

## OMSCHRIJVING VAN DE VRAAG

Dit dossier is opgesteld in het kader van het wedstrijd aanbesteding Bestek nr. 1218 opgemaakt door de Waterwegen en Zeekanaal nv. Het project bestaat uit de constructie van een nieuwe passerelle die de twee oevers van het kanaal Leuven - Dijle verbindt.

Sleutelwoorden uit de projectdefinitie zijn:

1. verbeteren van de verkeersmobiliteit in functie van de zachte weggebruiker en van de toerist;
2. de nieuwe brug zal een verbinding vormen tussen enerzijds de gemeente Hofstade en het nabijgelegen Bloso-domein en anderzijds het domein van Planckendael;
3. ter hoogte van Planckendael bevindt zich een uitstapplaats voor boottochten. De brug moet een verbinding zijn tussen Planckendael en het Bloso-domein;
4. de brug moet een esthetische meerwaarde betekenen voor de omgeving;
5. de infrastructuur moet zichtbaar en herkenbaar zijn;
6. de nieuwe infrastructuur moet als een soort attractie gezien worden, een baken voor het water- en fietstoerisme langs het kanaal Leuven-Dijle, het heeft een symboolwaarde;
7. het duurzaam karakter van het ontwerp is van groot belang;
8. voor gehandicapten toegankelijk volgens KB

van 9 mei 1977;

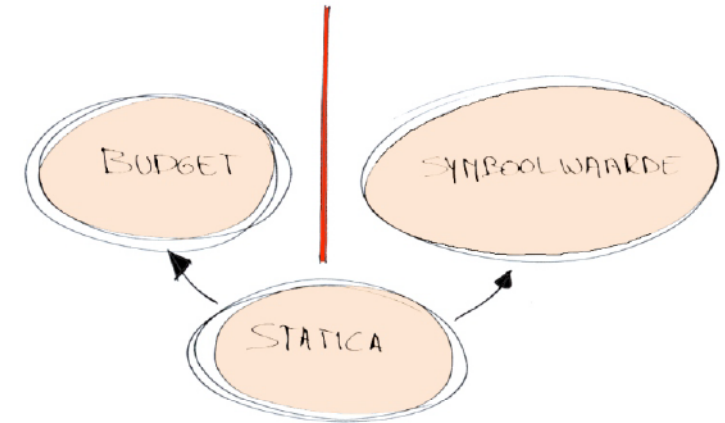
9. het gabarit van het kanaal moet 7m bedragen, het gabarit van de jaagpaden zijn op 4,4 m beperkt;
10. de aanwezige hoogspanningsmasten zullen in de nabije toekomst verwijderd worden;
11. het totale investeringsbedrag wordt geraamd op 400.000 €.

## INITIËLE IDEEËN

Het eerste dat ons opvalt, is dat het budget bijzonder laag is en aldus het project niet toelaat zoals het gedefinieerd is in het programma. Inderdaad om KB van 9 mei 1977 te respecteren, bedragen de maximale toegangshellingen rond de 5%. Het te overbruggen hoogteverschil (rekening houdend met het gabarit) is 6,5 m. Indien we een helling van 5% nemen, komt dit overeen met een lengte van 130 m. De totale lengte van het bouwwerk is dus  $2 \cdot 130 + 40 = 300$  m. Het is duidelijk dat een budget van 400.000 € een bouwwerk van zulke grootte niet toelaat. We hebben dit budget geïnterpreteerd niet als een vaste grens maar als uitdrukking van de voorwaarde om een **economisch bouwwerk** te bouwen.

Het tweede punt dat onze aandacht trekt, is de vereiste voor een werk dat van grote esthetische en bouwkundige kwaliteit getuigt en dat daarbij ook duurzaam is. A priori kan deze vereiste tegenstrijdig lijken met het eerste punt. De wens om een **symboolwaarde** te bekomen, is ons

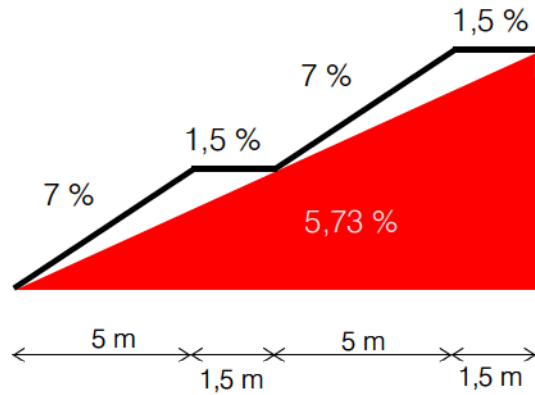
tweede punt van reflectie geworden. De uitdaging van dit ontwerp bestaat erin een manier te vinden om deze twee antagonistische eisen te verenigen. Wij hebben geprobeerd om dit te doen terugvallend op basis van ons beroep als ingenieur - dit wil zeggen vertrekkend van een **statisch idee**. Inderdaad een project kan slechts gepast zijn wanneer het in harmonie is met de natuurwetten.



De volgende principes hebben we gedurende het project gebruikt

1. Geen details. De details zijn het gevolg van de basiskeuzes en niet het tegenovergestelde.
2. Het verwijderen van overtollige elementen. Het gebruik van een minimum aantal elementen die nodig zijn voor het maken van het bouwwerk.
3. In het concept zelf keuzes integreren die duurzaamheid garanderen. Tijd als vierde ruimtelijke dimensie.
4. Beperken van de span van het bouwwerk alsook zijn totale lengte beperken tot een strikt minimum.

## INPLANTING



Helling volgens KB van 9 mei 1977

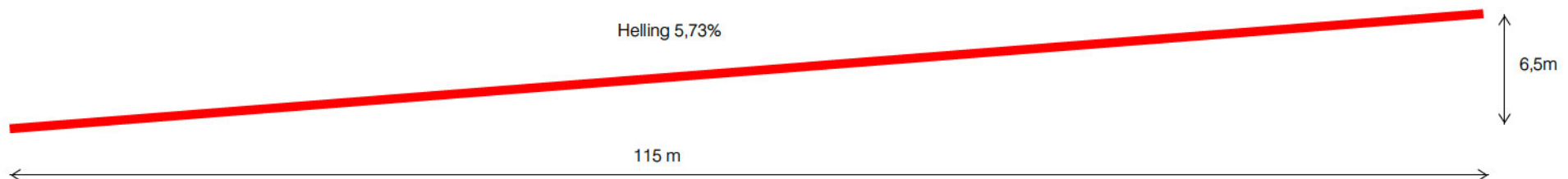
De gekozen inplanting is het resultaat van het bijeenbrengen van een aantal argumenten:

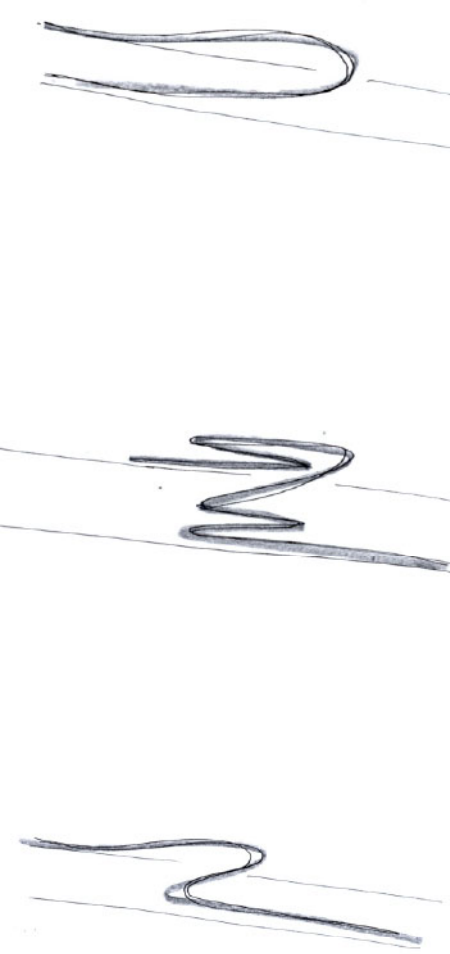
Het centrale probleem van een brug voor licht verkeer is niet zozeer het ontwerp van de eigenlijke overbrugging, maar veeleer de integratie van de toegangshellingen in de constructie. Al te vaak wordt deze problematiek verwaarloosd en bestaat de infrastructuur uit een doordachte brug, waar dan losweg toegangshellingen tegenaan worden geplaatst. De beste wijze om met dit probleem komaf te maken is volgens ons precies de integratie van natuurlijke omgeving, toegangshellingen en brug in continue en vloeiende parcours. Deze vloeiende beweging in het ontwerp van de route over de brug garandeert tegelijk een veilig circuit, een helder overzicht over parcours en omgeving en herleidt omslachtige manoeuvres op de toegangshellingen. De opdracht vraagt expliciet te voldoen aan het KB van 9 mei 1977, waarin de maximale helling van de route 7% is per deel met een lengte van 5m, gevolgd door een tussenbordes om uit te rusten met een lengte van 1,5m. Met het invoeren van een correcte afwateringshelling van 1,5% op het tussenbordes betekent dit een

