

Tijdelijk brugsysteem Tafelconstructie

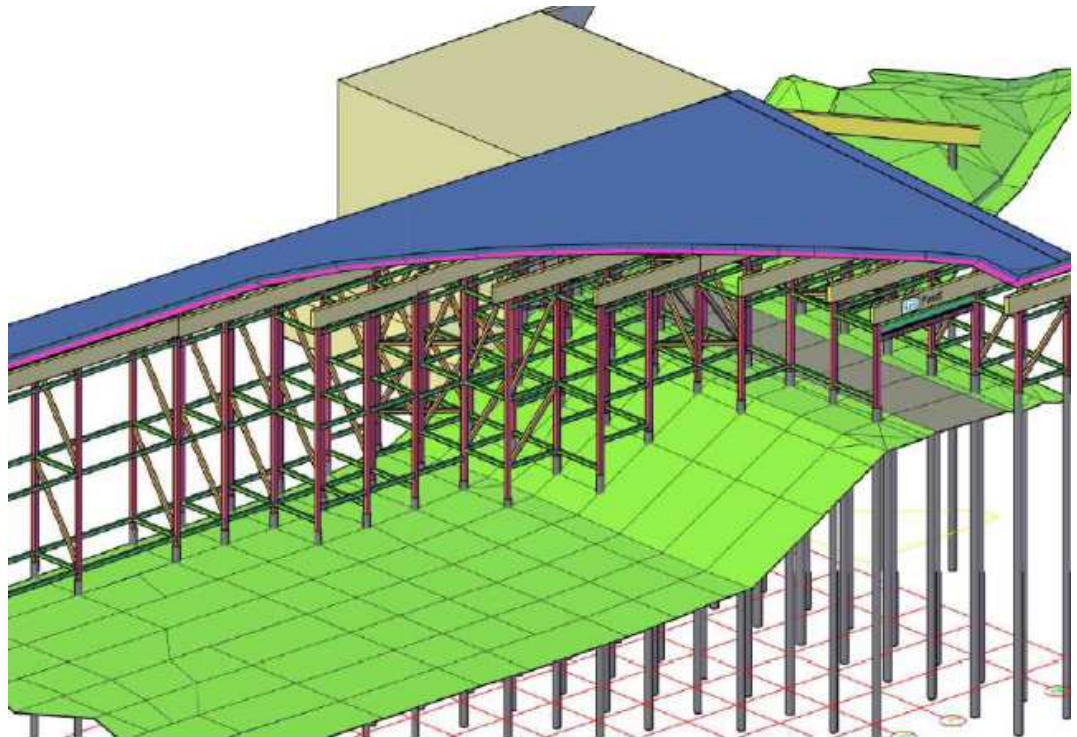
Hoofdrapport afstuderen

Documentcode
002

Status
Definitief

Datum
19-12-16

Versie
1.0



Hoofdrapport afstuderen

Afstudeerproject:
Periode:
Afstudeerbedrijf:
Afstudeerbegeleiders:

Tijdelijk brugsysteem Tafelconstructie
Juni 2016 – januari 2017
Hogeschool van Arnhem en Nijmegen
J.T.M. Beuker
C.J.M van der Zijden

Afstudeergroep:

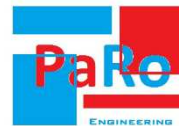
PaRo Engineering
Paul Lucassen
Roy Coenders

Document:

Hoofdrapport

Status:

Definitief



Afstudeerbedrijf / onderwijsinstelling

HAN
Hogeschool van Arnhem en Nijmegen
Afdeling Built Environment
Ruitenberglaan 26
6826 CC Arnhem
T 026 365 82 60
I www.han.nl

Afstudeer begeleiders

1^e begeleider:
Ing. C.J.M. (Kees) van der Zijden
T 06 121 69 290
E k.vdzijden@han.nl

2^e begeleider:
ir. J.T.M. (Thomas) Beuker
T 026 365 8317
E thomas.beuker@han.nl

Afstudeerders

R.A.J. (Roy) Coenders
Studentnummer: 446234
Opleiding: Deeltijd Civiele Techniek
Afstudeerrichting: constructie
T 06 24 91 99 41
E roycoenders1988@gmail.com

P.T.M. (Paul) Lucassen
Studentnummer: 508492
Opleiding: Deeltijd Civiele Techniek
Afstudeerrichting: constructie
T 06 48 47 72 44
E pauillacassen@hotmail.com

Hoofdrapport afstuderen

Documentbeheer hoofdrapport

Versie	Omschrijving wijzigingen
0.1	Concept
0.2	Concept (aanpassingen assistentie 4 verwerkt)
0.3	Concept
0.4	Concept stand van zaken 05-12-2016
1.0	Definitief 19-12-2016

Handtekening leidinggevende:

Ing. W.J. (Jasper) Schilder PMSE

Namens: Dura Vermeer Beton- en Waterbouw
Datum: 19-12-2016

Handtekening begeleiders:

Ing. C.J.M. (Kees) van de Zijden

ir. J.T.M. (Thomas) Beuker

Namens: Hogeschool van Arnhem en Nijmegen

Datum:

Handtekening afstudeerders:

P.T.M. (Paul) Lucassen

R.A.J. (Roy) Coenders

Namens: PaRo Engineering

Datum: 19-12-2016

Voorwoord

Dit onderzoek is opgesteld door Roy Coenders en Paul Lucassen. Het onderwerp van deze afstudeeropdracht is tot stand gekomen nadat de Minor creatief construeren is volbracht.

Tijdens de Minor is de rapportage van de “tafelconstructie” uitgewerkt. De rapportage gaat over het verlengen van een bestaande brug bij Nijmegen. Om ten tijde van de bouw de verkeersstroom te kunnen handhaven is de N325 omgelegd. Dit is gebeurd door naast de bestaande Waalbrug een slinger te creëren waarover het verkeer rijdt. Hierdoor kan het verkeer ongehinderd zijn doorgang vinden. Deze omlegging ligt in de uiterwaarden en gedeeltelijk over de dijk. De uitdaging om de constructie verhoogd uit te voeren is een extra ingewikkeld proces.

In de Minorfase is gekeken naar één specifieke situatie en locatie in het land. Er is gekeken of er een optimalisatie plaats kan vinden in de constructie zoals deze buiten is uitgevoerd. Hier zijn diverse varianten bekeken en behandeld. Uiteindelijk is de keuze gemaakt voor een bepaalde variant. Deze variant heeft dan ook als uitgangspunt gediend voor de afstudeeropdracht. Hierbij is gekeken naar het bredere aspect van inzetbaarheid met betrekking tot situatie en locatie.

De bedrijfsnaam is een samenstelling van beide afstudeerders. Deze afstudeerders zijn werkzaam bij Dura Vermeer op de afdeling ontwerp en constructie. Dit rapport is gemaakt om de opleiding civiele techniek, richting constructie in deeltijd af te ronden, op de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen.

We willen met name ing. K. van der Zijden en ir. T. Beuker bedanken voor de steun tijdens het afstuderen. Zonder alle tips, uitleg en voorbeelden was het verslag nooit tot stand gekomen zoals het nu met trots gepresenteerd wordt.

Ook willen wij onze directe collega's bedanken voor de technische ondersteuning van programmatuur en hun kennis van beton, staal en funderingen.

Dit onderzoek heeft ons veel inzicht gegeven in de constructies. Met name welke uitdagingen tegen kan komen en hoe dit eventueel aan te pakken. Dit is weer een mooi opstapje voor een eventuele vervolg opleiding binnen onze werkzaamheden.

Roy Coenders en Paul Lucassen

Beuningen december 2016

Samenvatting

Nederland heeft een complex wegennetwerk waar jaarlijks veel onderhoud en werkzaamheden aan plaatsvindt. Om verkeersshinder tijdens werkzaamheden aan het wegennet tegen te gaan is het wenselijk dat de verkeersstroming ongehinderd kan voortvloeien. Als verzwaarde afstudeeropdracht zal een integraal ontwerp samengesteld worden. Hierbij is als doel een “hulptool” gemaakt om constructies snel te kunnen bepalen voor een optimaal ontwerp.

Tijdens de Minor is een rapportage van de “tafelconstructie” uitgewerkt. De rapportage gaat over het verlengen van een bestaande brug bij Nijmegen. Om ten tijde van de bouw de verkeersstroom te kunnen handhaven werd de N325 omgelegd. Dit gebeurde door naast de bestaande Waalbrug een slinger te creëren waarover het verkeer rijdt. Hierdoor kon het verkeer ongehinderd voortvloeien. Deze omlegging ligt in de uiterwaarden en gedeeltelijk boven de dijk. De constructie op grote hoogte uitvoeren was hierbij de uitdaging.

In de Minorfase is gekeken naar één specifieke situatie en locatie in het land. Er is gekeken of er een optimalisatie plaats kan vinden in de constructie zoals deze buiten is uitgevoerd door Dura Vermeer. Hierbij zijn diverse varianten bekeken en behandeld. Uiteindelijk is een keuze gemaakt. De gekozen variant is anders dan de daadwerkelijke uitgevoerde variant.

In deze fase is het meest efficiënte ontwerp bepaald voor de gegeven situatie aan de hand van een literatuurstudie en vergelijking tussen meerdere varianten. De standaard opzet van de constructie bestaat uit een betonnen plaat met de wegconstructie. Belastingen die optreden uit voertuigen en overige belastingen op het dek zal door de betonnen plaat opgenomen worden. De krachten worden afgedragen naar de kolommen door middel van stalen profielen, dit zijn de onderslagen en moerbalken. Het ontwerp is gerealiseerd met stalen kolommen welke een vaste stramienmaat van 5 x 5 m in het vierkant gehanteerd worden. Bij de gekozen situatie staat de fundering in de uiterwaarden van de Waal. Hier vinden de belastingen stromend water en ijs plaats en daarom is rekening gehouden met een grote horizontale belasting op de fundering. Het gehele ontwerp is ingevoerd in het rekenprogramma SCIA Engineer. Dit is gedaan omdat met behulp van dit programma complexer te rekenen is.

Bovenstaande uitdaging is aangegaan. De afgelopen maanden is een ontwerp bedacht dat de probleemstelling kan waarmaken. Tijdens het afstuderen staat de volgende doelstelling centraal **“het ontwerpen van een efficiënte omlegging voor maximaal 2 x 2 rijstroken met een maximale snelheid van 50 km/h dat op verschillende locaties in het land, op hoogte, toepasbaar zal zijn.** Dit houdt in dat er een constructie ontworpen zal worden welke op meerdere locaties van het land eenvoudig toepasbaar zal zijn.

De omlegging houdt in dat het verkeer ongehinderd via de constructie een afrit van een brug of viaduct naar de omleidingsroute heeft. Een belangrijk onderdeel hierin is de fundering geweest. Doordat het doel was de constructie op verschillende locaties in het land toe te kunnen passen is hier uitgebreid op ingegaan. Met een zelf ontwikkelde tool kunnen dergelijke constructies snel en eenvoudig ontworpen worden. Deze tool kan landelijk toegepast worden met diverse parameters zoals, afmetingen, hoogte, uitvoering en hoeveelheid staal.

Het gevolg is dat veel sneller een efficiënte oplossing bepaald kan worden en het desbetreffende bedrijf kan de basiselementen op voorraad hebben, want de constructie op de fundering is meestal hetzelfde.

Hoofdrapport afstuderen

Hiermee is een product op de markt gebracht dat vanaf de fundering uniform gehouden wordt en steeds hetzelfde is. Hierdoor kunnen onderdelen steeds hergebruikt worden. De aannemer kan bij soortgelijke situaties snel en gemakkelijk een efficiënt ontwerp op tafel krijgen. Met deze ontwerp tool als hulpmiddel zijn de enige factoren waarmee rekening gehouden moet worden de belastingen, locatie en voorraad van de diverse onderdelen. Hierdoor wordt er veel tijd en geld in engineering bespaard. Tevens kan er een hele snelle levering van een efficiënte constructie op locatie plaatsvinden. In deze tool zijn de huidige eisen gehanteerd. Indien de opdrachtgever afwijkt van de huidige eisen en normen, zal er in overleg een review komen van het huidige ontwerp.

Summary

The road network in the Netherlands is known to be complex: a numerous amount of maintenance activities are therefore needed. Keeping traffic disturbance to a minimum during these activities is therefore the most desired solution, especially since different areal situations are being dealt with in the country. As an extensive thesis report, an integral design will be compiled, wherein a helping tool is designed as a subsequent aim in order to determine the necessary constructions, which can be used for determining an optimized solution.

A report in regard to “table constructions” are worked out during the minor study. In this said report, the extension of an existing bridge in Nijmegen is discussed. To be able to keep the continuous flow of traffic, the national road N325 has been rerouted. This is made possible by the means of creating a pendulum next to the Waal bridge. Since this detour is located on floodplains and partly situated on a dike, the challenge of constructing in high elevations has played an essential role.

During the minor phase one specific situation and location in the Netherlands has been looked upon. Research has been performed to determine whether an optimization of design for the construction can be done, following the practices of Dura Vermeer. For this, several design variations has been looked upon and tackled. As a conclusion, a design has been chosen, noticeably being a different design than the currently executed solution.

During this phase the most efficient design is determined for the given situation, done by means of literary reviews and performing comparisons between different designs. The common set-up of the construction comprises of a concrete slab with a road construction. Forces induced by vehicles and other forces on the deck are determined to be acting on the slab. These forces will be transmitted to the columns by means of steel profiles, namely the cross beams and structural beams. The design features steel columns with a fixed 5 x 5 square grids. The foundation within the chosen solution is situated on the floodplains of the Waal. Forces are imposed by streaming water and ice, requiring the need to take large horizontal forces into account which then act upon the foundation design. The entire design is executed through the computer program SCIA Engineer, since the program offers the possibility to perform complex calculations.

The aforementioned challenge has been performed and executed. During the previous months, a well-thought design has been established ensuring the possibility to perform the problem definition. During the thesis period, the following main aim has been kept into mind: ***“Designing a most efficient traffic detour with a maximum of 2 x 2 traffic lanes, having a maximum speed of 50 kilometres an hour, which, despite heights, can be applied into different locations within the Netherlands.”*** This defines that a construction can be designed which can be simply applied to numerous locations within the country.

Defining this, traffic can flow undisturbed via a construction through a bridge or a viaduct exit, which leads to the re-route. The foundation design has played an essential role in the designing process. Since the aim of this thesis is to be able to build the detour in different locations, an in-depth study has been performed for the said design. Such constructions can be designed quickly and easily using the personalized tool. By integrating several parameters, namely the dimensions, height, execution and amount of required steel, the tool can be used nationwide. This therefore leads to a much faster determination of design. The respective firm can then prepare the basic materials timely, since the construction of the foundation is commonly similar.

Hoofdrapport afstuderen

Through this, a product has been introduced to the market wherein the foundation design is kept in uniform and equal. Materials could therefore be reused and the construction firm can obtain an efficient design expeditiously and effortlessly. By using this design tool as a helping tool the only factors which have to be taken into consideration are the forces, site location and the availability of different components. This then ensures large savings in engineering costs, moreover, a rapid delivery of an efficient construction can be done on site. Current design rules and regulations are implemented in this tool. In the case that the client deviates from the requirements and regulations, a review can take place during a meeting of the current design.

