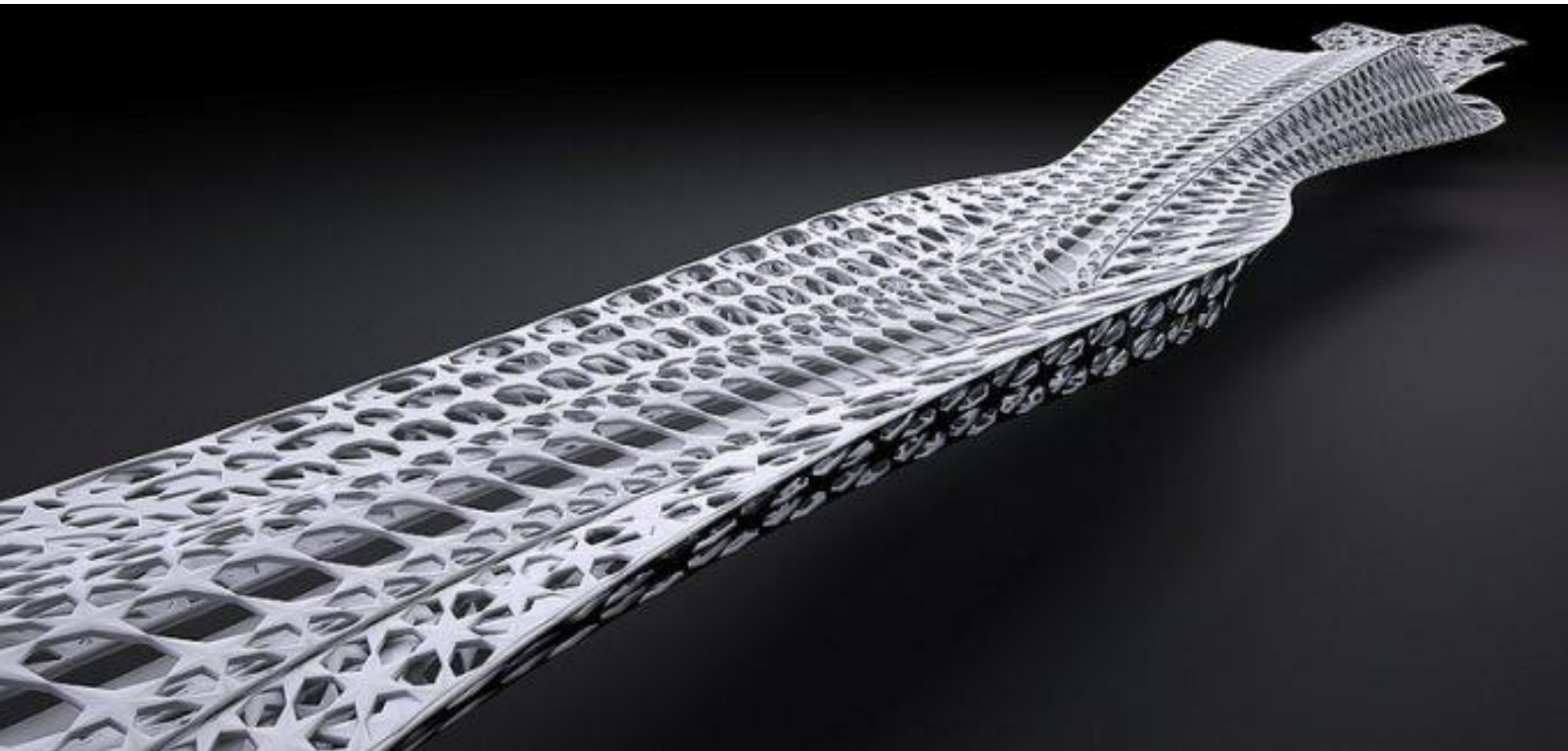




Parametrisch ontwerpen voor onderdoorgangen

Afstudeeronderzoek | MSEng | Betonvereniging

Auteur | ing. Wichard Bron

Datum | Oktober 2018

COLOFON

Betreft

Afstudeeronderzoek in het kader van de opleiding MSeng van de Betonvereniging in oktober 2018.

Titel

Parametrisch ontwerpen voor onderdoorgangen

Eerste versie

1 oktober 2018

Revisie

14 oktober 2018

Verantwoording afbeelding voorblad

Being Brunel, 2013, opgehaald van: <http://www.beingbrunel.com/parametric-design/>

Opsteller

ing. Wichard Bron

Begeleider

Dr. ir. Cor van der Veen

Section Structural and Building Engineering

Department Design & Construction

TU Delft

VOORWOORD

Ter voltooiing van de opleiding Master of Structural Engineering (MSEng) van de Betonvereniging, in samenwerking met Bouwen met Staal (BV/BMS), ligt voor u het rapport met de eindschrijving van deze opleiding.

De 21e eeuw is een tijd waarin de mogelijkheden ontzettend groot zijn. De ontwikkeling van de computer is dermate snel vooruit gegaan dat de bruikbaarheid en rekenkracht exponentieel toegenomen is. De moderne ingenieur heeft hier nog wat moeite mee. De mens is van nature lineair en het is dan ook niet gek dat de ontwikkeling van de ontwerpmethodes van de ingenieur niet zo snel veranderen als de ontwikkeling die de computer op het moment doormaakt.

Technische projecten kunnen en worden, dankzij de computer, tegenwoordig steeds verder uitgewerkt. De ontwikkeling van 2D naar 3D en zelfs 4D of 5D is in volle gang. De filosofie 'make it, before you make it' (BAM Infra B.V., 2017) is steeds meer realiteit en vergt dus ook een uitgebreide uitwerking in plaats van een in-situ oplosstrategie. Als gevolg hiervan wordt de projectdruk in de ontwerpfase steeds groter omdat er in een kortere tijd meer uitgewerkt moet worden.

De civiele en bouwkundige sector staat niet bekend om voorop te lopen op het gebied van technische ontwikkelingen. We kunnen wel zeggen dat de sector over het algemeen behoorlijk 'low-tech' is. Uitzonderingen daar gelaten, maar de meeste ingenieurs gebruiken de computer enkel nog als rekenmachine. Men maakt maar gebruik van een fractie van wat een computer kan. Zeker als dit vergeleken wordt met sectoren als de auto-, maritieme-, lucht- en ruimtevaarttechniek. In deze sectoren is men al veel verder om met meer geavanceerde rekenmethoden oplossingen te vinden. Oplossingen die tijd, materiaal en dus geld opleveren.

Eén van de tools die uit andere vakgebieden gebruikt kan worden is 'parametrisch ontwerpen'. Door een model op te bouwen uit parameters en deze te koppelen aan rekenmethodieken zoals de Eindige Elementen Methode is het mogelijk om op een snelle manier inzicht en kennis te werven uit verschillende ontwerpen. Het is zelfs mogelijk om een computer op basis van vastgelegde regels een optimum te laten berekenen voor een bepaalde constructie. Bovendien is het mogelijk om tot laat in het ontwerpproces wijzigingen door te kunnen blijven voeren. Doordat de tijd die nodig is voor het machinematig checken van bijvoorbeeld betonsneden verkort wordt kan de constructeur zich richten op zaken die er echt toe doen: ontwerpen.