gemiddeld hellingspercentage van 5,73%. Met dit hellingspercentage, en met een hypothetische structuur van 500 mm hoog als gegeven mag de brug niet binnen het opgegeven gebarit komen. Deze eis vraagt om een toegangslengte van 115 m langs de jaagpaden. Ons voorstel wil deze aanzienlijke lengtes integreren in een continue wandeling tussen de twee oevers.

### De keuze van het parcours in plan

A priori zou het mogelijk zijn de toegangshellingen op verschillende manieren te ontwerpen: twee hellingen stroomopwaarts ofwel twee hellingen stroomafwaarts ofwel één helling stroomop- en één helling stroomafwaarts. Natuurlijk is het ook mogelijk om de toegangstraveeën terug te plooiën indien men de footprint in plan van het bouwwerk wenst te verminderen. Deze optie hebben we gelaten vermits zij moeilijk een vloeiende en veilige circulatie voor fietsers en voetgangers toelaat. Zoals tevoren vermeld, betreft het een geprivilegiëerde verbinding tussen Planckendael en het Bloso domein. Om deze reden stellen we voor deze gedachtengang voor te zetten in de

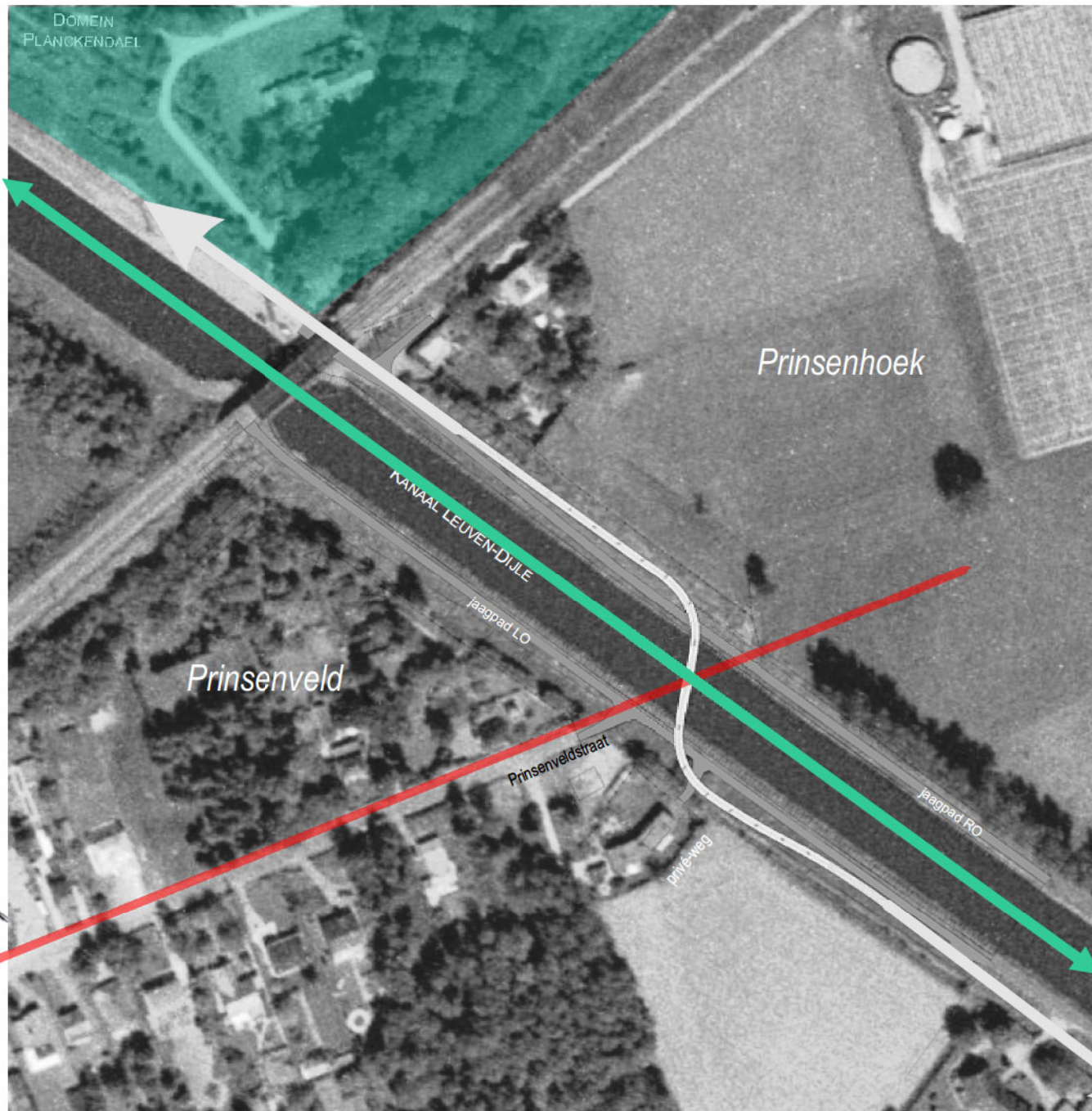
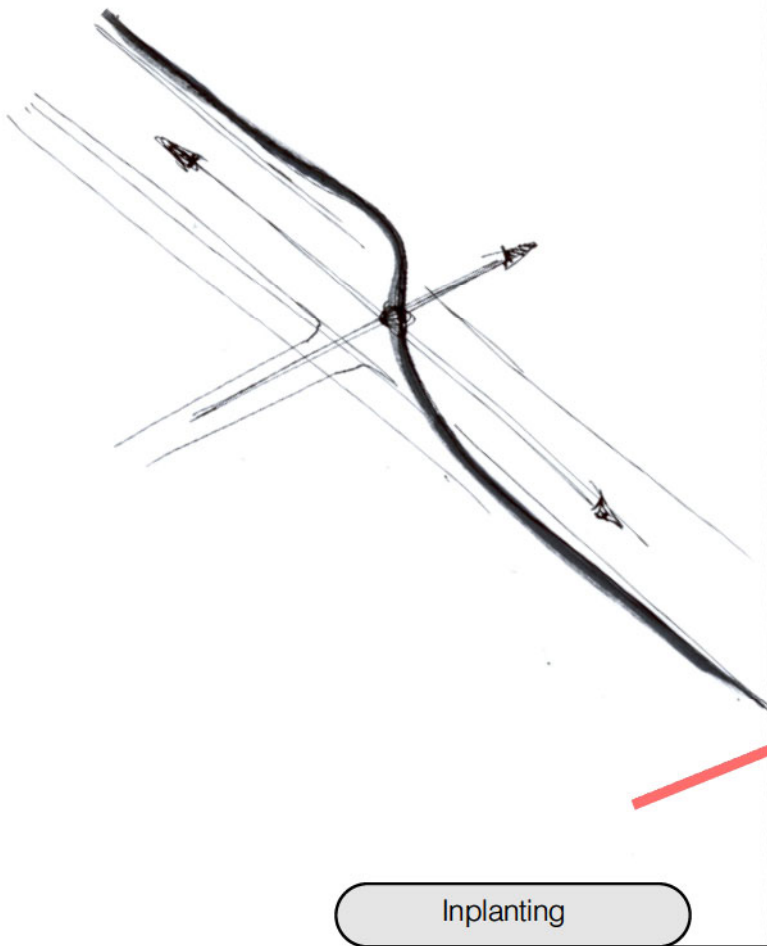




vorm van de brug.

