

# NAVEL EN WESTBRUG: UITDAGING VOOR ALLE BOUWPARTNERS

Sierlijk vormgegeven betonnen bruggen in de Haarlemmermeer

ir. Barend Bekker, Royal Haskoning  
ing. N. Ramkema, Vermeer Beton- en Waterbouw



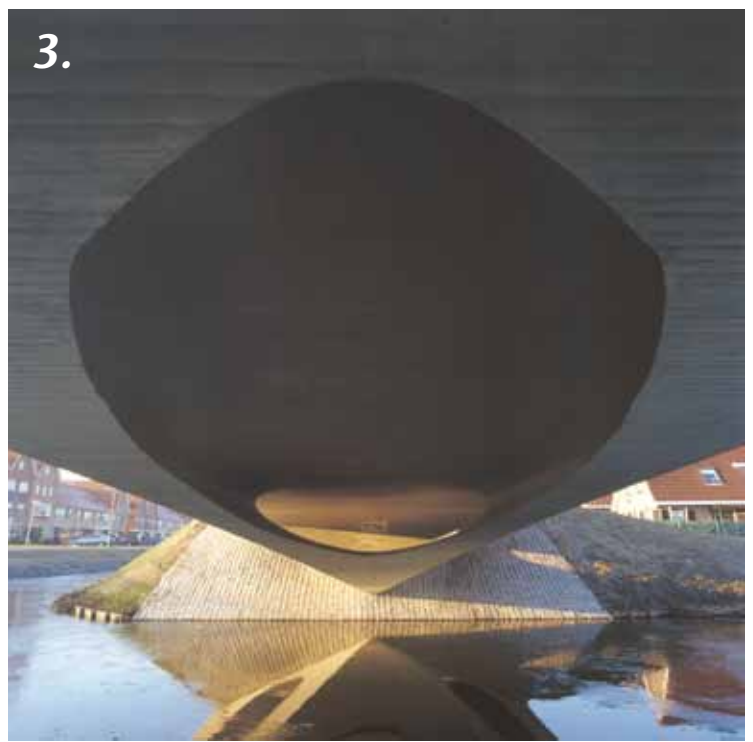
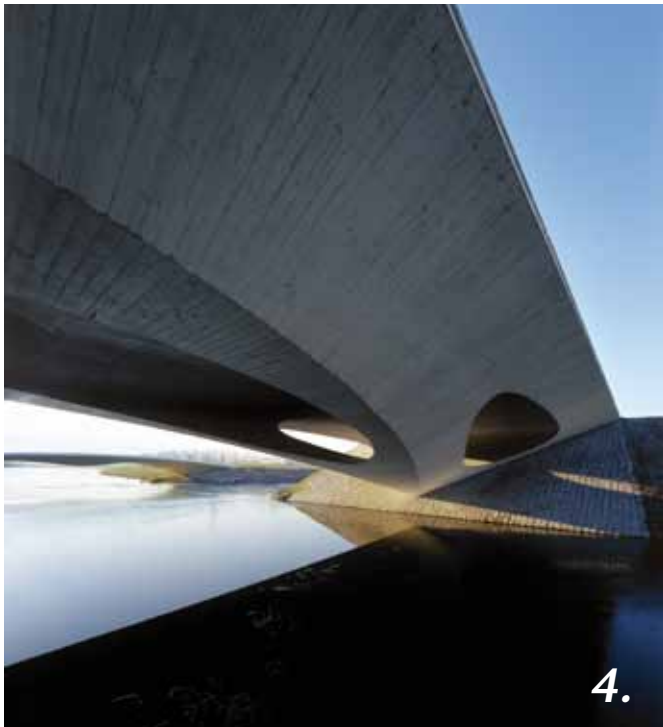
In het kader van de ontwikkeling van de VINEX-locatie Getsewoud te Nieuw-Vennep wordt de Vennepeweg gereconstrueerd. Deze 150 jaar oude polderweg doorsnijdt de in ontwikkeling zijnde woonwijken Getsewoud-Noord en Getsewoud-Zuid, alsmede de twee fietspaden en watergangen die de woonwijken met elkaar verbinden. Het oorspronkelijke plan was de fietsverbindingen met tunneltjes en de watergangen met duikers onder de Vennepeweg door te voeren. Vanwege veiligheid en esthetica was dit niet wenselijk. Daarom is een ontwerp gemaakt met twee identieke, gespiegelde betonnen bruggen, waarbij de Vennepeweg lokaal wordt verhoogd.

