



# Uitbreiding Amsterdam ArenA

Ct5060 Afstudeerwerk

## Eindrapport

Afstudeerder: P.C. Kuiper  
Studienummer: 1091956  
Datum: 14-01-2008  
Status rapport: definitief

Technische Universiteit Delft  
Faculteit der Civiele Techniek en Geowetenschappen



Afstudeerbedrijf:  
ARCADIS Bouw en Vastgoed



## Studentgegevens

Naam: P.C. Kuiper  
Universiteit: Technische Universiteit Delft  
Master-variant: Building Engineering  
Studienummer: 1091956  
Beginjaar studie: 2001

Adres: Zuideindseweg 80a  
PC + woonplaats: 2645 BH Delfgauw  
Email: [kuiper.pc@gmail.com](mailto:kuiper.pc@gmail.com)  
Telefoon: 015-2618409  
Mobiel: 06-27061873



# Voorwoord

Dit is het eindrapport van mijn afstuderen in het kader van de studie Civiele Techniek aan de TU Delft, sectie Gebouwen en Civieltechnische Constructies. Het onderwerp betreft de uitbreiding van de Amsterdam ArenA met een derde tribune. Naast dit eindrapport zijn er 4 bundels met bijlagen waarin het chronologische ontwerpproces is vastgelegd. Hierin is de gehele onderbouwing te vinden van gemaakte ontwerpkeuzes. In dit eindrapport worden de hoofdlijnen uit deze 4 fasen weergegeven, evenals alle plattegronden en tekeningen.

Op deze plaats wil ik allereerst ARCADIS Bouw en Vastgoed bedanken voor de gelegenheid hier af te studeren. Vele collega's hebben mij met hun adviezen ter zijde gestaan, soms voor uitgeleiders bewaard, en soms een zetje in de goede richting gegeven. Als begeleider vanuit ARCADIS heeft ir. M.J.W. van Osch mij met zijn open houding en kritische vragen veel geholpen. Dank hiervoor.

Ook de leden van de afstudeercommissie vanuit de TU wil ik hierbij bedanken. Deze commissie bestaat uit prof. ir. L.A.G. Wagemans, dhr. ir. ing. R. Abspoel en dhr. dr. ir. P.C.J. Hoogenboom. Bedankt voor uw geduld bij mijn soms wat wispelturige ideeën. En ook dank voor de zorgvuldige kritiek. Deze hebben opbouwend gewerkt voor het eindontwerp.

Pieter Kuiper

Scheveningen, januari 2008



# Inhoudsopgave

|                                                 |           |
|-------------------------------------------------|-----------|
| <b>Voorwoord</b>                                | <b>2</b>  |
| <b>Inhoudsopgave</b>                            | <b>4</b>  |
| <b>Inhoudsopgave bijlagen</b>                   | <b>5</b>  |
| <b>Afstudeercommissie</b>                       | <b>7</b>  |
| <b>Samenvatting</b>                             | <b>8</b>  |
| <b>1 Inleiding</b>                              | <b>10</b> |
| 1.1 Over de rapportage                          | 10        |
| 1.2 Huidige situatie                            | 10        |
| 1.3 Achtergrond van verbouwingsplannen          | 10        |
| 1.4 Probleemomschrijving                        | 11        |
| 1.5 Doelstelling                                | 12        |
| 1.6 Randvoorwaarden en uitgangspunten           | 12        |
| 1.7 Aannames                                    | 12        |
| 1.8 Bestaande situatie                          | 13        |
| <b>2 Ontwerpkeuzes</b>                          | <b>16</b> |
| 2.1 Ambitie voor beleving                       | 16        |
| 2.2 Routing van personen                        | 24        |
| 2.3 Afdracht van belasting                      | 26        |
| 2.4 Een uitdaging voor uitvoering               | 26        |
| <b>3 Varianten</b>                              | <b>28</b> |
| 3.1 Varianten voor positie tribune              | 28        |
| 3.2 Varianten voor constructie                  | 31        |
| <b>4 Definitief ontwerp</b>                     | <b>34</b> |
| 4.1 Doorsneden en aanzichten                    | 34        |
| 4.2 Knooppunt bij opleggingen                   | 39        |
| 4.3 Routing van bezoekers                       | 40        |
| 4.4 Aantal stoelen                              | 40        |
| 4.5 Het ontwerp in cijfers                      | 41        |
| <b>5 Constructieve principes</b>                | <b>42</b> |
| 5.1 Windafdracht                                | 42        |
| 5.2 Stalen oplegkolommen                        | 44        |
| 5.3 Betonen oplegtorens                         | 46        |
| 5.4 Fundering                                   | 47        |
| 5.5 Opname torsie in hoofddraagconstructie      | 49        |
| <b>6 Uitvoering</b>                             | <b>52</b> |
| <b>7 Kosten</b>                                 | <b>60</b> |
| 7.1 Verbouwing                                  | 60        |
| 7.2 Geheel nieuw stadion                        | 61        |
| 7.3 Kosten staal                                | 62        |
| 7.4 Schatting met kengetallen                   | 62        |
| 7.5 Kosten voor opvijzelen                      | 62        |
| 7.6 Conclusie                                   | 62        |
| <b>8 Conclusie en aanbevelingen</b>             | <b>64</b> |
| <b>9 Nawoord en evaluatie</b>                   | <b>70</b> |
| <b>10 Bijlagen</b>                              | <b>72</b> |
| 10.1 Reacties bij verschillende tribuneposities | 73        |
| 10.2 Posities netkous bij opleggingen           | 75        |
| 10.3 Handberekening torsiebelasting             | 77        |

# Inhoudsopgave bijlagen

## Bijlage 1 van 4

### Werkplan

|                          |    |    |
|--------------------------|----|----|
| Voorwoord geheel         | 2  |    |
| Voorwoord werkplan       | 5  |    |
| Inhoudsopgave 5          |    |    |
| 1 Probleem analyse       | 8  |    |
| 2 Methodische benadering |    | 12 |
| 3 Proces                 | 14 |    |
| 4 Afstudeercommissie     | 18 |    |

### Probleemanalyse

|                                       |    |    |
|---------------------------------------|----|----|
| Voorwoord                             | 22 |    |
| Inhoudsopgave 22                      |    |    |
| Projectgegevens ArenA                 | 24 |    |
| 1 Inleiding                           | 26 |    |
| 1.1 Varianten voor uitbreiding        |    | 26 |
| 1.2 Meest realistische variant        |    | 30 |
| 2 Aanpak probleemanalyse              |    | 32 |
| 3 Eisen                               | 34 |    |
| 3.1 Capaciteit                        | 34 |    |
| 3.2 Hellingshoek van tribune          |    | 34 |
| 3.3 Zichtlijnen                       | 35 |    |
| 3.4 Routing en veiligheid             | 38 |    |
| 3.5 Constructieve eisen               | 39 |    |
| 4 Bouwbeperkingen                     | 42 |    |
| 4.1 Tijdsbeperkingen                  | 42 |    |
| 4.2 Bestaande bouw                    | 43 |    |
| 5 Oplossingsruimte                    | 44 |    |
| 5.1 Ruimte voor nieuwe draagstructuur |    | 44 |
| 5.2 Ruimte voor nieuwe tribune        | 45 |    |
| 6 Gebruikte literatuur                | 46 |    |
| 7 Bijlagen                            | 48 |    |

## Bijlage 2 van 4

### Vooronderzoek

|                                      |    |    |
|--------------------------------------|----|----|
| Studentgegevens                      | 1  |    |
| Voorwoord                            | 2  |    |
| Samenvatting                         | 4  |    |
| Inhoudsopgave 6                      |    |    |
| 1 Aanpak vooronderzoek               | 8  |    |
| 2 Referentieprojecten                | 10 |    |
| 3 Belangrijke uitgangspunten         |    | 26 |
| 4 Belastingen algemeen               | 30 |    |
| 5 Concept 1: Uitbreiding naar buiten |    | 32 |
| 6 Concept 2: Uitbreiding naar binnen |    | 52 |
| 7 Concept 3: Nieuw dak               | 56 |    |
| 8 Afweging concepten                 | 60 |    |
| 9 Nawoord                            | 62 |    |
| 10 Literatuuropgave                  | 64 |    |
| 11 Bijlage                           | 66 |    |

## Bijlage 3 van 4

### Schetsontwerp

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| Studentgegevens                                 | 1  |
| Voorwoord                                       | 2  |
| Inhoudsopgave                                   | 4  |
| 1 Samenvatting                                  | 5  |
| 2 Inleiding                                     | 7  |
| 3 Ontwerpkeuzes                                 | 11 |
| 4 Concepten hoofddraagconstructie               | 17 |
| 5 Concepten voor dimensie tribune               | 25 |
| 6 Afweging dimensie en constructie              | 37 |
| 7 Nieuwe torens                                 | 43 |
| 8 Opvijzelen                                    | 51 |
| 9 Faciliteiten en transport van mensen          | 61 |
| 10 Effecten verbouwing op bestaande constructie | 63 |
| 11 Conclusie                                    | 65 |
| 12 Volgende fase                                | 67 |
| 13 Bijlage                                      | 68 |

## Bijlage 4 van 4

### Constructief ontwerp

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| Studentgegevens                                   | 1  |
| Voorwoord                                         | 3  |
| Afstudeercommissie                                | 4  |
| Inhoudsopgave                                     | 5  |
| 1 Samenvatting                                    | 6  |
| 2 Inleiding                                       | 6  |
| 3 Bepaling vorm hoofddraagconstructie             | 8  |
| 4 Windafracht en stabiliteit                      | 19 |
| 5 Ontwerp secundaire draagconstructie             | 23 |
| 6 Onderzoek naar stijfheid en sterkte van netkous | 27 |
| 7 Variabelen van de netkous                       | 33 |
| 8 Handberekening constructie                      | 37 |
| 9 ESA berekening constructie                      | 49 |
| 10 Globale dimensionering                         | 53 |
| 11 Detaillering                                   | 53 |
| 12 Uitvoering                                     | 54 |
| 13 Bijlagen                                       | 66 |

# Afstudeercommissie

## **VOORZITTER**

### **Prof. ir. L.A.G. Wagemans**

Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen  
Sectie Gebouwen en Civieltechnische Constructies  
Stevinweg 1, 2628 CN Delft  
Kamer: 2.53 St2  
Email: [L.A.G.Wagemans@citg.tudelft.nl](mailto:L.A.G.Wagemans@citg.tudelft.nl)  
Tel: 015-2784752 of 06-215 081 78

Secretaresse sectie GCC: mevr. M. van der Schaaf  
Email: [j.m.vanderschaaf@citg.tudelft.nl](mailto:j.m.vanderschaaf@citg.tudelft.nl)  
Tel: 015-2783990

## **DAGELIJKSE BEGELEIDERS**

### **Ir. ing. R. Abspoel**

Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen  
Sectie Gebouwen en Civieltechnische Constructies  
Stevinweg 1, 2628 CN Delft  
Kamer: 2.54 St2  
Email: [R.Abspoel@tudelft.nl](mailto:R.Abspoel@tudelft.nl)  
Tel: 015-27 85358

### **Dr. ir. P.C.J. Hoogenboom**

Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen  
Sectie Constructie Mechanica  
Stevinweg 1, 2628 CN Delft  
Kamer: OG5.24  
Email: [P.C.J.Hoogenboom@tudelft.nl](mailto:P.C.J.Hoogenboom@tudelft.nl)  
Tel: 015-27 88081

## **COÖRDINATOR**

### **Ir. A. te Boveldt**

Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen  
Sectie Gebouwen en Civieltechnische Constructies  
Stevinweg 1, 2628 CN Delft  
Kamer: 1.57 St2  
Email: [A.teBoveldt@tudelft.nl](mailto:A.teBoveldt@tudelft.nl)  
Tel: 015-27 84982

## **BEGELEIDER ARCADIS BOUW EN VASTGOED**

### **Ir. M.J.W. van Osch**

Gevers Deijnootweg 93 C, Postbus 84319, 2508 AH Den Haag  
Email: [m.j.w.osch@arcadis.nl](mailto:m.j.w.osch@arcadis.nl)  
Tel: 070-35 83551

# Samenvatting

Hier volgt een samenvatting van het afstudeerwerk over de uitbreiding van de Amsterdam ArenA. In de bijlagen zijn de chronologische tussenrapporten opgenomen, evenals een samenvatting per bijlage. Dit overzicht zal ingaan op de hoofdconclusies van dit rapport.

Het doel van het afstudeerwerk is een ontwerp te maken voor een extra tribune voor de Amsterdam ArenA met 18.372 zitplaatsen, zodat het totaal aantal stoelen op 70.000 komt. Aan deze doelstelling is voldaan met een ontwerp van een tribune die gedragen wordt door een netkous met diameter 8,5 m die op 12 nieuwe torens rust. Het bestaande bouwwerk wordt niet extra belast door de nieuwe constructie; er wordt namelijk een aparte fundering gemaakt voor de nieuwe tribune.

De belangrijkste ontwerpkeuzes zijn bepaald door de volgende eisen aan het ontwerp:

- § Er is onderzoek gedaan naar de positie waar de tribune kan komen. Deze ruimte wordt richting het speelveld begrensd door toegestane zichtlijnen; naar buiten is een maximale afstand tot het speelveld vastgelegd. De tribune is binnen deze toegestane ruimte geplaatst, waarbij getracht is de tribune zo dicht mogelijk op het speelveld te plaatsen zonder enorme krachten in de constructie op te wekken. Dit is gedaan door in de bocht de nieuwe tribune over de bestaande tribune een overstek te laten maken. Hierdoor wordt de belasting beter uitgebalanceerd tussen de oplegpunten, zodat er minder grote krachten ontstaan.
- § Een tweede uitgangspunt bij het ontwerp was de eis voor een strakke vorm met weinig ondersteuning (en dus lange overspanningen). Op deze manier kan ook over het nieuwe hoofdgebouw een overstek gemaakt worden. Daarom moest de constructie goed bestand zijn tegen grote buigende krachten en torsiekrachten. De netkous, een ruimtelijk vakwerk, is hier goed tegen bestand.
- § Ten derde moest de constructie ruimte geven voor de personenstromen. Dit wordt mogelijk gemaakt doordat de bezoekers door de buisconstructie kunnen lopen. Hier komt een voetgangersgebied met horeca en toiletruimtes. De opgangen naar de tribunes worden gerealiseerd met tunneltjes/ loopbruggetjes die oversteken.
- § Ten vierde was er de eis dat de ArenA zo lang mogelijk in bedrijf moet blijven tijdens de bouw. Hier wordt aan voldaan doordat de hoofdconstructie voor het grootste deel buiten de bestaande ArenA gebouwd wordt, en dat dan pas het dak opgetild wordt.

De belangrijkste constructieve eigenschappen zijn als volgt:

- § De netkous is opgelegd op 48 stalen kolommen, die verdeeld zijn over 12 torens. Ze vormen een verende oplegging die in beperkte mate rotatie van de netkous om de eigen as (locale x-as) mogelijk maakt. Hierdoor worden optredende krachten in de netkous zelf opgenomen, en worden de nieuwe torens en de fundering ontzien.
- § Het bestaande dak wordt opgetild. De 50 radiaalspanen komen op 50 'vingers' van de nieuwe constructie te rusten. De twee boogliggers blijven op de bestaande trappenhuizen, maar de oplegkolommen worden verlengd, zodat de boogliggers op een hoger niveau gehangen kunnen worden.

Het uitvoeringsaspect is het meest cruciale van het ontwerp. Hier dient verder onderzoek naar te gebeuren, in overleg met een uitvoerder die ervaring heeft met dit soort grote klussen. Het voorstel zoals dat in dit rapport gedaan is, is als volgt:

- § Allereerst worden de nieuwe torens gebouwd waarop de netkous komt te staan.
- § Vervolgens wordt de netkous op definitieve hoogte gebouwd, waarbij ze ondersteund wordt door een (tijdelijke) hulpconstructie. De vingers worden ook alvast gebouwd; het nieuwe dakdeel en de prefab betonnen tribune-elementen worden later geplaatst.
- § Aan de top van de vingers wordt een vizelmechanisme geplaatst. Omdat de top precies boven het uiteinde van de radiaalspanen van het dak valt, kan met een lier het radiaalspant opgetild worden. Op definitieve hoogte wordt ze dan aan de 'vinger' bevestigd middels een schuifverbinding.
- § Tegelijkertijd met de radiaalspanen moeten de twee boogliggers opgetild worden.

De belangrijkste conclusie is dat het aanbeveling verdient te onderzoeken of het niet goedkoper is een heel nieuw stadion te bouwen in plaats van deze uitbreiding te maken.





# 1 Inleiding

Dit is het eindverslag van het afstudeerwerk met het onderwerp de uitbreiding van de Amsterdam ArenA. Onderzocht wordt of er een derde tribune gebouwd kan worden zodat het totaal aantal stoelen op 70.000 gebracht wordt. Allereerst zal een inleiding op de verschillende rapporten gegeven worden. Daarna zal de probleem- en doelstelling van dit afstudeerwerk geschetst worden.

## 1.1 Over de rapportage

Dit eindverslag beschrijft en visualiseert het eindproduct en geeft de argumentatie waarom bepaalde ontwerpkeuzes gemaakt zijn. Het gaat om de hoofdlijnen van de ideeën, en het presenteren van de tekeningen.

Voor een gedetailleerde uitwerking van sommige onderdelen wordt soms verwezen naar de bijlagen, waarin de tussentijdse rapporten zijn opgenomen. Uit deze tussentijdse rapporten wordt duidelijk hoe het ontwerpproces chronologisch is verlopen. Omdat dit qua inhoud echter niet altijd lineair gegaan is, is de argumentatie wat versnipperd. Vandaar dat ervoor gekozen is het eindproduct in een apart rapport te presenteren, dat nu voor u ligt.

De tussenrapporten hebben een titel meegekregen die grofweg de lading dekt.

Het Werkplan en de Probleemanalyse zijn de verkennende fasen, in het Vooronderzoek wordt een eerste constructievoorstel uitgewerkt. In het Schetsontwerp wordt een betonnen en een stalen hoofddraagconstructie afgewogen, en wordt het mechanisch gedrag van de constructie uitgelegd. Het Constructief Ontwerp – bijlage 4 - doet diepgaander onderzoek naar het gedrag van de constructie en toetst het ontwerp. Het meeste rekenwerk wordt gepresenteerd in genoemd rapport. In het Eindverslag dat nu voor u ligt, zal regelmatig verwezen worden naar deze berekeningen.

Per bijlage is een samenvatting van het betreffende tussenrapport opgenomen. De inhoudsopgaven van de bijlagen zijn ook in dit rapport opgenomen, zodat gemakkelijk iets opgezocht kan worden.

## 1.2 Huidige situatie

Sinds 14 augustus 1996 beschikt Nederland over een multifunctioneel stadion in Amsterdam: de Amsterdam ArenA. Het stadion is de thuishaven van de Amsterdamse voetbalclub Ajax. Al haar thuiswedstrijden worden hier gespeeld. Daarnaast worden er concerten met grote artiesten georganiseerd, en zijn er evenementen als productpresentaties, theatervoorstellingen, verkooptrainingen, bedrijfsfeesten etc.

Het stadion is ontworpen door ingenieursbureau Grabowsky & Poort (dit bureau is later overgenomen door Arcadis), de dakconstructie door aannemer/ constructeur Bailey. Het stadion met al haar randfuncties is een complex bouwwerk: het is bijvoorbeeld het eerste stadion ter wereld waar een weg onderdoor loopt en het eerste stadion in Europa dat over een schuifdak beschikt.

## 1.3 Achtergrond van verbouwingsplannen

“De Amsterdam ArenA is continu in ontwikkeling. De drijfveren voor de verdere ontwikkeling van het stadion lopen uiteen. De toegankelijkheid, de kwaliteit van de dienstverlening en de uitstraling van het multifunctionele complex vormen belangrijke uitgangspunten voor de ontwikkeling van nieuwe plannen.

### 1.3.1 GEREALISEERDE PLANNEN

In 2006, het jubileumjaar van de Amsterdam ArenA, is het Masterplan Verbetering Toegankelijkheid voltooid. Hierdoor kunnen vrijwel alle bezoekers hun tribunevak bereiken zonder trap te lopen, dus door gebruik te maken van liften en roltrappen. Behalve in de toegankelijkheid investeerde de ArenA

ook in verbetering van geluid en akoestiek, in bruikbaarheid van de podia, en in de indeelbaarheid van het amfitheater.

### 1.3.2 NIEUWE PLANNEN

Een multifunctioneel 'state of the art' stadion is nooit af. Amsterdam ArenA zal daarom blijven investeren in het gebouw. Inmiddels zijn er alweer plannen ontwikkeld voor uitbreiding van het Hoofden Entreegebouw van het stadion.”<sup>1</sup>

### 1.3.3 TOEKOMSTPERSPECTIEF

Als Nederland ooit gastland wil zijn voor het WK voetbal, dient ze ten minste drie stadions te hebben met een capaciteit van minstens 60.000 en liefst 80.000 zitplaatsen<sup>2</sup>. Dit mag misschien toekomstmuziek zijn, de vraag naar de constructieve haalbaarheid blijft interessant.

Tijdens het schrijven van dit afstudeerwerk zijn er gesprekken gaande tussen Nederland en België om gezamenlijk het WK van 2018 te organiseren. Onze zuiderburen zorgen voor de realisatie van één stadion van 80.000 stoelen. Nederland zorgt dan voor twee stadions. Wanneer gemeente Rotterdam het stadion De Kuip zou uitbreiden, kan gemeente Amsterdam niet achterblijven en moet dan ook voor een groot stadion zorgen. De mogelijkheid die in dit afstudeerwerk wordt onderzocht is om de Amsterdam ArenA uit te breiden met een extra tribune.

## 1.4 Probleemomschrijving

Tegen de achtergrond van het scenario om het WK voetbal in Nederland en België te organiseren, wordt bekeken of het mogelijk is de Amsterdam ArenA uit te breiden met een derde toeschouwersring. Deze extra tribune moet het totaal aantal stoelen van 51.628 op 70.000 brengen. Er is voor 70.000 gekozen omdat dit de afstudeerder wat realistischer lijkt dan 80.000. Nederland is relatief klein in vergelijking met de landen die de afgelopen jaren het WK georganiseerd hebben. Hoe groter het stadion wordt, hoe zwaarder de eisen voor nieuwe infrastructuur, extra hotels e.d. En het blijft de vraag of het stadion buiten het wereldkampioenschap deze extra zitplaatsen wel kan exploiteren.

De probleemvelden van dit afstudeerwerk zijn als volgt:

- § *Positionering:*  
Wat is de beste positionering van een nieuwe tribune? De tribune moet goed gefundeerd kunnen worden en er moet voldoende zicht op het speelveld blijven. Daarnaast moeten bezoekers van grondniveau naar de nieuwe tribune geleid worden en moet er ruimte voor toiletten en horeca gerealiseerd kunnen worden.
- § *Bouwmethodiek en constructie van dak:*  
Welke activiteiten zijn nodig om het dak aan te passen, en is dat constructief mogelijk?
- § *Constructie tribune:*  
De nieuwe tribune moet constructief ontworpen en berekend worden.
- § *Bouwhinder:*  
Welke hinder ontstaat er tijdens de bouw, en hoe kan deze hinder voor de voortgang van evenementen in het stadion beperkt blijven?

Genoemde problemen worden in dit afstudeerwerk onderzocht. Bij een uitbreiding van een willekeurig stadion komen nog veel meer onderwerpen kijken, waar hier echter geen aandacht aan besteed kan worden. Zo wordt bijvoorbeeld niet naar de financiële haalbaarheid gekeken, aangezien dat buiten mijn vakgebied valt. Zowel de organisatie van een Wereldkampioenschap als de verbouwing van enkel de ArenA zijn enorm grootschalige evenementen. Die verdienen een aparte haalbaarheidsstudie. Hierbij moet bijvoorbeeld worden gekeken naar alle faciliteiten die extra gecreëerd moeten worden, naar de economische groei die door een Wereldkampioenschap veroorzaakt wordt, naar de financieringsmogelijkheden door aandeelhouders, etc. Dit afstudeerwerk focust enkel op de constructieve aspecten van de nieuwbouw.

<sup>1</sup> Aldus de website [www.amsterdamarena.nl](http://www.amsterdamarena.nl)

<sup>2</sup> Aldus een publicatie van de FIFA, zie Bijlage 1, Probleemanalyse h 1.2

## 1.5 Doelstelling

Het doel van het afstudeerwerk is een ontwerp te maken voor een extra tribune voor de Amsterdam ArenA met 18.372 zitplaatsen, zodat het totaal aantal stoelen op 70.000 komt.

## 1.6 Randvoorwaarden en uitgangspunten

### Uitgangspunten

- § Een uitgangspunt dat belangrijke consequenties heeft voor het ontwerp, is dat het bestaande dak behouden blijft. Het zal opgetild worden, en onder het bestaande dak zullen nieuwe tribunes toegevoegd worden. Dit is als uitgangspunt genomen omdat naar verwachting de kosten hierdoor beduidend lager uitkomen dan wanneer een nieuw dak gebouwd moet worden.
- § In het ontwerp wordt het bestaande dak niet verder onderzocht. Als het dak op een hoger niveau komt, zal de windbelasting ook toenemen. De In dit afstudeerwerk wordt dat verder niet onderzocht. Vervolgonderzoek moet uitwijzen welke maatregelen hiervoor genomen dienen te worden.
- § De bestaande fundering mag niet extra belast worden. De nieuwe tribune wordt apart gefundeerd.

Reden voor deze uitgangspunten is dat het bestaande bouwwerk economisch ontworpen is, en dus weinig overcapaciteit heeft. Een ander voordeel van een losse constructie is dat er veel minder onderzoek naar het bestaande bouwwerk gedaan moet worden. De afstudeerder heeft maar een beperkte tijd voor het ontwerp, en besteedt deze tijd liever inhoudelijk aan de nieuwe constructie dan dat er tijdrovend onderzoek gedaan moet worden in bestaande tekeningen en berekeningen.

- § Het beste concept voor de verbouwing is degene waarbij zo min mogelijk grote evenementen verhinderd worden.

### Randvoorwaarden

- § Er komt een nieuw hoofdgebouw dat, in plattegrond bezien, net buiten de bestaande tribune valt. Vanuit het bestuur van de ArenA mogen kolommen dit gebouw niet verticaal doorsnijden. De nieuwe tribune zal dus ter plaatse van de nieuwe hoofdingang een speciale voorziening moeten krijgen die het hoofdgebouw overspant.

## 1.7 Aannames

- § Aangenomen wordt dat de grond draagkrachtig genoeg is om een nieuwe tribune te dragen. Wel moet er voldoende ruimte aanwezig zijn voor de palen.
- § De bestaande constructie is economisch ontworpen, zodat er weinig overcapaciteit aanwezig is. De belastingen op het bestaande gebouw mogen dus niet verhoogd worden.
- § Er kan voldoende infrastructuur gecreëerd worden voor de uitbreiding van de ArenA.

## 1.8 Bestaande situatie

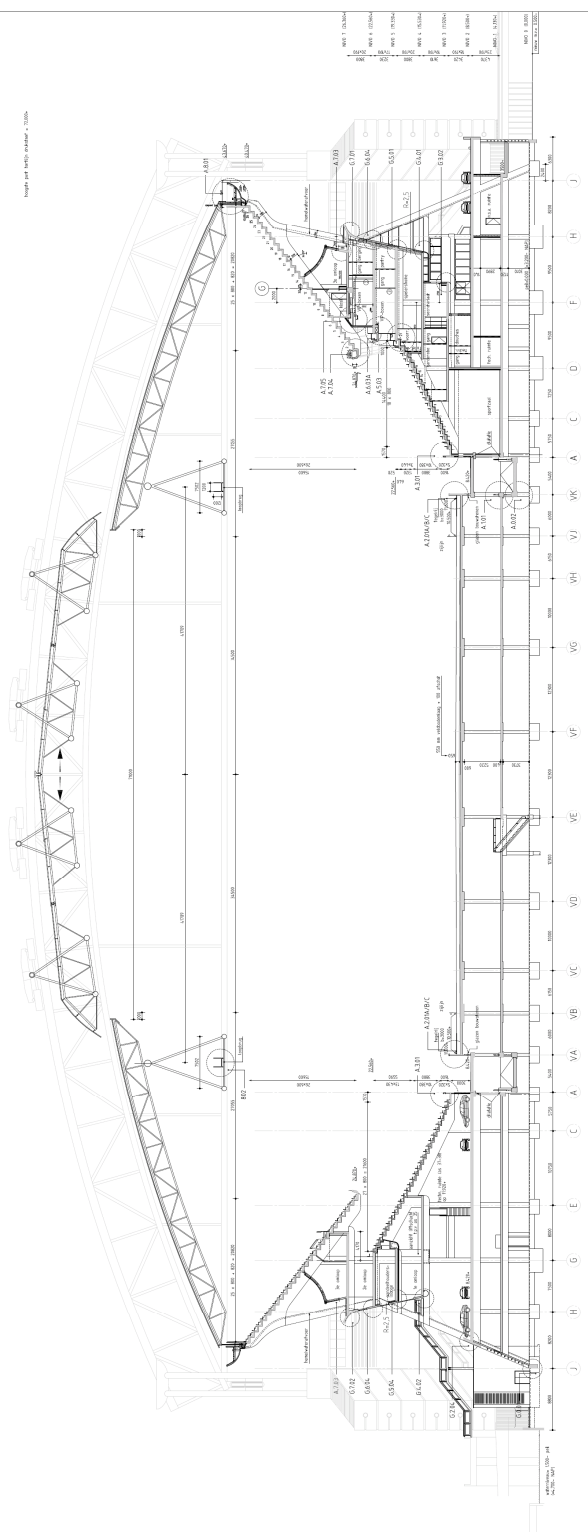
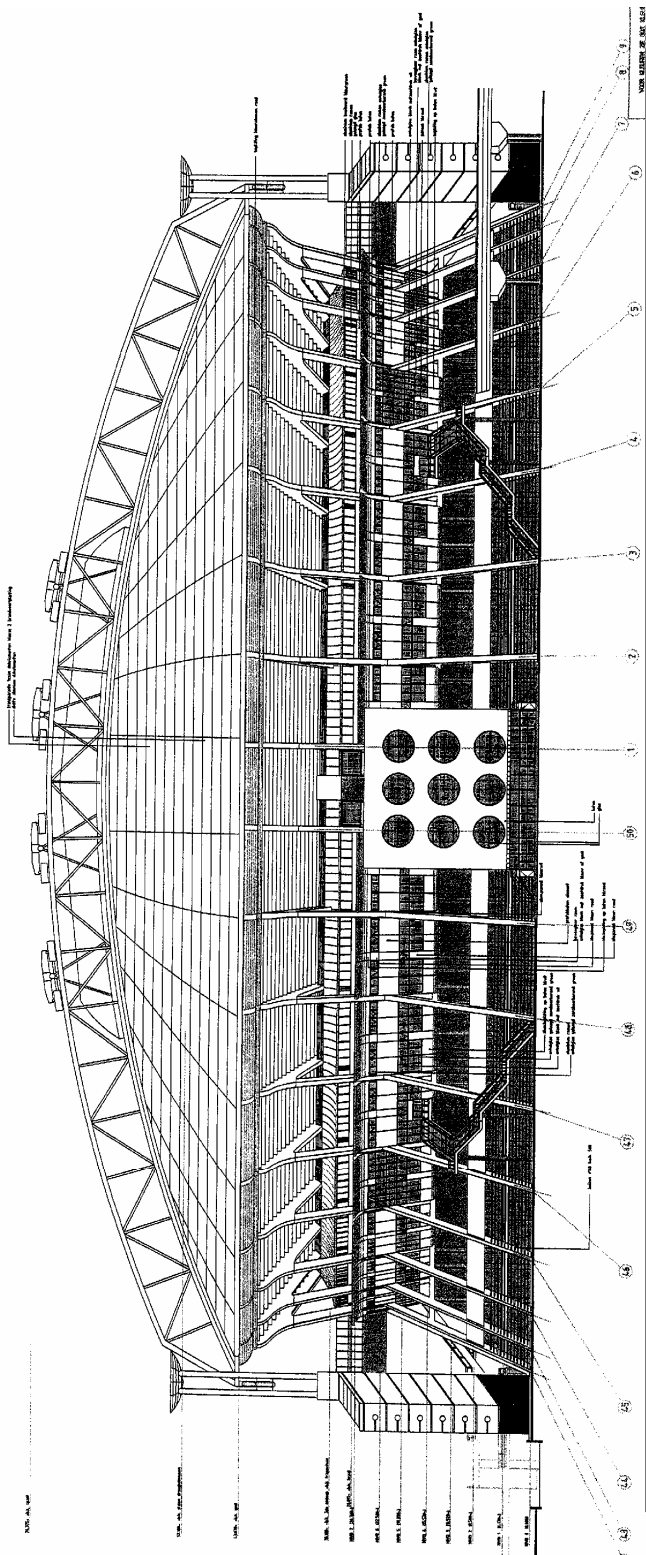
De Amsterdam ArenA is opgeleverd in 1996. Het gebouw bestaat uit een betonnen onderbouw; prefab betonnen spanten en een stalen dak. De lengte is 260 m, breedte is 190 m, hoogte tot bovenkant dak is 72 m + mv.