De keuze van de oversteekplaats van het kanaal, vloeit enerzijds voort uit de aanwezigheid van de spoorwegbrug en anderzijds uit de as gevormd door de Prinsenveldstraat.

Deze doodlopende straat, krijgt op deze manier een uitzicht en visueel een nieuwe zin.



## ONZE VISIE OP ENGINEERING

Een constructieproject doet steeds een beroep op de tussenkomst van verschillende betrokkenen en specialisten in uiteenlopende onderdelen van het bouwproces. Het gaat hierbij zowel om de auteurs van het project als om de bouwondernemingen die bij het project betrokken zijn. Elk van die partijen heeft zijn welbepaalde positie en functie in het proces, en het bouwwerk kan uiteindelijk gezien worden als de opeenstapeling van hun verschillende bijdragen. Deze opsplitsing van een complexe problematiek in een aantal eenvoudigere deelproblemen leidde tot de succesvolle positie van de ingenieurkunst in de 19<sup>de</sup> en in de vroege 20<sup>ste</sup> eeuw. Ook vandaag nog vormt deze aanpak de basis voor het merendeel van de ingenieursbureaus, en onderwijzen ingenieursscholen nog systematisch de principes ervan. Ondanks de voordelen die deze aanpak in sommige gevallen biedt, leidt ze volgens ons tot een aantal problematische ontwikkelingen: wanneer elk onderdeel van de constructie slechts één welbepaalde functie vervult, is er een overdaad aan elementen in het geheel. Dit heeft een belangrijke meerkost, zowel in economisch als in ecologisch opzicht, als gevolg. Precies daarom liet de industrie deze werkwijze al lang geleden achter zich. Het is voor ons vandaag dan ook vanzelfsprekend dat een auto niet alleen bestaat uit een chassis en een carrosserie, maar dat deze twee functies vervuld worden door één enkel functioneel

element. Dit soort voorbeelden waarbij een verregaande integratie van functies te zien is, vinden we terug in alle recente ontwikkelingen van de industrie.

De bewustwording van diezelfde integratie in het domein van de burgerlijke bouwkunde vormt het centrale uitgangspunt van ons bureau sinds haar oprichting. De zoektocht naar integratie van meerdere functies en van daaruit de optimalisatie van structuren vormt de belangrijkste uitdaging die zich in de loop van de volgende jaren aan ingenieurs zal stellen.

De strategie van ons bureau, en bijgevolg dus ook van deze studie, is erop gericht komaf te maken met de gebruikelijke opeenstapeling van oplossingen, met een gelaagde en hiërarchische optelsom van constructie-elementen. Enkele referenties laten toe om deze conceptuele houding concreet voor te stellen.

### De Tachkemoni-luifel, Antwerpen

Een klassiek voorbeeld dat is opgebouwd vanuit de vermelde opeenvolging van onafhankelijke functies, is het dak van een gebouw, met zijn opeenstapeling van constructieve lagen : dakpannen - panlatten - onderdak - isolatie - kepers - draagbalken - enz.

Onze strategie om een dergelijke opeenstapeling van functies te voorkomen, verduidelijken wij met het project voor de Tachkemoni school in Antwerpen. Voor beschutting werd een deel van de speelplaats van de basisschool overdekt door twee luifels. Deze luifels werden bedacht op basis van een aantal grondslagen :  
- het bekomen van een transparant of translucient

oppervlak;

- het minimaliseren van de hiërarchie in de structuur;
- het in rekening brengen van de randvoorwaarden van de plaats.

Beide luifels bestaan uit een membraanstructuur in de vorm van een hyperbolische paraboloid. De luifels steunen telkens op twee metalen kolommen. De kleinste luifel heeft een oppervlakte van 155 m<sup>2</sup> en de grote luifel meet 263 m<sup>2</sup>.

De voorgestelde typologie is nieuw voor kunstwerken van dit genre. Gewoonlijk worden tentstructuren voor het evenwicht van de krachten verankerd in de bodem. In de voorgestelde structuur equilibreren de krachten zichzelf. Vanuit het oogpunt van de engineering was het nodig om een gekoppelde non-lineaire studie te maken van zowel het membraan als de staalstructuur.

## REFERENTIEBEELDEN

Luifel Tachkemoni 2000



Voetgangersbrug Hotton 2003



Voetgangersbrug Tervurenlaan 2001



## STATISCH SYSTEEM

Eens de keuze van de curve in de ruimte gemaakt is, kunnen we naar de volgende fase overgaan nl. het bepalen van het statisch systeem.

Gezien ons streven naar een economische oplossing, gaan we de span verminderen terwijl de vloeibaarheid van de weg behouden blijft. Indien we de eerste steun op de grens van het garbarit plaatsen, bekomen we een span voor de centrale travee van 28m. De overspanningen van de volgende traveeën verminderen naar 14m, 12m en voor de volgende overspanningen naar 10m, de span van de laatste travee wordt 8m. Deze aanpak laat toe om geen extra "superstructuur" te voorzien voor het werk; het brugdek draagt.

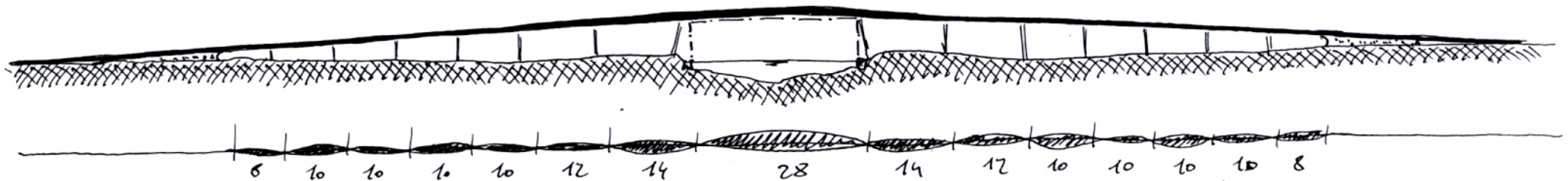
De vorm van de brugdoorsnede is een rechthoek met een veranderlijke hoogte tussen 30 en 52cm in het

midden van de centrale travee. Deze eenvoudige vorm laat toe de hoogte aan te passen in functie van de belastingen in de doorsnede.

Voor deze doorsnede stellen we een gemengde sectie uit staal / beton voor; de U - vorm van de metaal sectie laat toe het volledig bouwwerk uit te voeren zonder de vloeiende continuïteit te onderbreken. Om het eigengewicht tot een minimum te herleiden, worden geëxpandeerd polystereen blokken op de bodem van de sectie gekleefd.