De verkeersbrug overspant in één sierlijke asymmetrische boog van circa 21,5 m het fietspad en de watergang (afb. 1 en 11). De constructiehoogte van het dek is zo klein mogelijk gehouden in verband met de vereiste doorrijhoogte van 2,50 m voor het fietspad en om het alignement van de Vennepeweg zo weinig mogelijk omhoog te brengen. De constructiehoogte is beperkt door één van de landhoofden te laten fun-

geren als inklemming van het brugdek: een zwaar landhoofd (ca. 300 m<sup>3</sup> beton), voor het grootste gedeelte onder de grond. Hierdoor oogt het landhoofd juist licht. Vanuit het brugdek worden als het ware twee schuine kolommen geboren die elkaar onderaan het driehoekige raakvlak van brugdek met landhoofd ontmoeten. Deze kolommen zijn ontstaan door in het naar het landhoofd zwaarder wordende brugdek een langs- en een dwarsparing aan te brengen op die plaatsen waar het materiaal gemist kan worden (afb. 2, 3 en 4). Voor een optimale lichttoetreding onder de brug zijn de zijanten van het brugdek sterk afgeschuind. De bruggen worden afgewerkt met een keim-lazuurlaag. De in het zicht blijvende delen van de landhoofden worden bekleed met granietkeitjes.

## Uitdaging voor de constructeur

Om het brugdek aan één zijde voldoende te kunnen inklemmen is een diep gefundeerd landhoofd ontworpen, waarbij de paalfundering een groot koppel naar de ondergrond kan overbrengen. Aan de betreffende zijde komt het brugdek met twee zeer schuine



kolommen op het landhoofd aan. Aan de onderzijde van het landhoofd zorgt een dwarsbalk voor een gelijkmatige verdeling van de belastingen op de fundering in breedterichting. De noodzakelijke diepteligging van dit landhoofd maakt het in verband met de lokale omstandigheden (grondwaterstand, dikke kleilaag met daaronder spanningswater) noodzakelijk in een bouwkuip met onderwaterbeton te werken. In het gebied onder en direct naast de bruggen vereist het verticaal evenwicht een bodemverzwaring om opbarsten tegen te gaan en welvorming te beperken. Om de laatstgenoemde reden worden de damplanken van de bouwkuip na realisering van het landhoofd niet getrokken, maar afgebrand.

De schuine oriëntatie van de kolommen veroorzaakt aanzienlijke trekkrachten in het brugdek. Deze worden volledig gecompenseerd door een rechte voorspanning over de gehele bruglengte. Deze voorspanning levert slechts een geringe bijdrage aan de momentcapaciteit, waardoor in het slanke brugdek relatief veel wapening nodig is. Met name ter plaatse van de aansluiting van het brugdek op de bovenzijde van het grote landhoofd, waar de voorspankrachten uit het dek moeten worden overgedragen, is veel wapening geconcentreerd (afb. 5).

### Driedimensionaal

Bij het architectonisch ontwerp was reeds uitgegaan van een 3D-model in Autocad. Om de constructieve hoofdberekening uit te kunnen voeren is dit model ingelezen in het computerprogramma ESA-PrimaWin. De resultaten zijn mede beoordeeld aan de hand van vereenvoudigde 2D-berekeningen. Het 3D-Autocadmodel heeft gedurende het gehele ontwerpproces de grondslag gevormd voor de berekeningen en tekeningen.