De tribunes en de vloeren worden ondersteund door 50 prefab spanten; de afstand tussen de spanten is gemiddeld 12,300 m. Het dak bestaat ook uit 50 radiaalspanten; direct boven het speelveld zijn deze opgelegd op de twee boogliggers, aan de buitenrand zijn de radiaalspanten pendelend opgelegd op de tribunerand.

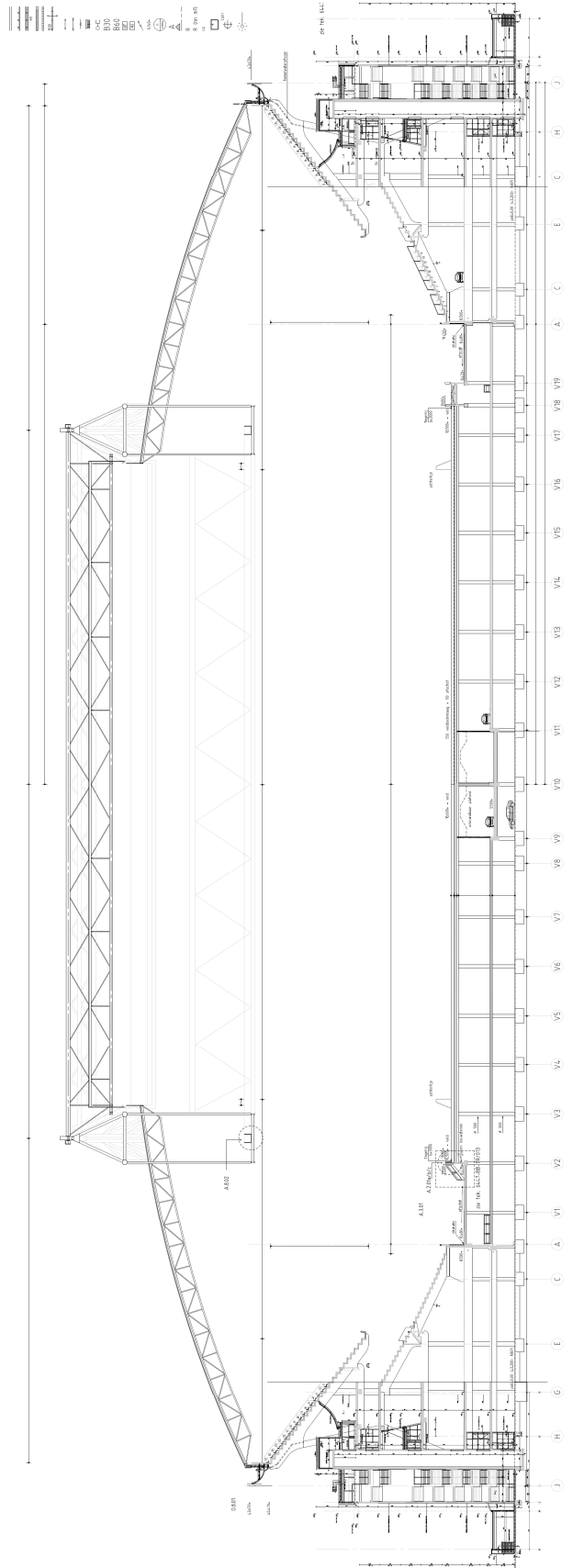
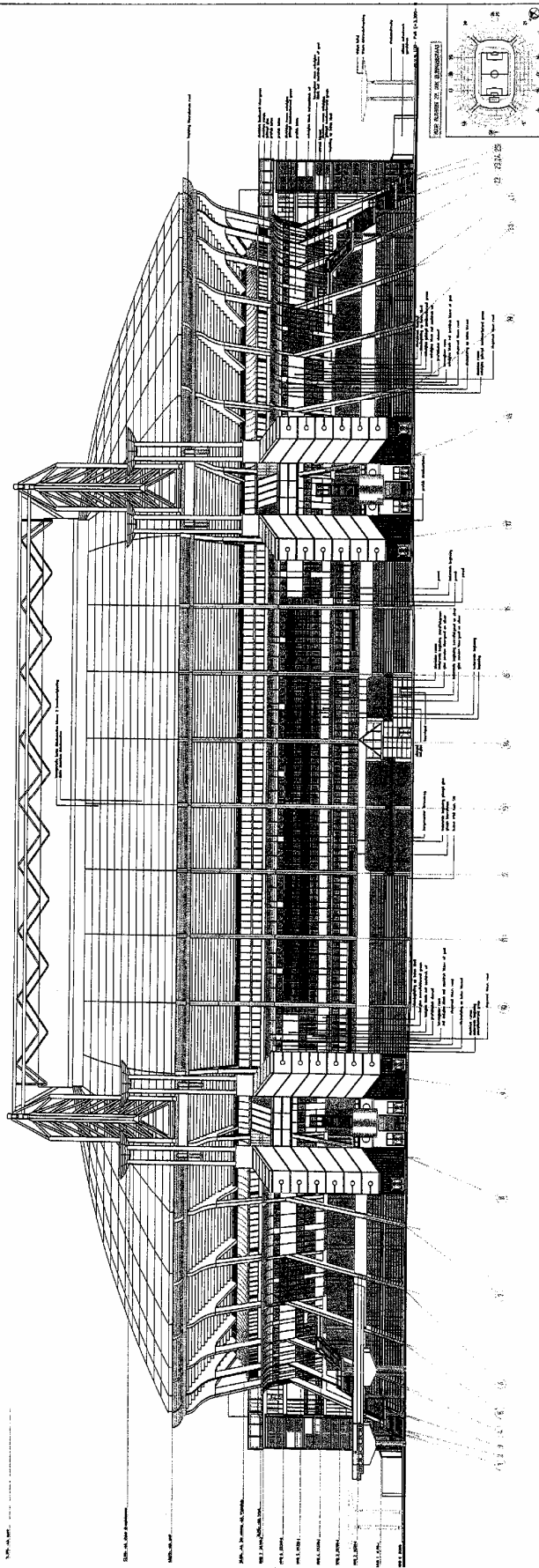
Het stadion is geheel overdekt. Het middelste deel van het dak kan in twee delen van elk 37,5 x 118 m<sup>2</sup> worden verplaatst, zodat het speelveld naar behoefte aan wind en regen kan worden blootgesteld.

De tribune bestaat uit twee ringen: de eerste heeft een hellingshoek van 26°, de tweede heeft een hellingshoek van 37°.









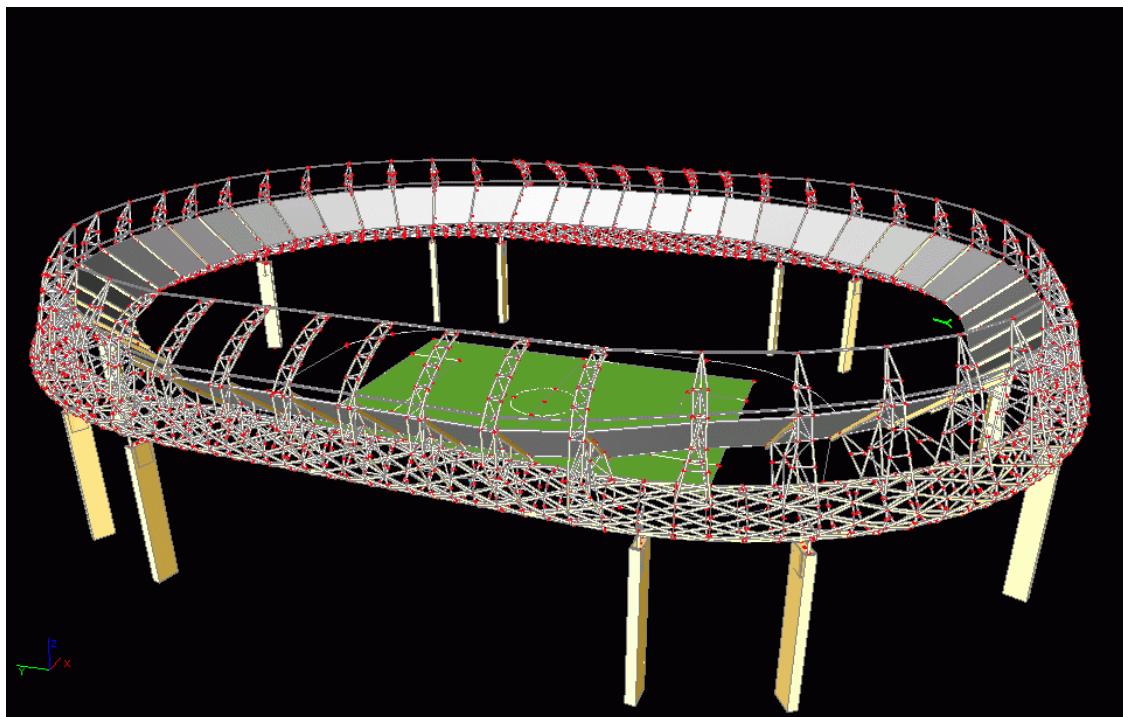
## 2 Ontwerpkeuzes

In dit hoofdstuk wordt uitgelegd hoe tot het definitieve ontwerp is gekomen. Omdat er zoveel variabelen in het ontwerpproces aanwezig waren, zijn op sommige momenten ontwerpkeuzes gemaakt waar verder mee gewerkt moest worden. Niet alle variabelen konden even uitgebreid afgewogen worden. Uiteraard is getracht dit overal zo zorgvuldig mogelijk te doen.

Bij de uitbreiding van de Amsterdam ArenA zijn vier factoren van grote invloed op het ontwerp:

- § ambitie voor de nieuwbouw, met name het zicht op het speelveld en de architectonische uitstraling
- § eisen aan de bezoekersstromen
- § afdracht van de belasting
- § uitdaging voor het uitvoeringsaspect

Dit heeft geleid tot het volgende ontwerp, zie afbeelding 2.0.



Afb. 2.0 De nieuwe constructie voor de derde ring

Dat met dit eindproduct voldaan is aan genoemde punten, zal in de volgende paragrafen uitgelegd worden.

### 2.1 Ambitie voor beleving

Omdat het wereldkampioenschap een belangrijk evenement is waarbij gemeente Amsterdam zichzelf duidelijk 'in the picture' zet, is het belangrijk dat er een mooi stadion komt. Het is goed om met ambitie het ontwerpproces in te gaan. Bij een dergelijk groot evenement komen er altijd veel financiële middelen vrij. En vaak willen verschillende betrokken partijen tegen elkaar op concurreren. Vandaar dat voor dit onderwerp de ambitie voor een goed werkend en architectonisch fraai stadion belangrijker is dan de kosten die daarmee gemoeid zijn.

Er zijn twee uitgangspunten die van grote invloed zijn op het ontwerp:

- § Goed zicht op het speelveld
- § Een strakke vorm door weinig ondersteuning (en dus grote overspanningen)

### 2.1.1 GOED ZICHT OP HET SPEELVELD

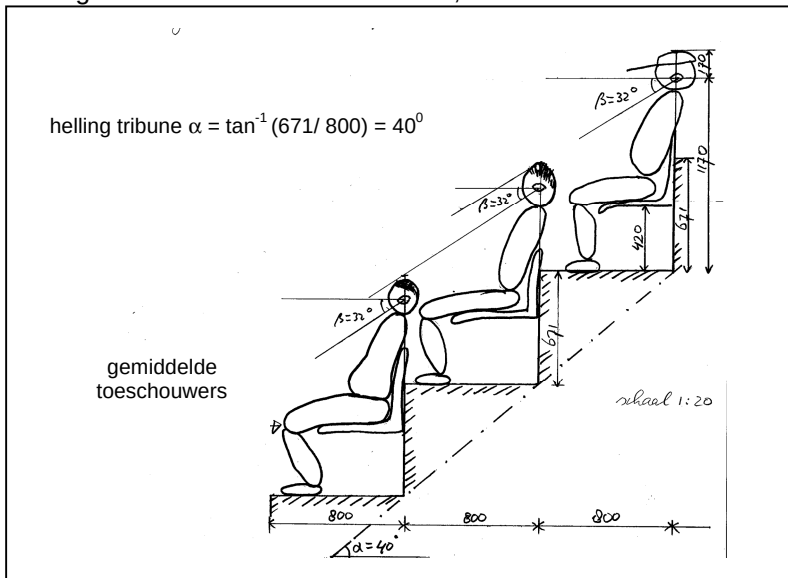
De toeschouwers dienen dicht op het speelveld te zitten. Een **korte afstand tot het speelveld** verhoogt de betrokkenheid van de toeschouwers bij de wedstrijd, het concert, of welk evenement ook. Daarom is gekeken hoe dicht een nieuwe tribune op het speelveld kan komen. Deze afstand wordt bepaald door de hellingshoek van de zichtlijnen.<sup>3</sup> Er zijn twee eisen die de ruimte voor de nieuwe tribune begrenzen:

- § De tribune mag volgens de richtlijnen van de FIFA niet steiler dan  $40^\circ$  zijn. Dit betekent ook dat de toeschouwers niet steiler dan  $40^\circ$  omlaag kunnen kijken. Daarmee moeten ze minimaal het gehele speelveld kunnen zien.
- § De tweede eis voor de ArenA is dat de nieuwe tribune niet het zicht mag wegnemen van de bestaande tribune. De mensen die bovenop de tweede ring zitten, moeten ook nog in staat zijn het hele speelveld te overzien.

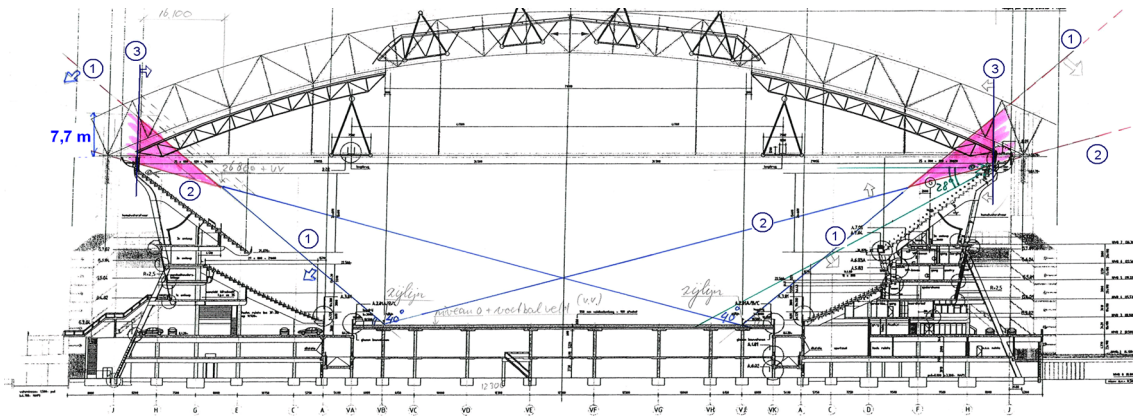
Door deze twee eisen ontstaat er een bepaalde driehoek waarbinnen de nieuwe tribune gerealiseerd moet worden. Deze ruimte is weergegeven op de volgende twee bladzijden.

Het blijkt dat in de bochten slechts 13 meter naar buiten uitgebreid kan worden, omdat anders de toeschouwers te ver van het veld komen te zitten. In samenspraak<sup>4</sup> met de voetbalbonden is namelijk de maximale afstand tot de uiterste hoek van het veld op 190 m gesteld. Wanneer daarbuiten gegaan wordt, kunnen toeschouwers het voetbalspel niet meer goed volgen. De aanbevolen maximale afstand bedraagt 150 m.

Omdat we de ambitie hebben een zo goed mogelijke voetbalbeleving in het stadion te creëren, is ervoor gekozen om de tribune in de bochten naar binnen te schuiven. Dit zorgt ervoor dat de tribune richting de aanbevolen afstand schuift, en voorkomt dat die helemaal tegen de uiterste grens zit.



Afb. 2.1 Maximale hellingshoek van de tribune is  $40^\circ$

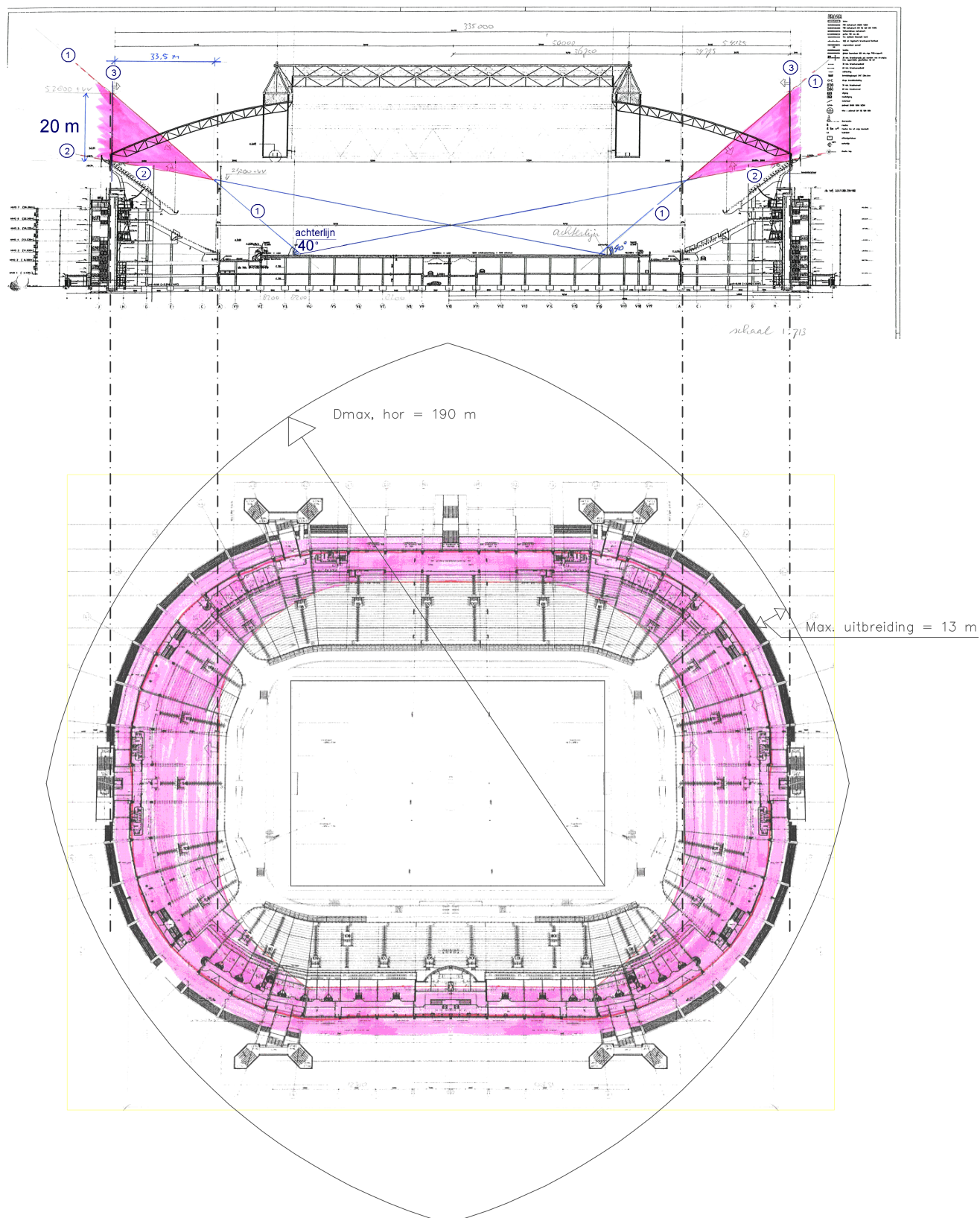


Afb.2.2 Ruimte voor nieuwe tribune, korte doorsnede

<sup>3</sup> Zie voor een uitgebreide analyse van zichtlijnen Bijlage 1 – Probleemanalyse, h 3.3.

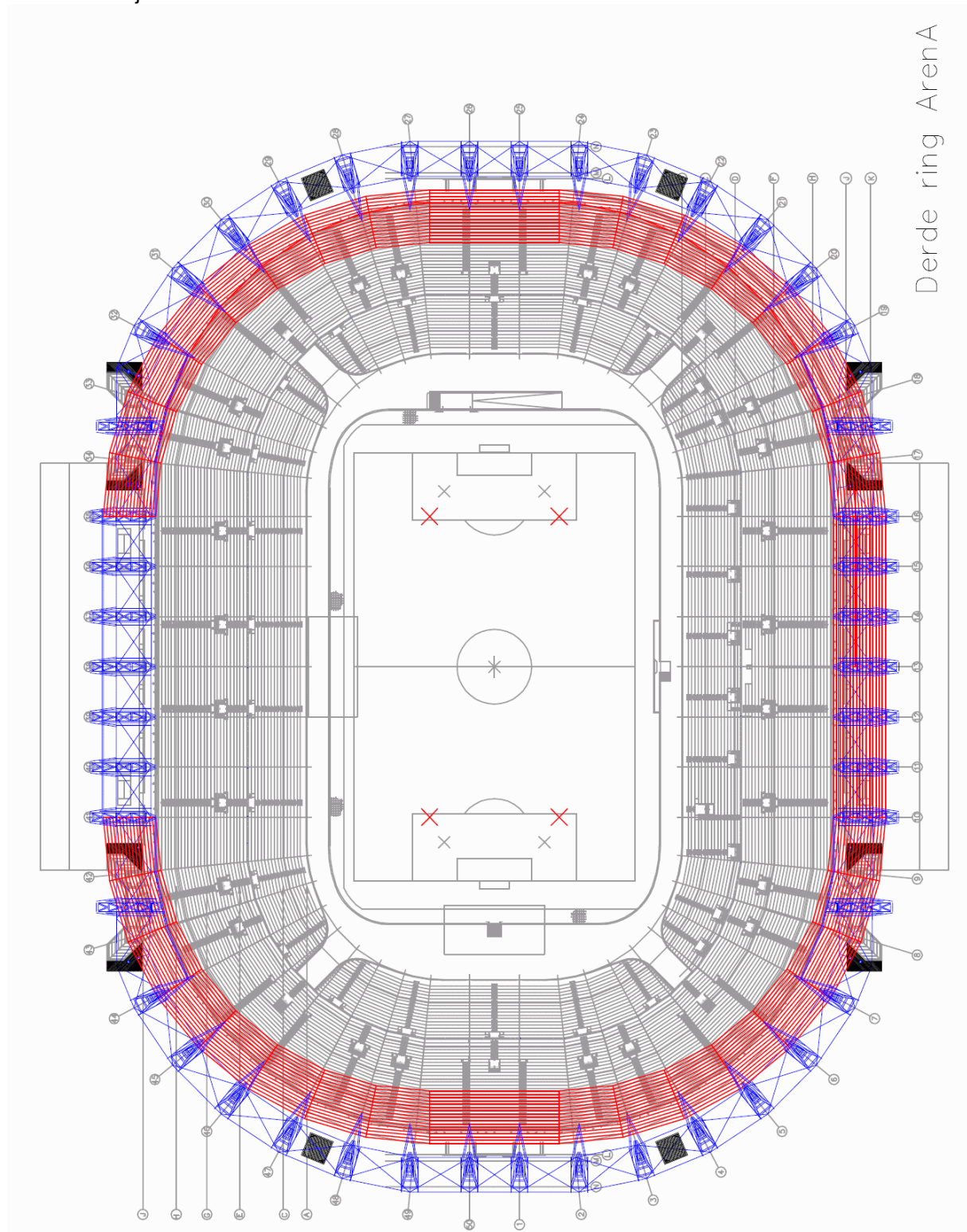
<sup>4</sup> Zie Europese ontwerpnorm NEN-EN 13200-1 § 9.2, of Bijlage 1, Probleemanalyse, § 3.3





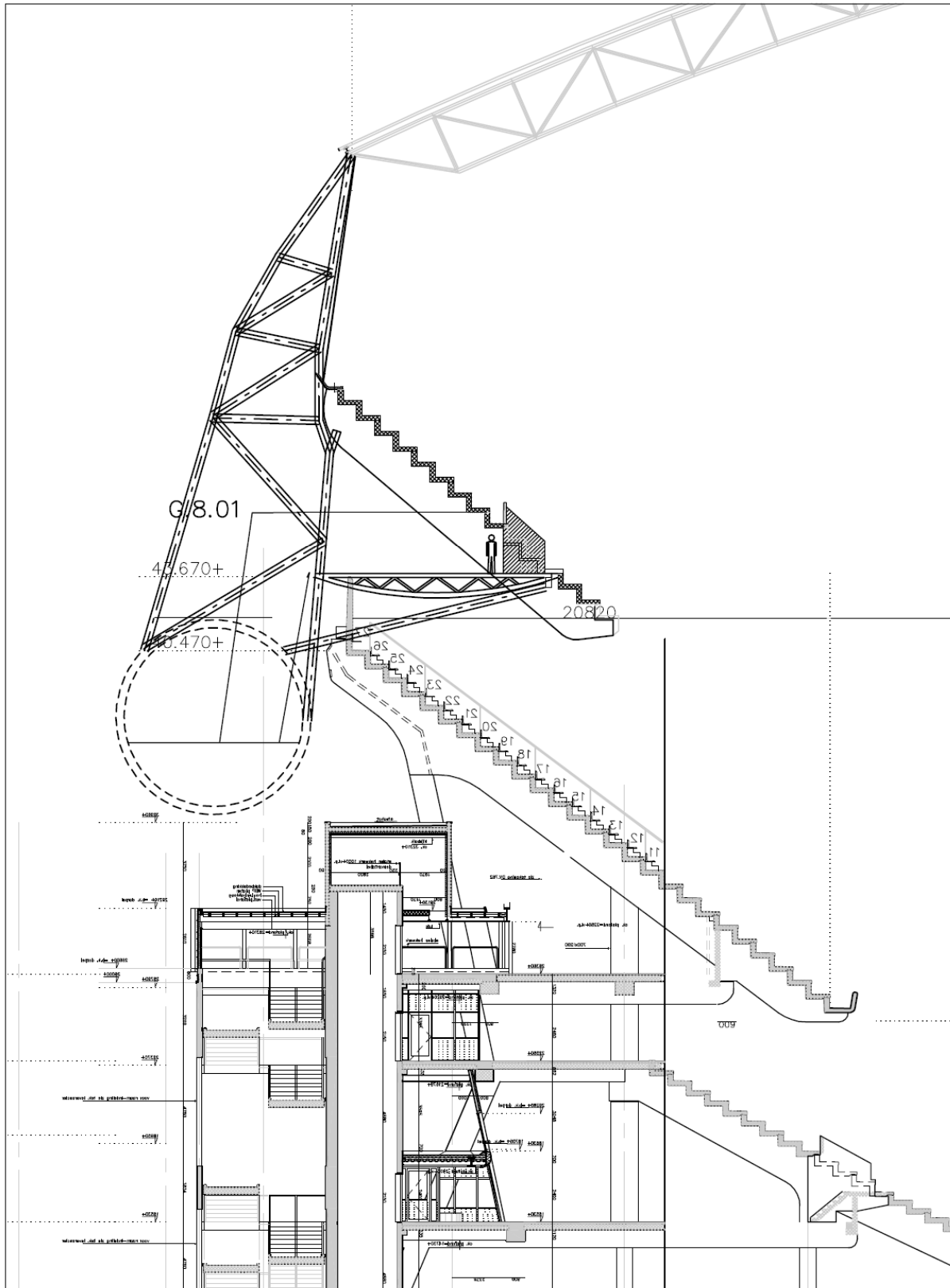
Afb. 2.3 Ruimte voor nieuwe tribune - doorsnede over lange zijde. De paarse arcering is de uitbreiding binnen de bestaande rand, de omhullende lijn geeft de maximaal toegestane horizontale afstand aan tot de uiterste hoek van het speelveld.

Genoemde overweging heeft geleid tot de plattegrond<sup>5</sup> op afbeelding 2.4. Waarom uiteindelijk voor twee tussensteunpunten in de bocht is gekozen, wordt uitgelegd in hoofdstuk 3.2. Duidelijk is dat de tribune in de bocht binnen de bestaande rand van de ArenA komt, terwijl op de rechte stukken ze daarbuiten blijft.