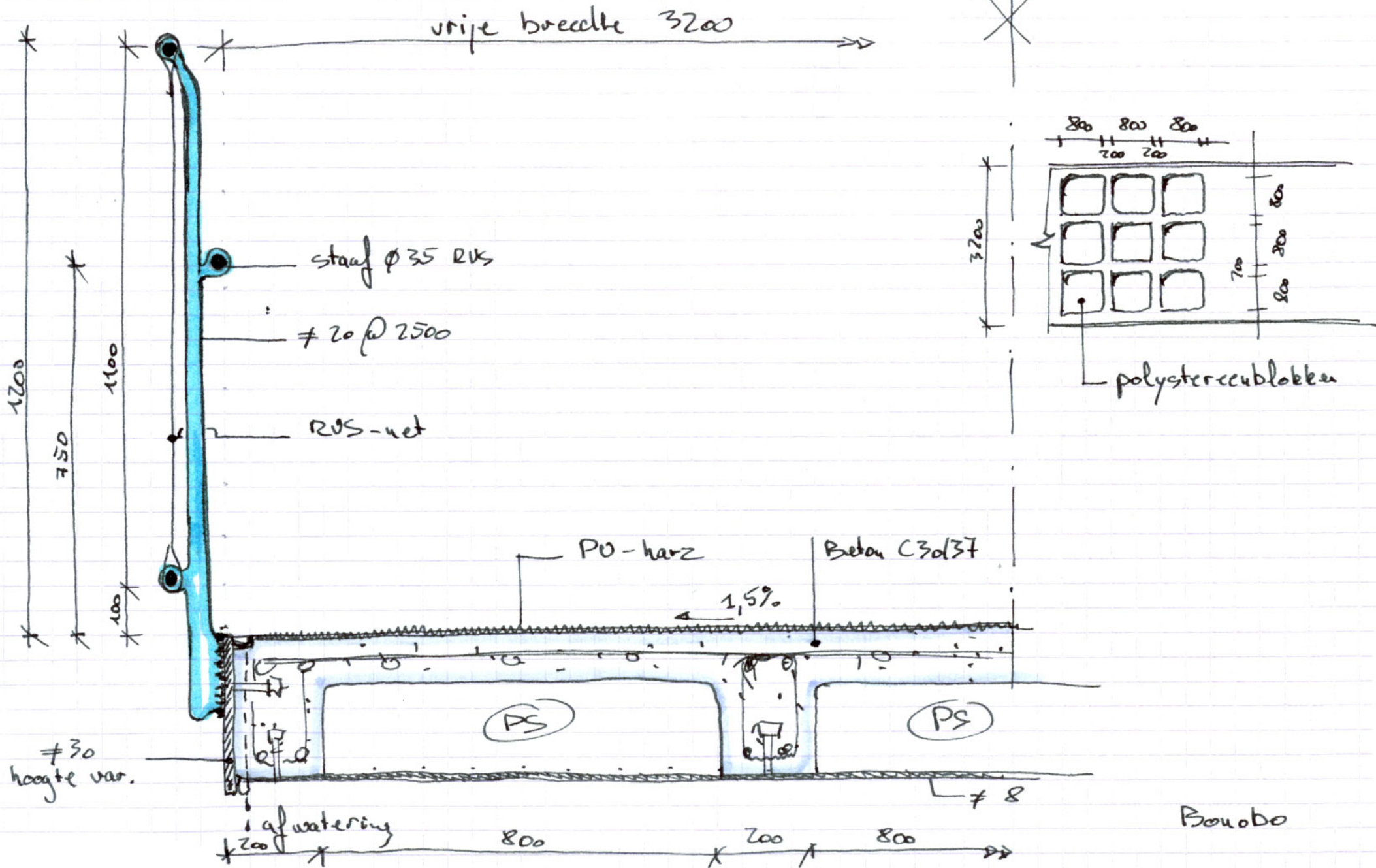
Door beton in deze sectie te storten, bekomen we van een statisch oogpunt een gesloten koker. Deze koker laat toe de krachten van torsie en buiten het vlak buiging veroorzaakt door de curve van het bouwwerk, op te nemen.

Een ander voordeel van dit systeem bestaat erin de eigenfrequentie van de centrale travee te kunnen aanpassen door makkelijk met het eigengewicht van deze travee te spelen. Op deze manier hebben we het bouwwerk "geregeld" om een eerste eigentrillingsfrequentie van  $v1 = 1,65$  Hz en een tweede eigentrillingsfrequentie van  $v2 = 4,64$  Hz te bekomen. Met deze eigentrillingsfrequenties zijn we in overeenstemming met norm NBN B52-001 (1995).





# DWARSDOORSNEDE



## DE STEUNEN

Het brugdek is gevormd door een koker met belangrijke torsie- en dwars stijfheid. Met deze sectie kan het brugdek op een eenvoudige manier geplaatst worden op een unieke reeks kolommen.

Deze keuze is bepaald door de volgende beschouwingen:

1. Van een statisch standpunt, is deze keuze noodzakelijk en voldoende. We zijn dus coherent in onze wens om overbodige elementen te verwijderen.
2. Van een economische zienswijze, getuigt deze optie van goed inzicht. De steunen worden praktisch alleen op druk belast. Hierdoor kunnen ze op een enkele paal gefundeerd worden, die in het verlengde van de kolom ligt.
3. Van een esthetisch standpunt, wordt het lezen van het werk coherent met de statische en conceptuele keuzes. Het brugdek lijkt in de lucht te rijzen met een krachtig gevoel van een delicaat evenwicht. De oversteekplaats wordt belangrijk, de brug wordt het symbool van de leegte die ze overbrugt.

De keuze van de hellingen van de steunen wordt hierdoor van grootst belang. Er bestaat immers een reeks van bevoorrechte posities voor de steunen die toelaten de krachten in de structuur te verminderen. Deze keuze lag aan de basis van een in-huis studie, die

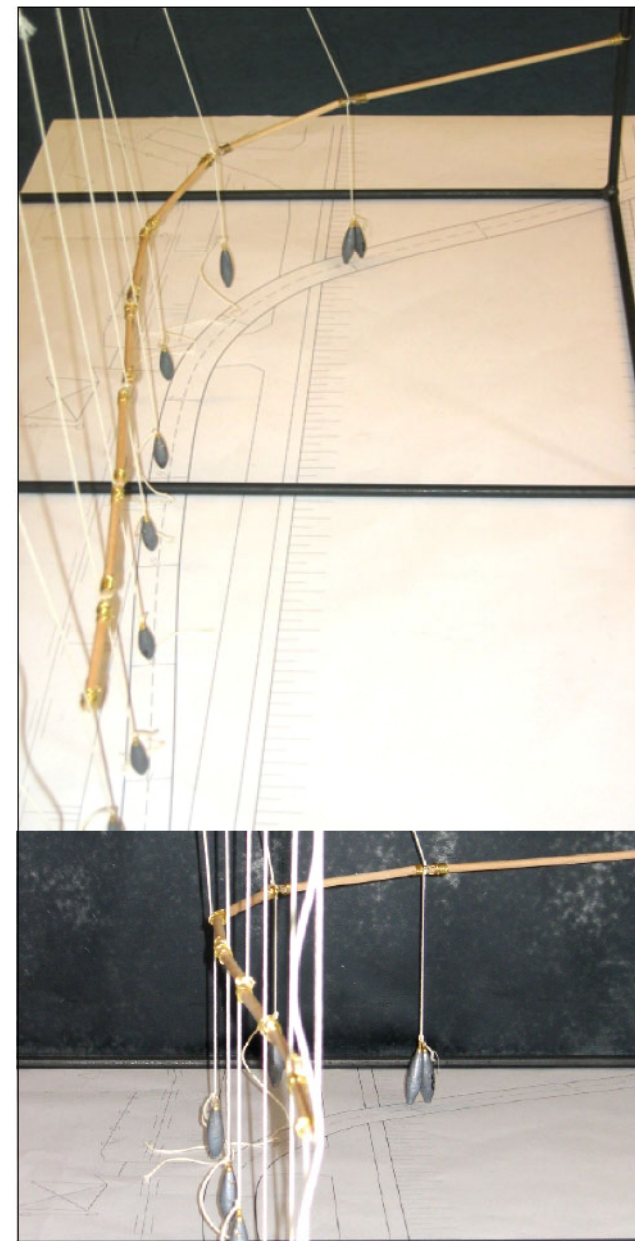
gebaseerd is op het principe van form-finding volgens force-density, een methode die wordt toegepast voor het vinden van vormen voor membraanstructuren. Deze gedachtengang werd ook benaderd op een intuïtieve manier op basis van een werkmodel. We proberen deze methode uit te leggen in het vervolg van deze paragraaf. Eén enkele last kan in twee richtingen opgevangen worden zoals aangeduid op het schema.



