

Nr.3 Jaargang 24
september 2016

Bruggen

Twee bruggen
over de A1

Inhoud



- 4 **Twee bruggen
in het SAA project**



- 6 **De Zandhazenbrug
over de A1 bij knooppunt
Muiderberg**



- 14 **Brug over het
Amsterdam-Rijnkanaal
in het SAA-traject**



- 24 **Restauratie
Gietijzeren brug**



- 30 **Berekening
bewegingsmechanismen**



- 35 **Op weg naar een
realistisch model voor de
levensduur van
bewegingswerken**



- 38 **Gerestaureerde stenen
gewelfbruggen als
Rijksmonument**

COLOFON

De Bruggenstichting is een onafhankelijk kenniscentrum dat zich richt op het vastleggen en uitdragen van kennis over bruggen'

Opgericht 10 april 1992

BESTUUR

Jan de Boer, Fred Westenberg (voorzitter), Cees Heiden, Gert-Jan Luijendijk, Dick Schaafsma, Joris Smits, Theo Schillemans en Leo Wagemans.

RAAD VAN ADVIES

Antea Group, Arup Nederland, DIVV Amsterdam, Haasnoot Bruggen, IV-Infra, Janson Bridging, Mammoet, Mobilis TBI Infra, Movares, ProRail, Rijkswaterstaat, Spanbeton, Vereniging SNS Staalbouw, Ingenieursbureau Westenberg.

BRUGGEN

Het tijdschrift BRUGGEN verschijnt vier maal per jaar.

Abonnement € 37,50 per jaar. Gratis voor begunstigers van de Nederlandse Bruggenstichting.

Losse nummers: € 10,-, te bestellen via NL82 INGB 0000 0589 75

KOPIJ

Ingezonden bijdragen worden alleen in behandeling genomen als zij digitaal worden aangeleverd. Alle bijdragen dienen voorzien te zijn van naam, adres en telefoonnummer van de inzender. Inzendingen kunnen zonder opgave van redenen worden geweigerd.

ADVERTENTIES

Rob Lutke Schipholt (uitgever),
renm-schipholt@planet.nl of 06 53 78 80 29

REDACTIE

Jan Arends, Michel Bakker, Elisabeth van Blankenstein, Fred van Geest, Hein Klooster, Frans Remery, Heico de Lange, Wils van Soldt en Pieter Spits.

REDACTIEADRES

Nederlandse Bruggenstichting, Lange Kleiweg 34,
2288 GK, Rijswijk
Tel: 088 7970727
e-mail: redactie@bruggenstichting.nl

HOOFDREDACTEUR

Fred van Geest, Annaplaats 1, 2713 AK Zoetermeer,
tel: 079 3160168
e-mail: redactie@bruggenstichting.nl

WEBSITE

<http://www.bruggenstichting.nl>

GRAFISCHE VORMGEVING

Ronald Boiten en Irene Mesu, Amersfoort

OMSLAGFOTO VOORZIJDE

De Zandhazenbrug (SAAone)

OMSLAGFOTO ACHTERZIJDE

De Zandhazenbrug (SAAone)

OPLAGE

700

ISSN 1571-4586

FRED WESTENBERG NIEUWE VOORZITTER NEDERLANDSE BRUGGENSTICHTING

Fred Westenberg is gekozen tot voorzitter van de Nederlandse Bruggenstichting.

Hij was al lid van de Raad van Advies. De benoeming is een nieuw voorbeeld van de positie die Ingenieursbureau Westenberg inneemt in de sector. "Wij weten veel van kunstwerken en die kennis delen wij graag. Op die manier dragen wij eraan bij dat huidige en toekomstige professionals hun werk goed kunnen uitoefenen", zegt Westenberg.

Zijn ingenieursbureau groeide in ruim twintig jaar tijd uit tot de kunstwerkspecialist van Nederland. "Ik denk dat wij alle kunstwerken van het land kennen. Jaarlijks inspecteren wij bijvoorbeeld tienduizend bruggen. Wij zien en horen veel. Daarmee spelen wij graag een rol in onze sector. De Bruggenstichting zet zich bijvoorbeeld in voor het behoud van ons cultureel erfgoed en het interesseren van studenten voor

ons vak. Dat vinden wij ook belangrijk."

Westenberg pleit voor meer kennisoverdracht. Hij noemt als voorbeeld de veranderingen bij Rijkswaterstaat. "Vroeger nam deze organisatie het complete traject voor haar rekening: van ontwerp tot beheer en onderhoud van kunstwerken. Tegenwoordig besteedt Rijkswaterstaat alle fases in delen uit. Uitwisseling van informatie tussen alle betrokkenen is daarom heel belangrijk, maar gebeurt te weinig. Daar ligt ook een taak voor de Bruggenstichting." Ingenieursbureau Westenberg zet zich ook elders in voor de sector. Zo zit het bedrijf in de commissie IMBOR (Informatiemodel Beheer Openbare Ruimte). "Die denkt na over de koppeling tussen de BGT (Basisregistratie Grootchalige Topografie) en het beheer en onderhoud. Gemeenten willen weten welke gegevens belangrijk zijn om vast te leggen en

hoe ze die kunnen gebruiken bij het beheer. Daarom is daarvoor een standaard nodig. Die zou ook voor alle beheerssystemen geschikt moeten zijn, zodat gemeenten kunnen switchen van beheerssysteem. Verschillende werkgroepen houden zich daarmee bezig."

Andere werkgroepen en commissies waarin Ingenieursbureau Westenberg is vertegenwoordigd, bespreken de NEN 2767, de CUR-Aanbeveling 117 en de ontwikkeling van de sluisnorm. "Die laatste draagt bij aan meer duidelijkheid over inschrijvingen voor inspecties. Nu is het zo geregeld dat opdrachtgevers en uitvoerders de uitvraag verschillend interpreteren. Het is in ieders belang dat daarover meer helderheid bestaat. Westenberg speelt graag een rol bij dat soort vraagstukken. Omdat ze belangrijk zijn voor de sector en natuurlijk ook voor ons eigen bedrijf."

In memoriam Ben Coelman

Op 28 juni 2016 overleed Ben Coelman op 87 jarige leeftijd.

Eind 1952 kwam Ben in dienst bij de afdeling Werktuigbouw van de Directie Bruggen van Rijkswaterstaat in Den Haag als constructeur voor het ontwerpen van beweegbare constructies. Hij zal wel even hebben moeten wennen: de Directie Bruggen was sterk hiërarchisch georganiseerd en als jong constructeur vond Ben er een goede maar harde leerschool. Hij ontwikkelde zich tot een specialist op het gebied van staalconstructies en beweegbare bruggen. In de Directie Bruggen groeide Ben van constructeur tot groepsleider en in 1964 werd hij chef van de ontwerpafdeling waar hij ooit was aangenomen. Hij bleek een strenge, maar eerlijke baas, een soort vaderfiguur met veel aandacht voor zijn ondergeschikten, en een deskundige, maar niet altijd gemakkelijke collega.



Ben vertegenwoordigde in de afdelingsstaf de bruggenafdelingen en is dit tot zijn pensioen in 1992 blijven doen.

In de bruggenwereld heeft Ben veel werk verzet. Zelf schatte hij dat hij wel bij 150 beweegbare bruggen in Nederland betrokken is geweest, niet altijd als ontwerper, maar ook als adviseur of beoordelaar in het kader van subsidieverlening. Ook na zijn pensionering bleef Ben actief met bruggen bezig. Zo was hij jarenlang voorzitter van een werkgroep die zich bezighield met het opstellen van een nieuwe ontwerpnorm voor beweegbare bruggen. Zijn werk bleef niet onopgemerkt. Want toen in oktober 2001 in een feestelijke setting de norm voor het ontwerp van beweegbare bruggen door Ben werd gepresenteerd, werd hem de 'Van der Eb-Josephus Jitta-medaille' uitgereikt. (Van der Eb was de grote bruggenman en Josephus Jitta de grote sluisman bij Rijkswaterstaat). Het is een zelden uitgereikte onderscheiding en Ben was er terecht trots op.

Vanaf de oprichting van de Nederlandse Bruggenstichting in 1992 is Ben direct een enthousiaste medewerker geworden van de werkgroep 'bruggen van staal'. Ben werkte toen al voor het Centrum 'Bouwen met Staal' aan publicaties over beweegbare bruggen. En de aanleiding tot het oprichten van de Nederlandse Bruggenstichting was het schrijven van een boekenserie over de geschiedenis van de Nederlandse bruggenbouw. Met name aan het derde deel over beweegbare bruggen heeft hij een grote inbreng gehad. Vele boeken, met name over beweegbare bruggen, zijn door hem geschreven of geïnitieerd. Hij heeft zich daarbij gepresenteerd als een zeer kritisch mens, die alles tot in de puntjes verzorgd wilde zien. Door zijn enorme netwerk wist hij ook altijd de nodige sponsors te vinden om de meestal behoorlijk kostbare uitgave van boeken mogelijk te maken. De Bruggenstichting is hem daarvoor veel dank verschuldigd.

De Bruggenstichting wenst zijn familie en vrienden veel sterkte bij het verwerken van dit verlies.

— Hein Klooster

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 Belasting-

dienst erkend als culturele ANBI, wat staat voor Algemeen Nut Beogende Instelling. Van de culturele status is in 2016 om belastingtechnische redenen afgezien. Voor 2016 is de minimumbijdrage voor particulieren € 37,50 (incl. btw) en voor bedrijven en instellingen € 130,- per jaar (excl. btw). Studenten betalen € 10,- (maximaal 2 jaar). U kunt zich aanmelden door het overmaken van de bijdrage op

onze rekening NL82 INGB 0000 0589 75 t.n.v. de Nederlandse Bruggenstichting te Rijswijk. Aanmelden is ook mogelijk via de website www.bruggenstichting.nl > begunstiger worden.





↑ 1 Overzicht project.

TWEE BRUGGEN IN HET SAA PROJECT



↑ 2 Uitbouwagens.



De wegbreiding Schiphol – Amsterdam – Almere, kortweg SAA genoemd, staat voor het grootste wegebouwproject in Nederland van dit moment en de komende jaren. Het is een divers project met wegverbredingen, bruggen, aquaducten, viaducten, tunnels, ecopassages en geluidsschermen. Twee kunstwerken worden in deze uitgave van *BRUGGEN* nader toegelicht, namelijk de vrije uitbouwbrug over het Amsterdam-Rijnkanaal en de spoorbrug Muiderberg, Zandhazenbrug genoemd.

DEELPROJECTEN

Het grote SAA-project bestaat uit vijf onderdelen (zie figuur 1): als eerste het geel gekleurde gedeelte tussen A10 en A1, als tweede het groen gekleurde deel A1/A6 Diemen – Almere Havendreef, als derde het paars gekleurde deel A9 Holendrecht – Diemen, als vierde het blauw gekleurde deel A6 Almere Havendreef – Almere Buiten-Oost en als vijfde het bruin gekleurde deel A9 Badhoevedorp – Holendrecht. Alle vijf delen zijn/worden apart aanbesteed. De geplande uitvoeringstermijn loopt van 2014 tot 2026.

Het gehele werk wordt gekenmerkt door tal van deelprojecten. In dit artikel worden twee kunstwerken uit het tweede project behandeld: de brug over het Amsterdam-Rijnkanaal, uitgevoerd als (vrije) uitbouwbrug en de nieuwe spoorbrug (de Zandhazenbrug) over de A1 in de buurt van verkeersknooppunt Muiderberg, een brug met slechts één overspanning.

Bij de uitbouwmethode voor de *verkeersbrug* is gekozen voor een ter plaatse gestorte variant waarbij de kokervormige moten worden gestort met behulp van een verplaatsbare bekisting met werkvlonders die aan trekstangen wordt opgehangen aan een zogenoemde uitbouwwagen. Deze wagen hangt op zijn beurt aan het reeds gebouwde deel van de constructie (zie foto 2). Bij deze methode wordt vanuit een brugpijler naar beide kanten uitgebouwd, het zogenaamde evenwichtsprincipe.

Bij de *spoorbrug* werd geëist dat deze slechts uit één overspanning mocht bestaan, zodat de onderliggende rijstroken in de toekomst zouden kunnen worden aangepast. Verder mocht het alignement van de spoorlijn niet worden aangetast en de hinder voor het wegverkeer en het treinverkeer tijdens de uitvoering moest tot een minimum worden beperkt. Slechts twee korte buitendienststellingen van het treinverkeer, de ene van maximaal 52 uur en de andere van maximaal 120 uur, waren toegestaan. Omdat de nieuwe brug op de plaats moest komen van de oude brug werd de nieuwe in zijn totaliteit naast het werk gebouwd, evenwijdig aan de verkeersweg, daarna over de autosnelweg getild en dicht naast de oude brug gelegd. Vervolgens werd de oude brug weggehaald en vervangen door de nieuwe brug.

Om aan al deze eisen te voldoen lag tijdens het ontwerpproces de grootste aandacht op een slimme assemblage- en montagemethode. Door het vormen van een integraal ontwerpteam vanaf de start van het project, is het gelukt één van de grootste stalen spoorboogbruggen in Europa te realiseren.

Auteurs: ir. Pieter van Lierop (ontwerpleider SAAone),
ir. Walter Langedijk (hoofdconstructeur SAAone)
en ir. Britte van Kortenhof (constructeur SAAone),
allen werkzaam bij Iv-Infra.

DE ZANDHAZENBRUG OVER DE A1 BIJ KNOOPPUNT MUIDERBERG

Het project SAA – A1/A6 Diemen – Almere Havendreef is onderdeel van de grootschalige verbreding van de corridor Schiphol – Amsterdam – Almere. Sinds een aantal jaar is de opdrachtgever Rijkswaterstaat de snelwegen op dit traject aan het uitbreiden met als doel om de huidige filevorming te minimaliseren. Tegelijkertijd verbetert Rijkswaterstaat de leefbaarheid van het gebied. De werkzaamheden worden uitgevoerd op basis van een DBFM-contract. Dit betekent dat het bouwconsortium SAAone – een combinatie van VolkerInfra, Boskalis, Hochtief en DIF – verantwoordelijk is voor het ontwerp, de bouw, de financiering en het onderhoud. De looptijd van het contract is 30 jaar.



↑ Bestaande spoorviaduct



↑ Bouw van de tijdelijke landhoofden

Onderdeel van het project is de nieuwe spoorbrug over de snelweg A1, in de buurt van verkeersknooppunt Muiderberg. Omdat de A1 op deze locatie zal worden uitgebreid tot 16 rijstroken, moet het bestaande betonnen spoorwegviaduct – dat de weg onder een hoek van 30° kruist – worden vervangen door een nieuwe spoorbrug.

Eén van de belangrijkste eisen voor de nieuwe brug is om deze met één enkele overspanning uit te voeren, waardoor de onderliggende rijstroken in de toekomst kunnen worden aangepast. Daarnaast heeft de spoorbeheerder ProRail gesteld dat het alignment van

de spoorlijn niet mag worden gewijzigd en de hinder van het wegverkeer, alsmede het treinverkeer moet worden teruggebracht tot een minimum tijdens de bouwfase. Zo zijn er slechts twee korte buitendienststellingen van het spoor (van maximaal 52 uur en maximaal 120 uur) en slechts twee keer een afsluiting van de rijweg (voor het verrijden van de spoorbrug maximaal 16 uur en voor het slopen van de oude brug en intrekken van de nieuwe spoorbrug één keer een weekend ernstige hinder: weekendafsluiting in één rijrichting en 8 uur volledige afsluiting andere rijrichting) toegestaan.



↑ Visualisatie van de toekomstige situatie



↑ Assemblage van de brug (inbrengen middendeel boogsectie met strand-jacks)

De aangewezen bouwmethode, zoals bedacht door de opdrachtgever, was een tijdelijke bypass van de spoorlijn parallel aan de bestaande spoorbrug

Om aan deze eisen te kunnen voldoen, lag tijdens het ontwerpproces de focus op een slimme assemblage- en montagemethode. Door het vormen van een integraal ontwerpteam vanaf de start van het project, waarin alle benodigde kennis (m.b.t. constructie, spoor, architectuur, fabricage en geluidsemissie) werd opgenomen, is het gelukt om één van de grootste stalen spoorboogbruggen in Europa te realiseren.

BOUWMETHODE

De aangewezen bouwmethode, zoals bedacht door de opdrachtgever, was een tijdelijke bypass van de spoorlijn parallel aan de bestaande spoorbrug. Zo kan de bestaande brug worden afgebroken en de nieuwe brug direct op de bestaande positie worden gebouwd. Het nadeel van deze methode is het feit dat de treinen gedurende de gehele periode van de bouw met beperkte snelheid moeten rijden, wat leidt tot extra hinder voor het treinverkeer.

Een variantenstudie leidde tot een alternatieve bouwmethode met minder verkeershinder. Daarbij wordt de bestaande brug in bedrijf gehouden, terwijl



↑ Architectonisch ontwerp

de nieuwe brug wordt geassembleerd langs de snelweg en evenwijdig aan de spoorlijn. De brug (ca. 8.500 ton staal, met inbegrip van de wapening en bekisting van het betonnen dek) wordt met behulp van SPMT's in zijn geheel over de snelweg getransporteerd naar een tijdelijke positie parallel aan de huidige brug. Om de nieuwe landhoofden te kunnen bouwen onder de bestaande spoorlijn, moeten tijdelijke hulpbruggen worden geplaatst.

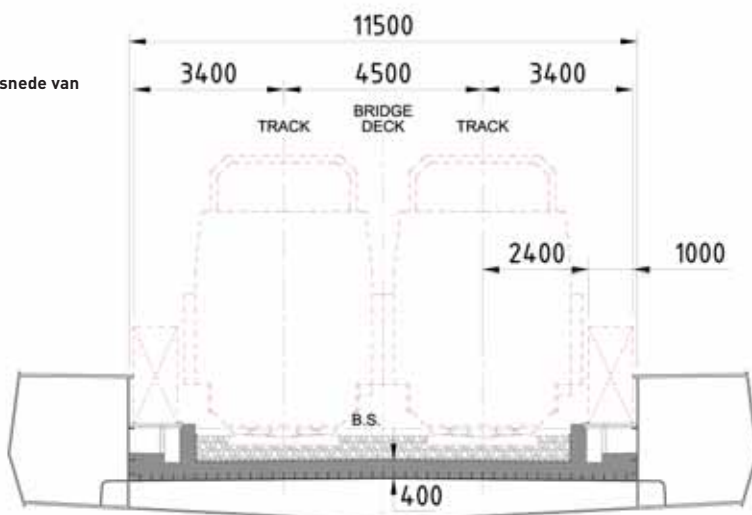
Wanneer de nieuwe stalen brug boven de snelweg is geplaatst, wordt het betonnen dek gestort en worden het ballastbed en alle spoorvoorzieningen aangebracht. In een buitendienststelling van 120 uur wordt de oude

brug gesloopt en de nieuwe brug (met dan een totaal gewicht van ca. 15.200 ton) op een schuifbaan naar zijn definitieve positie verschoven.

Het gevolg van deze bouwmethode is dat de brug een overspanningslengte van minimaal 255 m moet krijgen opdat de landhoofden van de nieuwe brug achter de bestaande landhoofden kunnen worden gebouwd. Vanwege de grote lengte van de brug in combinatie met de vereiste slankheid van de hoofdliggers en bogen, zijn deze vervaardigd uit de staalsoort S460. Hierdoor kon het gewicht van de brug beperkt blijven en was het mogelijk om de brug over de snelweg te transporteren.