Wanneer een grote persoonlijke interesse in parametrisch ontwerpen en het automatiseren van repetitieve werkzaamheden gecombineerd wordt met de ambitie van ProRail om alle gelijkvloerse spoorwegovergangen te willen vervangen vormt dit direct een startpunt om de mogelijkheden op dit gebied te onderzoeken. Zeker wanneer er nieuwsberichten zijn zoals in september 2018, waar een aanrijding tussen een bakfiets en een trein te Oss een dodelijke afloop heeft voor vier kinderen, wordt er toch wel een zekere urgentie toegevoegd hieraan. Deze zaken hebben dan ook mede bijgedragen in het opstarten van dit onderzoek naar het toepassen van parametrisch modelleren van onderdoorgangen.

Dit onderzoek heeft plaatsgevonden in de periode van februari 2018 tot oktober 2018 en had niet kunnen ontstaan zonder de hulp van een aantal personen. Als eerste wil ik graag mijn begeleider Cor van der Veen bedanken voor de prettige samenwerking en het helpen om het hoofddoel te behalen: het afronden van de studie. U was een prettige vraagbaak met een grote schat aan kennis.

Ten tweede wil ik graag mijn collega's van Lieveense Infra Leeuwarden bedanken voor hun meedenken, het leveren van kritiek en hulp bij toepasbaarheid. In het bijzonder wil ik hiervoor Frans-Jan Willemen en Bauke Dijk bedanken. Frans-Jan heeft als zeer motiverende factor gegolden in het ontstaan van dit onderzoek en heeft mij laten inzien dat deze ontwikkeling er echt toe doet. Dankzij Bauke Dijk heb ik de ruimte en mogelijkheden gekregen om dit ook daadwerkelijk waar te kunnen maken.

Als laatste wil ik graag mijn vriendin bedanken. Ik weet dat dit onderzoek en de gehele studie ook veel van haar gevergd heeft. Dankzij haar geduld, steun en hulp op gebied van discipline is deze studie toch tot een goed einde gekomen. Zonder haar was dit nooit gelukt.

Dokkum, 15 oktober 2018

ing. Wichard Bron

SAMENVATTING

In het kader van het doel van ProRail om alle kruisingen met het spoor te vervangen door ongelijkvloerse kruisingen is dit onderzoek ontstaan. In Nederland zijn ongeveer 1900 kruisingen met het spoor en indien deze allemaal binnen korte tijd vervangen moeten worden is het nodig om het ontwerpproces efficiënter te maken. Dit is mogelijk te behalen door het toepassen van een parametrisch model.

Voor het parametrisch modelleren zijn een aantal voorwaarden wenselijk, namelijk: brede toepasbaarheid, repetitieve vormen en vaak voorkomend. Dit laatste om de tijdsinvestering in het maken van het model terug te kunnen verdienen. Om deze reden is er in dit onderzoek gekozen te richten op de toeritten van een onderdoorgang. Na een varianten studie blijkt dat de betonnen U-bak ten eerste het beste voldoet aan bovenstaande voorwaarden en bovendien de voorkeur heeft boven andere varianten zoals een folieconstructie en een kuipconstructie op basis van de criteria: uitvoering, geotechniek, kosten, ruimtebeslag en risico's.

Om het model goed te kunnen opbouwen is het ontwerpproces in kaart gebracht. Mede hierdoor is gekozen om het ontwerpproces te starten met een geautomatiseerde "Best Guess". Aan de hand van "simpele" mechanica sommen kan een goede inschatting voor dimensies worden gedaan waarmee het model wordt opgestart.

Het parametrische model is gemaakt door toepassingen als Excel en het Eindige Elementen (EE) pakket SCIA Engineer te laten communiceren middels een combinatie van Visual Basic for Applications (VBA) en XML. Het is hierdoor mogelijk binnen korte tijd veel varianten te beschouwen.

Het doel: het efficiënter maken van het ontwerpproces door het gebruiken van parametrische modellen is zeker behaald. Het zij met enkele beperkingen omdat een model nooit voor alle situaties toepasbaar is. Wel is er rekening gehouden met enige flexibiliteit zodat het model in de toekomst makkelijk uitgebreid kan worden. Een tweede doel, misschien wel waardevoller, is ook behaald. Doordat er in korte tijd met meer parameters gevarieerd kan worden, wordt er meer inzicht verkregen in het gedrag van de constructie. Indirect draagt dit bij aan zowel de kennis van de gebruiker als ook de kwaliteit van het product dat de gebruiker levert.

Ter toetsing van het model zijn een twaalfstal varianten beschouwd en is een gevoeligheidsanalyse gedaan voor de parameters. Hieruit blijkt dat op basis van kosten de fundering een zeer dominante rol speelt. Het besparen op de kosten van de fundering loont bijna altijd ook al kost dit bijvoorbeeld meer wapening of beton.

Aan de hand van deze conclusie is beschouwd of er mogelijkheden zijn op een optimalisatie loop te maken. Er zijn mogelijkheden om dit te doen, echter blijkt dat de juiste oplosrichting feitelijk altijd gericht is op een kleiner aantal palen. Om deze reden wordt dan ook verwacht dat de investering in het bouwen van een dergelijk zelf-optimaliserend model zichzelf niet terugverdient.

INHOUDSOPGAVE

Voorwoord	1
Samenvatting	3
1 Inleiding	8
1.1 Doelstelling	9
1.2 Onderzoeksvragen	9
1.3 Leeswijzer	10
2 Onderdoorgangen	11
2.1 Varianten	12
3 Parametrisch ontwerpen	14
3.1 Parametrisch ontwerpen	14
3.2 Modelvormen	15
4 Ontwerpen	18
4.1 Ontwerpproces – Algemeen	18
4.2 Ontwerpproces – Onderdoorgangen	19
4.3 Ontwerpproces – de praktijk	20
4.4 Norm- en regelgeving	24
5 Modelvorming	25
5.1 Schematisatie	25
5.2 Belastingen	27
5.3 Combinaties	29
5.4 Software	29
6 Parameters onderdoorgang	31
6.1 Materialen en Massa's	31
6.2 Dwarsmaatvoering	31
6.3 Langsmaatvoering	32
6.4 Belastinggevallen	33
6.5 Belastingcombinaties	34
6.6 Fundering	34

7	Best Guess	35
7.1	Algemeen	35
7.2	Combinaties	36
7.3	Geometrie	36
7.4	Omgeving	36
7.5	Snedekrachten	37
7.6	Dimensioneren	38
7.7	Vergelijkcriteria	39
7.8	Keuze dimensies	41
7.9	Uitwerking paalraster	41
7.10	Vloerdikte versus pons	42
7.11	Keuzepaalraster	42
8	Toepassen model	43
8.1	Basis workflow modellen	43
8.2	Toepassing workflow modellen	44
8.3	Invoer workflow 1	45
8.4	Invoer workflow 2 – fundering	47
8.5	Verwerken resultaten	47
8.6	Vergelijkingsmodellen	49
9	Analyse model	50
9.1	Vergelijk met “Best Guess”	50
9.2	Dwarskracht	50
9.3	‘Optimaal ontwerp’	51
9.4	Opvallende resultaten	51
9.5	Optimum	53
9.6	Beperkingen model	54
9.7	Toekomstbestendigheid model	54
9.8	Zelf-optimalisatie mogelijkheden	56
10	Conclusie en aanbevelingen	57
	Reflectie	58
I.	Literatuurlijst	60