We hebben dezelfde oefening gemaakt met twee lasten

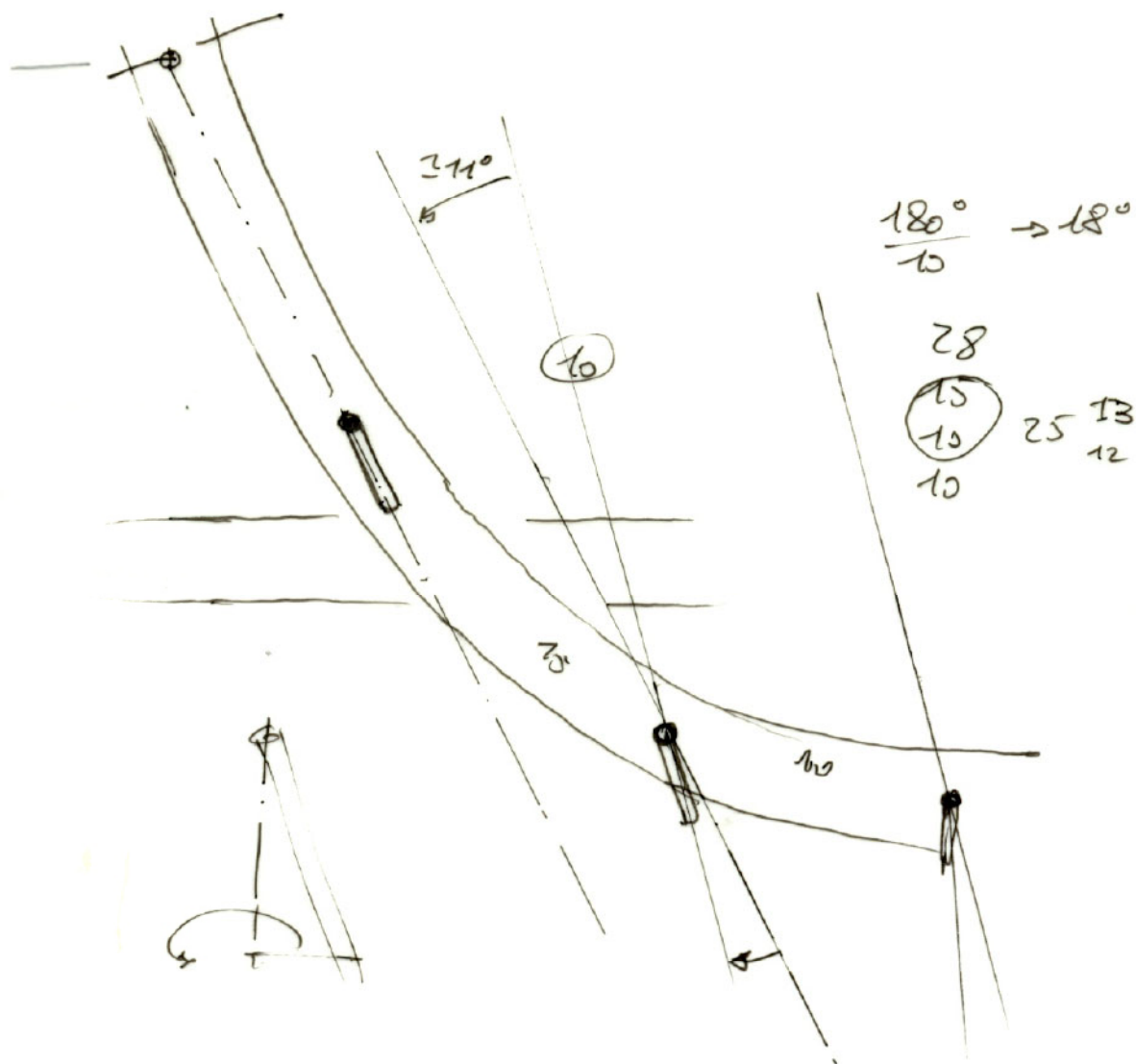


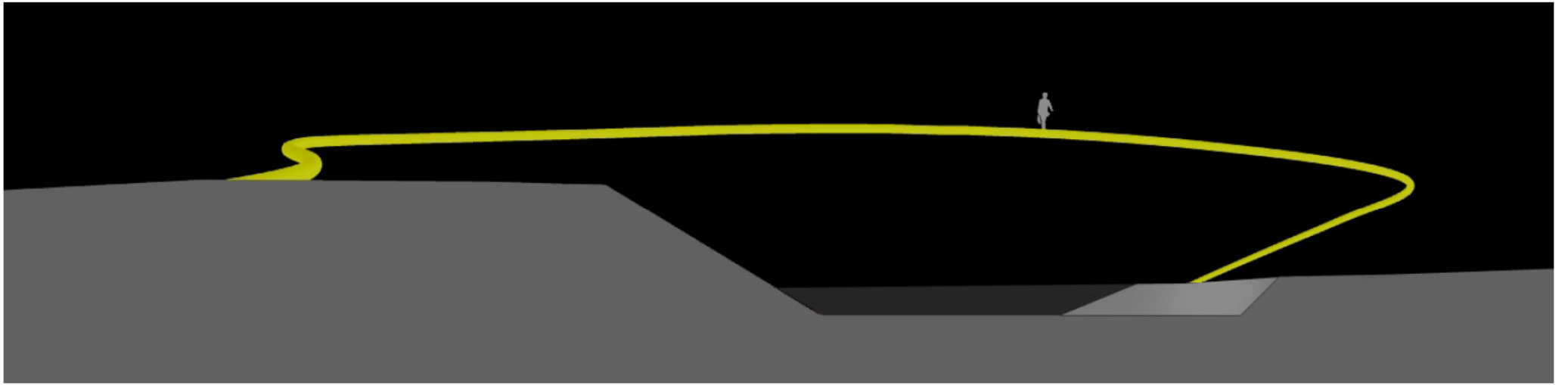
en tenslotte met verschillende lasten.