De stalen brug is in delen geprefabriceerd in België. Om de verkeershinder zoveel mogelijk te beperken, werd besloten het transport van de prefab delen naar de bouwplaats in de nacht uit te voeren, zonder extra wegafsluitingen. Om dit mogelijk te maken, moest elk brugdeel (hoofdligger- en boogsectie) passen in een envelop van 3 m x 4 m x 20 m en niet meer wegen dan 80 ton. De booggeboortes waren groter dan de envelop en zijn via het water aangevoerd tot de Hollandse Brug en met een speciaal transport naar de bouwplaats gereden.

→ Dwarsdoorsnede van het rijdek





BRUGONTWERP

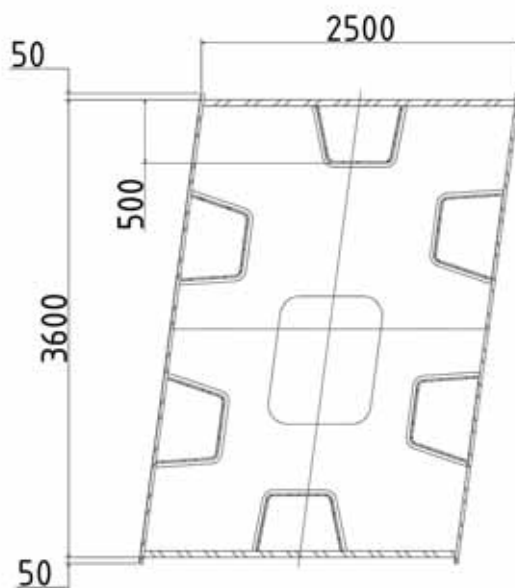
In de tenderfase van het project zijn diverse boog- en hangerconfiguraties van de brug onderzocht. Samen met de architect Zwartz-Jansma en staalbouwer Victor Buyck is gekozen voor een boogbrug met twee parallelle bogen die onder een hoek tegen elkaar leunen en op vier posities met elkaar zijn verbonden. De bogen bepalen het beeld uit de verte, het dek is ondergeschikt. De bogen steken daarom door langs het dek. Een duidelijk onderscheid tussen de kleur van de bogen en het dek versterkt dit beeld.

Vanwege het feit dat de brug zich direct naast een woongebied bevindt, is ervoor gekozen om een dek met minimale geluidsemisatie te maken. Het brugdek bestaat uit stalen dwarsdragers met een betonnen dek, voorzien van een ballastbed.

Omdat de vereiste stijfheid van de brug maatgevend was, leidt een diagonale hangerconfiguratie tot een optimaler ontwerp dan een verticale hangerconfiguratie. Bovendien, het zware gewicht van het dek zelf reduceert de axiale drukkrachten in de diagonale hangers als gevolg van een ongunstige positie van de treinen. De diagonalen bestaan uit buisprofielen en zijn zodanig gedimensioneerd dat deze spanningsloos en zonder na te stellen in de constructie konden worden ingebouwd.

STAALSOORT S460

Zoals eerder aangegeven, was toepassing van de staalsoort S460 voor de hoofdliggers en bogen noodzakelijk. De keuze voor staalsoort S355 in combinatie met de vereiste slankheid van de brug zou leiden tot ontoelaatbare plaatdiktes en een 30% hoger transportgewicht. Volgens de huidige



↑ Doorsnede boog met trogverstijvers.

ontwerprichtlijn van ProRail is het echter niet toegestaan om staalsoorten hoger dan S355 toe te passen. Redenen hiervoor zijn de wens voor het verkrijgen van een robuuster brugontwerp en het beperken van het risico op lasfouten tijdens fabricage- en herstelwerkzaamheden van de brug. Dit laatste heeft geleid tot het gebruik van S355 voor de relatief aanrijdgevoelige dwarsdragers van het dek. In overleg met ProRail is besloten om ten behoeve van een betere lasbaarheid thermomechanisch gewalst staal S460M/ML toe te passen en om tegelijkertijd een aantal strengere eisen te stellen aan de chemische samenstelling en mechanische eigenschappen van het materiaal. Het resultaat was een voor alle partijen acceptabel ontwerp, zowel in technische als economische zin, met een gewichtsbesparing van bijna 30%.

CONSTRUCTIEF ONTWERP

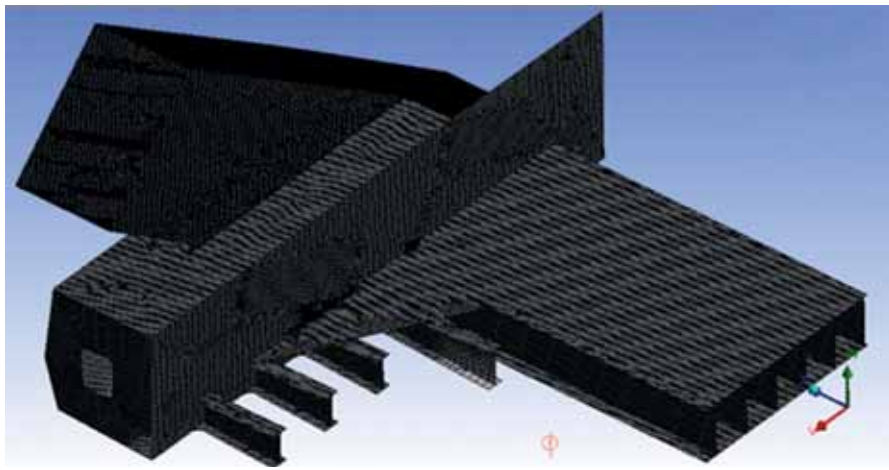
Eén van de meest kritische ontwerpaspecten betreft de lokale en globale stijfheid van de brug, en in het bijzonder de verplaatsingen ter plaatse van de voegovergangen van de brug. Ook het dynamisch gedrag van de brug tijdens een treinpassage was kritisch. Omwille van het verhogen van de stijfheid is gekozen voor het toepassen van diagonale hangers in plaats van verticale hangers, waardoor de boogbrug zich meer als een vakwerklijger gedraagt. Door het beperkte aantal boogkoppelingen zijn tweede-orde effecten voor de dimensionering van de bogen maatgevend. Bovendien is de lokale stabiliteit van de boogdoorsnedes kritisch mede vanwege de kromming van de flenzen. Een studie leidde tot een optimale doorsnede van de boogsecties met een zestal trogverstijvers.

DWARSDOORSNEDE VAN DE BOOG

De booggeboorte is een complex detail, zowel voor het ontwerp als de fabricage. Het ontwerp ervan is volledig geanalyseerd met behulp van een ANSYS FEM-model, waarbij alle plaatdelen en lasverbindingen zijn gecontroleerd op sterkte, stabiliteit en vermoeiing. Tegelijkertijd is de goede bereikbaarheid van alle lasverbindingen onderzocht en zo nodig geoptimaliseerd.

Het profiel van vrije ruimte onder de brug, in combinatie met de eis dat passagiers vanuit de trein over de constructie moesten kunnen kijken, bepaalde de maximale constructiehoogte van de hoofdliggers. De knik in de buitenste lijfplaat is gekozen om de reflectie van het licht te breken, zodat de hoofdlijger slanker oogt en bovendien voor het reduceren van de geluidsemisatie van de brug zorgt.

De binnenste lijfplaat van de hoofdlijger is voorzien van stiftdeuvels om de axiale krachten in de hoofdlijger en het betonnen dek te herverdelen. Omdat toepassing van S460 resulteert in een reductie van de trekstijfheid



↑ FEM-model van de booggeboorte

van de hoofdligger wordt het betonnen dek meer op trek belast. Om te kunnen voldoen aan de toets op scheurwijdte is het noodzakelijk om relatief veel wapening aan te brengen (ca. 600 kg/m³). Ook moet gebruik worden gemaakt van een speciaal soort lichtbeton dat in één keer gestort moet worden.

De dwarsdragers hebben een lengte van 11,5 m en een constructiehoogte die varieert van 650 mm bij aansluiting hoofdligger tot 1000 mm in het midden van de brug. Omdat de totale constructiehoogte van het staalbetonnen brugdek beperkt is door de beschikbare ruimte tussen het spoor en de snelweg, is een hart-op-hart afstand van 1,6 m gekozen om voldoende vermoeiingssterkte te verkrijgen.

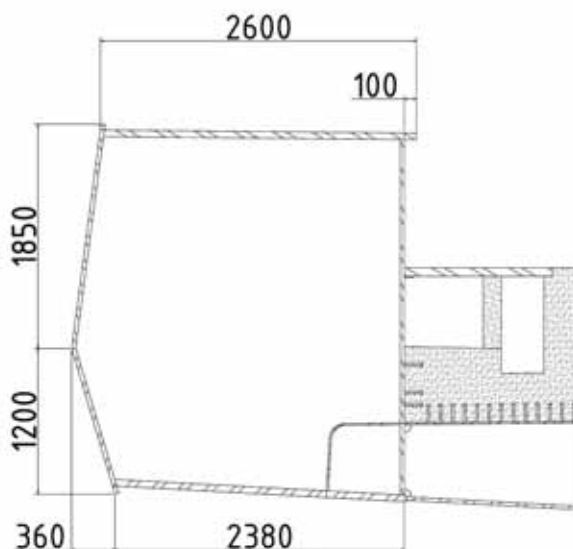
De diagonalen van de brug zijn vervaardigd uit buisprofielen. In tegenstelling tot kabels, hoeven kokerprofielen niet vervangbaar te zijn en hoeven de aansluitingen aan de hoofdliggers en bogen niet toegankelijk te zijn. De diameter van de buisprofielen is

610 mm, benodigd vanwege het feit dat de diagonalen ook op druk kunnen worden belast bij een treinpassage. De diagonalen zijn niet momentvast verbonden aan de bogen en hoofdliggers. Via een schetsplaat, die door openingen in de flenzen van de hoofdliggers en boogsecties zijn gestoken, heeft de diagonaalaansluiting enige rotatievrijheid en is daardoor minder gevoelig voor vermoeiingsspanningen bij treinpassages en windtrillingen. Om de naleving van de luchtdichtheid van de kokers te handhaven, is een relatief dunne flexibele afsluitplaat aangebracht.

WINDDYNAMICA

Bij het ontwerp van de spoorbrug is veel aandacht besteed aan wind- en verkeersdynamica. Voornamelijk vortex-excitatie van de slanke diagonalen werd als één van de grootste (dynamische) risico's geïdentificeerd. Volgens de vortex-theorie kan, wanneer de loslaatfrequentie van de Von Karmanwervels gelijk valt met eigenfrequentie van de diagonaal, deze in trilling komen loodrecht op de windrichting met op den duur vermoeiingsschade tot gevolg.

De kans op trillingen van de diagonalen is sterk afhankelijk van de demping. Door de opdrachtgever was een demping voor de diagonalen van $\delta_s = 0,001$ voorgeschreven. Om de kans op trillingen te verkleinen is daarbij gekozen voor een Scrutongetal (S_c) van de diagonalen groter dan 20. Dit leidde tot een diameter van 610 mm en een wanddikte van 55 mm. Aan de hand van de Eurocode NEN-EN 1991-1-4 is de vortexbelasting berekend en aangebracht op de diagonalen van het ANSYS-plaatmodel, zodat direct de juiste inklemmingsstijfheid, systeemlengte en spanningsverdeling in rekening werden gebracht. De diagonaalaansluitingen zijn daarbij zo ontworpen dat de vermoeiingsspanningen onder de cut-off limit blijven.



↑ Dwarsdoorsnede van de hoofdligger



↑ Dwarsdragers met stiftdeuvels



↑ Aansluiting van de diagonalen

→ Ophangconstructie dempers geïntegreerd met bovenleidingsportalen



↑ Transport over de A1 (mei 2016)



↑ Tijdelijke maatregelen ter voorkoming van trillingen

➤ Afwerken brug boven de A1 (juni 2016)



Aangezien de dempingmaat van de diagonalen onzeker is en er twijfels bestaan over de vortexberekening volgens de Eurocode, zijn extra beheersmaatregelen genomen gedurende het gehele proces, te beginnen in de ontwerpfase. In overleg met ProRail en de architect is besloten om voorzieningen in het ontwerp mee te nemen waaraan, na realisatie van de brug, externe trillingsdempers kunnen worden aangebracht. Door een soort van stalen kapstokken aan te brengen boven op de speciaal ontworpen bovenleidingsportalen, kunnen de viskeuze dempers de diagonalen in alle benodigde richtingen dempen.

Om te bepalen of externe dempingsmaatregelen benodigd zijn, zijn na de assemblage van de staalconstructie metingen verricht om de werkelijke demping van de brug vast te stellen. Na de eerste metingen in december 2015 bleek de demping 15% lager te zijn dan aangenomen ($\delta_s = 0,00085$), met een potentieel risico op trillingen als gevolg. Dit risico werd een paar weken later bevestigd toen twee diagonalen bij een bepaalde windkracht en windrichting hevig begonnen te trillen. Om vermoeiingsschade te voorkomen zijn de diagonalen toen direct met tijdelijke banden afgespannen. Het definitief ontwerp en fabricage van de dempers is inmiddels opgestart.



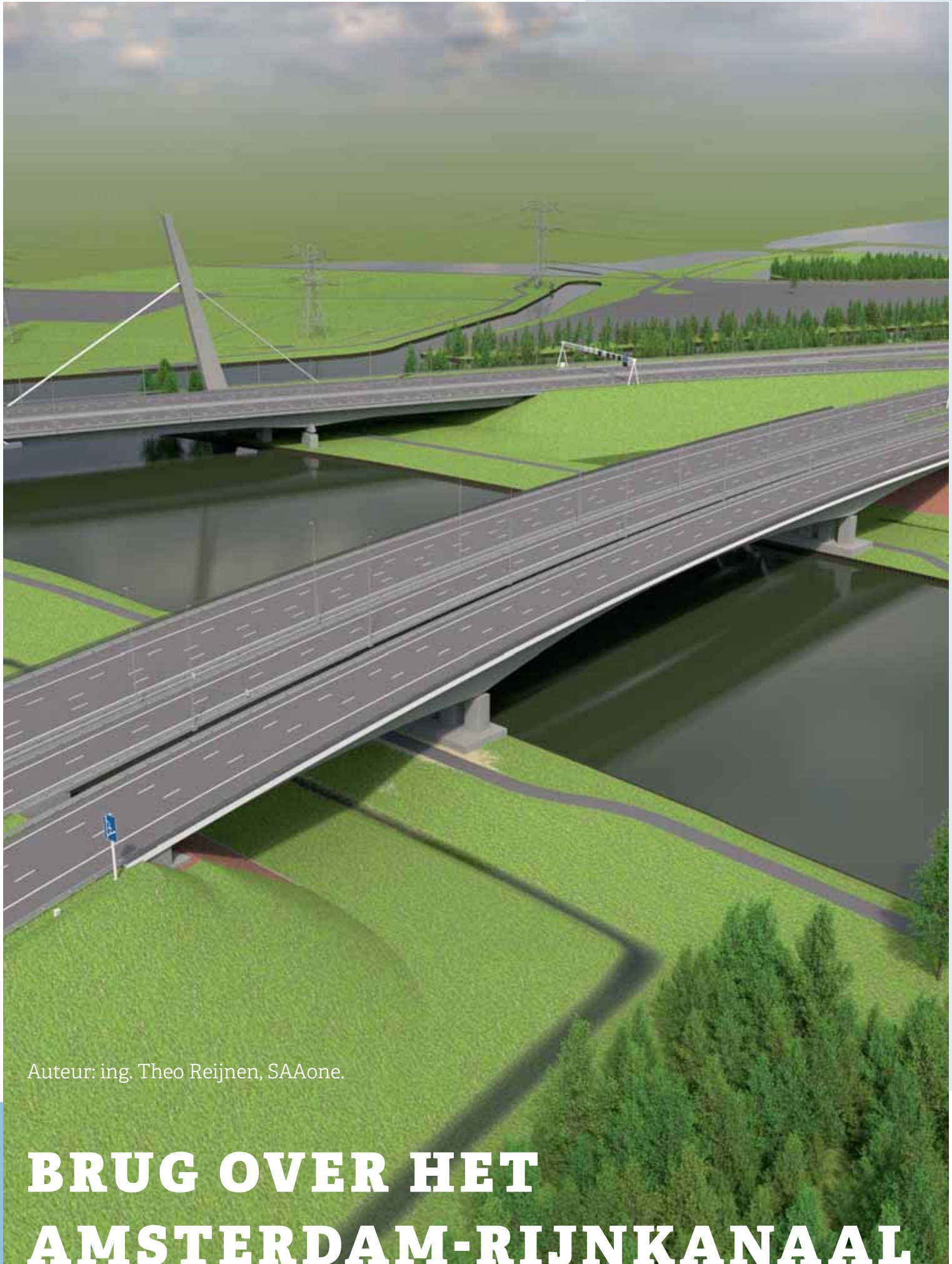


TRANSPORT, AFBOW EN INSCHUIVEN

In de avond van 6 mei 2016 is de stalen brug door SPMT's met in totaal 976 wielen in beweging gebracht. De rit van ongeveer 400 m ging van de bouwplaats schuin de A1 over. Het verplaatsen duurde in totaal circa 6,5 uur, een stuk sneller dan aanvankelijk werd gedacht. Voor de verplaatsing was een speciale rijbaan aangelegd om te voorkomen dat de brug tijdens het verrijden zou verzakken of uit balans zou raken.

Op het moment van schrijven is de afbouw van de brug in volle gang. Terwijl het verkeer onder de brug door reed, is het betonnen dek gestort en zijn het ballastbed, het spoor en de bovenleiding aangebracht. Eind augustus 2016 is de oude spoorbrug gesloopt en de nieuwe spoorbrug op zijn definitieve plek geschoven. Hierna zal de wegverbreding richting knooppunt Muiderberg verder worden volmaakt.





Auteur: ing. Theo Reijnen, SAAone.

BRUG OVER HET AMSTERDAM-RIJNKANAAL IN HET SAA-TRAJEKT

Na 15 jaar zijn er in Nederland weer bruggen volgens de vrije uitbouw-methode gerealiseerd: de nieuwe Waalbrug bij Nijmegen en de brug over het Amsterdam-Rijnkanaal. Was de know-how nog wel aanwezig in Nederland? Door samenwerking met bedrijven als Doka en Duitse aannemingsbedrijven is die uitvoeringskennis weer op het benodigde niveau gebracht. Vooral de ingewikkelde maatvoering verdient veel waardering. De ARK-brug is in het eerste kwartaal van 2016 gereed gekomen.

Voor de begrippen Kokerbrug – Uitbouwbrug – Uitbouw-wagen – Hamerstuk, zie ook www.bruggenlexicon.nl. Dit artikel is een bewerking door de redactie van een artikel dat al eerder verscheen in het vakblad *Betoniek* (2015-4).

← 1 Impressie van de drie bruggen.



