

De Zevenhoekse Brug

Een nieuw ontwerp voor een fietsviaduct over de A4 en A13 bij Ypenburg

Kasper Heckemann
Auteur
Haagse Hogeschool

Refky Gabra
Begeleider
Ingenieursbureau Den Haag

Colofon	
Auteur	Kasper Heckemann
Studienummer	07051018
Studie	Civiele Techniek
Specialisatie	Constructies
Onderwijsinstelling	Haagse Hogeschool
Afstudeerbedrijf	Ingenieursbureau Den Haag
Afstudeerproject	Zevenhoekse Brug
Status	Definitief
Datum	21-05-2012
Eerste begeleider	J.M. Kousemaker
Tweede begeleider	T.J.A. Heusinkveld
Begeleider bedrijf	R. Gabra



Gemeente Den Haag

DE HAAGSE
HOGESCHOOL

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	2
Voorwoord	3
Projectgeschiedenis	4
Beschrijving omgeving	5
Randvoorwaarden.....	5
Eerder gemaakt ontwerp.....	6
Commentaar op eerder gemaakt ontwerp.....	7
Varianten IbDH	9
Beoordeling variant Tui	10
Beoordeling variant Toog.....	10
Beoordeling variant Tube.....	10
Voorkeursvariant	10
Voorlopig ontwerp Zevenhoekse Brug	11
Beschrijving krachtsverloop.....	11
Materialen en gewichten	11
Rekenprogramma's	11
Lijst van toegepaste normen.....	11
Beschrijving statisch systeem.....	11
Betondek.....	12
Staalconstructie	12
Kolommen	15
Opleggingen	15
Voegovergangen.....	15
Fundering	15
Beheer en onderhoud.....	15
Kostenramingen	17
Commentaar eerder gemaakte raming.....	17
Raming Zevenhoekse brug.....	17
Beschouwing uitvoeringsplan	18
Eerder gemaakt uitvoeringsplan.....	18
Bouwlocatie Zevenhoekse Brug.....	18
Bouwlocatie Overspanning	19
Bouwlocatie Damwand	19
Bouwlocatie Damwand	20
Bouwlocatie Veld	20
Bouwlocatie Veld	21
Uitvoeringsplan Zevenhoekse Brug	22
Fase 1: Bouwfase	22
Fase 2: vervoersfase	27
Fase 3: inhijsfase	27
Conclusies	36
Bronvermelding.....	37
Lijst van afbeeldingen	38

Bijlagen:

- Tekeningen Zevenhoekse Brug
- Oplegging betondek
- Belastingsschema betondek
- Berekening oplegging kanaalplaten
- Berekening staalconstructie
- Berekening kolommen
- Berekening fundering
- Raming eerder ontwerp
- Gecorrigeerde raming eerder ontwerp
- Raming Zevenhoekse Brug
- Berekening zwaar transport Laan van Hoornwijck

Voorwoord

Dit rapport is geschreven in het kader van mijn afstuderen aan de Haagse Hogeschool en behandelt de voorziene verbinding voor fiets- en voetgangers over de A4 en A13 bij Ypenburg. Opgenomen zijn het eerder gemaakt brugontwerp, het commentaar erop, de varianten van IbDH, het voorlopig ontwerp Zevenhoekse Brug, de kostenramingen van zowel het eerder gemaakt ontwerp als het ontwerp Zevenhoekse brug en de uitvoering daarvan.

Het rapport kan zelfstandig worden gelezen, maar is geschreven in samenspraak met de bijgevoegde berekeningen. Ook de conclusies zijn zelfstandig te lezen.

De opbouw van dit rapport is als volgt: Allereerst wordt er achtergrondinformatie over dit project gegeven. Vervolgens wordt het eerder gemaakte ontwerp beschouwd en waar nodig voorzien van commentaar. Daarna worden de varianten van IbDH en het ontwerp Zevenhoekse Brug besproken. Hierna worden de benodigde investeringen bepaald in de ramingen. Uiteindelijk worden er varianten voor uitvoeringsplannen gegeven en ten slotte volgen er conclusies uit het onderzoek.

Er zijn enkele mensen zonder wiens hulp, begeleiding en advies dit rapport nooit tot stand had kunnen komen. Deze mensen wil ik graag hiervoor bedanken:

Allereerst mijn begeleiders van de Haagse Hogeschool, dhr. Kousemaker en dhr. Heusinkveld voor hun begeleiding bij het afstudeerproces. Al mijn collega's bij IbDH voor hun collegialiteit en antwoorden op al mijn vragen. Hier wil ik met name dhr. Gabra noemen, die mij tijdens de gehele afstudeerperiode heeft begeleid en waar ik altijd terecht kon voor hulp en informatie. Ook dhr. Timmer, voor zijn updates over de vooruitgang van mijn afstudeerproject, en dhr. Nijhof voor zijn uitstekende werk aan de animaties voor mijn afstudeerpresentatie.

Als laatste zijn er vier mensen op wie ik tijdens mijn vijf lange studiejaren altijd kon terugvallen. Pap, mam, Brie en Marius, ik kan jullie hiervoor niet genoeg bedanken, maar ik probeer het toch.

Bedankt.

Kasper Heckemann.

Projectgeschiedenis

In de jaren na 1997 is de wijk Ypenburg aangelegd. Deze wijk wordt van Den Haag afgesneden door de Rijkswegen A4 en A13. Om fietsers en voetgangers een snelle verbinding naar Den Haag te bieden is in het stedenbouwkundige plan van de wijk Ypenburg een brug voor langzaam verkeer over de A4 en de A13 voorzien. Vanwege financiële redenen is deze brug echter nooit aangelegd. Er is echter wel rekening gehouden met de mogelijkheid dat er later nog een brug gebouwd zou kunnen worden: er zit een kenmerkende opening in de geluidswal langs Ypenburg waar een brug op aan kan sluiten.



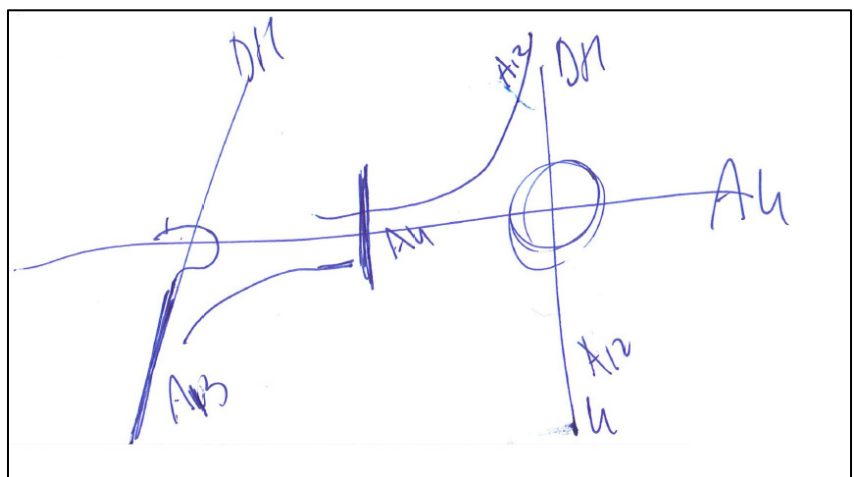
Opening in de geluidswal bij Ypenburg

Na verloop van tijd kwam de brug weer ter sprake. In 2005 is een programma van eisen voor deze brug opgesteld, maar is er verder geen ontwerp gemaakt. In 2007 is echter door de gemeente Den Haag het Trekfietsstracé goedgekeurd. Dit betreft een fietsverbinding van Scheveningen via Ypenburg en Pijnacker naar Rotterdam. Voor dit tracé is een brug over de A4 en de A13 noodzakelijk.

In 2008 is hiervoor door een extern ingenieursbureau een ontwerp gemaakt in de vorm van een tuibrug. Dit ontwerp is in juni 2010 vrijgegeven voor inzage. In oktober van dat jaar is het ontwerp door het college van burgemeester en wethouders goedgekeurd. Er is toen een bedrag van € 12.000.000 beschikbaar gesteld voor het ontwerp en de uitvoering daarvan.

In het voorjaar van 2011 is aan IbDH en Gemeentewerken Rotterdam gevraagd om commentaar te leveren op dit ontwerp. Beide ingenieursbureaus hebben daarop aangegeven dat het ontwerp op diverse punten gebrekkig is.

Door IbDH is aangeboden om een alternatief ontwerp te maken wat wel voldoet aan de gestelde eisen.



Schets van de betreffende Rijkswegen

Beschrijving omgeving

De brug wordt geplaatst ten hoogte van Ypenburg, tussen het Prins Clausplein en het knooppunt Ypenburg. De brug ligt over de zeer drukbereden rijkswegen A4 en A13 en sluit aan op de opening in de geluidswal bij Bosweide en het nog te bouwen viaduct langs het golfterrein Leeuwenbergh. In de directe omgeving van de brug ligt de wijk Bosweide, de geluidswal tussen de Rijksweg en de wijk Bosweide, het golfterrein Leeuwenbergh en het onderhoudsbedrijf Van Lochem.



Luchtfoto van de projectlocatie

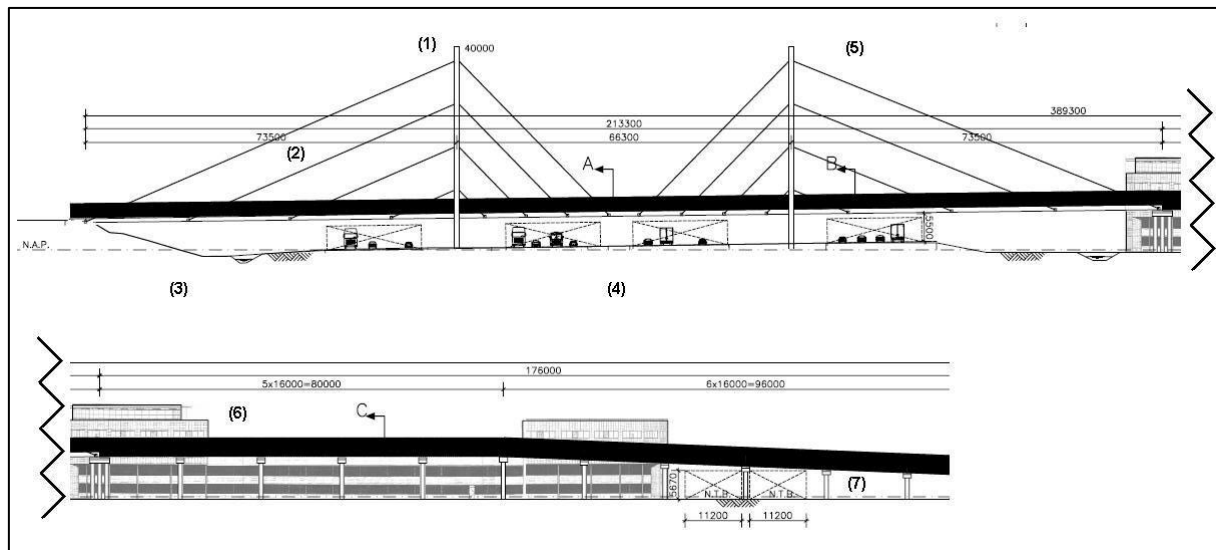
Randvoorwaarden

In het programma van eisen “Fietsverbinding Ypenburg-Voorburg”, 20-06-2005 zijn diverse randvoorwaarden opgenomen. Enkele gestelde randvoorwaarden zijn:

- De route moet dagelijks ongeveer 4.000 fietsers kunnen verwerken;
- De investeringskosten voor het viaduct mogen niet meer dan 10 miljoen euro bedragen;
- Er moet rekening gehouden worden met een onderhoudswagen uit verkeersklasse 18.
- De doorrijdhoogte op het viaduct is minimaal 2,75 meter;
- De doorrijdhoogte onder het viaduct is minimaal 4,8 meter;
- De constructie mag het zicht van verkeersdeelnemers op de A4 niet bemoeilijken;
- De levensduur van het viaduct is 100 jaar.

Hier zijn later nog enkele wijzigingen in gemaakt. De onderdoorrijdhoogte is vergroot naar 5,5 meter ter vermindering van druk en zuiging door onder de brug rijdend vrachtverkeer, en de toegestane investeringskosten zijn verhoogd naar €12.000.000.

Eerder gemaakt ontwerp



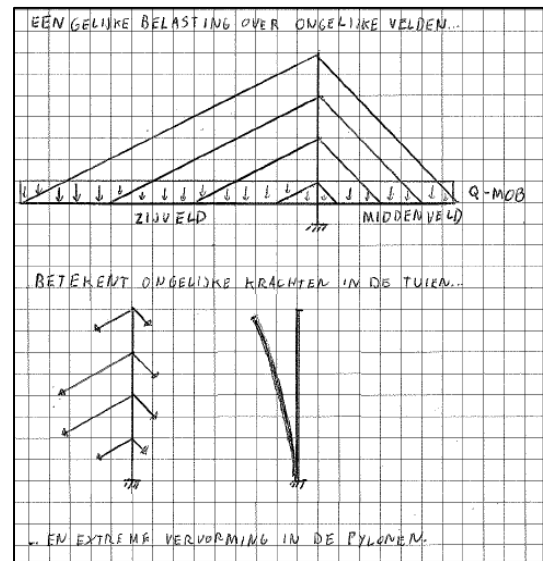
Het eerder gemaakt ontwerp

Het ontwerp heeft de vorm van een tuibrug met drie velden: twee zijvelden van 73,5 meter, uitgevoerd als staalplaatbetondek, en een middenveld van 66,3 meter van massief beton. De belasting op het dek wordt via dwarsdragers afgedragen naar twee doorlopende stalen hoofdliggers van HE900B. Deze hoofdliggers worden gedragen door in totaal 32 tuien die de krachten overdragen naar de pylonen. De pylonen staan in de bermen tussen de A4 en de A13 en dragen de krachten over naar de fundering. Op de brug worden anti-wind en anti-vandalismeschermen geplaatst.

Commentaar op eerder gemaakt ontwerp

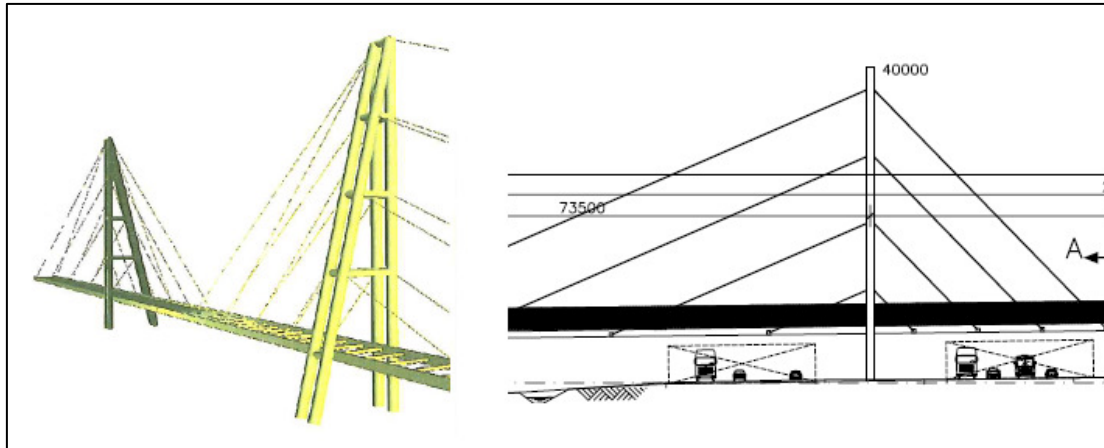
Zoals eerder vermeld zijn er op diverse punten van het ontwerp aanmerkingen:

- Normaal is bij een tuibrug het middenveld ongeveer 2,2 keer zo groot als de eindvelden. In dit geval is het middenveld van de brug is volkomen uit evenwicht met de eindvelden. Om toch momentenevenwicht in de pylonen te krijgen is er een ballast nodig van 650 mm beton over het hele middenveld van 66,3 meter. Dit heeft een grote gewichtstoename als gevolg, wat moet worden opgevangen door de rest van de constructie te verzwaren.



