleur, of door het toevoegen van symbolische elementen die verband kunnen houden met hun geschiedenis. En tenslotte zijn er, die worden gebruikt als pronkstuk, als standaard, als uiterlijk teken van rijkdom. Deze krijgen een architectuur die de wetten van het rationalisme tart ten gunste van onbeperkte extravagantie.

Wat moeten we ervan denken? Dat iedereen het recht heeft op zijn eigen mening over de zaak. Zoals ik al zei, we hebben een visie, die geenszins universeel is. Het enige wat ik hier wil aantonen is de invloed van onze keuzes op de kosten, en daarachter ook op de gevolgen voor het milieu. Als we wat ik 'het rationele gebruik van materialen ten dienste van een zorgvuldige architectuur' noem, nader willen overdenken, laten we dan het geval nemen van het Viaduct van Millau (fig. 11) in Frankrijk. Dit viaduct is voornamelijk ontworpen door de Engelse architect Sir Norman Foster en de Franse ingenieur Michel Virlogeux.

Ondanks de immense reputatie van de architect, is zijn ingreep in een van 's-werelds meest prestigieuze viaducten bijna onmerkbaar. Het is vooral te zien in de finesse van zijn onderdelen, niet in de extravagantie van een overdadig architectonisch gebaar. Het algemene ontwerp van deze structuur is duidelijk het resultaat van een serieus werk van de ingenieur.

Bij voorbeeld, de A-vorm van de pylons die de tuien en het dek ondersteunen, beantwoordt aan de noodzaak om de multi tuienstructuur in te bedden, in pijlers die voldoende stijf zijn om die doeltreffend te maken bij niet uniforme belastingen. En de V-vorm van de pijlers zorgt ervoor dat ze flexibel genoeg zijn om de uitzettingsvervormingen te weerstaan die het dek ondergaat onder invloed van extreme temperatuurschommelingen.

- 4 Als er één gebied is waar duurzaamheid belangrijk is, dan is het wel bij bruggen. Een brug wordt gebouwd om minstens 100 jaar mee te gaan. Hoe kan deze levensduur worden gegarandeerd als niet wordt gewerkt met duurzame materialen? Overal duiken nieuwe betonformules op, op basis van gerecycleerde toeslagmaterialen, hout, synthetische materialen zonder cement op basis van vlas, die getuigen van- en een goed voorteken zijn voor de groeiende bekommernis om de circulaire economie op de bouw. Het lijkt geen twijfel, dat er in de komende jaren en decennia, nieuwe materialen zullen ontstaan als gevolg van het toenemende onderzoek. Maar vandaag blijft, voor grote structuren, het gebruik van beton en staal een noodzaak. Om ze duurzaam te maken, moet voor hun intrinsieke kwaliteiten worden gezorgd.

Het aquaduct (fig. 12, blz 65) is volledig gemaakt van voorgespannen beton, is 500 m lang en ondersteunt een 34 m breed en 4,50 m diep kanaal. De intrinsieke waterdichtheid wordt gegeven door het gebruik van wat we tegenwoordig 'normaal beton' zouden noemen, een C40/50.





Dit wordt bijkomend gegarandeerd door voorspanning in alle drie richtingen: in lengterichting, maar ook dwars en verticaal. Dit garandeert een minimale drukspanning van $0,5 \text{ N/mm}^2$ in alle richtingen en in alle doorsneden onder water. Deze voorspanning is van het type 'voorspannen met nagerekt staal zonder aanhechting' en kan zo nodig worden vervangen.

Daarenboven wordt dit mogelijk gemaakt door de gebruikte bouwmethode, ik bedoel de lanceermethode (schuiven in de overspanningsrichting). Deze techniek maakte het mogelijk gebruik te maken van een vast bekistings- en wapeningssysteem en een rigoureuze bouwprocedure met een gering aantal voegen.

Ten slotte zal het gebruik van hoogwaardige materialen, zoals roestvaststaal, en een zorgvuldige afwerking een lange levensduur van het werk garanderen. Ik zou hier willen benadrukken dat het welslagen van dergelijke werken weliswaar afhangt van de bijzondere zorg die aan de uitvoering ervan wordt besteed, maar dat het ook de taak van de opdrachtgevers is om zichzelf de middelen en budgetten te verschaffen voor adequate studies. Wij zijn regelmatig, en nog onlangs, geconfronteerd met aanbestedingen waarbij de prijs van de studies een doorslaggevend criterium was voor de gunning van de opdracht. Dit gaat ten

koste van de creativiteit en de kwaliteit in de ruimste zin. Het is belangrijk dat alle klanten zich ervan bewust zijn dat een studie een dienst is die wordt verleend en niet een product dat wordt verkocht. Laten we hier waakzaam over zijn.