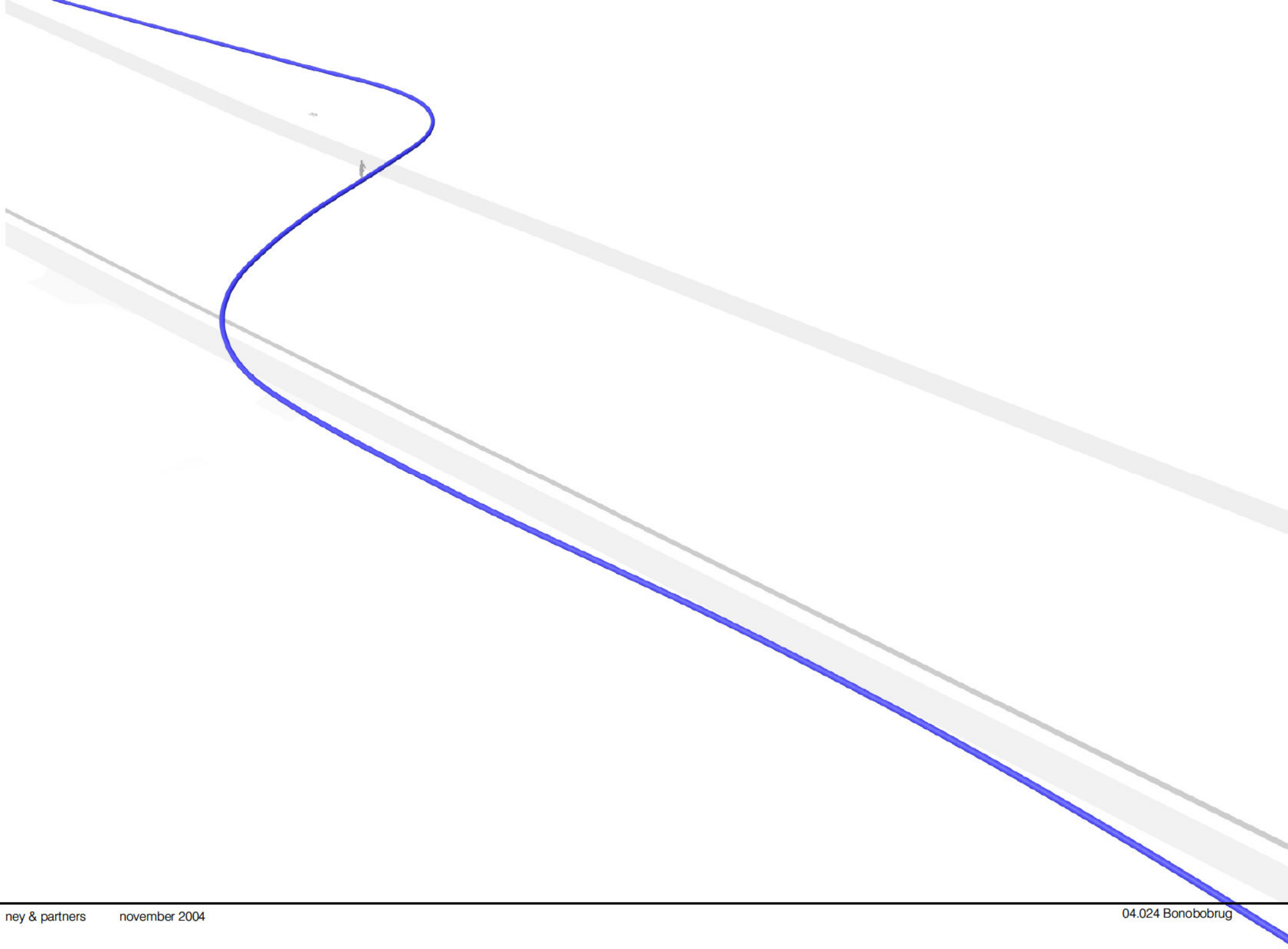


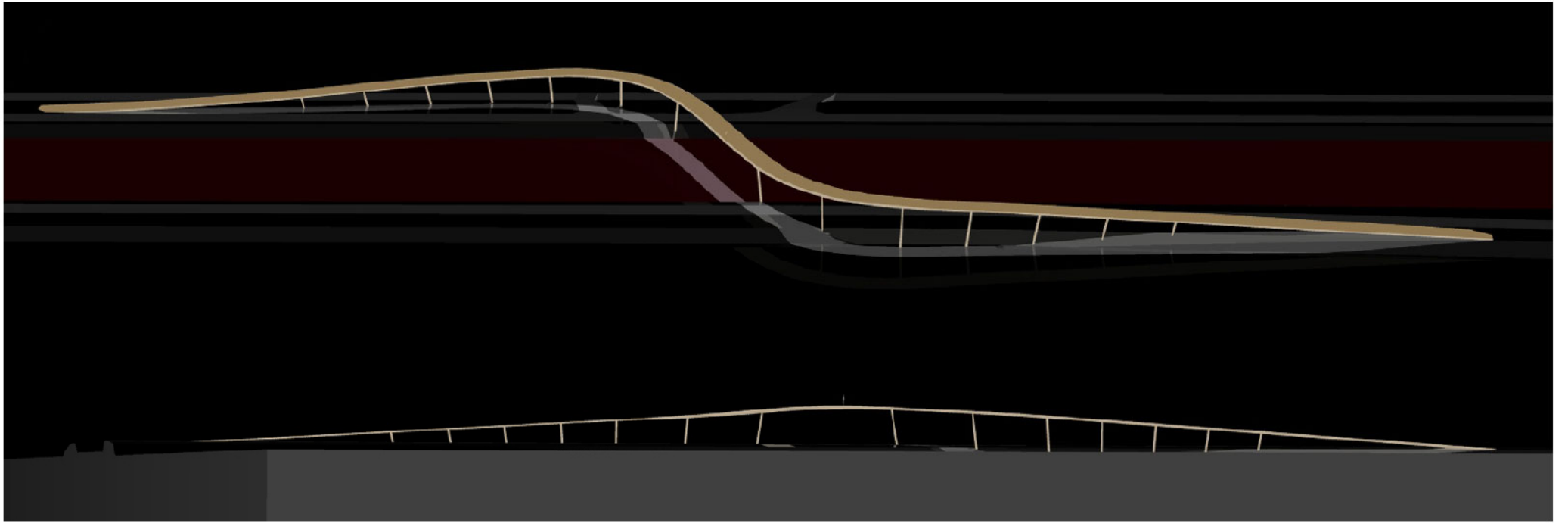
Wanneer we dit klein experiment uitvoeren, merken we dat de hoek van de hangers niet vrij is. Deze hoek hangt af van de belastingen op het bouwwerk en van de geometrie in plan die men wenst te bekomen. Maar dit wil niet zeggen dat er slechts één oplossing bestaat. Er bestaan oneindig veel oplossingen die bij deze geometrie passen zoals er ook een oneindige reeks oplossingen bestaan die niet bij deze geometrie passen. Om deze onbepaaldheid op te lossen, wordt een verhouding F/d vastgelegd zoals in de force-density methode. Om de helling van de kolommen te vinden, volstaat het om het systeem te keren terwijl de lijnen naar beneden worden verlengd.

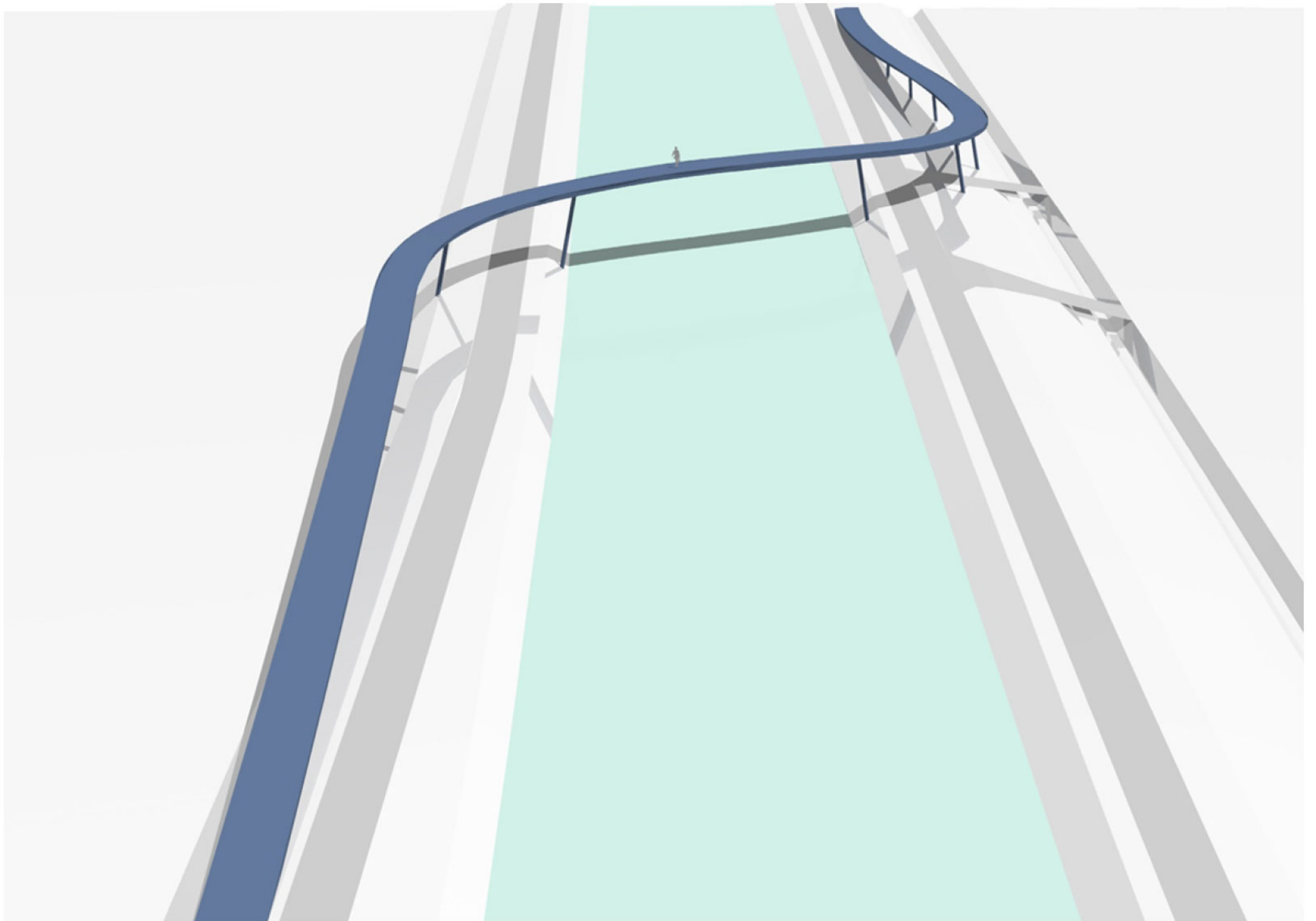
Als conclusie kunnen we stellen dat het brugdek op een reeks metalen buizen (met diameter 30cm, gevuld met beton) wordt geplaatst. De keuze van de helling van de buizen laat toe de krachten in het brugdek te optimaliseren. Deze buizen worden enkel op druk belast. De torsiemomenten worden opgenomen door verschillen in verticale reacties.