II.	Afbeeldingenlijst	61
III.	Bijlage A – Variantenstudie toeritten	62
IV.	Bijlage B – modelvormen eindige elementenmethode	76
V.	Bijlage C - Verwerken van resultaten Eindige Elementen methode	78
VI.	Bijlage D – toetscriteria	80
VII.	Bijlage E – Belastinggevallen	86
VIII.	Bijlage F – Belastingcombinaties	93
IX.	Bijlage G – Parameters	96
X.	Bijlage H – ontwerpresultaten	101
XI.	Bijlage I – Best Guess	106
XII.	Bijlage J – dimensionering	108
XIII.	Bijlage K – SCIA – model invoer	115

1 Inleiding

ProRail is al jaren bezig met het nemen van maatregelen om de veiligheid op en rond overwegen te verbeteren. Veiligheid is deel van hun filosofie. Een belangrijk deel van de veiligheid speelt zich af rond overwegen, hieruit ontstaat dan ook de gedachte:

“De beste overweg is géén overweg” (ProRail, 2018)

Uit bovenstaand uitgegeven artikel van ProRail is op te maken dat het aantal verkeersdoden na een botsing met een trein op een overweg vanaf 1986 drastisch is afgenomen van 68 doden naar 7 doden. De afname is behoorlijk daar de trend van het aantal verkeersgebruikers en de treinintensiteit juist is toegenomen sindsdien. Toch is dit voor ProRail nog 7 doden te veel.

In Nederland zijn op dit moment ongeveer 1.900 openbare overwegen. Hiervan is het grootste deel uitgerust met slagbomen, bellen en lichtsignalen. Het overige deel is onbewaakt. Met name de onbewaakte overgangen wil ProRail zo snel mogelijk veiliger maken. Het wrange is dat het grootste aantal ongevallen niet bij de onbewaakte, maar juist bij de bewaakte overwegen plaatsvindt. Het aantal ongevallen is niet frequent, maar bij een botsing is de impact groot.

Het ideaal van ProRail is om het spoorverkeer en overige verkeer totaal te ontvlechten. Dat wil zeggen: geen overgangen meer. Beter is om het spoor onder of over het overige verkeer door te laten rijden. Eén van de oplossingen die veel wordt gezien is het vervangen van een overgang door een onderdoorgang. Het weg-, fiets- voetgangersverkeer wordt onder het spoor heen geleid, waardoor het risico tot botsing wordt weggenomen of in ieder geval zeer verkleind.

Nu is het niet mogelijk om iedere overweg weg te nemen, bovendien zal dit een proces worden voor meerdere jaren. Echter is de intentie om dit te kunnen en willen bewerkstelligen van ProRail te prijzen. Want inderdaad iedere vermijdbare verkeersdode is er één te veel.

Voor de ingenieurs in Nederland komt hierbij ook een grote uitdaging. Want om al deze overwegen te kunnen vervangen zal er ook voor ieder kunstwerk een ontwerp gemaakt moeten worden. In dit kader is dit onderzoek ook ontstaan. Het uiteindelijke doel is dan ook om een ontwerpmiddel te maken waardoor de ingenieur niet verzand in het “routinematige” maken van sommetjes maar zich kan richten op de zaken waar hij echt waarde kan toevoegen: ontwerpen!

1.1 Doelstelling

Het hoofddoel van het onderzoek is:

‘Een werkbaar parametrisch model maken van de toeritten van een onderdoorgang’

Met als subdoelen:

- » Snel een model kunnen opzetten waarmee de constructie in een vroeg stadium goed doorgond kan worden;
- » De mogelijkheid hebben om meer oplosmogelijkheden door te rekenen waarmee de meest optimale oplossing kan worden gevonden;
- » Het ontwerpproces sneller en efficiënter te maken;
- » Door ontwerpstappen te automatiseren de foutgevoeligheid te verlagen;
- » Een model maken dat voor de gebruiker in de toekomst nog aan te passen is. Een zekere mate van transparantie is dus vereist.

1.2 Onderzoeksvragen

Om het onderzoeksdoel te kunnen behalen wordt gebruik gemaakt van een aantal onderzoeksvragen. De hoofdvraag luidt als volgt:

- » Is het ontwerpproces van de toeritten van onderdoorgangen efficiënter te maken door het gebruik van parametrische modellen?

Hieronder vallen de volgende sub vragen:

- Op welke wijzen zijn parametrische modellen te maken?
- Wat zijn de voor- en nadelen van deze methoden?
- Welke modellen zijn geschikt om te gebruiken voor de toeritten van onderdoorgangen?
- Welke parameters zijn van toepassing op de onderdoorgang?
- Is er een model te maken van deze onderdoorgangen?
- Welke schematisatie wordt er gebruikt?
- Wat zijn de voor- en nadelen van het model?
- Welke parameters zijn dominant bij optimalisatie?
- Welke software is nodig om het parametrische model te maken?
- Is het mogelijk een optimalisatie-loop te maken van het model?
- Hoe blijft het model toepasbaar en aanpasbaar in de toekomst?

1.3 Leeswijzer

Ter inleiding begint hoofdstuk 2 met een beschrijving van onderdoorgangen. Omdat er meerdere mogelijkheden zijn voor het uitvoeren van de toeritten wordt een keuze gemaakt voor de variant die uitgewerkt wordt. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 het onderwerp parametrisch ontwerpen behandeld en worden de verschillende type modellen behandeld. Hoofdstuk 4 legt het ontwerpproces in zowel algemene als specifieke zin vast. Vervolgens wordt in hoofdstuk 5 gestart met de opbouw van het parametrische model voor onderdoorgangen. De schematisatie, belastingen, combinaties en toetscriteria worden hier behandeld. Bovendien wordt een keuze gemaakt voor de software die gebruikt wordt. Na het vaststellen van de randvoorwaarden worden de parameters voor een onderdoorgang vastgesteld in hoofdstuk 6. In hoofdstuk 7 wordt de startsituatie vastgelegd waarin voor de belangrijkste parameters een startwaarde wordt ingeschat middels een “Best Guess”. In hoofdstuk 8 en 9 volgt respectievelijk de beschrijving van het parametrische model en een analyse van het gebruik van het parametrische model, hierin zijn ook de beperkingen van het model gepresenteerd. Als laatste volgt er in hoofdstuk 10 een uiteenzetting over de conclusies en aanbevelingen.

2 Onderdoorgangen

Een perfect middel om verkeersstromen te ontvlechten is een onderdoorgang. De naam alleen al is voldoende om te omschrijven wat voor constructie dit is. De éne kruisende verkeersstroom wordt op gelijk peil gehouden, en andere verkeersstroom wordt hier onderdoor geleid.