De continu verlopende vormen van deze brug uitte zich in complexe vorm- en wapeningstekeningen. Aanvankelijk zijn vorm en wapening traditioneel aangegeven in een aantal langs- en dwarsdoorsneden, verduidelijkt met 3D-aanzichten. Deze tekeningen bleken echter ontoereikend voor het maken van een goede buigstaat en voor een foutloze uitvoering. Na intensief overleg tussen constructeur en uitvoering is besloten een zeer groot aantal snedes te maken en deze compleet te wapenen. In de praktijk betekende dit dat praktisch alle staven volledig zijn uitgetekend met snedes om de 0,25 m in twee richtingen. Hierdoor kon elke unieke staaf separaat worden uitgetrokken ten behoeve van de vertaalslag naar de buigstaat en de productie in de buigcentrale. Door de unieke vorm van vrijwel elke staaf bleek eveneens een groot aantal





verwijzingen op tekening noodzakelijk te zijn om de wapening op de juiste plaats aan te kunnen brengen.

### Uitdaging voor de uitvoering

Waar voor de vormgeving in de ontwerpfase diverse 3D-systemen beschikbaar zijn, is voor de daadwerkelijke uitvoering het gebruik van dergelijke hulpsystemen slechts zeer beperkt mogelijk. Een ware uitdaging voor de uitvoering kan deze sierlijk vormgegeven brug derhalve zeker worden genoemd. In grote lijnen is de brug opgebouwd uit de volgende onderdelen: de paalfundering, de twee landhoofden, waarbij het zware landhoofd in een bouwkuip wordt gebouwd, en als overspanning het sierlijk gevormde brugdek.

### Onderbouw

De vormgeving van de onderbouw, bestaande uit funderingen en landhoofden, is in vergelijking met het brugdek eenvoudig. Het kleine landhoofd, waarop het brugdek vrij wordt opgelegd, is wat vorm en uitvoering betreft 'traditioneel' te noemen. Het grote landhoofd heeft met zijn zeer grote volume en schuine voorzijde wel een afwijkende vorm. Door het grote volume wordt in de betonmassa veel warmte ontwikkeld. De scheurvorming die ontstaat door grote temperatuurverschillen, kan worden bestreden door het beton te koelen. Tweede aandachtspunt is de schuine

voorzijde onder een helling van 1:3 (afb. 6), waardoor een lastig stortvlak ontstaat, bij voorkeur niet geheel uit te kisten. Afwerken onder deze helling is echter niet vanzelfsprekend en verdient de nodige aandacht.

Een juiste keuze van het betonmengsel heeft voor beide problemen uitkomst geboden. Warmteontwikkeling is tegengegaan door het toepassen van een mengsel met een zeer laag cementgehalte (280 kg/m<sup>3</sup>). Deze 'B 30' bereikt de benodigde karakteristieke druksterkte van 35 N/mm<sup>2</sup> pas na 56 dagen, maar heeft een zeer lage warmteontwikkeling, waardoor betonkoeling niet nodig is. Het schuine afwerken was mogelijk door een goed stortplan en het toevoegen van poederkoolvliegias aan het beton (80 kg/m<sup>3</sup>), waardoor een mengsel ontstaat dat niet uitloopt en onder een helling kan worden afgewerkt.

### Alternatieve werkvolgorde bouwkuip

De bouw van het grote landhoofd geschiedde in een bouwkuip van 14 x 14 m<sup>2</sup>, waarbij een alternatieve bouwmethode is toegepast om de risico's vanwege de slechte grondgesteldheid (opbarsten, welvorming) te beperken. Traditionele methoden voor het bouwen van een bouwkuip in combinatie met een paalfundering zijn:

- aanbrengen van de damwanden, ontgraven bouwkuip, heien betonpalen vanaf traverse.