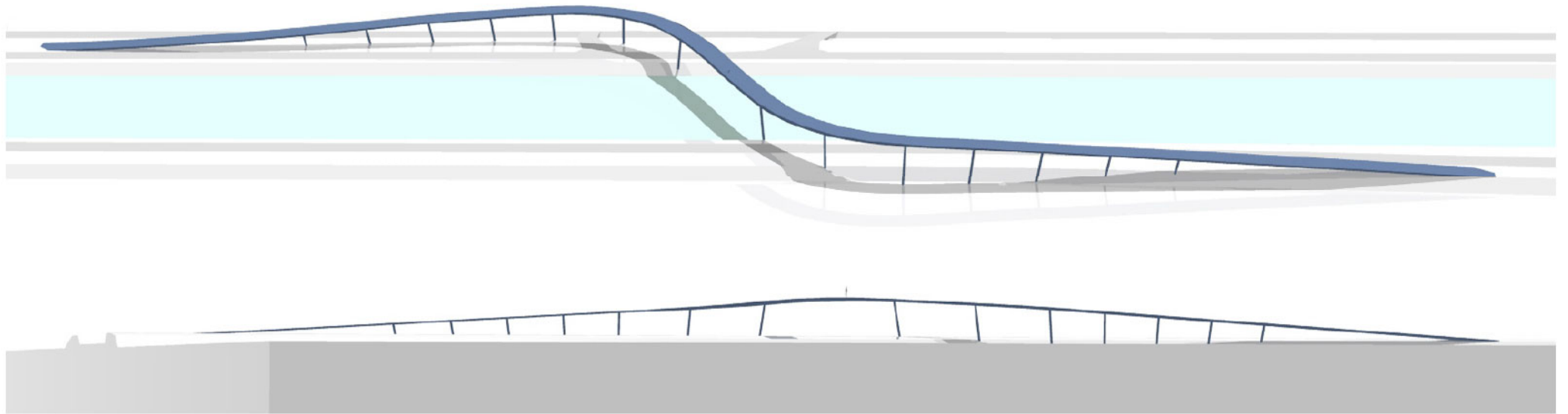
















## KEY VALUES

Typologie : staal/beton/composietstructuur

Breedte brugdek : 3,20 m

Lengte brug : 186 m

Lengte landhoofd LO : 34 m

Lengte landhoofd RO : 37,6 m

Totale lengte ontwerp : 257,6 m

Oppervlakte brugdek : 595,7 m<sup>2</sup>

Oppervlakte landhoofden : 229 m<sup>2</sup>

Totale oppervlakte : 825 m<sup>2</sup>

Aantal traveeën : 15

Gemiddelde overspanning  $\Sigma li^2 / \Sigma li$  : 12,8 m

Staalgewicht brug : 93.000 kg

Staalgewicht pijlers : 4.000 kg

Totaal eigengewicht zonder landhoofden : 440.000 kg

Verdeelde last volgens NBN B03-101: 5 kN/m<sup>2</sup>  
geen onderhoudswagen

Berekening volgens reeks eurocode 2 tot 4.

Beperking van de vervormingen volgens AOSO art.4.3.3

1/600 onder veranderlijke lasten 47 mm

berekende vervorming 45 mm

Beperkingen van de versnellingen volgens NBN B52-001 (1995)

1.Eerste eigenfrequentie 1.65Hz dus niet tussen 1,7 en 2,5 Hz

2.Stijfheid groter dan 8 kN/mm.

3.Logaritmisch decrement 0,04

Minstens twee van de criteria moeten vervuld zijn, in ons geval zijn alle 3 criteria vervuld,dus OK.

Staalkwaliteit: S355 J2G3

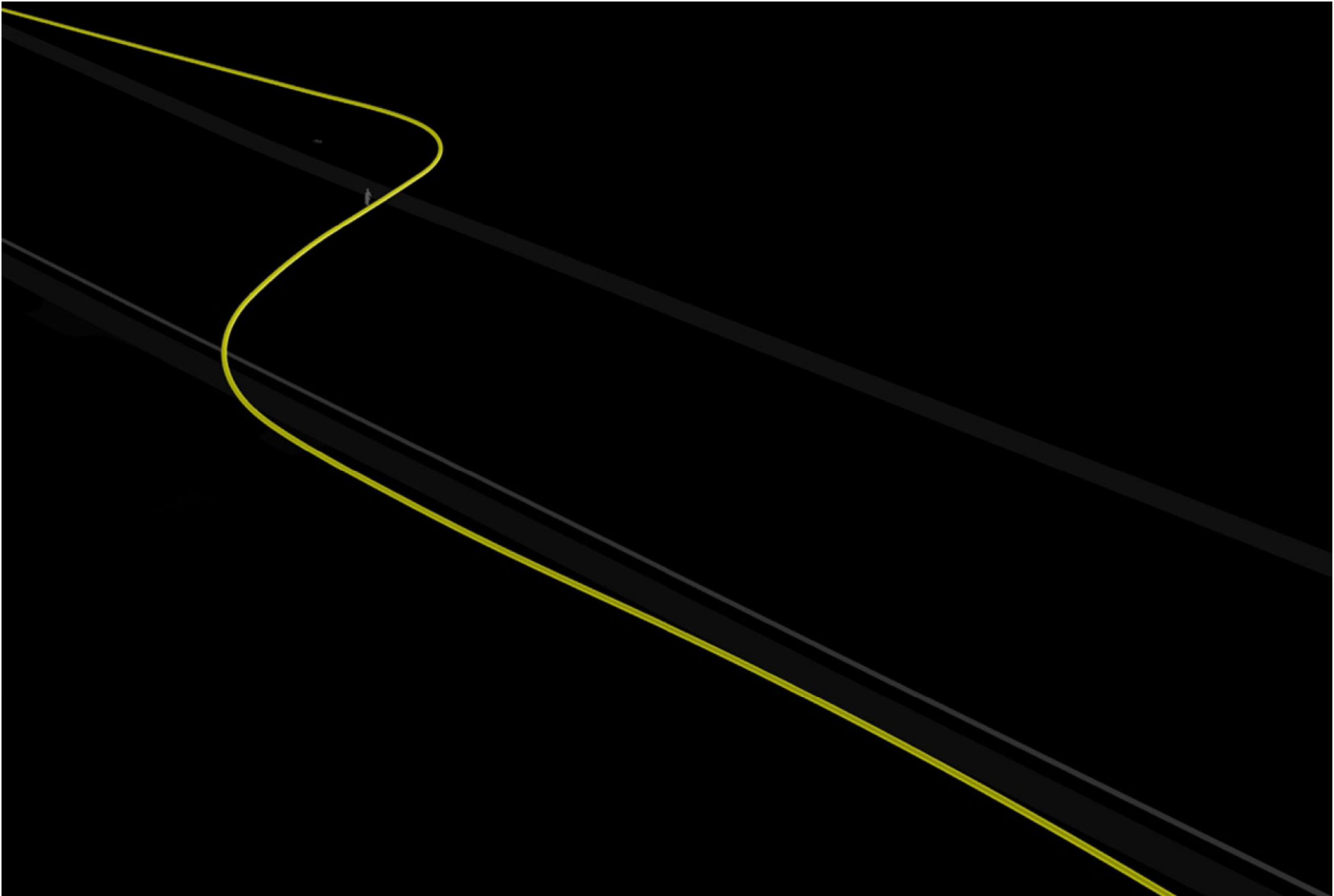
Deze visie op het ontwerp van de Bonobobrug werd opgemaakt in november 2004 door :