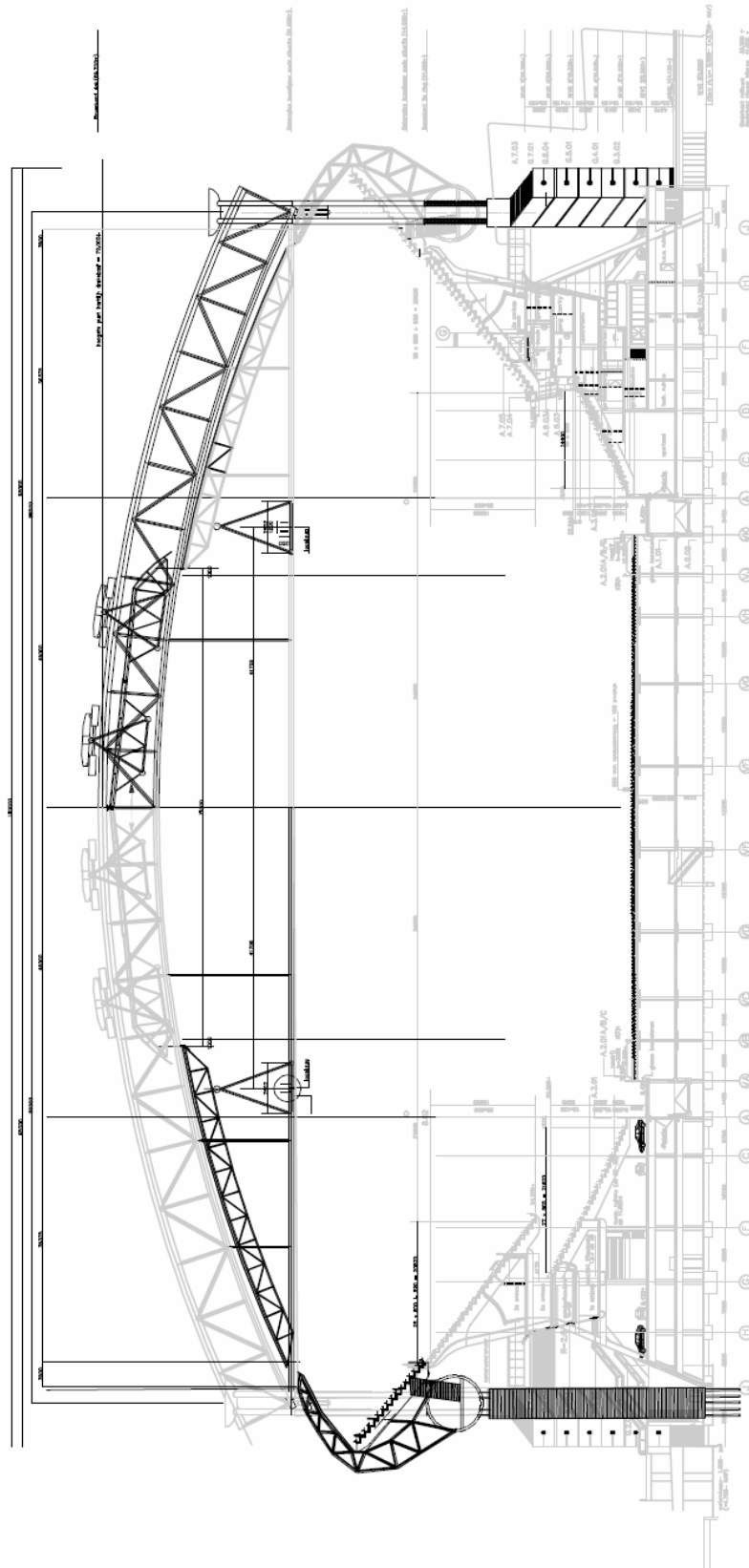


**Afb. 2.4** Keuze van tribunepositie en positie van de netkous. De dikke lijn geeft de tribune aan, die in de bochten meer naar binnen steekt t.o.v. de netkous. Getoonde tribune geeft ruimte aan 17.870 stoelen. Het open stuk aan de linkerzijde is slecht weggelaten om visueel duidelijk te maken hoe de netkous er in bovenaanzicht uitziet.

<sup>5</sup> In de bijlage van dit rapport § 9.2 is ook een optie getekend waarbij de netkous strak langs de buitenrand van de ArenA is gepositioneerd. Dit geeft echter moeilijker aansluiting bij de trappenhuizen. Vanwege beperkte tijd voor afstuderen voor deze eenvoudiger optie gekozen.

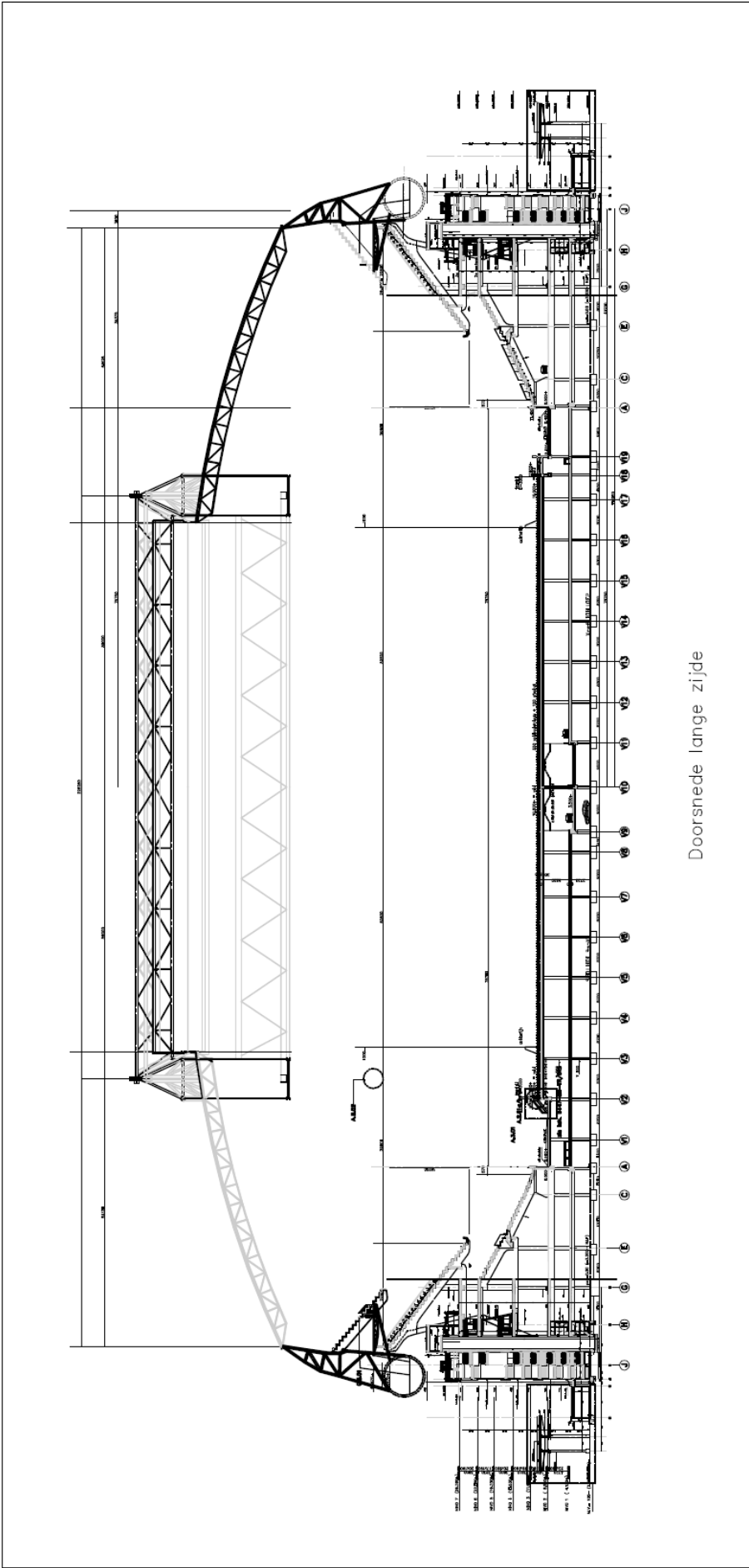


Op de volgende pagina's wordt met een grotere lijndikte duidelijk gemaakt dat de netkous op de nieuwe torens rust, en dat de twee boogliggers op de bestaande trappenhuisen rusten.



Doorsnede korte zijde

Links is weergegeven de afdracht van nieuwe constructie naar de nieuwe torens;  
rechts is weergegeven de afdracht van het bestaande dak naar de bestaande trappenhuizen.



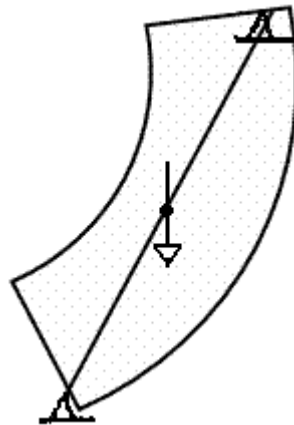
Doorsnede lange zijde

### 2.1.2 CONSTRUCTIEVE CONSEQUENTIE VAN EEN TRIBUNE DICHTER OP HET SPEELVELD

Voor de constructie is het voordelig de tribune een stuk(je) naar binnen te schuiven. In afbeelding 2.5 wordt dit geïllustreerd. Het massacentrum komt in deze afbeelding precies tussen de twee opleggingen te liggen. Hierdoor is er weinig kracht voor nodig om de tribune in balans te houden.

Nu is uiteindelijk niet elke overspanning uitgebalanceerd, maar de bocht als geheel is wel weer stabiel, aangezien torsie die de bocht omgaat omgezet wordt in buiging. Dit wordt verder uitgelegd in hoofdstuk 5 – Constructieve principes.

Op de rechte stukken is dit voordeel er niet, omdat het massacentrum dan al boven de opleggingen ligt. Vandaar dat ervoor gekozen is op de rechte stukken geen extra torsie te creëren met een overstekende tribune naar binnen. Zoals op afbeelding 2.4 te zien is, blijft de tribune en dus het massacentrum precies op één lijn met de opleggingen.



Afb. 2.5 Balans van een deel van de bocht

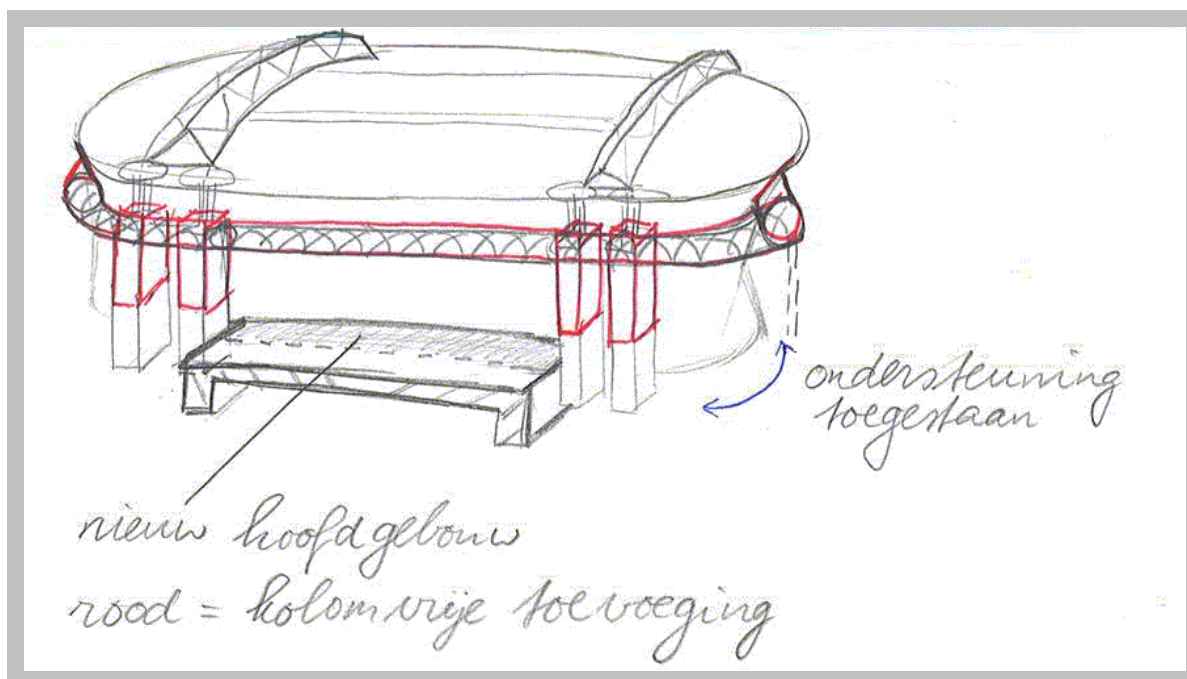
### 2.1.3 GROTE OVERSPANNINGEN

De volgende overweging is de architectonische ambitie om weinig ondersteuning te gebruiken. Dit zorgt ervoor dat de ruimte op het maaiveld open blijft. Dit geeft open zicht rondom de ArenA en minder hinder voor voetgangers.

Dit sluit aan bij één van de randvoorwaarden, namelijk dat er ter plaatse van het nieuwe hoofdgebouw geen kolommen geplaatst kunnen worden, zie afbeelding 2.6. De nieuwe constructie moet over het nieuwe hoofdgebouw een overspanning maken; ze mag er niet op steunen.

Nu er toch al één lange overspanning is, is het architectonisch mooi het hele concept met grote overspanningen te maken.





Afb. 2.6 Ter plaatse van het nieuwe hoofdgebouw mogen geen kolommen geplaatst worden.

#### 2.1.4 CONSTRUCTIEVE CONSEQUENTIES VAN LANGE OVERSPANNINGEN

Beide overwegingen – een overstek naar binnen, en lange overspanningen – zorgen voor grote buigende momenten en torsiespanningen in de constructie. Een constructie die dat goed kan hebben is een **ruimtelijk vakwerk**. Een dergelijk vakwerk is in afbeelding 2.5 reeds getekend met een ronde vorm. Ook voor de verkeersstromen van bezoekers kan een dergelijk **kokerprofiel** gebruikt worden.

## 2.2 Routing van personen

Een goede regeling van de verkeersstromen in en rondom een voetbalstadion zijn essentieel. Ze zorgt ervoor dat bezoekers veilig en snel het voetbalstadion in komen; dat ze in de pauze snel naar de WC kunnen en een versnapering kunnen kopen; en dat de bezoekers na afloop van het evenement weer snel uit het stadion komen. Een maatgevende situatie ontstaat bij een calamiteit, waarbij bezoekers binnen een bepaalde tijd uit het gebouw moeten zijn.

Een toename van de personenstroom van 35 % kan niet door de bestaande loopruimtes opgenomen worden. Eigenlijk voldoet de publieksruimte van het bestaande gebouw momenteel al niet. Daarom is er voor gekozen een geheel nieuwe looproute te maken. Omdat het publiek op verschillende plaatsen de nieuwe tribune moet kunnen betreden, moet de loopruimte rondom de ArenA lopen.

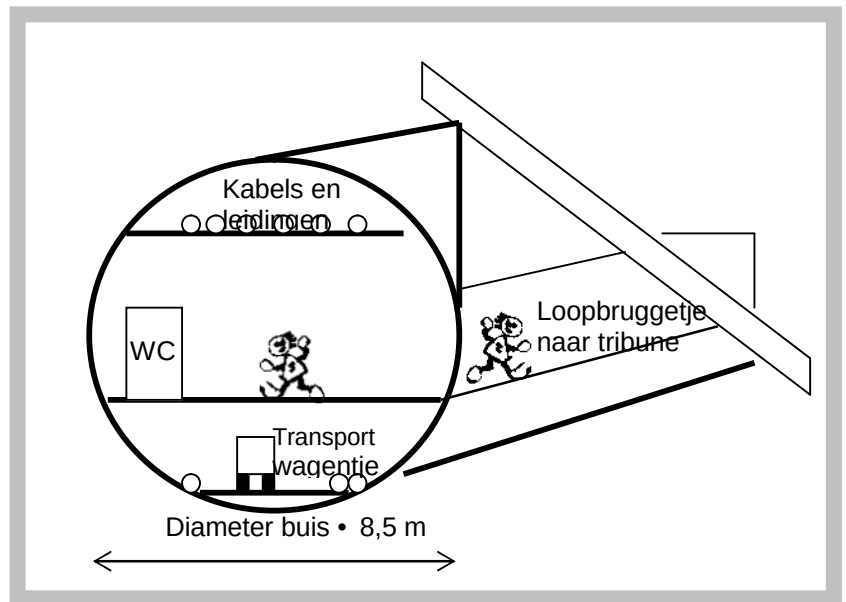
Het ruimtelijk vakwerk zoals voorgesteld in § 2.1.4 kan zodanig gekozen worden dat er mensen doorheen kunnen lopen. Een **kokervorm** geeft zowel mogelijkheden om een vervoersstroom te leiden als constructieve stijfheid tegen de optredende torsie.



Een referentieproject waarin ook architectonische ambitie en vervoersstromen gecombineerd zijn in een mooi ontwerp, is de Lightrail<sup>6</sup> aan de Beatrixlaan in Den Haag. Hierin is een ruimtelijk vakwerk – een zogenaamde netkous – toegepast. Voor de ArenA kan de doorsnede van een dergelijke netkous er uitzien zoals in afbeelding 2.7.

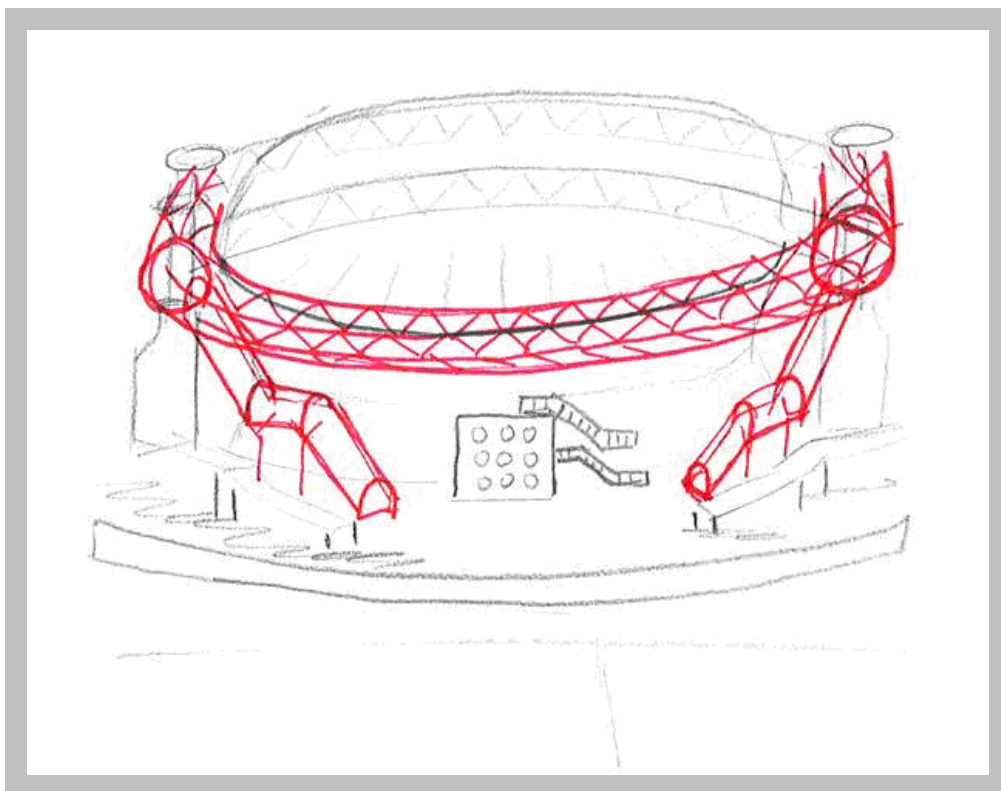


Afb. 2.6 Lightrail



Afb. 2.7 Vervoer in kokerconstructie rondom de ArenA

In het Schetsontwerp is uitgelegd dat er roltrappen naar de nieuwe tribune moeten lopen. Een mogelijke vorm hiervoor is in afbeelding 2.8 weergegeven. Dit is slechts een suggestie, en er zijn meer mogelijkheden. Hierin wordt verder niet op ingegaan in dit afstuderen, aangezien wordt aangenomen dat de roltrappen geen constructieve functie hebben.



Afb. 2.8 Mogelijke vorm van roltrappen van niveau +0 tot niveau + 37 m.

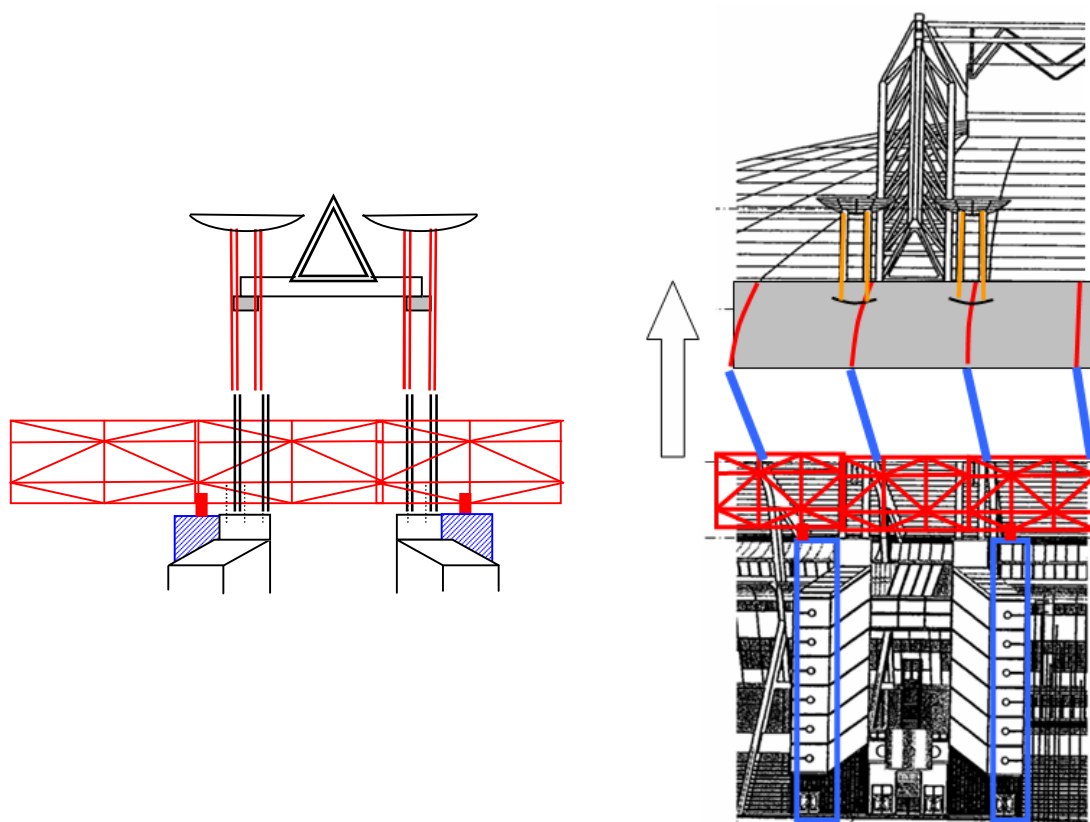
<sup>6</sup> Zie voor een uitgebreide omschrijving van deze Lightrail Bijlage 2 – Vooronderzoek.

## 2.3 Afdracht van belasting

Een uitgangspunt is dat het bestaande gebouw en de bestaande fundering geen extra belasting krijgen. Vandaar dat ervoor gekozen is dat de belasting van de twee boogliggers naar de bestaande trappenhuizen blijft gaan; de extra belasting uit de derde ring wordt door nieuwe torens naar de grond afgedragen, waar ook een nieuwe fundering komt.

De nieuwe torens en de bestaande trappenhuizen komen strak tegen elkaar te staan, maar worden niet verbonden; er komt een dilatatie tussen. Hierdoor kunnen rekverschillen plaatsvinden zonder dat er extra krachten of scheuren ontstaan.

Dit heeft geleid tot een wat ingewikkeld knooppunt ten plaatse van de bestaande trappenhuizen. Dit is in afbeelding 2.9 links schematisch en rechts met aanzicht getekend.



Afb. 2.9 Knooppunt bij bestaande trappenhuizen. De pijl geeft weer hoeveel het bestaande dak opgetild wordt, namelijk 17 m.

In de evaluatie zijn nog enkele alternatieven genoemd, maar zowel voor de fundering als architectonisch is bovenstaand voorstel het best.

## 2.4 Een uitdaging voor uitvoering

De bestaande ArenA geeft een bepaalde richting aan het ontwerp maar legt het ontwerp ook verschillende beperkingen op. De bestaande ruimte onder het dak geeft weinig mogelijkheden om een extra tribune te bouwen. Daarom kwam al snel het idee op om het dak op te vijzelen en op een hoger niveau vast te zetten. Dit betekent dat de twee hoofdbogen tegelijkertijd met alle 50 radiaalspanen opgetild moet worden. Er zijn twee facetten in de uitvoering die van invloed zijn op het ontwerp:

- § Tijdens de bouw moet de ArenA zo lang mogelijk in bedrijf blijven.
- § Het bestaande dak moet op 50 punten tegelijkertijd opgevijzeld worden.

Er is daarom voor gekozen de hoofddraagconstructie (de netkous en de 'poten' waar ze op staat) buiten de rand van de ArenA te bouwen. Wanneer de netkous op definitieve hoogte helemaal rond gebouwd is, worden de uitstekende 'vingers' erop gelast. Dit proces kost het grootste deel van de tijd, en al die tijd kan de ArenA in bedrijf blijven.

Daarna wordt het dak opgetild en wordt de tribune geplaatst. Tijdens dit proces kan de ArenA niet of slechts gedeeltelijk gebruikt worden. Op dit proces wordt verder ingegaan in hoofdstuk 6.

Door het grootste deel van de nieuwe constructie buiten de ArenA te houden, kan het stadion dus langer in bedrijf blijven.

# 3 Varianten

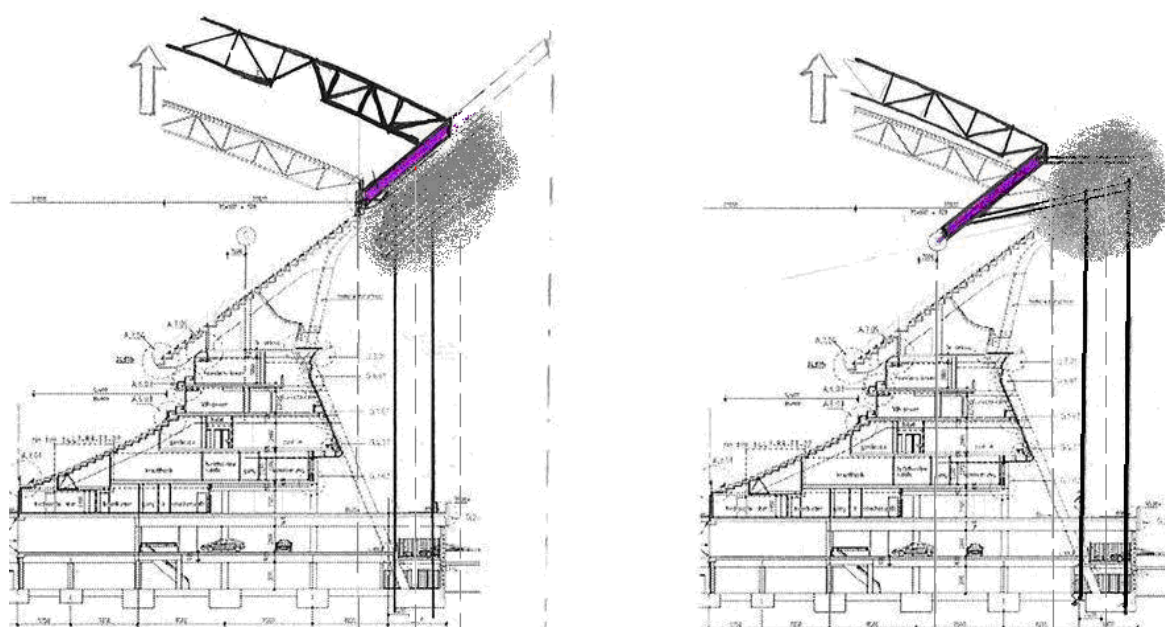
Omdat er in dit project zoveel variabelen aanwezig waren, is op een aantal punten snel een keuze gemaakt. Voor de twee belangrijkste variabelen is wel een aantal varianten opgesteld om zo tot een verantwoorde keuze te komen. Voor de positie van de tribune en voor de hoofddraagconstructie is een variantenstudie gedaan.

## 3.1 Varianten voor positie tribune

In het vorige hoofdstuk is al uitgelegd dat de ambitie bestaat om de toeschouwers dicht op het speelveld te laten zitten. In de volgende variantenstudie worden de optredende krachten van dit geval beschouwd in vergelijking met een aantal andere opties.

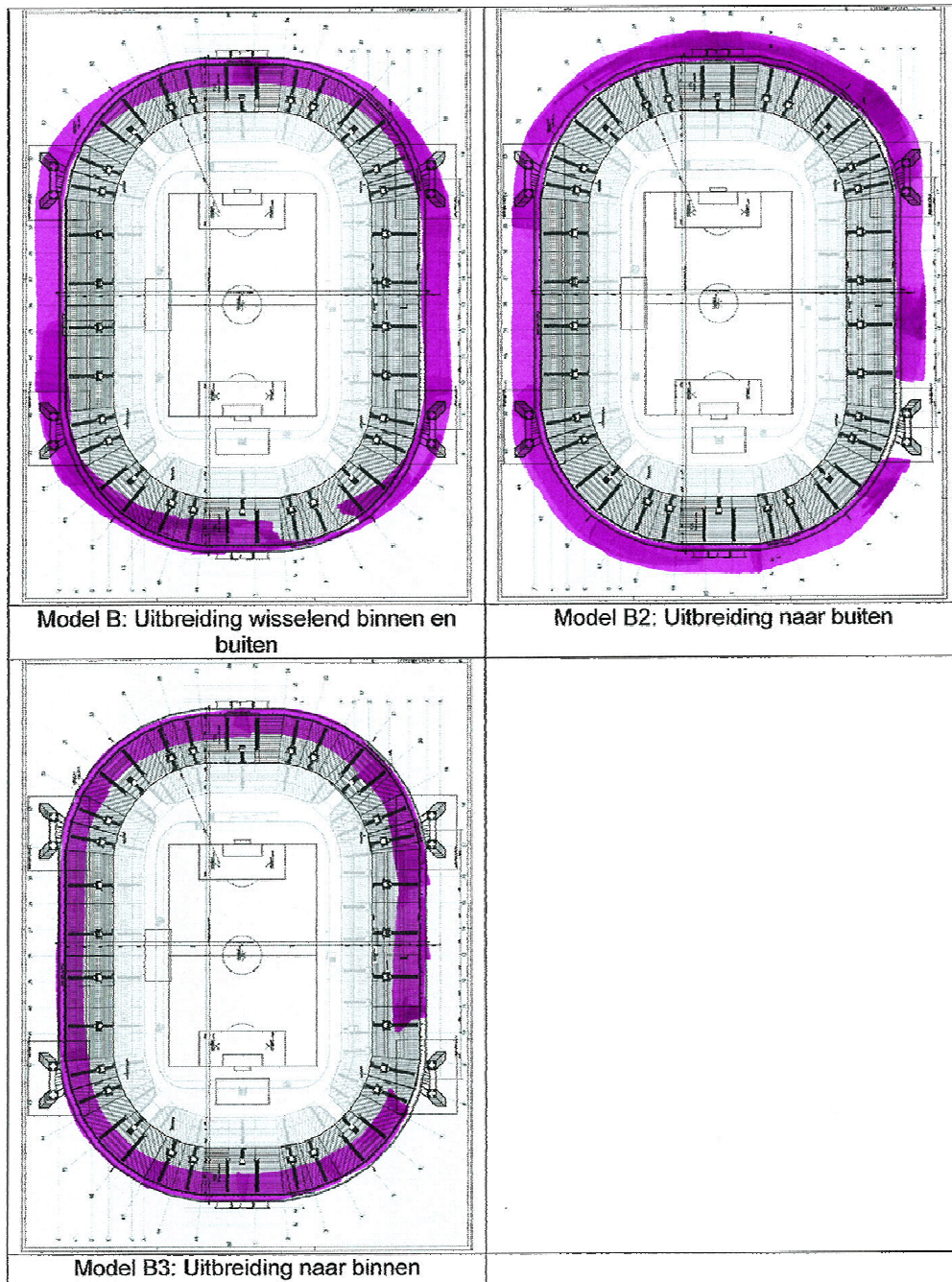
Het voorstel uit het vorige hoofdstuk betrof een tribune die wisselend over de bestaande tribune heen uitkraagt of juist buiten de ArenA blijft. Dit is model B.