Hoofdrapport afstuderen

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Samenvatting	4
Summary	6
1. Inleiding	10
1.1 Aanleiding	10
1.2 Probleemstelling	10
1.3 Doelstelling	11
1.4 Bijbehorende documenten	12
1.5 Leeswijzer	12
2. Definitie afstuderen	13
2.1 Plan van aanpak	13
3. Voorstudie	14
3.1 Programma van eisen	14
3.2 Literatuurstudie	14
3.3 Uitgangspunten voor berekeningen	15
3.4 Definitief ontwerp vanuit de Minorfase	16
3.4.1 Dekconstructie	16
3.4.2 Onderbouw	17
3.4.3 Fundering	17
3.5 Belastingen voor de optimalisatie van de constructie	18
4. Optimalisatie van het ontwerp uit Minorfase	20
4.1 Dekconstructie	21
4.1.1 Algemeen	21
4.1.2 Betonplaat	21
4.1.3 Onderslagen	22
4.1.4 Moerbalken	22
4.2 Onderbouw	23
4.2.1 Algemeen	23
4.2.2 Kolommen	23
4.2.3 Horizontale verbanden	24
4.2.4 Diagonale schoorverbanden	26
5. Fundering	28
5.1 Paalfundering	28
5.1.1 Type paal	28
5.1.2 Locaties van de sonderingen	29
5.1.3 Uitwerking afmetingen	30
5.2 Verbinding	31
5.3 Fundering op staal	31
6. Uitvoering	34

Hoofdrapport afstuderen

7.	Tool	37
8.	Begroting constructie	39
8.1	Staalconstructie	39
8.2	Fundering	39
8.3	Uitvoering	39
8.4	Conclusie begroting	40
9.	Conclusie	41
10.	Nawoord	42
11.	Bronvermeldingen	43

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

Om minimale verkeershinder tegen te gaan tijdens werkzaamheden aan het wegennet is het wenselijk dat de verkeersstroming ongehinderd kan voortvloeien. In Nederland zijn er veel verschillende situaties van de omgeving. Hierdoor is het wenselijk dat bij grote werkzaamheden zoals een nieuwe brug, grove aanpassingen van aanbruggen/wegtracé, viaducten op hoogte, etc. waarbij het verkeer zich bevindt op een grote hoogte tussen maaiveld en asfaltheogte, zich ongehinderd kan voorplaatsen.

Omdat er in bovengenoemde voorbeelden vaak een wegtracé wordt verlegd zal het verkeer de hoogte tussen de brug en maaiveld moeten overbruggen om zo de omleidingsroute te vervolgen. In de gegeven situatie is gekeken naar een tijdelijke omlegging waarbij rekening is gehouden met verschillende belastingen, waterstanden, stromingssnelheden en verschillen in geologie van Nederland.

Hiervoor is door PaRo Engineering een oplossing bedacht; het 'tijdelijke brugsysteem de Tafelconstructie'. Met deze tijdelijke constructie is het mogelijk om van A naar B te komen zonder directe hinder te ondervinden. In de minor periode is door PaRo Engineering de Minor 'creatief construeren' gevolgd. In deze minor is het probleem uitgewerkt van de bovenstaande oplossing voor één specifieke situatie en locatie in het land. Tijdens deze Minor hebben wij de meest efficiënte oplossing ontworpen voor de locatie zoals deze buiten is uitgevoerd. De oplossing van de Minor dient als basis voor de afstudeeropdracht, waarbij er gekeken zal worden naar het bredere aspect van inzetbaarheid met betrekking tot situatie en locatie.

1.2 Probleemstelling

Het probleem dat zich voordoet tijdens werkzaamheden aan het wegennet is dat het verkeer hier hinder van zal ondervinden. De probleemstelling zal vervolgens luiden: ontwerp een tijdelijk brugsysteem, toepasbaar voor maximaal 2 x 2 rijstroken met een maximale snelheid van 50 km/h, dat op verschillende plekken van het land toepasbaar zal zijn zodat het verkeer weinig tot geen hinder van de werkzaamheden zal ondervinden. Omdat het een tijdelijke constructie betreft en de constructie vaker gebruikt zal worden, is er in de dekconstructie met vaste maten gewerkt. De fundatie van de constructie is afhankelijk van de locatie waar de constructie wordt toegepast. Hierbij zal de meest ideale/economische oplossing uitgezocht worden. Hieronder staan de belangrijkste uitgangspunten van de constructie.

- Stramienmaten kolommen/paalfundering 5 x 5 m;
- Toepassing van betonnen dek;
- Mogelijkheid tot uitbreiding van het platform in vaste maatvoering;
- Levering met normaal transport (geen uitzonderlijk vervoer);
- Balklengtes maximaal 10 m in verband met transport.

Hoofdrapport afstuderen

1.3 Doelstelling

Voor de afstudeeropdracht zijn vooraf de doelstellingen bepaald. Deze worden in paragraaf 1.3 behandeld. De doelstellingen bestaan uit een hoofd- en subdoelstelling. De hoofddoelstelling heeft de meeste prioriteit. Deze doelstelling is de leidraad voor deze rapportage. De subdoelstelling heeft te maken met de persoonlijke doelstellingen van de leden van PaRo Engineering.

De hoofddoelstelling luidt als volgt:

Het ontwerpen van een tool waarmee de meest ideale oplossing voor een tijdelijk brugsysteem ontworpen kan worden, welke op nagenoeg elke locatie in Nederland toepasbaar is. En het onderzoeken van diverse andere aspecten om eventuele verbeteringen aan te brengen.

De subdoelstelling luidt als volgt:

Als subdoelstelling is gekozen om diverse punten welke in de Minorfase buiten beschouwing zijn gelaten te verwerken in de afstudeeropdracht. Deze punten zijn hieronder genoteerd.

- *Belastingcombinaties samenstellen volgens tabel NB.9 uit de Eurocode 0;*
- *Remkracht;*
- *Windbelasting;*
- *Temperatuurbelasting;*
- *Sneeuwbelasting;*
- *Volledig uitwerken van koppeling moerbalk op kolom;*
- *Diagonale schoren toevoegen aan constructie;*
- *Volledig uitwerken van de verbindingen tussen horizontale verbanden en schoren aan kolom;*
- *Volledig uitwerken koppeling kolom aan fundering.*

Deze punten zijn persoonlijk door ons gekozen om toe te voegen aan het afstudeerproject. Deze keuze is gemaakt om de constructie met alle belastingen uit te werken. De berekeningen die voor deze belastingen zijn gemaakt, zijn ook weer terug te zien in de bijlagen van het hoofdrapport.

Hoofdrapport afstuderen

1.4 Bijbehorende documenten

In bijlage A staan de bijlagen die horen bij de hoofdrapportage. Voorafgaand aan de afstudeeropdracht heeft PaRo Engineering de minor 'creatief construeren' gevolgd. De documenten die daar zijn gerealiseerd, liggen ten grondslag aan de afstudeeropdracht.

1.5 Leeswijzer

In deze paragraaf wordt kort beschreven hoe dit rapport gelezen kan worden.

Hoofdstuk 1 geeft kort een inleiding weer over de inhoud van dit rapport.

Hoofdstuk 2 gaat over de definitie 'afstuderen'. Hierin wordt het plan van aanpak van deze rapportage vermeldt en een deel van de planning omschreven.

Hoofdstuk 3 gaat over de voorstudie. Hierin wordt kort het programma van eisen omschreven, een verwijzing omschreven van de literatuurstudie en de uitgangspunten voor het ontwerp beschreven.

Hoofdstuk 4 gaat over de optimalisatie en uitvoering van het DO ontwerp uit de Minorfase.

Hoofdstuk 5 gaat over de fundering van de constructie. Hierin worden beide soorten funderingen behandeld, de paalfundering en fundering op staal.

Hoofdstuk 6 geeft een uitleg weer over de uitvoering van de constructie. Hierin wordt kort beschreven wat de prefabricatie, transport en bouwmethode van de constructie is

Hoofdstuk 7 gaat over de "tool" die is ontwikkeld om in de toekomst soortgelijke constructies snel en eenvoudig te ontwerpen.

Hoofdstuk 8 is de begroting van de constructie.

Hoofdstuk 9 is de conclusie.

Hoofdstuk 10 geeft een nawoord van de afstudeeropdracht. Hier worden de ervaringen tijdens de afstudeeropdracht beschreven.

Hoofdstuk 11 geeft een bronvermelding weer.

2. Definitie afstuderen

2.1 Plan van aanpak

Het doel is het ontwerpen van een tijdelijk brugsysteem dat op verschillende plekken van het land toepasbaar zal zijn zodat het verkeer weinig tot geen hinder van de werkzaamheden zal ondervinden. Hierbij dient een soort "tool" ontwikkeld te worden die als een handleiding gebruikt kan worden bij het ontwerpen van soortgelijke constructies. Het ontwerp uit de afstudeerfase zal een optimalisatie worden op het ontwerp wat in de minor uitgewerkt is. In dit rapport zullen diverse onderdelen van de constructie, die voorafgaand berekend zijn, met korte prikberekeningen aangetoond worden. Voor de onderdelen die nog niet behandeld zijn zullen er uitgebreidere berekeningen gemaakt worden. Deze zijn als bijlage toegevoegd aan dit rapport.

Het ontwerp van deze constructie bestaat uit diverse losse onderdelen die een vaste maatvoering hebben. De onderdelen zijn ontworpen, zodat deze snel en gemakkelijk op de bouwplaats geleverd en gemonteerd kunnen worden. Ook zal het ontwerp van de onderdelen het mogelijk maken om de constructie gemakkelijk te kunnen uitbreiden, mits de vaste stramienmaat van 5 x 5 m wordt gehandhaafd.

Tijdens de minor 'creatief construeren' is de basis uitgewerkt voor deze afstudeeropdracht. Hieronder is kort opgesomd welke stappen doorlopen zijn om dit ontwerp te realiseren.

- Literatuuronderzoek;
- Uitgangspunten bepaald;
- Varianten uitgewerkt en beoordeeld met Multi Criteria Analyse;
- Alternatieven uitgewerkt en beoordeeld met Multi Criteria Analyse;
- Gekozen alternatief geoptimaliseerd en gecontroleerd.

Hieronder wordt kort omschreven wat het afstudeerproces inhoudt. Dit is een uitbreiding op het model dat in de minor is uitgewerkt.

- Gegevens van de Minor opdracht verzamelen en bundelen;
- Programma van eisen en uitgangspunten bepaald;
- Optimalisatie van het ontwerp uit de minor;
- DO ontwerp na optimalisatie;
- Een tool uitgewerkt om snel en eenvoudig een indicatie te krijgen van de constructie;
- Conclusie.

In het 'nieuwe' ontwerp komen de volgende aspecten aan bod die in de minor nog niet behandeld zijn.

- Belastingcombinaties samenstellen volgens tabel NB.9 uit de Eurocode 0;
- Remkracht, windbelasting, temperatuurbelasting, sneeuwbelasting;
- Volledig uitwerken van koppeling moerbalk op kolom;
- Uitwerken van diagonale schoren in de constructie;
- Volledig uitwerken van de verbindingen tussen horizontale verbanden en schoren aan kolom;
- Volledig uitwerken koppeling kolom aan fundering;
- Diverse paalfunderingen controleren in verschillende situaties.

In de bijlage 001 van het plan van aanpak is de planning verwerkt van de uitwerking van het afstudeerverslag. Alle activiteiten zijn hierin meegenomen. Tijdens de uitwerking van het verslag is de planning gevolgd, zodat er effectief aan het rapport gewerkt kan worden.

3. Voorstudie

3.1 Programma van eisen

De opdracht is in overleg met de begeleiders van de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen tot stand gekomen. In dit hoofdstuk zijn eisen benoemd waaraan de constructie dient te voldoen.

Het programma van eisen is opgedeeld in twee verschillende paragrafen. Gebruikseisen en technische eisen. In de paragraaf gebruikseisen is gekeken naar de eisen die voor de gebruiker van de constructie van toepassing zijn. Technische eisen zijn de eisen waaraan de constructie vanuit het technische oogpunt aan dient te voldoen.

Gebruikseisen:

- Volgens de norm “NEN-EN 1990 Grondslagen van het constructief ontwerp” bedraagt de ontwerplevensduur van de constructie maximaal 10 jaar;
- De constructie dient op verschillende locaties in het land toepasbaar te zijn;
- De constructie zal de zwaarste verkeersklasse kunnen verwerken;
- Levering van de constructie onderdelen zonder uitzonderlijk transport.

Technische eisen:

- Van de constructie wordt zowel de boven- als de onderbouw behandeld;
- De dekconstructie, kolommen en schoorwerk van de constructie dienen onderling te koppelen te zijn met behulp van eenvoudig snel toe te passen koppelingen;
- Er dient rekening gehouden te worden met de verschillen in geologie van Nederland;
- Het assembleren van de constructie dient in het werk eenvoudig te kunnen gebeuren.

3.2 Literatuurstudie

Voor de literatuurstudie wordt verwezen naar het bijbehorende document bijlage 017 Rapportage VO tafelconstructie. In dit document is het literatuuronderzoek beschreven. Er is gekeken naar voorgaande projecten die zijn uitgevoerd en welke tijdelijke constructies/materialen in soortgelijke situaties voortkomen.

Hoofdrapport afstuderen

3.3 Uitgangspunten voor berekeningen

Voor het bepalen van belastingen en maatgevende belastingcombinaties wordt gebruik gemaakt van de normen en richtlijnen volgens de Eurocode. De berekeningen worden als bijlage toegevoegd, hierin staat per berekening welke Eurocode van toepassing is.

Uitgangspunten t.b.v. beton:

- Betonsterkteklasse: C30/37;
- Milieuklasse: algemeen; XC4, XF4, XD3;
- Dekking (toegepast bij betonnen dek): 45 mm.
Scheurwijdte buiten beschouwing gelaten, stalen constructie is het hoofddoel.

Uitgangspunten t.b.v. staal:

- Staalsoort: S235, S355;
- Wapeningstaal: B500B;
- Boutkwaliteit: Min. 8.8

Algemene uitgangspunten:

- Ontwerplevensduur: Max. 10 jaar;
- Gevolgklasse: CC2;
- Belastingmodel: BM1.

Het uitgangspunt voor het ontwerp is een constructie te ontwerpen waarbij het verkeer zich in 2 richtingen kan verplaatsen. Verdeling van het dwarsprofiel is als volgt 2x2 rijbanen met een maximum snelheid van 50 km/h en fietsverkeer in beide richtingen.