In het geval van een kruising met spoorverkeer wordt veelal het spoorverkeer op een gelijk peil gehouden. Dit heeft meerdere redenen:

- » Ruimte – spoorverkeer moet zeer geleidelijk naar boven of onder geleid worden. Hierdoor is het ruimtebeslag (zeker ten opzichte van wegverkeer) vele malen groter en daardoor duurder;
- » Tijd – spoorverkeer mag meestal niet een langere tijd worden gestremd, het ophogen van het baanlichaam is dan niet mogelijk om in een korte tijd te bewerkstelligen;

Onderdoorgangen kunnen over het algemeen onderscheiden worden in twee delen: een open en een gesloten deel. Het open deel zijn veelal de toeritten die leiden naar het gesloten deel: de daadwerkelijke kruising. De constructie van de onderdoorgang heeft over het algemeen een aantal functies:

- » Het dragen van de belastingen naar de ondergrond;
- » Het keren van grond en grondwater;
- » Het geleiden van verkeer;
- » Optioneel: een esthetische functie.

Als één van de eerste drie functies ontbreekt kan er niet van een functionele onderdoorgang gesproken worden. Nu is het mogelijk om op verschillende manieren deze functies te kunnen vervullen, er zijn dan ook veel varianten mogelijk om zo'n dergelijke onderdoorgang te kunnen maken en te laten functioneren.

In *III. Bijlage A – Variantenstudie toeritten* worden kort een aantal (veel voorkomende) mogelijkheden besproken en wat de voor- en nadelen van deze varianten zijn. Hierbij wordt gericht op de open delen, om de volgende redenen:

- » De variatie in het gesloten deel is minder, veelal is een rondom gesloten betonconstructie benodigd;
- » De toeritten hebben een grotere impact door de grote lengte;
- » Voor parametrische ontwerpen is een toerit aantrekkelijker vanwege de repetitie;
- » Voor het gesloten deel geldt dat de uitvoeringswijze, zeker bij spoorse werkzaamheden, (bijna) alles bepalend is. Ook de beschikbare tijd om een verkeersstroom te kunnen stremmen bepaald hierbij veel. Bij uitvoerwijze kan gedacht worden aan het inrijden van een spoordek, spoormoot of bijvoorbeeld het inpersen van een spoormoot. Er is wel veel variatie mogelijk, maar per situatie zijn de keuzemogelijkheden beperkt, het zou derhalve een minder goed vergelijk zijn.

De basis van de besproken varianten volgen uit het handboek tunnelbouw van het COB.

2.1 Varianten

De toeritten van een onderdoorgang kunnen op verschillende wijzen worden geconstrueerd. In *III. Bijlage A – Variantenstudie toeritten* is een korte variantenstudie gedaan waarbij drie varianten, respectievelijk de U-bak, de kuipconstructie en de folieconstructie vergeleken worden. In dit hoofdstuk volgt enkel het eindoordeel omdat de nadruk van dit onderzoek ligt op het parametriseren van toeritten en niet zo zeer de keuze vooraf, desalniettemin is dit wel degelijk van belang.

2.1.1 Eindoordeel

Door de tussenrapporten van de verschillende varianten met elkaar te vergelijken kan een eindconclusie worden gemaakt. Het gaat hierbij niet zo zeer om de “beste” variant maar meer om te vergelijken waarin de varianten verschillen en in welk gebied de varianten beter toepasbaar zijn. In de toelichting worden kort de verschillen toegelicht.

Criterium	U-bak	Kuipconstructie	Folieconstructie	Toelichting
<i>Uitvoerwijze</i>	+/-	+	++	De folieconstructie heeft een relatief eenvoudige uitvoeringswijze, er is geen tijdelijke constructie nodig.
<i>Geotechniek - fundatie</i>	+	+	+/-	De varianten U-bak en kuipconstructie zijn mogelijk met veel verschillende funderingssystemen.
<i>Geotechniek Waterdichtheid bouwkuip</i>	- ++	+	+	De U-bak is goed waterdicht te krijgen bovendien is na-injecteren bij lekkage in de gebruiksfase goed mogelijk.
<i>Kosten</i>	-	+/-	+	De folieconstructie is relatief gezien de goedkoopste variant.
<i>Ruimtebeslag</i>	++	+	--	Het ruimtebeslag van de U-bak is het kleinste. Toepassing in stedelijk gebied behoort hierdoor tot de mogelijkheden.
<i>Risico's</i>	+	+/-	+/-	De beschouwde risico's zijn bij de U-bak het beste te beheersen.
Totaal	+++	++	+	

Geconcludeerd kan worden dat op basis van bovenstaande multi-criteria analyse de variant met de U-bak de voorkeur heeft.

De analyse is voor dit onderzoek niet het belangrijkste argument om te kiezen voor deze variant. De grootste invloedfactor op bovenstaande multi-criteria analyse is de situatie waarin de onderdoorgang wordt aangelegd. De invloed hiervan is dermate groot en project specifiek en zal bij een ander project bovenstaande uitslag zeer waarschijnlijk beïnvloeden. Wel kan geconcludeerd worden dat de U-bak door de vele oplosmogelijkheden breed toepasbaar is in feitelijk iedere situatie. Omdat we werken naar een parametrisch model en repetitie in combinatie met brede toepasbaarheid hiervoor de voorkeur hebben wordt dit dan ook de variant waarmee er een verdere uitwerking wordt gedaan.

Niet geheel onbelangrijk, een bijkomend voordeel: de U-bak is zeer geschikt om te parametriseren!

3 Parametrisch ontwerpen

Parametrisch ontwerpen is een term die de laatste jaren steeds vaker wordt genoemd. Maar wat is het nu eigenlijk? En in wat voor vormen komt het voor? In deze paragraaf worden bovenstaande vragen behandeld en volgt een keuze in een toepasbare modelvorm voor onderdoorgangen.

3.1 Parametrisch ontwerpen

Parametrisch ontwerpen kan goed beschreven worden volgens de volgende omschrijving:

“Geïnformeerd of parametrisch ontwerpen is een ontwerpproces waarbij op basis van data of relaties tussen onderdelen een ontwerp kan worden gegenereerd. “ (Pastoors, sd)

Kort gezegd houdt het in dat een model opgebouwd kan worden door het aansturen van parameters. Deze parameters kunnen elkaar onderling beïnvloeden of worden beïnvloed door de keuze van de ontwerper. Wanneer een model met parameters opgebouwd wordt kunnen op een relatief eenvoudige wijze wijzigingen worden gemaakt die door het model zelf doorgevoerd worden. Op deze wijze kunnen veel verschillende oplosrichtingen getest worden waarna er verder kan worden gewerkt met de ‘beste’ oplossing. Doordat de parameters gekoppeld zijn is het grote voordeel dat tot laat in het ontwerpproces wijzigingen doorgevoerd kunnen worden zonder dat het ontwerpproces ernstig wordt verstoord. Het parametrisch ontwerpproces is dus erg flexibel.

3.1.1 Voorwaarden voor parametrische modellen

Nu klinken bovenstaande eigenschappen voor parametrische modellen als muziek in de oren van ontwerpers. Het komt namelijk erg vaak voor dat op het laatste moment toch nog iets verandert, er toch nog een andere variant beschouwd moet worden en als gevolg hiervan of een grote werkdruk of een opschuivende planning ontstaat. Waarom worden dan niet alle rekenmodellen parametrisch opgezet?