Dit geval wordt constructief vergeleken met de basisgevallen 'Model B2 - buiten de ArenA' en 'Model B3 - binnen de rand van de ArenA'. Zie afbeelding 3.1 en 3.2.



Afb. 3.1 Uitbreiding buiten de ArenA en uitbreiding binnen de rand van de ArenA. De wolk symboliseert de nader te bepalen hoofddraagconstructie.





Afb. 3.1 Bovenanzichten van de drie varianten

|                 | <b>Model B</b> | <b>Model B2</b> | <b>Model B3</b> |
|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| Buiging $M_y$   | 470.000 kNm    | 246.000 kNm     | 638.000 kNm     |
| Torsie $M_x$    | 66.000 kNm     | 43.000 kNm      | 234.000 kNm     |
| uz tgv personen | 64 mm          | 46 mm           | 76 mm           |

Het blijkt dat model B tussen de twee basisgevallen inzit. Het is dan ook een compromis tussen de wens om de toeschouwers dicht op het speelveld te laten zitten en de wens om acceptabele krachten in de constructie te hebben. Wanneer de gehele tribune namelijk naar binnen oversteekt, ontstaan er 3,5 x zo grote wringende momenten en 1,4 x zo grote buigende momenten ten opzichte van model B. De reden voor de grote toename van torsie is dat torsie op de rechte stukken heel ongunstig is, terwijl ze in de bochten afgevlakt wordt (d.w.z. omgezet in buiging).

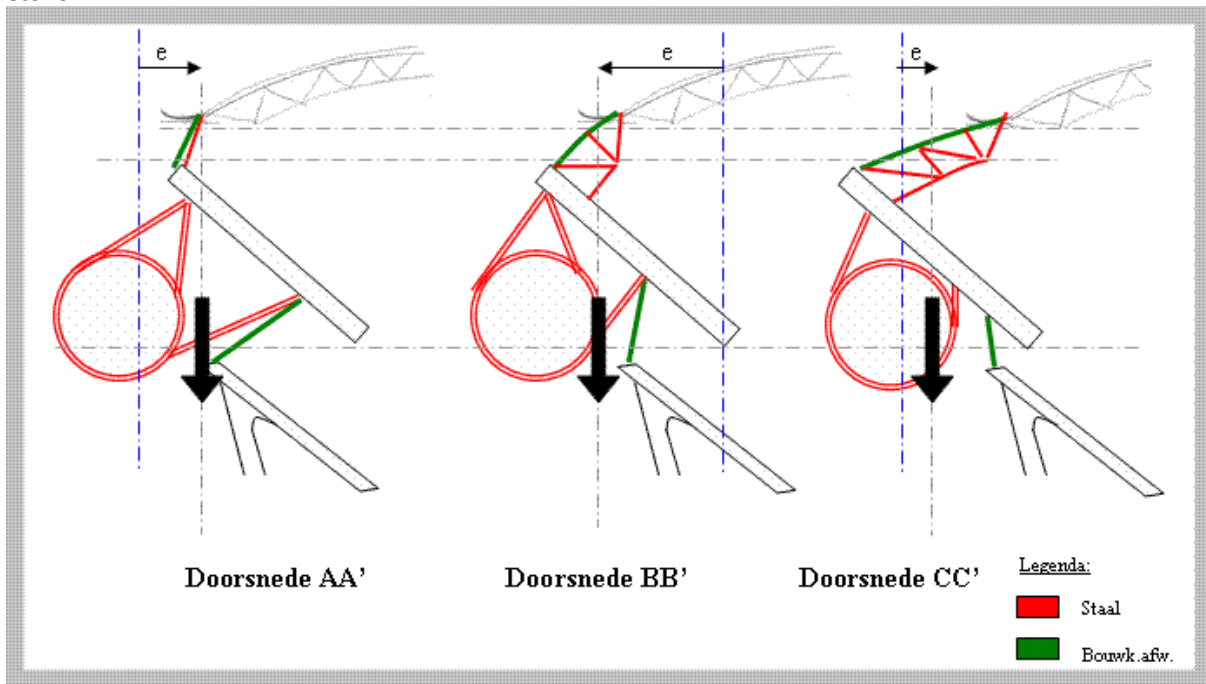
---

### 3.2 Varianten voor constructie

De volgende vraag die opgelost moet worden is welke constructie gebruikt moet worden. Eén van de ontwerpkeuzes was dat de hoofddraagconstructie ruimte moet geven om bezoekers te transporteren. Met deze eis in het achterhoofd zijn verschillende constructies bedacht<sup>7</sup>. In onderstaand verhaal wordt kort weergegeven waarom de netkous uiteindelijk gekozen is.

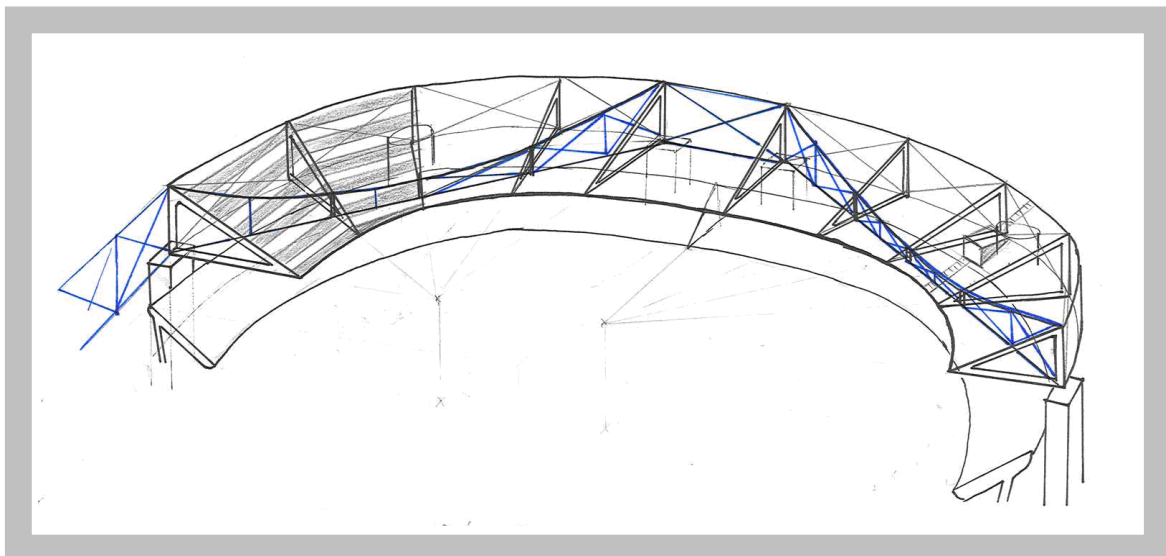
#### 3.2.1 STALEN NETKOUS

Onderstaande figuur geeft het eerste idee voor de netkous weer. Later is deze verder ontwikkeld, zodat er echte ruimtelijke vingers ontstonden, en zodat er geen constructie uit de tribune hoefde te steken.



#### 3.2.2 RUIMTELIJK VAKWERK

Een constructie die in één rechte lijn de overspanning moet maken tussen twee oplegpunten bleek geen handig idee. Het probleem was dat de hoogte van het vakwerk de tribune moet volgen, met als gevolg dat in het midden van de overspanning de hoogte minimaal was.



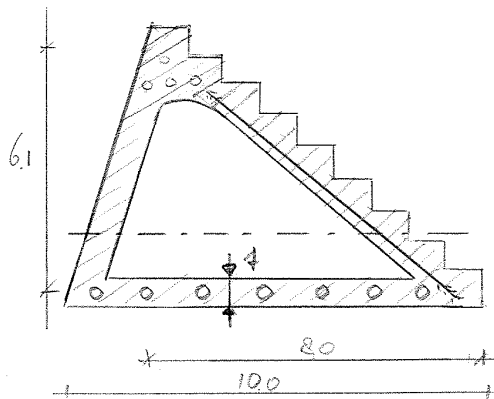
<sup>7</sup> Zie voor een uitgebreidere uitleg van deze constructies Bijlage 2 (Vooronderzoek) en Bijlage 3 (Schetsontwerp)



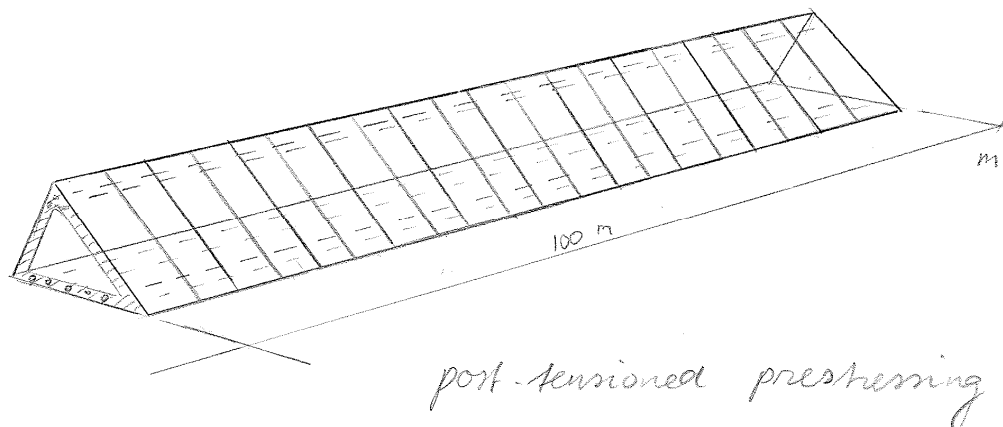
### 3.2.3 BETONNEN DRIEHOEKIGE KOKER

Beton is vaak een goedkope oplossing. Betonnen kokerelementen kunnen voorgespannen worden om voldoende stijfheid te behalen. Voor de kosten kan dit ontwerp waarschijnlijk wel concurreren met de stalen netkous. Vanuit architectonisch oogpunt is hij echter zeer massief en gesloten. Vandaar dat deze optie direct afviel

Ook vanuit constructief oogpunt is er het één en ander op aan te merken. De constructie zal namelijk heel zwaar worden, waardoor weer extra grote krachten optreden. Maatgevend punt is de overspanning van 100 meter over het hoofdgebouw; bij een dergelijk zware constructie zal het buigend moment ook zeer groot worden. In staal kan veel slanker geconstrueerd worden, waardoor de krachten wel beperkt blijven.



afb. 5.16 Doorsnede betonnen kokereigger met gaten voor post-tensioning



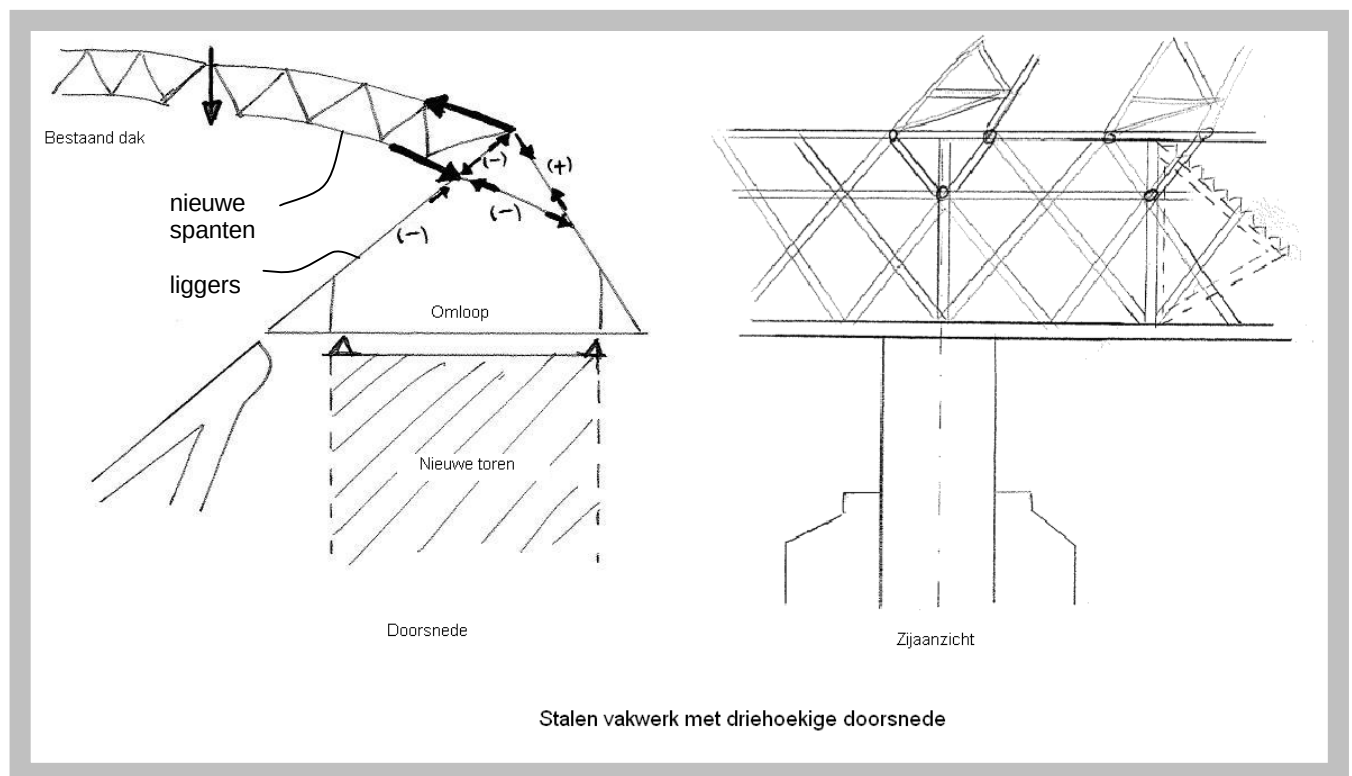
afb. 5.17 Kokerelementen worden aan elkaar gekoppeld

### 3.2.4 STALEN DRIEHOEKIGE KOKER

Een verbetering van de betonnen koker is een versie in staal. Het nadeel van het grote eigen gewicht wordt dan opgelost. Het grote voordeel van dit ontwerp is dat de driehoek precies de vorm van de tribune volgt. In het vrijgekomen gedeelte is een grote ruimte voor faciliteiten beschikbaar.

Nadeel van deze driehoekige variant is dat de tribune niet dicht naar het speelveld geschoven kan worden. De constructie zit er immers aan vast, en de constructie moet op poten rusten die buiten de ArenA staan.

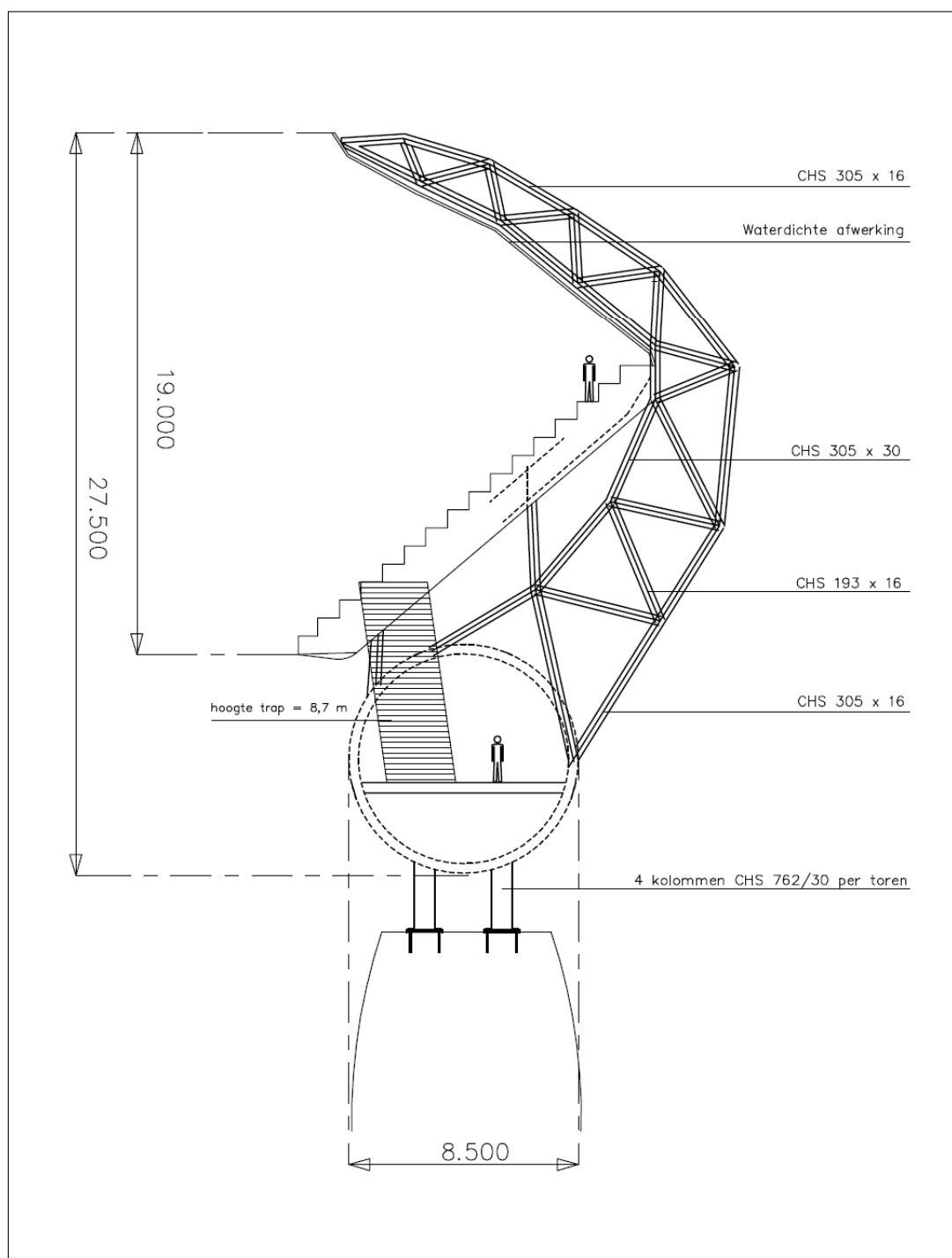
Als ervoor gekozen wordt de tribune buiten de ArenArand te bouwen, is de driehoekige koker een goede optie. Omdat in dit afstudeerwerk echter de ambitie is uitgesproken om bezoekers dicht naar het veld te schuiven, is hiervoor niet gekozen.



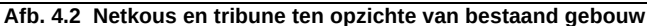
## 4 Definitief ontwerp

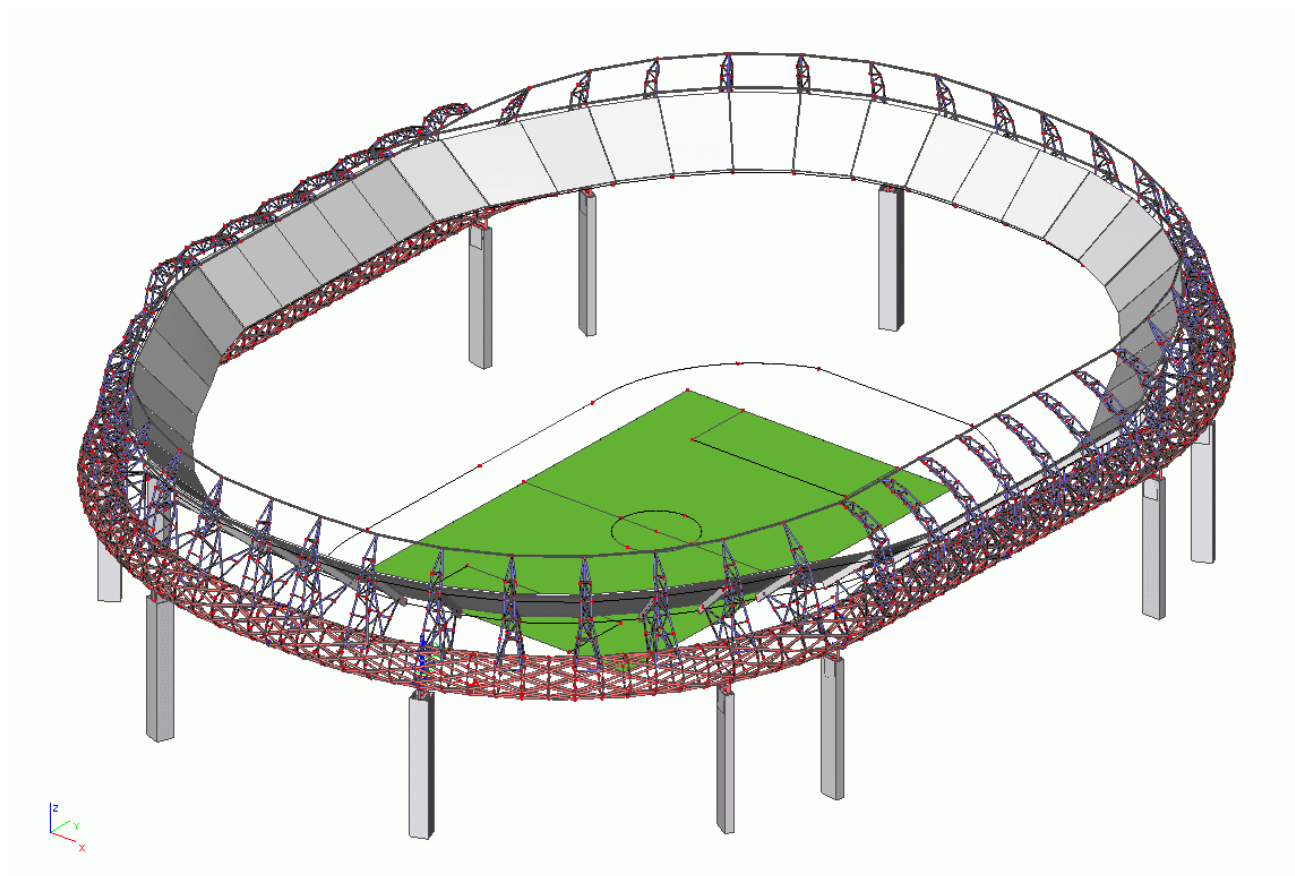
In dit hoofdstuk wordt het definitieve ontwerp gepresenteerd door middel van tekeningen en een enkele omschrijving.

### 4.1 Doorsneden en aanzichten

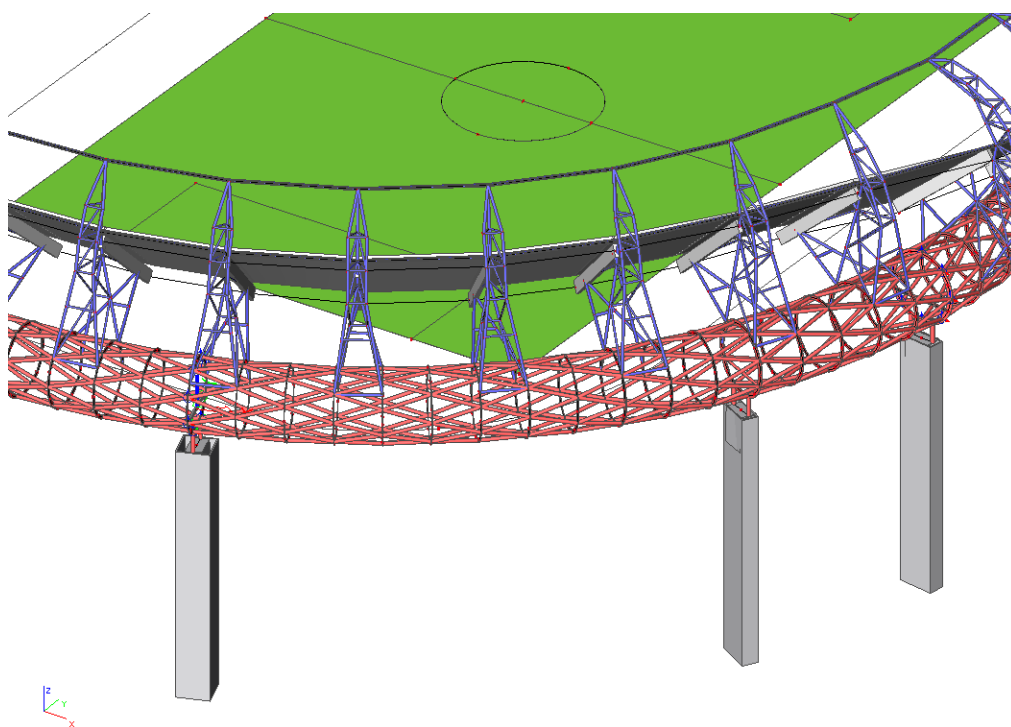


Afb. 4.1 Doorsnede van de netkous tpv de oplegging.

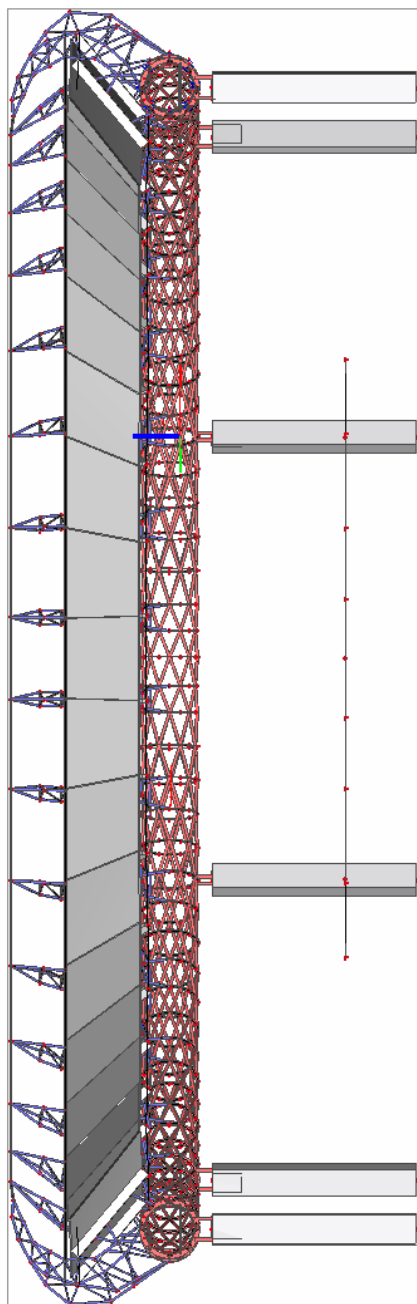




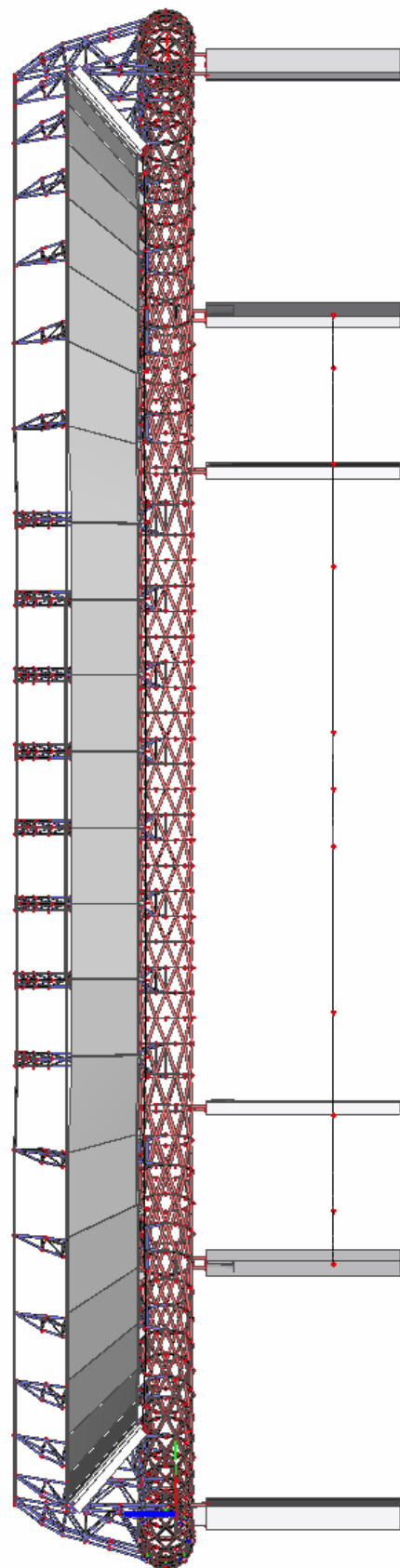
Afb. 4.3 Het 3D rekenmodel



Afb. 4.4 Ruimtelijk beeld van de netkous bij de opleggingen

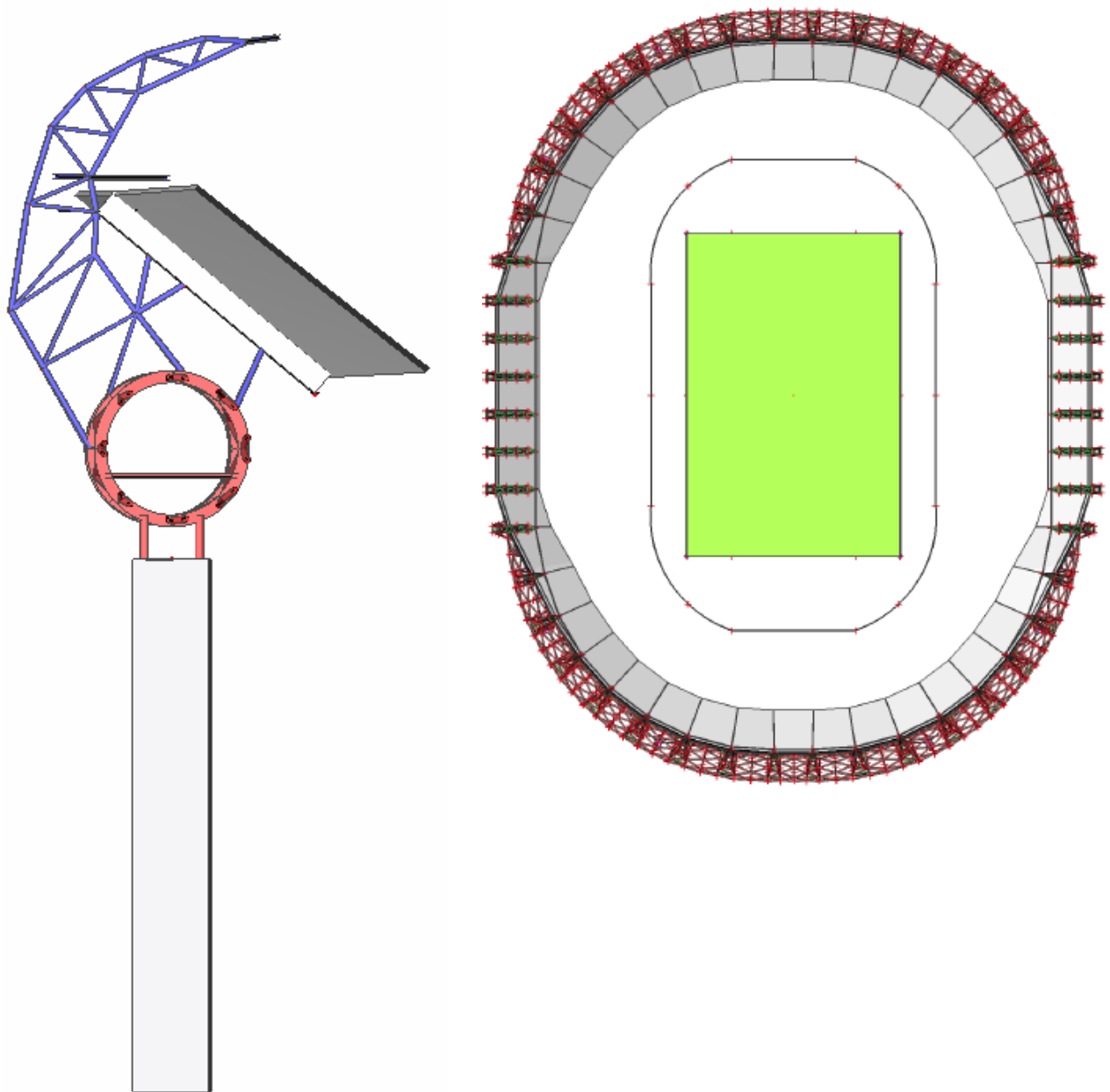


Afb. 4.5 Doorsnede over korte zijde



Afb. 4.6 Doorsnede over lange zijde

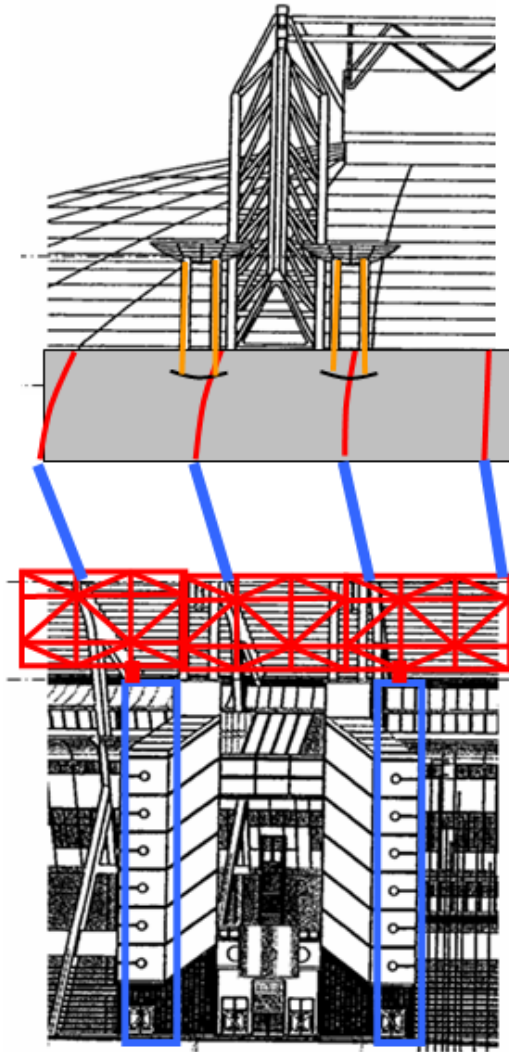




Afb. 4.7 Doorsnede netkous (links) en Bovenaanzicht van de derde ring en het speelveld (rechts)