Onderdeel	Benodigde breedte	
Voetpad	1,5	m
Fietspad	2	m
Ruimte voor afscheiding + goot	0,95	m
Rijstroken (2 x 3 m)	6	m
Middenberm	1,25	m
Rijstroken (2 x 3 m)	6	m
Ruimte voor afscheiding + goot	0,95	m
Fietspad	2	m
Voetpad	1,5	m
Totale breedte	22,15	m

Tabel 1 - Afmetingen wegprofiel

3.4 Definitief ontwerp vanuit de Minorfase

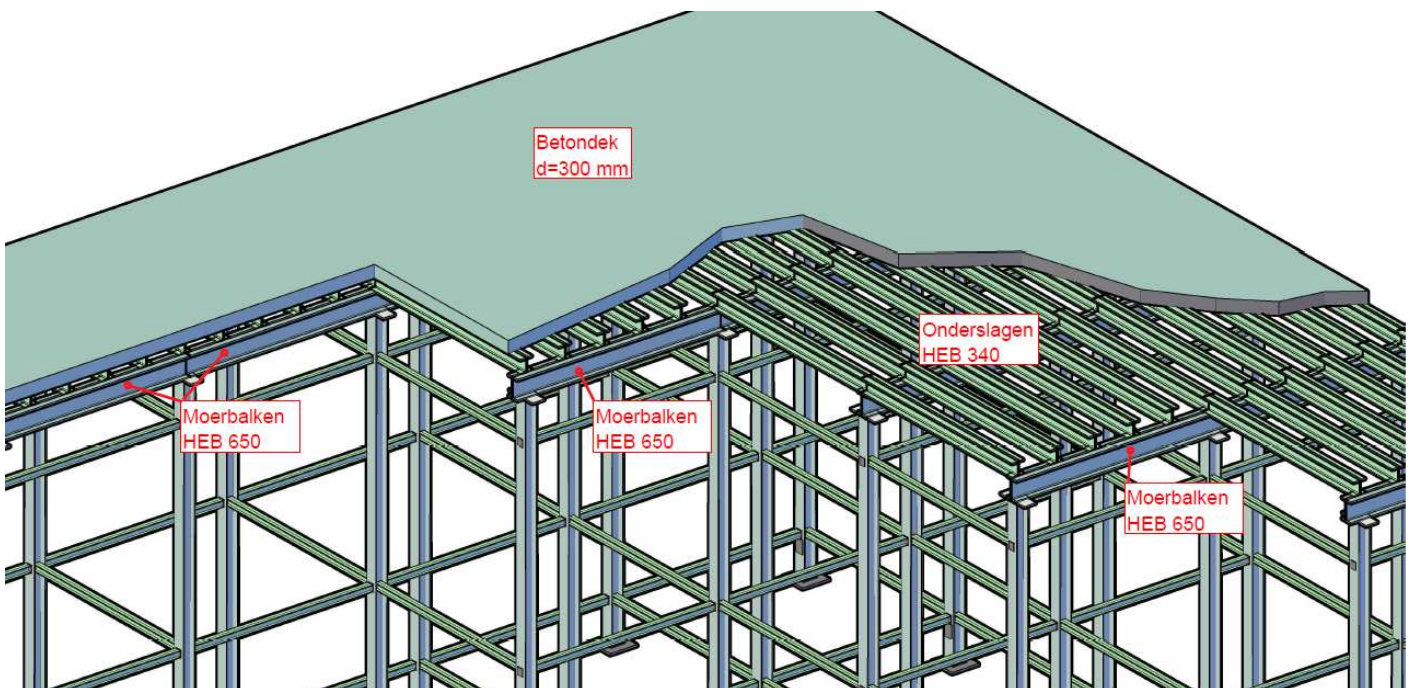
Tijdens de Minorfase van de studie is een ontwerp gemaakt. Dit is terug te vinden in bijlage 018. Dit ontwerp is een optimalisatie van de daadwerkelijk uitgevoerde constructie. Het ontwerp van de constructie is van toepassing op een specifieke locatie in het land. De constructie bestaat uit losse onderdelen en zal verschillende vormen kunnen aannemen. Hierbij is rekening gehouden dat de stramienmaat een vaste maat van 5 x 5 m zal zijn. Deze vaste maat is gebaseerd op de balken die gebruikt worden. Met deze balkenlengte zijn ze ook uitgerekend.

Zoals hierboven is vermeld bestaat de constructie uit losse onderdelen die op locatie gemonteerd worden. De onderdelen die deel uitmaken van de constructie zijn hieronder kort omschreven.

3.4.1 Dekconstructie

Het dek bestaat uit een betonnen rijvloer $d=300\text{mm}$, welke in het werk gestort wordt. Daaronder zijn de stalen HE-profielen aanwezig. Deze dienen als hoofddragliggers voor de betonnen rijvloer te fungeren. Voor de HE-profielen is gekozen voor een HEB 340 profiel.

De onderslagen liggen h.o.h. 1 m verdeeld op de moerbalken en zullen de draagstructuur vormen voor de bovenliggende onderdelen. Deze balken zullen de optredende verticale en horizontale krachten afdragen naar de kolommen. De keuze van de moerbalken is een HEB 650 profiel. In onderstaande afbeelding is te zien hoe de constructie is opgebouwd.



Figuur 1 3D schematisatie van de bovenbouw uit de Minorfase

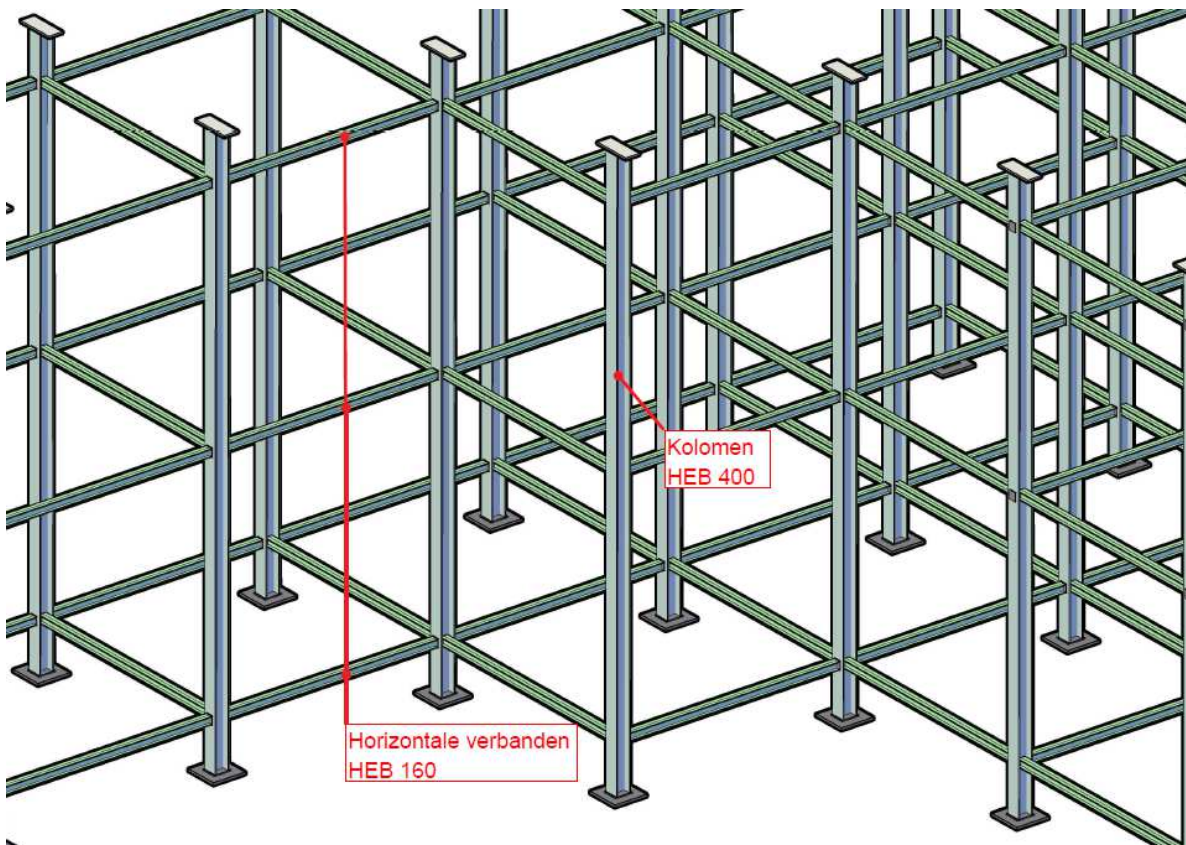
Hoofdrapport afstuderen

3.4.2 Onderbouw

Onder de HEB650 moerbalken bevindt zich de onderbouw van de dekconstructie. Het doel van de onderbouw is om de normaalkrachten, welke uit de dekconstructie komen, over te dragen naar de paalfundering.

In een vaste stramienmaat van 5 x 5 m bevinden zich de kolommen. Het gekozen profiel van de kolommen is een HEB 400. In het ontwerp van de Minorfase is rekening gehouden dat om de 2,5 m in de hoogte een horizontaal verband wordt aangebracht naar de volgende kolom. De profielkeuze van de horizontale verbanden zijn HEB 160 profielen welke tussen de kolommen gemonteerd worden.

In de onderbouw zijn ook trekschoren aangebracht, dit zijn UNP 100 profielen en zitten kruislings van elkaar gemonteerd aan de kolommen. Deze schoren zitten 4x per langsdoorsnede en 4x per dwarsdoorsnede gemonteerd. Deze zijn verder niet berekend en meegenomen in het ontwerp. De insteek hierbij kwam als voorbeeld uit de reader 5369 Mechanica voor de minor creatief Construeren.



Figuur 2 3D schematisatie van de onderbouw uit de Minorfase

3.4.3 Fundering

Omdat in de Minorfase specifiek naar één bepaalde locatie wordt gekeken, is de fundering van de constructie uitgevoerd met een geschroefde stalen buispaal $\varnothing 609$ mm, voorzien van een schroefpunt $\varnothing 850$ mm. De lengte van de palen betreft 11,5 m. De keuze voor deze paal heeft te maken met de grote verticale krachten die op de funderingspalen kwamen. Hierbij is een afweging gemaakt tussen bepaalde afmetingen en is bovenstaande diameter als gunstigste naar voren gekomen.

3.5 Belastingen voor de optimalisatie van de constructie

Nu bekend is wat de uitgangspunten zijn, kan er worden gekeken naar de belastingen die zullen optreden op de constructie. Volgens tabel NB.9 en NB.16 uit de Eurocode 0 - Grondslagen van het constructief ontwerp, zijn de ψ -factoren per belastinggeval bepaald. Alle belastinggevallen die zijn toegepast in het SCIA rekenmodel zijn vooraf bepaald en vastgesteld. Hierna kunnen de belastingcombinaties gemaakt en berekend worden. Bovenstaande is terug te vinden in bijlage 001 belastingcombinaties.

Aan de hand van de afmetingen in Tabel 1 - Afmetingen wegprofiel worden de belastingen uit de as lasten van de voertuigen bepaald volgens Eurocode 1 – Belastingen op constructies. Deze geeft in belastingmodel 1 (BM1) karakteristieke belastingen op van 3 rijstroken + een restbelasting op de overige rijstrook en overige oppervlakte van de constructie. Ook is er rekening gehouden met het spreidingsvlak van de belasting door contact oppervlakten.

Belastingmodel 1, BM1 (gr1a-TS en GVB)

Positie	Tandemstelsel (TS) Aslast Q_{ik} (kN)	Gelijkmatig verdeelde belasting (GVB) q_{ik} (kN/m ²)
Rijstrook nummer 1	300	9
Rijstrook nummer 2	200	2,5
Rijstrook nummer 3	100	2,5
Overige rijstroken	0	2,5

Tabel 2 - Karakteristieke belastingen per rijstrook, conform NEN-EN 1991-2

Remkracht (gr1a + gr2)

Doordat er een mobiele belasting op de constructie plaatsvindt, zal er rekening moeten worden gehouden met een rembelasting van 505 kN. Deze kracht is verdeeld over de oppervlakte van de betonnen plaat. De uiteindelijke kracht waarmee gerekend zal worden bedraagt ca. 0,5 kN/m². Zie bijlage 002 Berekening rembelasting.

Windbelasting (F_{wk})

De constructie krijgt ook te maken met een windbelasting. Deze is in 2 categorieën ingedeeld. Zowel winddruk als windwrijving. De wrijving vindt plaats op de bovenzijde van het dek. Omdat het een open constructie is, zal de grootste belasting van de wind op de zijkant van het dek aangrijpen. De winddruk is daarom verdeeld in wind op de schoren (zowel diagonaal als horizontaal), de kolommen en het dek.

Waar speciaal rekening mee is gehouden, is de wind die niet alleen op de constructie aangrijpt maar ook op de mobiele belasting. Deze staat gesitueerd op het dek. Het kan voorkomen dat er op de constructie filevorming plaats vindt, waardoor er een extra oppervlakte op de constructie ontstaat. Dit geeft een groot oppervlak waar de wind zich kan aangrijpen. De uitwerking van bovenstaande is te vinden in bijlage 003 Berekening windbelasting.

Hoofdrapport afstuderen

Temperatuurbelasting (Tk1 t/m Tk4)

De temperatuurbelasting is tevens meegenomen. Deze is onderverdeeld in een gelijkmatige temperatuurcomponent. Dit hangt af van de minimum en maximum temperatuur die een constructie zal bereiken. Resultaat is het uitzetten en krimpen van de constructie wat kan leiden tot verandering van lengte elementen.

En de tweede is de temperatuurverschilcomponent waarbij een bepaalde periode maximale temperatuursverandering bij opwarming optreedt (bovenzijde dekconstructie) en maximale temperatuursverandering bij afkoeling (onderbouw) plaats vindt. Zie bijlage 004 Berekening temperatuurbelasting.

Sneeuwbelasting

Ook wordt er rekening gehouden met een sneeuwbelasting van $0,56 \text{ kN/m}^2$. Omdat het dek van de constructie uit een grote betonnen plaat bestaat kan hier een verticale belasting van sneeuw op plaatsvinden. De uitwerking van de sneeuwbelasting is te vinden in bijlage 005 Berekening sneeuwbelasting.

4. Optimalisatie van het ontwerp uit Minorfase

Er is besloten om het DO ontwerp uit de Minorfase waar mogelijk te optimaliseren. In hoofdstuk 1.3 zijn de subdoelstellingen van de afstudeeropdracht genoemd. De bedoeling van deze subdoelstellingen zijn om de constructie op een zo nauwkeurig mogelijke manier te construeren. Deze worden meegenomen in de optimalisatie van de constructie. Alle subdoelstellingen zullen uitgewerkt worden en meegenomen als bijlage voor het hoofdverslag.

Om een duidelijk beeld te krijgen van de optredende mobiele belastingen worden deze uitgewerkt in de juiste belastingcombinaties volgens tabel NB.9 uit de Eurocode 0. Deze belastingcombinaties zijn aangemaakt in de SCIA berekening. Zie bijlage 019 Hoofdberekening tafelconstructie.

De belastingen, zoals rem-, wind-, temperatuur- en sneeuwbelasting, zijn apart als subdoelstellingen behandeld en uitgerekend door middel van een handberekening. Deze uitwerkingen zijn in de bijlagen terug te vinden. De belastingen, die voortkomen uit deze berekeningen, zijn meegenomen in het SCIA model bijlage 019.