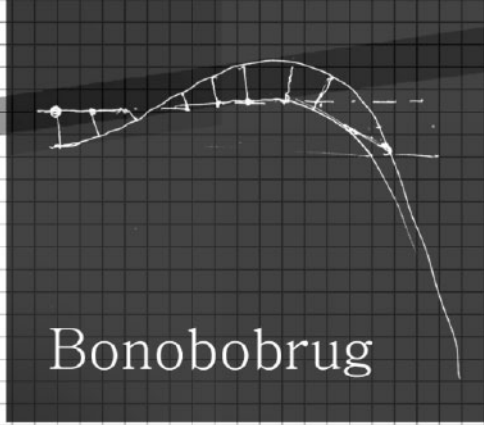
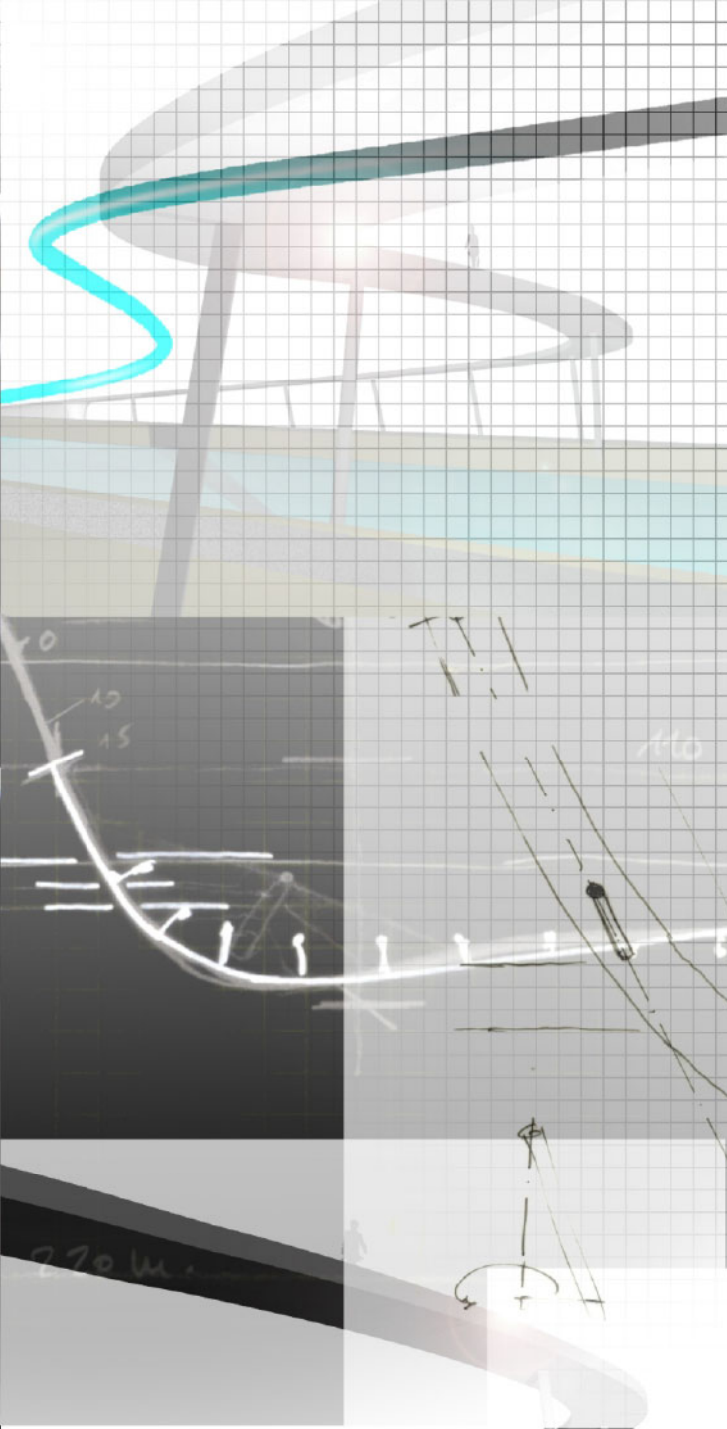
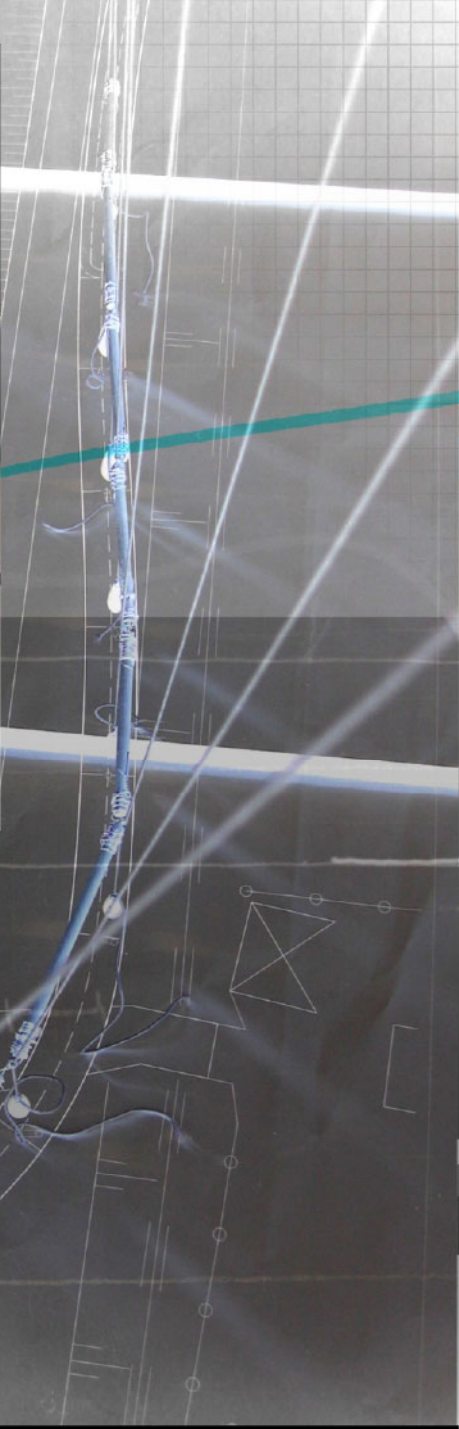
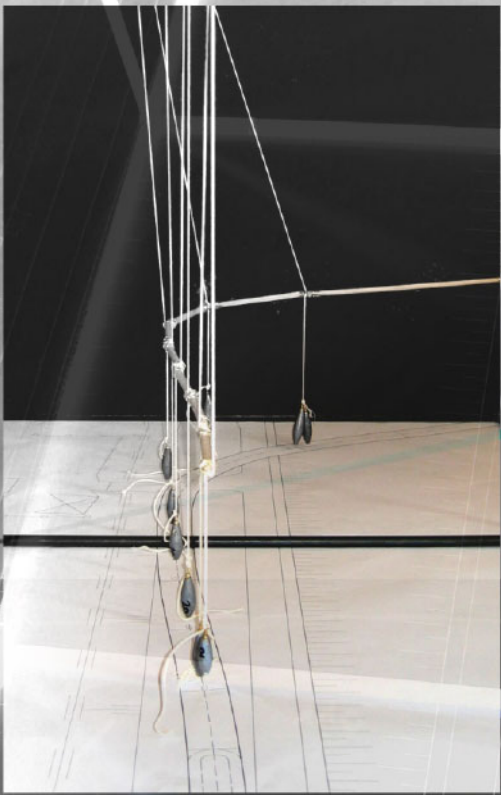
Ir Laurent Ney  
Dr ir Sigrig Adriaenssens  
Bart Vanden Heede, 3D-development

**ney & partners nv**  
**structural engineering**



[www.ney.be](http://www.ney.be)





Bonobobrug