Het bouwen van een uitzonderlijke brug is vaak een technische uitdaging. Als het ontwerp van essentieel belang is, kan het bepalen van de manier waarop het zal worden gebouwd even belangrijk zijn, en zelfs het ontwerp ter discussie stellen. Het viaduct van Millau (fig. 11), dat een paar wereldrecords brak, kon pas worden gebouwd na een indrukwekkend aantal uren studie.

Van de 80.000 bestede uren was meer dan 80% gewijd aan de analyse van alle fasen van de lancering en de tussenstops tussen de lanceringen!

- 5 Het laatste beginsel is inspectie en onderhoud. Ondanks alle zorg die aan het ontwerp en de constructie kan worden besteed, vergt een brug toch enig onderhoud. Een eenvoudig en zorgvuldig ontwerp vergt minder onderhoud dan ingewikkelde details. Hebben we liever een plaat die om de 4 m door stalen dwarsdraggers wordt ondersteund, of een plaat die over de hoofdstructuur heen uitkraagt? De eerste is veel minder duur om te bouwen, maar hoe zit het met onderhoud en opnieuw schilderen?

- 6 En tenslotte mogen we de toegangen, de noodvoorzieningen en de verlichting niet vergeten, die latere inspecties en eventuele versterkingen of reparaties mogelijk maken.

Zo zal het viaduct van Vilvoorde op de Brusselse ring volledig worden vernieuwd om vier rijstroken in elke rijrichting mogelijk te maken en ten volle rekening te houden met de vermoeiingsproblemen die zich voordoen bij een aantal stalen constructies met orthotrope plaatvloeren.

Wat moeten we hieruit concluderen? De constructies van de toekomst zitten vandaag in de digitale modellen en morgen op de bouwplaatsen. De technologieën die bij de bouw van constructies worden gebruikt, evolueren langzaam. Zij moeten zichzelf bewijzen omdat zij niet de minste mislukking kunnen verdragen.

Op het gebied van voetgangersbruggen is grote vooruitgang geboekt in de fijnheid van constructies, met name met de komst van afgestemde, dynamische dempers waarmee de meeste dynamische effecten kunnen worden opgelost.

Verkeersbruggen, en zeker spoorbruggen, mogen niet aan modeverschijnselen onderhevig zijn, zij moeten de zes principes blijven respecteren, die de essentie vormen van hun levensduur.



BRUG OVER HET VERBINDINGSDOK IN ZEEBRUGGE

Jorus Meersschaert | SBE

Begin 2019 is er door MBZ (De Maatschappij van Brugse Zeevaartdiensten, nu Port of Antwerp-Bruges) een DBM project uitgeschreven voor het vervangen van de tijdelijke brug over het 400 m brede Verbindingsdok in de haven van Zeebrugge via een concurrentiegerichte dialoogprocedure. De nieuwe brug wordt 370 m verder naar het oosten ingepast om aan te sluiten op de J. Verschaeveweg in het noorden en de verlengde Koffieweg in het zuiden (zie fig.1).

HET PROJECT

Deze brug moet de verbinding verzorgen tussen de Achterhaven Noord en Zeebrugge Dorp met de Achterhaven Zuid en zijn ontsluiting via de A11.

De aanbestedingsprocedure was een concurrentiegerichte dialoog met 65 punten

op de prijs en 35 punten op de functionele kwaliteit. Dit laatste had vooral betrekking op *'de technische elegantie, de minimale functioneringstijd, het minimaal onderhoud en het gemak van onderhoudbaarheid'*.