Het belangrijkste nadeel van parametrisch modelleren is het maken van het model. Vooral in het begin kost het erg veel tijd om alle modeleigenschappen in parameters te vatten en deze aan elkaar te koppelen. Ten opzichte van het conventionele ontwerpproces duurt het dus langer voordat er resultaten zijn gevonden. Pas wanneer het model is opgezet heeft het parametrische model een groot voordeel. Uit dit nadeel blijkt dan ook dat het zich eigenlijk alleen maar uitbetaald om een parametrisch model te maken bij repeterende constructies. Dus

constructies die min of meer hetzelfde zijn en veel in aantal. Enkel in dat geval kan een parametrisch model de vooraf geïnvesteerde tijd terugverdienen.

3.1.2 Praktijk

In de praktijk is zichtbaar dat in de civiele techniek en de bouwkunde het parametrisch ontwerpen nog in de kinderschoenen staat. Ja, het parametrisch modelleren is in opkomst, maar de ontwikkelingen gaan niet erg snel. Hoe kan dit, zelfs als de voordelen soms zo overduidelijk zijn? Zonder daadwerkelijk onderzoek hiernaar blijft het hiernaar gissen. Mogelijk heeft men de kennis niet op gebied van programmeren, is men bang banen te verliezen aan computers en robots, inzicht ontbreekt bij het invoeren in een 'black box' of het model is toch niet flexibel genoeg. Wat het antwoord ook is: vanuit persoonlijk oogpunt: "dit wordt de toekomst van de moderne constructeur".

3.2 Modelvormen

De modelvormen voor parametrische ontwerpen zijn over het algemeen te vatten onder twee noemers, respectievelijk de "gebruiker gestuurde" modellen en "zelflerende of -optimaliserende" modellen. In onderstaande paragrafen worden beide vormen kort beschreven waarna een keuze wordt gemaakt voor de modelvorm die in dit onderzoek wordt gebruikt.

3.2.1 Gebruiker gestuurde parametrische modellen

Een gebruiker gestuurd parametrisch model is het meest simpele model dat mogelijk is. Bij dit model draait het om de samenwerking tussen de gebruiker en het parametrische model. Doormiddel van het invoeren van parametrisch wordt een resultaat behaald, de gebruiker beoordeelt het resultaat, past het model wanneer nodig aan met behulp van de parameters en vind op deze manier een optimum. Het voordeel hiervan is dat de gebruiker centraal blijft staan in het maken van keuzes en zijn kundigheid en ervaring kan hierbij een leidende rol spelen.

Er zijn een tweetal verschillende modelmogelijkheden:

- » Op basis van differentiaalvergelijkingen en calculus (exacte methode);
- » Op basis van Eindige Elementen methode (benaderingsmethode).

Het voordeel van de exacte methode is dat de rekentijd laag is. Dit heeft ook te maken met het feit dat de modelleer mogelijkheden beperkt blijven tot staaf en liggerelementen (1D). Het model is over het algemeen goed te controleren door een buitenstaander en behoorlijk transparant. Bovendien geeft dit model exacte uitkomsten en is goed voorspelbaar. Nadelen

zijn dat 2D of 3D beschouwingen niet echt mogelijk zijn en dat de programmeertijd bij veel belastinggevallen en combinaties steeds groter wordt. De methode leent zich dan ook alleen voor zeer simpele modellen in de voorfase van een project.

De Eindige Elementen Methode (EEM) leent zich uitstekend om bovenstaande nadelen te ondervangen. De oplossingen zijn weliswaar niet exact, maar kunnen bij voldoende klein gekozen elementen wel het exacte benaderen. Dit hangt omgekeerd evenredig wel samen met de rekencapaciteit (hoe meer elementen des te meer rekenkracht benodigd). Bovendien kunnen zowel 1D, 2D als 3D beschouwingen worden gedaan.

3.2.2 Zelf-optimaliserende parametrische modellen

Feitelijk is een zelf-optimaliserend parametrisch model weinig anders dan een gebruiker gestuurd model. De zelf-optimaliserende modellen maken gebruik van bovenstaande modelvormen. Als verrijking van deze modellen wordt de optimalisatiekeuze volledig aan de computer gelaten. Doormiddel van een keuzestrategie wordt een optimum bereikt. De keuzestrategieën lopen erg uiteen en veranderen ook continu. (Dimcic, 2011) beschrijft een aantal van deze strategieën in zijn PhD onderzoek die erg tot de verbeelding spreken, in onderstaande opsomming worden enkele voorbeelden kort toegelicht:

- Genetische Algoritmes - Evolutie gebruiken: evolutie: recombineren tot nieuwe generatie (mutatie en recombinate tot een bepaald optimum)
- Cellulaire Automaten - Een aantal oplossingen die met elkaar samen en nieuwe oplossing maakt wat weer een nieuwe vorm geeft, totdat er een optimum (constante) is gevonden
- Neuraal Netwerk - leren van opgegeven taken en logische lijnen gebruiken bij oplossen van problemen
- Agent Gebaseerd Model - computersimulaties (bijvoorbeeld met behulp van Monte Carlo) en besluit op basis van veel data

Het onderzoeken van zelf-optimaliserende parametrische modellen is een onderzoeksonderwerp op zich. In §9.8 wordt kort te beschouwen welken vormen kansen bieden voor het specifieke model dat het hoofdonderwerp van dit onderzoek is.

3.2.3 Keuze modelvorm

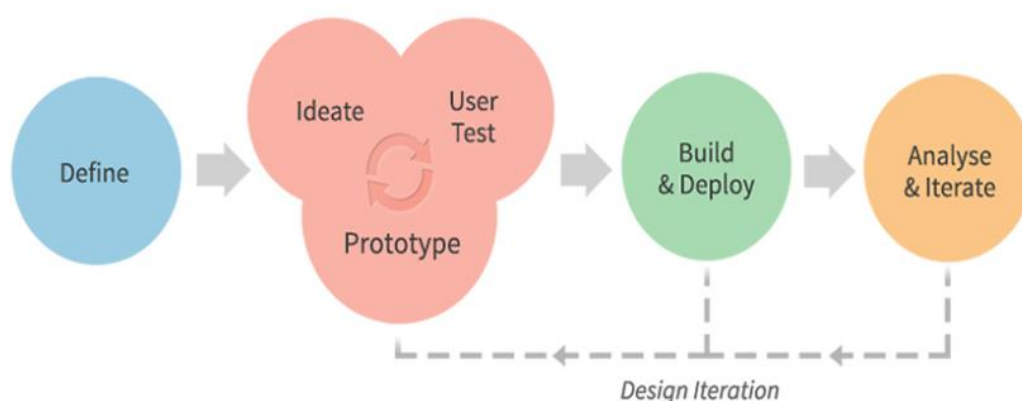
Op basis van haalbaarheid binnen de onderzoeksperiode wordt er gekozen om een gebruiker gestuurd parametrisch model te maken van de toeritten van een onderdoorgang. Het maken een zelf-optimaliserend is feitelijk een uitbreiding van een gebruiker gestuurd parametrisch model. Het maken van een dergelijk model kost ontzettend veel tijd en is gezien de specificiteit niet rendabel. Er moet een keuzestrategie worden vastgelegd in regels zodat een computer kan beslissen hoe hij moet optimaliseren. Bovendien is het 'black box' principe veel meer een issue bij het zelf-optimaliserende model: voor een dergelijk model is namelijk nog veel meer kennis en ervaring nodig om te kunnen inschatten of de resultaten betrouwbaar zijn of niet. Een gebruiker gestuurd parametrisch model daarentegen kan veel breder worden ingezet, onderhouden en beter worden gecontroleerd.