Gevolgen van gelijke belasting over ongelijke velden

- Omdat de zijvelden ruim twee keer zo groot zijn als het middenveld zullen bij een volledige belasting van de velden de pylonen sterk naar buiten uitwijken. Dit zal moeten worden opgevangen door de pylonen stijf en zwaar uit te voeren. Dit brengt extra kosten met zich mee.
- De HE900B hoofdliggers zijn te slank voor de benodigde overspanning. Het is mogelijk dat bij volledige belasting de liggers zullen kippen. Door de vandalismeschermen op de brug bestaat ook een risico op grote zijwaartse verplaatsingen door wind. Ook kunnen tijdens de uitvoeringsfase grote doorbuigingen optreden.
- Er is niet goed nagedacht over beheer en onderhoud van de brug. Omdat de brug over twee rijkswegen ligt die slechts sporadisch mogen worden afgesloten is het noodzakelijk om een brug te ontwerpen waar slechts minimaal onderhoud nodig is. Het eerder gemaakt ontwerp bestaat uit geperfd staal, wat juist onderhoudsgevoelig is. Ook hebben de tuien een kortere levensduur dan de rest van de brug. Dit betekent dat alle tuien minstens eenmaal vervangen moeten worden voordat de brug aan het einde van haar levensduur is.
- De indeling van de tuien is voor een brug van dit formaat niet optimaal. Er is gekozen voor een harp-profiel (alle tuien evenwijdig) terwijl een waaierprofiel (alle tuien naar een punt) of een hybridevorm waaier-harp efficiënter zou zijn.
- Het zwaar gedimensioneerde middenveld bemoeilijkt de maakbaarheid van de brug. De zware onderdelen zullen in een enkel stuk gemonteerd moeten worden, omdat het vanwege de onderliggende Rijkswegen niet wenselijk is om na de montage nog beton op de brug aan te brengen.
- De kosten voor dit ontwerp vallen relatief gezien hoog uit. Dit vanwege het grote gewicht van de middenoverspanning en de zwaar uitgevoerde pylonen.



Dubbele of enkele pylonen?

Er zijn diverse zaken uit de aangeleverde documenten die niet met elkaar overeenstemmen. Zo staat in het ontwerp dat het dek bestaat uit stalen orthotrope platen met betonnen ballast in het middenveld, terwijl in de kostenraming staat dat het dek bestaat uit beton op een stalen frame, en in de maakbaarheidsrapportage wordt uitgegaan van een volledig stalen constructie. Ook de pylonen zijn niet eenduidig omschreven. In de aangeleverde tekeningen wordt uitgegaan van een V-vormige pyloon (2 kolommen), terwijl in het ESA-model een pyramidevormige pyloon met 4 kolommen is berekend.

Verder zijn de voorgestelde kosten voor de uitvoering van het ontwerp te laag geraamd. Er is een raming opgesteld voor 411 ton constructief staal terwijl volgens het ESA-model 444 ton staal benodigd is. Vooral de staalkosten voor de pylonen worden te laag geraamd: er wordt uitgegaan van een prijs van €1,30 per kilo terwijl voor dikwandige naadloze buizen een kiloprijs tussen de €8,00 en €10,00 gebruikelijk is. Ook komen er geraamde hoeveelheden niet overeen met wat er op de tekeningen vermeld staat; onder andere de stijlen van de vandalismeschermen en de hoeveelheid funderingspalen wijken af. De kosten voor het bouwrijp maken van het terrein zijn ook te laag, op het terrein zijn namelijk bosjes en slootjes aanwezig. Tenslotte zijn de kosten voor de verkeersmaatregelen te laag geschat.

In de opgestelde maakbaarheidsrapportage is over het hoofd gezien dat er voor het middenveld een ballast noodzakelijk is van 650 mm beton. Vanwege het grote gewicht bemoeilijkt dit de maakbaarheid van de brug. Hierdoor is het twijfelachtig dat het opgestelde uitvoeringsplan nog van toepassing is. Ook wordt er zonder meer van uitgegaan dat de bermen tussen de A4 en A13 geschikt zijn als bouwterrein.

Ten slotte is er voor het uitvoeringsplan relatief lange afsluiting van de rijkswegen noodzakelijk. Dit brengt hoge sluitingskosten met zich mee.

3.6.1. Methode inschuiven

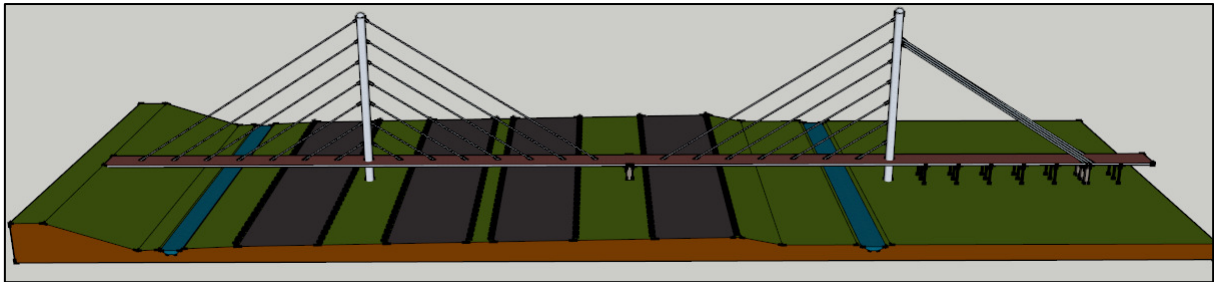
Inschuiven	A13 Rtd	A4 Rtd	A4 Amst	A13 Amst
Pyloon steunpunt 2			6 uur	6 uur
Pyloon steunpunt 3	6 uur	6 uur		
Brugdeel 1-2	10 uur	10 uur	10 uur	10 uur
Tussensteunpunt 2-3			6 uur	
Brugdeel 2-3	10 uur	10 uur	10 uur	
Brugdeel 3-4	10 uur			
Afmonteren	10 uur	10 uur	10 uur	10 uur
Totaal	46 uur	36 uur	42 uur	26 uur
Totaal generaal				150 uur

Benodigde afsluittijd rijstroken voor het gemaakte uitvoeringsplan.

Varianten IbDH

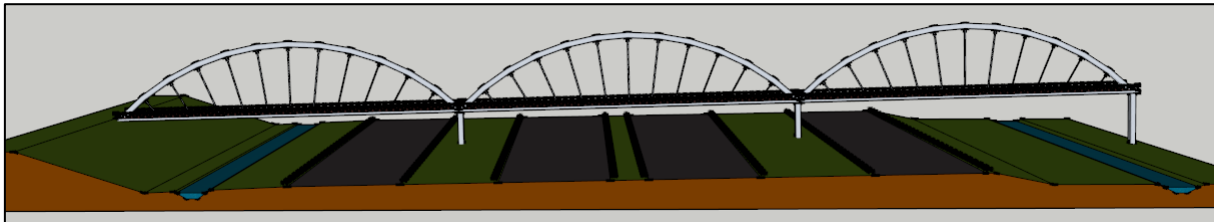
Door IbDH zijn drie varianten opgesteld en beschouwd:

- Variant Tui
- Variant Toog
- Variant Tube



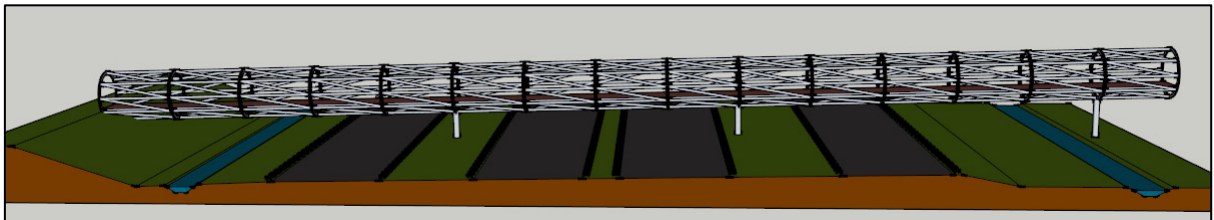
SketchUp render van variant Tui

Variant Tui bestaat uit een tuibrug over twee gelijke velden van 139 meter. Aan de kant van het Citee-gebouw zijn de tuien over het hele veld weggelaten en vervangen door verankeringstuinen. Dit voorkomt dat het uitzicht vanuit het Citee-gebouw wordt beperkt. Verder worden de pylonen uitgevoerd als mono-palen in het brugdek. Ook de tuien zijn in het midden van het dek bevestigd.



SketchUp render van variant Toog

Variant Toog bestaat uit een boogbrug over drie gelijke velden. Het brugdek wordt gedragen door tuien, die in het midden van het dek bevestigd zijn. De tuien dragen de krachten over naar de boog. De stabiliteit van het brugdek wordt gewaarborgd door vakwerkliggers in de lengterichting van de brug.



SketchUp render van variant Tube

Variant Tube bestaat uit een ruimtelijk gesloten vakwerk van stalen ringen en buizen waar het brugdek in ligt. Het vakwerk loopt statisch onbepaald door over drie ongelijke velden. De zijvelden zijn 71,5 meter en het middenveld is 66 meter lang. Het betonnen brugdek wordt gedragen door de ringen die via de buizen de krachten afdragen naar de opleggingen.

Elk van deze varianten heeft zijn eigen voor- en nadelen.

Beoordeling variant Tui

Het grootste voordeel van variant Tui is dat het ontwerp voldoet aan de eis voor een landmark. De pylonen vallen op in het landschap, zonder daarbij hinder op te leveren voor omwonenden. Ook het uitzicht vanuit het Citee-gebouw wordt niet gehinderd.

Er kleven ook veel nadelen aan dit brugontwerp. De hoge pylonen en lange tuien zorgen ervoor dat dit ontwerp vergeleken met de anderen erg duur uitvalt. Door de grote overspanningen wordt dit ontwerp ook moeilijk uitvoerbaar. Er zullen voor de uitvoering tussensteunpunten noodzakelijk zijn.

Beoordeling variant Toog

Ook deze variant voldoet aan de landmarkeis. De combinatie van een boog en een vakwerk zorgt voor een efficiënte krachtenafdracht naar de fundering. De antiwind- en vandalismeschermen kunnen in en op het vakwerk worden bevestigd.

Het belangrijkste nadeel van deze variant is de maakbaarheid. Het gewicht van de stalen boog zorgt voor een hoogliggend zwaartepunt wat de stabiliteit tijdens de uitvoering benadeelt. Ook zal het gewicht van de constructie de uitvoering bemoeilijken.

Beoordeling variant Tube

De variant Tube maakt zeer efficiënt gebruik van materialen. De antiwind- en vandalismeschermen kunnen integraal in het vakwerk worden opgenomen. De brug is vergeleken met de andere varianten eenvoudiger te realiseren. Ook zorgt de stijfheid van de brugelementen voor een comfortabele passage voor fietsers en voetgangers. Omdat er geen dure tuien en pylonen nodig zijn zal deze brug ook goedkoper zijn dan de andere varianten.

Het nadeel van deze variant is dat de constructiehoogte groter is dan bij de andere ontwerpen. Omdat de onderkant van de brug 5,5 meter boven de rijksweg moet liggen betekent dit een grotere helling van de aanbruggen. Ook moet er veel staal gecoat worden tegen roestvorming.

Voorkeursvariant

Vanwege de maakbaarheid, uitvoerbaarheid en de lage kosten gaat de voorkeur uit naar het uitwerken van de variant Tube. Er moet bij het uitwerken van deze variant vooral gekeken worden naar het verlagen van de constructiehoogte, het beperken van het aantal benodigde kilo's staal en de mogelijkheden voor het beperken van de kosten van het onderhoud van het staal.

Voorlopig ontwerp Zevenhoekse Brug

Beschrijving krachtsverloop

De totale overspanning wordt verdeeld in drie velden van 65 meter. De krachten uit de mobiele belastingen lopen via het betonnen dek naar de stalen ringen, waarna ze via de buizen naar de kolommen overbrengen die de krachten afdragen naar de fundering.

Materialen en gewichten

Staal S355 = 78 kN/m³

Beton C35/45 = 25 kN/m³

Rekenprogramma's

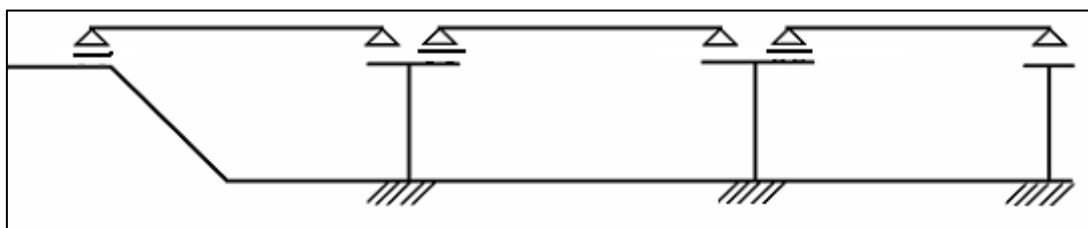
Een deel van de berekeningen is uitgevoerd met het eindige elementenpakket SCIA Engineer. Verder zijn er berekeningen gemaakt in Microsoft Excel en MatrixFrame.

Lijst van toegepaste normen

NEN-EN 1991-1-1+C1:2011 nl Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 1-1: Algemene belastingen
NEN-EN 1991-1-3+C1:2011 nl Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 1-3: Algemene belastingen – Sneeuwbelasting
NEN-EN 1991-1-4:2005 nl Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 1-4: Algemene belastingen – Windbelasting
NEN-EN 1991-2+C1:2011 nl Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 2: Verkeersbelasting op bruggen
NEN-EN 1993-1-1+C2:2011 nl Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen
NEN-EN 1993-1-8+C2:2011 nl Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-8: Ontwerp en berekening van verbindingen
NEN-EN 1993-2+C1:2011 nl Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 2: Stalen bruggen

Beschrijving statisch systeem

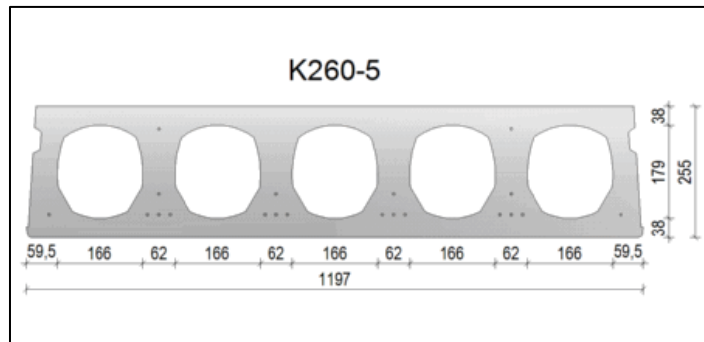
Vanwege uitvoeringsredenen is gekozen voor een uitwendig statisch bepaald systeem. De brugdelen worden opgelegd zoals in de onderstaande figuur getekend staat.



Statisch systeem

Betondek

Het brugdek bestaat uit een kanaalplaatvloer van 260 mm hoog met een druklaag van 50 mm gewapend beton. Het dek overspant 6430 mm en wordt opgelegd op hoekstalen die zijn bevestigd aan de ringen.



Doorsnede kanaalplaat

Het betondek is sterk en stijf genoeg om de mobiele belasting de gebruikers te kunnen dragen. Ook kan er een dienstvoertuig of onbedoeld aanwezig voertuig over rijden.