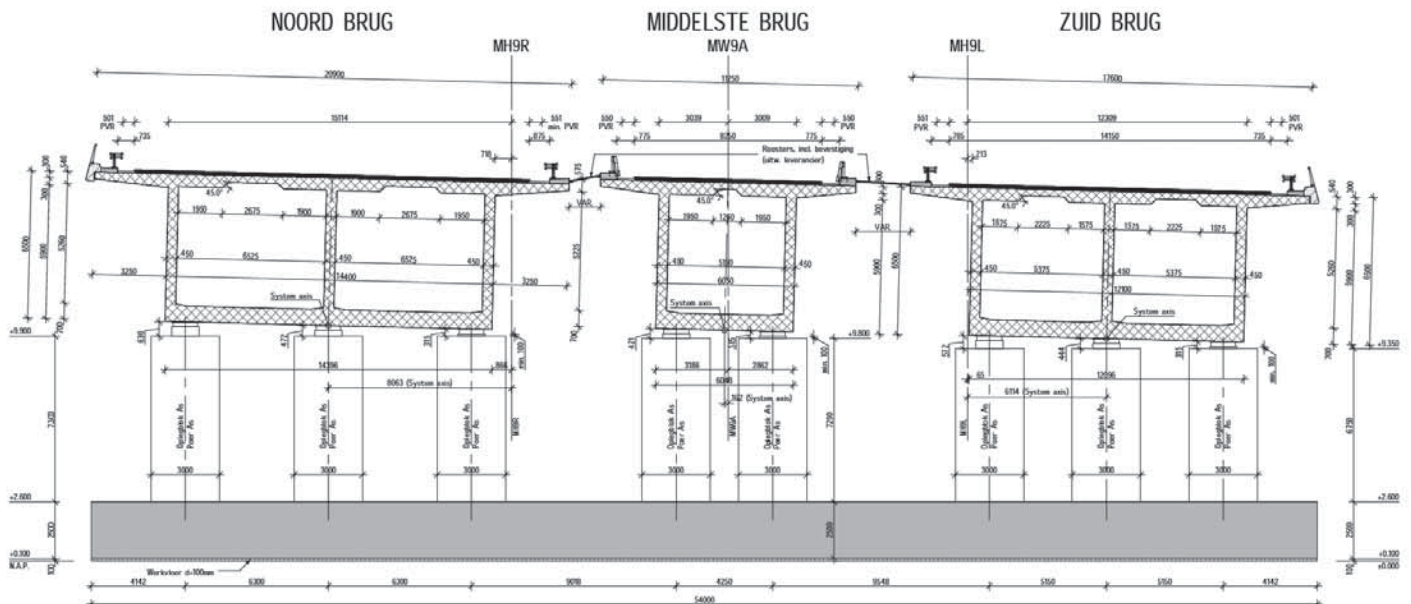
↑ Stort van het sluitstuk van de nieuwe brug.

De nieuwe wegverbinding Schiphol-Amsterdam-Almere (SAA) kruist het Amsterdam-Rijnkanaal iets ten zuiden van de bestaande Muiderbrug (zie fig. 2). De nieuwe brug is onderdeel van de aangepaste verbinding van de A9 naar de A1. Deze aanpassing is noodzakelijk vanwege de verbreding van de A1 en de aanleg van een wisselbaan. De brug bestaat uit twee aanbruggen en een hoofdoverspanning. In feite bestaat de brug uit drie naast elkaar gelegen delen: de zuidelijke brug van 17 m breed, de middelste brug van 11 m breed en de noordelijke brug van 21 m breed (fig. 3). In totaal zijn er negen rijstroken: vier rijstroken voor het verkeer van de A1 naar de A9 (in westelijke richting), drie rijstroken voor het verkeer van de A9 naar de A1 (in oostelijke richting) en een tweestroomswisselbaan.

AMBITIEDOCUMENT

Het project is uitgevoerd door het Consortium SAAone op basis van een DBFM-contract. In het ambitiedocument van de opdrachtgever stond een aantal belangrijke eisen. Zo mocht de nieuwe brug niet de ruimtelijke concurrentie aangaan met de huidige Muiderbrug en moest de brug de ruimtelijke context in zijn waarde laten. Dit betekende onder meer dat een opbouw boven de brug, zoals bij de naastgelegen Muiderbrug (een tuibrug), niet tot de mogelijkheden behoorde. Wel moest de nieuwe brug duidelijk een familielid worden van de Muiderbrug. Hierdoor is de vlakke detaillering van de fietsbrug naast de Muiderbrug overgenomen.

← 2 De ARK-brug (K39) wordt iets ten zuiden van de Muiderbrug gebouwd.



↑ 3 Dwarsdoorsnede bruggen.

Voor het maken van de uiteindelijke keuze is in de tenderfase een matrix van alle voor- en nadelen opgesteld, inclusief de onderhoudstermijn.

Keuze voor brugtype in de tenderfase

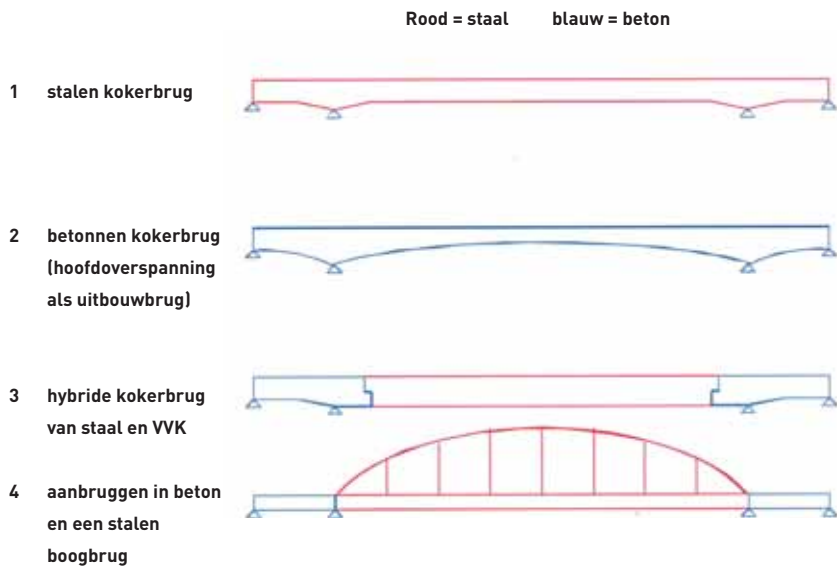
De eisen uit het ambitiedocument, gekoppeld aan de vereiste rijbaanindeling, leverde een aantal mogelijke oplossingen (fig. 4):

- stalen kokerbrug;
- hybride kokerbrug van staal en VVK;
- betonnen kokerbrug (met de hoofdoverspanning in vrije uitbouw);
- aanbruggen in prefab beton en een stalen hoofdoverspanning;
- aanbruggen in situ beton en een stalen hoofdoverspanning;
- aanbruggen in situ beton en een stalen hoofdoverspanning met betondek.



Voor het maken van de uiteindelijke keuze is in de tenderfase een matrix van alle voor- en nadelen opgesteld, waarbij ook de onderhoudstermijn is betrokken.

De conclusie was dat een voorkeur uitging naar drie, naast elkaar liggende, betonnen kokerbruggen. Hiervan zijn de twee buitenste kokers tweecellig en de middelste ééncellig. (fig. 3). Deze oplossing voldoet functioneel, past binnen het ambitiedocument en is het meest economisch. In de tenderfase is gekozen voor een uitvoering met aanbruggen gebouwd op een ondersteuningsconstructie en een hoofdoverspanning in vrije uitbouw. De bouw werd daarbij gerealiseerd door op het einde van de aanbruggen de uitbouwwagens op te bouwen en vanuit daar het gedeelte boven water te realiseren. In deze fase werd uitgegaan van een lengte van de hoofdoverspanning



↑ 4 Onderzochte mogelijkheden in de tenderfase.

van 142 m en twee zijoverspanningen van 45 m. Het ontwerp ging uit van éénzelfde constructiehoogte van 6 m boven de pijlers en over de gehele lengte van de aanbruggen. De constructiehoogte in het midden van de hoofdoverspanning zou 2,75 m bedragen.

Keuze voor brugtype na gunning

LENGTE AANBRUGGEN

Na de gunning in 2012 is de keuze voor het type brug opnieuw beschouwd. De betonnen kokerbrug stond daarbij niet ter discussie, wel de wijze van uitvoering. De architect wilde de parabolische vorm van de onderrand van de hoofdoverspanning terugzien boven het land. Dat wil zeggen dat ook de onderrand van de aanbruggen in hoogte moest verlopen. Verder bleek dat ter plaatse van de landhoofden aan beide zijden een grondverbetering moest worden uitgevoerd tot circa NAP -8 m. De damwand langs het kanaal en de achterliggende dijk aan de westzijde van het kanaal zijn primaire waterkeringen en aan de oostzijde van het kanaal liggen twee hoofdleidingen voor stadsverwarming. Bij de gekozen uitvoering met aanbruggen van 45 m kwamen zowel deze waterkering als de leidingen in het gedrang. Door de aanbruggen langer te maken, zijn deze problemen en risico's vermeden.

UITBOUWEN VANAF DE AANBRUGGEN

De keuze hiervoor betekent dat de landhoofden eerder zouden moeten worden gebouwd. Immers, landhoofden en pijlers moeten dan gereed zijn voordat de aanbruggen kunnen worden gerealiseerd. Dit was niet wenselijk: vanwege de te verwachten zettingen die volgden uit de terpen van 12 tot 14 m ter plaatse van de landhoofden, bepaalde de bouw van de

landhoofden de startdatum van het uitbouwgedeelte. De bouw van de brug kwam daarmee op het kritieke pad van de SAA-projectplanning.

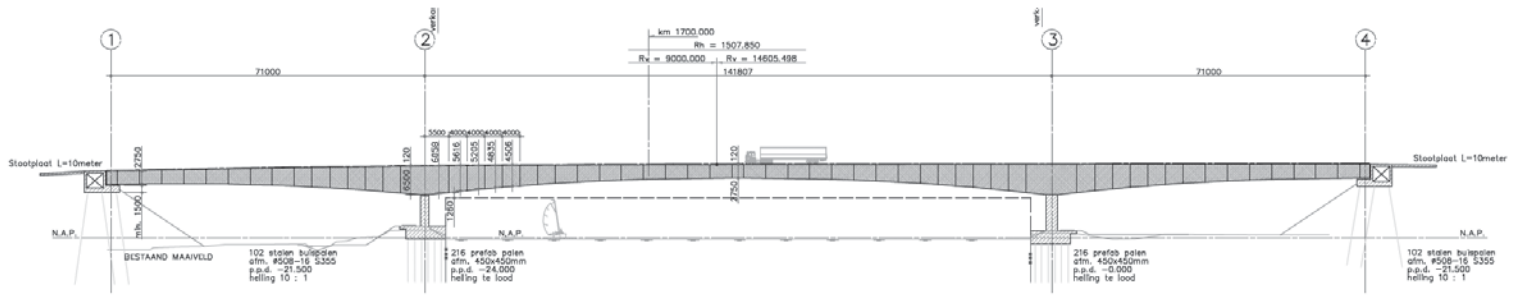
In de voorbereidingsfase, begin 2013, is daarom een aantal alternatieven bekeken. Voor het oplossen van de raakvlakken met de leidingen en de waterkering, was het afdoende de aanbruggen te verlengen van 45 m naar ca. 60 m. Het probleem van de planning bleef daarmee echter bestaan. Om dit op te lossen, is ook de variant met een symmetrische uitbouw vanaf de pijlers beschouwd. Na de eerste, globale technische uitwerking is er een vergelijk gemaakt (in kosten en hoeveelheden beton, wapeningsstaal, voorspanstaal) tussen het ontwerp in de tenderfase en de nieuwe variant. Dit verschil bleek gering. Maar in de nieuwe variant was het wel mogelijk de aanbruggen in hoogte te laten verlopen en was de start van de uitbouw onafhankelijk van de bouw van de landhoofden. Deze landhoofden en aanzetstukken hoefden pas op zijn vroegst gereed te zijn als de uitbouwbrug was gerealiseerd. Hierdoor kreeg de bouw van de brug een veilige tijdsruimte in de totale SAA-projectplanning.

DEFINITIEVE KEUZE

In maart 2013 is definitief de keuze gemaakt de bruggen geheel volgens de uitbouwmethode uit te voeren. De hoofdoverspanning bleef 142 m, de zijoverspanningen werden 71 m (zie fig. 5). De constructiehoogte boven de pijler werd verhoogd tot 6,25 m om in de uitbouwfase onder de uitbouwwagens de minimaal vereiste doorvaarthoogte van 9,30 m te verkrijgen en om met de bovenzijde van de brug binnen de maximale hoogte uit het Tracébesluit te blijven. De constructiehoogte in het midden van de overspanning en ter plaatse van de landhoofden bedraagt 2,75 m. Na de eerste globale berekeningen is vervolgens de betonsterkteklasse vastgesteld op C 70/85. Door de keuze voor hogesterktebeton kon de constructiehoogte worden gerealiseerd. De hiermee verkregen gewichtsreductie biedt voordelen omdat het eigen gewicht een aanzienlijk deel van de belasting uitmaakt. Hierna is het definitieve ontwerp gemaakt, inclusief het vaststellen van de hoeveelheden wapening en voorspanning.

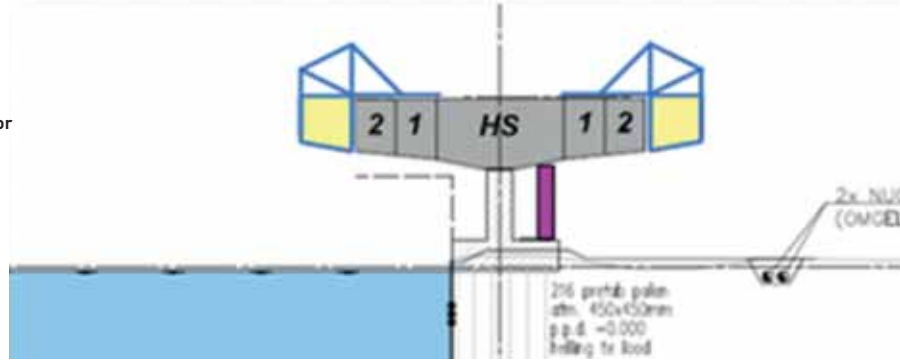
UITWERKING VRIJE UITBOUWMETHODE

Direct na de bepaling van de hoofdmaatvoering is vrij snel de definitieve lengteverdeling van de brug vastgesteld. Op de pijlers aan de weerszijden van het kanaal werd een hamerstuk gerealiseerd van 12,5 m lang, gebaseerd op de minimaal benodigde lengte voor het plaatsen van twee uitbouwwagens (fig. 6). Aan dit hamerstuk werden vervolgens in beide richtingen symmetrisch zeven moten met een lengte van 4 m gebouwd en daarna zeven moten van 5 m (fig. 7). Vanuit elk hamerstuk werd dus in beide richtingen 63 m uitgebouwd. Met een sluitstuk in het midden van 3,5 m kon de brug worden gesloten.

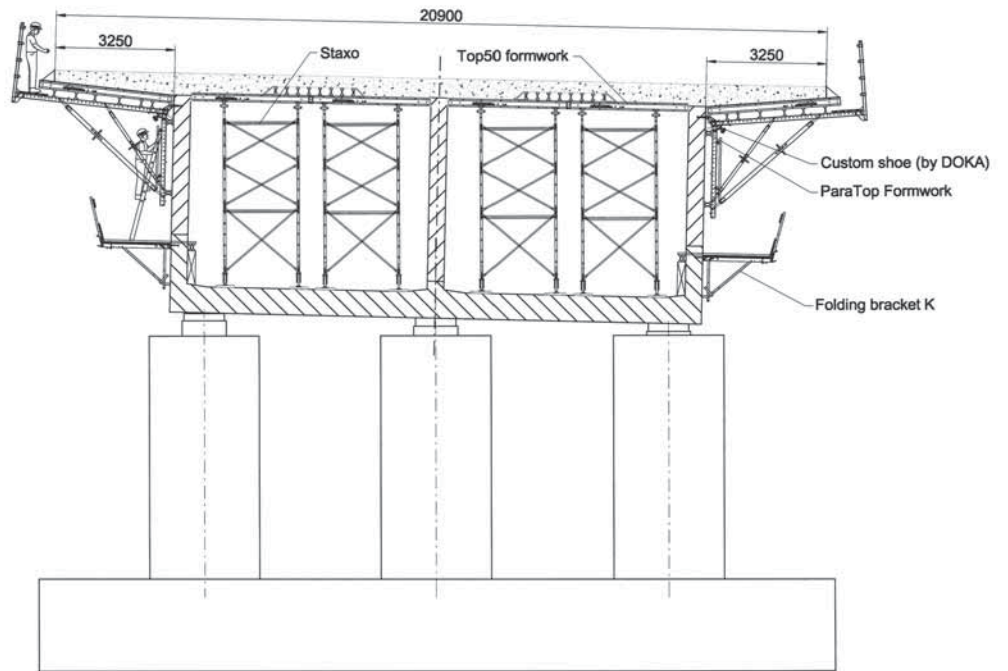


↑ 5 Langsaanzicht brug.

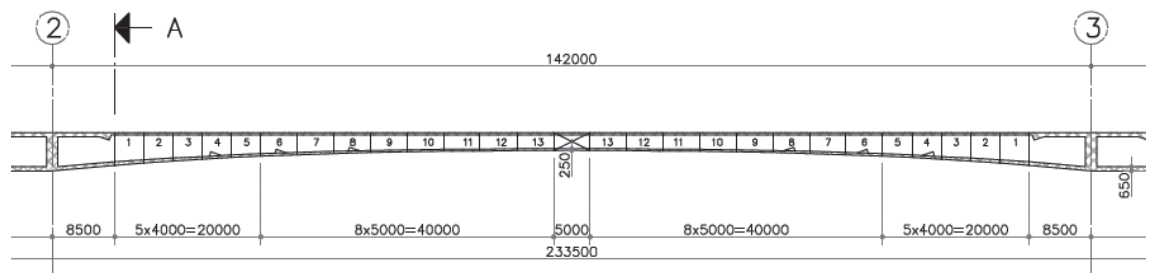
→ 6a Hamerstuk met voldoende lengte voor twee uitbouwwagens.

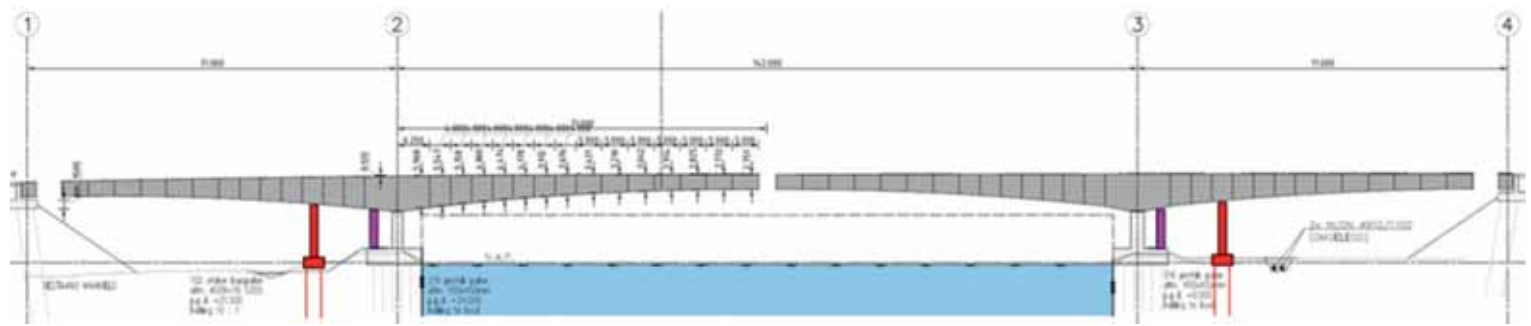


→ 6b Dwarsdoorsnede hamerstuk.