- aanbrengen van de damwanden, verdiept heien betonpalen, ontgraven bouwkuip;

Vanwege de grondgesteldheid, een dikke kleilaag tot circa NAP – 12,0 m, waaronder overspannen water zit, is niet voor één van deze methoden gekozen. In geval van eerst ontgraven en dan heien is namelijk nauwelijks voldoende evenwicht van de bodem mogelijk door het water in de bouwkuip op te zetten. Om vervolgens de palen in schoorstand in de kuip te kunnen heien is bovendien een kostbare hulpconstructie nodig. In geval van verdiept heien van de palen en daarna ontgraven zou de grondslag problemen kunnen opleveren. De paalfundering bestaat uitsluitend uit schoorpalen 450 x 450 mm<sup>2</sup>, die in een dicht patroon in elkaar grijpen. Verwacht werd dat dit grote problemen zou geven bij het ontgraven van de vette klei tussen de schoorpalen, met als gevolg hoog oplopende duikkosten voor het naar boven halen van kubieke meters klei en het schoonmaken van de paalkoppen. Een bijkomend risico was het beschadigen van de paalkoppen tijdens het ontgraven.

Om de risico's te beperken is direct na het aanbrengen van de damwand de bouwkuip deels in den natte ontgraven en vervolgens geheel aangevuld met zand. Hierna zijn de betonpalen met een oplanger verdiept door de zandlaag geheid. Dit zeer zware heiwerk kan aanzienlijke trillingen voor de omgeving opleveren, maar deze werden onder de geldende omstandigheden acceptabel geacht. Vervolgens is de bouwkuip wederom ontgraven, waarbij het laatste zand tussen de paalkoppen met een toyo-pomp is weggezogen. Ten slotte is het onderwaterbeton aangebracht en de kuip leeggepompt. Deze alternatieve werkwijze bleek een goede oplossing om tegen acceptabele extra kosten de risico's tot een minimum te beperken.

### Brugdek

Nadat de landhoofden gereed waren is met de daadwerkelijke bouw van de sierlijke overspanning begon-

nen. De voorbereidingen vergden extra tijd en aandacht voor alle onderdelen van het brugdek: keuze en detaillering van de bekisting, wapening, wijze van storten, ontkisten en afwerking (afb. 7).

Om op de bouwplaats zo snel mogelijk te kunnen bekisten is zo veel mogelijk geprefabriceerd. Met behulp van een 3D-CAD-systeem zijn in totaal veertien pasklare bekistingselementen compleet uitgetekend en in de bekistingswerkplaats geproduceerd. Deze op transportbreedte uitgevoerde bekistingselementen zijn naar de bouwplaats vervoerd, op de reeds gereedstaande ondersteuning geplaatst en aangeheeld met passtroken (afb. 8).

De keuze voor het contactoppervlak van de bekisting was een esthetisch aspect. De architect wenste een verticale lijnenstructuur in het betonoppervlak. Aanvankelijk was het plan deze uit te voeren met NOEplaatmatten. Gezien het zeer grote gewicht aan wapening dat op de rubbermatten zou komen te rusten, was de verwachting dat de profilering dermate zou beschadigen dat het eindresultaat onbevredigend zou zijn. Als alternatief is de gehele bekisting met geschaafde planken (zgn. deelhout) betimmerd. Dit deelhout geeft eveneens flexibiliteit voor het uitvoeren van diverse complexe aansluitingen en rondingen. Het gatenspel in het brugdek, voornamelijk bestaande uit rond gebogen vlakken, is uitgevoerd met buigtriplex. Hierdoor ontstaat een contrast met de lijnenstructuur ter plaatse van de deelhouten contactbekisting.

De grootste te bekisten ronding is ter plaatse van de dwarssparring. Deze vulbekisting, ook wel 'vliegtuigvleugel' genoemd (afb. 9), werd tijdens het storten vrijwel geheel omsloten door beton. De opwaartse kracht ten gevolge van de betondruk bedroeg circa 500 kN. De vulbekisting werd gefixeerd door een hulpconstructie bestaande uit HE 550B-profielen, die boven de dwarssparring aan de damwand waren bevestigd. Als extra gewicht tegen de opwaartse betondruk waren op de staalprofielen stelconplaten gestapeld.