Staalconstructie

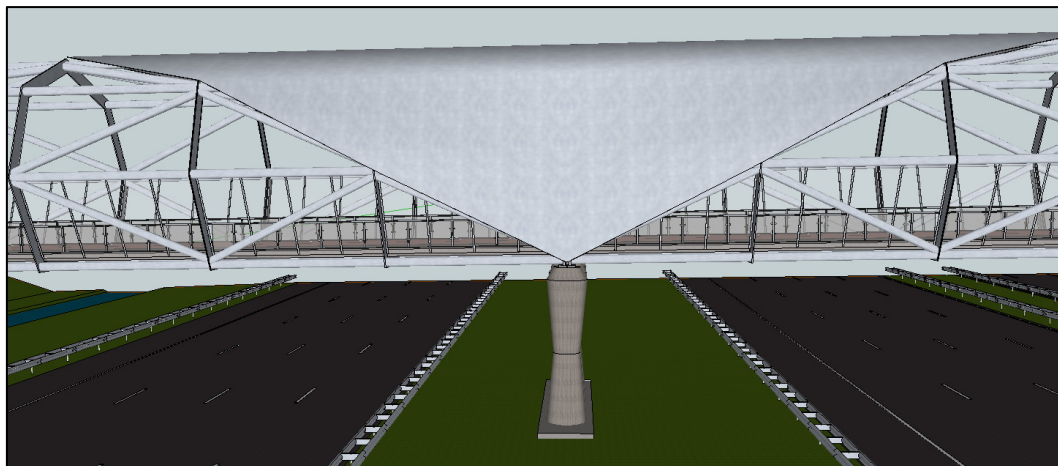
De staalconstructie moet de mobiele belasting, wind, sneeuw en rembelasting kunnen overdragen naar de fundering. Omdat de staalconstructie nauwelijks met de hand te berekenen is, is hier gebruik gemaakt van het eindige elementenanalyse pakket SCIA Engineer.

De mobiele belasting en het gewicht van het betondek grijpen aan op de stalen ringen in de constructie. De wind grijpt aan op het anti-vandalismescherm, die de belasting weer overdraagt naar de buizen aan de zijkant van de brug. Ook op de stalen beplating zal windbelasting optreden, die wordt overgedragen naar de ringen.

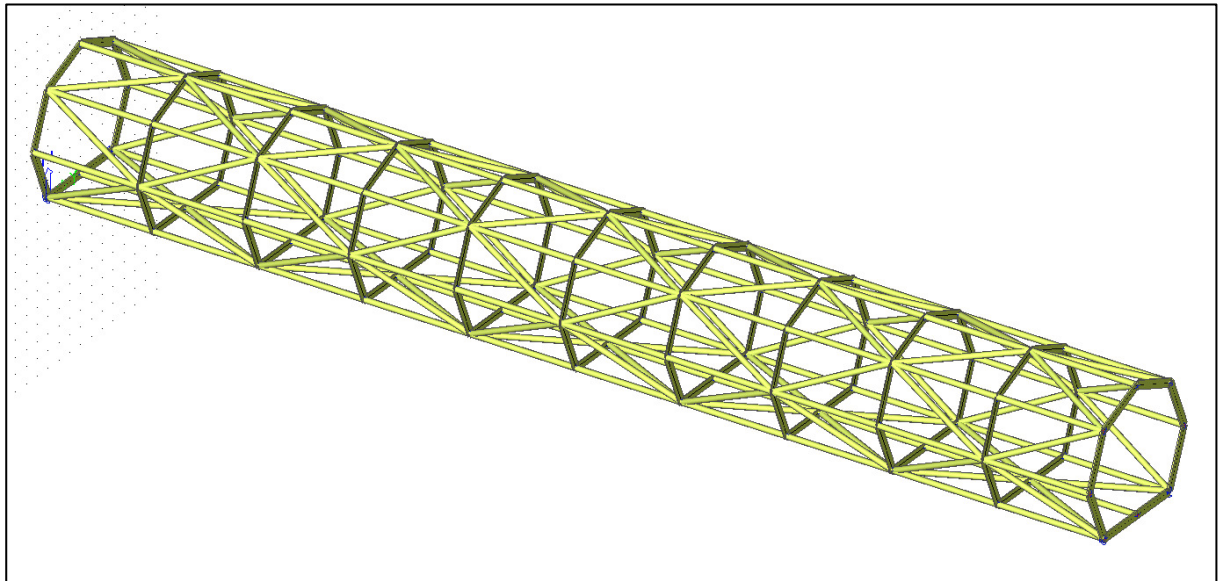
Uit de berekeningen blijkt dat ter plaatse van de opleggingen de belastingen groter zijn dan in het midden van de brug. Daarom zullen de stalen ringen bij de opleggingen breder moeten worden uitgevoerd dan de ringen in het veld. De gebruikte profielen zijn:

- | | | |
|-----|-------------------------------------|--------------|
| (1) | Buis in veld 323,9 / 8,8 mm | = 0,69 kN/m1 |
| (2) | Plaatstaal in veld: 500*40mm | = 1,56 kN/m1 |
| (3) | Plaatstaal bij oplegging: 500*80 mm | = 3,12 kN/m1 |

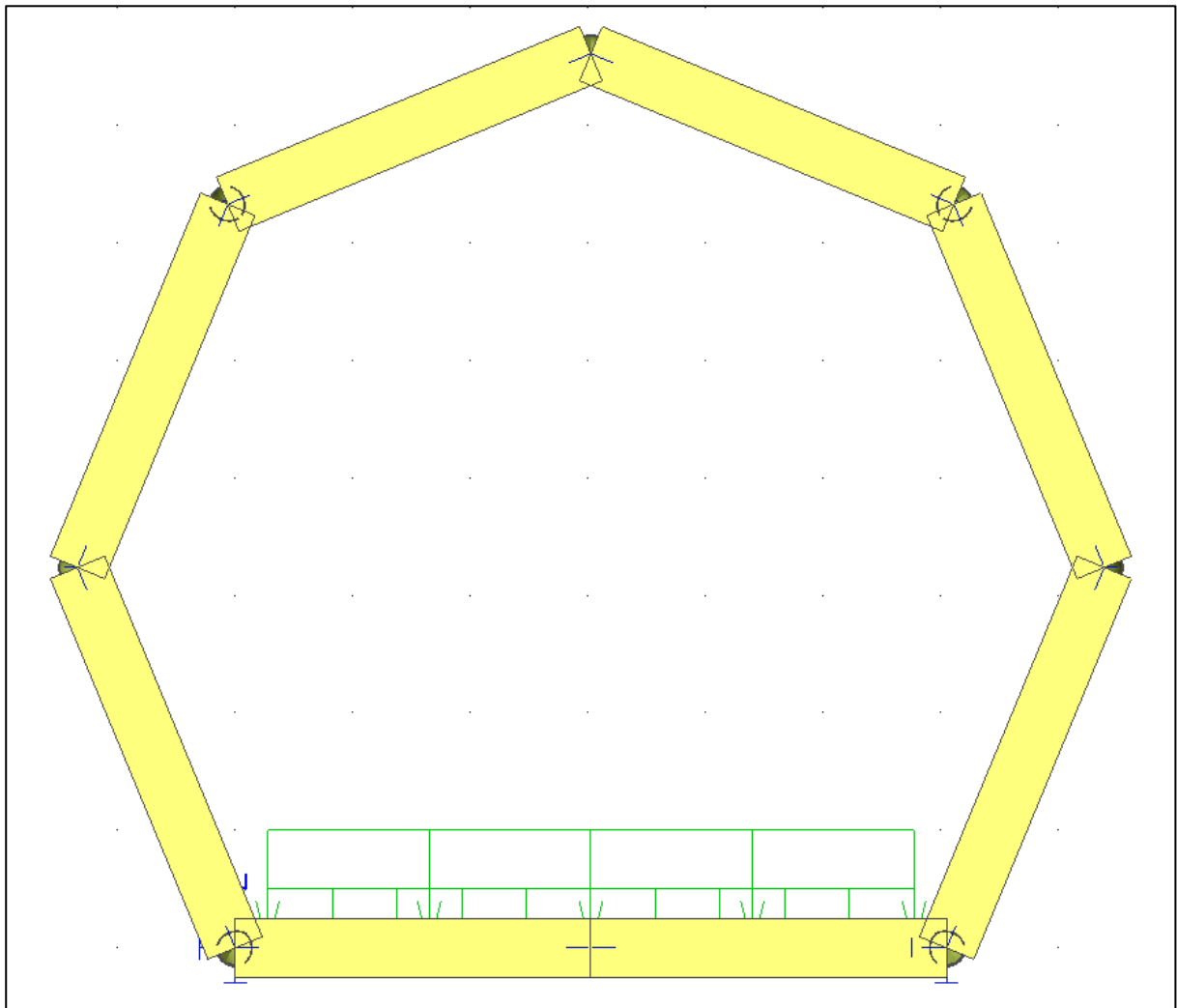
Verder wordt de staalconstructie plaatselijk omkleed met gealuminiseerde stalen platen.



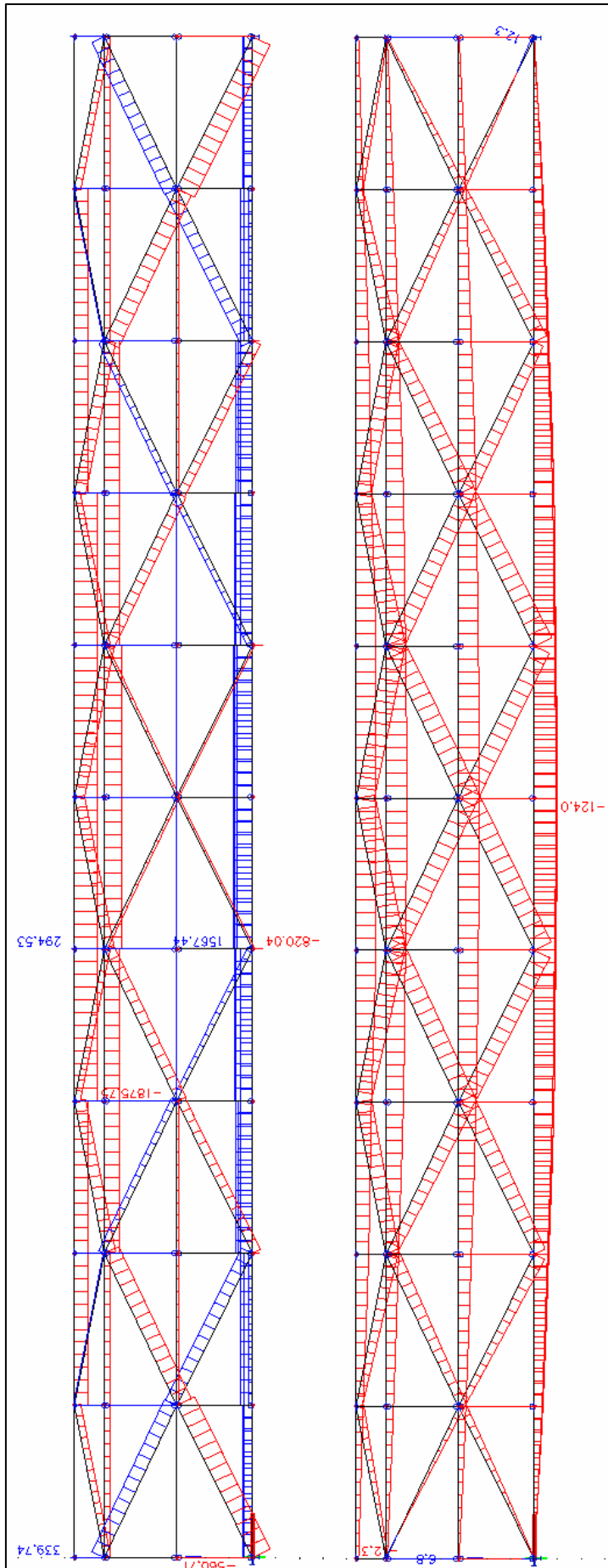
De beplating van de staalconstructie



De staalconstructie van het maatgevende brugdeel



De optredende mobiele belastingen

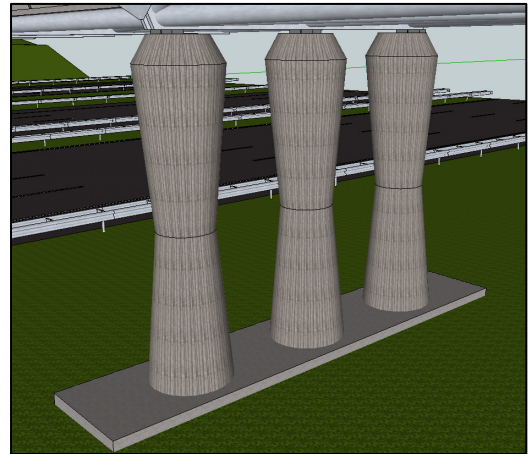


De normaalkrachtenlijn en doorbuiging

Kolommen

De kolommen zijn zandlopervormig en uitgevoerd in beton. Ze zijn zodanig uitgevoerd dat ze sterk en stijf genoeg zijn om de optredende krachten door mobiele belasting, eigen gewicht, wind en permanente belasting kunnen afdragen naar de fundering.

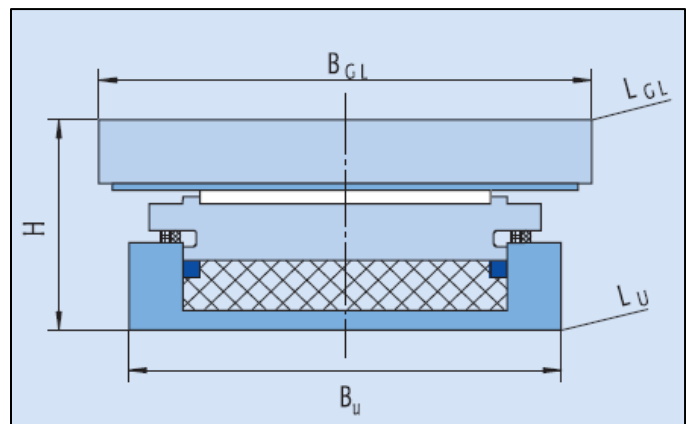
Vanwege de zandlopervorm van de kolommen zijn er twee maatgevende doorsneden die berekend moeten worden.



De kolommen

Opleggingen

De brugdelen worden opgelegd op stalen potopleggingen die de optredende krachten en rotatie aankunnen. De brugdelen worden aan één kant vastgehouden en aan een kant zodanig opgelegd dat de brug vrij uit kan zetten.



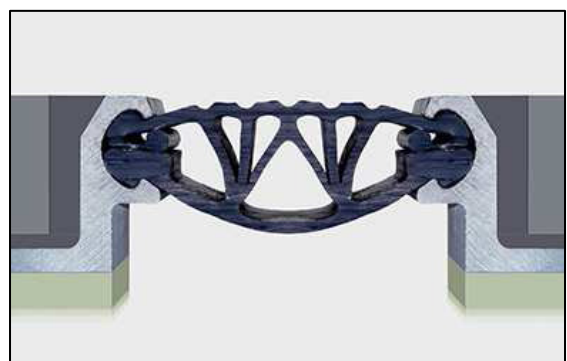
Een doorsnede van een oplegblok

Voegovergangen

Tussen de brugdelen wordt een rubberen Elastoblock voegovergang geplaatst die voldoende vervormingscapaciteit heeft om de brug vrij te kunnen laten vervormen.

Fundering

De brug wordt gefundeerd op trillingsarm ingebrachte palen. Uit sondeerdiagrammen van nabij gelegen locaties blijkt dat het benodigde paalpuntniveau op ongeveer 20 meter onder NAP zal komen te liggen. Er zijn per reeks kolommen 12 palen nodig.



Een doorsnede van een voegovergang

Beheer en onderhoud

Om de kosten voor beheer en onderhoud te beperken worden alle stalen brugonderdelen gecoat met een laag aluminium. Deze zelfherstellende coating hoeft maar één keer per 50 jaar te worden vervangen. De extra kosten voor het aluminiseren worden bij de eerste uitgespaarde verfbeurt al terugverdiend.