Door middel van de temperatuurbelastingen ontstaan er grote krachten in de constructie. Met name in de vakken van 5 m x 5 m, waar de diagonale schoorverbanden zijn toegepast. De constructie is een stijver geheel wanneer de diagonale verbanden op die locaties aanwezig zijn. De constructie kan hierdoor plaatselijk minder vervormen. De spanningen zullen hierdoor hoger zijn.

In dit hoofdstuk wordt er ook dieper op enkele details van de constructie ingegaan. Zoals de koppeling van de moerbalken op de kolom en de verbinding tussen de horizontale en diagonale verbanden aan de kolommen. Wederom zijn deze onderdelen met de hand uitgerekend. De uitwerking hiervan is als bijlage toegevoegd.

Hoofdrapport afstuderen

4.1 Dekconstructie

4.1.1 Algemeen

De dekconstructie bestaat uit diverse onderdelen. Deze is opgebouwd uit een betonplaat, de onderslagen en moerbalken. Deze worden afzonderlijk van elkaar behandeld. De dekconstructie is het gedeelte van de constructie dat rust op de kolommen.

4.1.2 Betonplaat

In het werk wordt een betonnen plaat gestort. Deze plaat zal de optredende krachten afdragen naar het staalwerk. Op deze betonnen plaat zal geen optimalisatie plaatsvinden. Er is wel een aanpassing nodig op de wapening in de betonnen plaat. Dit is af te leiden, omdat er nu veel grotere krachten optreden. De belastingen zijn anders en uitgebreider ingevoerd in het de rekenprogramma's. De eigenschappen van de betonnen plaat zijn hierbij:

- Betonklasse: C30/37;
- Dikte: 300 mm;

Ten behoeve van bovenwapening:

$$M_{x,d+} = 163 \text{ kNm};$$

$$M_{y,d+} = 236 \text{ kNm};$$

Toepassen wapening: Ø 20-150 in x-richting

Toepassen wapening: Ø 20-100 in y-richting

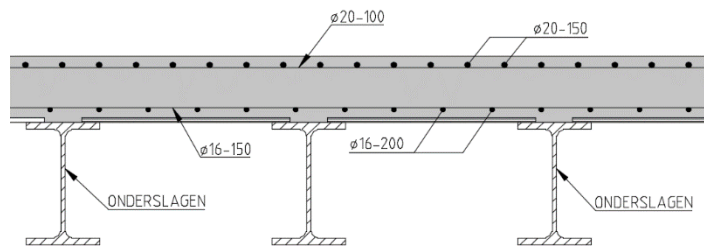
Ten behoeve van onderwapening:

$$M_{x,d-} = 95 \text{ kNm};$$

$$M_{y,d-} = 128 \text{ kNm};$$

Toepassen wapening: Ø 16-200 in x-richting

Toepassen wapening: Ø 16-150 in y-richting



Er zal ook gekeken worden of er een verbinding nodig is tussen het betonnen dek en de onderslagen. Dit is nodig om de horizontale krachten die optreden door de rembelasting van het verkeer op te kunnen nemen. Deze horizontale belasting komt met name voor in de lengterichting van de dekconstructie.

Omdat in de praktijk het verkeer over het asfalt rijdt, met hieronder een dikke laag menggranulaat, zal de horizontale belasting die optreedt gespreid worden door dit pakket. Hierdoor zal het onderliggende betonnen dek dit nauwelijks merken.

4.1.3 Onderslagen

Onder de betonnen plaat liggen de onderslagen. In het ontwerp uit de Minorfase zijn deze balken gedimensioneerd als een HEB 340 balk met een lengte van 5 m. Nadat het SCIA rekenmodel geoptimaliseerd is met de juiste belastinggevallen en belastingcombinaties voldoet de staalcontrole in de UGT fase niet bij alle onderslagen. Uit de controle van het rekenmodel komt naar voren dat bij een groot aantal balken de spanning te hoog is. De wijziging die plaatsvindt om de onderslagen te laten voldoen, is de HEB 340 wijzigen naar een HEB 500. Dit zal toegepast worden bij alle verbindingen.

- Balksoort: HEB 500;
- Lengte: 5 m;
- Staalkwaliteit: S235;
- $M_{\max}$: 162 kNm.

4.1.4 Moerbalken

De moerbalken dienen als hoofddraagstructuur voor de gehele dekconstructie. De moerbalken gaan ervoor zorgen dat de optredende verticale en horizontale krachten worden afgedragen naar de kolommen. In het ontwerp uit de Minorfase zijn deze balken gedimensioneerd als een HEB 650 profiel met een maximale lengte van 10 m. Met behulp van het rekenprogramma SCIA zijn we tot de conclusie gekomen dat de grootte van de balk geoptimaliseerd kan worden naar een HEB 500 balk.

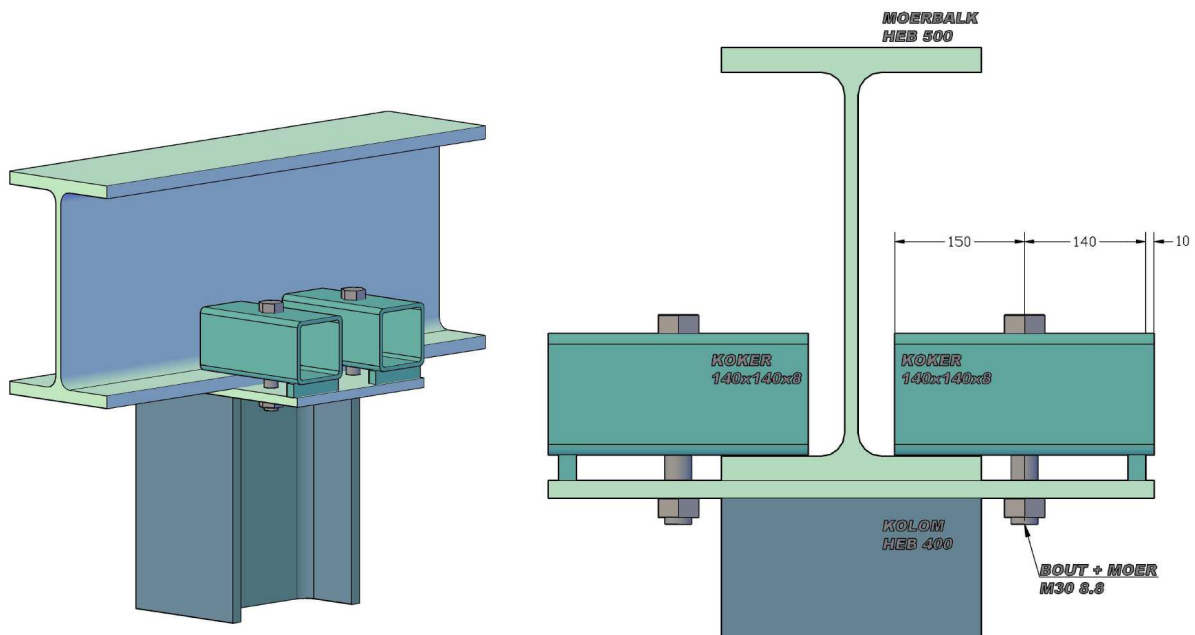
- Balksoort: HEB 500;
- Lengte: 10 m;
- Staalkwaliteit: S235;
- $M_{\max}$: 270 kNm.

In het ontwerp uit de Minorfase zijn de koppelingen van de moerbalken aan de kolommen buiten beschouwing gelaten. In de optimalisatie van het ontwerp zal deze koppeling behandeld worden. Het doel van de koppeling is de zijdelingse belasting die in de moerbalk komt, over te dragen naar de kolommen. Tevens zorgt deze koppeling ervoor dat de moerbalk er niet af kan schuiven.

Door diverse optredende belastingen, ervaart het HEB 500 profiel een zijdelingse belasting. Omdat de constructie niet voldoende neerwaartse belasting van het eigen gewicht op de kolommen heeft, zal deze gekoppeld dienen te worden door middel van een stabiele verbinding. Hier is Figuur 7 situatie verbinding kolom - diagonaal verbandbedacht. De koppeling zal de belasting die optreedt die benodigd is om de moerbalken op z'n plek te houden, over moeten kunnen dragen naar de kolommen.

In bijlage 019 is gekeken naar de maximale dwarskracht die optreedt in de bovenzijde van de kolommen. Deze kracht zal meegenomen worden in de berekening. Verder is er ook gekeken naar de normaalkracht die in de UGT fase optreedt. Dit is overigens alleen het eigen gewicht dat optreedt. Hier is de maximale waarde aangehouden als neerwaartse belasting in het veld.

Hoofdrapport afstuderen



Figuur 3 Koppeling moerbalk - kolom

Voor de koppeling wordt een kokerprofiel 140x140x8 toegepast. Dit profiel wordt vastgeklemd door middel van een boutverbinding door het kokerprofiel en de kopplaat op de kolom. De boutverbinding bestaat uit een M30. De berekening is te vinden in bijlage 006 Berekening koppeling moerbalk en kolom.

4.2 Onderbouw

4.2.1 Algemeen

Onder de moerbalken bevindt zich de onderbouw van de dekconstructie. Het doel van de onderbouw is om alle krachten uit de dekconstructie over te dragen naar de paalfundering. De onderbouw bestaat uit de kolommen, horizontale en diagonale schoorverbanden. Deze onderdelen zullen hieronder afzonderlijk worden behandeld.

4.2.2 Kolommen

Voor de kolommen geldt, wat in de Minorfase is ontworpen nog steeds van toepassing is. Dat betekent dat de kolommen in een raster van 5 x 5 m zullen staan en gedimensioneerd zijn als een HEB 400 balk met een lengte van 6 m. Omdat de kolom een maximale lengte heeft van 6 m is er om de 2,5 m een horizontaal verband aangebracht tussen de kolommen. Dit om het uitknikken van de kolom tegen te gaan. De eerste verbanden zitten op 0,5 m vanaf maaiveld.

- Balksoort: HEB 400;
- Lengte: 6 m;
- Staalkwaliteit: S235;
- $N_{\text{ugt,kolom}}$: 1382 kN;
- M_{max} : 283 kNm.

De kolom is getoetst op knik en voldoet. Dit is terug te vinden in de volgende bijlage: 007 berekening kolom op knik.

Hoofdrapport afstuderen

4.2.3 Horizontale verbanden

Zoals hierboven is vermeld worden de horizontale verbanden aangebracht op de kolommen. De horizontale verbanden dienen als horizontaal stabiliteitsverband voor de kolommen. Deze dragen de optredende belasting verder uit naar de rest van de constructie. Deze horizontale verbanden zitten verticaal op 2,5 m hart op hart uit elkaar. De verbanden worden enkel belast met een normaalkracht. In het ontwerp uit de Minorfase zijn deze balken gedimensioneerd als een HEB 160 profiel met een maximale lengte van 5 m. Uit de SCIA berekening is gebleken dat dit formaat profielen, bij de huidige optredende belastingen niet voldoet.

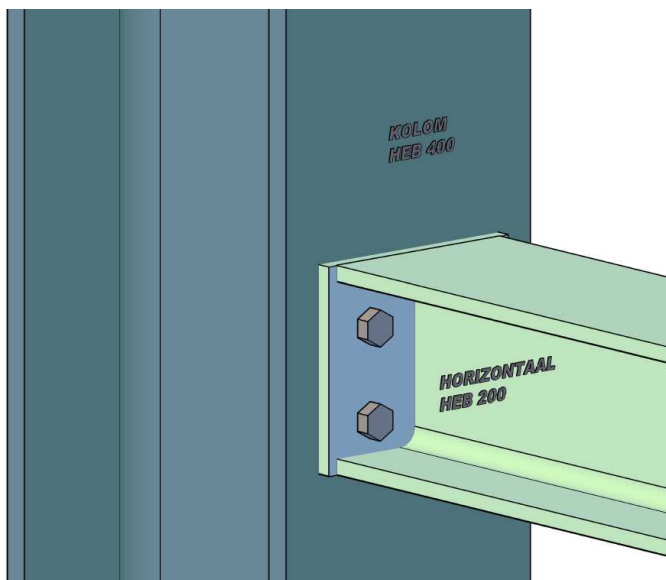
De balken zijn gewijzigd naar een HEB 200 profiel. Hierdoor voldoen alle balken aan de staalcontrole. Dit is grotendeels door de temperatuurbelasting die optreedt.

- Balksoort: HEB 200;
- Lengte: 5 m;
- Staalkwaliteit: S235;
- $N_{\text{ugt,hor.verband}}$: 750 kN.

Hierbij is wederom de knikcontrole van de balk uitgevoerd en deze voldoet. De berekening is terug te vinden in bijlage 008 berekening horizontaal verband op knik.

Er is gekeken naar de koppeling van deze balken aan de kolom. Het type koppeling zal een scharnierende T-verbinding zijn van 90° welke door middel van een boutverbinding vastgezet kan worden. Theoretisch is met deze verbinding een klein momentoverdracht mogelijk. Dit komt doordat de kopplaat aan de flensen gelast zit en een dubbele boutrij toegepast is. Bij een enkele bout rij zou de verbinding zuiver scharnierend zijn.

Om de afwijking in de uitvoering tegen te gaan worden de palen ingemeten en de kopplaten excentrisch aangepast. De stramienmaten van 5 x 5 m kan gewoon gehanteerd worden.

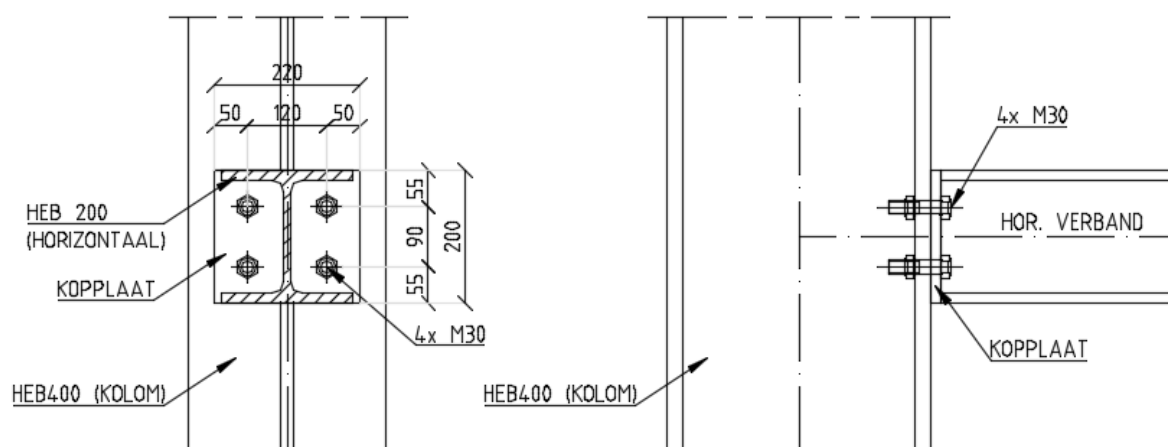


Figuur 4 3D schematisatie verbinding kolom - horizontaal verband

Op het horizontale HEB verband wordt een kopplaat bevestigd door middel van lassen.. Het horizontale verband zal volledig met kopplaten op de bouwplaats aangeleverd worden. Deze kopplaat wordt vervolgens gebout met 4x M30 bouten aan de HEB400 kolom zoals in de figuur hieronder is te zien. Hier kan volgens de berekening M24 bouten toegepast worden.