## 4.2 Knooppunt bij opleggingen

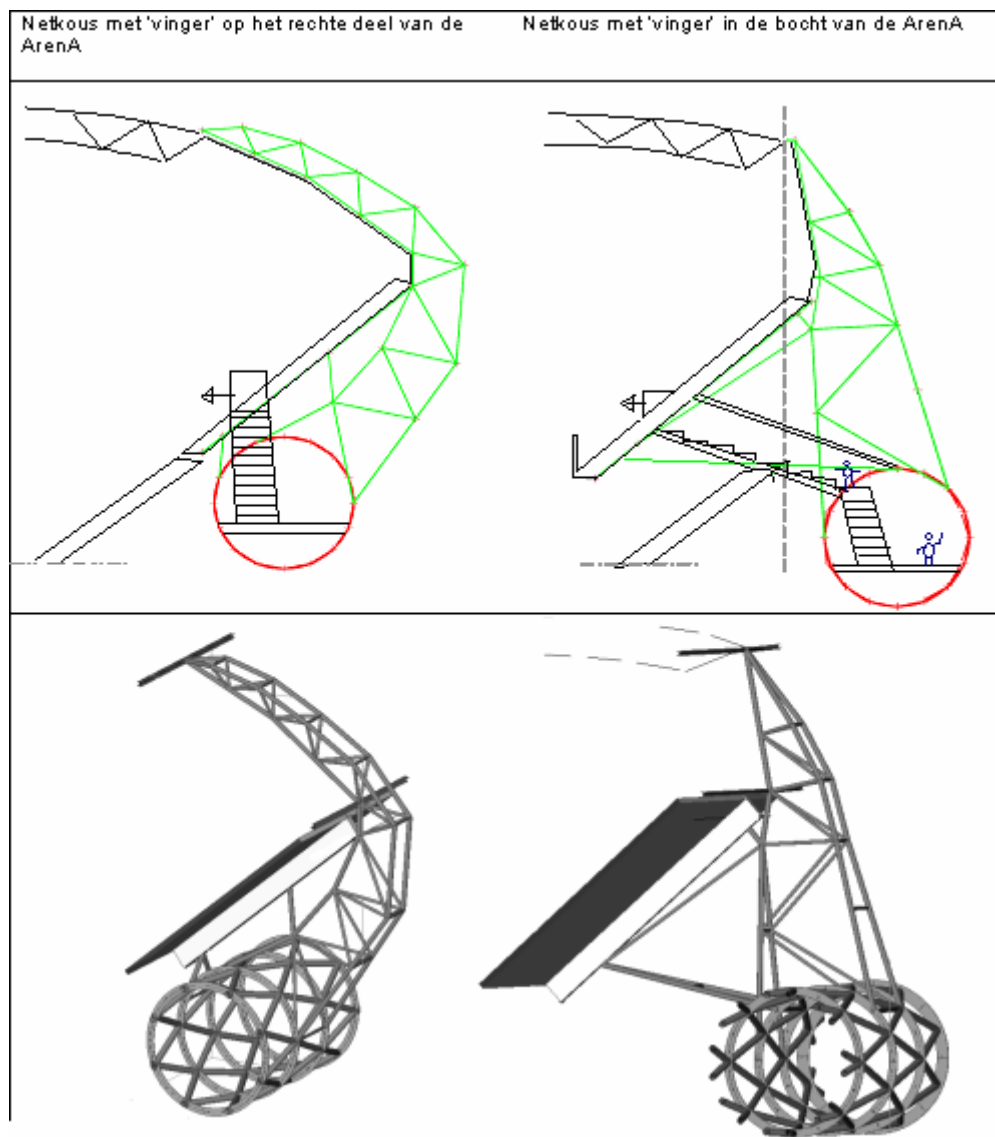
Ter plaatse van de bestaande trappenhuizen is het een wirwar van vormen die door elkaar lopen: de stalen kolommen waar de boogliggers op rusten; de netkous die op dat punt moet passeren; de tribune die passeert; en aan weerszijden van de trappenhuizen komen nieuwe torens. Omdat ervoor gekozen is de krachtsafdracht van nieuwe en oude constructie gescheiden te houden, is de netkous niet vast verbonden aan de bestaande oplegkolommen. Het zijaanzicht is hieronder weergegeven. Meerdere doorsneden zijn in hoofdstuk 6 te vinden.



Afb. 4.8 Vooraanzicht van bestaand trappenhuis en nieuwe ring

### 4.3 Routing van bezoekers

De bezoekers worden met tunneltjes vanuit de netkous naar de nieuwe tribunes geleid. Een aparte studie moet uitwijzen hoeveel van deze doorgangen nodig zijn. Dit valt echter buiten de scope van dit afstudeerwerk. Op onderstaande afbeelding zijn twee doorsneden getekend met een snelle impressie van mogelijke tunneltjes.



Afb. 4.9 Impressie van opgangen naar de tribune

### 4.4 Aantal stoelen

Op de plattegrond zoals weergegeven in § 2.1 is het oppervlak van de tribune  $A = 8510 \text{ m}^2$ .

Het gewenste aantal nieuwe stoelen volgens de doelstelling is 18.372

Het oppervlak per stoel is  $A_{\text{stoel}} = \text{optrede} * \text{hoh afstand van stoelen} = 0,8 * 0,5 = 0,4 \text{ m}^2$

Benodigd effectief oppervlak  $A_{\text{eff}} = \text{aantal stoelen} * A_{\text{stoel}} = 18.372 * 0,40 = 7349 \text{ m}^2$

Efficiëntie tribune  $= A_{\text{eff}} / A = 7349 / 8510 = 0,86$

Volgens de tribune-indeling in de Probleemanalyse is de efficiëntie gelijk aan 0,84. Dus of de tribune moet iets groter of de indeling moet efficiënter. Aangenomen wordt dat dit wel mogelijk is.

Het totaal aantal stoelen in de ArenA komt met deze uitbreiding op 70.000.

## 4.5 Het ontwerp in cijfers

De volgende figuur geeft in enkele getallen een typering van het gemaakte ontwerp.

|                                        |                                |
|----------------------------------------|--------------------------------|
| <b>Kengetallen</b>                     |                                |
| Lengte hart van netkous:               | 675 m                          |
| Diameter netkous:                      | 8,5 m                          |
| Profielen:                             |                                |
| Basisprofiel voor diagonalen:          | B355,6/ 25                     |
| Basisprofiel voor ring van plaatstaal: | t = 500 mm, dikte d = 30 mm    |
| Vijzelen:                              |                                |
| Dak gaat 17 m omhoog                   |                                |
| 100 m netkous (excl. tribune):         | 720 ton                        |
| 50 radiaalspanten:                     | 30 ton                         |
| 8 vijzels                              | 500 ton (zie bijlage 3, p. 56) |
| Hoeveelheid staal:                     | 5300 ton                       |
| Hoeveelheid prefab beton:              | 3200 m <sup>3</sup>            |
| Hoeveelheid beton:                     | 830 m <sup>3</sup>             |
| Hoeveelheid funderingspalen:           | 172 palen à 2000 kN            |
| Geschatte kosten:                      | 75 à 150 miljoen euro          |

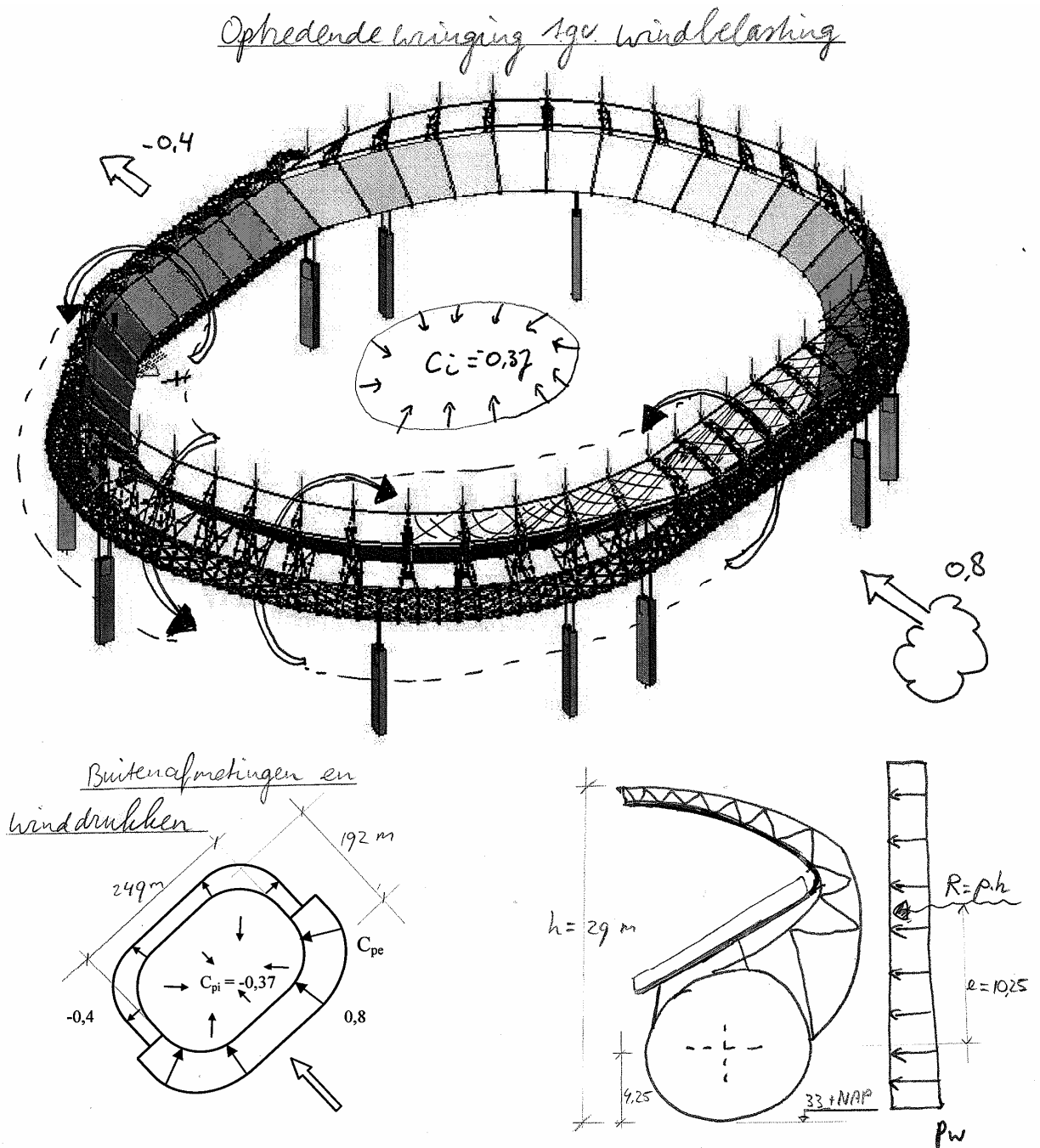
# 5 Constructieve principes

Dit hoofdstuk zal uitleggen hoe de krachtswerking in de constructie is. In het Constructief Ontwerp (zie bijlage 4 van 4) is al een uitgebreide toets op sterkte en stijfheid gedaan. Dat hoeft op deze plaats dus niet meer met zoveel getalletjes te gebeuren. Omdat de vervormingen nog wel interessant zijn, zal hier ook een paragraaf aan gewijd worden. Allereerst zullen de krachten in de constructie van boven naar beneden gevolgd worden.

## 5.1 Windafdracht

Hoewel de fundering van de nieuwbouw niet berekend is, wordt toch het principe weergegeven. De afdracht van horizontale windbelasting is als volgt:

- § de wind blaast tegen de tribunes;
- § via de secundaire constructie komt de kracht in de netkous;
- § omdat de windbelasting niet in het hart van de netkous aangrijpt, treed er wringing op (zie afb. 5.1). Optredende onderdruk in het gebouw (zie bijlage 4 van 4) vergroot dit effect. De torsie wordt binnen de netkous zelf doorgekoppeld;
- § via de twee stalen kolommen die op elke toren staan, wordt de kracht doorgegeven naar de betonnen torens (zie paragraaf 5.2);
- § omdat de netkous beschouwd wordt als een stijf geheel, wordt de horizontale windbelasting evenredig verdeeld over het aantal torens, waarbij er van uitgegaan wordt dat elk dezelfde rotatiestijfheid heeft (zie paragraaf 5.3);
- § de betonnen torens dragen de wind af aan de fundering, die functioneert als rotatieveren (5.4)



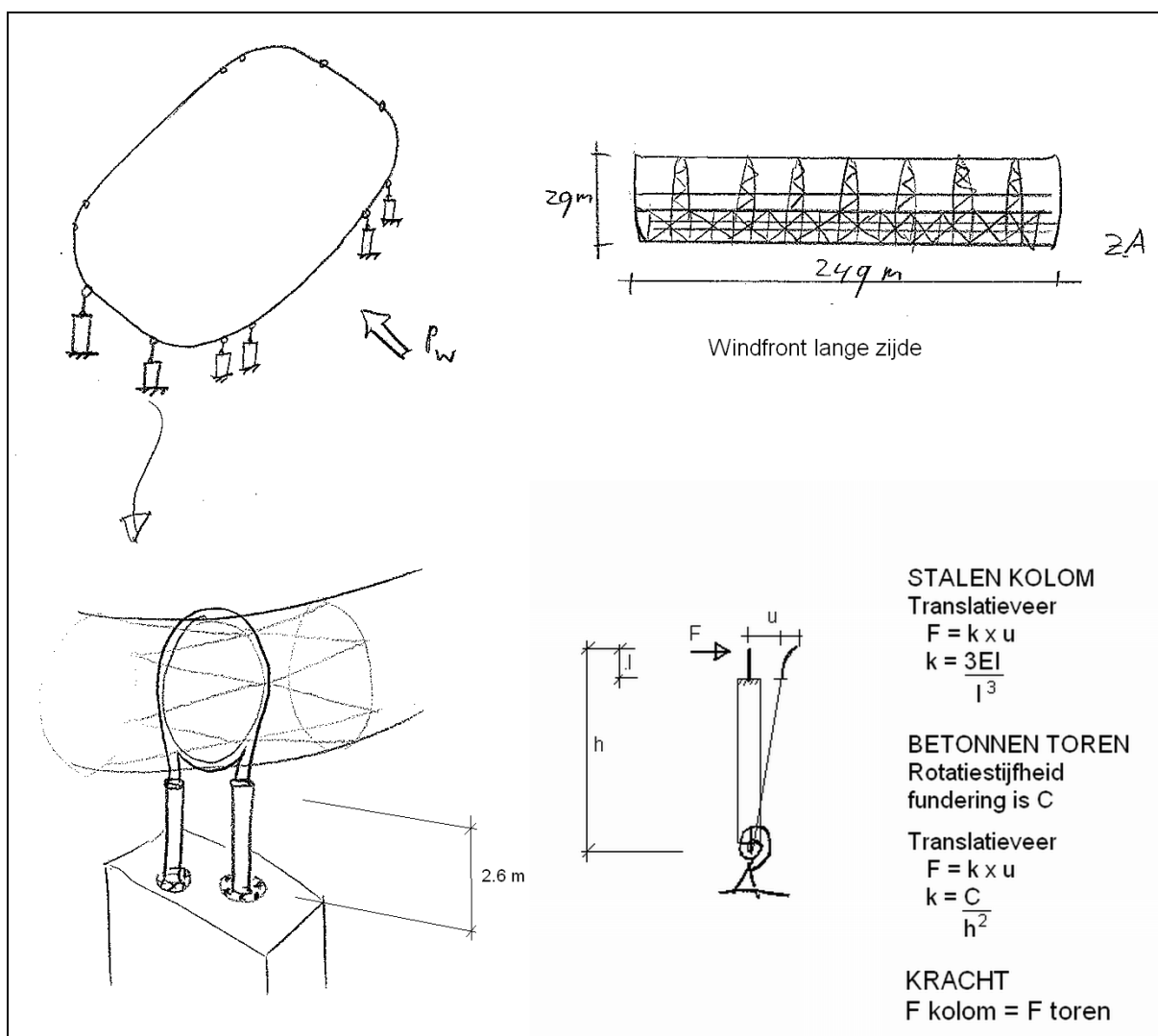
Afb. 5.1 Systeem van afdracht windbelasting en resulterende torsie in de constructie



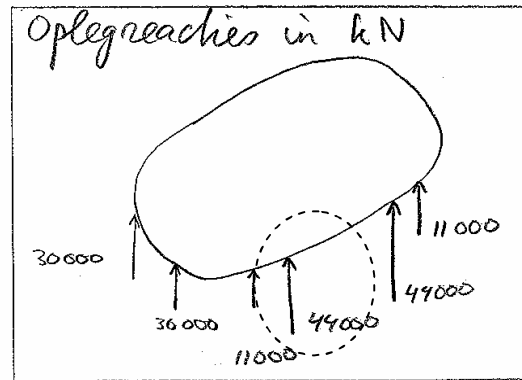
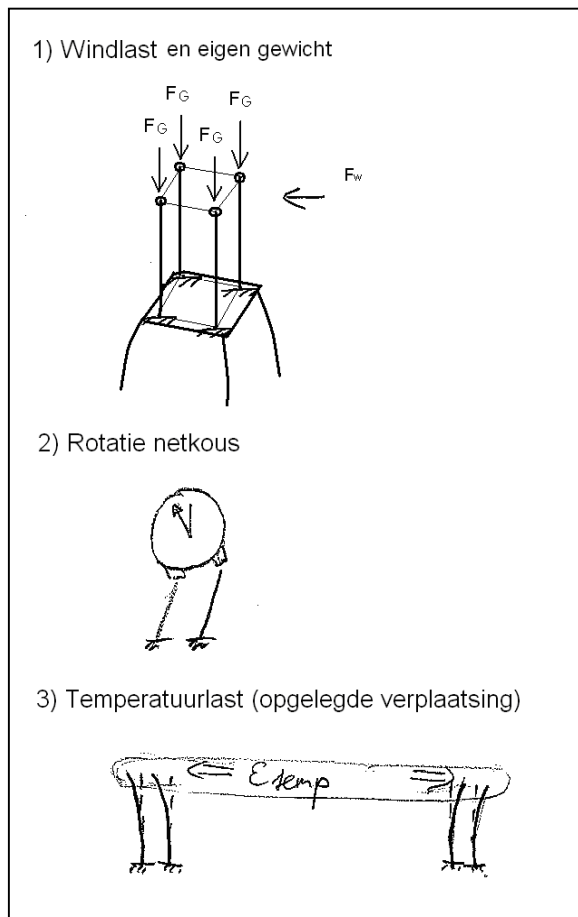
## 5.2 Stalen oplegkolommen

De oplegkolommen hebben drie functies:

1. De gehele netkous rust op 48 stalen kolommen, die verdeeld zijn over 12 torens. Deze kolommen moeten het hele gewicht van de uitbreiding dragen. In combinatie met wind worden ze dus op een horizontale en een verticale kracht belast.
2. Als belangrijk uitgangspunt in de berekening is gesteld dat de netkous de optredende krachten intern moet doorkoppelen. Daarom is het belangrijk dat de opleggingen hier ruimte voor geven. Wanneer de opleggingen zeer stijf zijn, trekken ze momenten naar zich toe, die dan ook naar beneden naar de betonnen kolommen doorgegeven moeten worden. Dit is niet de bedoeling.  
De netkous moet dus een vrije oplegging krijgen. Als ze opgelegd wordt op kolommen, dan geven die hiervoor de ruimte in de vorm van een verende oplegging.
3. Ten derde is het belangrijk dat de constructie moet kunnen vervormen onder temperatuurlast. Omdat de stalen kolommen door bovengenoemde eisen te stijf worden om de temperatuuruitzetting op te nemen, moet het grootste deel van de vervorming uit de rotatie van de betonnen kolommen komen. Als de fundering te stijf wordt ontworpen, is het gevaar aanwezig dat de stalen kolommen kapot gedrukt worden door de temperatuuruitzetting.



Afb. 5.2 Windbelasting wordt opgenomen door een systeem van veren



Afb. 5.3 Functies van stalen kolommen

Maatgevende toren is diegene waar de grootste verticale last heen gaat. Deze is in de figuur rechtsboven omcirkeld. Op elke toren staan 4 stalen kolommen, zodat de verticale last per kolom gelijk is aan  $V_{rep} = 11.000 \text{ kN}$ . De totale horizontale windlast van  $9700 \text{ kN}$  wordt over 48 kolommen verdeeld, zodat  $H_{rep} = 202 \text{ kN}$

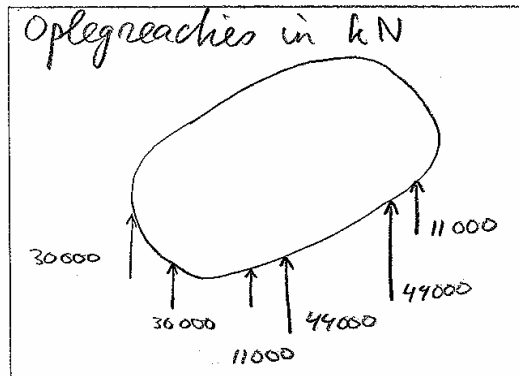
|                 |                                               |
|-----------------|-----------------------------------------------|
| Gekozen profiel | CHS 762 / 30                                  |
| Staalkwaliteit  | S355                                          |
| Hoogte kolom    | 2,6 m                                         |
| Type berekening | 2 <sup>e</sup> orde, geometrisch niet lineair |

| Verticale kracht | Horizontale kracht | Spanningen UGT | Verplaatsingen BGT |
|------------------|--------------------|----------------|--------------------|
|                  |                    |                |                    |

Afb. 5.4 Resultaten ESA berekening van stalen kolommen

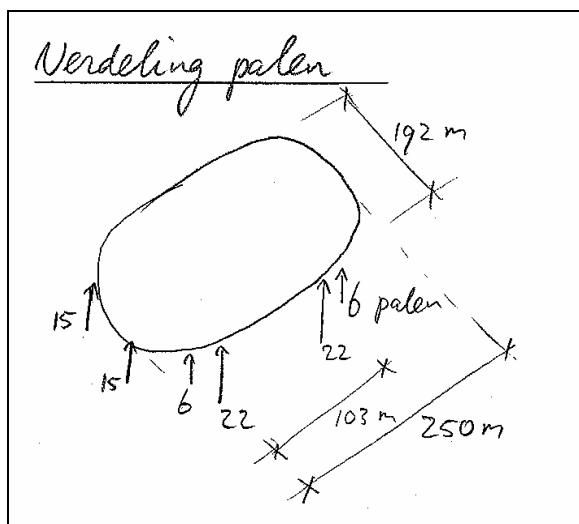
### 5.3 Betonnen oplegtorens

Aan de betonnen torens wordt niet ingegaan in dit afstudeerwerk. Het is nog open of hier trappen of liften in moeten komen. Omdat de indeling hiervan een aparte studie vereist, kan er ook nog niet aan gerekend worden. De oplegreacties vanuit de netkous zijn al wel bekend; hierop moeten ze gedimensioneerd worden.



Afb. 5.5 Resultaten oplegreacties model B (zie bijlage 4 van 4)

Tevens moet de voetplaat van de torens groot genoeg zijn om de volgende palenverdeling mogelijk te maken:



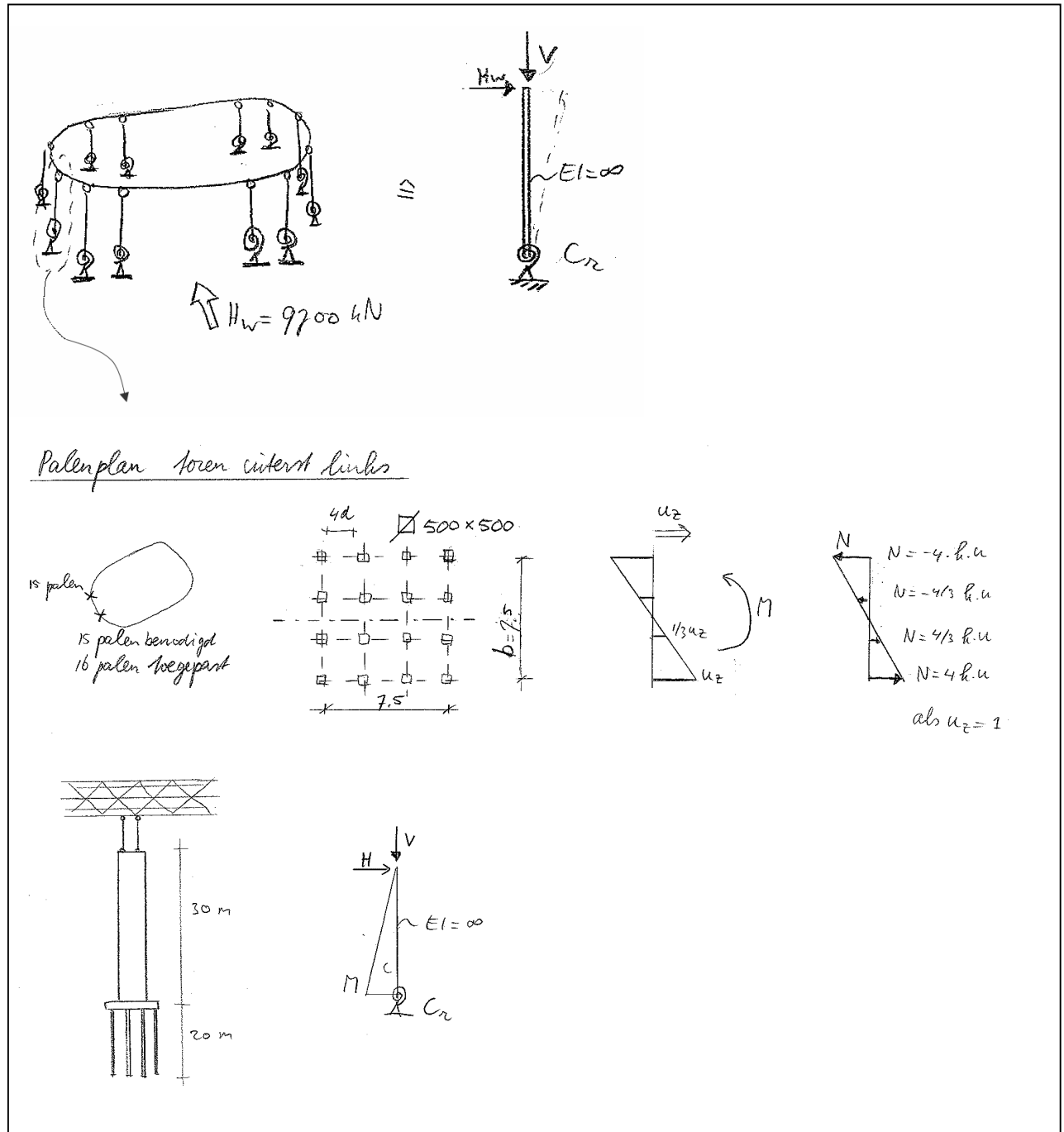
Afb. 5.6 Verdeling van benodigd aantal palen.