Na drie dialoogrondes is ons aannemers-consortium verkozen, bestaande uit Artes Depret voor de waterbouwkundige en civiele werken, staalbouwer Victor Buyck voor de stalen draaibrug en Besix Unitec voor alle



1 Inpassingsplan brug over het Verbindingsdok

elektromechanische werken. Deze laatste werd dan nog eens bijgestaan door Demako voor het hef- en draaimechanisme en de opleggingen en door Vameco voor de vizzels. Het consortium is bijgestaan door twee ingenieursbureaus: SBE en Stendess. SBE verzorgt het algemeen ontwerp en concept van zowel de draaibrug als de vaste bruggen, de omgevingsvergunning, de algehele BIM-coördinatie en de uitvoeringsstudie van alle waterbouwkundige en civiele werken. Stendess is verantwoordelijk voor de berekeningen en uitvoeringsstudie van de staalconstructie van de draaibrug. Er diende een zeer strakke planning te worden aangehouden. De eerste dialoogfase startte in januari 2019 en eind 2019 al werd het aannemersconsortium gekozen. Onmiddellijk werd dan gestart met de opmaak van de Omgevingsvergunningsaanvraag welke in maart 2020 werd ingediend en eind september 2020 reeds werd goedgekeurd. In oktober 2020 zijn de werken gestart om deze 15 maanden later te beëindigen: een huzarenstuk dat alleen maar mogelijk was door een perfecte samenwerking tussen opdrachtgever, aannemersconsortium en ingenieursbureaus.

CONCEPT EN ONTWERP

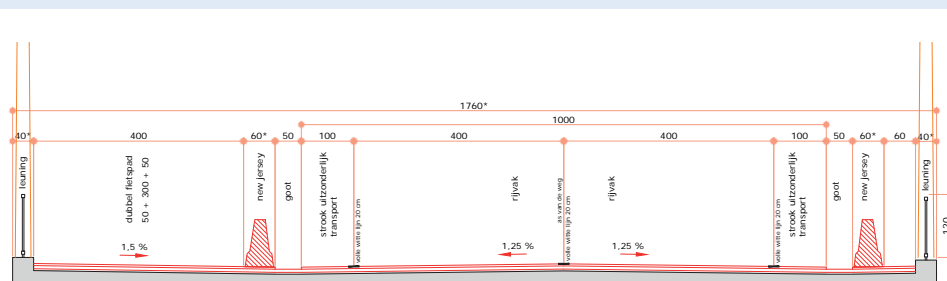
De voornaamste functionele eisen zijn een wegdek met een nuttige breedte van 10 m om de oversteek van een havenkraan type Gottwald met een massa van 500 ton toe te laten. (twee rijstroken van 4 m met twee randstroken van 1 m breed voor het uitzonderlijk transport van de havenkraan). De doorrijhoogte dient onbeperkt te zijn. Ook moest er in een vrijliggend fietspad van 4 m breed worden voorzien.

De ontwerp levensduur van de brug is 100 jaar en de ontwerpsnelheid voor het wegverkeer is 70 km/u. De brug moest tot windkracht 9

normaal bruikbaar zijn en tot windkracht 10 met verminderde openingssnelheid. Bij een noodstop moet het beweegbaar deel van de brug binnen 6 seconden stil staan, wat een enorm torsiemoment van meer dan 19.000 kNm veroorzaakt!

Het bewegingsmechanisme dient ten allen tijde bereikbaar te zijn zonder de noodzaak van varend materieel. Het besturingsgedeelte dient zich minstens 1,5 m boven het normaal dokpeil te bevinden.

De geometrische eisen zijn ook zeer uitdagend: een doorvaartbreedte van 55 m, een onbeperkte doorvaarthoogte bij de brug in open stand en dit bij een waterdiepte van 18,5 m! Verder moest de brug aansluiten op het bestaand maaiveld (3 m boven normaal dokpeil) en mocht de langshelling niet meer dan 3% bedragen.



Snedes A-A
schaal: 1/50

* = afstanden mogen vermindert worden door inschrijver
Typedoorsnede afwerking brug

2 Vereist dwarsprofiel van de brug



3 De brug in aanbouw in de werkplaats met de hoofdliggers, dwarsdragers en orthotroop dek.

Na vele brainstormsessies en opmaak van verschillende 'trade-off matrices' kwamen we als uiteindelijke oplossing voor het beweegbaar gedeelte tot een symmetrische draaibrug met een totale lengte van 130 m. De vaste aanbruggen bestaan uit klassieke betonnen bruggen met voorgespannen liggers die opgelegd worden op pijlerbalken en stalen buispalen.