Hoofdrapport afstuderen

Aangezien bij de diagonale schoor een grotere maat toegepast moet worden, is gekozen voor één standaard bout. Hierbij zal standaard een bout M30 toegepast worden. In bijlage 009 is de berekening van de verbinding verwerkt.



Figuur 5 situatie verbinding kolom - horizontaal verband

De grote belasting in de verbanden is ontstaan door de temperatuurbelasting van de gehele constructie. Met name op de velden waar de diagonale verbanden aangebracht zijn (zie volledige belasting in de tabel.) Doordat bij die knopen de constructie een "stijf" geheel is, wordt de belasting hoger en vinden er minder vervormingen plaats. Op de overige velden kan de constructie meer vervormen (zie overige belastingen.) Kortom meer stijfheid is meer belasting.

Als optimalisatie kunnen de verbindingen apart uitgerekend worden. In dit hoofdverslag is ervoor gekozen om de maximale belasting te hanteren voor alle verbindingen. Tijdens het aanbrengen kunnen hierdoor fouten voorkomen worden door de bouten op de verkeerde locatie aan te brengen. Hieronder een overzicht met een benadering van de meest voorkomende belastingen.

	Belasting(volledig)	Belasting (zonder temp.)	Belasting (overig)
Horizontale verbanden	749 kN	162 kN	430 kN

Tabel 3 Belastingen horizontale verbanden

In bijlage 015 is een tekening van de constructie te vinden. T.p.v. de kruising tussen stramienlijnen 1-2 en O-P bevindt zich deze hoge belasting. Omdat in dit gedeelte van de constructie dezelfde temperatuurbelasting komt als op de rest van de constructie. De krachten zijn hier groter dan bij de overige stramien. Dit komt omdat de belastingen op een kleinere oppervlakte van de constructie plaatsvinden en de krachten geconcentreerder zijn. Daarbij komt ook, omdat in dit gedeelte van de constructie niet alleen horizontale verbanden zitten maar ook de diagonale verbanden. Hierdoor kan de constructie minder vervormen, waardoor de belastingen hoger worden.

Als eventuele optimalisatie kunnen de M24 boutverbindingen met een kopplaat van $t=25$ mm aangepast worden op de velden waar geen diagonale verbindingen zitten naar een M20 verbinding en een dikte van de kopplaat van $t=10$ mm. Er is echter voor gekozen om tijdens de uitvoering fouten te voorkomen en overal dezelfde verbinding toe te passen. In de middelste kolom van Tabel 3 Belastingen horizontale verbanden is de belasting aangegeven zonder dat de temperatuurbelasting optreedt in de constructie. Hierdoor is een duidelijk verschil te zien voor wat betreft de krachten die optreden.

Hoofdrapport afstuderen

4.2.4 Diagonale schoorverbanden

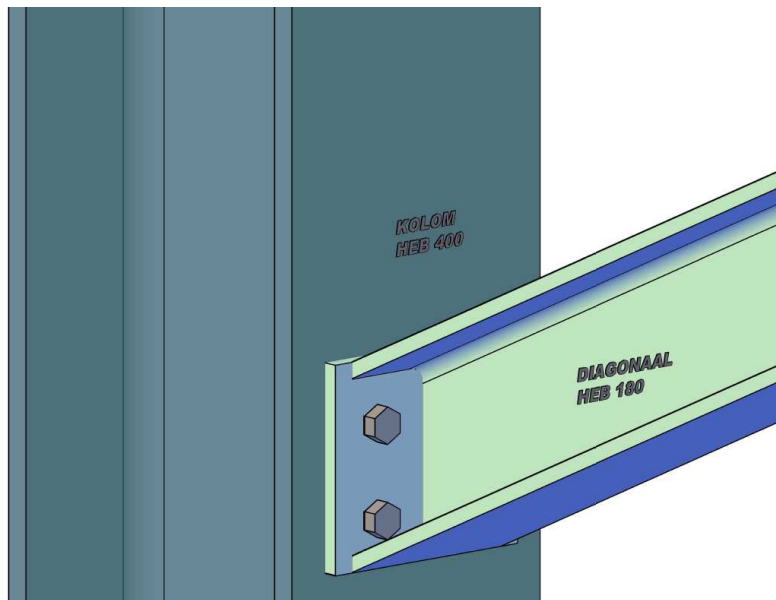
De diagonale schoorverbanden zorgen ervoor dat de horizontale krachten in de constructie afgedragen worden via de kolom naar de fundering. De horizontale krachten zorgen voor momenten in de kolommen. Deze momenten dienen minimaal te blijven. Door het toepassen van diagonale verbanden zal de constructie een stijver geheel worden.

In de Minor fase zijn deze verbanden gedimensioneerd als een UNP 100 profiel (aanname). Door een bewuste keuze, zijn er enkele aannames gedaan betreft deze profielen. Wanneer de berekening in z'n geheel gemoduleerd is met alle juiste belastingen voldoen de profielen niet meer. De profielen zijn echter aangepast tijdens de afstudeerfase.

De toegepaste balken voor de diagonale schoorverbanden zijn HEB 180 profielen. Deze profielen zitten diagonaal tegen de kolommen en in de hoogte tussen de horizontale verbanden, welke op 2,5 m in de hoogte van elkaar zitten. De balken worden enkel belast met een normaalkracht. Door deze optredende krachten te ontbinden blijkt dat er een horizontale belasting en een dwarskracht ter plaatse van het kolommen plaats vinden.

- Balksoort: HEB 180;
- Lengte: 5 m;
- Staalkwaliteit: S235;
- $N_{\text{tug, schoor}}$: 826 kN.

De knikberekening is uitgevoerd en terug te vinden in bijlage 10 berekening diagonaal verband op knik. Ook voor de diagonale schoorverbanden is er gekeken naar een koppeling om de balken aan de kolom te bevestigen. Het type koppeling zal een scharnierende T-verbinding zijn van 25° welke door middel van een boutverbinding vastgezet kan worden.

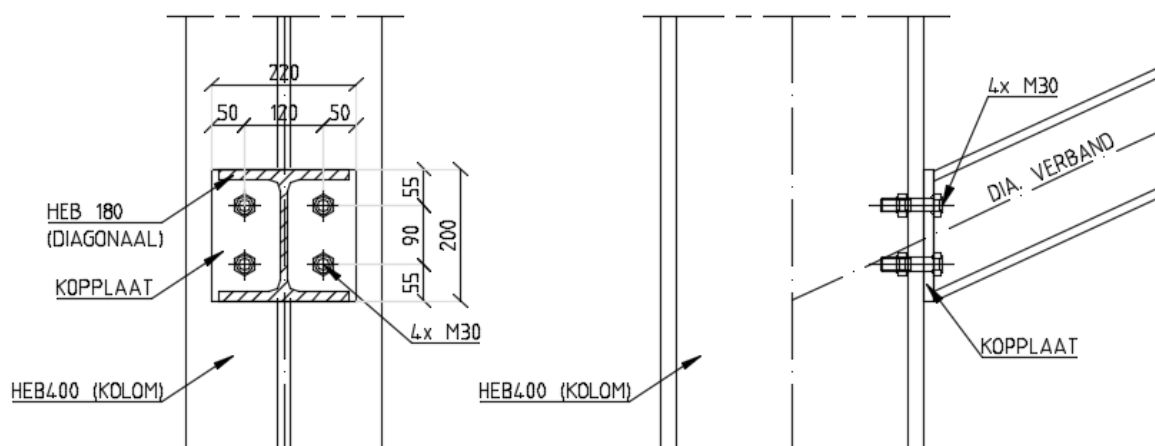


Figuur 6 3D schematisatie verbinding kolom - diagonaal verband

Aan de diagonale HEB verbanden zijn kopplaten bevestigd door middel van lassen. De momenten zijn hier minimaal. Theoretisch is met deze verbinding een klein momentoverdracht mogelijk. Dit komt doordat de kopplaat aan de flensen gelast zit en een dubbele boutrij toegepast is. Het diagonale verband zal volledig met kopplaten op de bouwplaats aangeleverd worden. Deze verbanden worden vervolgens met 4x M30 bouten aan de HEB400 kolom zoals in Figuur 7 situatie verbinding kolom - diagonaal verband te zien is.

Hoofdrapport afstuderen

Aangezien de M27 geen veel voorkomende boutmaat is, wordt er gekozen voor een standaard M30 uitvoering. Bij een enkele boutrij zou de verbinding zuiver scharnierend zijn. In bijlage 011 is de berekening van de verbinding verwerkt.



Figuur 7 situatie verbinding kolom - diagonaal verband

De grote belasting in de verbanden is ontstaan door de temperatuurbelasting van de gehele constructie. Met name op de velden waar de diagonale verbanden aangebracht zijn (zie volledige belasting in de tabel.) Doordat bij die knopen de constructie een "stijf" geheel is geworden wordt de optredende belasting hoger. Op de overige velden kan de constructie meer vervormen (zie overige belastingen.)

Als optimalisatie zouden beide verbindingen apart uitgerekend kunnen worden. In dit hoofdverslag is ervoor gekozen om de maximale belasting te hanteren voor alle verbindingen. Tijdens de uitvoering kan dit ook fouten voorkomen door de verbinding op de verkeerde locatie aan te brengen. Hieronder een overzicht met een benadering van de meest voorkomende belastingen.

	Belasting(volledig)	Belasting (zonder temp.)	Belasting (overig)
Diagonale verbanden	826 kN	293 kN	408 kN

Tabel 4 Belastingen diagonale verbanden

In bijlage 015 is een tekening van de constructie te vinden. T.p.v. de kruising tussen stramienlijnen 1-2 en O-P bevindt zich deze hoge belasting. Omdat in dit gedeelte van de constructie dezelfde temperatuurbelasting komt als op de rest van de constructie. De krachten zijn hier groter dan bij de overige stramien. Dit komt omdat de belastingen hier op een kleinere oppervlakte van de constructie plaatsvinden en zo de krachten geconcentreerder zijn. Daarbij komt ook dat in dit gedeelte van de constructie niet alleen horizontale verbanden zitten maar ook de diagonale verbanden. Hierdoor kan de constructie minder vervormen, waardoor de belastingen hoger worden.

Als eventuele optimalisatie kunnen de M27 boutverbindingen met een kopplaat van $t=25$ mm aangepast worden op de velden waar geen diagonale verbanden zitten naar een M16 verbinding en een dikte van de kopplaat van $t=20$ mm. In de middelste kolom van Tabel 3 Belastingen horizontale verbanden is de belasting aangegeven zonder dat de temperatuurbelasting optreedt in de constructie. Hierdoor is een duidelijk verschil te zien voor wat betreft de krachten die optreden.

Voor de verbindingen is overal een boutverbinding M30 toegepast, aangezien de M27 geen gangbare handelsmaat is voor de bouten. Om tijdens het aanbrengen fouten te voorkomen is de M30 verbinding aangehouden voor alle verbindingen.

5. Fundering

De fundering is het laatste berekende onderdeel van deze constructie. De fundering is het deel van de constructie dat ervoor zorgt dat het eigen gewicht van de constructie met de optredende krachten, overgedragen worden aan de draagkrachtige ondergrond. Men onderscheidt verschillende soorten funderingen afhankelijk van de optredende belastingen die voortkomen uit de constructie en de draagkracht van de ondergrond. Voor de fundering wordt gekeken naar een paalfundering en een fundering op staal. Funderen op staal is het aanbrengen van een betonnen fundatie direct op een draagkrachtige laag direct onder het maaiveld.

Een paalfundering wordt toegepast wanneer de grond nabij het maaiveld niet draagkrachtig genoeg is voor een fundering op staal. De paalfundering geleidt de krachten die opgenomen moeten worden af naar dieper gelegen zandlagen. Deze zijn draagkrachtig genoeg om de belastingen op te nemen. De paalfundering kan ook zijn draagkracht ontleenen aan kleef. Dit is het “plakken” oftewel kleven aan de bodemlagen waar de paal doorheen is aangebracht.

Tussen de varianten funderen op staal en paalfundering zal bekeken worden welke optie de meeste belasting kan opnemen met de minste vervorming en verplaatsing. Er wordt gekeken welke fundering voor bepaalde locaties het meest voor de hand liggend is met betrekking tot de grondslag.

5.1 Paalfundering

5.1.1 Type paal

Voor de vergelijking van de paalfundering worden verschillende palen nader bekeken. De volgende 3 types zijn uitgewerkt in de berekeningen:

- De traditionele prefab betonpaal is een grond verdringende paal, variërend in de maten vierkant 180 mm tot vierkant 500 mm. De benodigde lengte zal in overleg met de betreffende leverancier besproken worden. Gezien de berekende lengte van 17 m, is er besloten om de betonpaal vanaf vierkant 400 mm mee te nemen in de berekening. Dit is gedaan omdat deze paal anders te slank is voor deze lengte. De betonpalen worden vanaf het maaiveld aangebracht door middel van heien. Het vaststellen van de lengte gebeurt in overleg met de leverancier van de palen.
- Stalen buispaal (geschroefd) is een in de grond gevormde, grond verdringende paal met een vaste stalen punt. Deze paal wordt gedraaid aangebracht tot de benodigde diepte. De buis wordt gevuld met beton inclusief een wapeningskorf en afgewerkt op maaiveld niveau. Hierbij variëren de afmetingen van de buis van Ø168 mm tot Ø762 mm en het schroefpunt van Ø300 mm tot Ø945 mm. Deze palen kunnen tot een lengte van 30 m aangebracht worden. (afhankelijk van het transport.) De lengte is in dit geval geen belemmering. Dit komt meestal doordat de manier van aanbrengen bepalend is. Deze paal is waarschijnlijk in deze situatie het meest voor de hand liggend.
- Een vibropaal is een in de grond gevormde, grond verdringende paal. Deze is met behulp van een heiend ingebrachte stalen hulpbuis (met punt) op diepte gebracht. Vervolgens wordt de buis gevuld met wapening en beton. De stalen buis zal langzaam trillend getrokken worden. De afmetingen van deze buis variëren van Ø273 tot Ø610mm waarbij de voetplaat 50mm groter is dan de paalafmeting.

5.1.2 Locaties van de sonderingen

Bij de paalfundering zijn vier regio's (Noord, Oost, Zuid en West) in Nederland bekeken met daarbij de 3 verschillende paaltypes. De verschillende locaties zijn in Figuur 8 Locaties van sonderingen t.b.v. de paalfunderingen te zien. Per regio zijn in het Dinoloket verschillende locaties digitaal bekeken en van elke regio uiteindelijk 1 sondering verwerkt. Zie bijlage 013-2a t/m 013-2L. Hieruit volgen de rekenwaardes die verwerkt zijn in bijlage 013-1a t/m 013-1L.