→ 7 Indeling moten.





↑ **8 Trek-druk-constructie naast hamerstuk, vervolgens onder moot 3.**

De keuze voor de evenwichtsconstructie tijdens de uitbouw was complex. Uit het tracé volgde een niet-haakse kruising van de brug met de pijlers. Hierdoor was het niet mogelijk aan beide zijden van de pijler hulpkolommen op de pijlervoet te plaatsen. Hiervoor was er, zeker aan de westkant, te weinig ruimte aan de kanaalzijde. De hulpkolommen zouden veel te dicht onder de pijler komen te staan, waardoor voor het opnemen van het uitkragsingsmoment tijdens de bouw, te grote krachten in de kolommen zouden ontstaan. Er bleef maar één mogelijkheid over en dat was de evenwichtsconstructie enkelzijdig aan de landzijde van de pijler plaatsen (zie fig. 8). Omdat de trekkrachten in deze evenwichtsconstructie na vier uitbouwmoten te groot zou worden, is er een tweede hulpsteunpunt gemaakt onder de derde moot aan de landzijde. Zodra de uitbouwwagens van moot drie naar vier gingen, is de kolom onder moot drie geplaatst en kon de kolom onder het hamerstuk worden verwijderd.

UITBOUWWAGENS

Bij het maken van de planning voor de uitvoering van de brug is de keuze voor het aantal uitbouwwagens uitgebreid beschouwd. Met twee wagens was de planning niet realiseerbaar. De keuze ging daarom over de inzet van vier of zes uitbouwwagens. Het bouwen met vier wagens zou in de cyclus zorgen voor meer regelmaat, het bouwen met zes wagens had duidelijk voordelen voor de totaalplanning. Met beide opties nog open, zijn bij verschillende leveranciers de aanvragen voor de inzet van de wagens gedaan. De opdracht ging uiteindelijk naar Doka, waarbij gekozen is voor de uitvoering met zes wagens (fig. 9). Voor deze keuze gold een aantal redenen. De wagens van Doka kennen een ver doorgevoerde modulaire opbouw (fig. 10). Dit leidt tot een gewichtsbesparing (110 ton in plaats van 140 ton). In de berekening voor de bouwfase hoefde dus ook met minder gewicht te worden gerekend. Verder zijn deze wagens door hun opbouw eenvoudiger aan te passen bij omzetting naar een andere brug. Met de keuze van zes wagens ontstond bovendien 'meer rust' in de totaalplanning. Het halen van een cyclus van zes moten per week legde wel meer druk op de planning, maar dit nadeel woog niet op tegen het voordeel van de snellere uitvoering. Bij de planning is de keuze gemaakt de zuidelijke brug zo snel mogelijk gereed te maken en deze te gebruiken voor de aanvoer van materiaal voor de middelste en noordelijke brug. De uitbouw is daarom verdeeld in

twee fasen. De inzet van de zes wagens zag er als volgt uit:

- Fase 1 uitbouw noordelijke brug vanaf pijler oostzijde (2 wagens); uitbouw zuidelijke brug vanaf pijler oost- en westzijde (4 wagens);
- Fase 2 uitbouw noordelijke brug vanaf pijler westzijde (2 wagens); uitbouw middelste brug vanaf de pijler oostzijde en westzijde (4 wagens).

UITBOUWCYCLUS

Veelal is de planning voor een uitbouwbrug gebaseerd op een weekcyclus. Ook hier is geprobeerd deze cyclus te realiseren, maar dit bleek in de praktijk lastiger dan gedacht. Zoals met elke uitbouwbrug was er sprake van een aanlooperperiode. Daarna was vooral de voortgang van de vlechter bepalend, temeer omdat er heel veel wapening in de brug zat en de vorm van de wapening lastiger was dan anders: de lussen van de wapening verspringen meer en de voorspanverankeringen in de wanden zijn lastig uit te voeren. Bij het uitbouwen is het helaas niet een kwestie van het inzetten van extra vlechters: hier is simpelweg de ruimte niet voor! Men staat elkaar dan meer in de weg, waardoor het eerder vertragend dan versnellend werkt.

Na de aanlooperperiode zag de principe uitbouwplanning er als volgt uit:

- Dag 1 ontkisten spankoppen; spannen langs-/dwarsvoorspanning; verder ontkisten; verschuiven railbalken; vrijrijden wagens; 1^e wagen vooruit verplaatsen en afstellen, kopschotten plaatsen.
- Dag 2 start vlechtwerk 1^e wagen; 2^e wagen vooruit verplaatsen en afstellen; kopschotten plaatsen; bij 1^e wagen binnenbekisting naar buiten plaatsen;
- Dag 3 start vlechtwerk 2^e wagen; bij 1^e wagen start vlechtwerk dek; aanbrengen voorspanankers en omhullingsbuizen; aan het einde van de dag binnenbekisting 2^e wagen naar buiten brengen;
- Dag 4 start vlechtwerk 2^e wagen; aanbrengen voorspanankers en omhullingsbuizen; vlechten bovennet dek 1^e en 2^e wagen; schoonmaken 1^e wagen;
- Dag 5 schoonmaken 2^e wagen; nalopen alle verankeringen van uitbouwwagens; stortgereed maken; storten en afwerken beton; nabehandeling en afdekken met isolatiedekens.



↑ 9 Er is gewerkt met zes uitbouwwagens.

Deze planning lijkt op het eerste gezicht realiseerbaar. Maar het gaat om grote hoeveelheden: bij de eerste, grote moten is in drie dagen tijd 22 ton wapening per moot verwerkt! Afhankelijk van bijvoorbeeld extra spankoken, hoeveelheid wapening en de weersomstandigheden, was op sommige momenten aanpassing nodig en moest er op zaterdag en een

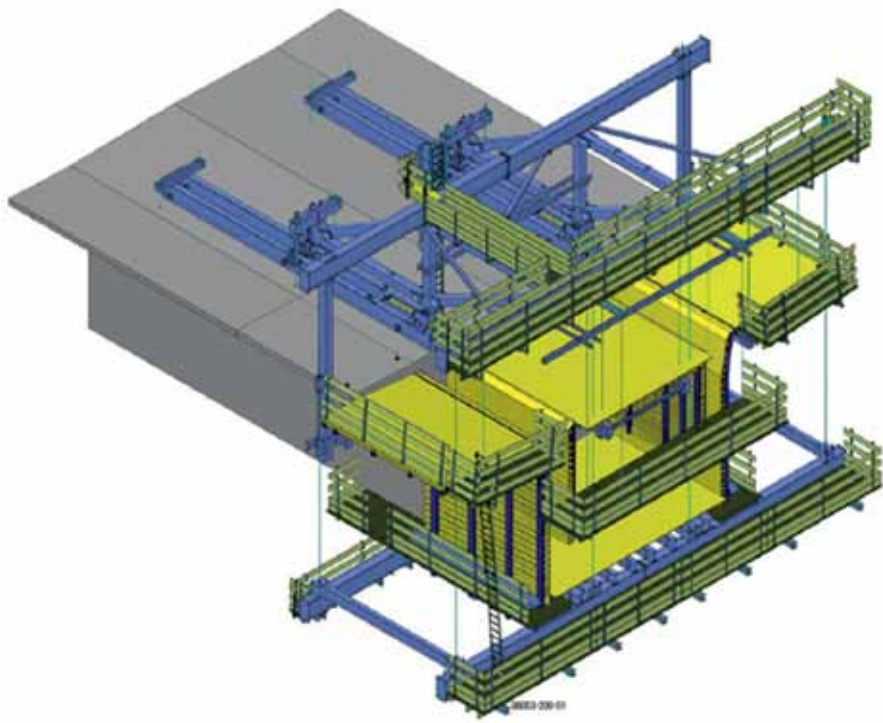
enkele keer zelfs op zondag worden gewerkt. Zo konden bijvoorbeeld bij windkracht 5-6 de torenkranen niet meer draaien en stagneerde de aanvoer van materiaal. Vanwege de steeds wijzigende doornede, wijzigen de werkomstandigheden ook voortdurend en daarmee ontstond ook druk op de planning. Omdat de eerste moot 6,25 m hoog is, moesten voor alle wanden



vlechtsteigers worden gebouwd en weer afgebroken. Vanaf moot 10 wordt de hoogte steeds krappere en was het onder de bekisting van het dek een beetje 'kruip door, sluip door'. Verder gold dat waar spannkoppen komen voor de continuïteitsvoorspanning, de binnenbekistingen voor de wanden moesten worden ingekort. Een moot verder werden ze weer verlengd.

'RUST IN DE TENT'

Het realiseren van een planning is een verdiensde van de samenwerking tussen verschillende disciplines. Bij een uitbouwbrug is 'LEAN-plannen' een absolute must en moeten de medewerkers van de verschillende bedrijven het op de werkvloer echt samen doen. Bovendien is 'rust in de tent' essentieel. Dankzij de inzet van de medewerkers van Van Noordenne (vlechters), DSI (voorspanning) en SAAone zijn de werkzaamheden in zeer goede harmonie verlopen.



↑ 10 Uitbouwwagen.

MAATVOERING

Bij het ontwerp van een uitbouwbrug zijn de bepaling van de definitieve hoogtelijn en het proces om deze lijn te bereiken, uitermate belangrijk. Krimp en kruip van het beton spelen hierbij een grote rol. Tijdens de bouw verandert de hoogteligging van de gerealiseerde moten voortdurend. De maatvoering is dan ook een essentieel onderdeel van het proces. Voor deze brug was de maatvoering extra complex. In tegenstelling tot nagenoeg alle andere uitbouwbruggen in Nederland, is deze brug horizontaal gebogen met voor elk van de drie afzonderlijke bruggen ook nog eens een afwijkende straal. Daar komt nog bij dat de wanden van het dek onder een hoek staan. Dit alles leidt ertoe dat niet alleen de hoogte, maar ook de horizontale positie van de constructie goed moet kloppen. Om dit doel te bereiken is er tijdens de realisatie van de brug permanent een maatvoeringsteam aanwezig.

Voor de maatvoering van de brug zijn bij de start enkele basispunten uitgezet met GPS. Vervolgens is de maatvoering uitgevoerd met een 'total station': een instrument dat aan de hand van een 3D-maatraster een bouwdeel voortdurend kan positioneren. Voor elk meetpunt is naast de horizontale x- en y-maatvoering ook de overhoogte in verticale z-richting in de bouwfase berekend. Hierbij zijn de temperatuursinvloeden, doorbuiging van de bekisting en zetting van de uitbouwwagen meegenomen. Daarbij werd voor de eerste maatvoering gebruik gemaakt van een 'total station', terwijl de exacte hoogtemaatvoering met een elektronisch waterpasinstrument geschiedde. Voor de hoogtemaatvoering is een referentiepunt op het hamerstuk gebruikt. De maatvoering van dit referentiepunt ten opzichte van de meetgrondslag is continu gemonitord.

Aan de hand van deze gegevens is de bekisting voor elke nieuwe moot afgesteld en zijn de kopschotten op de juiste plaats gemonteerd. Na het verrijden van de uitbouwwagen is de bekisting op de juiste maatvoering afgesteld. Dit is gecontroleerd direct vóór en na het storten van de betonspecie. De verkregen controlegegevens zijn meegenomen bij de bepaling van de maatvoering voor de volgende moot. In totaal zijn er per moot 8 à 10 essentiële punten gemaatvoerd. Na het storten van een moot zijn boven in het dek drie bouten geplaatst en ingemeten. Deze zijn gebruikt om tijdens de bouw de maatvoering van de totale brug te kunnen bewaken. Direct na het sluiten van een brug en het aanbrengen van de continuïteitsvoorspanning (fig. 11) wordt de brug opnieuw ingemeten, in een raster van circa 3 bij 3 meter. De verkregen maatvoering wordt vergeleken met het oorspronkelijke, theoretische model. Hiermee wordt vastgesteld in hoeverre de schampkanten, randelementen en de hoogte van het asfalt alsnog moeten worden aangepast. Daarna wordt de maatvoering voor de prefab randelementen uitgezet en kan de afbouw verder worden gerealiseerd.

Zoals eerder aangegeven, is er tijdens de bouw permanent een maatvoeringploeg aanwezig geweest. Steekproefsgewijs zijn de maatvoeringen nog gecontroleerd door een derde partij. Het maatvoeren en consequent controleren, vraagt met het bouwen met zes wagens tegelijk nogal wat inzet. Deze inzet heeft zijn waarde echter bewezen: de zuidelijke brug is in juni 2015 zonder noemenswaardige correctie gesloten. Ook de noordelijke en middelste brug hebben de theoretische lijn keurig gevolgd en zijn probleemloos tot één geheel gemaakt.



BETONTECHNOLOGISCHE ASPECTEN VAN EEN VRIJE UITBOUWBRUG

Er worden nogal wat eisen gesteld aan het beton dat voor vrije uitbouwbruggen moet worden toegepast. Uiteraard dient de vereiste sterkte-, milieu- en uitvoeringsklasse worden vastgesteld. Ook de eis van een 100-jarige levensduur kent zo zijn voorwaarden ten aanzien van het initieel chloride-gehalte en de gewenste doozout- en vorstresistentie van bindmiddeltype, toeslagmateriaal en hulpstoffen. Thermische en hygrische scheurvormingsrisico's worden bepaald.

← 11 Aanbrengen continuïteitsvoorspanning in de koker.



↓ 12 Bouwfase uit 2015.

In de projectgebonden mengselcodelijst staan voor alle toe te passen betonsoorten in een project uitgebreide prestatiecriteria aangegeven. Te denken valt aan E-moduli en autogene krimp- en kruipcoëfficiënten. De verwerkbaarheid van de betonspecie is een essentiële eigenschap: de specie moet tenminste 45 minuten verpompbaar zijn, onder alle weersomstandigheden en ook verwerkbaar zijn bij alle wapeningsdichtheden. Bij aflevering is altijd op locatie een controle op de verwerkbaarheid uitgevoerd. Ten behoeve van het ontkisten en voorspannen zijn eisen geformuleerd rond de vereiste druk- en slijtsterkteniveaus na 24 en 48 uur. Daarnaast moeten esthetische aspecten, zoals uniformiteit van kleur en textuur worden geformuleerd en bewaakt, waardoor sommige moten later ontkist zijn dan strikt nodig was.

Het monitoren van het verhardingsproces met rijpheidscomputers en thermokoppels is een belangrijke maatregel om het tijdstip van ontkisten en voorspannen te bepalen, om de prestatie van de betonmengsels te kunnen volgen, en om eventueel te isoleren, te koelen of op te warmen. Door het volgen de temperatuursontwikkeling in de tijd kan ook de scheurgevoeligheid van onderdelen worden voorspeld. Al met al hogeschool-betontechnologie, waarin dit project, en in het algemeen Nederland, hoog scoort.



Burggraaf Vilain IX op het landhoofd van de hangbrug omstreeks 1914.

Archief kasteel Wissekerke



RESTAURATIE GIETIJZEREN BRUG

Restauratie smeedijzeren kettinghangbrug uit 1824 voltooid

Auterus: Ine Wouters & Michael de Bouw,
Architectural Engineering Lab,
Vrije Universiteit Brussel





Inhoudiging van de gerestaureerde brug
Foto: Ine Wouters

Het kasteelbrugje dat in 1824 door ingenieur Vifquain in België gebouwd werd, is vandaag de oudste bestaande smeedijzeren kettinghangbrug op het Europese vasteland. Na haar bescherming in 1981 werd ze gerestaureerd en in 2012 terug voor het publiek opengesteld.

De waterburcht Wissekerke, gelegen in het dorp Kruibeke-Bazel ten zuiden van Antwerpen, werd in het begin van de 19^{de} eeuw opgesmukt met een sierbrug op het moment dat de kasteelheer Vilain XIV een Engelse tuin aanlegde. De sierbrug werd ontworpen door de Brusselse ingenieur J.B. Vifquain (1789-1854). Voor hem was dit een nevenproject want deze ingenieur, die sinds 1814 werkte voor de dienst Waterstaat, spitste zich toe op kanalen, wateren en bossen en zou later beschouwd worden als één van de belangrijkste vernieuwers in dit domein. In 1825 kreeg hij de titel 'hoofdingenieur 1^{ste} klasse door Koninklijk Besluit'.

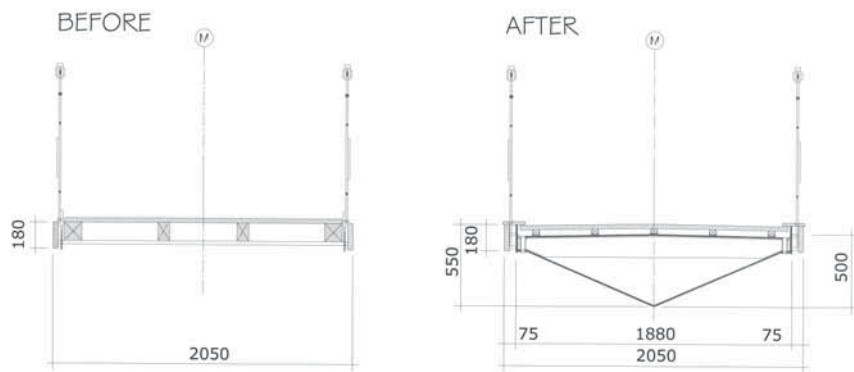
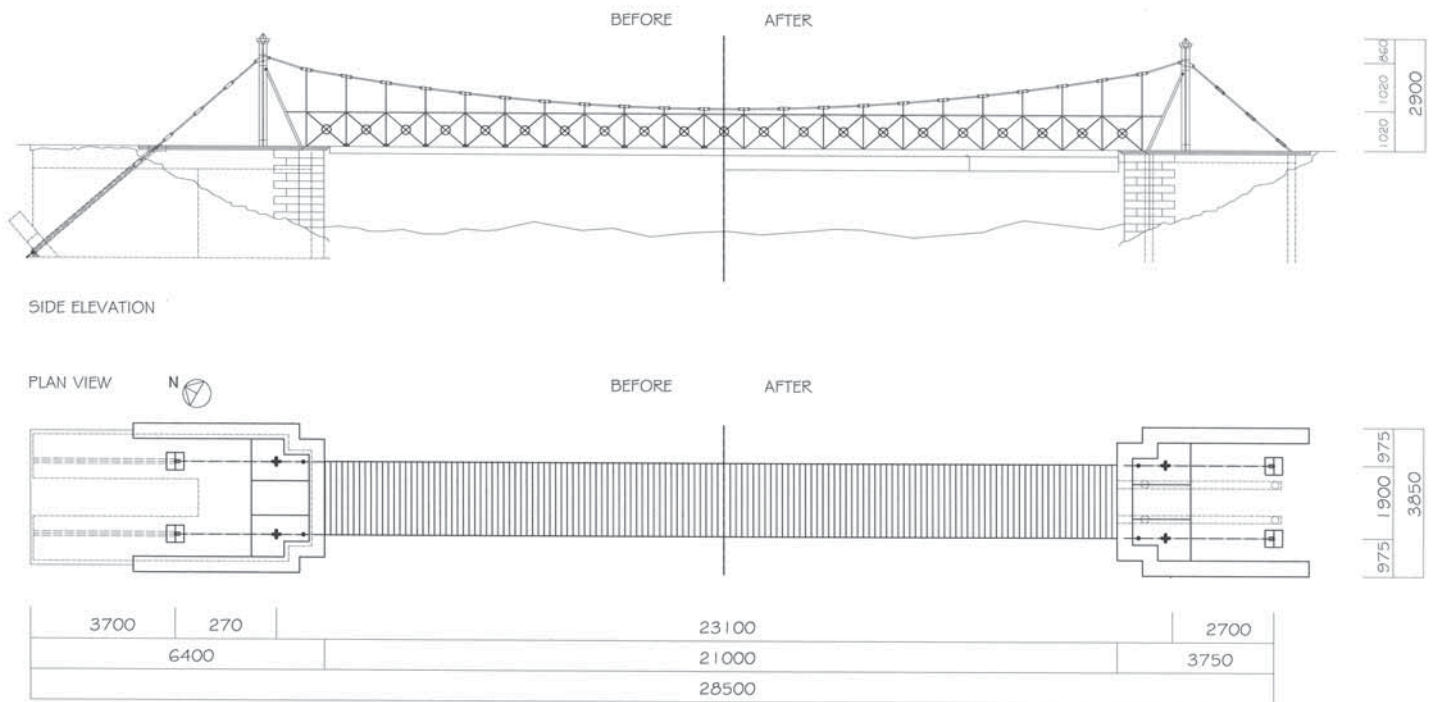
KLEIN IN OVERSPANNING, TOCH GROOTS

De privé voetgangersbrug die Vifquain ontwierp was geïnspireerd op de hangbruggen die op dat moment in Engeland gebouwd werden: een hangketting, opgebouwd uit oogstaven, wordt tussen twee gietijzeren kolommen gespannen en het brugdek wordt eraan opgehangen. De andere in gebruik zijnde techniek was die van de gevlochten kabel die vooral in Frankrijk en in Amerika gebruikt werd. De meeste bruggen uit die tijd zijn ondertussen verwoest door de

Opdrachtgevend bestuur	Gemeentebestuur Kruibeke
Subsidiërende overheid	Vlaamse Gemeenschap en Provincie Oost-Vlaanderen
Adviserende partij	Vrije Universiteit Brussel
Stabiliteit	Ney & Partners
Hoofdaannemer	Herbosch-Kiere
Kostprijs der werken	295.000 euro (excl. BTW)
Bouwjaar	1824 + 2012

← Gerestaureerde kasteelbrug.