Omwille van het criterium 'technische elegantie' wordt er geopteerd voor een draaibrug waarvan het val bestaat uit twee massieve, stalen hoofdliggers met daartussen dwarsdragers en een orthotroop dek met

trogprofielen. De hoofdliggers zitten volledig onder het dek en variëren in hoogte tussen 3,3 m en 4,3 m met onderflenzen van 1,5 m breed en variërend in dikte tussen 50 en 150 mm (fig.3).

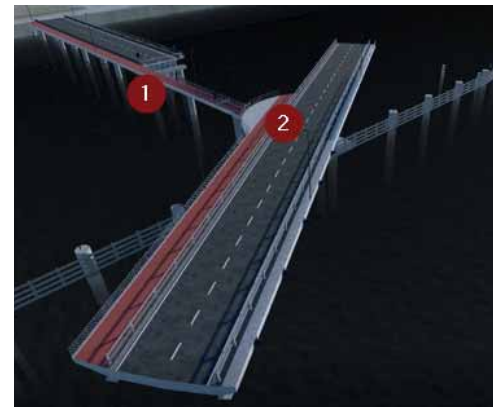
Het bijkomende voordeel van deze constructie zonder boven het dek uit stekende hoofdliggers, is dat ook het vervoer van brede 'specials' mogelijk is (na demontage van enkele lichtmasten) en de constructie veel minder aanvaargevoelig is voor de overhangende brug van passerende schepen.

Omwille van dezelfde vormgevingseisen wordt ook de draai- en hefinrichting volledig tussen de beide hoofdliggers in gebouwd zodat het geheel een slanke en cleane look heeft en steeds, zowel in gesloten als in open stand, volledig in de omgeving opgaat. Er werd in het bestek absoluut geen landmark gevraagd, integendeel.

Omwille van het criterium *onderhoudbaarheid* wordt het vaste fietspad aan de noordzijde doorgetrokken tot aan de ronde, centrale uitbouw aan de fietsbrug. Deze uitbouw vormt niet alleen een aantrekkelijk verpozingspunt voor de fietsers en voetgangers, maar zorgt er tevens voor dat, ook in open stand, de brug en zijn bewegingsmechanisme steeds bereikbaar is, zelfs voor een 40 tons-kraan. Vanop het uiteinde van de fietsersbrug kun je ook via een trap naar het middeneiland om zodoende toegang te krijgen tot de draaicarroussel en de elektrische kasten die daar staan opgesteld. Alles staat dus in het teken van een maximale bereikbaarheid en gemak van onderhoud en inspectie.



4 Het hef- en draaimechanisme dat tussen de hoofdliggers opgesloten is

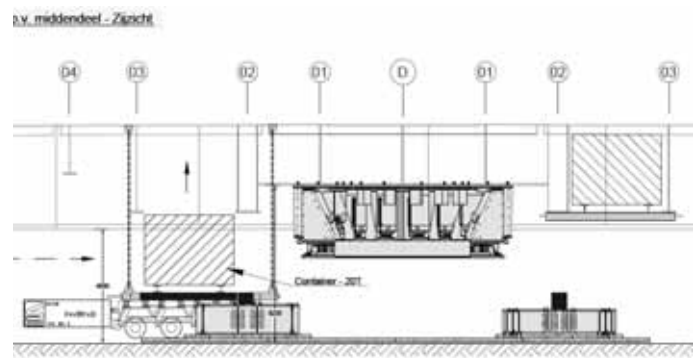
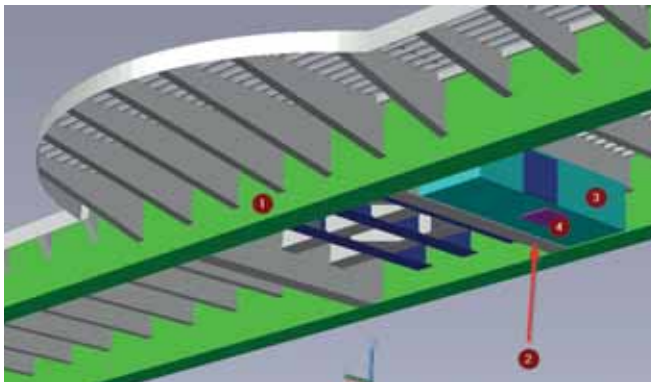