Kostenramingen

Er is voor het eerder gemaakt ontwerp een investeringsraming gemaakt waarin bepaald wordt hoeveel de bouw van de brug zal kosten. Deze raming is bij het brugontwerp meegeleverd voor inzage.

Commentaar eerder gemaakte raming

Zoals eerder vermeld zijn er diverse prijzen uit de raming discutabel:

- Voor al het staal in de raming is dezelfde kiloprijs aangehouden. In werkelijkheid ligt de kiloprijs voor stalen dikwandige naadloze buizen enkele malen hoger; €9,40 in plaats van €1,30. Dit verhoogt de directe constructiekosten met twee miljoen euro.
- Er is maar één fundering voor de pylonen geraamd. In werkelijkheid zijn er twee pylonen, dus moet er ook voor twee funderingen geraamd worden.
- Het aantal geraamde funderingspalen wijkt af met wat in het VO wordt vermeld.
- De hoeveelheid stijlen van het anti-vandalismescherm wijkt af van de tekening. In de tekening staan om de anderhalve meter stijlen, terwijl er in de raming om de drie meter stijlen staan.
- Enkele paalpuntniveaus zijn te ondiep, er zijn dus langere palen noodzakelijk.
- In het VO is het brugdek van de eindvelden ontworpen als staalplaatvloer met troggen. In de raming staat echter een vloer van gewapend beton aangegeven.
- De hoeveelheid beton in de middenoverspanning is te laag aangenomen, namelijk 500 mm in plaats van de benodigde 650 mm ballast.
- De kosten voor het bouwrijp maken van het terrein zijn nogal laag. Er zijn geen kosten geraamd voor het verwijderen van struiken, egaliseren en dergelijke.
- De kosten voor verkeersmaatregelen zijn te laag ingeschat. Er moet rekening gehouden worden met 150 uur afsluiting van een Rijksweg.

De correctie van deze onderdelen heeft een aanzienlijke prijsstijging als gevolg. In plaats van de 12,4 miljoen euro die geraamd is, is er 16,9 miljoen euro nodig om de brug te realiseren. Dit is een prijsverschil van 4,5 miljoen euro.

Raming Zevenhoekse brug

Voor de brugvariant Zevenhoekse brug is ook een investeringsraming opgesteld. Om tot een eerlijke vergelijking te komen is waar mogelijk gebruik gemaakt van de bedragen uit de gecorrigeerde raming. Waar dit niet mogelijk was is er gebruik gemaakt van realistische bedragen.

Uit de raming blijkt dat er om de Zevenhoekse brug te realiseren een bedrag nodig is van 12,9 miljoen euro. Dit is 3,9 miljoen euro minder dan wat er nodig is om het eerder gemaakte ontwerp te realiseren. Een uitgebreide vergelijkende kostenraming is gegeven in de bijlagen.

Beschouwing uitvoeringsplan

Eerder gemaakt uitvoeringsplan

In opdracht van de Gemeente Den Haag is een quick scan gedaan naar de maakbaarheid en bouwfaserings van de eerder ontworpen brug. Er is in deze quick scan gekeken naar de bouwbaarheid en bouwtijd van de brug. Verder is er een inschatting gemaakt naar de duur van het inrijden of inschuiven van de brug en de bijhorende wegafsluitingen die daarvoor noodzakelijk zijn. De aanbruggen zijn niet meegenomen in deze quick scan omdat deze geen noemenswaardige invloed hebben op de Rijkswegen.

Er is geconcludeerd:

1. dat het eerder gemaakte brugontwerp in vorm van een tuibrug realiseerbaar is;
2. dat er 150 uur rijbaanafsluiting nodig is om de brug schuivend op zijn plaats te brengen;
3. dat er 84 uur rijbaanafsluiting nodig is om de brug in te rijden;
4. dat er 12 maanden nodig zijn voor de uitvoering van het brugontwerp.

Er is echter van uitgegaan dat het eigen gewicht van de tuibrug niet meer is dan circa 20 kN per strekkende meter brug. Indien er over de hele lengte een stalen rijvloer met troggen zou worden toegepast zou dit kloppen, echter is er in het midden van de vloer 650 mm beton als ballast noodzakelijk. Dit verhoogt het eigen gewicht van het midden van de brug van circa 20 naar circa 100 kN per strekkende meter.

Het verhoogde eigen gewicht heeft verregaande gevolgen voor het uitvoeringsplan. In het uitvoeringsplan is namelijk voorzien dat het middelste brugdeel tijdelijk ongesteund op de pylonen moet liggen. Het verhogen van het eigen gewicht verviervoudigt de optredende spanningen in en het doorbuigen van de hoofdliggers van het brugdeel. Deze zullen door de optredende krachten onder hun eigen gewicht bezwijken.

Door deze foutieve aanname zal het uitvoeringsplan geheel moeten worden herschreven. De mogelijkheid bestaat dat hierdoor het aantal benodigde uren afsluiting van de Rijkswegen zal toenemen.

Bouwlocatie Zevenhoekse Brug

Vanwege de brugafmetingen is het onmogelijk dat de brug in zijn geheel geprefabriceerd wordt. Er is dus een bouw- en assembleerlocatie dicht bij de projectlocatie noodzakelijk.

Er zijn drie mogelijke varianten voor de bouwlocatie van de Zevenhoekse Brug:

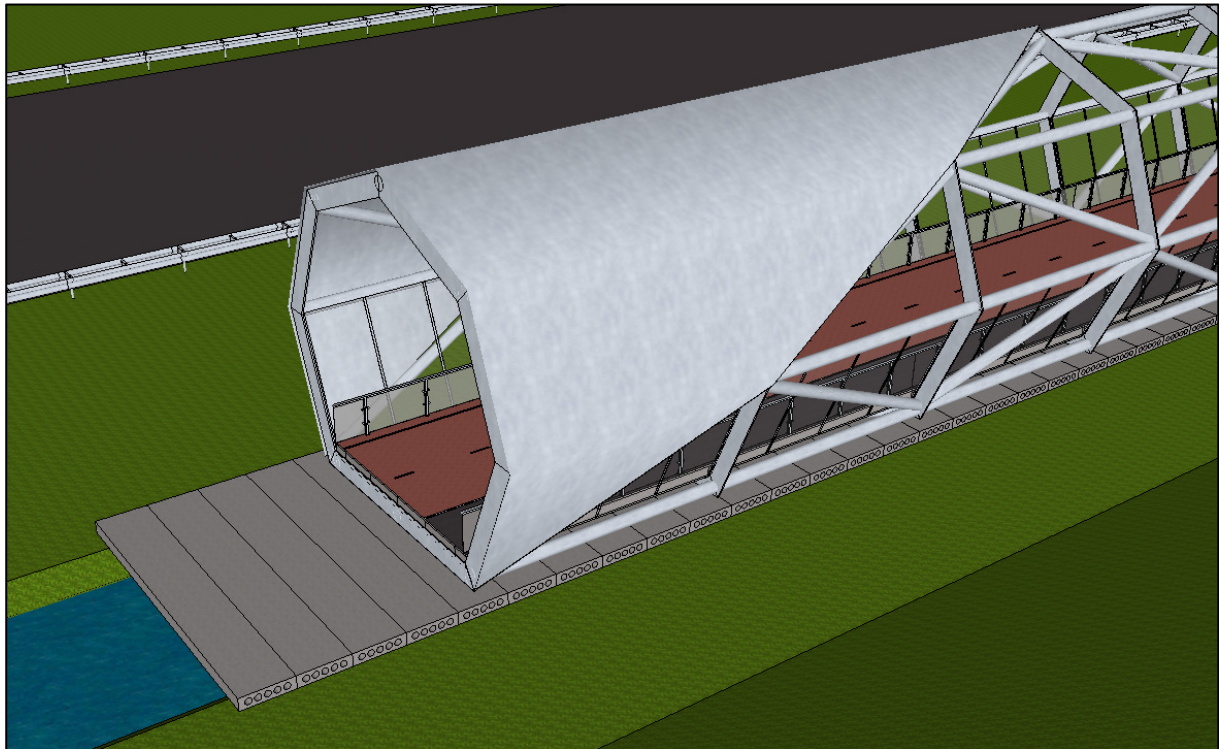
1. een tijdelijke overspanning over de sloot tussen de A13 richting Amsterdam en de aardebaan naast Ypenburg;
2. een aangebrachte zandvlakte tussen een tijdelijke damwand en de aardebaan naast Ypenburg;
3. in het veld bij knooppunt Ypenburg.

Bouwlocatie Overspanning

In bouwlocatie Overspanning wordt de sloot naast de aardewal bij Ypenburg tijdelijk overspannen met kanaalplaten, trogplaten of soortgelijks. Indien de grond stijf genoeg is kunnen deze overspanningen op de grond opgelegd worden, zo niet zal er een tijdelijke fundering nodig zijn. Vervolgens worden de drie brugdelen op deze platen gebouwd. Door een tijdelijke tent over de brugdelen te plaatsen kan er zonder hinderlijke weersinvloeden gewerkt worden. Dit is vooral bij het lassen en het aluminiseren belangrijk.

Het grootste voordeel van deze variant is dat er directe materiaalaanvoer kan plaatsvinden vanaf de A13 richting Amsterdam. Door middel van een tijdelijke in- en uitvoegstrook kan er zonder veel hinder voor het verkeer gewerkt worden.

Een nadeel van deze methode is dat er veel dure platen nodig zijn die voor de gehele uitvoeringsduur gehuurd of gekocht moeten worden. Ook is er onzekerheid of er wel op deze manier gewerkt mag worden zonder extra veiligheidsmaatregelen. Dit vereist nader onderzoek.

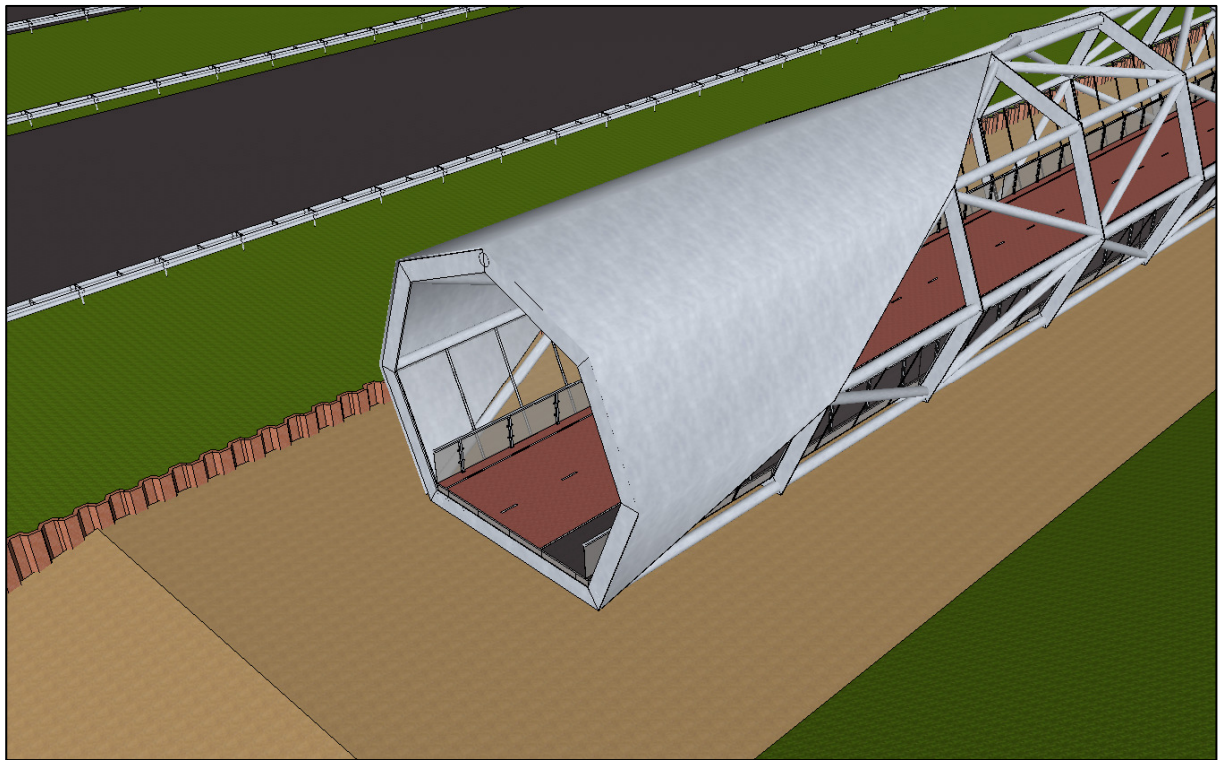


Bouwlocatie Damwand

In bouwlocatie Damwand wordt er een tijdelijke damwand geplaatst tussen de sloot en de geluidswal bij Ypenburg. Vervolgens wordt er zand gestort totdat er voldoende vlakke werkruimte ontstaat om de brug op te kunnen bouwen. Ook hier kan een tijdelijke tent op geplaatst worden.

Het grootste voordeel van deze variant is dat er dicht bij de projectlocatie een vlak werkterrein ontstaat waarop zonder hinder van verkeer gewerkt kan worden.

Een nadeel van deze methode is dat enkele duizenden kubieke meters zand aan- en weer afgevoerd moeten worden. Dit is duur en tijdrovend. Ook is er onzekerheid over de mogelijkheden om materiaal aan te voeren; er is namelijk alleen maar een fietspad over het talud als aanvoermogelijkheid.



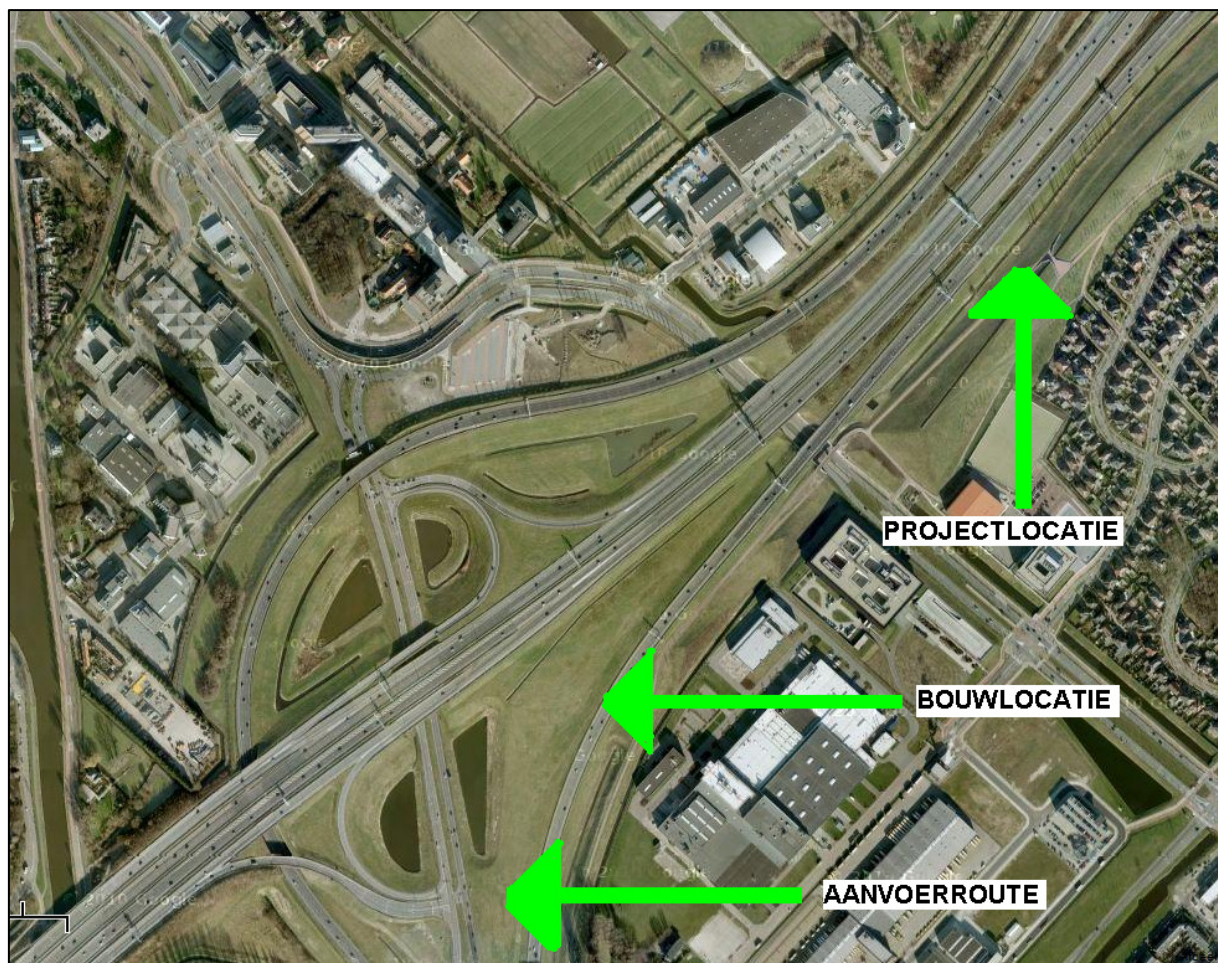
Bouwlocatie Veld

In bouwlocatie Veld wordt de brug gebouwd op het veld in knooppunt Ypenburg. Hier is voldoende vlakke ruimte aanwezig om de brug te bouwen. Vervolgens wordt de brug in delen naar de projectlocatie gereden.