Foto: Ine Wouters



↑ Aanzicht en plan van de oorspronkelijke (linker deel) en gerestaureerde brug met nieuwe koker (rechter deel).

← Dwarsdoorsnede van het oorspronkelijke houten brugdek (linker deel) en van de nieuwe brugkoker met houten bekleding tussen de historische hangkettingen (rechter deel).

stroming, gebombardeerd of afgebroken. En zo is de brug in Kruibeke-Bazel tegenwoordig de oudst nog bestaande hangbrug met smeedijzeren kettingen op het Europese vasteland. Enkel in Engeland zijn er nog enkele oudere exemplaren: de Union Chain Bridge, met een overspanning van 137 m, die in 1820 ontworpen werd door Samuel Brown is wereldst oudste nog in gebruik zijnde kettinghangbrug.

In 1981 wordt de brug onder besluit nr. 1646 beschermd door de Koninklijke Commissie van Monumenten en Landschappen omwille van zijn industrieel-archeologische waarde. In de jaren 1990 wordt de brug gesloten voor het publiek. In 2006 koopt de gemeente Kruibeke-Bazel het park en de brug aan (het kasteel was al in haar bezit) en onderneemt stappen om deze te restaureren, onder leiding van architect Marc Lauwers. De Vrije Universiteit Brussel, Vakgroep Architectonische Ingenieurswetenschappen, wordt aangesteld om de restauratie te begeleiden. In 2007 worden door hen verschillende restauratieopties

voorgesteld en in 2008 wordt ingenieursbureau Ney & Partners aangesteld voor de uitwerking ervan. Na een openbare aanbesteding wordt aannemer Herbosch-Kiere (Eiffage) aangeduid en in 2011 gaan de werken van start. Op 27 mei 2012 wordt de brug feestelijk geopend.

VERZOENING OUD EN NIEUW

Hoewel materiaalproeven van het historisch smeedijzer aantoonde dat het om een sterk smeedijzer ging, was de draagcapaciteit van de oorspronkelijke private kasteelbrug tien maal kleiner dan de eisen die tegenwoordig gesteld worden aan een openbare voetgangersbrug, gelegen in een publiek park. Gezien versteviging van de draagstructuur aanleiding zou geven tot drastische veranderingen en gezien het houten brugdek en de onderstructuur in het verleden al vervangen waren, werd beslist om een nieuwe brug tussen de oorspronkelijke hangers van de historische brug te plaatsen. Zo kon voldaan worden aan zowel het



↑ Rechten van gebogen elementen.
Foto's: Ine Wouters



↑ De historische brug wordt naar de oever verplaatst.

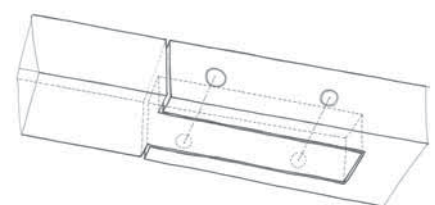


↑ Vier micropalen in het uitgegraven landhoofd.



↑ De historische ankerstaaf is omwikkeld met in bitumen geïmpregneerde stof.

→ Verbindingsdetail smeedijzeren handrail wordt zichtbaar na stralen

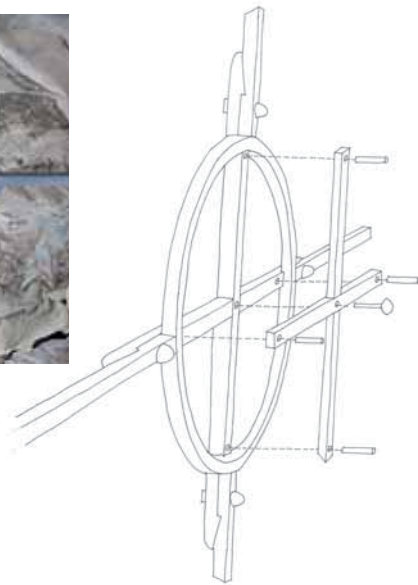






↑→ **Verbindingsdetails van de smeedijzeren leuning worden zichtbaar na stralen**

Foto: Ine Wouters



↑ **Telmerk '14' is aangebracht op oogstaaf en kettingschakel**

Foto: Ine Wouters

← **Afwerking houten vloer op de nieuwe brugkoker**

Foto: Michael de Bouw

behoud van alle historische elementen als het verhogen van het draagvermogen. Om de historische hangbrug tot zijn recht te laten komen, moet de nieuwe brug zo slank mogelijk uitgevoerd worden. Indien de nieuwe kokerbrug tussen de twee landhoofden opgelegd wordt, en dus 21 meter overspant, wordt de brugkoker te hoog in vergelijking met het oorspronkelijke brugdek. Daarom veranderde Ney & Partners het structureel concept. Ze deelden het brugdek op in drie delen, waarvan de twee uiterste delen, elk 5 meter lang, ingeklemd werden in het landhoofd aan de hand van twee gelaste HEM-liggers. Deze liggers worden ingebetonneerd in een funderingsmassief dat via 4 micropalen verankerd zit in de ondergrond. Anderzijds is er het centrale deel, 11 meter lang, dat via twee ronde inox staven glijdend verbonden wordt tussen elk van de vaste delen. Aan beide zijden van het vaste brugdek is een uitzettingsvoeg van 10 mm voorzien. De doorsnede van de koker is driehoekig: het middelste punt is 500 mm hoog en verkleint naar de zijden van de brug tot 180 mm, de hoogte van het oorspronkelijke brugdek. De vorm van de koker en de manier waarop de krachten overgedragen worden naar de oevers, zorgen ervoor dat de koker extreem slank is voor zijn overspanning. Ook de kleurkeuze draagt bij tot het belichten van de historische brug. Hoewel de brug de laatste jaren volledig in het wit geschilderd was, is er bij de restauratie voor de oorspronkelijke kleuren gekozen: groen en blauw. En door de nieuwe kokerbrug in een grijs tint te schilderen, verdwijnt ze als het ware in haar eigen schaduw.

UITVOERING

Tijdens de restauratiewerken werd de smeedijzeren hangketting losgemaakt van de gietijzeren portieken en naar de oever verplaatst, waar ze verder behandeld werd: stralen van de brug, rechten van gebogen elementen, toevoegen van ontbrekende elementen en tot slot aanbrengen van de beschermende coating. De gietijzeren elementen werden naar het atelier van de aannemer gebracht en daar gereinigd, hersteld en gecoat. Ondertussen werden de micropalen geboord, de landhoofden hersteld en werd het nieuwe brugdek

geplaatst. Vervolgens werden de gietijzeren portieken terug geplaatst en de historische brug terug van de oever naar zijn oorspronkelijke positie gehesen.

OUDE DETAILS, TIJDELIJK ZICHTBAAR

Hoewel er tijdens het vooronderzoek veel aandacht ging naar de verbindingen tussen de afzonderlijke elementen, bleven verschillende vragen onbeantwoord, omdat de opeenvolgende verflagen en de roest de detaillering verborg. Bij het loskoppelen van de historische brug van de gietijzeren portieken werden de boutverbindingen voor het eerst zichtbaar. Ook het zandstralen van de smeedijzeren elementen legde nieuwe details bloot. Zo werd plots zichtbaar dat de staven van de handleuning uit kortere staven bestonden die aan elkaar verbonden waren met metalen pinnen, geïnspireerd op houtverbindingen. Daarnaast werden er ook merktekens op de brugdelen ontdekt, die vergelijkbaar zijn met de telmerken die gebruikt worden bij houtconstructies. Deze merktekens worden aangebracht in het metaalatelier waar de smeedijzeren elementen van de brug gemaakt worden en in elkaar gepast. Voor hun demontage worden ze gemerkt zodat de constructie op de uiteindelijke site weer gemakkelijk in elkaar gezet kan worden. We treffen zowel Romeinse cijfers (I, V, X), Arabische cijfers (0,1, ...9) en speciale tekens aan. Een ander belangrijk constructiedetail dat tijdens de renovatiewerken aan het licht kwam, is de opbouw van de fundering. In die periode werd de trekstaaf in de ondergrond verankerd door in de ondergrond een zwaar tegengewicht te voorzien. Voor deze brug werd het landhoofd in baksteen uitgevoerd en werd de massa van dit landhoofd als tegengewicht gebruikt. Deze verankering was nog in zeer goede staat. De smeedijzeren ankers waren beschermd door ze te omwikkelen in een doek dat in een bitumenachtige pasta was gedrenkt. Na bijna tweehonderd jaar bleek deze bescherming nog steeds zijn taak te vervullen.



↑ **De gerestaureerde brug is geschilderd in zijn oorspronkelijke kleuren**

Foto: Ine Wouters



BEREKENING BEWEGINGS- MECHANISMEN

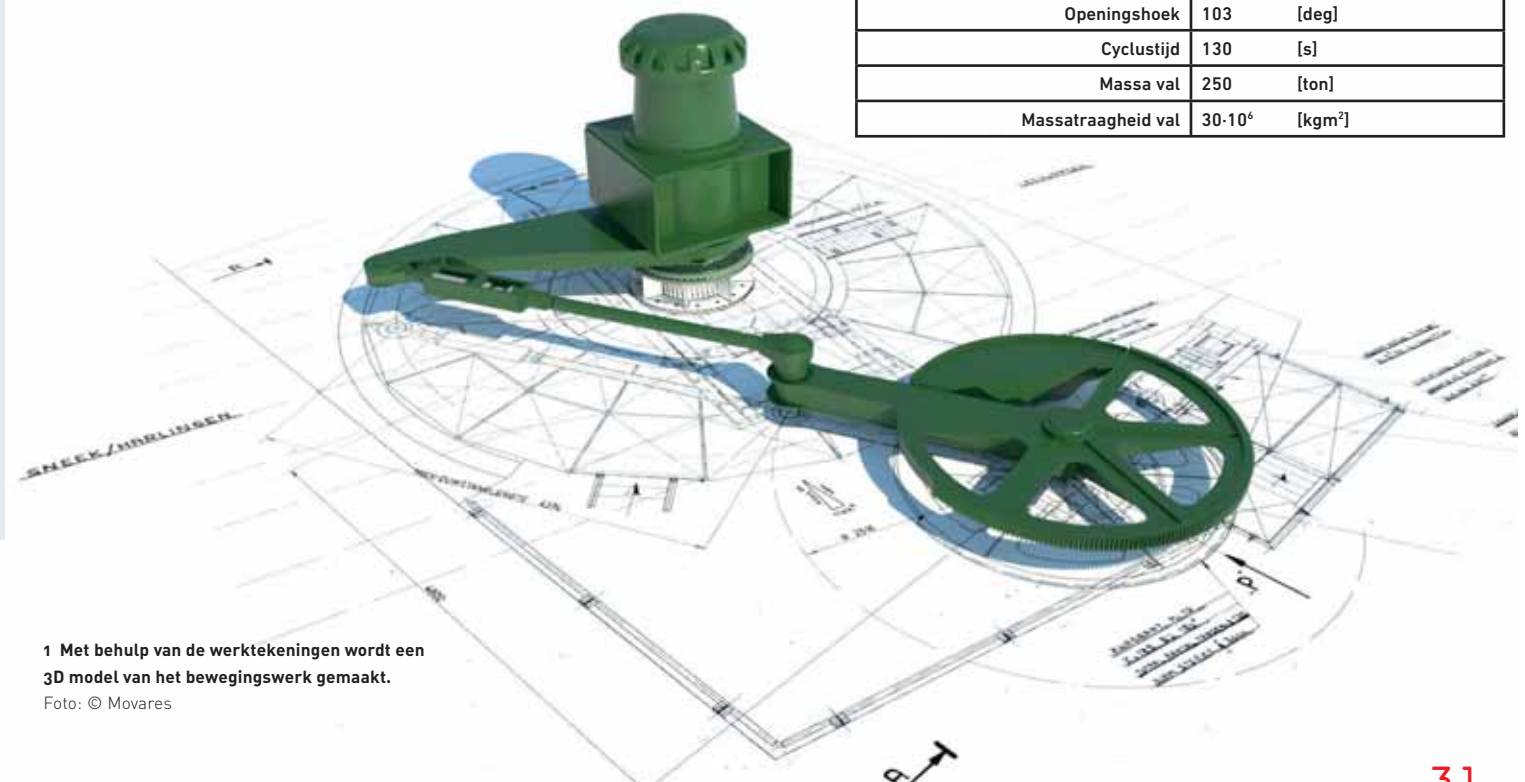
Auteur: ir. B.G. (Bob) Bijlsma, constructeur, Movares Nederland B.V.

In het maartnummer van *BRUGGEN* is aandacht besteed aan het herberekenen van beweegbare bruggen, waarbij op een empirische wijze een stappenplan is ontwikkeld om deze herberekening uit te voeren. Sindsdien houdt dit onderwerp de gemoederen bezig: Movares heeft een onderzoek op brugbewegingsmechanismen uitgevoerd, waarbij gebruik is gemaakt van dynamische simulaties en waarbij de verkregen resultaten vergeleken zijn met de belastingen, die zijn berekend met NEN 6786. De Antea Groep pakt het fundamenteel aan en kondigt een wetenschappelijk onderzoek aan dat moet leiden tot een realistisch model om de levensduur van brugbewegingsmechanismen te beoordelen.



Tabel 1 – Eigenschappen van de brug HRM103°

Brug	HRM 103°	
Vaarweg	Van Harinxmakanaal	
Spoorlijn	Leeuwarden – Harlingen/Stavoren	
Bouwjaar bewegingswerk	1977	
Lengte	37	[m]
Breedte val	7	[m]
Openingshoek	103	[deg]
Cyclustijd	130	[s]
Massa val	250	[ton]
Massatraagheid val	30·10 ⁶	[kgm ²]



1 Met behulp van de werktekeningen wordt een 3D model van het bewegingswerk gemaakt.

Foto: © Movares

DYNAMISCHE SIMULATIES MEER INZICHT IN BELASTINGEN OP BEWEGINGSWERKEN

Bewegingswerken van beweegbare bruggen moeten worden ontworpen aan de hand van NEN 6786 (VOBB:2001). De belastingen waar een bewegingswerk op wordt getoetst zijn in deze norm bepaald aan de hand van verschillende situaties die voor kunnen komen tijdens een brugbeweging. Voor elke situatie is een algemene rekenregel opgesteld, die geldig is voor de meeste brugtypen en bewegingsmechanismen. Omdat de rekenregels per definitie conservatief zijn is het niet direct inzichtelijk hoe nauwkeurig de formules de werkelijkheid benaderen.

Om beter inzicht te krijgen in het gedrag van bewegingswerken heeft Movares een onderzoek uitgevoerd waarbij gebruik is gemaakt van dynamische simulaties en hebben we de verkregen resultaten vergeleken met de belastingen die zijn berekend met NEN 6786.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor twee spoorbruggen over het Van Harinxmakanaal nabij Leeuwarden, waarbij de HRM103° als voorbeeld is gebruikt in dit artikel.

2 In de grafiek is voor beide methoden de waarde van het optredend moment op de motoras weergegeven bij het uitvoeren van een noodstop.

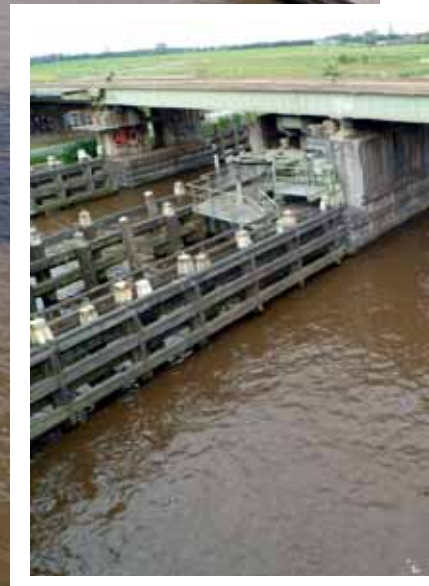
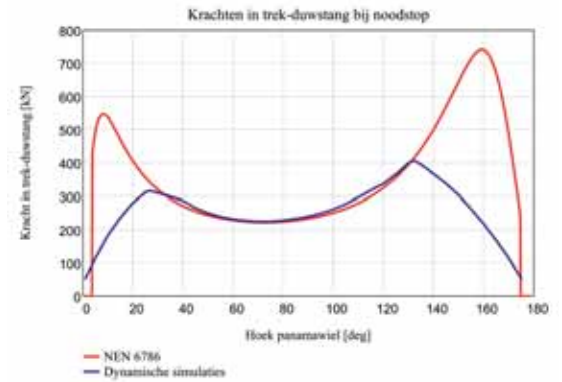
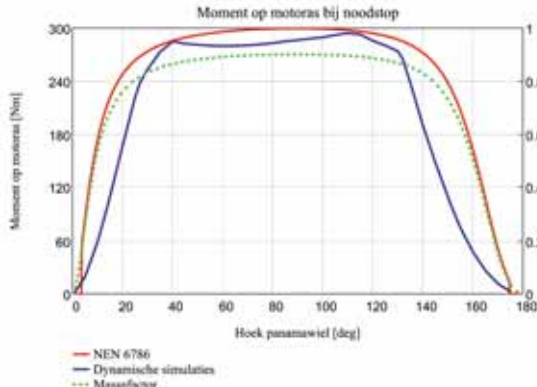
Foto: © Movares

3 In de grafiek is voor beide methoden de waarde van de kracht in de trek-duwstang weergegeven bij het uitvoeren van een noodstop.