↑ ↓ 5 Onbeperkte toegang tot de draaibrug en het middeneiland

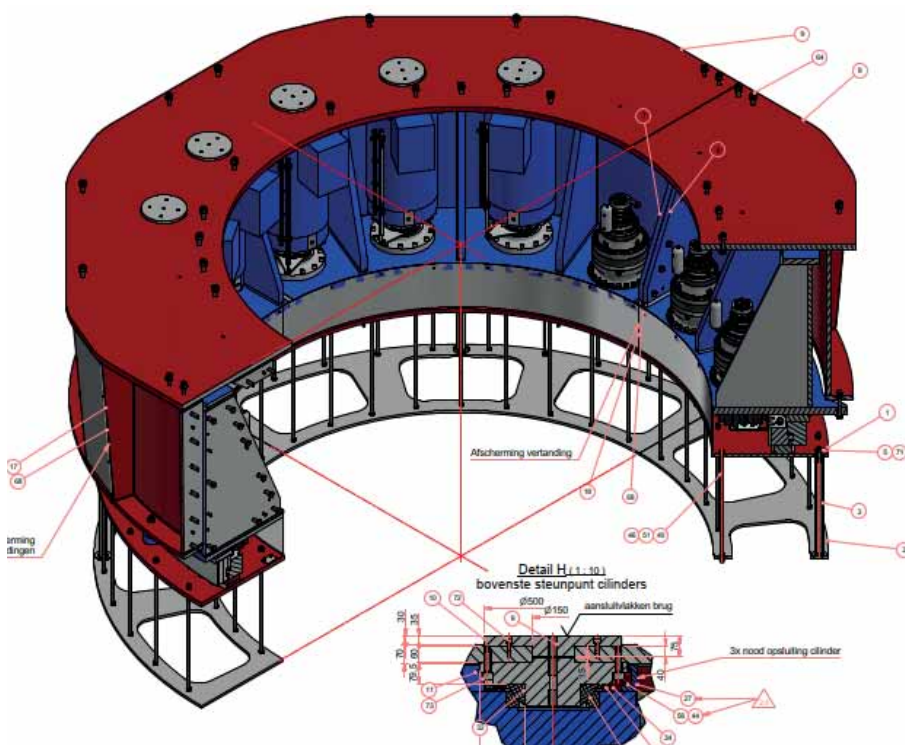


6 Zijaanzicht van de brug (zijde zonder fietsbrug)





7 Inbouw EMU container onder de draaibrug



8 De carrousel – hef- en draaimechanisme - patent Demako

Ook de technische ruimtes met de motoren en hydrauliegroepen zijn volledig ingebouwd in de draaibrug. Ze zitten daar zeer beschermd en vanop het middeneiland zijn ze via een laddertje gemakkelijk bereikbaar. Omwille van de redundantie en verhoogde beschikbaarheid, wordt deze technische container volledig in spiegelbeeld uitgevoerd. Dit laat bijvoorbeeld toe om onderdelen en software te vervangen terwijl de draaibrug toch gewoon in dienst blijft.

Omwille van het criterium *minimale functioneringstijd* is gekozen voor een bewegingsmechanisme (de gepatenteerde draaicarrousel van de firma Demako) dat toelaat om, centraal, de brug zowel te liften als te draaien. Om los te komen van zijn V-vormige opleggingen, dient de brug immers eerst over 800 mm gelift te worden om dan pas gedraaid te worden. Bij klassieke draaibruggen wordt de brug niet in zijn geheel gelift, maar wordt er onder de opleggingen op de bruguiteinden een