Grote voordelen van deze methode zijn dat er geen dure hulpmiddelen nodig zijn om een bouwlocatie te maken en dat er ruim voldoende werkruimte is. Ook kan er vanaf de Laan van Delfvliet direct materiaal aangevoerd worden zonder hinder voor de gebruikers van de Rijkswegen. Er is berekend dat het viaduct in de A13 over de Laan van Hoornwijk genoeg draagvermogen bezit om de brugdelen over te laten rijden.

Zodra de Rotterdamsebaan aangelegd wordt heeft dat project het recht om dat bouwterrein te reserveren voor eigen gebruik. Er wordt verwacht dat het project Rotterdamsebaan in 2016 van start zal gaan. Verder zullen er voor de uitvoering 2 of 3 portalen over de snelweg moeten worden verplaatst.

Vanwege deze voordelen geniet bouwlocatie Veld de voorkeur.



Uitvoeringsplan Zevenhoekse Brug

Het uitvoeringsplan voor de Zevenhoekse Brug bestaat uit drie fases, die elk ook weer in fases op te delen zijn. In dit uitvoeringsplan worden alleen de werkzaamheden op het veld in knooppunt Ypenburg nader beschouwd. Er wordt vanuit gegaan dat de pylonen, landhoofden en aanbruggen tegelijkertijd worden gebouwd en gereed zijn ten tijde van het vervoeren en plaatsen van de brug.

De betreffende fases zijn:

- Bouwfase
- Vervoerfase
- Hijsfase

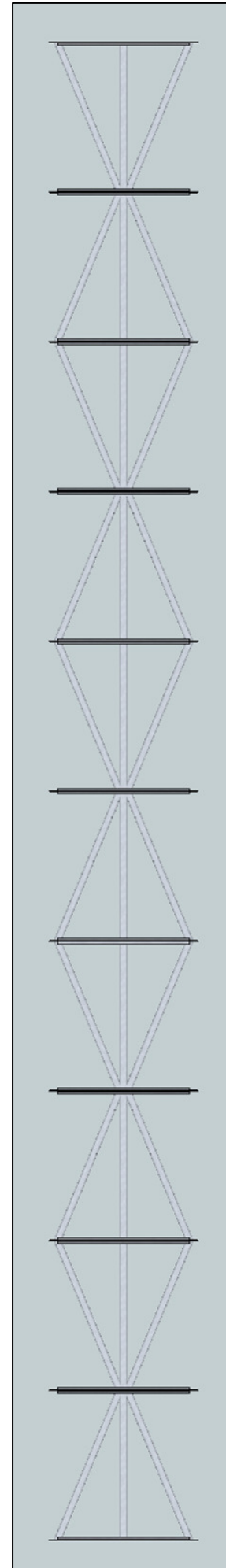
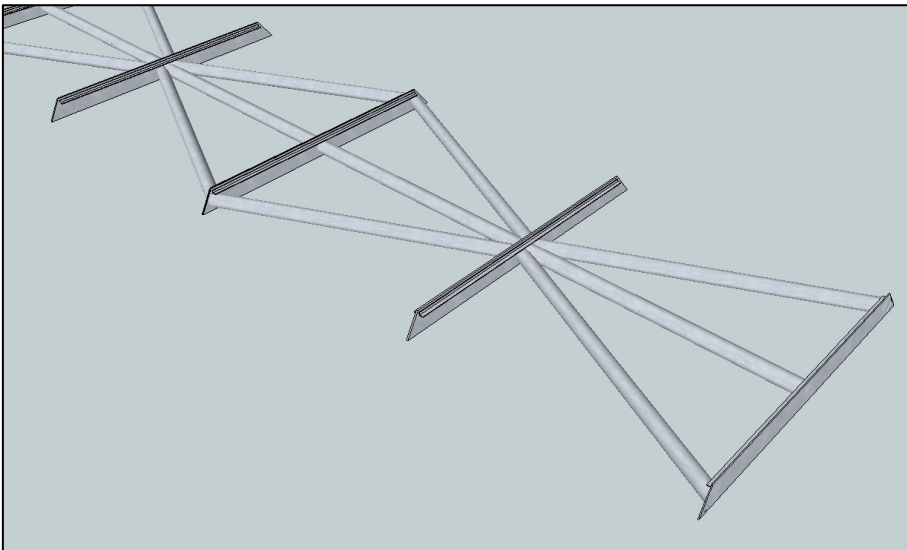
Fase 1: Bouwfase

In deze fase worden de brugdelen gebouwd.

Fase 1.1: onderkant staalconstructie

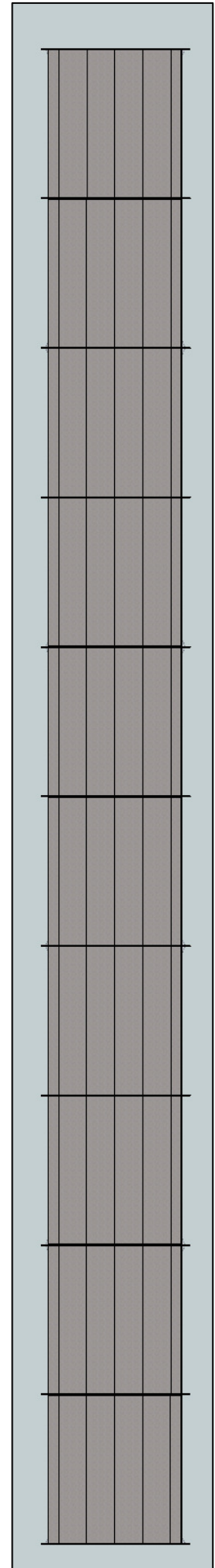
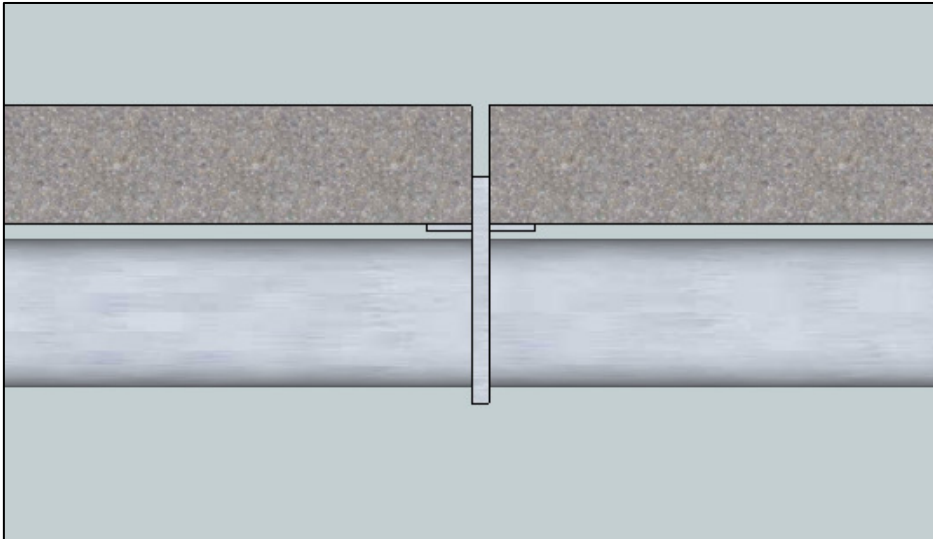
In de fabriek worden de hoekstalen waar de kanaalplaten op komen te liggen aan de staven gelast. Hierna worden deze onderdelen en de buizen gealuminiseerd.

Op de bouwlocatie worden de buizen aan de staven gelast. Hierna wordt het laswerk gealuminiseerd. Op deze manier ontstaat er een bodem om de kanaalplaten op te leggen.



Fase 1.2: kanaalplaten leggen

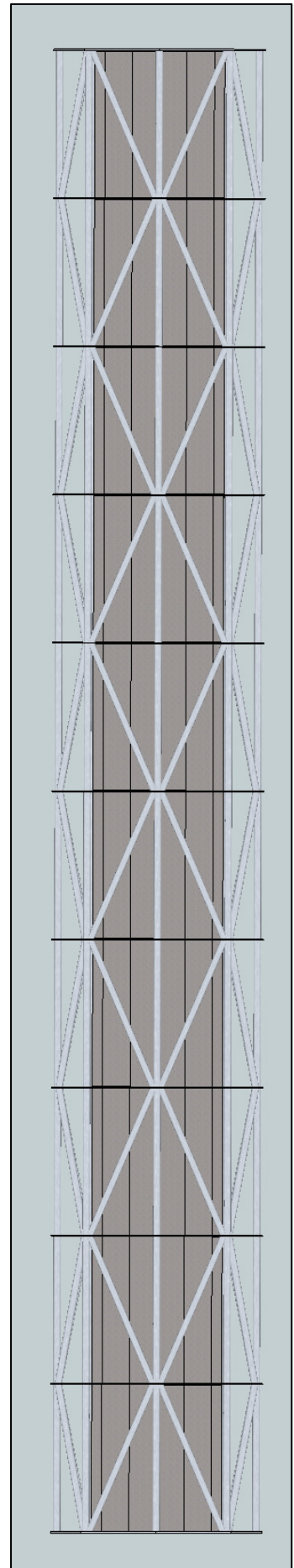
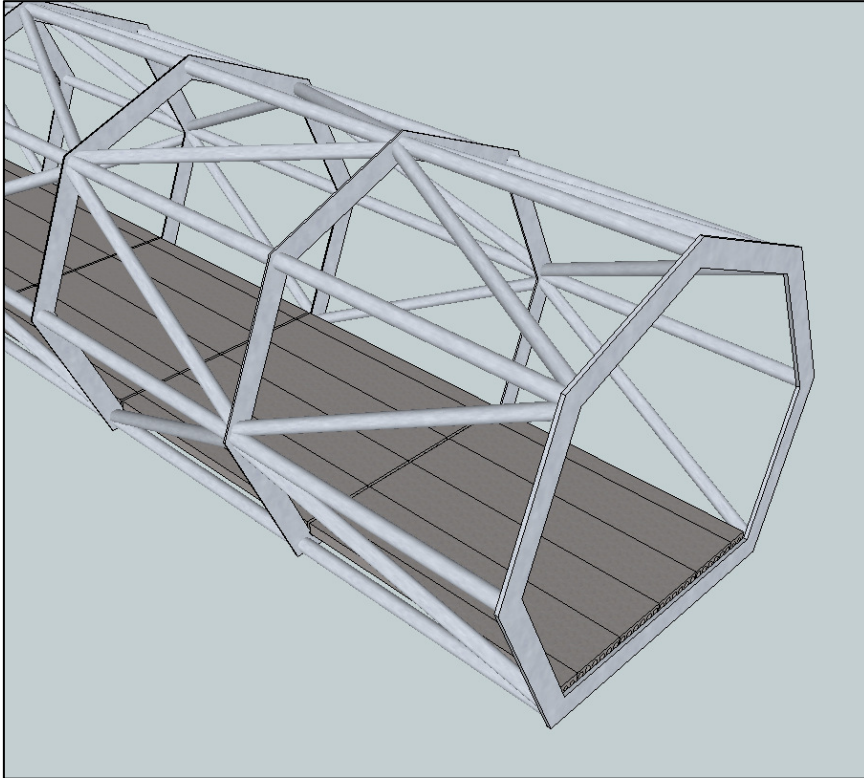
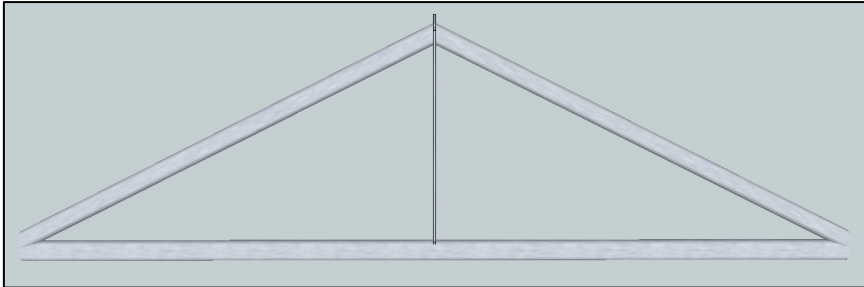
In deze fase worden de kanaalplaten op de hoekstalen geplaatst.



Fase 1.3: Staalconstructie afbouwen

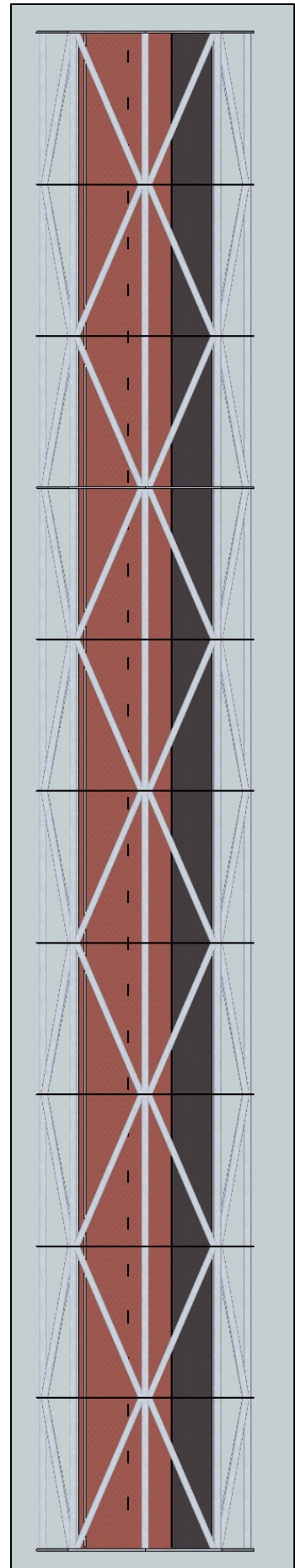
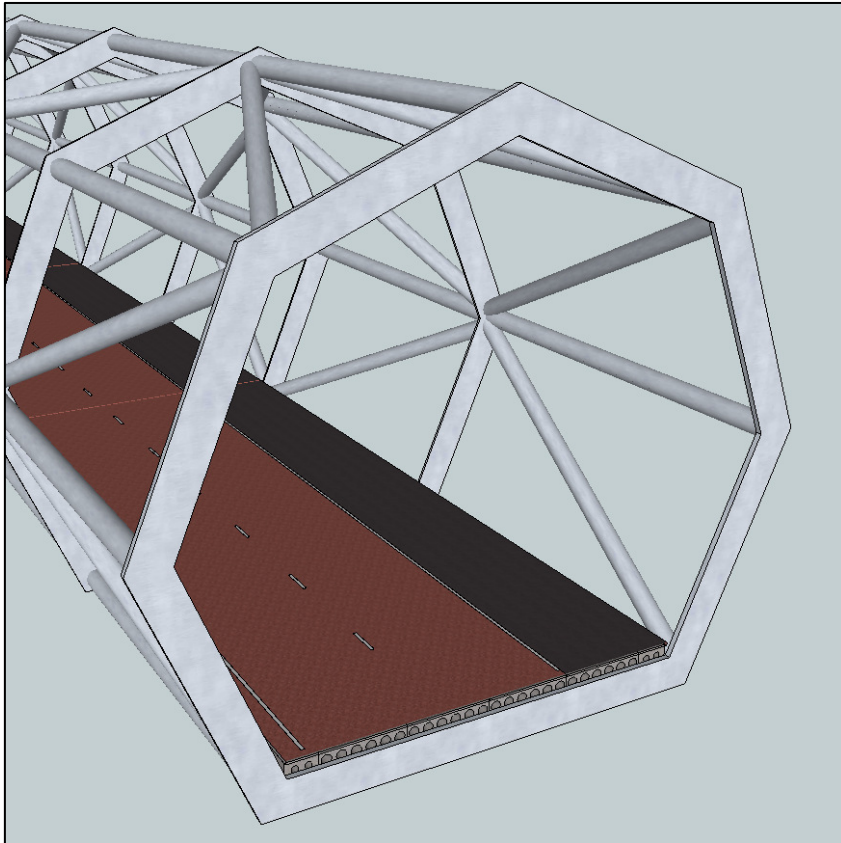
In de fabriek worden staven en buizen in een driehoek gelast zoals hieronder aangegeven. Deze driehoeken kunnen op een standaard vrachtwagen geladen worden en naar de bouwlocatie worden vervoerd. Op deze manier wordt tijd en geld bespaard: er wordt zoveel mogelijk laswerk in de fabriek gedaan en de onderdelen hoeven niet individueel vervoerd te worden. Verder worden in de fabriek de driehoeken en de overige staven gealuminiseerd.