4 Ontwerpen

Het in kaart brengen van het ontwerpproces is een essentieel onderdeel van het maken van een parametrisch model. Om het model zinvol te maken zal beschouwd moeten worden waar het parametrisch model een toevoeging kan zijn. Uiteindelijk is het doel om de ontwerper mogelijkheden te geven om binnen een kortere tijd meer varianten te kunnen beschouwen, echter moet dan wel duidelijk zijn waar in het traject dit toegepast kan worden en op welke manier het huidige ontwerpproces in elkaar steekt. In dit hoofdstuk wordt van grof naar fijn beschreven hoe het ontwerpproces in elkaar steekt. Hierbij wordt gestart bij het algemene ontwerpproces waarna dit wordt uitgewerkt naar het ontwerpproces van onderdoorgangen.

4.1 Ontwerpproces – Algemeen

Ontwerpprocessen worden veel vastgelegd in diagrammen. Vaak is het ook het meest illustratief om een diagram of stroomschema van een ontwerpproces vast te leggen. In de vele verschillende stroomschema's is er vaak één grote overeenkomst: "Ontwerpen is een circulair proces". Zelden wordt er in één lijn (lineair) gewerkt naar een oplossing, vaak wordt door steeds meer verfijning en wijzigen van verschillende parameters een uiteindelijke uitwerking gedaan. Een prettig stroomdiagram die het ontwerpproces goed omschrijft is weergegeven in figuur 4-1. Onderstaand wordt puntsgewijs beschreven wat er basaal bedoeld wordt.



Figuur 4-1: Ontwerpproces (Mockplus, 2017)

- » *Define* – Het proces begint met het vaststellen van de vraag of probleemstelling. Vragen die hierbij van belang zijn: Wat is het probleem? Waar moet een oplossing voor gevonden worden? Wat is het product dat gevraagd wordt? Welke randvoorwaarden, wensen, eisen en verwachtingen heeft de klant?

-
- » *Ideate, User test, prototype* – Vervolgens wordt de voorontwerp “loop” in gang gezet. Hier wordt een start gemaakt voor het oplossen van het probleem. Een oplossing of product wordt bedacht, hierna wordt getoetst of deze oplossing voldoet aan de eisen, wensen of verwachtingen van de klant waarna een prototype wordt gemaakt. Indien nodig kan deze cirkel meerdere malen doorlopen worden.
 - » *Build en Deploy* – Met het prototype als basis wordt vervolgens een uitwerking gemaakt met constant een terugkoppeling naar de wensen en eisen van de klant (het blok *Ideate, User test, Prototype*) Tot er uiteindelijk een product gemaakt is.
 - » *Analyse en Iterate* – Na het gereedmaken van het product wordt het eindproduct geanalyseerd. Voldoet het product aan de wensen van de klant? Indien het product voldoet aan alle eisen is het product gereed, indien dit niet zo is kan er weer terug worden gegaan naar de voorgaande twee blokken.

4.2 Ontwerpproces – Onderdoorgangen

Wanneer we dit proces betrekken op het ontwerpproces bij onderdoorgangen of eigenlijk zelfs op civiele constructies in het algemeen kunnen we de ontwerpstappen specifieker maken. De stappen worden in dat geval ook een stuk duidelijker. Er wordt hierbij gekeken naar het algemene ontwerpproces. Feitelijk is het namelijk zo dat binnen dit algemene ontwerpproces kleinere sub processen onder dit hoofdproces vallen. Binnen de “grote cirkel” zijn meerdere “kleinere cirkels” dit is een repeterend onderdeel van het ontwerptraject.

- » *Define* – Het definieer proces is een wezenlijk onderdeel van het ontwerpproces van onderdoorgangen. Echter is dit proces aan de voorkant en zal geen onderdeel uitmaken van de werkzaamheden van de ontwerper. Vaak wordt dit proces al door de klant geïnitieerd, het resultaat van dit deel van het onderzoek leidt meestal tot de uitvraag van het maken van een onderdoorgang met een eisenpakket waaraan deze moet voldoen. Hieruit blijkt over het algemeen ook al dat een betonnen U-bak de voorkeur heeft (bijvoorbeeld vanwege ruimtebeslag).
- » *Ideate, User test, prototype* – Over het algemeen wordt door de klant een referentie ontwerp aangeleverd. Hierin staat grafisch weergegeven wat de klant verwacht en voornamelijk hoe hij graag wil dat het er uit ziet. Dit vormt de basis voor het ontwerpproces van de ontwerper. De ontwerper destilleert het programma van eisen en zet dit samen met de wettelijke norm- en regelgeving om naar

beoordelingscriteria. Hierna maakt hij doormiddel van ontwerpsommen of ervaringsgetallen een ontwerp waarvan hij verwacht dat dit het antwoord op de klantvraag is. Vervolgens wordt getoetst of dit voldoet aan de eisen van de klant.

- » *Build en Deploy* – De basis uit voorgaande stap wordt gebruikt voor de uiteindelijke uitwerking. Er wordt gestart met een “Best Guess”. Op basis van ervaringsgetallen, schattingen en handsommen wordt een basis gelegd waar verdere uitwerking mee wordt gedaan. Er worden modellen gebouwd in Eindige Elementen (EE) pakketten aan de hand van de “Best Guess”. Indien bij het modelleren al blijkt dat er zaken moeten wijzigen kan er een stap terug worden gezet en wordt de cirkel opnieuw doorlopen.
- » *Analyse en Iterate* – Uit de EE-pakketten volgen verschillende snedekrachten, vervormingen en oplegreacties. Deze uitvoer wordt getoetst aan de geldende normen, regels en andere criteria. Indien er verfijning gewenst is of wanneer het model niet voldoet kan het model aan worden gepast. De cirkel kan één of twee stappen terug opnieuw doorlopen worden totdat een haalbaar of optimaal ontwerp verkregen is.

4.3 Ontwerpproces – de praktijk

Nu het ontwerpproces aan de hand van theoretische schema's is toegelicht wordt er gekeken hoe dit ontwerpproces in de praktijk toegepast wordt. Hierbij zal het proces bekend voorkomen vanuit de schema's. Door dit proces te beschouwen vanuit de praktijk kunnen ook alvast een paar kaders worden gegeven over informatie die al bekend is en informatie die vanuit een teamverband naar voren komt (denk aan een geotechnicus of een wegontwerper). Dit onderzoek richt zich namelijk op het maken van een constructief parametrisch model, echter is informatie-uitwisseling tussen verschillende disciplines strikt noodzakelijk.

4.3.1 Startsituatie

Het leidende onderwerp bij de start van het ontwerpen van een onderdoorgang is over het algemeen het kruisende verkeer. Op basis van de in de eisen vastgestelde gebruikers kan worden vastgelegd wat het benodigde ruimtebeslag is van de verschillende verkeersdeelnemers. Vaak wordt in de eisen ook vastgelegd wat het minimale ‘Profiel van Vrije Ruimte’ (PVR) is: hierbij horen bijvoorbeeld doorrijhoogtes en breedtes. Aan de hand van deze informatie en een aantal schattingen van de constructiediktes van het kruisende deel kan de wegontwerper aan de slag met maken van het wegontwerp. De wegontwerpen berekend aan

de hand van de vigerende norm- en regelgeving welke maximale hellingspercentages, verticale en horizontale boogstralen van toepassing zijn en kan op deze manier vaststellen wat het verloop is van de weg door de onderdoorgang. Een laatste belangrijke eis is hierbij de drooglegging. De drooglegging is de minimaal waterkerende hoogte van het kunstwerk. Meestal wordt deze vastgelegd door de hoogste of te verwachten hoogste grondwaterstand. Op basis van het verticale alignement en de droogleggingseis is feitelijk de lengte van het kunstwerk vastgesteld.