Figuur 8 Locaties van sonderingen t.b.v. de paalfunderingen

In het westen van het land is de grond minder geschikt om te bouwen met funderen op staal. Vandaar de lange paalfundering die toegepast dient te worden. Maastricht en Neede zijn veel beter geschikt door de "betere" grond. Echter kan in Maastricht de paalfundering nog een stuk korter uitgevoerd worden. Deze grond bestaat uit een harde steensoort. De keuze van paalttype ligt vaak bij de uitvoeringsmethode (manier van aanbrengen.)

Hoofdrapport afstuderen

5.1.3 Uitwerking afmetingen

Per locatie zijn de drie verschillende paaltypes uit paragraaf 5.1.1 berekend. Hieruit volgen de rekenwaardes die benodigd zijn voor het bepalen van de paalafmetingen. Met deze gegevens wordt de diameter van de paal bepaald. De keuze van Amsterdam en Neede voor een grotere afmetingen van de betonpaal heeft te maken met de uit te voeren lengte. Als de betonnen paal een kleine doorsnede zal hebben met een lange lengte zal de paal zeer kwetsbaar zijn tijdens het vervoeren, hijsen en heien. De kans dat de paal zal breken in die fase is zeer aannemelijk.

In de tabel hieronder zijn de verschillende opneembare belastingen per paaltipe en locatie weergegeven.

	Amsterdam		Neede		Maastricht		Groningen	
	Afmeting:	kN	Afmeting:	kN	Afmeting:	kN	Afmeting:	kN
	L=17m		L=13m		L=5m		L=11m	
Betonpaal	vk320	1454	vk250	1387	vk500	2872	vk500	1915
	vk400	2107	vk400	3137				
Stalen buispaal (geschroefd)	Ø324/450	1539	Ø324/450	2341	Ø355/560	2149	Ø609/850	1980
Vibropaal	Ø340/390	1611	Ø300/350	2017	Ø380/430	1504	Ø610/660	2131

Belasting op de paal is 1374kN. Gekeken is naar de eerstvolgende paal die voldoet

vk400 toepassen ivm handeling

Tabel 5 Belastingen per regio en paal

De op te nemen belasting per paal heeft in dit geval geen directe invloed op de uit te voeren paaltypes per locatie. Aan de hand van een calculatie zal de verhouding paaltipe/prijs vergeleken worden. Hieruit volgt de juiste uitvoering per locatie. In totaal zijn er 12 combinaties die bekeken zullen worden. Zie bijlage 020 voor de begroting van de palen.

Horizontale belasting

De palen met de uitgerekende afmetingen zijn in het SCIA model verwerkt. Per locatie is de horizontale beddingsconstante bepaald. Dit is gedaan door middel van de beschikbare sonderingen op te delen in verschillende grondlagen. Elke grondlaag heeft zijn eigen eigenschap en zal dus anders reageren. Per grondlaag is de gemiddelde conusweerstand bepaald. Met bijbehorende gegevens van de grond is in bijlage 013-4, gebruik gemaakt van de methode Ménard. Hierbij is de beddingsconstante (kh) per m¹ grond bepaald. In dezelfde bijlage is ook de benodigde veerstijfheid (k-waarde) berekend. Deze waarde zal in het SCIA model ingevoerd worden voor de veerstijfheid.

Zoals hierboven is vermeld, zijn er 12 combinaties mogelijk met de verschillende locaties en paaltypes. Per combinatie is er een SCIA model aangemaakt waarin de palen inclusief de veerstijfheid van de grond is ingevoerd. Vervolgens wordt er door SCIA gerekend waarbij er een model met reactiekrachten op elke veer ontstaat. Door uit te rekenen wat de opneembare kracht per veer is. Wordt er gekeken welke kracht per m¹ opgenomen kan worden door de grondlagen. Wanneer de opneembare kracht groter is dan de optredende kracht, dan is de grond stijf genoeg om de krachten op te nemen.

De SCIA modellen zijn als bijlage 013-3 meegeleverd.

5.2 Verbinding

Op de stalen buispaal wordt een kopplaat aangebracht na het op hoogte afbranden van de buispaal. Voor de verbinding van de paal met de kopplaat is alleen de las uitgerekend. Deze ronde aansluiting is als aanname in een vierkante las uitgerekend. Zie bijlage 012-1. Als controle op de kopplaat is de voetplaat van de kolom aangehouden. Hierbij heeft de stalen plaat de grootste overstek, dus de meeste vervorming. Deze stalen plaat is maatgevend en voldoet dan altijd als kopplaat op de buispaal.

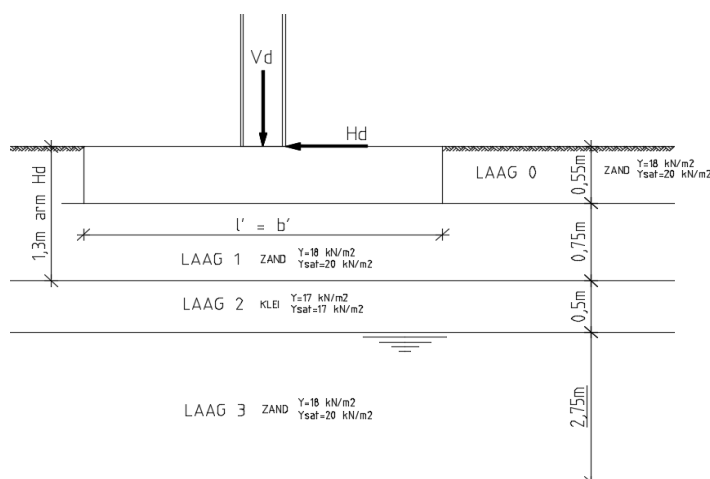
De maattolerantie wordt opgevangen door na het aanbrengen van de paalfundering deze in te meten. Vervolgens de kopplaat op de paal excentrisch aan te brengen, zodat het raster van 5x5m uitgevoerd kan worden. De verbinding is als aanname in de bijlage voor het hoofdverslag centrisc berekend.

5.3 Fundering op staal

Omdat we in Nederland ook te maken hebben met grondslagen waarbij de draagkrachtige grondlaag vlak onder het maaiveld ligt voor een fundering op staal. Zal deze nader bekeken worden.

Voor de fundering op staal is gekeken naar een sondering die hiervoor geschikt is. Aan de hand van de berekening (bijlage 014-1), is naar voren gekomen dat de kleilaag voor de negatieve invloeden zorgt.

Om de maatgevende horizontale en verticale belastingen te verwerken zijn uit het SCIA model de desbetreffende belastingen gehaald. Voor de berekening van de verticale belasting (V_d) is echter alleen het eigen gewicht van de constructie meegenomen. Voor de Horizontale belasting (H_d) is de rem, wind en ijsbelasting meegenomen. De fundatie zal vrijwel niet reageren op de aslasten beweging op de constructie. Deze belasting is van korte duur. Bij een aanname van lengte en breedte van 3,6 m voldoet de fundatie in alle gevallen. Wanneer de afmetingen groter worden zal de zakking toenemen, omdat het eigen gewicht groter wordt. De fundatie is in dit geval 0,55m hoog en op deze ondergrond zal deze voldoen. Dit wordt berekend in bijlage 014-1 en 014-2. De situatie van de fundering is opgebouwd volgens onderstaande Figuur 9 Situatie funderen op staal. Bij een berekening van een fundering op staal zal er met een aantal factoren rekening gehouden moeten worden. Deze factoren worden op de volgende pagina beschreven.



Figuur 9 Situatie funderen op staal

Hoofdrapport afstuderen

Draagkracht ongedraineerd gedrag

Dit betekent een grondopbouw met slechte water doorlatende grond waarbij de belasting nog maar net optreedt en er waterspanningen heersen. De optredende belasting (eigengewicht en belastingen) moet kleiner zijn dan de reactiekracht die bij deze situatie plaats vindt. Wanneer de belastingen toenemen zal de oppervlakte van de fundatie groter moeten worden. Dit kan ook weer gevolgen hebben voor de fundatiehoogte. Om de toelaatbare reactiekracht te berekenen zal met de effectieve afmetingen van de fundatie gerekend moeten worden. Dit wil zeggen de minimale afmetingen van de fundatie voor het opnemen van de optredende krachten. Zie bijlage 014-1 voor de afmetingen.

Draagkracht gedraineerd gedrag

Dit staat voor een goede water doorlatende grond waarbij de belasting al enige tijd aanwezig is. Er zijn geen waterspanningen. De effectieve oppervlakte van de fundatie in m^2 kan dan kleiner zijn, omdat de grond stabiel is. Wanneer de horizontale belasting hoger gaat aangrijpen dan zal het aantal m^2 van de fundatie groter worden. Dit komt omdat er een groter moment ontstaat. Wanneer de kleilaag dikker zou zijn heeft dit grote invloed op de fundatie. Zie bijlage 014-1.

Doorponsen fundatie (in de bodem)

Bij de uitgangspunt van de fundatie $3,6 \times 3,6$ m voldoet het doorponsen van de fundatie op de onderliggende grondlagen met de effectieve afmetingen van de fundatie. Bij het doorponsen wordt gerekend met de efficiënte afmetingen van de fundatie in plaats van de daadwerkelijke afmetingen. De invloeddiepte (diepte tot draagkrachtige laag) geeft bij het berekenen van het doorponsen de doorslag op de controle. Zie bijlage 014-1.

Horizontaal afschuiven ongedraineerd

Op de oppervlakte van de fundatie op onderkant fundatie niveau komt een correctie door de afschuiving die berekend wordt. Met de nieuwe gecorrigeerde afmetingen worden de toelaatbare belastingen bepaald. Dit is de waarde die nodig is om de afschuiving op te vangen. Wanneer de oppervlakte van de fundatie kleiner zal worden zal de fundatie gaan afschuiven (verschuiven) ten opzichte van de bodem. Zie bijlage 014-1.

Horizontaal afschuiven gedraineerd

Doordat de grond geen waterspanningen heeft en al enige tijd belast wordt zal deze situatie meer belastingen op kunnen vangen dan de ongedraineerde situatie. De oppervlakte van de fundatie zou in dit geval kleiner zijn. Alleen voldoet deze constructie dan niet op draagkracht op de fundatie. Zie bijlage 014-1.

Zakking fundatie

Door met de werkelijke afmetingen van de fundatie te rekenen in relatie tot de invloeddiepte wordt per laag de zakking berekend. De zakking is in dit geval vrij veel maar hier was echter geen eis aan gegeven. De aanwezige kleilaag zorgt voor de meeste zakking. Zand zorgt voor een stabielere fundatie met minder zakking. Door de belastingen uit te vergroten zal er vrij weinig met de zakking gebeuren. Alleen het gewicht van de fundatie zorgt de grootste zakking. Zie bijlage 014-1 voor uitwerking. De constructie kan pas aangebracht worden nadat de betonnen poer volledig 'gezak't' is. De zakking door het eigen gewicht van de constructie zorgt voor een zakking van enkele millimeters.

Hoofdrapport afstuderen

Doorponsen kolom op de fundatie

De berekende uitgangspunten van de fundatie zijn de afmetingen die volgen uit bijlage 014-1. Hierop staat de kolom gecentreerd (opp. 400 mm x 300 mm). Onder deze kolom is een kopplaat bevestigd van 600 mm x 500mm die de belasting overdraagt naar de betonnen fundatie. De opwaartse op te kracht moet gelijk of meer zijn aan de verticale optredende belasting uit de constructie.

Als aanname is Ø16 wapening aangehouden bij beton C30/37 en een dekking van 30mm. Met deze uitgangspunten zou er extra ponswapening toegepast moeten worden. De keuze is echter gemaakt om geen extra wapening toe te passen, maar de dikte van de fundatie aan te passen van 500mm naar 550mm. Hiermee voldoet de fundatie en zal de kolom niet door de fundatie gedrukt worden.

Uitwerking zie bijlage 014-2.

6. Uitvoering

Prefabricatie

Omwille van de kwaliteitseisen die aan de constructie gesteld zijn, is het wenselijk om de diverse losse onderdelen van de constructie vooraf in een gecontroleerde omgeving te prefabriceren. Afhankelijk van de vooraf gestelde eisen door de opdrachtgever met betrekking tot de hoogte, lengte en breedte van de constructie, zullen de losse onderdelen van tevoren op de juiste maten geprefabriceerd worden. Dit wil zeggen dat het staalwerk op maat gemaakt wordt en de benodigde kopplaten inclusief gatenpatroon voor de koppelingen voorafgaand op de stalen balken gemonteerd worden door middel van lassen. Aan de hand van de gestelde eisen en belastingen die op de constructie komen zullen er berekeningen gemaakt worden waardoor de boutverbindingen, die benodigd zijn om de losse constructieonderdelen aan elkaar te monteren, bepaalt kunnen worden.

Transport

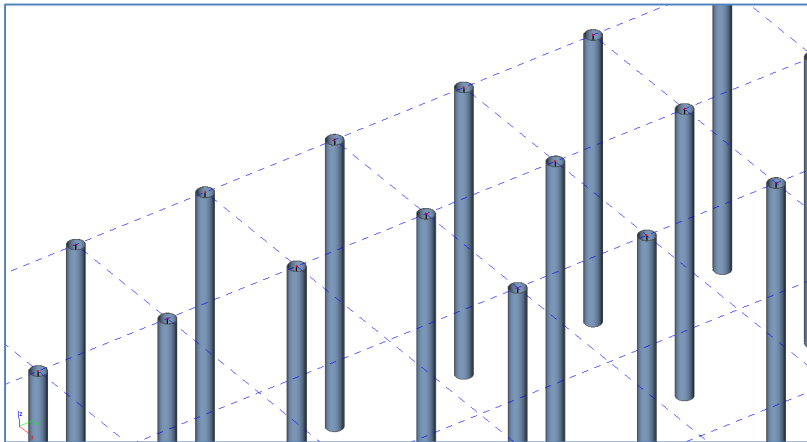
In het ontwerp van de constructie is bewust gekozen voor een maximale maatvoering van de constructie onderdelen. De maximale maat die gehanteerd wordt is 10 m. Dit heeft te maken met de transportmogelijkheden die er zijn. Met de keuze om de maatvoering van de constructie onderdelen te limiteren is het mogelijk om deze te vervoeren met 'normaal' transport. In de begroting is hier een standaard prijs in de aankoop van het staal meegenomen en geen extra kosten voor het transport.

Het transport voor de fundering zal anders bekeken moeten worden. De fundering kan per locatie verschillen en heeft daardoor andere afmetingen of een andere methodes van aanbrengen. Hier zal voorafgaand een werkrapport over geschreven worden met de mogelijkheden die betrekking hebben tot het transport van de fundering. Het transport wordt geregeld door de uitvoerende partij.