Hierbij is uitgegaan van palen van met een draagvermogen van 2000 kN.

## 5.4 Fundering

De fundering heeft twee functies:

- § vervorming van temperatuurlast mogelijk maken, zodat er geen extra spanningen in de stalen netkous en in de betonnen torens komen
- § garanderen van de stabiliteit



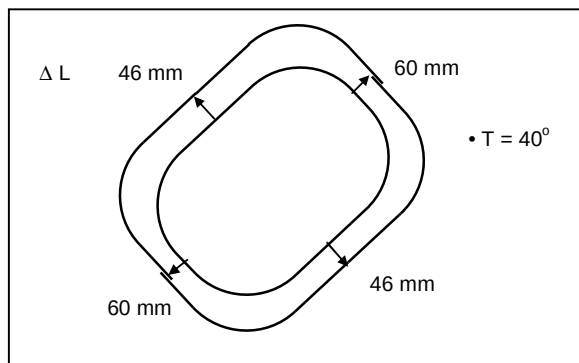
Afb. 5.7 Rotatiestijfheid van een toren

### 5.4.1 OPGELEGDE VERVORMING

Indien de netkous dominant is, en dus weinig vervormt onder de optredende drukspanningen, is de vervorming van de netkous gelijk aan:

$$\text{Lengterichting: } \Delta L = \alpha \cdot T \cdot L = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 40 \cdot 125.000 = 60 \text{ mm}$$

$$\text{Breedterichting: } \Delta L = \alpha \cdot T \cdot L = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 40 \cdot 96.000 = 46 \text{ mm}$$



Afb. 5.8 Uitzetting van de constructie bij ongehinderde temperatuurrek

Bekend is dat de stalen kolommen op de grens van hun sterkte zitten bij een horizontale kracht per toren van  $4 \times 202 = 808 \text{ kN}$ .

De fundering moet zo rotatieslap zijn dat genoemde kracht in de kolommen nooit bereikt wordt.

Indien de netkous door temperatuuruitzetting een oneindig grote kracht zou leveren (oftewel onverhinderde vervorming), dan is de verplaatsing maximaal 60 mm (zie afbeelding hierboven). Ook bij deze kracht mogen de stalen kolommen niet bezwijken. De rotatiestijfheid van de fundering moet dus zodanig gekozen worden, dat bij een kracht van  $F = 808 \text{ kN}$  de horizontale verplaatsing bovenin de toren minimaal 60 mm is.

$$M = C_r \cdot \Delta L = C \cdot u / h$$

$$h = 37 \text{ m}$$

$$C_r = M / (u / h) = F \cdot h^2 / u = 808 \cdot 37^2 / 0,060 = 1,84 \cdot 10^7 \text{ kN/m}$$

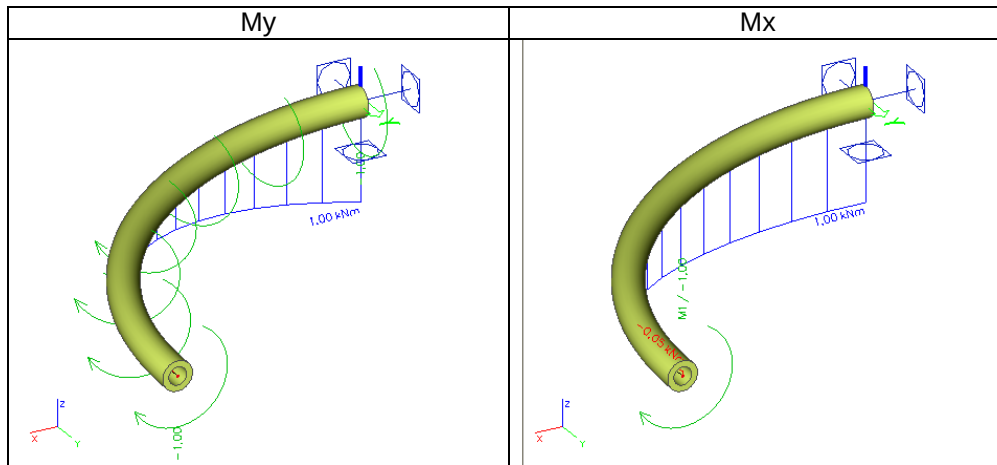
### 5.4.2 STABILITEIT

Als de fundering met bovenstaande rotatiestijfheid is bepaald, moet nog getoetst worden of de gehele constructie stabiel is. Indien dit niet het geval is, moeten de oplegkolommen en de fundering stijver gemaakt worden, en kan er een deel van de temperatuurvervorming door de torens opgenomen worden.

## 5.5 Opname torsie in hoofddraagconstructie

Een van de belangrijke aspecten van de constructie is de torsie vanwege de tribune die naar binnen helt. Als in de ene bocht torsie opgewekt wordt, wordt deze doorgekoppeld naar de volgende bocht in de vorm van een buigend moment. Dit wordt inzichtelijk gemaakt in onderstaande figuur, waarbij een buis precies een hoek van  $90^\circ$  maakt, over een lengte  $dx = 1$ .

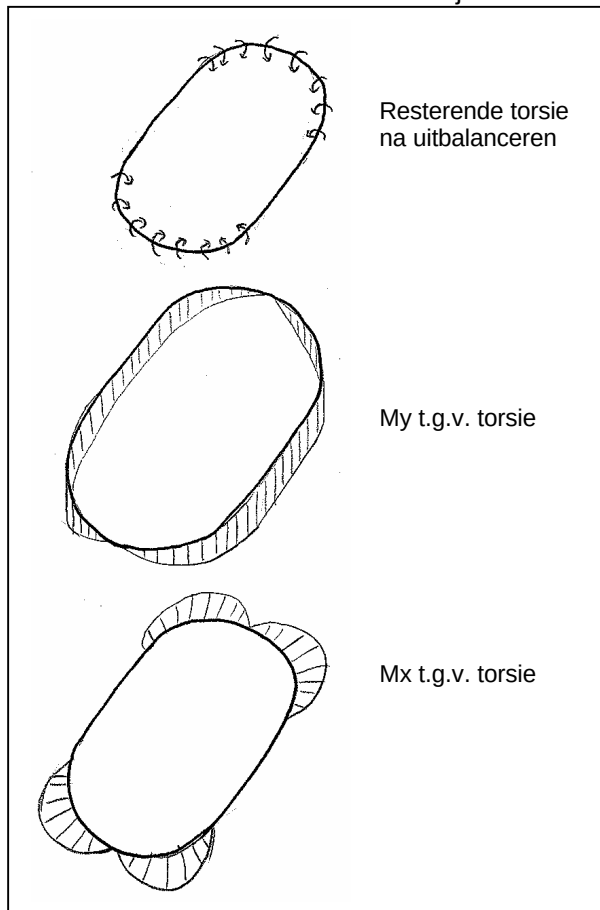
Het resulterend buigend moment t.g.v. torsie is  $M_y = dy * t_d$   
 Het resulterend torsiemoment t.g.v. torsiebelasting is  $M_x = dx * t_d$



Afb. 5.9 Voorbeeld van overgang van torsie naar buiging

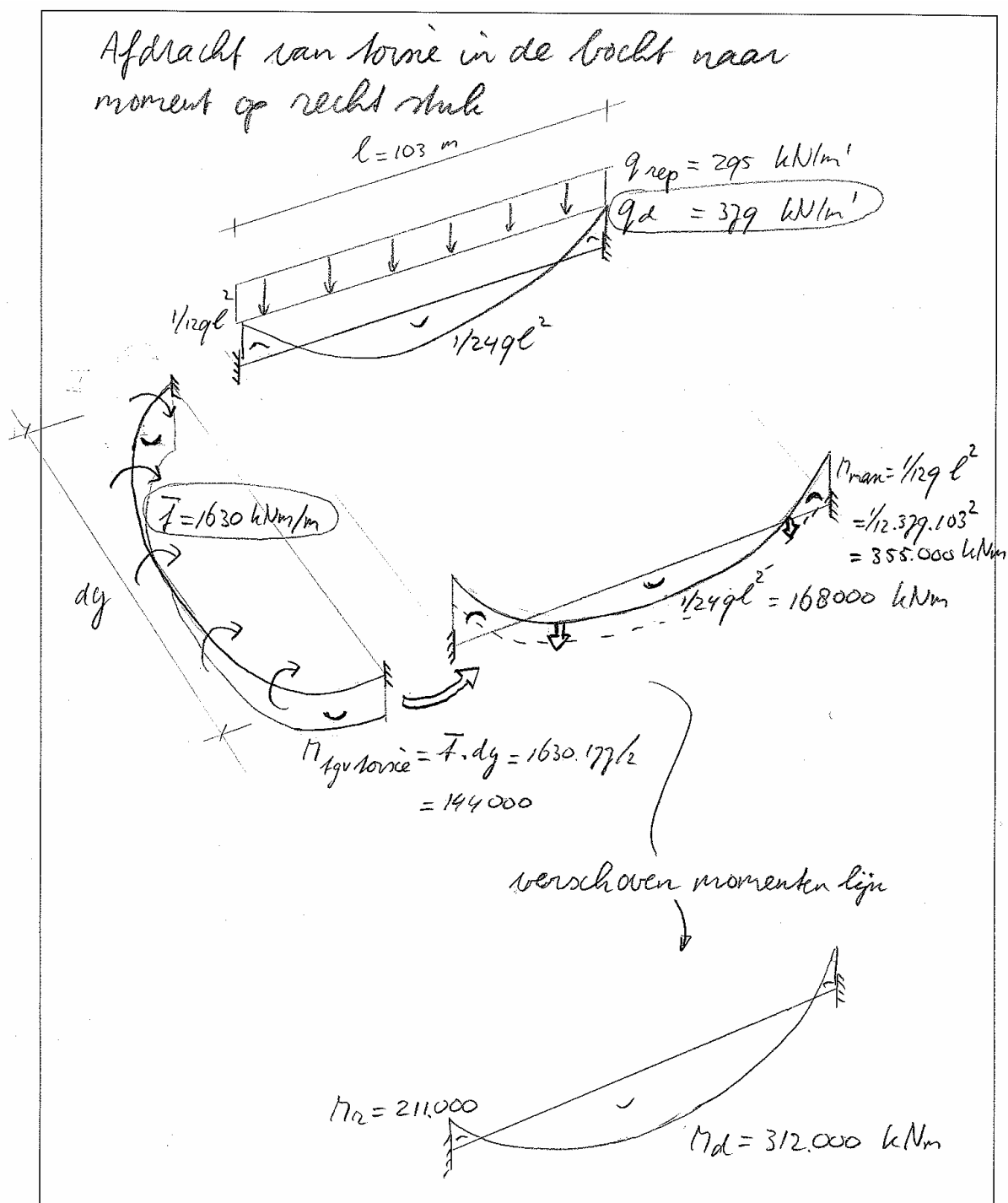
Hoewel een deel van de torsie uitgebalanceerd is tussen de steunpunten, blijft er nog een deel over. Dit is berekend in bijlage 9.3. Het gewogen gemiddelde van de resulterende torsiebelasting over de bocht is  $t_{\text{gewogen,d}} = 1630 \text{ kNm/m}$ .

De vorm van de resultanten hiervan zijn in afbeelding 5.10 weergegeven.



Afb. 5.10 Buiging en torsie t.g.v. excentriciteit tribune

Zoals te zien is, wordt er een negatief buigend moment over het rechte deel doorgegeven. In onderstaande afbeelding is het effect hiervan berekend.

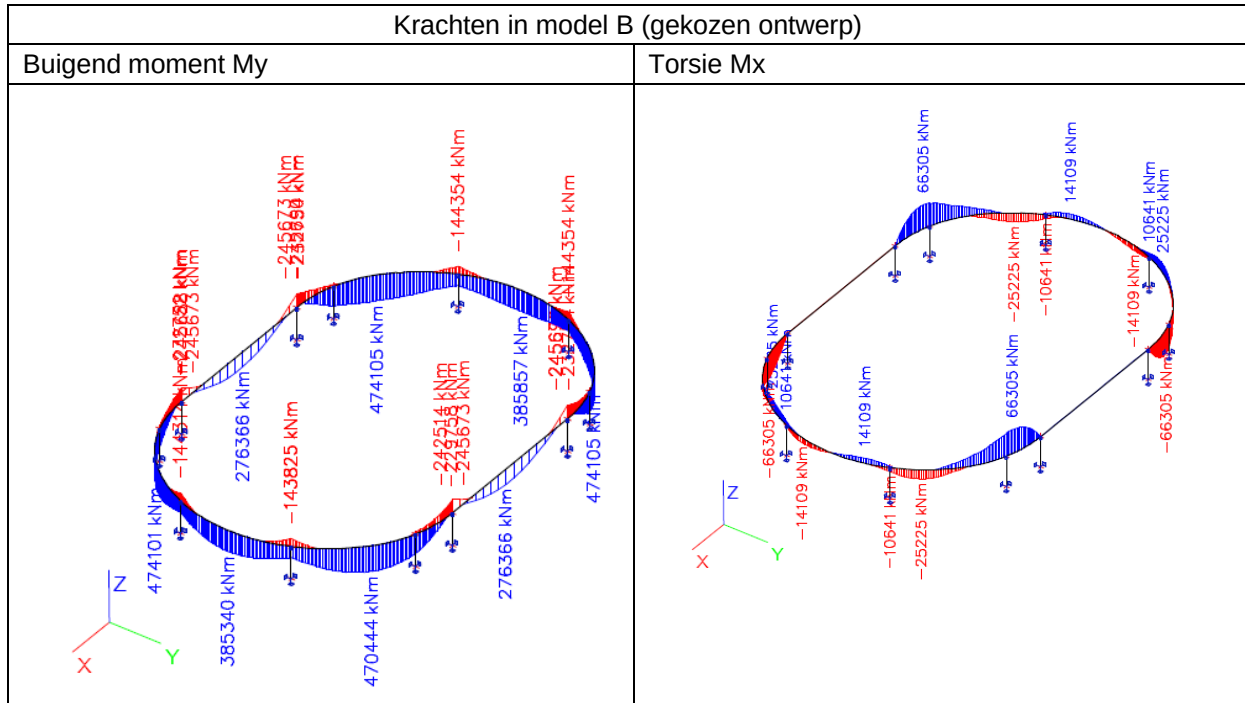


Afb. 5.11 Effect van torsië in de bocht wordt doorgesluisd naar de andere bocht



Wanneer deze snelle handberekening wordt vergeleken met het ESA model (zie resultaten in afb. 5.12) blijkt dan niet het gehele buigende moment wordt doorgesloten, maar slechts  $\frac{3}{4}$  deel daarvan. Het maximale veldmoment op het rechte stuk van de netkous komt namelijk op 276.366 kNm ipv 312.000 kNm.

De oorzaak hiervan is dat de twee steunpunten die dicht bij elkaar liggen het moment afvlakken.



### Afb. 5.12 Resultaten reknmodel B

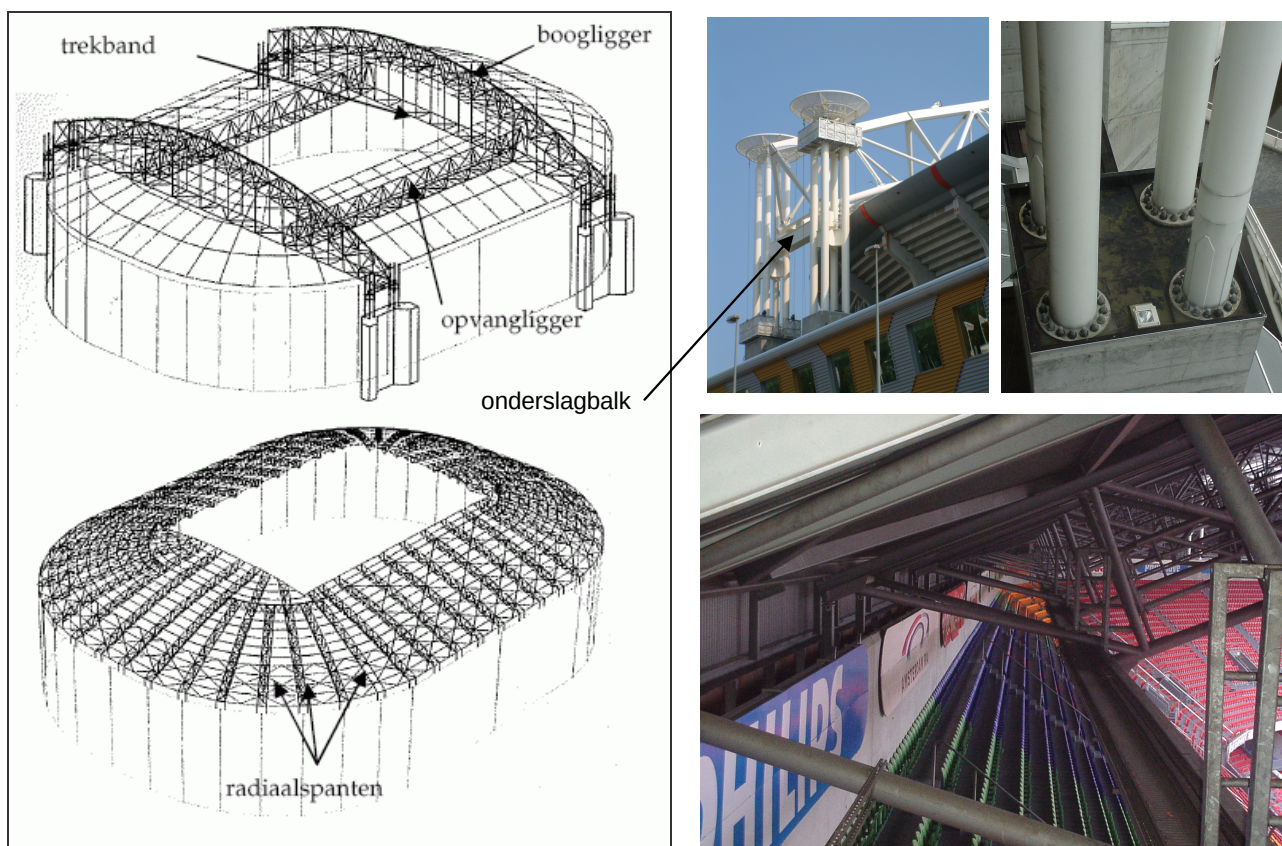
Met deze grove handberekening kan geconcludeerd worden dat de orde van grootte van ESA goed is. Het principe van doorkoppeling blijkt ook correct te zijn.

## 6 Uitvoering

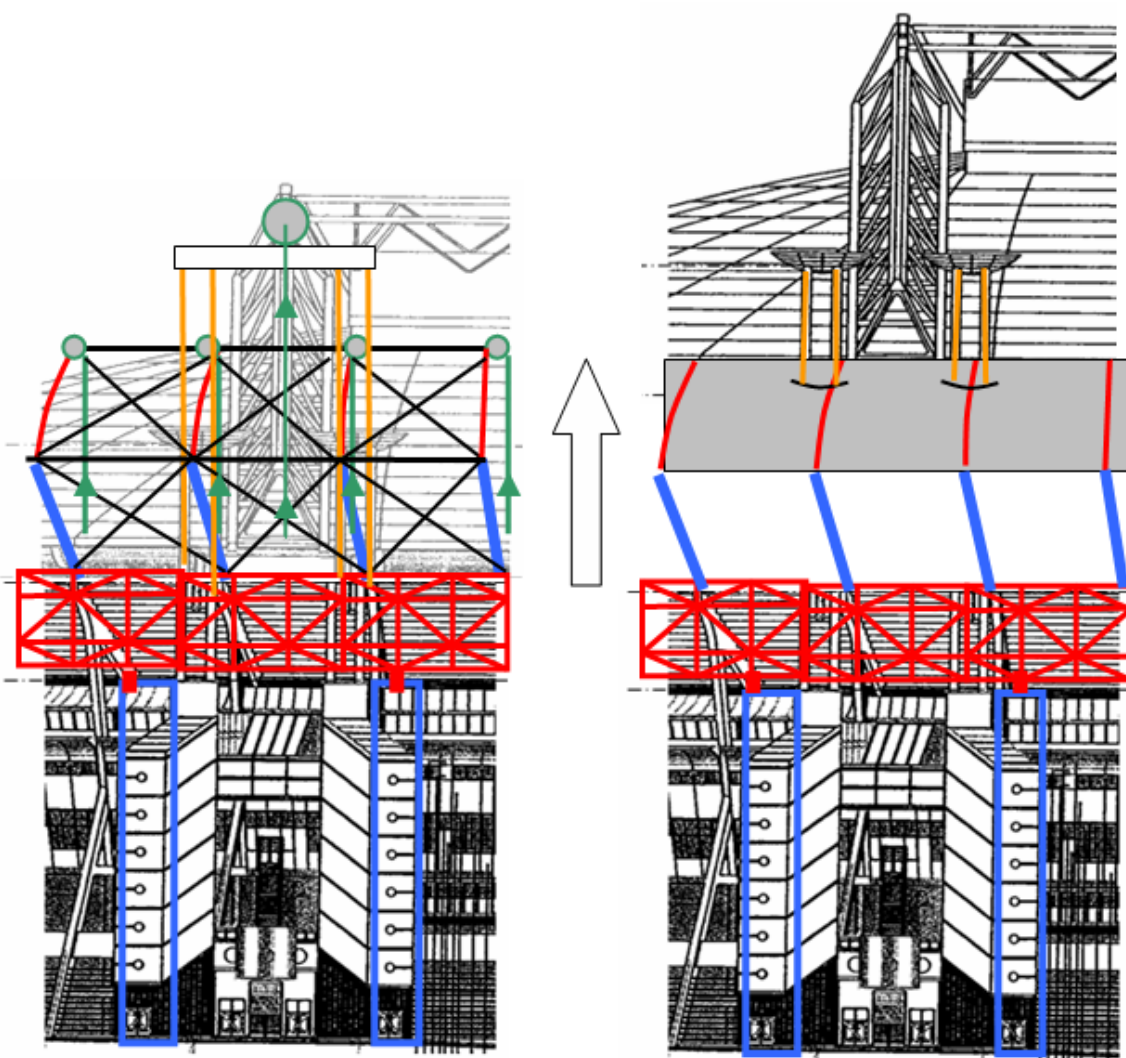
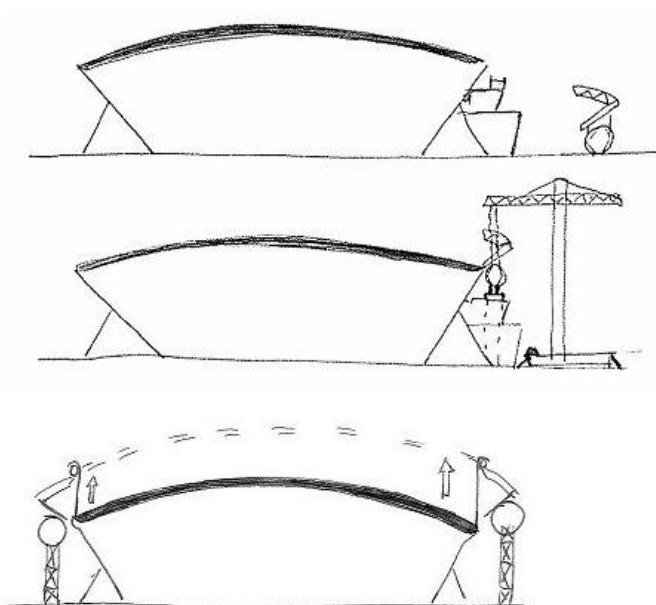
De uitvoering van het ontwerp vereist een hoop vakmanschap. Alleen al het dak optillen is een enorm karwij; het probleem wordt nog gecompliceerder door het nieuwe hoofdgebouw dat gepland is. Cruciaal is dat zowel de 50 radiaalspanten van het dak als de twee grote boogliggers tegelijkertijd opgevijseld moeten worden.

De beste methode volgens het Constructief Ontwerp (zie bijlage 4 van 4) is als volgt:

- § Allereerst worden de nieuwe torens gebouwd waarop de netkous komt te staan.
- § Vervolgens wordt de netkous op definitieve hoogte gebouwd, waarbij ze ondersteund wordt door een (tijdelijke) hulpconstructie. Afhankelijk van de voorkeur van de aannemer wordt de constructie op definitieve hoogte gebouwd of op de grond in delen gemaakt, en dan opgehesen. Het voordeel van deze laatste manier is dat lassers veel veiliger kunnen werken op niveau +0 dan op niveau +40 m. Dan moet echter nog steeds het constructiedeel aan de reeds geplaatste constructie gelast worden.
- § Als de netkous en de vingers klaar zijn, wordt op de top van de vingers een vijzelmechanisme geplaatst. Omdat de top precies boven het uiteinde van de radiaalspanten van het dak valt, kan met een lier het radiaalspant opgetild worden. Op definitieve hoogte wordt ze dan aan de 'vinger' bevestigd middels een schuifverbinding. Deze schuifverbinding moet nog ontworpen worden. Het is belangrijk dat dit een schuifverbinding is, aangezien in de bestaande situatie ook een schuifverbinding is. Hierdoor kan er geen horizontale (wind)kracht doorgegeven worden.
- § Tegelijkertijd met de radiaalspanten moeten de twee boogliggers opgetild worden. Dit principe is op de volgende bladzijden weergegeven.



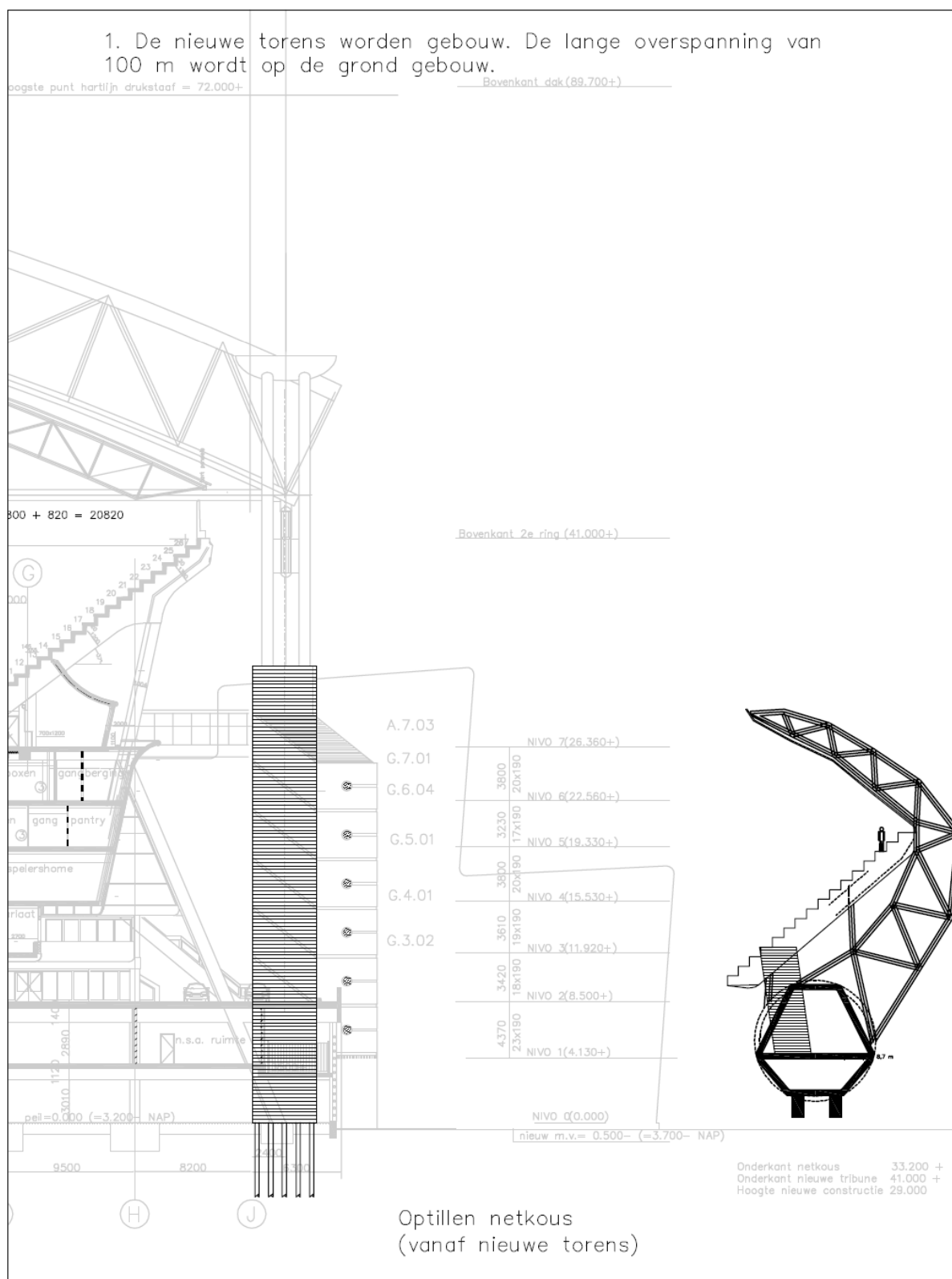
afb. 6.1 De boogligger en radiaalspanten



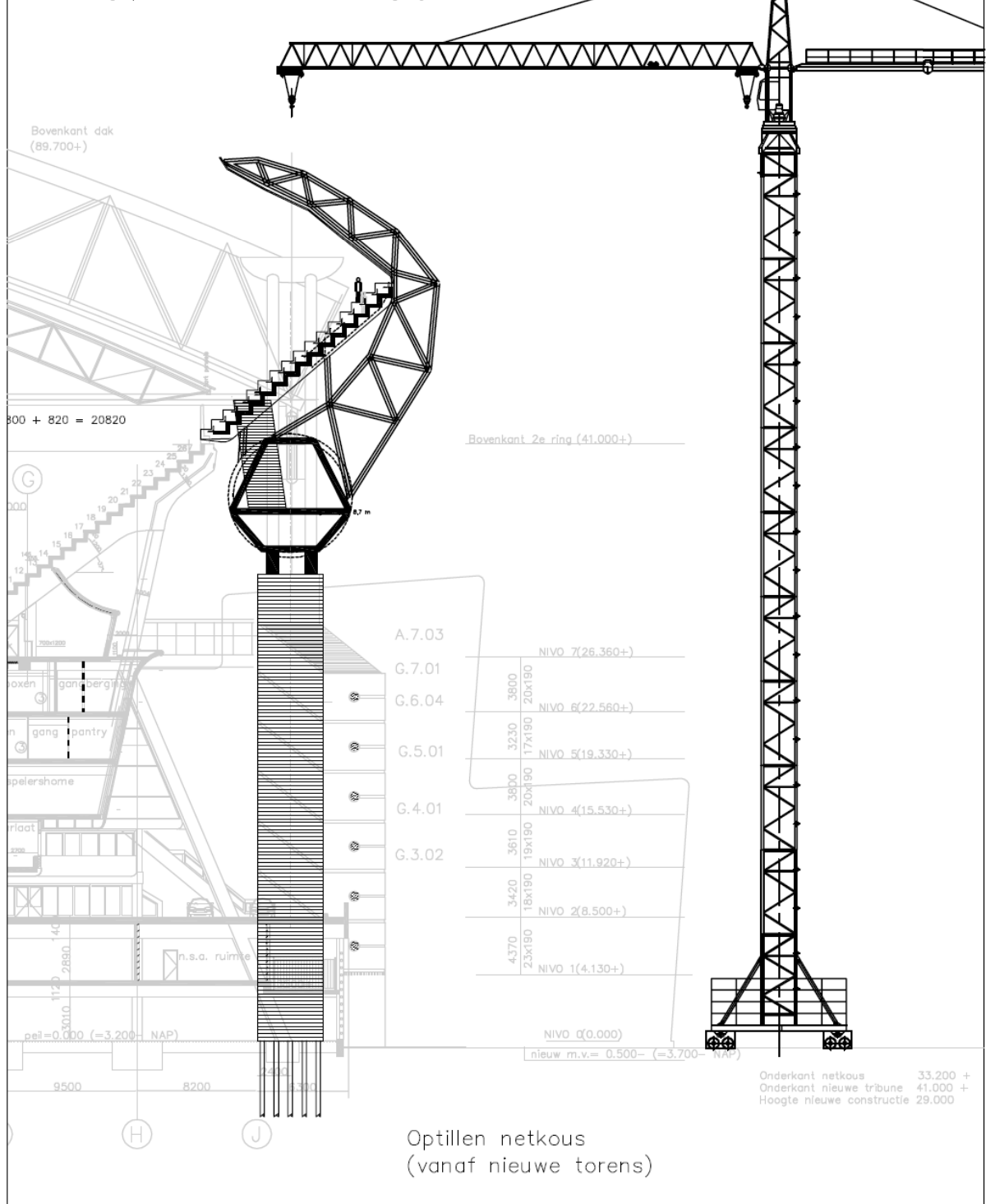
De netkous met daarboven de nieuwe tribune worden op definitieve hoogte gebouwd. Vanaf de liggers van het nieuwe dak worden de bestaande dakliggers opgevijseld.