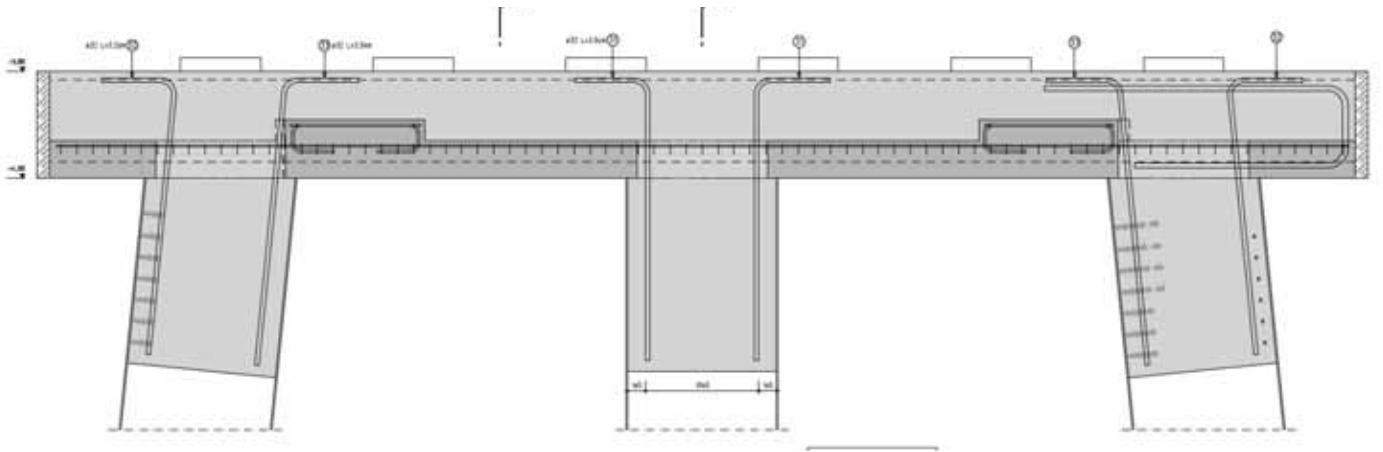
spiegvormig blok onder de opleggingen geschoven. Daarvoor dient er dan, in tegenstelling tot bij ons ontwerp, uiteraard ook in een elektromechanische uitrusting ter plaatse van de bruguiteinden te worden voorzien. Dit komt de onderhoudbaarheid en het gebruiksgemak uiteraard niet ten goede. De hefbeweging duurt ongeveer 60 seconden, de draaibeweging 90 s.

Er is ook nagedacht over de fase 'einde levensduur'. De brug is zo gebouwd dat alle elementen op een eenvoudige manier kunnen worden verwijderd. Bijvoorbeeld geen betonconstructies onder water maar wel buispalen die relatief gemakkelijk te verwijderen en te recyclen zijn. Bijvoorbeeld ook de isostatische (statisch bepaalde) kunststof fietsbruggen die heel gemakkelijk te demonteren en te hergebruiken zijn.

UITVOERING

Zoals iedereen weet, is bouwen op het water duur en tijdrovend. Van in den beginne was iedereen binnen het consortium erover eens dat het werk zoveel mogelijk vooraf, op het land, moest kunnen worden uitgevoerd. Dit heeft geleid tot volgende slimme keuzes bij het uitvoeringsontwerp.

Eerst bespreken we *de vaste aanbruggen* die gebouwd zijn door Artes Depret uit Zeebrugge. Een thuismatch dus voor hen en met enorme logistieke voordelen bovendien. Er is een noordelijke aanbrug van 100 m lang en een zuidelijke van 170 m lang. Omdat we gebonden waren aan een eis om de onderkant van de brugliggers op minimaal 1,50 m boven het wateroppervlak te plaatsen, om golfimpact te vermijden, dienden we de hoogte van de prefab H-iggers en dus ook de overspanningen aan de landzijde te beperken.



9 Doorsnede en plaatsing van de prefab pijlerbalken



10 Plaatsing middeneiland

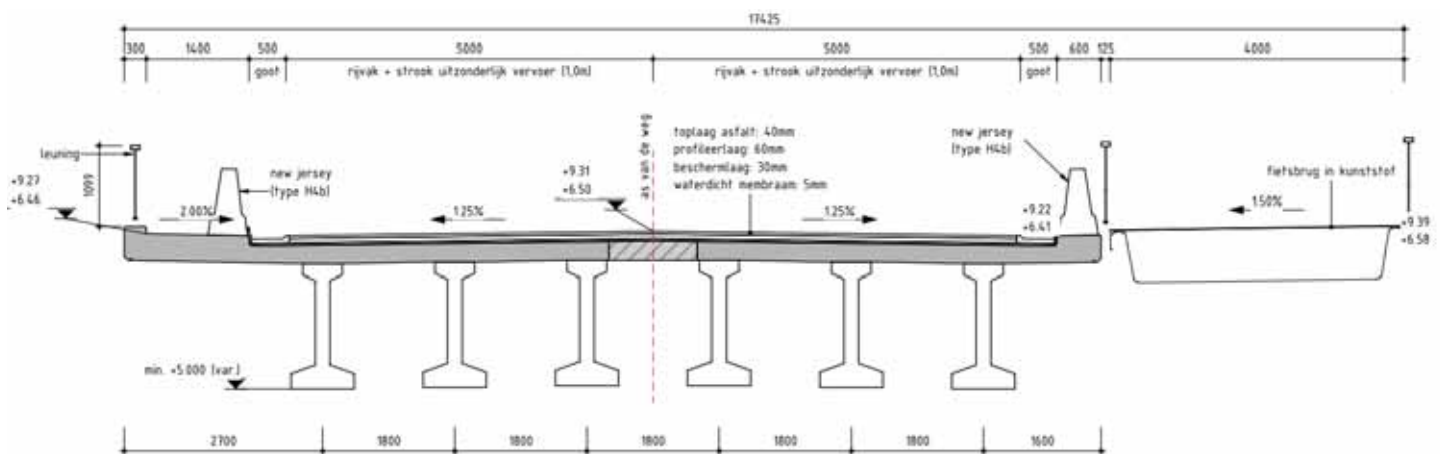
Naargelang het brugdek opliep naar het midden van het dok konden we met hogere Higgers en grotere overspanningen werken. De grootste overspanningen zijn 33 m lang met I-liggers van 1,90 m hoog.