Op de bouwlocatie worden de driehoeken en overige staven in de uiteindelijke vorm aan elkaar gelast. Hierna wordt het laswerk gealuminiseerd zodat de volledige constructie bedekt is met een beschermende coating van aluminium.



Fase 1.4: Aanbrengen deklaag

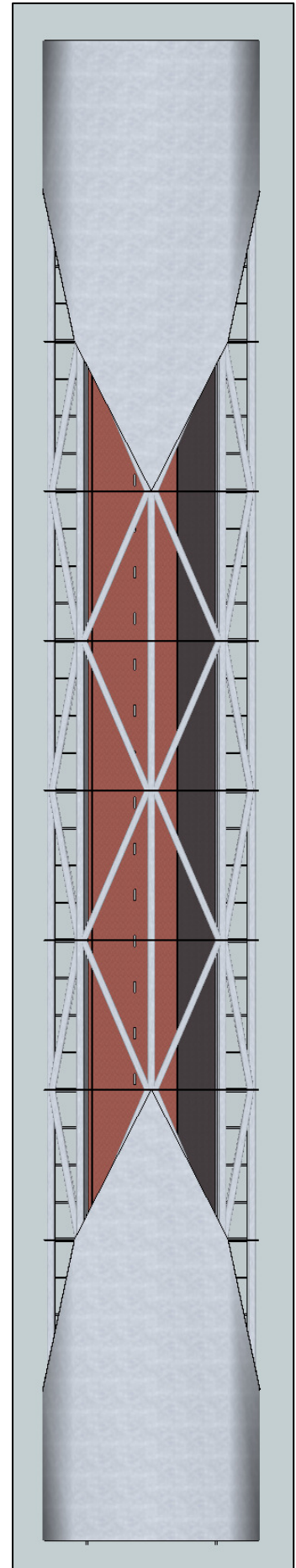
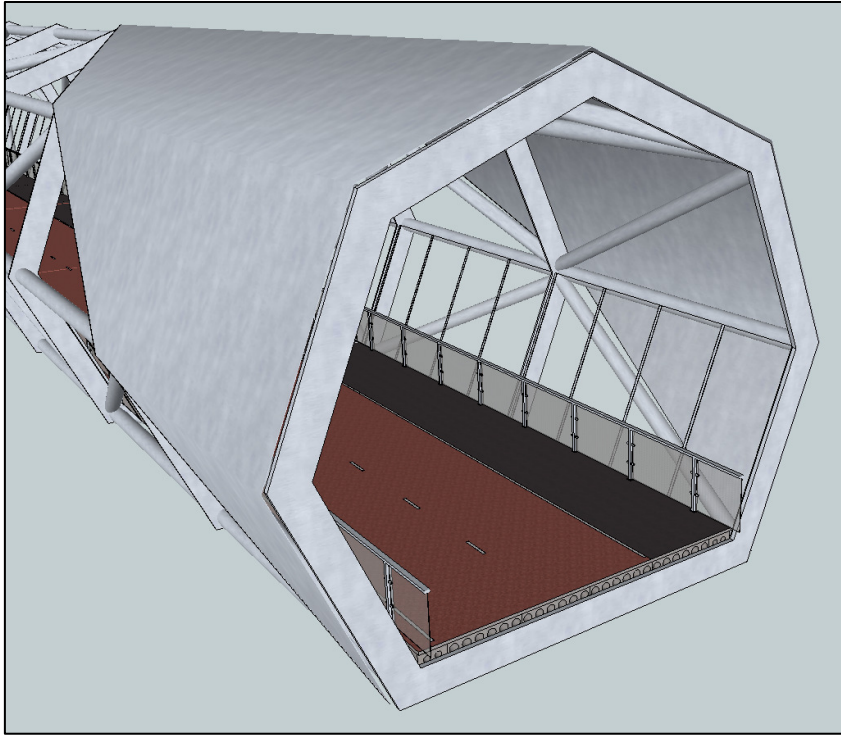
Op de bouwlocatie wordt de deklaag van beton op de kanaalplaten aangebracht. Hierna wordt de slijtlaag en de belijning op deze deklaag aangebracht.



Fase 1.5: Afwerking

In deze fase wordt de brug afgewerkt. De leuning, anti-vandalismeschermen en beplating worden aan of op de brug bevestigd.

Zodra deze fase is afgerond kunnen de brugdelen gereed worden gebracht voor vervoer naar de projectlocatie.

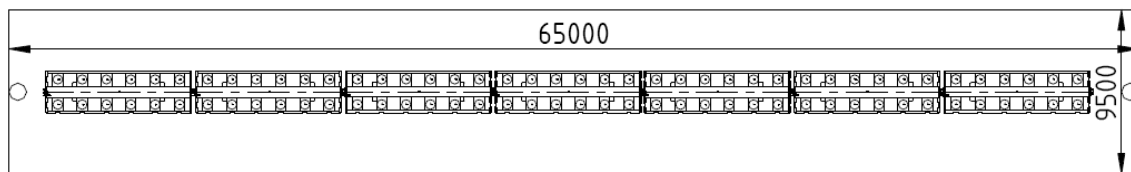


Fase 2: vervoersfase

In deze fase worden de brugdelen naar de projectlocatie vervoerd. Er wordt in deze fase van uitgegaan dat alle obstakels als geleiderails, portalen en lantaarnpalen waar nodig zijn verwijderd of vervangen zijn door verwijderbare obstakels. Deze fase vindt plaats op een vrijdagnacht. Alle werkzaamheden vinden plaats volgens de normen van Rijkswaterstaat.

Fase 2.1: brugdelen op trailers bevestigen

De brugdelen worden op een treintje van SPT-trailers met draaischalen geplaatst. Ze worden met kettingen aan de trailers gezekerd.



Opstelling SPMT-trailers onder brugdeel

Fase 2.2: brugdelen op A13 rijden

Zodra de A13 richting Amsterdam is afgesloten worden met behulp van een tijdelijke hellingbaan de brugdelen de A13 opgereden.

Fase 2.3: brugdelen naar projectlocatie rijden

De brugdelen worden achter elkaar één voor één over het viaduct over de Laan van Hoornwijck naar de projectlocatie gereden. Er is berekend dat het viaduct de optredende aslasten aankan.

Zodra de drie brugdelen op de projectlocatie zijn aangekomen kan er worden begonnen met het inhijzen van de brugdelen.

Fase 3: inhijfsfase

In deze fase worden de brugdelen naar hun definitieve locatie op de opleggingen gehesen. Voor de hijsoperatie moet elke rijbaan 6 uur worden afgesloten. De hijsbewegingen vinden op dusdanige manier plaats dat op de overige rijkswegen het verkeer kan blijven rijden. Er wordt in deze fase van uitgegaan dat alle nodige voorbereidingen zijn getroffen en de kranen op hun plaats staan. De uitvoering vindt plaats gedurende een weekend.

Fase 3.1: vrijdagnacht

Op vrijdagnacht wordt de A13 richting Amsterdam afgesloten. De brugdelen worden van de bouwlocatie naar de projectlocatie gereden. Twee van de brugdelen worden naar de berm tussen de A13 en A4 richting Rotterdam gereden. Het andere brugdeel wordt tussen de kranen geplaatst. Hierna wordt het brugdeel op zijn plaats gehesen en vastgezet. Zodra de A13 richting Amsterdam is vrijgemaakt kan deze worden vrijgegeven voor verkeer. De afsluiting zal ongeveer zes uur duren.

Fase 3.2: zaterdagochtend

Op zaterdagochtend wordt de kraan bij de geluidswal ingeklapt en weggereden. Hierna wordt de klep over de afwateringssloot verwijderd.

Fase 3.3: zaterdagmiddag

Met behulp van een politiestop wordt een kraan in de berm tussen de A13 en A4 richting Rotterdam gereden. Hierna wordt deze kraan opgesteld.

Fase 3.4: zaterdagnacht

Zaterdagnacht wordt de A4 in beide richtingen afgesloten. Een brugdeel wordt naar de berm tussen de A13 en A4 richting Rotterdam gereden. Het andere brugdeel wordt tussen de kranen geplaatst. Hierna wordt het brugdeel op zijn plaats gehesen en vastgezet. Zodra de A4 is vrijgemaakt kan deze worden vrijgegeven voor verkeer. De afsluiting zal ongeveer zes uur duren.

Fase 3.5: zondagochtend

Op zondagochtend wordt de kraan die in de berm tussen de A13 en A4 richting Amsterdam staat ingeklapt en met behulp van een politiestop uit de berm gereden.

Fase 3.6: zondagmiddag

Zondagmiddag wordt een kraan bij de aanbrug richting Den Haag opgesteld. Hiervoor is geen politiestop nodig.

Fase 3.7: zondagnacht

Zondagnacht wordt de A13 richting Rotterdam afgesloten. Het laatste brugdeel wordt tussen de kranen geplaatst. Hierna wordt het brugdeel op zijn plaats gehesen en vastgezet. Zodra de A13 richting Rotterdam is vrijgemaakt kan deze worden vrijgegeven voor verkeer. De afsluiting zal ongeveer zes uur duren.

Fase 3.8: maandagochtend

Op maandagochtend worden beide kranen ingeklapt. De kraan bij de aanbrug richting Den Haag wordt via de berm tussen de A13 richting Rotterdam en de naastliggende afwateringssloot verwijderd. De kraan in de berm tussen de A13 en A4 richting Rotterdam wordt met behulp van een politiestop verwijderd.

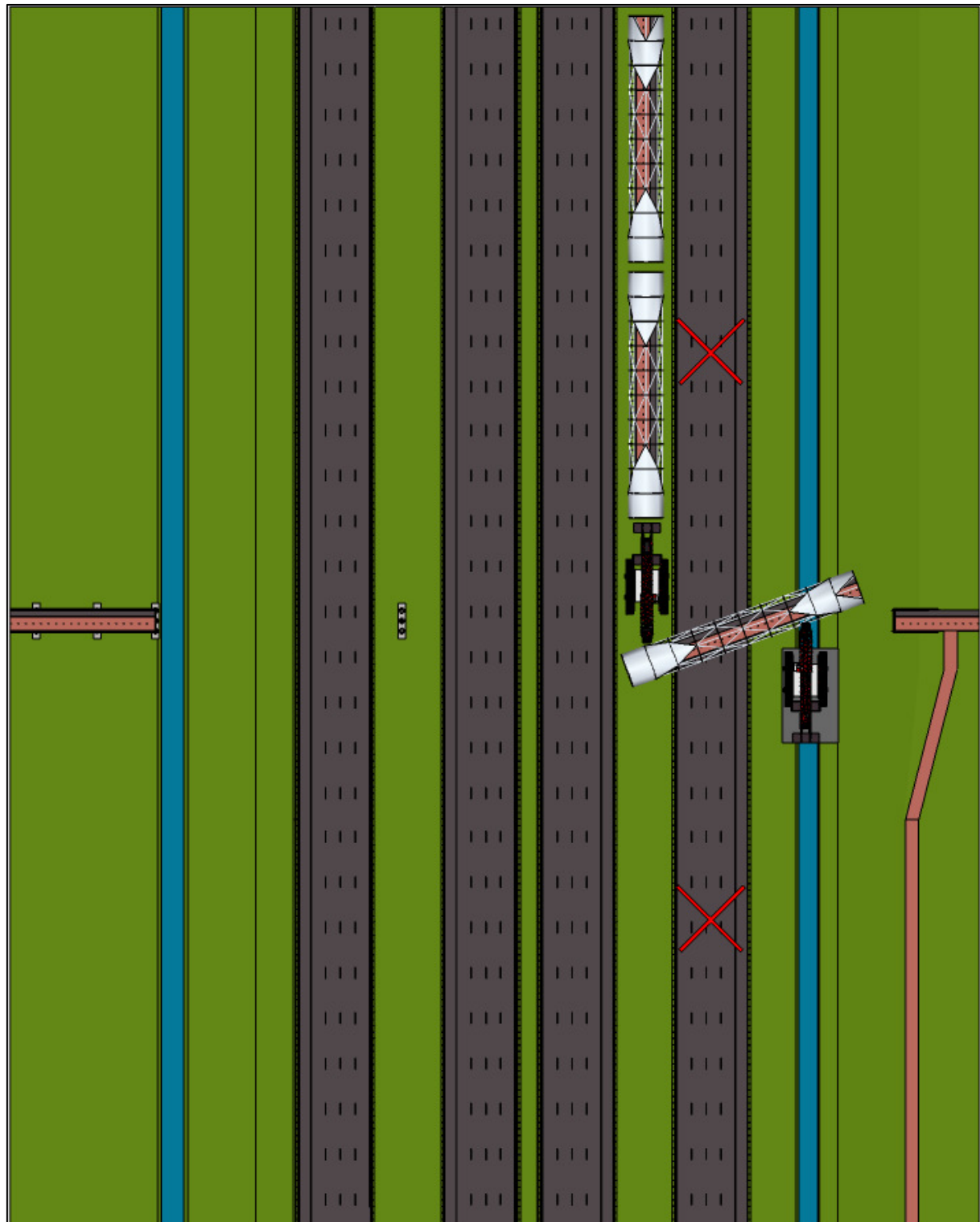
Zodra alle brugdelen op hun plaats liggen wordt de brug afgewerkt. De beplating bij het landhoofd en de aanbrug wordt geplaatst, de Elastoblock voegen worden tussen de brugdelen bevestigd en alle bekabeling en afwatering wordt aangesloten. Wanneer dit voltooid is kan de brug worden opengesteld voor verkeer. In totaal is er met uitzondering van de politiestops 24 uur gefaseerde afsluiting van de Rijkswegen nodig.

Ter verduidelijking is de inhijsfase hieronder visueel weergegeven.