Opbouw constructie

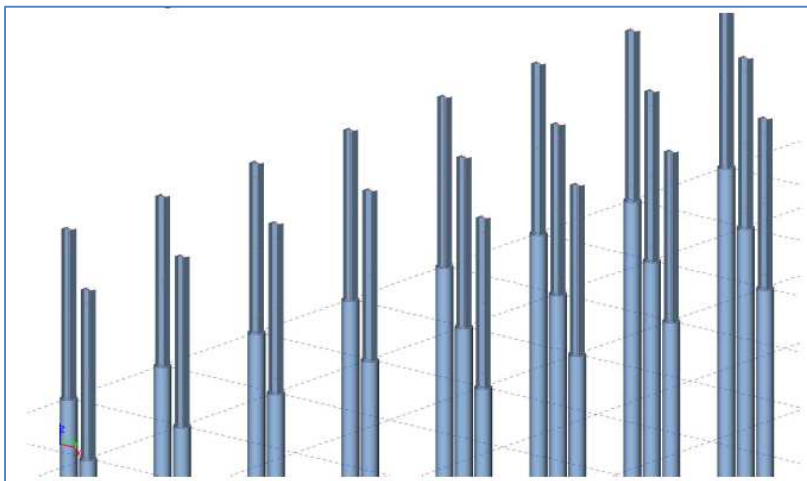
Voorafgaand aan de opbouw van de constructie zal de fundering aangebracht worden. De fundering zal vooraf per locatie bepaald worden. Wanneer er sonderingen gemaakt zijn kan er bepaald worden welk soort en type fundering er toegepast kan worden. Als dit eenmaal duidelijk is zal de bouw hiervan beginnen. Zoals hierboven al is vermeldt, zal een groot gedeelte van de constructie vooraf in een gecontroleerde omgeving geprefabriceerd worden. Dit is besloten om de onderdelen compleet aan te leveren. Deze kunnen dan direct aan elkaar gemonteerd worden. Dit is bedacht zodat er buiten op de bouwlocatie door middel van de aangeleverde tekeningen snel en gemakkelijk gewerkt kan worden. Met deze methode zal er een hoop tijd gewonnen kunnen worden voor de aannemer en zal het werk buiten gemakkelijk te plannen en uit te voeren zijn.

Tijdens de opbouw wordt gebruik gemaakt van een telekraan, welke de stalen onderdelen in het werk kan hijsen. Met een hoogwerker kunnen op hoogte de koppelingen aangebracht worden.



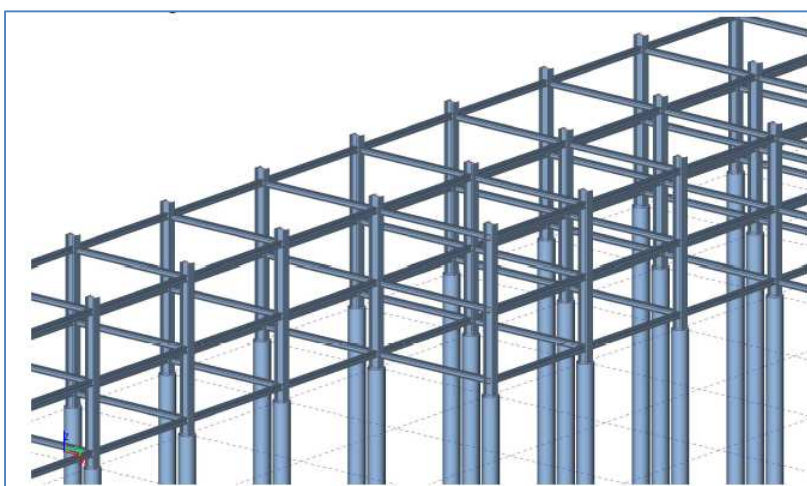
Fase 1: Paalfundering

In deze fase is de paalfundering te zien. In Hoofdstuk 5 zijn de 3 varianten beschreven met betrekking tot de mogelijkheden. De keuze is afhankelijk van de locatie.



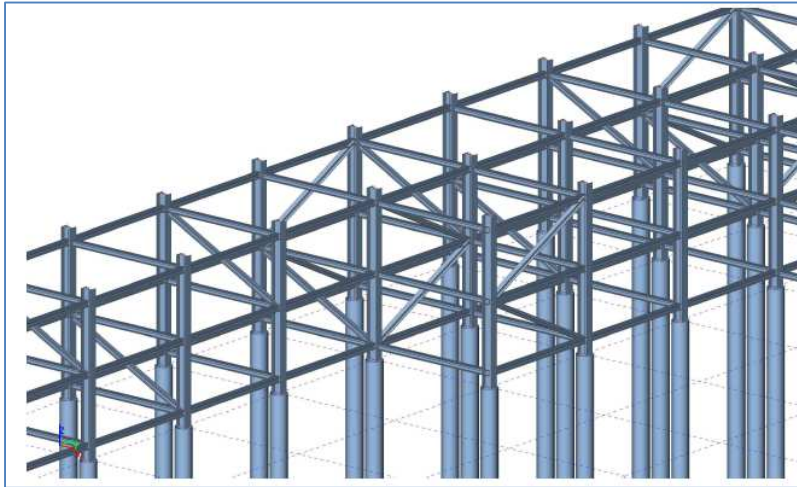
Fase 2: Montage kolommen.

Nadat de kolommen op de gewenste lengte in de fabriek geprefabriceerd zijn, kunnen deze vervoerd worden naar de bouwlocatie. Eenmaal op locatie kunnen de kolommen aan de fundering bevestigd worden door middel van een momentvaste boutverbinding.



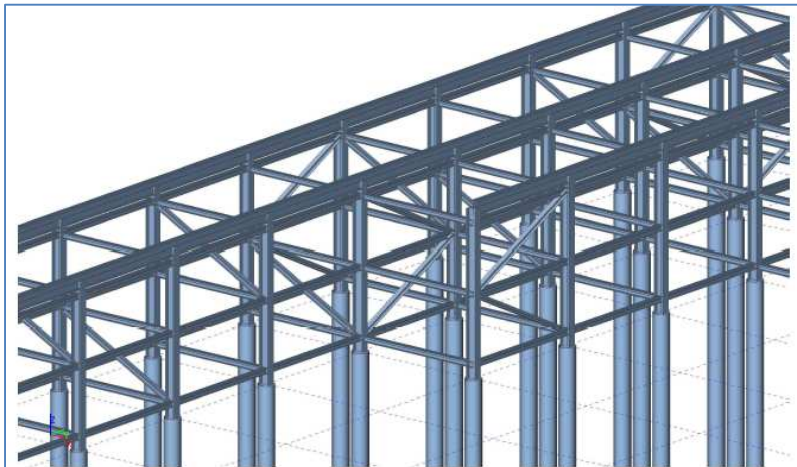
Fase 3: Monteren van horizontale verbanden aan de kolommen.

Omdat er in vaste stramienmaten van 5 x 5 m gewerkt wordt zullen de horizontale verbanden altijd een vaste maat hebben. Deze balken zijn vooraf in de fabriek geprefabriceerd met juiste kopplaten inclusief gatenpatroon voor de boutverbinding.



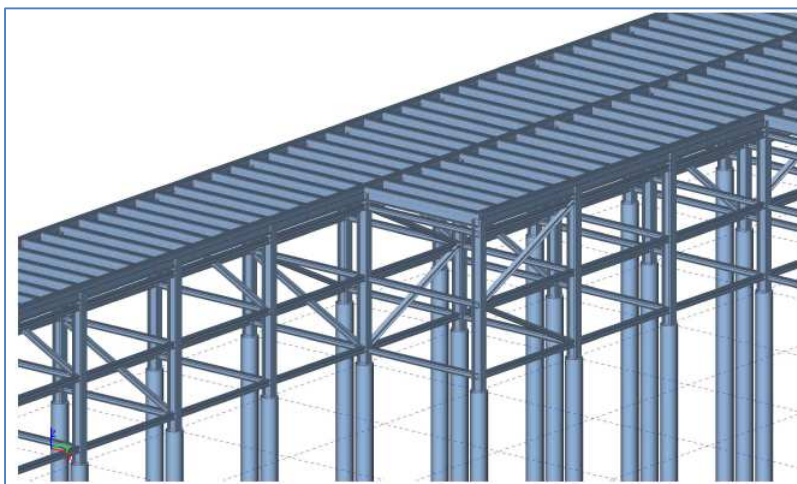
Fase 4: Monteren van de diagonale verbanden aan de kolommen.

Deze schoren komen tussen de horizontale verbanden in en zullen dus altijd een vaste lengte hebben. Deze balken worden tevens vooraf in de fabriek geprefabriceerd met juiste kopplaten inclusief gatenpatroon voor de verbinding aan de kolommen.



Fase 5: Aanbrengen van de moerbalken.

Deze balken worden geleverd met een maximale lengte van 10 m. Zo kunnen deze balken gemakkelijk op transport en ingehesen worden. De moerbalken worden onderling aan elkaar gekoppeld door middel van een boutverbinding op de kopse kant van de balken.



Fase 6: Aanbrengen van de onderslagen.

Dit is de laatste fase voor het aanbrengen van het staalwerk. Deze balken worden op locatie ingehesen en geplaatst op de moerbalken. Dit is tevens de balklaag waarop de dekconstructie aangebracht wordt.

7. Tool

Voor de afstudeeropdracht zijn vooraf doelstellingen bepaald. Met als hoofddoelstelling *“Het ontwerpen van een tool waarmee de meest ideale oplossing voor een tijdelijk brugsysteem ontworpen kan worden, welke op nagenoeg elke locatie in Nederland toepasbaar is.”* Met deze hoofddoelstelling is voorafgaand aan het maken van deze tool een hoop werk verricht. Zo is er een hoop onderzoek verricht, moesten er berekeningen gemaakt worden, het ontwerp uit de Minor fase is geoptimaliseerd, funderingen uitgerekend worden en is er een begroting gemaakt van de gehele constructie. Dit alles was nodig om een duidelijk beeld te krijgen om de tool een invulling te geven.

In dit hoofdstuk is uitgelegd wat de werking van de tool is en hoe de stappen worden doorlopen.

De tool is met behulp van Excel gerealiseerd en bestaat uit 2 hoofdonderdelen, de vormgeving van de constructie en de fundering van de constructie. De tool is zo opgesteld dat er stappen worden doorlopen en zo keuzes per onderdeel worden gemaakt.

De tool begint met het hoofdonderdeel “vormgeving constructie”. Dit hoofdonderdeel heeft betrekking op de gehele constructie vanaf de fundering gezien. De tool werkt door een input te kiezen uit het pull down menu, zodra hier een keuze is gemaakt zal er automatisch een bijpassende output uitrollen. Door middel van het hanteren van deze methode kan er snel en gemakkelijk een constructie samengesteld worden waar een totaalprijs aan vasthangt (excl. 21% BTW) met zo weinig mogelijk rekenwerk. Het meeste denkwerk is van te voren uitgedacht.

Vormgeving constructie

De eerste keuze (input) die in dit onderdeel kan worden gemaakt heeft betrekking tot de hoogte van de constructie. Hierin zijn 3 keuzes te maken en met elke keuze komt er een andere output uit voor het toepassen van het aantal horizontale verbanden, die nodig zijn om de constructie een stabiel geheel te geven.

Vervolgens kan de situatie van het toekomstige wegprofiel bepaald worden. Dit kan gedaan worden door de juiste input van de situatie te kiezen, deze zijn voorafgaand uitgeschreven. De output die dan wordt gegenereerd geeft een wegprofiel weer met de onderlinge afmetingen van de eventuele voet- en fietspaden, rijstroken, etc. De totaalmaat die wordt gegeven is de maat haaks op de wegas.

De volgende stappen in de tool zijn het bepalen van de projectie wegastracé, benodigde lengte van de constructie, benodigde breedte constructie. Nadat deze stappen zijn doorlopen rolt er automatisch de oppervlakte van de constructie in m^2 uit. Aan de hand van deze oppervlakte kan de prijs van de constructie vanaf de fundering worden bepaald. In de tool is er een factor 0,5 of 0,25 toegepast bij de oppervlakte wanneer er een slinger of bocht in het wegtracé op de constructie plaats vindt.

In de prijs van de constructie is een onderscheidt gemaakt tussen het kopen of huren van de constructie. In de begroting van bijlage 020 is een prijs voor beide gevallen bepaald, deze prijs is terug te vinden in de tool met de eenheid van prijs per week per m^2 . De totaalprijs van de constructie wordt bepaald door het vermenigvuldigen van de prijs voor het kopen of huren, met het aantal weken dat de constructie in uitvoering zal zijn.

Een aparte stap zal de prijsberekening van het betondek zijn. Hierbij is wederom in de begroting de prijs bepaald met de volgende eenheid, prijs per m^3 . De oppervlakte van de constructie wordt vermenigvuldigd met de prijs. Hieruit komt automatisch de totaalprijs van het betondek.

Fundering

Voor de fundering geldt hetzelfde principe als bij de vormgeving van de constructie. Hierbij wordt wederom met pull down menu's gewerkt en hieruit volgt dan een output. De eerste keuze die bij de fundering gemaakt kan worden gaat over de ondergrond waar de fundering moet komen. Hierbij wordt gekeken of de ondergrond draagkrachtig genoeg is bij een bepaalde diepte vanaf het maaiveld. De output die hieruit volgt is of er een fundering op staal of een paalfundering kan worden toegepast.

Indien er een paalfundering moet worden toegepast zullen er nog een aantal andere stappen moeten worden doorlopen. De volgende stap is dan het kiezen van de locatie waar de fundering moet komen, de keuze zal liggen in het noorden, oosten, zuiden of het westen. Aan de hand van deze keuze wordt er automatisch een bepaalde range van paalpunt dieptes getoond in de tool.

Nadat bovenstaande stappen duidelijk zijn, zal er een keuze in paaltype gemaakt moeten worden. Aan elk type paal hangen verschillende afmetingen en prijs per m¹. Aan de hand van het gekozen paaltype zal de precieze lengte gekozen worden. Deze lengte zal vooraf nog wel uitgerekend worden, omdat dit per sondering nog grote verschillen kan opleveren.

Zodra de lengte van de gekozen paal bekend is zal hier automatisch een prijs per paal aan worden gekoppeld. Deze prijs zal worden vermenigvuldigd met het aantal benodigde palen voor de fundering. Hieruit zal dan automatisch de totaalprijs van de paalfundering worden gegenereerd.

Voor de fundering op staal is de prijs per stuk gegeven welke is berekend in de begroting. Hierbij wordt net als bij de paalfundering de prijs vermenigvuldigd met het aantal benodigde stuks.

Nawoord

Zoals hierboven te lezen is, is het voor de gebruiker eenvoudig om van begin tot eind een constructie te ontwerpen welke op nagenoeg elke locatie in Nederland toepasbaar is. Mede omdat hier ook automatisch bij de keuzes een prijs wordt gegenereerd, is met deze tool een hoop tijd en geld te besparen in het maken van calculaties en begrotingen. Omdat de constructie vooraf is ontworpen met de huidige normen en eisen, is de constructie bestand tegen de optredende belastingen en verkeerslasten. Met behulp van deze tool is het niet nodig om alles opnieuw te ontwerpen. Met het volgen van een aantal stappen kan een constructie op papier staan inclusief de prijs. Het enige wat nu nog te doen staat is de alle onderdelen organiseren, transporteren en realiseren.

8. Begroting constructie

8.1 Staalconstructie

Voor de begroting van de constructie is gerekend met 2 varianten van de staalconstructie. Deze is onderverdeeld in het kopen van staal en de optie van huren. Om dit verduidelijken is hieronder beschreven hoe elke variant tot stand is gekomen.