Foto: © Movares

↓ Overzichtsfoto brugpijler HRM103°.

Foto: © Movares



Om beter inzicht te krijgen in het gedrag van bewegingswerken heeft Movares een onderzoek uitgevoerd waarbij gebruik is gemaakt van dynamische simulaties en zijn de verkregen resultaten vergeleken met de belastingen die zijn berekend met NEN 6786.

AANLEIDING

De beheerder van de twee spoorbruggen is ProRail. Mede naar aanleiding van wijzigingen aan de bruggen is besloten de bruggen van CE-markering te gaan voorzien. Het is dan noodzakelijk om onder andere de constructieve veiligheid van de bewegingswerken te toetsen aan de 'huidige stand der techniek'. Concreet betekent dit dat het bewegingswerk moet voldoen aan de vigerende normen en richtlijnen. Het stappenplan dat gehanteerd wordt bij het herberekenen van bestaande bewegingswerken van beweegbare bruggen, is toegepast voor deze twee spoorbruggen. In het maartnummer van dit jaar van het blad *Bruggen* is het stappenplan door Movares beschreven.

In beginsel moeten spoorbruggen voldoen aan de Ontwerpvoorschriften van ProRail, de OVS. In de OVS00030-4, 'Kunstwerken voor spoorverkeer – Beweegbare Bruggen' staat beschreven dat het bewegingswerk van een spoorbrug moet voldoen aan belastingen die bepaald zijn met NEN6786. Een belangrijk criterium in deze norm, in het kader van veiligheid, is dat de tijd waarbinnen de bruggen tot stilstand moeten zijn gebracht bij het uitvoeren van een noodstop (stopcategorie 0) niet meer dan 6 seconden mag zijn. Op basis van een globale toets is gebleken dat beide spoorbruggen niet aan deze noodstopeis voldoen.

Als het remkoppel van de bruggen zodanig hoog wordt afgesteld dat wel aan de noodstopeis wordt voldaan, dan blijkt vervolgens dat veel onderdelen van het bewegingswerk niet meer voldoen.

Het uitvoeren van verfijndere berekeningen kan er toe leiden dat de constructieve integriteit van de onderdelen die aanvankelijk niet voldoen, alsnog kan worden aangetoond. Verfijndere berekeningen kunnen onder andere betrekking hebben op de capaciteit van de onderdelen of op de optredende belastingen. Het uitvoeren van dynamische simulaties is een manier om beter inzicht te krijgen in de optredende belastingen en kan naast, of als toevoeging op NEN 6786 worden toegepast.

Voor het maken van een vergelijking tussen de bestaande rekenregels in NEN 6786 en het toepassen van dynamische simulaties, zijn met beide methodes de optredende belastingen bepaald in een specifieke situatie dat er een noodstop wordt uitgevoerd tijdens de brugbeweging.

NEN 6786

De rekenregel om de maximale belasting bij een noodstop te berekenen, wordt aangeduid als 'Invallen van remkoppel op volle snelheid' en wordt berekend met de formule:

$$M_{UGT;d} = \phi_a \cdot \varepsilon \cdot M_{br;d} + |1 - \phi_a \cdot \varepsilon| \cdot M_{S;d}$$

is de dynamische vergrotingsfactor en is in NEN 6786 gelijk gesteld aan 1,9.

De massafactor is in de norm gedefinieerd als:

$$\varepsilon = \frac{1,2 \cdot I_2}{I_1 + 1,2 \cdot I_2}$$

De massafactor is afhankelijk van de stand van de brug omdat de grootte van I_1 (het massastraagheidsmoment van de brug herleid naar de motoras), afhankelijk is van de overbrengverhouding tussen de brug en de motor, het verloop is weergegeven in afbeelding 2 met een groene stippellijn. De hoek van het panamawiel is uitgezet op de horizontaal, omdat deze vrijheidsgraad bij veel bewegingswerken 180 graden is. De rekenwaarde van het remkoppel is zodanig bepaald dat de noodstoptijd van 6 seconden niet wordt overschreden.

Een ongelijkmatige windbelasting op de (flank van de) brug kan ervoor zorgen dat er een moment wordt uitgeoefend op de draai-as van de brug. Dit koppel is verwerkt in en is de rekenwaarde van het statisch koppel op het bewegingswerk. Interne wrijvingen in het systeem hebben een gunstig effect op de noodstoptijd en zijn daarom conform de norm niet meegenomen in de berekening. Het verloop van het moment op de motoras is met een rode lijn weergegeven in figuur 2. De maximale waarde voor is gelijk aan 300 Nm.

Om beide methodes goed met elkaar te vergelijken, is het moment op de motoras omgerekend naar de kracht in de trek-duwstang, weergegeven met de rode lijn in figuur 3. In deze grafiek zijn duidelijk twee pieken zichtbaar waar de kracht in de trek-duwstang maximaal is. De vorm van deze grafiek is karakteristiek voor draaibruggen met dit type bewegingswerk. Bij de hoek waar de maximale kracht optreedt, is de combinatie van het remkoppel, de stand van de brug en de hoeksnelheid dusdanig dat de kinetische energie van de brug voor het grootste deel in veerenergie wordt omgezet. De maximale waarde van de kracht is gelijk aan 720 kN en treedt op als het panamawiel een hoek van 160 graden heeft gemaakt.

DYNAMISCHE SIMULATIES

Voor het uitvoeren van de dynamische simulaties is gebruik gemaakt van het programma Autodesk Inventor 2016 waarin een module is opgenomen waarmee dergelijke berekeningen op numerieke wijze uitgevoerd kunnen worden. Met behulp van een 3D-model kunnen de exacte bewegingen en de optredende krachten nauwkeurig worden berekend. Alle onderdelen van het panamakrukmechanisme zijn in het model als oneindig stijf aangenomen.

Van het panamakrukmechanisme en het brugval is een 3D-model gemaakt, de trek-duwstang is in dit model nauwkeurig gemodelleerd zodat de werking van de ingebouwde veer overeenkomt met de werkelijkheid.



↑ Brug HRM103°. Foto: © Movares

De motorsnelheid, massatraagheden en remkoppels zijn gereduceerd naar het panamawiel waardoor het systeem is vereenvoudigd tot het vierstangenmechanisme dat is weergegeven in afbeelding 1 (het brugval is niet weergegeven). De belastingen en de bijbehorende belastingfactoren die volgens NEN 6786 moeten worden gehanteerd, zijn in het dynamische model verwerkt.

Bij verschillende standen van het bewegingswerk is vervolgens een noodstop uitgevoerd waarbij de kracht in de trek-duwstang is berekend met de simulatie, het resultaat is weergegeven met de blauwe lijn in afbeelding 3. Het moment dat hierdoor optreedt ter plaatse van de motoras is weergegeven met een blauwe lijn in afbeelding 2. De maximale kracht die optreedt in de trek-duwstang bedraagt 405 kN en treedt op bij een hoek van 130 graden van het panamawiel, dus veel eerder dan volgens NEN 6786. Het maximale moment heeft een waarde van 295 Nm.

VERGELIJKING VAN DE METHODES

De twee grafieken laten heel duidelijk de gelijkenissen en de verschillen zien tussen de twee methodes. Wat opvalt is dat zodra een noodstop wordt uitgevoerd tussen de 30 en 130 graden, er nauwelijks verschil is tussen de grootte van de krachten en momenten, terwijl buiten dit gebied deze waarden juist significant van elkaar verschillen. Het feit dat met NEN 6786 zo een hoge kracht in de trek-duwstang wordt berekend, komt doordat het moment op de motoras volgens deze methode over een relatief groot gebied een hoge waarde heeft (tussen 10 en 160 graden ligt deze waarde boven de 180 Nm). De oorzaak hiervan is weer terug te leiden naar de massafactor, die hetzelfde verloop heeft. Het lijkt er op dat de massafactor juist gedefinieerd is voor het bepalen van het maximale moment (in dit geval is dit tussen de 30 en 130 graden), maar minder geschikt is voor de gehele beweging. Vooral bij bewegingswerken met een sterk veranderlijke overbrengverhouding, zoals bij dit soort bewegingswerken het geval is, kan het gebruik van de algemene rekenregels in extreme standen leiden tot onnauwkeurigheden in de resultaten. Tevens is in het dynamisch model de invloed van het verende element

in de trek-duwstang meegenomen in het bepalen van de optredende belastingen, wat niet het geval is bij de methode volgens NEN 6786.

Door gebruik te maken van dynamische simulaties is meer inzicht verkregen in het verloop van de optredende belastingen en het bepalen van de maximale optredende waarden, wat een positieve invloed kan hebben bij het (her)berekenen van bewegingswerken van beweegbare bruggen. Mogelijk kan een reductie worden gehaald van ruim 40%, waarbij als kanttekening vermeld moet worden dat het dynamisch model binnenkort gevalideerd zal worden aan de hand van praktijktesten.

BEWEGINGSWERK

Beide spoorbruggen worden geopend en gesloten via een zogenaamd panamakrukmechanisme. Het panamawiel wordt via een open tandwieloverbrenging en een tandwielkast aangedreven door een ongeregelde elektromotor. De kruk van het panamawiel is verbonden aan een zogenaamde trek-duwstang. Via de trek-duwstang wordt de bewegingsarm aangedreven die aan de brug vastzit.

In de gesloten en geheel open positie van de brug staan de arm van het panamawiel en de werklijn van de trek-duwstang in elkaars verlengde. Hierdoor heeft een rotatie van het panamawiel in deze standen nauwelijks rotatie van het brugval tot gevolg. Het brugval wordt op deze wijze langzaam versneld en vertraagd. Dit mechanisme is tot de jaren '80 (en wordt door ProRail nog steeds) toegepast bij bewegingswerken die aangedreven worden door een ongeregelde elektromotor.

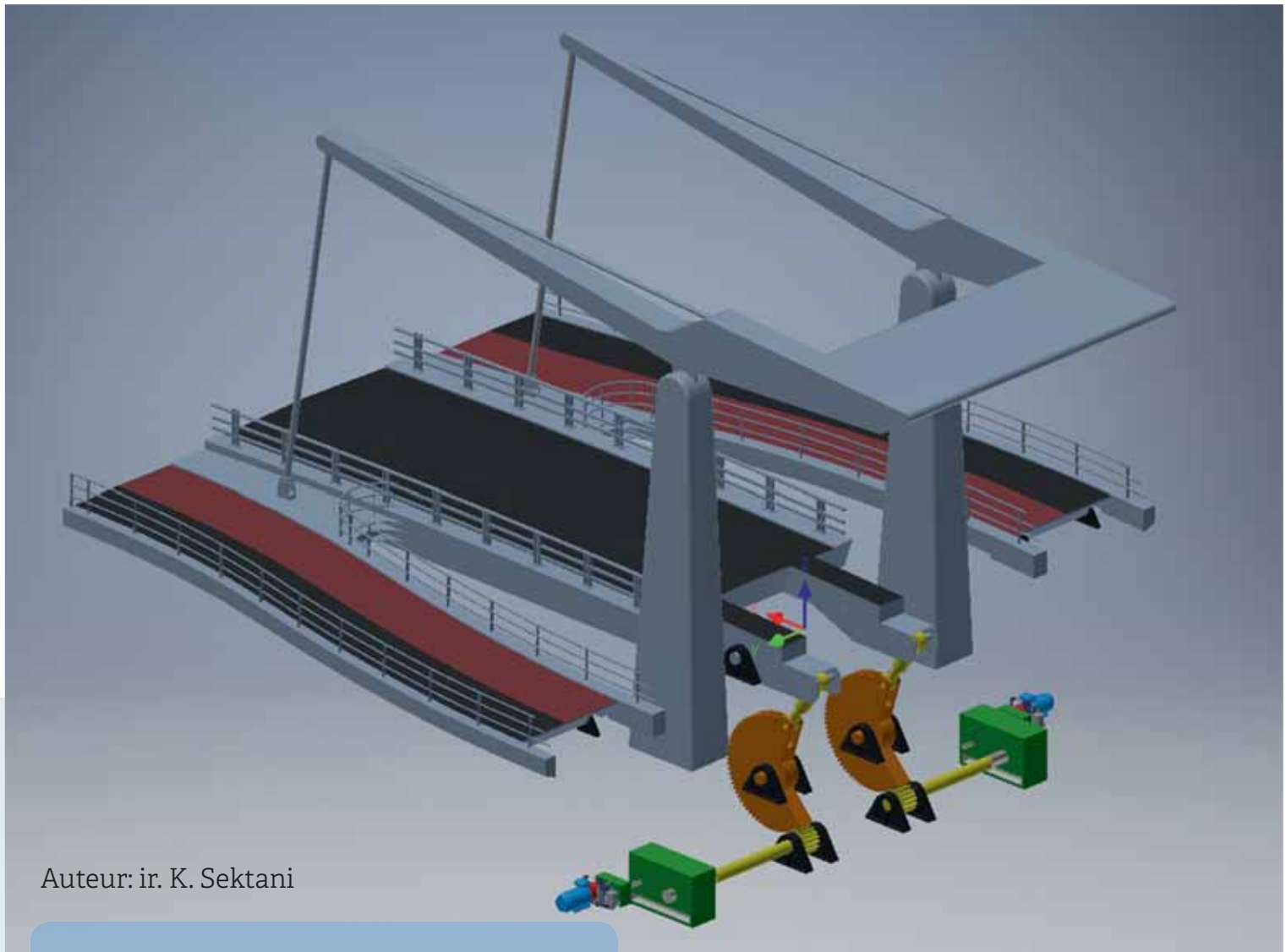
TREK-DUWSTANG

In de trek-duwstang is een veer geplaatst. Met een verend element in de aandrijving kan een snelheidsverschil tussen de brug en de aandrijving worden opgevangen. Tevens kan met de veer (een deel van) de kinetische energie van de brug omgezet worden in veerenergie als er een noodstop wordt uitgevoerd. De dubbelwerkende veer is uitgevoerd als een stapeling van schotelveren en laat toe dat de trek-duwstang zowel korter als langer kan worden. De veer is voorgespannen zodat deze zich bij een normale bewegingscyclus van de brug gedraagt als een star element. De indrukking van de veer is beperkt tot 50 mm.



De trek-duwstang is nauwkeurig gemodelleerd zodat de werking van de veer overeenkomt met de werkelijkheid.

Foto: © Movares



Auteur: ir. K. Sektani

OP WEG NAAR EEN REALIS- TISCH MODEL VOOR DE LEVENSDUUR VAN BEWEGINGS- WERKEN

Ingenieurs- en adviesbureau Antea Group is dit jaar met de TU/ Delft, Rijkswaterstaat en Provincie Zuid-Holland een onderzoek gestart naar de dynamica van beweegbare bruggen. In de praktijk blijkt namelijk dat bestaande bewegingswerken onnodig vroeg worden vervangen. Het onderzoek moet leiden tot een realistisch model om de levensduur van brugbewegingsmechanismen te beoordelen.

Motoren en frequentieomvormers, tandwiel-overbrengingen, in- en uitgaande assen, heugelstangen en Panamawielen: het bewegingswerk van bruggen is complex, maar essentieel in de beoordeling van veiligheid en de restlevensduur hiervan. Het is materie waarin adviseur Kodo Sektani van Antea Group zich de komende jaren gaat verdiepen: het dynamisch gedrag van beweegbare bruggen.

‘We beschikken in Nederland over honderden beweegbare bruggen. Voor veel van deze kunstwerken gaan de jaren tellen. De status van de brugconstructie en de mechanische uitrusting is bepalend voor de vraag of een brug gerenoveerd of zelfs helemaal vervangen moet worden. De herbeoordeling van het bewegingswerk is hierbij cruciaal. Ik zie dat dit onderdeel voor beheerders een grote worsteling is omdat de theoretische rekenregels die we nu hanteren de praktijk niet lijken te volgen.’

EEN GAT TUSSEN THEORIE EN PRAKTIJK

Sinds de overgang naar de Eurocodes worden bestaande beweegbare bruggen beoordeeld aan de hand van de NEN 8700/NEN 8701. De normen schrijven echter toepassingsregels en bepalingmethoden voor die betrekking hebben op de veiligheid van de overspanningsconstructie van bruggen. Deze gelden niet voor de mechanische uitrusting van beweegbare bruggen. ‘Hiervoor maken we gebruik van de NEN 6786:2001 Voorschriften voor het Ontwerpen van Beweegbare Bruggen (VOBB). Deze bruggennorm kent voorschriften en rekenregels die zijn geschreven voor nieuwbouw en niet bedoeld zijn voor bestaande bouw.’ Uit de herberekeningen die conform de VOBB worden gedaan, blijkt bijna altijd dat alle onderdelen die tot de brugbewegingsmechanismen behoren, vervangen moeten worden. ‘Opvallend is dat we van beheerders horen dat qua functionaliteit en waarneming vanuit de beroepspraktijk hiervoor geen aanleiding is. We zien dus dat de theorie niet op de praktijk aansluit. Dit heeft grote consequenties. Mochten de huidige rekenvoorschriften juist zijn, dan betekent dit dat bestaande bewegingswerken die gebouwd zijn vóór het bestaan van de VOBB, te licht zijn gedimensioneerd. Hiermee zouden ze een risico vormen voor het wegverkeer en de scheepvaart. Als de rekenregels te conservatief zijn, dan kan dat betekenen dat oude bewegingswerken wellicht onnodig vroegtijdig worden vervangen en dat de bewegingswerken die volgens de VOBB worden ontworpen, overgedimensioneerd zijn.’

OP WEG NAAR EEN HOLISTISCH BEOORDELINGSMODEL

Natuurlijk komen de voorschriften die de VOBB hanteert niet uit de lucht vallen. ‘Er is in het verleden onderzoek gedaan op het gebied van beweegbare bruggen die tot de VOBB hebben geleid. De rekenregels voor het bepalen van dynamische belastingen in bewegingswerken zijn echter gebaseerd op sterk vereenvoudigde rekenmodellen. Hierbij wordt

bijvoorbeeld voor alle typen bewegingswerken uitgegaan van slechts één enkelvoudig massaveersysteem dat bestaat uit twee roterende schijven en één equivalente veer die de flexibiliteit van diverse componenten voorstelt. In de werkelijkheid gaat het om meervoudige bewegingsvergelijkingen met diverse vrijheidsgraden. Deze vereenvoudigde regels worden op alle type beweegbare bruggen toegepast. Dit ondersteunt het argument dat het tijd is voor nieuwe en nauwkeurigere rekenregels. Daarnaast is er inmiddels geavanceerde software beschikbaar om complexe dynamische modellen op te stellen in plaats van sterk vereenvoudigde analytische rekenformules’

Er is de afgelopen jaren meer onderzoek gedaan naar beweegbare bruggen. ‘De onderzoeken hebben waardevolle informatie opgeleverd. Toch zijn niet alle aspecten die van invloed zijn op dynamica van beweegbare bruggen meegenomen. Bij één van de onderzoeken lag de focus bijvoorbeeld alleen op de windbelasting in relatie tot dynamische belastingen in bewegingswerken. Met andere woorden: er is fundamenteel en diepgaand inzicht nodig om het dynamisch gedrag van beweegbare bruggen goed te kunnen voorspellen. Het uiteindelijke doel is dan ook een holistisch beoordelingsmodel dat alle aspecten meeweegt en geïmplementeerd kan worden binnen de nationale bouwvoorschriften.’