Den Haag

A4
RTDA13
AMS

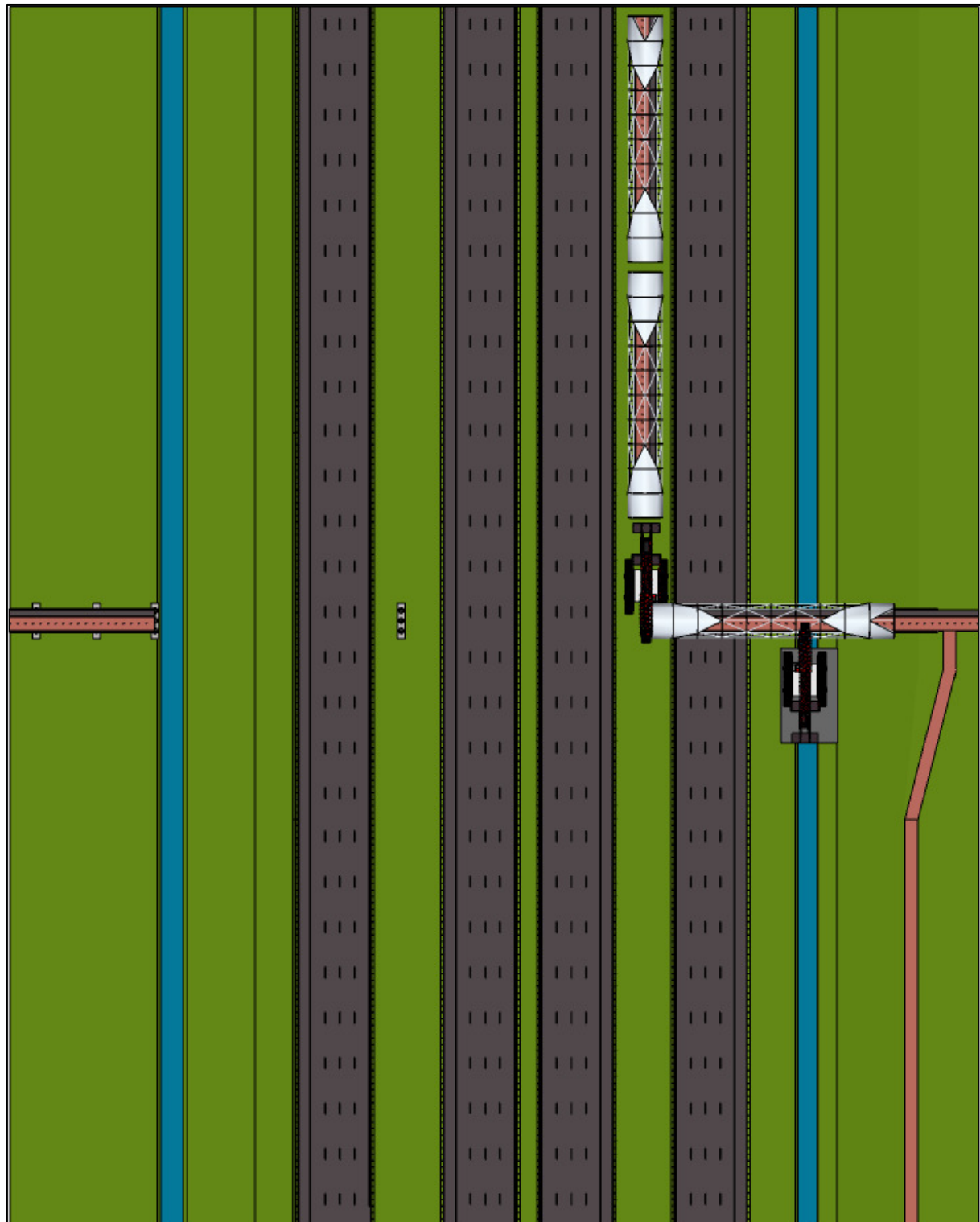
Ypenburg



Den Haag

A4
RTDA13
AMS

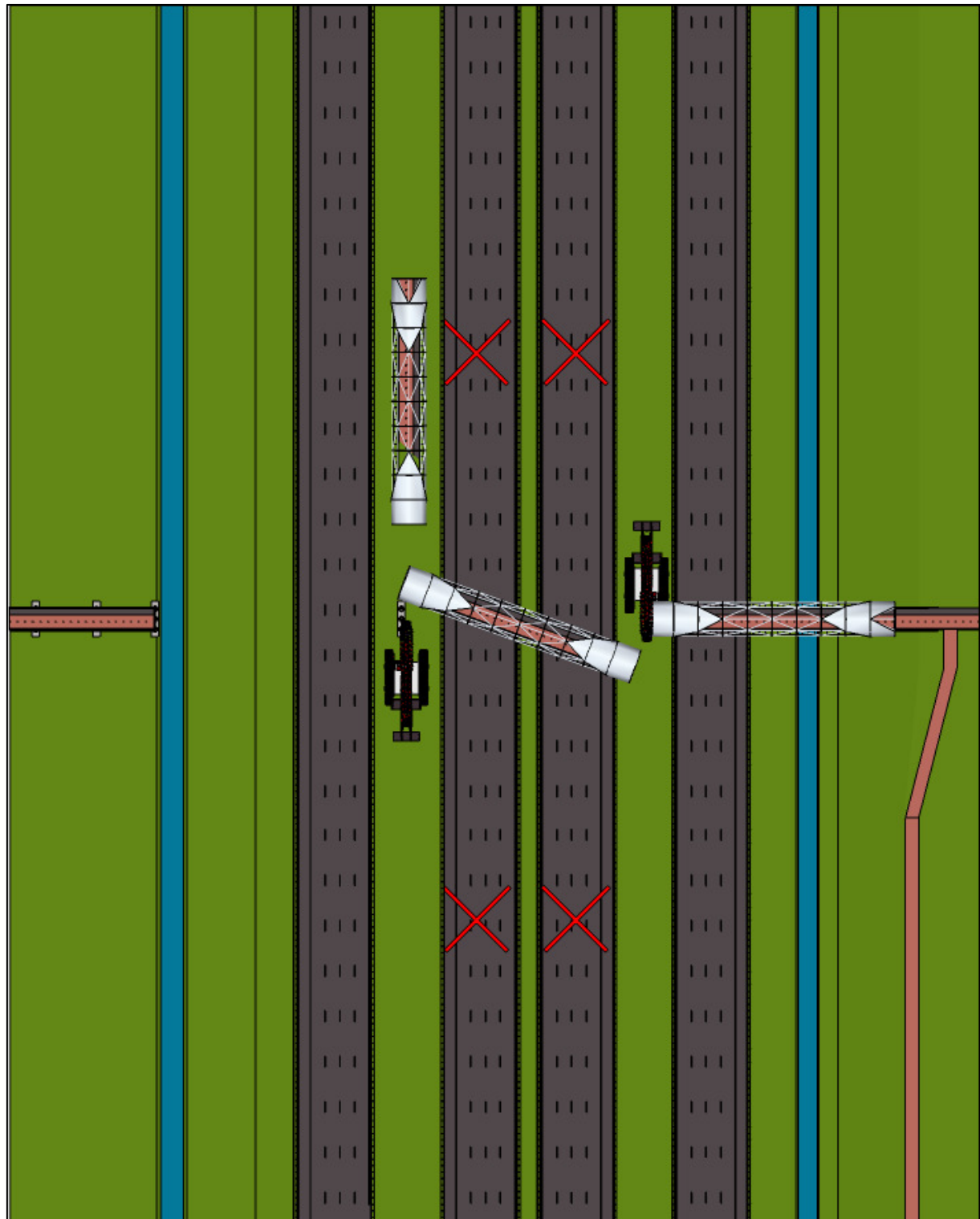
Ypenburg



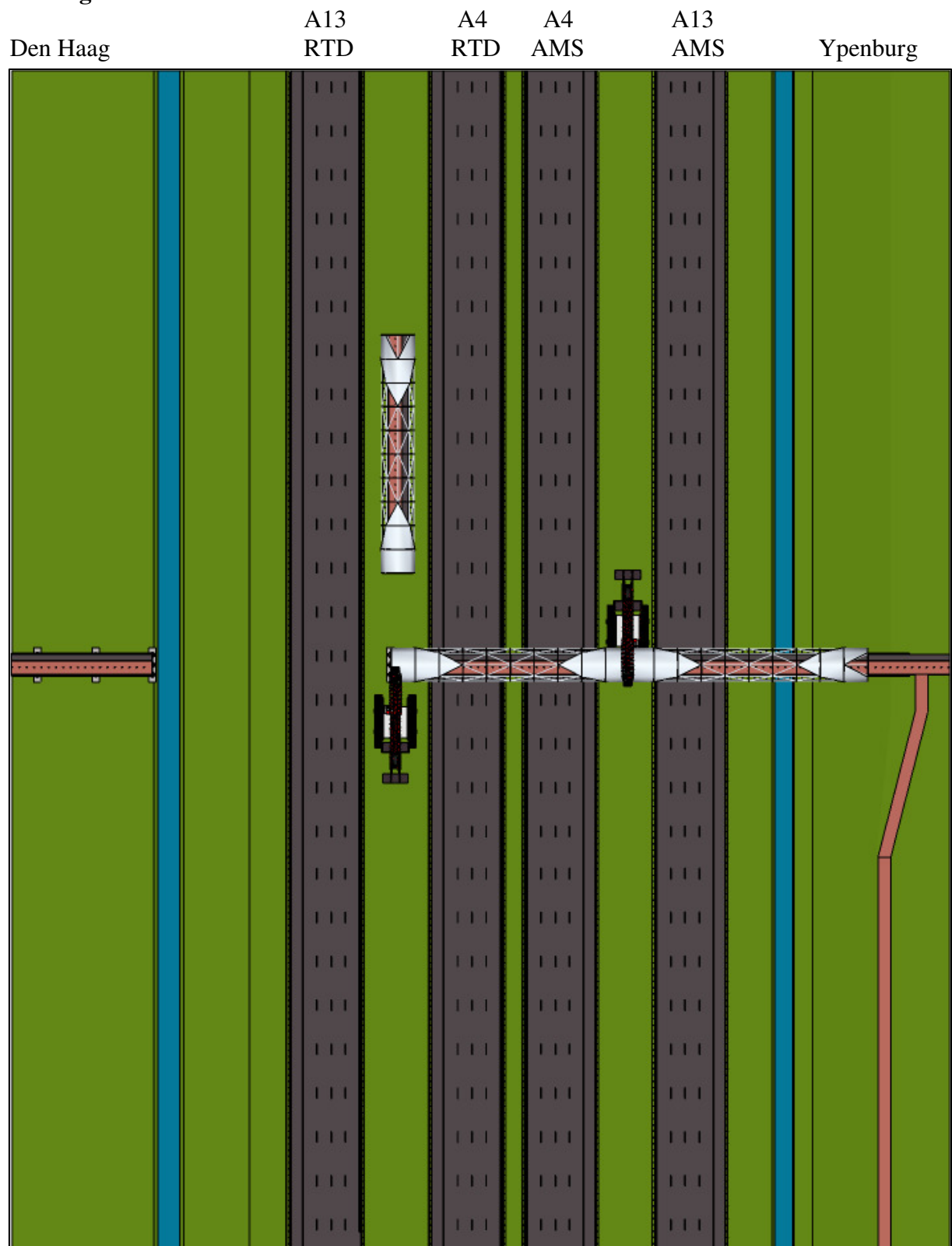
Den Haag

A4
RTDA13
AMS

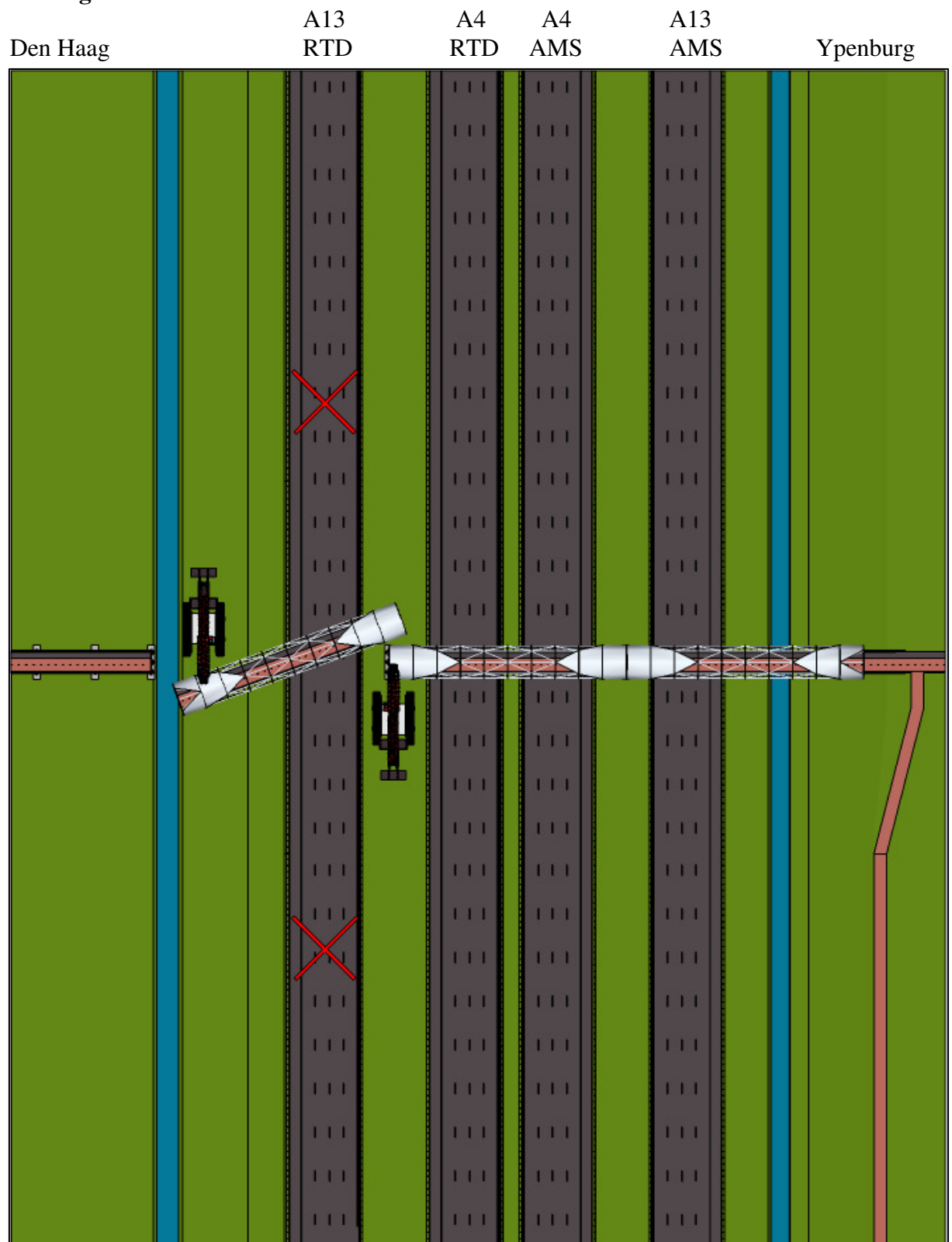
Ypenburg



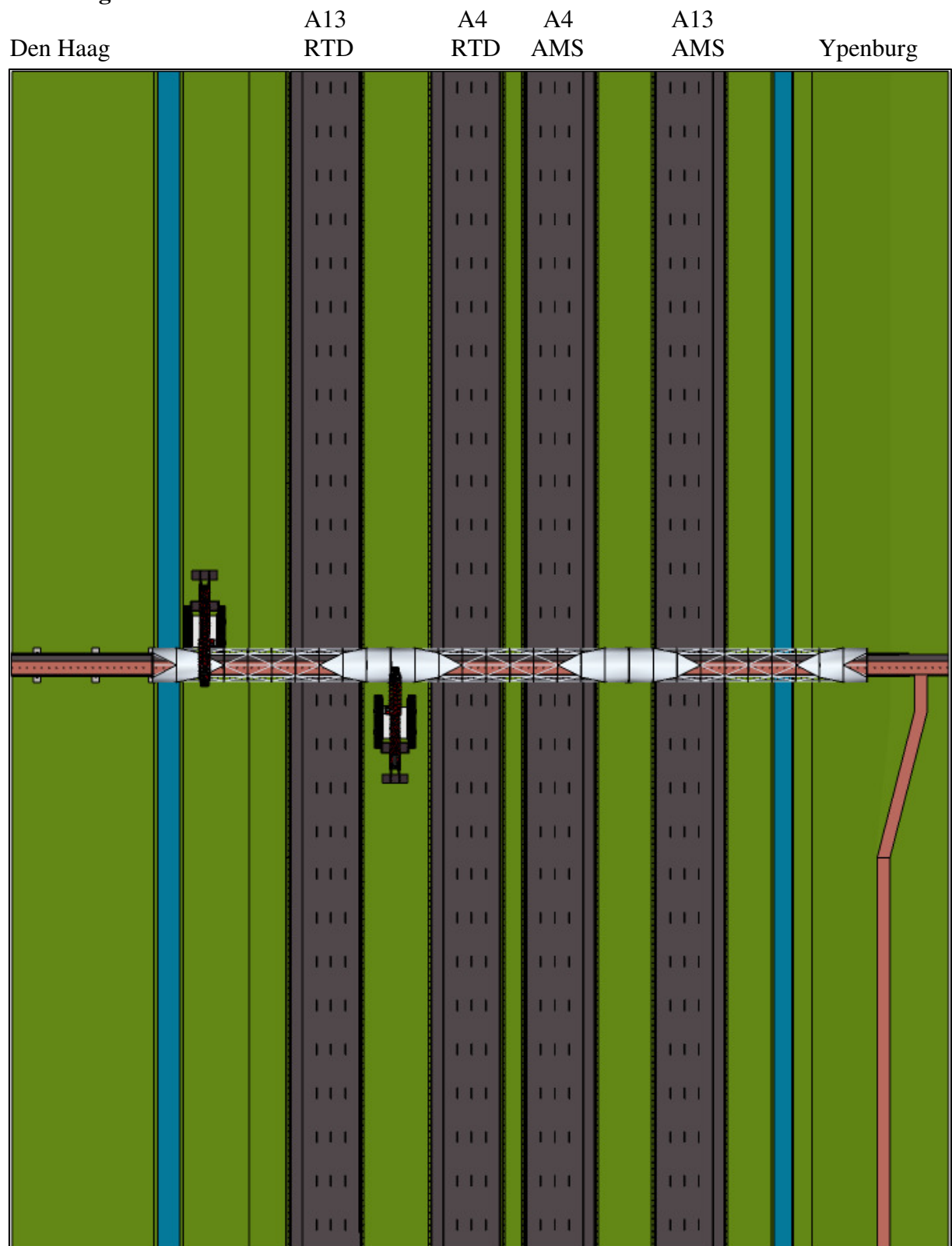
Zondagochtend



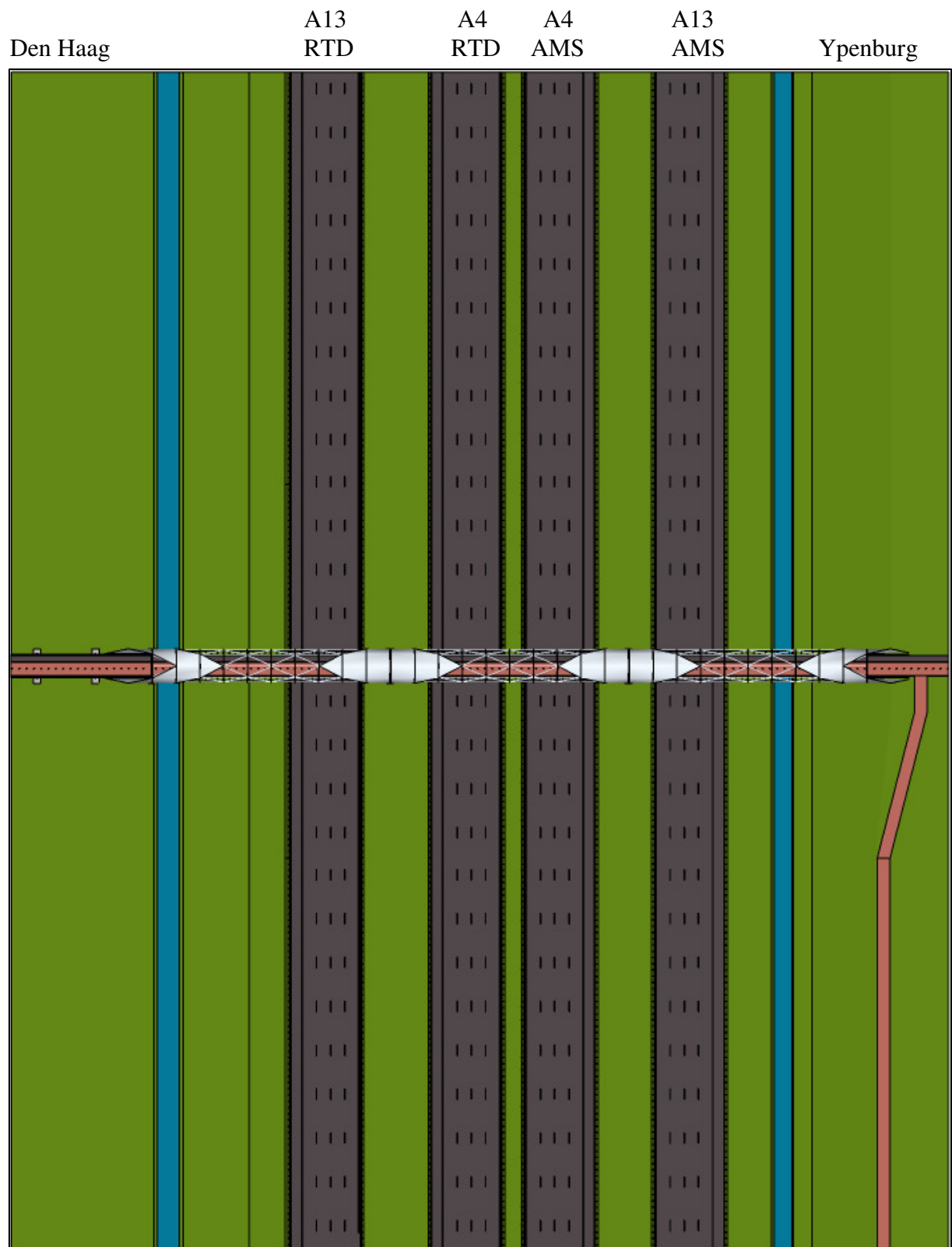
Zondagnacht



Maandagochtend



Eindsituatie



Conclusies

Uit het in dit rapport vermelde onderzoek naar de constructie en de maakbaarheid en kosten daarvan kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- **Het eerder gemaakt ontwerp is constructief onvoldoende.** De hoofdliggers zijn te slank voor de overspanning en door de ballast in het midden moeten de pylonen een enorm moment opnemen.
- **Het eerder gemaakt ontwerp is moeilijk maakbaar.** De ballast in het midden van de brug bemoeilijkt de uitvoering dusdanig dat er extra voorzieningen nodig zullen zijn om de brug te monteren.
- **Er is voor het eerder gemaakt ontwerp zeer laag geraamd.** Er is een verschil van vier miljoen euro tussen de eerder gemaakte raming en de gecorrigeerde raming door een te lage staalprijs en het niet vermelden van diverse onderdelen.
- **Om het eerder gemaakte ontwerp te realiseren is er lange afsluiting van de Rijkswegen nodig.** Om de brug op zijn plaats te schuiven is 150 uur rijbaanafsluiting nodig. De mogelijkheid om de brug in te rijden moet opnieuw onderzocht worden vanwege het foutieve uitgangspunt dat de brug 20 kN per strekkende meter weegt.
- **Het ontwerp van de Zevenhoekse brug is realiseerbaar.** Volgens het voorlopig ontwerp van de Zevenhoekse brug is er geen reden om aan te nemen dat het constructief ontwerp en de uitgewerkte uitvoeringswijze niet voldoen.
- **De Zevenhoekse brug is 3,9 miljoen euro goedkoper dan het eerder gemaakte brugontwerp.** Alleen de staalkosten liggen al 1 miljoen euro lager.
- **De kosten voor beheer en onderhoud liggen bij het ontwerp Zevenhoekse brug lager dan bij het eerder gemaakt ontwerp.** Door het aluminiseren van de stalen onderdelen van de brug is er slechts eenmaal in de levensduur een volledige vervanging van de coating nodig.
- **Voor het realiseren van het ontwerp Zevenhoekse brug is een kortere afsluiting van de Rijkswegen noodzakelijk dan voor het realiseren van het eerder gemaakt ontwerp.** Omdat de Zevenhoekse brug wel ingehesen in plaats van ingeschoven kan worden zal de afsluitingstijd sterk kunnen worden beperkt.

Bronvermelding

Faseringsplan Aanleg Fietsburg A4 Ypenburg. Extern ingenieursbureau, 2010.

Brakel, J. Tuibruggen in voorgespannen beton, Deel I. Delft: Stichting Professor Bakkerfonds, 1980.

Brakel, J. Tuibruggen in voorgespannen beton, Deel II. Delft: Stichting Professor Bakkerfonds, 1980.

Brakel, J. Tuibruggen in voorgespannen beton, Deel III. Delft: Stichting Professor Bakkerfonds, 1980.

Dienst Stedelijke Ontwikkeling. Uitwerkingsplan Trekfietstracé (A4/Vlietzone). Rep. Gemeente Den Haag: Dienst Stedelijke Ontwikkeling, 2011.

Dycore Systeemvloeren. Dycore Kanaalplaatvloer. Brochure. Author, 2011.

Investeringsraming SSK Fietsverbinding Ypenburg-Voorburg over A4, extern ingenieursbureau, 2010

Gemeente Den Haag. Dienst Stedelijke Ontwikkeling. Voorstel van het college inzake vaststelling voorontwerp Fietsviaduct A4/Vlietzone. By Gemeenteraad Den Haag. 12 Jan. 2011. Gemeente Den Haag. 10 May 2012.

Gemeente Den Haag. Dienst Stedelijke Ontwikkeling. Vrijgave voor inspraak Concept-Voorontwerp Fietsviaduct A4. By College B&W. 15 June 2010. Gemeente Den Haag. 10 May 2012.

Gemeente Den Haag. Dienst Stedelijke Ontwikkeling. Vrijgave voor inspraak van het voorontwerp Fietsviaduct A4. By P.W.M. Smit. 15 June 2010. Gemeente Den Haag. 10 May 2012.

Gemeente Den Haag. Kaart Rotterdamsebaan. Digital image. www.denhaag.nl/rotterdamsebaan/. 16 June 2011. Gemeente Den Haag. 10 May 2012.