De sierkolommen met schotels worden weer teruggeplaatst.

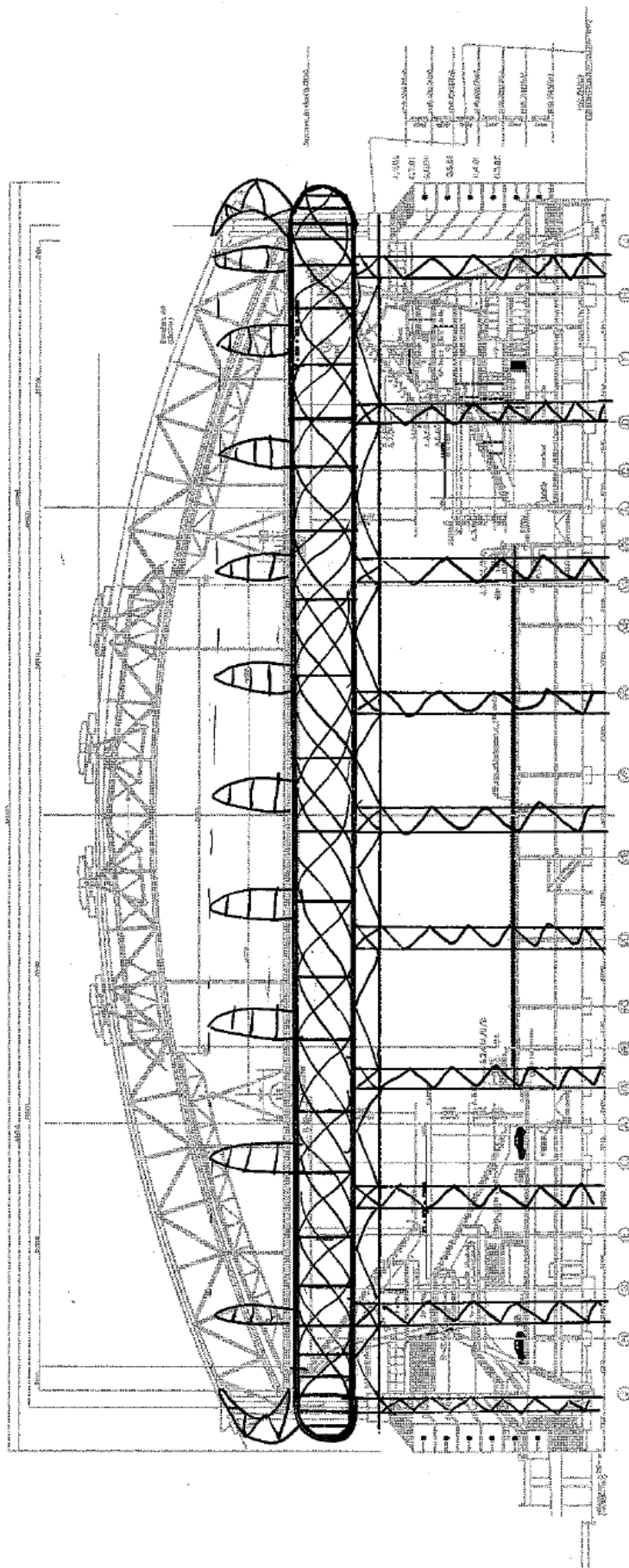
Afb. 6.2 Schema en vooraanzicht van vizelen



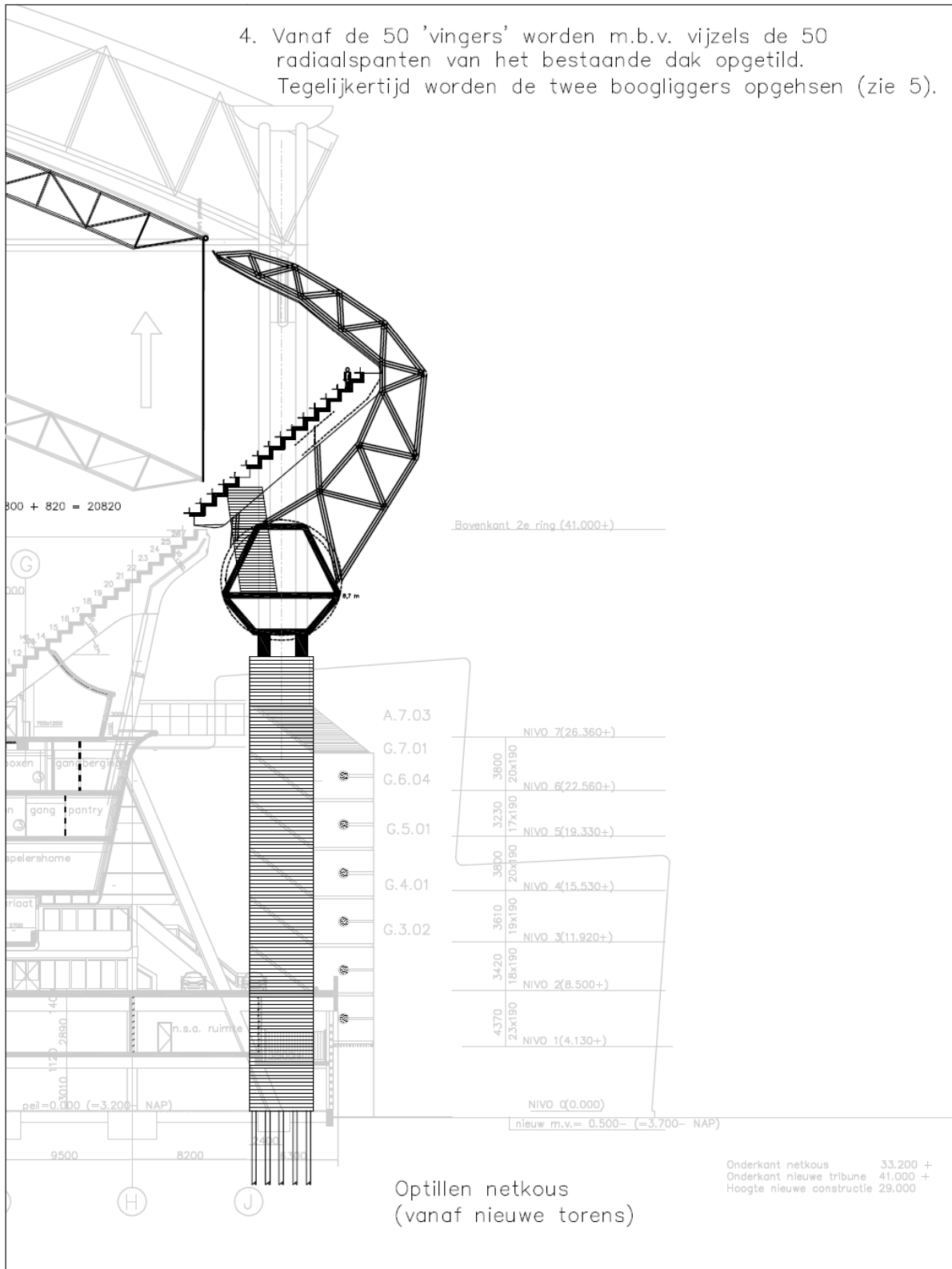
2. Het netkous-gedeelte (720 ton) tpv het nieuwe hoofdgebouw wordt ingehesen en op de nieuwe torens geplaatst. Daarna worden de tribune geplaatst en de afwerking gedaan.



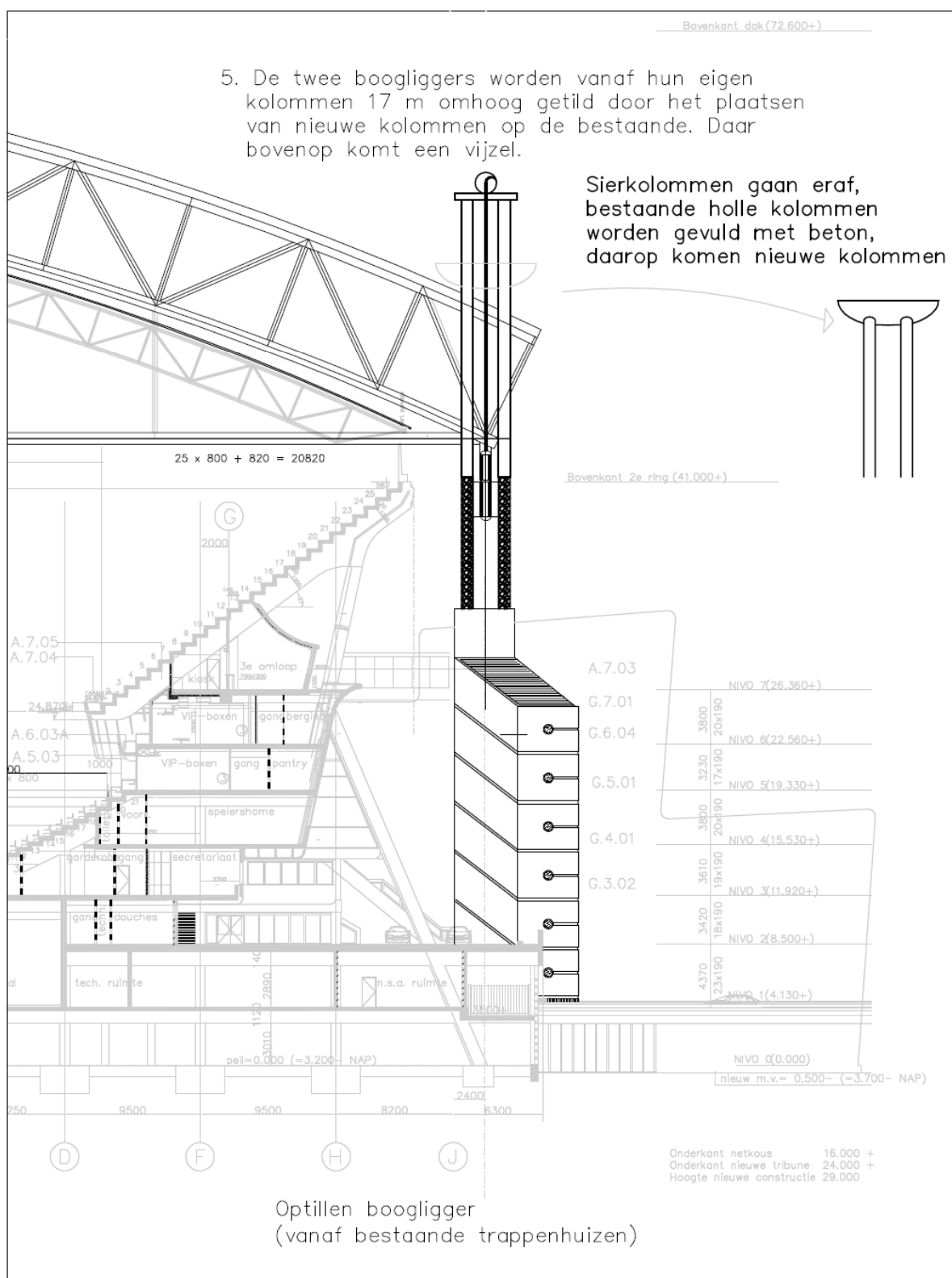
3. Indien dit de voorkeur van de aannemer heeft, wordt op de overige plaatsen de netkous op een tijdelijke hulpconstructie gebouwd.

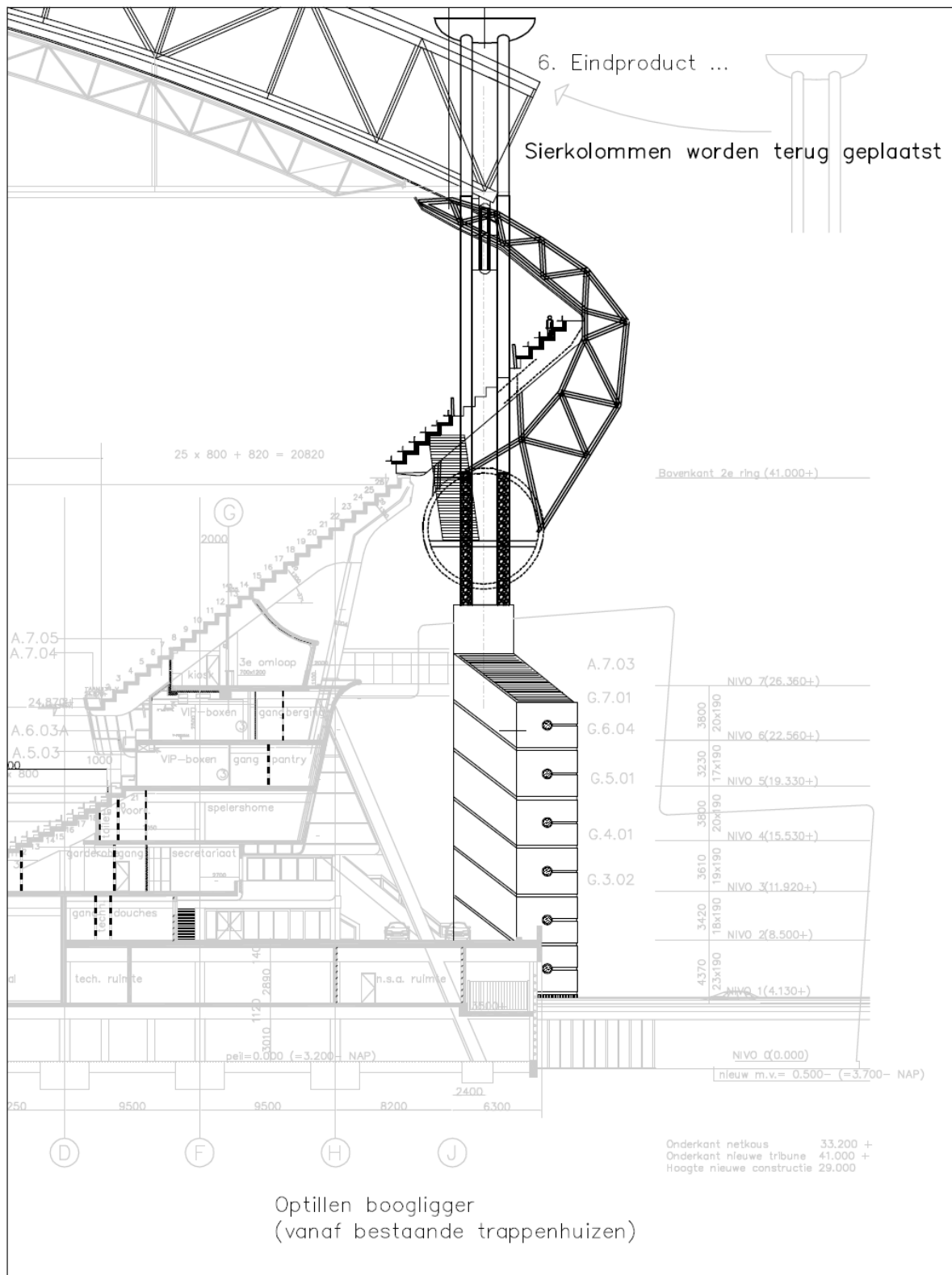








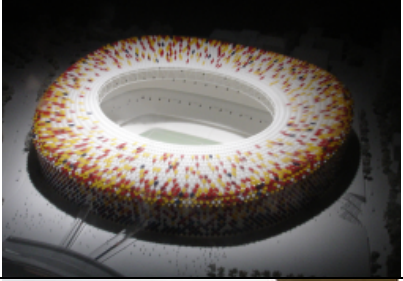




# 7 Kosten

Dit hoofdstuk geeft met verschillende indicators een schatting van de verbouwingskosten voor de ArenA. Allereerst een vergelijking met stadions die verbouwd zijn en stadions die nieuwgebouwd zijn. Vervolgens een kostenraming met behulp van kengetallen.

## 7.1 Verbouwing

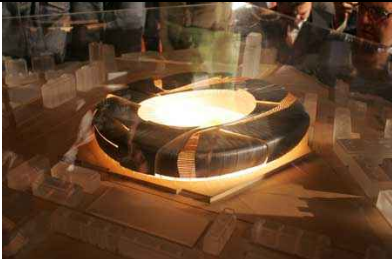
| Stadion                                     | Type uitbreiding                                           | Kosten (€)           | Plaatje                                                                               |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Anderlecht                                  | Derde ring met 15.000 zitplaatsen en modernisering stadion | 100 miljoen (raming) |    |
| Olympia Stadion Berlijn                     | Nieuw dak en nieuwe onderste tribune met 35.000 stoelen    | 242 miljoen          |   |
| Camp Nou, Barcelona                         | Uitbreiding met 19.000 zitplaatsen en een nieuw dak.       | 250 miljoen (raming) |  |
| White Hart Lane (Tottenham Hotspur), Londen | Uitbreiding met 16.000 zitplaatsen                         | 430 miljoen (raming) |  |

De verbouwing van de ArenA zal ambitieuzer zijn dan van Anderlecht. Omdat de ArenA wil meedoen in de race voor het WK zal het architectonisch een waardig stadion neer moeten zetten. Bovendien heeft de ArenA de zware klus het dak op te tillen. In vergelijking met andere stadions zal de ArenA tussen Anderlecht en Camp Nou inzitten. Dit geeft een schatting van **150 miljoen euro**.

Waarom White Hart Lane zo duur zal uitpakken heb ik niet kunnen achterhalen. Wat betreft aantal stoelen is de verbouwing nog geringer dan die van de ArenA! Er wordt vanuit gegaan dat deze kosten een uitzondering vormen.

## 7.2 Geheel nieuw stadion

De kosten die nodig zijn voor een verbouwing, naderen of overschrijden soms de kosten van een nieuw stadion. Het volgende overzicht<sup>8</sup> geeft enkele recente projecten. Deze getallen laten zien dat het alternatief van een nieuw stadion kostentechnisch best interessant is voor de ArenA. Voor 150 miljoen denkt Valencia een nieuw stadion te kunnen neerzetten. Wat de werkelijke kosten zullen zijn, is nog onzeker.

|                            |                                                                      |                      |                                                                                       |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| ArenA nieuwprijs           | Nieuw stadion met parkeergarage en beweegbaar dak (uniek in Europa!) | 140 miljoen (1996)   |    |
| Valencia                   | Geheel nieuw stadion met 75.000 zitplaatsen                          | 150 miljoen (raming) |    |
| Beijing National Stadium   | Olympisch stadion 2008                                               | 300 miljoen (2007)   |   |
| Telstra Stadium, Australia | Olympisch stadion 2000                                               | 411 miljoen (1999)   |  |
| Wembley                    | Zeer luxe stadion met 90.000 stoelen                                 | 1000 miljoen (2007)  |  |

Omdat bij een nieuw stadion ook grondverwerving en nieuwe infrastructuur nodig is, zullen de kosten uiteraard wel hoger uitpakken dan de uitbreiding van de bestaande ArenA. Maar dit levert ook weer nieuwe mogelijkheden. Omdat dit afstuderen gericht is op uitbreiding van het bestaande, wordt verder niet ingegaan op de mogelijkheden van een nieuw stadion.

<sup>8</sup> Bronnen:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Olympic\\_Stadium](http://en.wikipedia.org/wiki/Olympic_Stadium) met links naar verschillende stadions  
<http://www.voetbalbelgie.be/nl/voetbalstadions.php>

### 7.3 Kosten staal

Omdat het ontwerp voor de ArenA zo arbeidsintensief is, wordt een vergelijking gemaakt met een ander project waarbij een dergelijke netkous is toegepast. In het Vooronderzoek (zie bijlage 2) is dit project reeds beschreven: de Lightrail aan de Beatrixlaan in Den Haag. De kosten voor deze netkous, exclusief spoor en bovenleidingen, waren 31 miljoen voor 800 m lengte.

De lengte van de netkous van de ArenA is iets korter: 675 m. De kosten voor alleen het staal worden evenredig met de lengte geschat. Zo komt prijs van de ArenA op  $675 / 800 * 31$  miljoen = **26 miljoen euro voor staal**. Omdat de overspanningen van de ArenA 4 keer zo groot zijn, moet dit als minimum aangehouden worden. Uit de schatting op basis van kengetallen (zie hieronder) komt dit bedrag inderdaad als minimum naar voren.

### 7.4 Schatting met kengetallen

Kostenraming m.b.v. massaprijzen van het gemaakte ontwerp:

| Materiaal                   | Gebruikte hoeveelheid                         | Eenheidsprijs                 | Prijs (euro's)             |
|-----------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Prefab beton                | 3200 m <sup>3</sup><br>7700 ton               | € 500 à 1000 / m <sup>3</sup> | 1.600.000<br>à 3.200.000   |
| Beton                       | 830 m <sup>3</sup><br>2100 ton                | € 500 à 1000 / m <sup>3</sup> | 415.000<br>à 830.000       |
| Staal                       | 5300 ton = 5.300.000 kg<br>970 m <sup>3</sup> | € 5 à 10 / kg                 | 26.500.000<br>à 53.000.000 |
| Funderingspaal<br>à 2000 kN | 172 [-]                                       | € 1000 / paal                 | 172.000                    |
|                             |                                               |                               | 29 à 57 miljoen            |

Omdat het een bijzonder project betreft, waarbij de kilo's allemaal 40 m omhoog getransporteerd moeten worden, wordt de hoge eenheidsprijs aangehouden. Zo komt de schatting op **60 miljoen**.

### 7.5 Kosten voor opvijzelen

Als referentieproject voor het vizelproces is gekeken naar het Milwaukee-stadion (zie bijlage 2, paragraaf 2.2). Voor dit stadion moest het dak een klein stuk opgevijzeld worden, zodat de wielen van het bewegende deel vervangen konden worden. De kosten hiervoor bedroegen ongeveer 10 miljoen euro.

Omdat het dak van de ArenA maar liefst 17 meter opgevijzeld moet worden, zullen de kosten ook hoger uitvallen. Ze worden anderhalf keer zo hoog geschat, dus op **15 miljoen euro**.

### 7.6 Conclusie

De minimumschatting gaat uit van kengetallen op basis van massa bouw materiaal:

|                     |                   |
|---------------------|-------------------|
| materiaalkosten     | 60 miljoen        |
| <u>vijzelkosten</u> | <u>15 miljoen</u> |
| <b>totaal</b>       | <b>75 miljoen</b> |

De gemiddelde schatting gaat uit van de raming voor het stadion van Anderlecht, aangezien daar bijna evenveel stoelen toegevoegd moeten worden:

|                     |                    |
|---------------------|--------------------|
| materiaalkosten     | 100 miljoen        |
| <u>vijzelkosten</u> | <u>15 miljoen</u>  |
| <b>totaal</b>       | <b>115 miljoen</b> |

Een hoge schatting gaat uit van architectonisch zeer opvallende stadions, aangezien het ook bij de verbouwing van de ArenA om een WK gaat. Uitgangspunt is Camp Nou dat grondig aangepakt is:

|               |                         |
|---------------|-------------------------|
| <b>totaal</b> | <b>150 miljoen euro</b> |
|---------------|-------------------------|



# 8 Conclusie en aanbevelingen

## Conclusie

De doelstelling van dit afstuderen was een ontwerp te maken voor een uitbreiding van de bezoekerscapaciteit van de Amsterdam ArenA. Het ontwerp dat gemaakt is, doet recht aan de belangrijkste eisen die gesteld zijn, te weten

- het totaal aantal zitplaatsen moet verhoogd worden tot 70.000;
- een hoge ambitie voor architectonische waarde;
- een optimale wedstrijdbeleving;
- goed vervoer van personen;
- het bestaande bouwwerk wordt niet zwaarder belast dan nu het geval is;
- het bestaande dak blijft gehouden;
- en het ontwerp houdt rekening met de moeilijke uitvoeringsaspecten terwijl de activiteiten binnen de ArenA zo lang mogelijk doorgaan.

De hoofddraagconstructie bestaat uit een rond vakwerk met veel diagonalen. Met een knipoog naar vrouwelijk schoon wordt de constructie 'netkous' genoemd, zoals ook bij de Lightrail in Den Haag.

De netkous die voorgesteld wordt, is dé oplossing voor deze eisen. De netkous vormt zowel de bezoekerstunnel als de hoofddraagconstructie. Door de ruimtelijke vorm combineert ze stijfheid en sterkte met een fraaie architectonische uitstraling. Omdat de tribunepositie variabel is ten opzichte van de netkous, kan de krachtverdeling geoptimaliseerd worden. Zo kan een grote overstek gemaakt worden terwijl de torsie niet veel toeneemt. De torsie die door asymetrische belasting ontstaat, wordt door de ronde vorm goed opgevangen.

In dit afstudeerwerk zijn de belangrijkste constructieve problemen in principe opgelost. Een nadere uitwerking hiervan vergt vervolgonderzoek, waarvoor in deze conclusie een aantal aanbevelingen gedaan worden.

## Algemene aanbevelingen

- § Onderzocht moet worden of het niet goedkoper is een heel nieuw stadion te bouwen in plaats van deze uitbreiding te maken.
- § Vorm en grootte van netkous wordt waarschijnlijk bepaald door functionele eisen. Hier is nog weinig aandacht aan besteed. Onderzocht kan worden of het constructief voordelig is de netkous op bepaalde plaatsen breder te maken, en daar bepaalde functies (zoals horeca of toiletten) te plaatsen.
- § De grote overspanning van 100 is maatgevend in het ontwerp. Vooral de steunpuntmomenten zijn erg groot. Deze zouden veel kleiner zijn indien onder de grote overspanning één toren/kolom extra geplaatst kan worden. Nu is aan een zijde echter een nieuw hoofdgebouw geplant. En volgens de informatie die de afstudeerder nu heeft, is het niet toegestaan met kolommen door het hoofdgebouw heen te gaan. Toch verdient het aanbeveling om extra voorzieningen in het hoofdgebouw te maken. Hetzij om een extra tussensteunpunt mogelijk te maken, hetzij om tijdens de bouwphase de nieuwe constructie op het hoofdgebouw af te steunen. Dit kan de kosten besparen die nodig zijn om een nieuwe constructie over het hoofdgebouw heen te hijsen.

## Optimalisering ontwerp

- § Het verdient aanbeveling de nieuwe tribune in de twee bochten de vorm van een halve cirkel te geven, en de 'vingers' hierop aan te passen. Dit zorgt ervoor dat (bijna) alle betonnen prefab tribune-elementen hetzelfde zijn hetgeen wenselijk is voor een eenvoudige detaillering.



- § De netkous kan geoptimaliseerd worden op plaatselijke krachtswerking. Het onderzoek naar verschillende variabelen<sup>9</sup> kan hierin een leidraad vormen. De conclusies waren dat een grotere spoed (meer omwentelingen per lengte) de dwarskrachtcapaciteit vergroot; dat een grotere diameter gunstiger is voor torsie (in de bochten); en dat de doorsnede van de ring van plaatstaal sterk invloed kan hebben.
- § Op plaatsen waar veel buiging in de netkous aanwezig is kunnen aan de boven- en onderkant dikkere profielen toegepast worden dan aan de zijanten. Dit verhoogt sterk de buigstijfheid.