- 1 Voor de pijlerbalken waar de I-liggers op afdragen, wordt er gewerkt met klassieke prefabbalken welke ter plaatse worden opgestort om zo een momentvaste knoop te maken met de buispalen.
- 2 Het middeneiland is in feite een grote betonsokkel van ongeveer 15 m bij 15 m en 1,50 m dik, die op 8 buispalen met een diameter van 2 m rust. Op deze sokkel komt dan later het hef- en draaimechanisme van de draaibrug. Deze plaat heeft

een massa van ongeveer 850 ton! Dit was te veel voor het hijsmateriaal van de aannemer en daarom is deze deels in prefab op het land uitgevoerd met een dikte van gemiddeld 600 mm maar wel met alle wapening erin geplaatst, evenals de bekistingspanelen voor de latere opstort op het water. Dit stuk woog dan nog altijd 4 MN.

- 3 De brugdekken bestaan uit zes prefab I-liggers met een brugdek erop met een dikte van 250 à 300 mm dik. De totale breedte van het dek is 13,30 m en de lengte van de langste dekken is 33 m. Om hier ook de massa te beperken tot 400 ton werd er voor geopteerd om

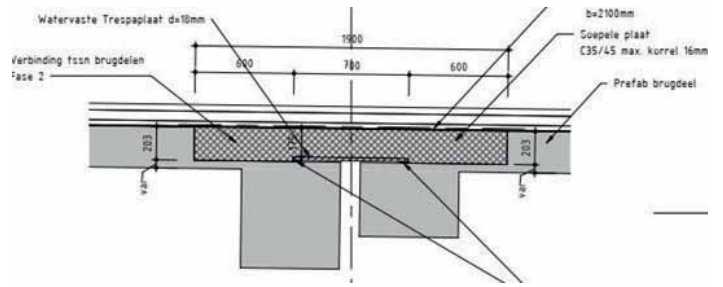
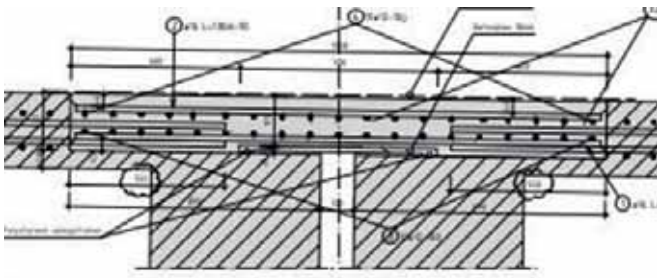
telkens twee halve brugdelen te maken op het land. Het is te zeggen, telkens drie Higgers met een 'half' betondek erop van 6,30 m breed. Deze halve brugdelen zijn dan op een ponton naar de bouwplaats van de nieuwe brug gesleept en op de pijlerbakken geplaatst. De middenzone tussen de twee bruggedelen is ongeveer 1 m breed om de dwarswapening te kunnen overlappen en deze werd dan ter plaatste gestort op een verloren bekisting die al op het land was aangebracht onder één van de twee brughelften.