Heckemann, K. Stagerapport 1: Een variantenstudie naar het ontwerp voor een tuibrug over de A4 bij Ypenburg. Rep. Den Haag: Ingenieursbureau Den Haag, 2011.

Huissen, Chris. "Fietsbrug Ypenburg." Quotation to Kasper Heckemann. 11 May 2012. MS. Mammoet Nederland BV, Rotterdam.

Maurer Söhne. Maurer Pot Bearings. Brochure. Munchen: Author.

Maurer Söhne. Productinfo Enkelvoudige Voegovergangen. Brochure. Culemborg: Author.

Tuibrug over de A4 te Ypenburg, VO Berekening. Extern ingenieursbureau, 2008

Reusink, Gemeentewerken Rotterdam, J.H. "Review tuibrug A4 voor langzaam verkeer Den Haag." Rev. of VO Berekening, tuibrug A4, feb 2008, extern ingenieursbureau. 14 Mar. 2011.

Rijkswaterstaat. Bouwdienst. Eisen voor funderingswerken langs auto(snel)wegen. By RWS. Rijkswaterstaat, 2004.

Ros, D. Technische innovaties voor het verlagen van integrale kosten en milieubelasting. Publication no. NIO-A-N-200313. Rijkswaterstaat, 2003.

Stroeve, Karlien. Programma van Eisen "Fietsverbinding Ypenburg-Voorburg" Rep. Gemeente Den Haag: Dienst Stedelijke Ontwikkeling, 2005.

Voorontwerp Fietsbrug A4 Ypenburg. Digital image. 19 Dec. 2007. Extern ingenieursbureau. 10 May 2012.

Van Leeuwen Buizen. Programma naadloze stalen buizen. Raw data. Zwijndrecht. 02 May 2011.

Fietsbrug A4 Ypenburg; Quick scan maakbaarheid en bouwfaserings. Tech. no. IF-JB-100015581 Versie 1.0. Extern ingenieursbureau, 2010.

Lijst van afbeeldingen

Pag. 3: Opening in de geluidswal langs Ypenburg, Google Maps, fotodatum augustus 2009

Pag. 4, boven: Luchtfoto van de projectlocatie, Google Maps, kaartgegevens 2012

Pag. 4, onder: Schets van de aanliggende Rijkswegen, Bram Timmer, 16-05-2012

Pag. 5: Het eerder gemaakt ontwerp. *Voorontwerp Fietsbrug A4 Ypenburg*. Extern ingenieursbureau, 19 Dec. 2007. Bewerkt door auteur om op één pagina te passen.

Pag. 6: Gevolgen van gelijke belasting over ongelijke velden, afbeelding door auteur.

Pag. 7, boven: Verschil tussen rekenmodel en tekening. *Tuibrug over de A4 te Ypenburg, VO Berekening..* Extern ingenieursbureau, 2008 en *Voorontwerp Fietsbrug A4 Ypenburg*. Extern ingenieursbureau, 19 Dec. 2007.

Pag. 7, onder: benodigde afsluittijd rijstroken voor het eerder gemaakte uitvoeringsplan *Fietsbrug A4 Ypenburg; Quick Scan Maakbaarheid En Bouwfaserings*. Extern ingenieursbureau, 2010.

Pag 8, boven, midden, onder: SketchUp renders van varianten voor fietsviaduct over A4/A13 te Ypenburg, modellen door auteur.

Pag. 10: beschrijving van statisch systeem, afbeelding door auteur.

Pag. 11, boven: doorsnede kanaalplaat, Dycore Systeemvloeren. *Dycore Kanaalplaatvloer*. Dycore Systeemvloeren, 2011.

Pag. 11, onder: beplating van de staalconstructie, Sketchup render, afbeelding door auteur.

Pag. 12, boven en onder: render SCIA-Engineer rekenmodel van staalconstructie, afbeelding door auteur

Pag. 13: Optredende normaalkrachten en doorbuiging door optredende belastingen, afbeelding door auteur.

Pag. 14, boven: SketchUp render van kolommen, afbeelding door auteur

Pag. 14, midden: doorsnede potoplegging, Maurer Söhne. Maurer Pot Bearings. Brochure. Munchen

Pag. 14, onder: doorsnede Elastoblock voegovergang, Maurer Söhne. Productinfo Enkelvoudige Voegovergangen. Brochure. Culemborg

Pag. 15: rekenmodel onbedoeld voertuig, Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 2: Stalen bruggen

Pag. 18: SketchUp render van uitvoeringsvariant overspanning, afbeelding door auteur

Pag. 19: SketchUp render van uitvoeringsvariant damwand, afbeelding door auteur

Pag. 20: Knooppunt Ypenburg, Google Maps, kaartgegevens 2012

Pag. 21 t/m 25: SketchUp renders van uitvoeringsplan brugconstructie, afbeeldingen door auteur.

Pag. 26: Opstelling SPMT-trailers onder brugdeel, uit offerte Mammoet BV

Pag. 28 t/m 34: SketchUp renders van inhijsfasering, afbeeldingen door auteur.