ZUID-HOLLAND: ENORME MAATSCHAPPELIJKE WAARDE

De Provincie Zuid-Holland volgt het onderzoek van Sektani met grote belangstelling. ‘Het is een onderzoek dat een doorbraak kan betekenen op het gebied van de veiligheid en levensduur van bewegingswerken, stelt Stefan Knapen (Senior Projectleider Staal & Werktuigbouwkunde). ‘We zien in ons areaal veel bruggen uit de jaren ‘50 en ‘60. Ze komen weliswaar op leeftijd, maar voor veel van die kunstwerken geldt dat ze er voor ons gevoel nog goed bijstaan. Als we de huidige norm volgen, komen vrijwel alle bewegingswerken in aanmerking voor vervanging. We zoeken daarom naar een werkbaar beoordelingsmodel om aantoonbaar te maken dat het huidige areaal inderdaad veilig is, zodat we kostenbewuster met de huidige normeringen om kunnen gaan.’

De Provincie ondersteunt het onderzoek financieel, maar ook door inzage te geven in de beheerdata van de bruggen. ‘We vinden dat we als overheid een taak hebben om dit soort onderzoeken te stimuleren. Zeker gezien het maatschappelijk belang. Als blijkt dat de huidige normen inderdaad te conservatief zijn en dat we de veiligheid van veel van onze bruggen wel kunnen waarborgen, dan heeft dit verregaande gevolgen voor de restlevensduur van bruggen. Dit voorkomt een miljoeneninvestering per brug.’

Een eenvoudig onderzoek is het overigens niet, stelt Knapen. ‘Elke brug en het bijbehorende bewegingsmechanisme is weer anders; ook de omstandigheden verschillen per brug. Het wordt nog

een hele kluit om uit al die parameters een model te destilleren dat toepasbaar is op elk bewegingswerk en dat de veiligheid van elke brug kan aantonen. Daarnaast heb je te maken met de zienswijzen van politiek en beheerders: je zult met rekenregels moeten komen die voor iedereen acceptabel zijn.'

Bewegingswerken zijn een problematisch onderdeel

Bij Rijkswaterstaat zijn de verwachtingen eveneens hoog gespannen. Johan den Toom (Senior adviseur Mechanical and Steel): 'Binnen ons programma Vervanging en Renovatie van stalen bruggen zijn de bewegingswerken van de beweegbare bruggen een problematisch onderdeel. Een groot deel van de bestaande bewegingswerken voldoet niet aan de huidige regelgeving, de NEN 6786. In de praktijk zien we echter binnen ons areaal nagenoeg geen schade aan de bewegingswerken. In veel gevallen lijkt er geen noodzaak tot vervanging aanwezig te zijn.'

Rijkswaterstaat hoopt dat het onderzoek leidt tot duidelijke goed- en afkeuringseisen voor het huidige areaal van beweegbare bruggen. Den Toom: 'We hebben op dit moment geen normen voor de bewegingswerken van bestaande kunstwerken voorhanden zoals de NEN 8700/8701. Daarom zijn we eigenlijk op zoek naar een NEN 8700/8701 voor de mechanische uitrusting. Een norm waarin duidelijke goed- en afkeuringscriteria omschreven worden om bestaande bewegingswerken te beoordelen.'

Den Toom beseft dat dit een ambitieuze doelstelling is. 'Het bewegingswerk van een brug is aan vele invloeden onderhevig en elk bewegingswerk heeft door de jaren heen een andere belasting gehad. En hoe bepaal je bijvoorbeeld de minimale veiligheid van een bewegingswerk bij een plotselinge windbelasting tijdens een noodstop? Er zijn wat dat betreft nog veel complexe vragen die door onderzoek beantwoord moeten worden.'

HET ONDERZOEK

Sektani ziet die uitdagingen ook. Vooral de grote verscheidenheid in bruggen en bewegingswerken is een punt van aandacht. 'Ik focus me allereerst op twee bruggen die in ons land vrij standaard zijn. Een basculebrug die wordt aangedreven door een Panamawiel en een ophaalbrug met een rechte heugelopstelling. Het feit dat we nu inzoomen op twee verschillende typen bewegingswerken, is al een stap voorwaarts vergeleken bij de rekenregels die nu voor alle type bruggen gelden.'

Het onderzoek bestaat grofweg uit drie lijnen:

- de stand van zaken in brugbewegingsmechanismen,
- inzicht in het dynamisch gedrag van beweegbare bruggen door modelleringen en metingen
- en een doorvertaling van de onderzoeksresultaten naar eisen en bepalingmethoden.

'Allereerst doe ik literatuuronderzoek naar de huidige rekenregels en de laatste inzichten met betrekking tot de dynamica van beweegbare bruggen. Daarnaast

onderzoek ik het dynamisch gedrag van de diverse brugbewegingsmechanismen fundamenteel. Dit gebeurt op basis van metingen en data-analyses van bestaande bruggen van onder meer de provincie Zuid-Holland en Rijkswaterstaat. Op basis van deze gegevens stel ik geavanceerde numerieke modellen op waarmee dynamische belastingen in brugbewegingsmechanismen voorspeld kunnen worden. Vervolgens worden de modellen aan de hand van nauwkeurige metingen, laboratoriumtesten en simulaties geverifieerd en gevalideerd.'

Werken aan proefopstelling

Voor deze laatste stap wil ik een proefopstelling bouwen in het laboratorium van de TU/Delft. De proefopstelling moet leiden tot beter inzicht in de krachtwerkingen en eigenschappen binnen bewegingswerken. 'Ik denk aan een basisopstelling met werkelijke aandrijfcomponenten, zoals een motoraandrijving, open en gesloten tandwieloverbrengingen en variabele in- en uitgaande assen. Daarnaast worden de verschillende massa's met vliegwielen of windbelastingen door hydraulische cilinders gesimuleerd. Op deze manier kunnen we verschillende parameters testen.'

De komst van de proefopstelling is nog afhankelijk van de financiën. 'We hebben inmiddels voldoende geld binnen om mijn inzet en de begeleiding vanuit TU/Delft vier jaar te bekostigen. Om tot een goede proefopstelling te komen, hebben we extra financiële ondersteuning nodig. Ik hoop daarom dat we de komende tijd nog meer partijen kunnen overtuigen van het nut en de noodzaak van dit onderzoek. Het is een kleine investering in het licht van de enorme beheer- en onderhoudskosten van de beweegbare bruggen die jaarlijks gemaakt worden in Nederland. Zeker als we hard kunnen maken dat de normeringen, waarop we de beheersmaatregelen baseren, te streng zijn.'

DE GEBRUIKERSCOMMISSIE

Aanvullend aan het onderzoek is er een gebruikerscommissie in het leven geroepen. De commissie bestaat uit experts die speciale belangstelling hebben voor bewegingswerken. De gebruikerscommissie vormt een belangengroep die een klankbordfunctie heeft en die feedback geeft op het proefschrift en de resultaten van het onderzoek. De promovendus is verantwoordelijk voor de coördinatie en communicatie tussen de begeleidingscommissieleden die senior wetenschappers en adviseurs zijn op dit vakgebied. Op dit moment maken onder meer Rijkswaterstaat, de Provincie Zuid-Holland, de gemeente Rotterdam en Antea Group deel uit van de gebruikerscommissie.

Wanneer u meer wilt weten over het onderzoek of zitting wilt nemen in de gebruikersgroep kunt u contact opnemen met ir. K. Sektani, T 0681 738 800, E k.sektani@tudelft.nl



Auteur: ir. G. Jan Arends

GERESTAUREERDE STENEN GEWELF- BRUGGEN ALS RIJKSMONUMENT





In het Monumentenregister van de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed zijn veel oude bakstenen gewelfbruggen opgenomen. Een aantal daarvan is onlangs gerestaureerd. Het is interessant om deze restauraties onderling te vergelijken en te bezien waarom deze bruggen rijksmonument zijn geworden. Ook willen we bezien in hoeverre er nog sprake is van een authentieke constructie. De bruggen liggen in Delft, in Hekendorp bij Oudewater en in Haastrecht.

Vrouwe van Rijsburgerbrug te Delft

De Vrouwe van Rijsburgerbrug is een gemetselde, bakstenen gewelfbrug in de binnenstad van Delft, nabij het koor van de Nieuwe Kerk. De brug ligt in het verlengde van de Kerkstraat en verbindt deze straat met het Vrouwenregt. Vanaf het Vrouwenregt moet men met trappen de brug betreden. Daarmee is de brug slechts geschikt voor voetgangersverkeer. Aan de zijde van de Kerkstraat is er één tree hoogteverschil. In de vleugelmuur die de brug verbindt met een steunbeer van de kerk, zijn twee natuurstenen stroken aangebracht waarin de naam van de brug is gebeiteld. De brug dateert waarschijnlijk uit de zestiende eeuw. Helaas zijn er geen gegevens over het bouwjaar van de brug, noch over herstel in latere jaren. De brug dankt haar naam aan de abdis van Rijsburg. Rijsburg was een abdij met rechtsheerlijkheid van gebieden in en rond Delft.



↑← De Vrouwe van Rijnsburgerbrug in de jaren zestig van de twintigste eeuw met trapopgang (bron: Beeldbank TU Delft).

↑↑ Detail kaart van Delft uit 1703; groen omcirkeld de Vrouwe Van Rijnsburgerbrug (bron: Archief Delft).

↑ De Vrouwe van Rijnsburgerbrug in de jaren zestig van de twintigste eeuw (bron: Beeldbank TU Delft).

Het gewelf heeft de vorm van een korfboog en wordt aan beide zijden beëindigd door een eveneens gemetselde toeg van natuursteenblokken, Namense hardsteen, met in het midden de sluitsteen. De beide frontmuren zijn ter hoogte van het brugdek afgedekt met hardstenen dekzerken, die in het midden rechtstreeks op de hardstenen boog is geplaatst. Op deze dekzerken bevindt zich een ijzeren balustrade. Er zijn geen historische gegevens van de brug gevonden, maar we kunnen wel iets afleiden uit oude kaarten. Op de kaart uit de bekende stedenatlas van Braun en Hogenberg uit 1581 is niet te zien wat voor type brug is toegepast. De bruggen lijken op deze kaart alle vlak. De kaart van Frederik de Witt uit 1654 toont echter een gewelfbrug. Nog weer wat duidelijker is dat te zien op een kaart uit 1703. Deze laatste kaart toont enkele interessante details. De huidige treden aan de zijde van het Vrouwenregt ontbreken. Tevens is langs de brug een gemetselde borstwering getekend. Zoals voor 1650 gebruikelijk, waren de frontmuren blijkbaar opgetrokken tot boven het brugdek om als balustrade te dienen. De huidige balustrade dateert zeer waarschijnlijk uit de tweede helft van negentiende eeuw. De balusters van het leuningwerk zijn van gietijzer en de regels van smeedijzer. Deze materialen werden in Nederland pas na circa 1840 op wat grotere schaal toegepast.

Bij enkele boogblokken is een cijfer aangebracht. Aan weerszijden van de brug is duidelijk rechts naast de

sluitsteen het cijfer 6 te zien, terwijl aan de kerkzijde (zuidoostzijde van de brug) links van de sluitsteen vaag de cijfers 1 en 5 zijn te ontcijferen. Meer cijfers zijn helaas niet meer te onderscheiden. Als dit het (restant van de weergave van het) bouwjaar voorstelt, dateert de stenen brug dus uit 1567 of eventueel 1576, in ieder geval uit de zestiende eeuw en zeer waarschijnlijk uit de tweede helft van die eeuw omdat toen veel houten bruggen werden vervangen door stenen exemplaren. Een eventuele voorganger van de brug zal ongetwijfeld van hout zijn geweest. Foto's van rond 1910 tonen het zelfde natuursteenblokkenpatroon als dat wat nu zichtbaar is. Opmerkelijk is dat de vleugelmuur bij de kerk (met de beide naamstenen) de enige keermuur is die niet is afgedekt met hardstenen dekzerken maar met een rollaag. Daarbij moet wel worden opgemerkt dat bij deze vleugelmuur de balustrade niet de vleugelmuur volgt maar meer in de richting van de Kerkstraat is gericht. Ook daar ontbreekt echter het natuursteen. De balustrade is hier bevestigd aan één van de steunberen van de Nieuwe Kerk. De balustrade op de zuidwestelijke vleugelmuur is verbonden met het daar staande beiaardshuis.

De brug verkeerde in 2011 in een slechte staat. Op verscheidene plaatsen was het metselwerk slecht, ontbrak het voegwerk, was er hier en daar scheurvorming en waren op enkele plaatsen de stenen verdwenen of gedeeltelijk weg geërodeerd. Ook de



↑ Gewelf en toeg voor de restauratie.



↑ Deel noordwestelijke toeg met jaartalstenen.



↑ De Vrouwe van Rijsburgerbrug na de restauratie, gezien in de richting van de kerk.



← Deel zuidoostelijke toeg met jaartalstenen.

→ Detail naamstenen.



↓ De Vrouwe van Rijsburgerbrug na de restauratie.





↑ Ondersteuning van de hardstenen toog op een formeel tijdens de restauratie (bron: Van der Ven).

hardsteen elementen waren op diverse plaatsen gescheurd en bij de zuidwesthoek waren de hardstenen dekzerken vervangen door beton. Bij enkele bevestigingen van de balusters was de hardsteen door corrosie van het ijzer kapot gedrukt. De toog van het gewelf is gemaakt van Naamse natuursteen. Verscheidene boogblokken zijn inwendig gescheurd door 'steken'. Dit zijn scheuren in hardsteen, ontstaan door temperatuurswisselingen en spanningen in de steen. Vergelijken we de staat van de boogblokken echter met die op oude foto's dan lijkt er weinig te zijn veranderd.

Het gebrek dat constructief gezien de meeste zorgen baarde, was het gewelf. Onder de brug was de korbboogvorm over een groot deel niet meer aanwezig. In plaats van een ronding naar boven was er een vlakke constructie of zelfs een neerwaarts gerichte boog. In de lengterichting van het gewelf zat een brede scheur. Blijkbaar was het gewelf dik genoeg om toch een drukboog te kunnen vormen die de constructie in stand hield. Voor de gemeente Delft was de brug nog veilig genoeg als voetgangersbrug.



Onder de brug was meer recent het metselwerk rond en boven de waterlijn vernieuwd. Dit metselwerk verkeerde in goede tot redelijke staat, maar harmoniseerde slecht met de oorspronkelijke baksteen. Voor die restauratie was waarschijnlijk gekozen uit kosten overwegingen. Misschien wilde men duidelijk laten zien dat er was gerestaureerd, door gebruik te maken van een moderne baksteen. De brug is in 2012 grondig gerestaureerd. Daarbij is het gewelf zorgvuldig uit elkaar gehaald en opnieuw opgemetseld op een formeel. Ontbrekende of ernstig aangetaste bakstenen zijn vervangen door nieuwe bakstenen van zoveel mogelijk dezelfde kleur, vorm en afmetingen.

De Vrouwe van Rijnsburgerbrug is een Rijksmonument met monumentnummer 12306. De brug werd in 1967 in het monumentenregister ingeschreven. De beschrijving in het register is weer zeer summier: "Over het water van het Vrouwenrecht, nabij het koor der Nieuwe Kerk. Schilderachtige boogbrug met aan een zijde trapjes en ijzeren balusterleuningen. Aan de zuidkant in de boog het verweerde jaartal 15.6." Volgens de beschrijving moet het niet zichtbare cijfer dus tussen het cijfer 5 en het cijfer 6 in liggen. Opmerkelijk is dat de naam van de brug niet wordt vermeld. Op oude kaarten is de brug eveneens naamloos. De beide naamstenen ontbreken ook nog op foto's uit de jaren zestig van de twintigste eeuw. Dit doet vermoeden dat de brug pas na 1967 de huidige naam heeft gekregen.

← Houten formeel voor het opnieuw opmetselen van het gewelf van de Vrouwe van Rijnsburgerbrug (bron: Van der Ven).

De Goejanverwellebrug te Hekendorp

De Goejanverwellebrug te Hekendorp is verbonden met een schutsluis. De gewelfbrug overkluist de Goejanverwellesluis in de monding van de Dubbele Wiericke naar de Hollandsche IJssel. De sluis heeft vooral bekendheid gekregen door de aanhouding van Prinses Wilhelmina van Pruisen, echtgenote van stadhouder Willem V, die na haar aanhouding naar een boerderij vlak bij de sluis werd gebracht. De Dubbele Wiericke is gegraven in de 14^{de} eeuw als boezemkanaal voor het Grootwaterschap Woerden. Het waterschap kreeg in 1366 toestemming om drie boezemkanalen te graven, waaronder de Dubbele Wiericke en de bijna parallel daaraan lopende Enkele Wiericke. In 1558 kregen Woerden en Oudewater toestemming de vaardiepte te vergroten. De sluis en de brug kregen toen het uiterlijk dat zij grotendeels nu nog hebben. Een in het oog springend verschil met toen is de omkassing voor de hefdeur die toen klaarblijkelijk aan de Wiericker zijde als binnendeur in de sluis zat. Deze moet in de loop van de 19^{de} eeuw zijn vervangen door houten puntdeuren.

De Dubbele Wiericke was met haar relatief ruime schutsluis vooral in de zestiende eeuw een prachtige sluisroute voor de scheepvaartverbinding over de Gouwe. Dordrecht, Gouda en Haarlem hadden het alleenrecht voor deze verbinding, mede door de aanwezigheid van de grafelijke tol te Gouda. De doorvaart door Gouda ging echter zeer moeizaam en duurde gewoonlijk meerdere dagen. Gouda had er geen belang bij om deze verbinding te verbeteren. Hoe langer de schepen in Gouda verbleven hoe beter dat was voor de middenstand. Alternatieve routes waren immers verboden, vanwege het Goudse Privilege. Betrapping op omzeiling van de grafelijke tol leidde tot hoge boetes waaronder verbeurdverklaring van schip en handelswaar. Niettemin waren er schippers die het er op waagden de alternatieve route via de Goejanverwellesluis te nemen.

In 2010 waren brug en sluis toe aan een grondige restauratie. Het gewelf van de brug was iets ingezakt, er waren enige scheuren en het voegwerk was grotendeels uitgespoeld. Bij de restauratie is eerst gekeken naar het opnieuw op metselen van het gewelf. Daarvoor waren er echter grote bezwaren. Allereerst



↑ Gezicht vanaf de binnendijkse zijde van de Goejanverwellesluis volgens een tekening van H. Spilman uit 1733; links de brug met de heftoren voor de hef (bron: RCE).



↑ Goejanverwellebrug voor de restauratie gezien vanaf de Hollandsche IJssel.



↑ Schoolplaat aanhouding prinses Wilhelmina van Pruisen in 1787 gezien vanaf de overkant van de Hollandsche IJssel; links de Goejanverwellebrug.