Kopen van staal: Hierbij wordt het staal ingekocht. Voor het kopen van staal wordt gerekend met een prijs van € 5,3 per kg. Hierin zit het volgende verwerkt: aankoop, leveren, montage, demontage en opslag/verlies. Dit is dus een dure variant. Om als doel de constructie te verhuren is in de begroting een prijs gehanteerd van € 2,35 euro per kg. Dit is alleen de aanschaf met de afschrijving van het staal. De investering van ca. € 935.000 zal echter gemaakt moeten worden om een breed inzetbare constructie te kunnen verhuren in Nederland.

Huren van staal: De prijs voor het huren van staal is € 5,- per ton. Dus omgerekend € 0,005 per kg. Hierbij wordt tevens eenmalig een vast bedrag per ton berekend.

Dit is verreweg de goedkoopste oplossing. Dit alternatief zal gehanteerd worden om de kosten van de koop terug te verdienen. Per jaar zal het staalwerk ca. € 256.000 euro opleveren bij een constante verhuur.

8.2 Fundering

Voor de begroting van de fundatie is het onderscheid gemaakt in paalfundering en fundering op staal.

Fundering op staal: Deze bestaat uit een betonnen poer. Er is geen prijs meegenomen voor het bouw klaar maken van de ondergrond. In de prijs van het beton zijn alle onderdelen verwerkt (beton, wapening, eventueel betonpompen en betonmixers) De manuren zijn meegenomen in de totale bouwtijd van 6 weken. De fundatie op staal is veel duurder dan de stalen buispaal fundering. Het aanbrengen van de fundatie op staal zal meer tijd en geld kosten. Zie Tabel 6 Begroting voor het overzicht.

Paalfundering: Voor deze variant is gekeken naar de optie van buispaal, vibropaal en de betonpaal. Deze is in verschillende afmetingen meegenomen in de begroting. De lengte van de paalfundering is afhankelijk van de locatie. Uit de begroting komt naar voren dat de vibropaal de goedkoopste paalfundering is. De betonnen paalfundering is niet veel duurder, echter blijft deze variant in het werk achter en dit wordt vaak niet geaccepteerd. De stalen buispaal is de duurste oplossing, maar voor de uitvoering van deze tijdelijke constructie de makkelijkste oplossing.

8.3 Uitvoering

De methode van de uitvoering is meegenomen in de begroting. De onderdelen staal en fundering is hierboven al beschreven. Voor de uitvoering van deze constructie is in totaal 12 weken bouwtijd gerekend. 6 weken opbouwen en 6 weken afbreken. Dit is incl. betonnen rijdek. Hierbij zijn de manuren van verschillende mensen, de kraan en de hoogwerker meegenomen. Voor de uitwerking van de huur is de huurperiode van 1 jaar aangehouden. Zie Tabel 7 kosten per m2 voor de werkelijke kosten per onderdeel.

Hoofdrapport afstuderen

8.4 Conclusie begroting

De opzet is om de constructie te verhuren op elke willekeurige locatie in Nederland. De gehele constructie zal dus eenmalig aangeschaft moeten worden. De aanschafprijs van het staal is ongeveer €935.000 euro. Dit is puur alleen het staalwerk. De overige kosten verschillen per locatie en aannemer. Om de gehele staalconstructie voor een jaar te huren zal ongeveer een prijs tegenover staan van ca. € 256.000,- (afhankelijk van hoogte en oppervlakte)

De doelstelling is om deze constructie het hele jaar te verhuren. Dit zijn de prijzen die van toepassing zijn op de constructie uit het hoofdrapport. Met deze kosten zou de constructie in ongeveer 2,6 jaar terug verdiend kunnen worden.

Verschillen:		Koop:	huur: 1 jaar	koop/m²	huur/m²
Betondek		€ 82.075,00	€ 82.075,00	€ 2,36	€ 2,36
Constructie		€ 935.143,98	€ 256.667,18	€ 26,84	€ 7,37
Fundatie:					
	"op staal"	€ 162.662,50	€ 162.662,50	€ 192,50	€ 192,50
	paalfundering (Vibro Neede)	€ 25.350,00	€ 25.350,00	€ 30,00	€ 30,00
Uitvoering		€ 194.800,00	€ 194.800,00	€ 5,59	€ 5,59
Totaal:					
	"op staal"	€ 1.374.681,48	€ 696.204,68	€ 227,29	€ 207,81
	paalfundering (Vibro Neede)	€ 1.237.368,98	€ 558.892,18	€ 64,79	€ 45,31
Verschil:		€ 678.477	0		

Aantal jaren terug verdienen: (in het geval van constructie hoofdverslag)

Tabel 6 Begroting

De overige kosten zijn afhankelijk van de fundering, uitvoering en locatie. Deze kosten zijn voor deze situatie ongeveer €300.000,- (incl. paalfundering.) Dit is echter voor de huurder en is niet in de verhuur meegenomen. Hieronder een overzicht ter verduidelijking met de bedragen per m².

Totaal:m²	staalconstructie	€ 26,84	€ 2,97
	fundering poer	€ 500,50	€ 500,50
	fundering paal	€ 37,84	€ 37,84
	uitvoering	€ 5,59	€ 5,59

Tabel 7 kosten per m²

9. Conclusie

Voor dit hoofdverslag behandelden we een probleemstelling met als een hoofdoelstelling een constructie te ontwerpen die op meerdere locaties in Nederland eenvoudig toepasbaar is.

De probleemstelling voor dit hoofdverslag was een ontwerp uitwerken voor een tijdelijk efficiënt brugsysteem dat op verschillende plekken van het land toepasbaar zal zijn zodat het verkeer weinig tot geen hinder van de werkzaamheden zal ondervinden.

Na de minorfase is het ontwerp in SCIA Engineer geoptimaliseerd met o.a. de rembelasting, temperatuurbelasting, windbelasting, sneeuwbelasting en het toevoegen van de schoren en uitwerking koppelingen. Hierdoor veranderden enkele profielen van formaat doordat de belasting te hoog werd of juist minder werd. Met name de horizontale en diagonale verbanden kregen hoge belastingen door de temperatuurbelastingen. Deze zijn daardoor gewijzigd van een UNP naar een HEB.

Door de palen toe te voegen in het model, ontstonden er in de kolommen ook andere belastingen vanwege de veertjes op de palen. Dit zal ook meegewerkt hebben met de grotere belasting op alle verbanden. Gedurende het afstuderen wijzigde het SCIA model tussentijds regelmatig. Het hoofdrapport liep tijdens deze fase ook door en wanneer het SCIA model gereed was waren er nog enkele weken om het hoofdrapport af te ronden.

Om dit hoofdrapport tot een goed einde te brengen liepen we regelmatig tegen vraagstukken op. Met de kennis van zowel internet, boeken en directie collega's konden we deze over het algemeen snel oplossen. Hierbij hebben we aardig wat kennis op constructief gebied opgedaan.

Met een mooi hoofdrapport en berekeningen in de bijlagen benodigd voor het SCIA model wordt er zeer tevreden gekeken naar de totale rapportage.

10. Nawoord

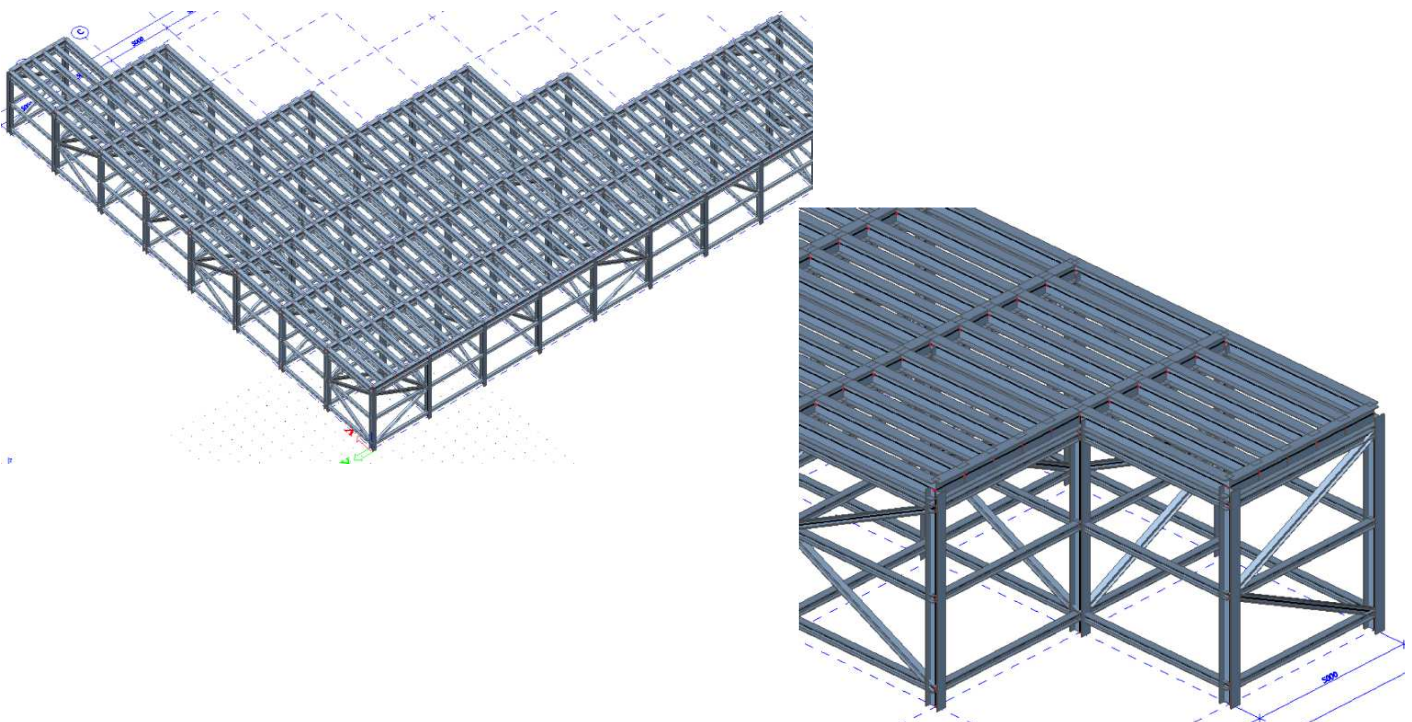
Het afstuderen werd begonnen met een half jaar vertraging. Dit kwam vanwege de beperkte tijd tijdens de Minorfase. Hierin hebben we de minoropdracht uitgewerkt na de desbetreffende Minorfase en vervolgens pas gestart met het afstuderen.

Er is voor gekozen om de afstudeeropdracht op het werk, waar beide afstudeerders werkzaam zijn, uit te werken. Omdat er vanuit het werk verwacht werd dat het “gewone” werk gewoon doorging werd van ons verwacht dat we het afstuderen veelal in onze eigen tijd moesten doen. Doordat we een vaste dag van Dura Vermeer aan het verslag mochten werken en vaste avonden buiten werktijd ingepland konden worden wisten we voortijdig wanneer en hoeveel hieraan gewerkt zou kunnen worden. Tijdens deze uren heerste er een fijne stilte op het kantoor in Beuningen bij Dura Vermeer. Dit bevorderde de concentratie van beide afstudeerders.

Tijdens de afstudeerfase was het hierbij zeer handig dat de directe collega's binnen Dura Vermeer afgestudeerd zijn op dezelfde opleiding of zelfs verder hebben gestudeerd. We konden daarom direct met vragen terecht bij de collega's. Het enige nadeel is het leeftijdsverschil tussen de collega's. Een ieder heeft de opleiding behaald met groot verschil in jaartalen. De insteek en benadering van de berekeningen is dan vaak anders.

We hebben geleerd om eerst het plan van aanpak op papier te hebben. Vervolgens de samenvatting te schrijven en als “rode draad” voor het hoofdrapport te hanteren. Dit hielp tijdens het maken van het hoofdrapport. Hierbij hadden we een hoofddoelstelling met subdoelstelling als leidraad voor het afstuderen.

Uiteindelijk zijn we erg tevreden met ons afstudeeropdracht. De looptijd van 6 maanden hadden we zeker nodig om een acceptabel verslag gereed te hebben. Regelmatig een uitleg van collega's op het werk hielp ons goed op weg tijdens de werkzaamheden.



11. Bronvermeldingen

Boeken en documenten

- Bouwen met staal 2011 Krachtswerking,
van de heer prof.ir. H.H. Snijder en de heer ir. H.M.G.M. Steenbergen;
- Bouwen met staal 2012 Verbinden,
van de heer prof.ir. J.W.B. Stark;
- Bouwen met staal 2008 Kracht + vorm,
Van de heer prof.ir. J. Oosterhoff;
- Bouwen met staal 2014 Knopen,
van de heer prof.ir J.W.B. Stark en de heer prof.dr.ir. J. Wardenier;
- Staalprofielen 1998,
van de heer T.J. van den Broek;
- Aantekeningen van de 4 studiejaren.

Normen en richtlijnen

- Eurocode 0 - Grondslagen
NEN-EN 1990 Grondslagen van het constructief ontwerp;
- Eurocode 1 – Belastingen op constructies
 - NEN-EN 1991-1-1 Deel 1-1: Algemene belastingen – Volumieke;
gewichten; eigen gewicht, opgelegde belastingen voor gebouwen.
 - NEN-EN 1991-1-3 Deel 1-3: Algemene belastingen – Sneeuwbelasting;
 - NEN-EN 1991-1-4 Deel 1-4: Algemene belastingen – Windbelasting;
 - NEN-EN 1191-5 Deel 1-5: Algemene belastingen – thermische belast;
 - NEN-EN 1991-2 Deel 2: Verkeersbelasting op bruggen.
- Eurocode 2 - Ontwerp en berekening van betonconstructies.
NEN-EN 1992-1 Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen;
- Eurocode 3 - Ontwerp en berekening van staalconstructies.
NEN-EN 1993-1 Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen;
- Eurocode 7 NEN-EN 1997-1 Deel 1: Geotechnisch ontwerp;

Readers

- Reader 5369, Mechanica voor de Minor Creatief Construeren,
van de heer ing. C.J.M. van der Zijden;
- Reader 621, Dimensioneren op momenten,
van de heer ing. C.J.M. van der Zijden;
- Reader 962, Betonconstructies deel 1,
van de heer ing. C.J.M. van der Zijden;
- Reader 963, Betonconstructies deel 2,
van de heer ing. C.J.M. van der Zijden;
- Reader 386, Toegepaste mechanica,
van de heer ing. C.J.M. van der Zijden;
- Reader 5370, Betonconstructies voor de Minor Creatief Construeren,
van de heer ing. C.J.M. van der Zijden;
- Reader 1465, Minor Creatief Construeren, constructieve valkuilen,
van de heer ing. C.J.M. van der Zijden.

Hoofdrapport afstuderen

Internetbronnen

- <http://www.google.nl>
- <http://www.wikipedia.nl>
- <http://www.joostdevree.nl>
- <http://www.staalprijzen.nl>

Contactpersonen

- Kees van der Zijden (begeleider 1)
- Thomas Beuker (begeleider 2)
- Jasper Schilder (leidinggevende Dura Vermeer)