4.3.2 Ontwerpproces

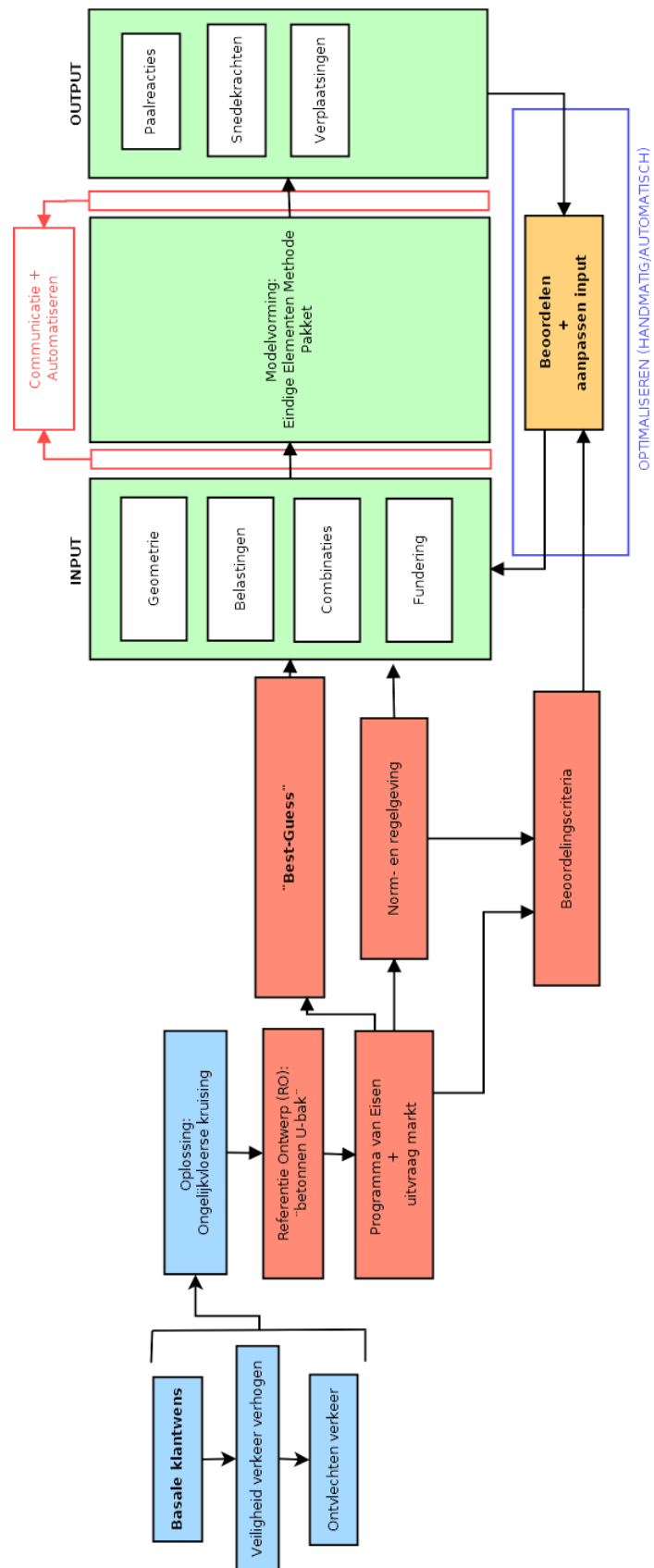
Het vastleggen van het verticale alignement vormt eigenlijk het startpunt van de constructeur van de toeritten. Op basis van het alignement kan hij starten met zijn berekeningen, het inwendige ruimtebeslag is vastgelegd nu moet de constructeur aantonen wat de afmetingen van de 'doos' hierom heen zijn. De constructeur start over het algemeen met het vastleggen van uitgangspunten. In de uitgangspuntennotitie worden alle uitgangspunten met betrekking tot de betonconstructie. Hierin worden de van belang zijnde eisen uit de vraagspecificatie overgenomen en worden conclusies getrokken hoe deze eisen worden aangetoond en hoe hier bijvoorbeeld aan de vormgevings- of de belastingkant mee om moet worden gegaan. Ook staan hierin vaak de te gebruiken grondwaterstanden. Verder wordt vastgesteld welke normen van toepassing zijn. Dit is in ieder geval de eurocode, maar deze kan aangevuld zijn met extra regels uit bijvoorbeeld de Richtlijn Ontwerp Kunstwerken (ROK) van Rijkswaterstaat of bijvoorbeeld de Ontwerpvoorschriften ProRail (OVS).

Ten tijde van het opstellen van deze uitgangspuntennotitie is veelal gestart met een locatieonderzoek voor de bodem. De sonderingen die het resultaat zijn van dit onderzoek vormen de basis voor het funderingsontwerp. Op basis van de sondering kan een geotechnicus al op hoofdlijnen zien wat de mogelijkheden zijn betreffende het funderingsontwerp. Is er een paalfundering nodig? Kan een fundering op staal toegepast worden? Moet er grondverbetering toe worden gepast? Ook een combinatie van fundering op staal en paalfundering behoort tot de mogelijkheden. Ten behoeve van dit onderzoek wordt als uitgangspunt genomen dat een paalfundering de uitkomst is, dit om de hoeveelheid aan programmeertijd te beperken.

Vanuit dit startpunt begint de constructeur met het inschatten van constructiediktes en het vaststellen van de belastingen en combinaties. Het berekenen van de constructiediktes wordt gedaan aan de hand van ervaringsgetallen en ontwerpsommen, samen vormt dit de “Best – Guess”. Hiermee stelt de constructeur een model op veelal in een 2D-platen EEM-pakket zoals SCIA Engineer. Zodra dit model gereed is start de interactiefase tussen de geotechnicus en de constructeur. Op basis van een ingeschatte veerwaarde van de paalfundering worden de krachten uit het EEM-pakket op de fundering opgegeven. De geotechnicus berekend de veerwaarde die uit de krachten volgen en de constructeur doet de berekening opnieuw. Deze interactie wordt een aantal malen herhaalt totdat constante veerwaarden worden behaald. De constructeur kan starten met het toetsen van aan de criteria uit de verschillende norm- en regelgeving. Indien nodig kunnen verschillende dimensies en waarden aangepast worden op basis van de uitkomsten van de toetsingen, uiteindelijk zal dit leiden tot een ‘optimaal’ ontwerp.