↑ Goejanverwellebrug na de restauratie gezien vanaf de IJssel; het aanzien is hetzelfde gebleven.



↑ Plaatsen betonnen prefab gewelfelementen voor de Goejanverwellebrug (bron: B. van Hees).



↑ Onderzijde betonnen gewelf.



↑ Goejanverwellebrug gezien in de richting naar Oudewater

De brug kreeg uiterlijk het oude aanzien van een gewelfbrug weer terug

↓ Goejanverwellebrug na de restauratie gezien vanaf de binnendijkse zijde.



zou de brug dan enkele maanden buiten gebruik zijn, zodat het dorp te lange tijd in tweeën werd gesplitst. Ook zouden hulpverleningsdiensten gedurende al die tijd om moeten rijden. Dit werd door de dorpsgemeenschap niet aanvaardbaar geacht. Belangrijker nog was dat een opnieuw gemetselde gewelfbrug met dezelfde gewelfdikte niet aan de huidige veiligheidseisen kon voldoen. Zware brandweerwagens zouden dan in principe de brug niet meer mogen passeren. Andere mogelijkheden als het aanbrengen van een boven de brug zwevende brug die de belasting zou moeten opnemen, werden afgewezen, temeer daar het gewelf toch moest worden aangepakt.

Uiteindelijk is besloten het baksteengewelf te slopen en vervolgens te vervangen door prefab elementen van gewapend beton, met dezelfde boogvorm als het bestaande gewelf. De prefab elementen werden op de met beton uitgevlakte sluiswanden geplaatst. De sluiswanden en de fundering waren voldoende draagkrachtig om de verkeersbelasting op te kunnen vangen. Door deze constructie was de brug uiteindelijk slechts drie weken buiten gebruik. Een ook niet onbelangrijk voordeel waren de lagere kosten die hiermee waren gemoeid.

De brug kreeg uiterlijk het oude aanzien van een gewelfbrug weer terug. De togen aan beide zijden werden in baksteen metselwerk uitgevoerd, waardoor het vanaf de wal een gemetselde gewelfbrug lijkt. Het gewelf van de oude brug was gestuukt. Bij de nieuwe constructie kijk je tegen de onderzijde van de betonnen prefab elementen. Hierdoor heeft het iets weg van een gestuukte stenen gewelfbrug.

De brug en de sluis zijn sinds 1973 een Rijksmonument, ingeschreven onder Monumentnummer 14131. In het Monumentenregister staat slechts een zeer summiere beschrijving van de brug en de sluis: "GOEJANVERWELLESLUIS. Overkluizing met boogbrug en sluis, 17e eeuw."

Havensluisbrug in Haastrecht

De Havensluisbrug is een gemetselde, bakstenen gewelfbrug, waarbij zich oorspronkelijk een keersluis bevond. Deze Havensluis verbond de Vlist met de Hollandsche IJssel. Bij geopende sluisdeuren konden schepen door de sluis varen. Bij hoogwater op de IJssel werd de sluis gesloten om te voorkomen dat de Krimpenerwaard onder liep. Het deel van de Vlist direct achter de sluis werd de Grote Haven genoemd. De gewelfbrug wordt aan beide zijden beëindigd door een eveneens gemetselde frontmuur. De frontmuren zijn zo hoog opgetrokken dat zij tevens als borstwering dienen voor de brug. De beide borstweringen van de Havensluisbrug zijn afgedekt met een rollaag. De naar de IJssel gekeerde muur heeft op de uiteinden van het horizontale vlak een hoekplaat van hardsteen. Beide frontmuren zijn opgetrokken in gele IJsselsteentjes met een formaat van circa $160 \times 75 \times 40 \text{ mm}^3$.

De stenen gewelfbrug dateert in eerste aanleg waarschijnlijk uit 1603. De frontmuur aan de zijde van de Grote Haven bezit een steen met dat jaartal. In de muur aan de IJsselzijde bevindt zich een steen met het jaartal 1704. Vermoedelijk is de brug toen verbreed. Tijdens de recente restauratie zijn daar aanwijzingen

De stenen gewelfbrug dateert in eerste aanleg waarschijnlijk uit 1603.



↑ Havensluisbrug omstreeks 1915 (bron Historische Vereniging Haastrecht).



↑ Feest onder de Havensluisbrug in 1908 (bron Historische Vereniging Haastrecht).



↑ Havensluisbrug gezien vanaf de Hollandsche IJssel voor de restauratie.



↑ Havensluisbrug met ingestort gewelf en gescheurde binnendijkse borstwering.



↑ Gerestaureerde binnenfront van de Havensluisbrug met dateringsteen 1603.



↑ Borstwering Havensluisbrug aan de IJsselszijde met dijkpeilsteen en beeldje 'De Mops', in het verleden een bekende beroepsvisser te Haastrecht.

voor gevonden. In de borstwering van de frontmuur aan de IJsselszijde is aan de binnenzijde een steen aanwezig waarop het dijkpeil is aangegeven. Onder het gewelf zijn aan weerszijden keermuren gemetseld, die het gewelf ontoegankelijk maken. Aan de IJsselszijde is de wand ongeveer één meter naar binnen geplaatst ten opzichte van de dagzijde van de frontmuren en aan de andere zijde circa 0,6 meter.

In de vijftiende eeuw is de monding van de Vlist verlegd naar de Grote Haven. Tussen de Haven en de IJssel werd in 1440 een keersluis gebouwd. Bij lage IJsselstanden werden de deuren open gedrukt en

konden schepen vanuit de Vlist naar de Hollandsche IJssel varen en omgekeerd. De Hollandsche IJssel was tot halverwege de 19de eeuw ook ter hoogte van Haastrecht nog een getijdenrivier. Door de bouw van Havensluis was er scheepvaartverkeer mogelijk tussen Schoonhoven en Haastrecht en daarmee kon Dordrecht met zijn tol- en stapelrechten worden vermeden. De stad Dordrecht beschouwde het gebruik van deze scheepvaartweg dan ook als een inbreuk op haar rechten en in 1444 werd de sluis door Dordtse manschappen vernield. De Hollandse Graaf veroordeelde deze actie en gaf Haastrecht het recht



↑ Dijkpeilsteen van de Havensluisbrug met het vaag te lezen opschrift DYKSPEYL.



↑ Gerestaureerd buitenfront van de Havensluisbrug met dateringssteen 1704.



↑ Dateringssteen binnenfront.



↑ Dateringssteen buitenfront.

een nieuwe sluis te bouwen die in 1447 gereed kwam. Ter belemmering van de scheepvaart moest er wel een paal in het midden van de sluisdoorgang worden geplaatst. Hoelang deze paal aanwezig is geweest, is niet bekend, maar deze zal zeker voor 1800 zijn verwijderd. Rond dat jaar verdwenen vrijwel alle oude privileges.

De keersluis uit 1447 zal nog geheel van hout zijn geweest. Vermoedelijk lag er bij de sluis ook al een houten brug. Aan het eind van de zestiende eeuw zijn diverse houten bruggen en sluisen vervangen door stenen exemplaren. Waarschijnlijk is in 1603 ook de Havensluisbrug vervangen door een gemetselde stenen gewelfbrug met keersluis. Doordat scheepvaartverkeer verboden was, zal er geen behoefte zijn geweest aan een beweegbare brug.

Door de bouw van de Waaiersluis in de 1856 was er op de Hollandsche IJssel bij Haastrecht geen eb enloed meer. De keersluis verloor daarmee zijn functie omdat het water op de IJssel nu doorlopend hoger stond dan de waterstand op de Vlist. De puntdeuren werden daardoor constant dichtgedrukt. Scheepvaart door de sluis was niet meer mogelijk. De sluis is in 1908 omgebouwd tot inlaatsluis. Daarvoor werd aan de IJsselzijde een keerwand onder de brug gebouwd, voorzien van een schuif. Bij het dempen van de Grote Haven rond 1970 is ook ter plaatse van de zuidoostelijke binnenfrontmuur een keerwand onder het gewelf gemetseld.

In 2010 is de brug gerestaureerd omdat deze in slechte staat verkeerde. Een deel van het gewelf was zelfs

ingestort. Beide frontmuren waren slecht. Het voegwerk was voor een groot deel geërodeerd en op verscheidene plaatsen zaten de stenen los. Bij de frontmuur aan de IJsselzijde ontbrak onder aan de toog een deel metselwerk. Ook was hier rond de waterlijn het metselwerk door vorstschade geheel verpulverd. De frontmuur aan de landzijde was ernstig beschadigd, gescheurd, scheefgezakt en het bovenstuk enigszins afgeschoven.

Bij de restauratie is de frontmuur aan de landzijde vrijwel geheel gesloopt en opnieuw opgebouwd. Herbruikbare stenen zijn hergebruikt en aangevuld met nieuwe stenen. Het gewelf is niet meer hersteld. Men heeft er voor gekozen het gat vol te storten met zand. Ook onder de rest van het gewelf is tussen de beide keerwanden zand gestort.

De Havensluisbrug is sinds 1966 een Rijksmonument (monumentnummer 19959). In het Monumentenregister van de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed wordt ook bij deze brug een zeer korte beschrijving gegeven: "Stenen BRUG met gevelstenen." Dit doet vermoeden dat vooral de gedenkstenen en hun plaatsing in de frontmuren van groot cultuurhistorisch belang zijn. Over het gewelf wordt in de omschrijving niets vermeld.

RESTAURATIEKEUZE EN MONUMENTALE WAARDE

Alle drie de bruggen zijn hersteld, maar elk op een andere wijze. De overbrugging van de Goerjanvervellesluis is geheel vernieuwd. Zelfs de constructie is niet meer gelijk aan de oorspronkelijke.

Het gemetselde bakstenen gewelf is vervangen door betonnen prefab-elementen. Wat rest, is slechts de vorm van de brug en het aanzien van de frontmuren. Bij de Havensluisbrug in Haastrecht heeft men een geheel andere keuze gemaakt. Omdat de brug geen functie meer vervulde, is de ruimte onder het restant van het gewelf met zand dicht gestort. Het gewelf is niet meer hersteld. Gerestaureerd zijn de beide muurfronten met de dateringsstenen. Hoewel de brug vanaf de weg af gezien nog authentiek lijkt, is er in feite nadat al eerder de sluis en de haven waren verdwenen, nu ook geen brug meer. Alleen de frontmuren met de dateringsstenen geven nog een indruk van en een herinnering aan de brug. Het meest oorspronkelijk is de Vrouwe van Rijnsburgerbrug over het Vrouwenregt. Hoewel deze grotendeels opnieuw is opgebouwd, heeft men daarbij wel de oorspronkelijke constructie als voorbeeld genomen. Het nog bruikbare deel van het aanwezige materiaal is ook hergebruikt. Vooral de hardstenen togen bij de frontmuren zijn nog grotendeels authentiek. Wel zijn de traptreden en de ijzeren balustrade van een latere datum.

De vraag kan gesteld worden in hoeverre de bruggen nog als monument kunnen worden aangemerkt. Voor de Delftse brug is daar weinig twijfel over. Ook al dateert het geheel niet uit de zestiende eeuw het heeft een duidelijke monumentale status verworven. Niet alleen de vorm maar ook de constructie zelf heeft een hoge cultuurhistorische waarde. Dat geldt in het bijzonder de hardstenen toegblokken met de jaartalstenen. Deze bezitten een zeer grote historische waarde, maar zijn helaas wel kwetsbaar. Geheel anders is dit bij de Goejanverwellebrug in Hekendorp. Al het oude materiaal van de brug is bij de laatste restauratie verdwenen. Alleen de vorm heeft nog cultuurhistorische waarde, uiteraard mede ook als onderdeel van het monumentale sluiscomplex. De brugconstructie zelf heeft op dit moment geen enkele monumentale waarde. De vraag kan worden gesteld of

het slopen van het gewelf wel toelaatbaar was. Vanuit het monument gezien uiteraard niet. Maar er zijn meer belangen, zoals bijvoorbeeld veiligheid. Veiligheid is iets waarmee niet gemarchandeerd mag worden. De brug over de Goejanverwellesluis voldeed niet meer aan de veiligheidseisen en moest dus worden vervangen. Bij handhaving van het gewelf zou er een nieuwe brug over het gewelf moeten worden aangebracht. Een hoger gelegen brug zou echter een nog grotere aantasting van het gehele monumentale complex betekenen. De monumentale belangen moeten hier dus wijken voor de veiligheidseisen. Bij de brug in Haastrecht heeft men er voor gekozen alleen de zichtbare delen te restaureren. Het niet zichtbare gewelf heeft niet hersteld, maar de ruimte eronder volgestort met zand. Het uiterlijk van de Havensluisbrug is dus gehandhaafd, maar je kunt je afvragen of hier nog sprake is van een brug. Alleen het uiterlijk doet nog duidelijk denken aan een brug. In feite is echter na de sluis en de haven nu ook de brug verdwenen. Wel is er in theorie de mogelijkheid om in de toekomst het gewelf te herstellen. Zelfs zou men de haven weer open kunnen graven en weer een werkbare sluis kunnen bouwen. De kans daarop is gering, omdat de gedempte haven inmiddels grotendeels door aanwonenden bij hun achtertuin is getrokken. De gerestaureerde delen hebben echter voldoende cultuurhistorische waarde om de brug als Rijksmonument te handhaven. Dat geldt niet alleen voor de jaartalstenen maar ook voor de borstwering. Er zijn nog maar weinig zestiende- en zeventiende-eeuwse gewelfbruggen met een stenen borstwering overgebleven.

Met dank aan Hendrik-Jan Cassee van Nebest Adviesgroep (Vrouwe van Rijnsburgerbrug en Havensluisbrug) en van Ben van Hees van Aannemersbedrijf B. van Hees en Zonen (Goejanverwellebrug). De afbeeldingen zijn van de auteur, tenzij anders aangegeven.

↓ De Havensluisbrug gezien vanaf de Grote Haven.



Weet u wat het meest kosteneffectieve moment van onderhoud is voor uw areaal?



Naast risicogestuurd onderhoud kunnen wij u totaal ontzorgen op het gebied van assetmanagement van civiele kunstwerken.



Kijk voor meer informatie op www.westenberg.net

De kunst van het vertrouwen

CATHARINABRUG LEIDEN OPGELEVERD

Op 25 augustus 2016 is in het centrum van Leiden de nieuwe Catharinabrug geopend. Met ruim 36 meter lang, 6 meter breed en slechts 275 millimeter dik is de fiets- en voetgangersbrug de langste en slankste betonnen brug in Nederland in ultra-hogesterktebeton (UHSB).

De Catharinabrug zal de Waaghoofdbrug vervangen en loopt van de Stille Mare in een lichte S-bocht naar het Gat van Van Nelle. Het Gat van Van Nelle wordt het begin van de nieuwe Catharinasteeg. De Catharinabrug sluit hier op aan. Op deze manier wordt er een betere verbinding tussen de Haarlemmerstraat en de Breestraat gerealiseerd, waardoor er een winkelrondje ontstaat.

Dat er uitgerekend in de historische Leidse binnenstad een modern materiaal wordt toegepast, is allesbehalve tegenstrijdig.

Juist op plekken waar weinig ruimte is, biedt deze materiaalkeuze uitkomst voor slanke, maar tegelijkertijd ook robuuste oplossingen. In het geval van de Catharinabrug levert dat een grotere doorvaarhoogte op voor plezierboten en een comfortabele helling voor voetgangers en fietsers.

Het is overigens niet de eerste innovatieve brug in Leiden. Sterker nog: bijna alle keren dat er in de afgelopen eeuwen een brug moest worden geplaatst of vervangen, is gekozen voor een in die tijd vooruitstrevende oplossing. Wat dat betreft houdt Leiden met deze materiaalkeuze vast aan een eeuwenoude traditie.



Catharinabrug Leiden	
Opdrachtgever	Gemeente Leiden
Vormgeving	DP6 architectuurstudio
Constructief ontwerp	Pieters Bouwtechniek
Uitvoering	Gebr. Schouls, Leiden



JANSONBRIDGING



Come
across



BRIDGES | PONTOONS | RORO'S
modular solutions

For sale and rent

www.jansonbridging.com

Nederlandse Bruggenstichting lanceert Canon van de Nederlandse Brug

Twintig eeuwen worden er al bruggen in ons land gebouwd, eerst door de Romeinen, daarna door onze voorouders en nu door ons. De bouwmaterialen veranderden van hout en (bak)steen naar staal en beton, aluminium en kunststoffen. De opkomst van vervoermiddelen als treinen en auto's stimuleerde belangrijke ontwikkelingen in de bruggenbouw. Elektriciteit verving menskracht bij aandrijving, regeling en bediening van beweegbare bruggen en de vormgeving van bruggen kreeg steeds meer aandacht.

Momenteel legt de Nederlandse Bruggenstichting de laatste hand aan een boek dat die 2000 jaar brughistorie in Nederland beschrijft. Het heet Canon van de Nederlandse Brug en biedt in 43 vensters uitzicht op 43 verschillende facetten van het bruggenbouwen in al die eeuwen. Om die lange tijd te kunnen overzien verdeelt de Canon de bruggeschiedenis over een achttal tijdvakken die lopen van de tijd van de Romeinse bezetting via Middeleeuwen en 'IJzeren Eeuw' tot in de moderne tijd. En



VERSCIJNT BINNEKORT

CANON VAN DE NEDERLANDSE BRUG
2000 JAAR BRUGHISTORIE
FORMAAT
24 X 21,6 CM
OMVANG
224 PAGINA'S
AANTAL ILLUSTRATIES
350 GEHEEL IN KLEUR
ISBN
978-90-72830-96-8

halverwege wordt een uitstapje gemaakt naar bruggen die Nederlanders bouwden in de West en in de Oost, vroegere koloniën, waar Nederlanders onder omstandigheden die sterk afweken van die in eigen land, pioniersarbeid hebben verricht. Omdat veel afbeeldingen in de Canon in kleur zijn, wordt het boek een kleurig geheel. Na verschijnen is het voor 28 euro te koop in de boekhandel.

Maar eerst moet het gepresenteerd worden. En dat vindt plaats op zaterdagochtend 12 november in het Science Centre van de TU Delft aan de Mijnbouwstraat 120 in Delft. De presentatie is een gezamenlijke actie van de Vereniging Histechnica, de KIVI-afdeling Geschiedenis der Techniek en de Nederlandse Bruggenstichting. Een tweetal sprekers zal aandacht schenken aan de Canon: Frans Remery die in drie kwartier met zevenmijlslarzen door 2000 jaar

Nederlandse brughistorie zal denderen en Herman Pleij die de betekenis van de brug in beeldspraak en literatuur zal benadrukken. Dan volgt de uitreiking van eerste exemplaren van de Canon door de voorzitter van de Nederlandse Bruggenstichting aan de voorzitters van Histechnica en de KIVI-afdeling Geschiedenis der Techniek. Daarna is er voor ieder een eenvoudige lunch met broodjes, koffie/thee/fris. De toegang voor alle belangstellenden is gratis, maar men moet zich wel tijdig aanmelden. Er worden heel wat deelnemers verwacht en ook voor de catering is tijdige aanmelding van belang. En bijzonder: op die zaterdag 12 november is de Canon éénmalig te koop voor 25 euro. Alle leden, vrijwilligers, begunstigers en donateurs van de deelnemende organisaties krijgen tijdig per mail een uitnodiging voor de presentatie.
— Redactie

Raad van Advies

ARUP