11 Dwarsdoorsnede van de brug



12 De constructie en plaatsing van de brugdelen, voor het opstorten van de voegen



13 Detail en foto van de soepele plaatverbinding.



Om deze kolos van 1800 ton goed op zijn plaats te krijgen, was nog een hele uitdaging

Omdat het bestek voorschreef dat er enkel een voegovergang mocht zijn ter plaatse van de landhoofden en ter plaatse van de overgang tussen vaste en beweegbare brug enerzijds en, omdat we isostatische (statisch bepaalde) dekken wilden behouden, werd er geopteerd voor een 'soepele plaatverbinding' ter plaatse van de kopse voegen tussen de verschillende brugdelen.

Wat betreft de stalen draaibrug werd geopteerd om de gehele brug samen te stellen in de werkplaatsen van de staalconstructeur Victor Buyck te Eeklo en

Gent. De draaibrug is 130 m lang, 4,5 m hoog en op zijn breedst bijna 25 m. De brug weegt 18 MN. De opzet was om een ponton met de brug over water via de Ringvaart en het Kanaal Gent-Terneuzen en dan verder via de Westerschelde naar Zeebrugge te slepen.

Omdat we verschillende bruggen dienden te passeren, was de hoogte van de brug in afgewerkte toestand beperkt. Dit is ook één van de redenen om niet voor een hoge vakwerkbrug maar voor een lage liggerbrug te kiezen. Alle afwerkingselementen, zoals de dekbekleding van ingestrooid epoxyhars en

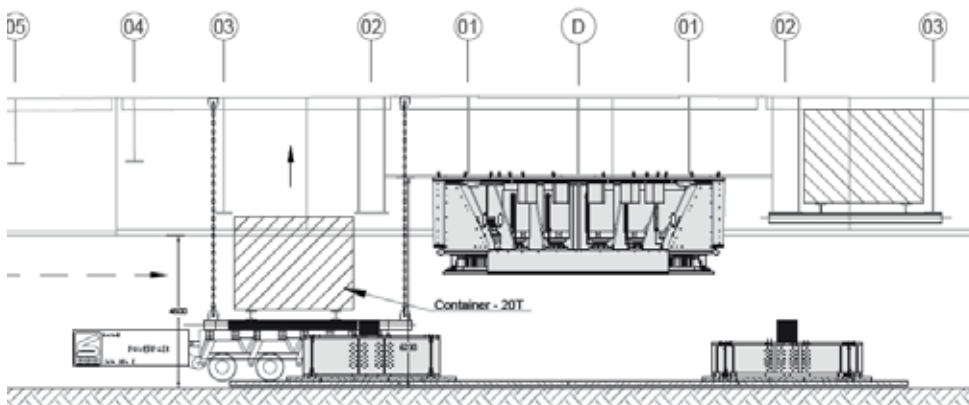
de opleggingen, zijn vooraf in de werkplaats aangebracht. Ook alle onderdelen van het bewegingsmechanisme en de twee technische ruimtes, waarin de motoren en hydraulische groepen staan opgesteld, zijn vooraf geïnstalleerd en getest in de werkplaats.

MONTAGE VAN DE BRUG

Zoals al eerder vermeld, is de draaibrug in zijn geheel over water naar de haven van Zeebrugge vervoerd. Om deze kolos van 1800 ton mooi op zijn plaats te krijgen, was



detail t.p.v. middeneiland - Zijzicht



↖ ↙ 14 Technische ruimte met motoren en hydraulische groepen en inbouw in de brug

nog een hele uitdaging. Eerst werd de brug van één groot zeewaardig ponton op twee kleinere pontons overgeplaatst door middel van SPMT's. Dit was nodig om de brug over het remmingswerk en het middeneiland te kunnen krijgen (zie fig.16). Geleid via het remmingswerk en via kabels en lieren werd

het geheel voetje voor voetje verplaatst om uiteindelijk met het draaimechanisme boven het middeneiland te komen.

Om de draaikrans perfect op zijn onderplaat te krijgen, zijn er voor de grove positionering eerst vier grote tijdelijke geleidingsstoelen op

het middeneiland verankerd (in donkerblauw, zie fig. 18). Om de uiteindelijke, exacte positionering te verzorgen, zijn er centreerpennen aangebracht op de onderplaat.

↓ 15 De draaibrug op reis van Gent naar Zeebrugge





16 De draaibrug liggend op twee pontons afgemeerd aan het remmingswerk



17 Centreerpen en geleidingsstoelen voor de exacte positionering



18 En zo is het uiteindelijk geworden...