#### Verder onderzoek

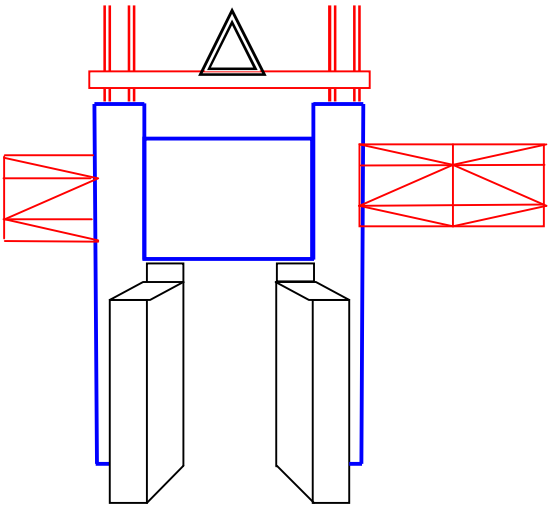
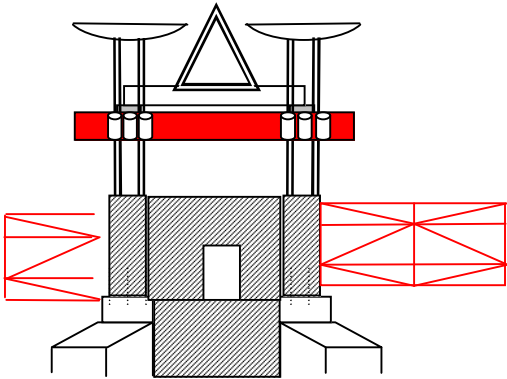
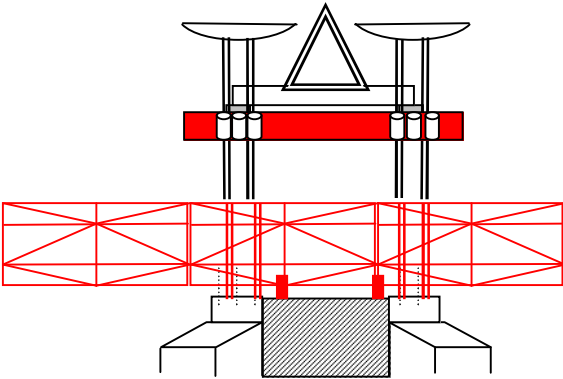
- § Onderzocht moet worden of de bestaande trappenhuizen extra belasting kunnen dragen. De afdracht van de wind op het bestaande dak gaat namelijk via deze trappenhuizen. Omdat het dak in de nieuwe situatie omhoog gaat, grijpt de wind in de nieuwe situatie 17 m hoger aan, namelijk op + 61 m in plaats van op + 44 m. Het moment dat opgevangen moet worden wordt een factor  $61/44 = 1,4$  groter. Het is de vraag of dat door het bestaande trappenhuis en door de bestaande fundering opgenomen kan worden. Nader onderzoek moet uitwijzen of het nodig is de bestaande constructie te verzwaren, of dat de extra kracht via de nieuwbouw afgedragen kan worden.
- § Er moet uitgebreid onderzoek gedaan worden naar het dynamisch gedrag van de nieuwe tribune. Zeker door de grote overspanningen kunnen hinderlijke trillingen optreden. Momenteel is er bij popconcerten al last van trillingshinder. Voor de nieuwe tribune is dat niet toelaatbaar.
- § In de netkous moeten openingen gemaakt worden waardoor de bezoekers op de tribunes kunnen komen en waardoor ze met de roltrap naar beneden kunnen. Het is nog niet onderzocht wat dit voor constructieve gevolgen heeft. Het is waarschijnlijk nodig om plaatselijk een stevige ring om een dergelijke opening te leggen.
- § Het hele proces van opvijzelen verdient nader onderzoek. Onder meer naar mogelijke posities van de kranen; naar stabilisering tijdens het hijsen; naar mogelijke vijzeltypen; en naar een geschikte plaats op maaiveldniveau waar de verschillende bouwdelen gebouwd kunnen worden.
- § De logistiek van bezoekersstromen in en rond de ArenA verdient een serieuze studie. Het is van het grootste belang dat de capaciteit voldoet, en ook op de toekomst voorbereid is. Zowel voor de veiligheid als voor een prettige verwerking van de bezoekersaantallen dienen de gangpaden en (rol)trappen breed genoeg te zijn.
- § De torens en de fundering moeten ontworpen en berekend worden. In de torens kunnen liften geplaatst worden. Hiervan moet de benodigde capaciteit nog bepaald worden.
- § De effecten van de verbouwing op de akoestiek en op het binnenklimaat van de ArenA moeten onderzocht worden.

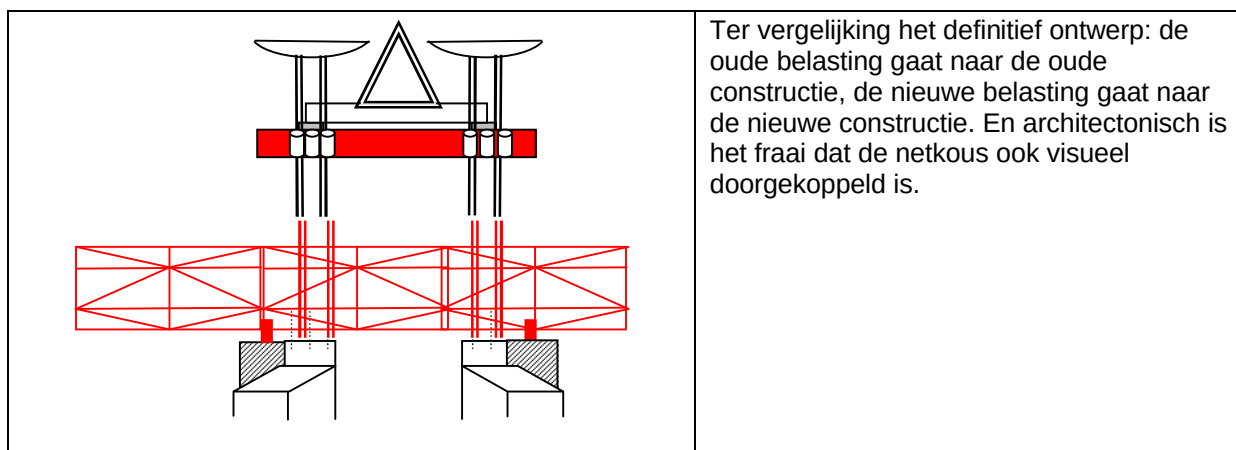
#### Mogelijke alternatieven

- § Het verdient aanbeveling om de driehoekige koker nader te onderzoeken. Voor de ronde vorm was het doorslaggevend argument dat de tribune naar binnen moest kunnen overhellen. En architectonisch komt de ronde vorm beter uit de vergelijking. Indien de driehoekige koker buiten de ArenA gebouwd wordt, is dit qua kosten zeker concurrerend met de ronde vorm.
- § Indien de stijfheid van de constructie vergroot moet worden, is het mogelijk een drukring bovenop de 'vingers' toe te voegen, zoals in bijlage 4, paragraaf 8.4 besproken is. Omdat de hefboom ten opzichte van de netkous groot is, kan dit een zeer stijf geheel worden. De krachtwerving verandert hiermee, aangezien er een verend systeem toegevoegd wordt aan de netkous.

<sup>9</sup> Zie hoofdstuk 6 en hoofdstuk 7 uit Bijlage 4 van 4

- § De schijf met tribune-elementen zou ook een actieve rol in de krachtswerking kunnen spelen. De tribune moet dan één stijf geheel vormen, zodat een 3D krachtswerking kan ontstaan.
- § Het kan voor de krachtswerking gunstig zijn toch meer torens onder de netkous te plaatsen, bijvoorbeeld door in de bocht veel meer steunpunten te plaatsen; voor de torsie is het effect gering, maar de buigcomponent neemt wel aanzienlijk af.
- § Het knooppunt bij de bestaande trappenhuizen is enigszins gecompliceerd. Een verdere afweging is mogelijk tussen eenvoudige detaillering enerzijds en eenvoudige krachtswerking anderzijds. In onderstaande tabel wordt een aanzet voor alternatieven gegeven.

|                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <p>Minder duidelijk waar de krachten heen gaan: de sterkte van de bestaande trappenhuizen en hun fundering wordt gecombineerd met de sterkte van de nieuwe torens en hun fundering. Vanwege verschillende stijfheidverhoudingen zal het niet eenduidig zijn waar de krachten heen gaan. Maar het knooppunt is eenvoudiger wat betreft detaillering. Of het architectonisch mooier of lelijker wordt, hangt af van de detaillering.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|   | <p>Hier is een toren tussen de bestaande trappenhuizen toegevoegd. Het is nog steeds onduidelijk waar de krachten heen gaan. De spanning zit immers al in het bestaande trappenhuis, terwijl het middendeel nog op spanning moet komen. Het gevaar is dus dat de bestaande trappenhuizen te veel belasting naar zich toe trekken. En de fundering van het middenstuk komt op een bestaande funderingsplaat. Onderzocht moet worden of hier extra palen aan gekoppeld kunnen worden. Het voordeel van een extra toren is dat er ruimte vrijkomt voor liften en/of trappen. Omdat de netkous op de zijkant van de toren aansluit, kan gemakkelijk een opening gemaakt worden van de toren naar de netkous.</p> |
|  | <p>Belastingafdracht van boogliggers en nieuwe constructie is losgekoppeld. Daarom is het duidelijk welke fundering welke krachten krijgt: de belasting uit de netkous wordt via het middenstuk afgedragen op de bestaande plaat; de belasting uit de boogliggers blijft naar de bestaande trappenhuizen gaan. Er is in deze optie echter weinig ruimte om extra palen te slaan. Een grote brugconstructie naar beide kanten is nodig om genoeg oppervlak te creëren.</p>                                                                                                                                                                                                                                    |



Afb. 7.1 Alternatieven voor de aansluiting bij de bestaande trappenhuizen



## 9 Nawoord en evaluatie

Nu het werk erop zit, kan eindelijk achterover geleund worden. Het was een interessant proces, en ik ben best tevreden over het resultaat. Leuke bijkomstigheid is dat de ArenA net voor het afronden van dit rapport interesse heeft getoond in het afstudeerwerk. Het besef leeft dat ze mee moeten in de concurrentie, en dat maakt het ontwerp extra relevant. Of het uiteindelijk gebouwd wordt is hoogst onzeker. Maar met dit afstudeerwerk ligt wel een concreet onderzoek naar de mogelijkheden en mogelijke problemen. Dat kan voor de toekomst sturing geven aan eventuele uitbreidingsplannen.

Het afstuderen was voor mezelf ook een leerproces. Belangrijkste les voor mezelf is om in het begin duidelijke eisen te stellen, maar het ontwerp zo open mogelijk te houden. Dat bewaart je voor een tunnelvisie.

Achteraf gezien had ik minder tijd aan het uitgebreide ESA model moeten besteden. Dit model was veel te gecompliceerd geworden om snel te kunnen interpreteren. Pas in de fase van een definitief ontwerp is een dergelijk model gewenst.

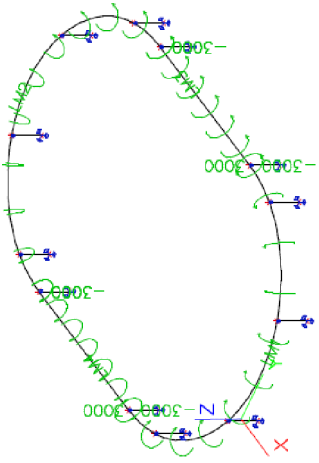
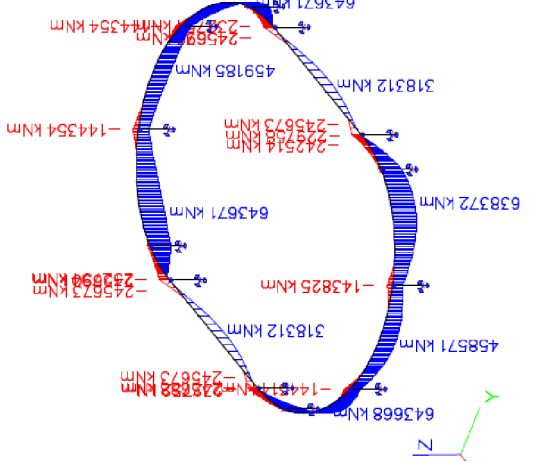
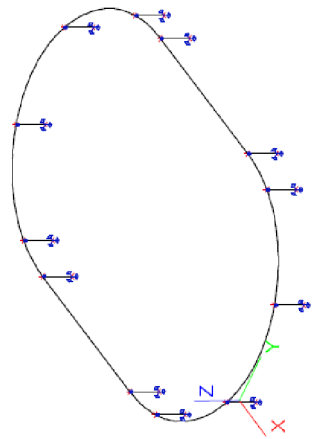
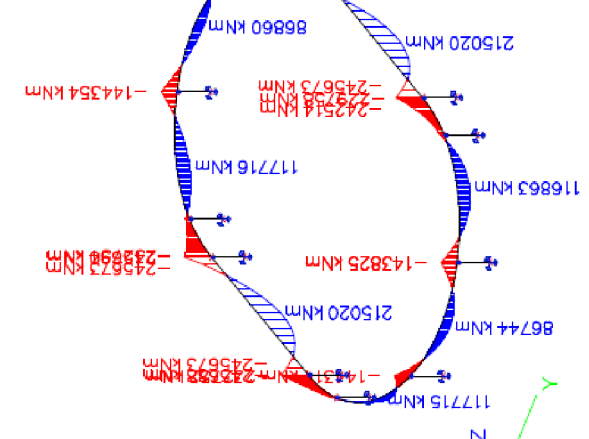
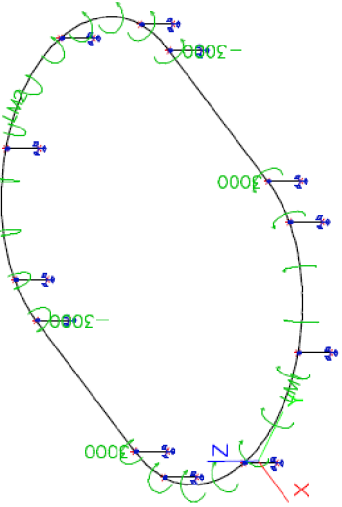
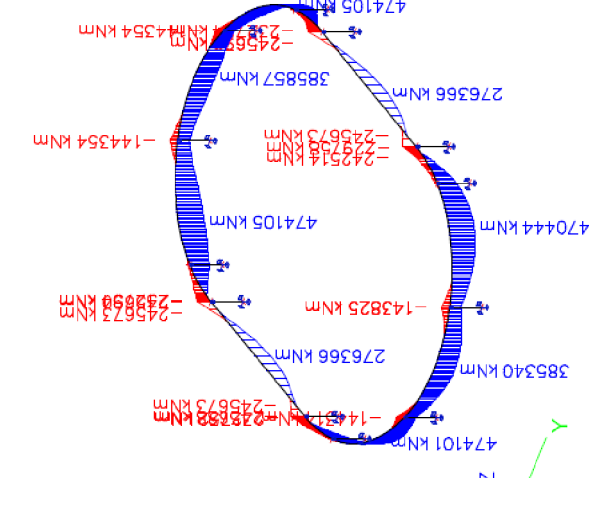
Hopelijk heb ik met dit afstuderen inzicht in constructies getoond, en is het een stap in de richting van vaardig ontwerper.

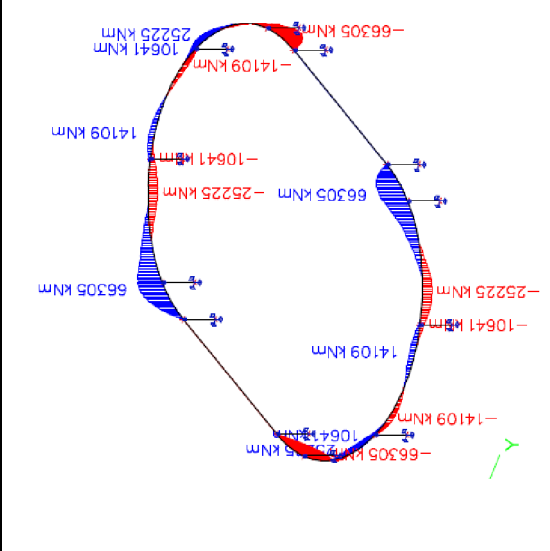
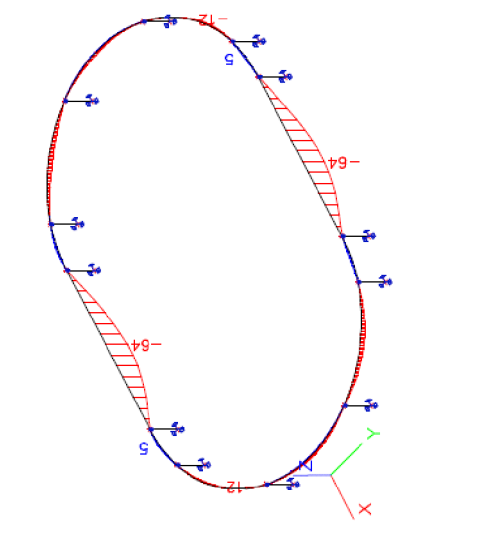
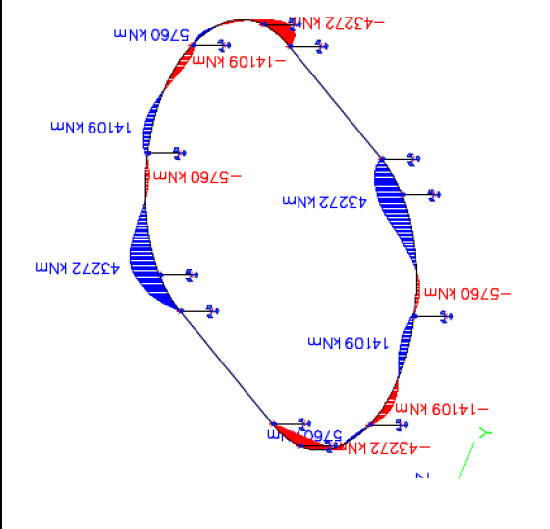
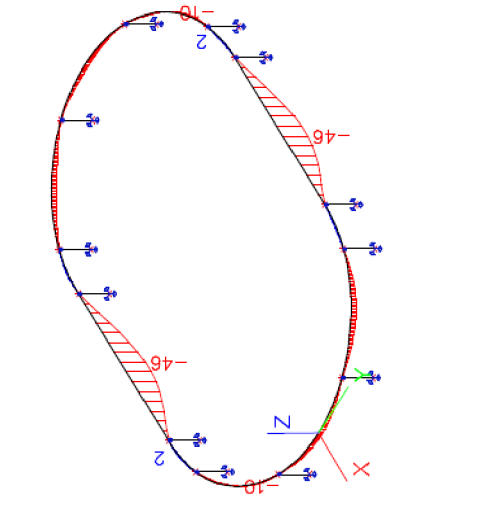
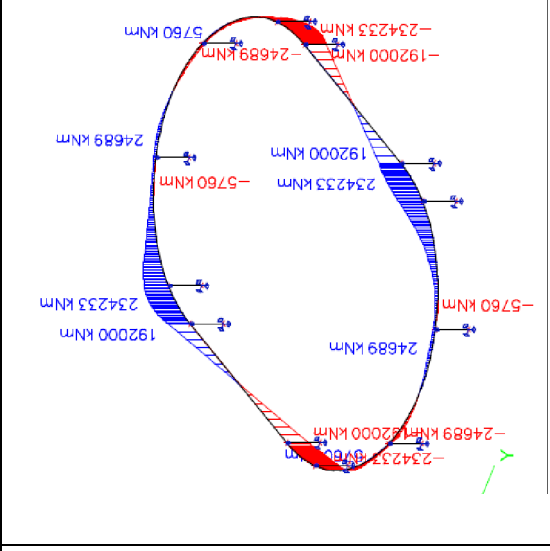
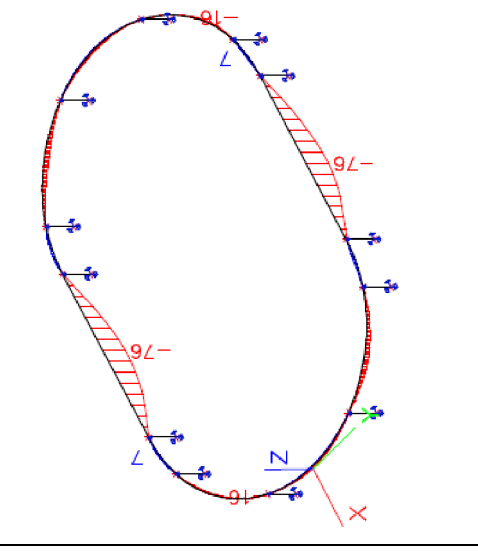




# 10 Bijlagen

## 10.1 Reacties bij verschillende tribuneposities

|                           |                                                                                     |                                              |                                                                                      |                                                  |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Model B3                  |    | De tribune steekt overall naar binnen.       |    | Max. buigend moment: $M_y = 638.372 \text{ kNm}$ |
| Model B2                  |   | De tribune ligt overall boven de netkous.    |   | $M_y = 245.673 \text{ kNm}$                      |
| Model B (gekozen ontwerp) |  | In de bochten steekt de tribune naar binnen. |  | Max. buigend moment: $M_y = 470.444 \text{ kNm}$ |
| Torsiebelasting           |                                                                                     |                                              | Buiging $M_y$<br>Combi UGT                                                           |                                                  |

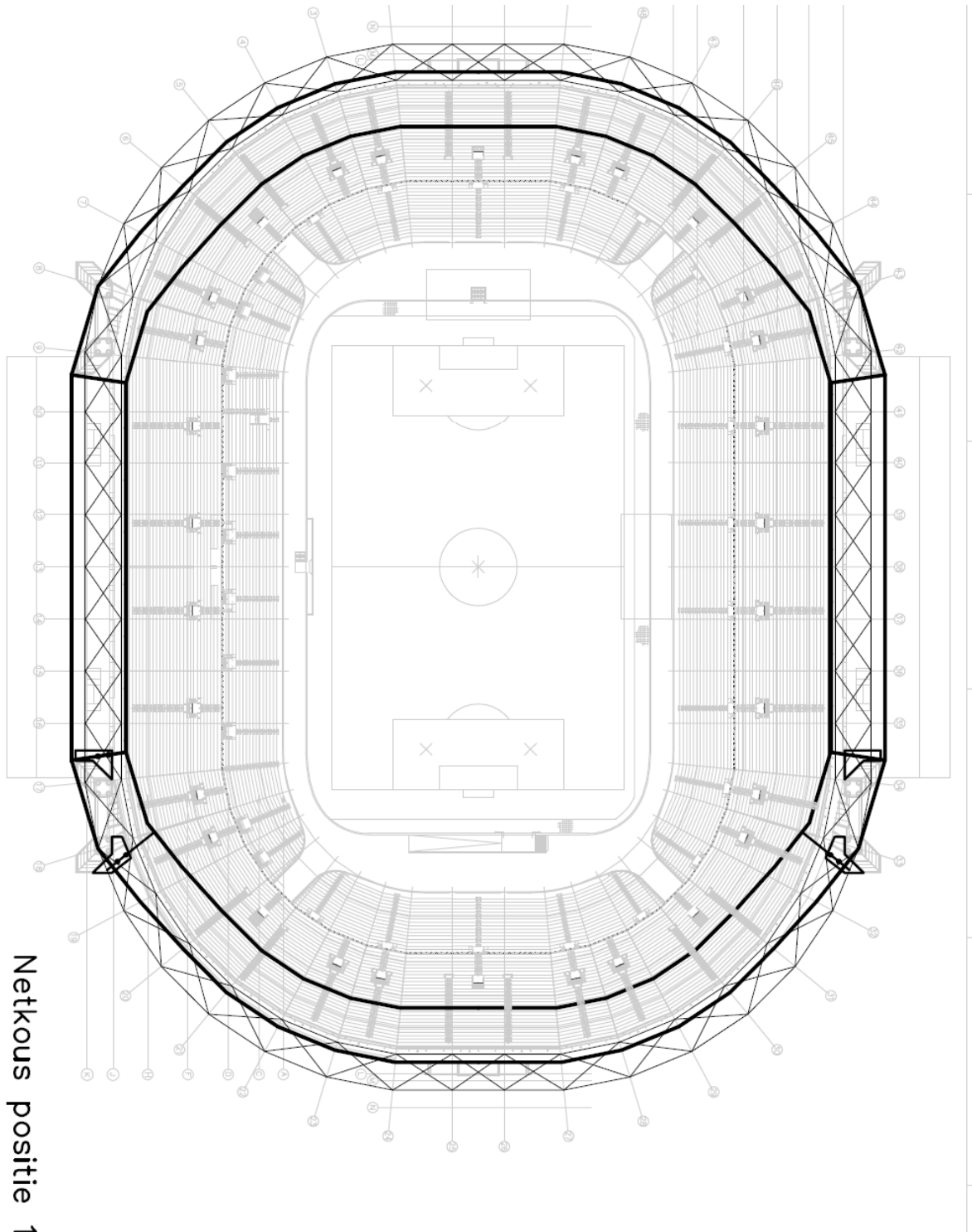
|                           |                                                                                                                                            |                                                                                                                                   |                        |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Model B (gekozen ontwerp) |  <p>Max. torsie <math>T = 66.305 \text{ kNm}</math></p> |  <p>Max. <math>u_z = 64 \text{ mm}</math></p> | Torsie Mx<br>Combi UGT |
| Model B2                  |  <p><math>T = 43.272 \text{ kNm}</math></p>              |  <p>Max. <math>u_z = 46 \text{ mm}</math></p>  |                        |
| Model B3                  |  <p>Max. torsie <math>T = 234.233 \text{ kNm}</math></p>  |  <p>Max. <math>u_z = 76 \text{ mm}</math></p>   |                        |

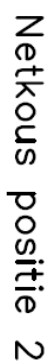
## 10.2 Posities netkous bij opleggingen

In het ontwerpproces kwamen twee mogelijkheden naar voren om de netkous te plaatsen:

1. de netkous strak langs de ArenA, waarbij de torens bij de bestaande trappenhuizen raar verspringen
2. de netkous blijft recht ter plaatse van de bestaande trappenhuizen. Vanaf de nieuwe toren gaat de netkous afbuigen

Hoewel de laatste voor het constructieve gedrag iets minder goed is omdat de excentriciteit van de tribune groter wordt, is toch hiervoor gekozen. De verbinding bij de trappenhuizen wordt namelijk een stuk eenvoudiger. Opgemerkt moet wel worden dat dit een kwestie van persoonlijke smaak is, en dat beide opties mogelijk zijn.

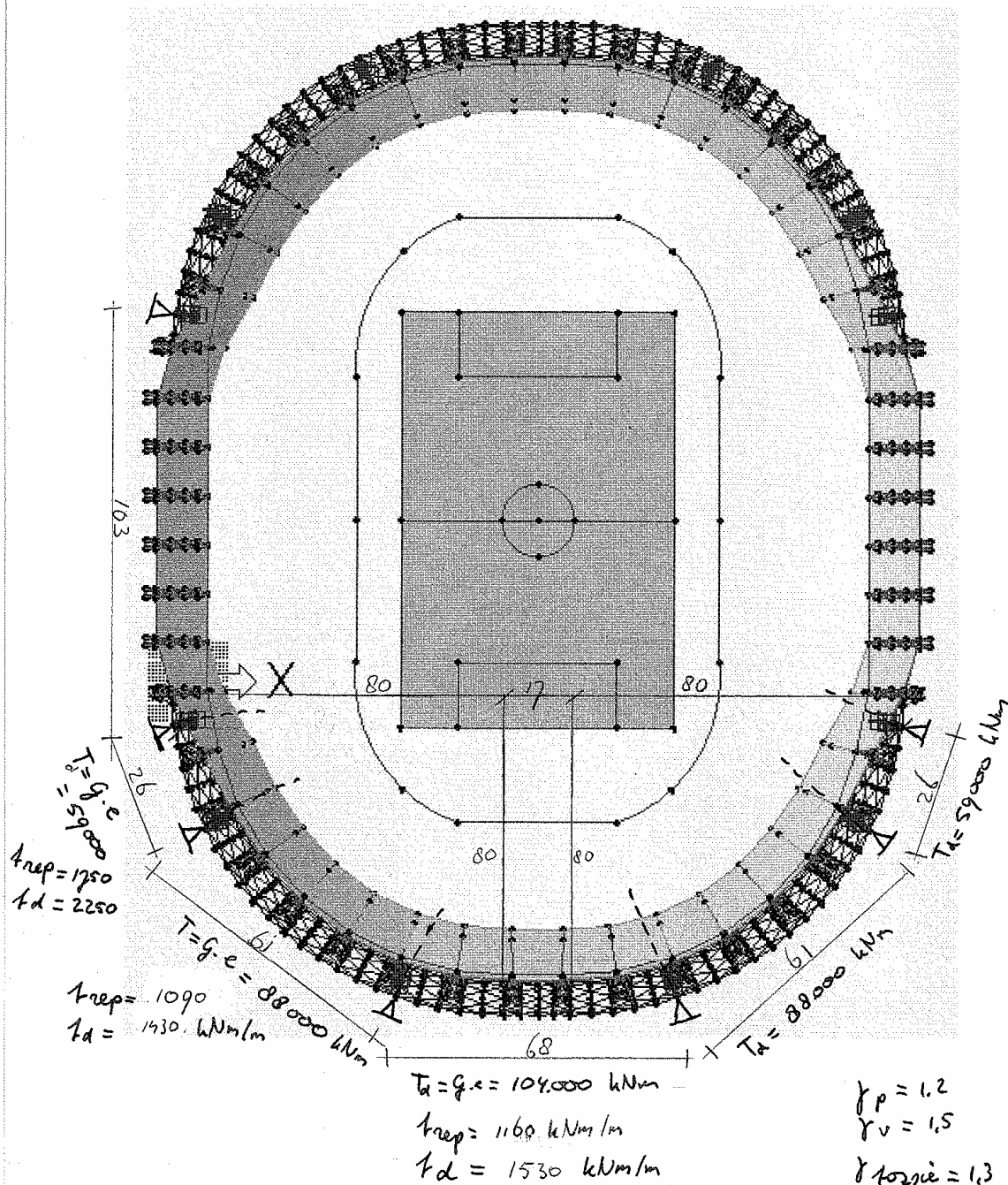




### 10.3 Handberekening torsiebelasting

Met behulp van de spreadsheet uit het Schetsontwerp (zie Bijlage 3 van 4) is per overspanning berekend wat de excentriciteit van de tribune t.o.v. de netkous is. Dit is omgerekend naar een verdeelde torsiebelasting. De resultaten hiervan zijn in onderstaande afbeelding weergegeven.

Resterende torsiebelasting na uitbalanceren



Het gewogen gemiddelde over de gehele bocht wordt in onderstaande berekening gevonden:

### Handberekening ophedende torsie in netkous

Belasting, torsie werkt op rechte lijn tussen steunpunten

$$q_{rep} = 295 \text{ kN/m}$$

$$q_d = 379 \text{ kN/m}$$

$$t_{rep} = 1750 \text{ kNm/m}$$

$$t_d = 2250 \text{ kNm/m}$$

$$1090 \text{ kNm/m}$$

$$t_d = 1430 \text{ kNm/m}$$

$$1160 \text{ kNm/m}$$

$$t_d = 1530 \text{ kNm/m}$$

gewogen gemiddelde van torsiebelasting over de bocht:

$$\begin{aligned} \bar{t}_d &= \frac{t_{d1} \cdot l_1 + t_{d2} \cdot l_2 + t_{d3} \cdot l_3}{l_1 + l_2 + l_3} = \frac{2250 \cdot 2.26 + 1430 \cdot 61.2 + 1530 \cdot 68}{2.26 + 2.61 + 68} \\ &= 1630 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

Hoewel een deel van de belasting uitgebalanceerd is (zie Schetsontwerp), blijft er nog een deel torsiebelasting over, namelijk:

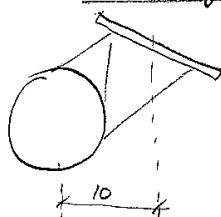
$$t_{\text{gewogen,d}} = 1630 \text{ kNm/m}$$

De eis om dicht op het speelveld te zitten heeft hierin zwaarder gewogen dan zo licht mogelijke staalprofielen.

Zonder het uitbalanceren geldt voor de torsiebelasting de eenvoudige formule  $t = q \cdot e$ . Volgens onderstaande berekening blijkt dat de zuivere torsiebelasting

$$t_{\text{zuiver,d}} = 3800 \text{ kNm/m}$$

### Torsiebelasting tov. de buis zelf



$$t_{rep} = q_{rep} \cdot e = \frac{3630}{12.3} \cdot 10 = 3000 \text{ kNm/m}$$

$$t_d = q_d \cdot e = \frac{4657}{12.3} \cdot 10 = 3800 \text{ kNm/m}$$

$$\gamma_{\text{torsie}} = 1.27$$