### Wapening op maat

Zoals eerder gesteld werkt de vormgeving in alle onderdelen door. De wapening, die de complexe vorm van de bekisting volgt, kon na een uitgebreide voorbereiding door aannemer en constructeur, van tekening worden vertaald naar buigstaat voor de productie in de buigcentrale. Probleem bij het aanbrengen van de wapening was het verkrijgen van stevigheid rondom de sparingen, van belang vanwege de oncontroleerbaarheid en te verwachten stortkrachten. Met traditioneel vlechten werd door de kruislings geplaatste staven geen stevigheid verkregen, waardoor uiteindelijk op deze locaties het gehele wapeningsnet is gelast.

### Storten in etappes

De laatste belangrijke stap is het storten van het beton. Het oorspronkelijke uitgangspunt was het beton in één stort aan te brengen. Problemen hierbij zijn het gecontroleerd aanbrengen van het beton op de slecht bereikbare plaatsen onder de dwarssparing en het zetten van bekisting en sparingen ten gevolge van de grote krachten tijdens het storten. Om deze redenen is in twee fasen gestort. Hierdoor bleven de stortkrachten beperkt en bleef, door het nog niet aanwezig zijn van de zes lagen dekwapening inclusief voorspanning, de locatie onder de dwarssparing nog enigszins bereikbaar voor het aanbrengen van het beton.

Het betonmengsel was voor het gehele brugdek een zeer vloeibare B 65 (consistentiegebied 4+). Eerste gedachte was het oncontroleerbare deel te storten met zelfverdichtend beton (ZVB). Uiteindelijk is hiervan om een tweetal redenen afgestapt: het kleurverschil dat ten opzichte van het tweede stort zou ontstaan (het gehele brugdek storten in ZVB is prijstechnisch zeer ongunstig) en het risico van een niet geheel waterdichte bekisting, waardoor een vloeibaar mengsel als ZVB zijn weg naar buiten zou vinden.

### Interactie ontwerper-bouwer

Het ontwerp- en bouwproces heeft op de traditionele wijze plaatsgehad: architectonisch schetsontwerp – voorontwerp – definitief ontwerp – bestek - aanbesteding – detaillering – voorbereiding – uitvoering. Bij dit project is het op diverse momenten nodig geweest om tussen deze fasen terug te koppelen en vooruit te zien. Zo is er de bekende afhankelijkheid bij het architectonisch ontwerp van de constructieve (on)mogelijkheden en de kosten. In het traditionele ontwerpproces is het gebruikelijk hiermee rekening te houden. Het is ook noodzakelijk dat de ontwerper goed nadenkt over de uitvoerbaarheid van het object. Dit is echter een project dat een beroep doet op specifieke uitvoeringskennis en dat ook nog afhankelijk is van de voorkeuren van de uitvoerende partij. Bij de hier toegepaste traditionele aanpak is de uitvoerende partij pas na de aanbesteding betrokken, met als gevolg dat een aantal gemaakte keuzes in het ontwerp door de uitvoering als problematisch werd ervaren. Dat heeft geleid tot intensief overleg en het in een laat stadium nog doorvoeren van wijzigingen. Wellicht is het beter om voor dit soort 'niet-standaard' projecten een meer integrale aanpak te kiezen. Aandachtspunten daarbij zijn dat de kwaliteit van het ontwerp (ook: ambitieniveau) wordt gewaarborgd en dat de kosten beperkt (lees: marktconform) blijven. Afb. 12 toont het uiteindelijke resultaat.

### Projectgegevens

Opdrachtgever:	Gemeente Haarlemmermeer, buro VINEX
Disciplines Royal Haskoning	
Ontwerpteam:	ir. Joris Smits, architect BNA
Constructief ontwerp	
Aannemer:	Vermeer Beton- en Waterbouw BV
Bekistingsleverancier:	Dura Vermeer Materieelservice BV
Oplevering:	Mei 2003

12.