Het is in dit korte relaas al op te merken dat voordat het ‘optimale’ ontwerp ontstaat al een heel aantal berekeningsstappen en iteratieslagen nodig zijn om überhaupt tot een antwoord komen. Mede doordat het maken van een model en het aanpassen hiervan veel tijd kost is men veelal al blij dat er een ontwerp ontstaat dat voldoet aan alle eisen. De vraag is dan nog of dit wel het meest optimale is. Wellicht in een zware constructie met weinig palen wel veel voordeliger dan een lichte constructie met veel palen. Dit vergelijk wordt vaak op basis van ervaring gedaan, maar een echt cijfermatig vergelijk kan in verband met tijd en planningsdruk zelden of niet worden gedaan. Door een groot deel in een parametrisch model te vatten kan een groot deel van deze ‘verspilde’ tijd van modelleren worden geminimaliseerd. Het is dan mogelijk om meer verschillende oplossingen te vergelijken en eerder tot een beter ‘optimum’ te komen. Hierin zit dan ook de waarde van het maken van een parametrisch model.

In navolgend stroomschema weergegeven in figuur 4-2 is het ontwerpproces nog eens samengevat in een compact stroomschema. Ook is zichtbaar gemaakt waar de tijdswinst te boeken is. Op te merken is dat de kleuren overeenkomen met het eerder getoonde schema in figuur 4-1. Nadrukkelijk wordt nogmaals gemeld dat dit onderzoek zich richt op het automatiseren van het ontwerpproces en dat een mogelijke uitbreiding de geautomatiseerde optimalisatieslag is. Feitelijk zijn dit twee losse dingen, maar deze kunnen elkaar wel aanvullen en versterken.



Figuur 4-2: Stroomschema ontwerpproces

4.4 Norm- en regelgeving

De basis van de ontwerpcriteria wordt veelal gevormd door de norm- en regelgeving. Belangrijk is hierbij is dat deze vaak wordt aangestuurd door de klant. De klant kan hierbij voorschrijven om met bepaalde belastingen te rekenen, ontwerplevensduren vaststellen en bijvoorbeeld extra regelgeving toe te passen. In ieder geval wordt een constructie in Europa altijd op basis van de Eurocode berekend. In Nederland worden de normen en eisen nog wel eens overruled of verzaamd doormiddel van het voorschrijven van andere regelgeving zoals de Richtlijn Ontwerp Kunstwerken (ROK) van Rijkswaterstaat of in het geval van een spooronderdoorgang de Ontwerpvoorschrift voor Spoorse werkzaamheden (OVS). Deze regelgeving zijn veelal aanvullingen op de Eurocode en kunnen per project verschillen. Om het parametrisch niet te specifiek te maken wordt er als eerste uitgangspunt enkel de Eurocode genomen met een kleine aanvulling uit de ROK. Onderstaand volgt een opsomming met de gebruikte normen- en richtlijnen. Een uitwerking hiervan volgt in hoofdstuk 5.

4.4.1 Eurocode

Van toepassing zijnde documenten

- » NEN-EN1990 : Grondslagen constructief ontwerp
- » NEN-EN1991-1-1 : Volumieke gewichten
- » NEN-EN1991-2: Verkeersbelasting op bruggen
- » NEN-EN1992-1-1: Beton - algemeen
- » NEN-EN1992-2: Betonnen bruggen
- » NEN-EN1992-3: Tanks and silos → vloeistofdichtheid
- » NEN-EN1997: Geotechnisch Algemeen

4.4.2 Overig

- » CUR166 – Damwandconstructies
- » Richtlijn Ontwerp Kunstwerken (ROK) 1.4 – Rijkswaterstaat (*indien de eurocode niet toereikend is*)

5 Modelvorming

In dit hoofdstuk worden stap-voor-stap de onderdelen besproken die nodig zijn om een model te kunnen vormen. Hierbij wordt achtereenvolgend gekeken naar schematisatie, de belastingen, de belastingcombinaties en het verwerken van de resultaten uit de modellen.

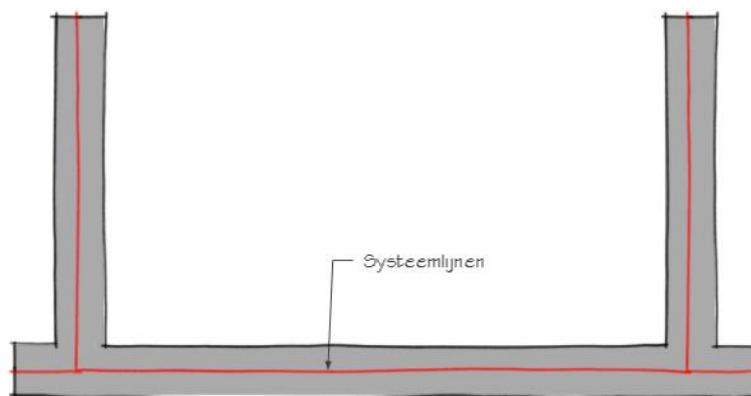
5.1 Schematisatie

Om een model te kunnen maken zal eerst een keuze gemaakt worden in de manier van schematiseren. Zoals eerder besproken in §3.2 wordt er gewerkt met een EE-model. Er zijn echter meerdere mogelijkheden om het model te kunnen schematiseren respectievelijk 1D, 2D of 3D benadering. In *IV. Bijlage B – modelvormen eindige elementenmethode* wordt een vergelijking gemaakt tussen de verschillende schematisatie methoden. Geconcludeerd kan worden dat het schematiseren met behulp van 2D-plaatelementen het beste past bij het ontwerp van onderdoorgangen met puntvorming ondersteuning, dit vormt dan ook het uitgangspunt voor de verdere uitwerking.

5.1.1 Omschrijving gekozen schematisatie

» Systeemlijnen

De constructie wordt gemodelleerd in de systeemlijnen, in dit geval zijn dit de hartlijnen.



Figuur 5-1 systeemlijnen model

Gekozen wordt te modelleren met plaalementen in SCIA Engineer op basis van de Mindlin plaattheorie. De platen worden in een 3D omgeving ingevoerd. Uitgangspunt voor het modelleren is een lineair elastisch model.

» Onderdelen

De platen worden aangenomen met een betonkwaliteit C30/37 (meest toegepast) verder wordt aangenomen dat de onderdelen zich gescheurd gedragen. Dit wordt in rekening gebracht door een fictieve E-modulus in te voeren van circa $1/3 \times E_{cm}$. Dit zijn veel gebruikte ervaringsgetallen. Met name voor de berekening van de verplaatsingen resulteert dit in een overschatting.

Object #	Onderdeel	Dikte	Beton	E-modulus	opmerkingen
E1	Vloer	D_vloer	C30/37	11000 ($1/3 E_{cm}$)	gescheurd
E2	Wand	D_wand	C30/37	11000 ($1/3 E_{cm}$)	gescheurd
E3	Wand	D_wand	C30/37	11000 ($1/3 E_{cm}$)	gescheurd
E4	Oor	D_vloer	C30/37	11000 ($1/3 E_{cm}$)	gescheurd
E5	Oor	D_vloer	C30/37	11000 ($1/3 E_{cm}$)	gescheurd

» Ondersteuningen

De palen worden gemodelleerd als een verende punt ondersteuning. De paal zelf wordt niet gemodelleerd. De verticale veerwaarde moet derhalve ingevoerd worden inclusief de elastische verkorting van de paal. Voor de horizontale veerwaarde wordt vaak een waarde van 10% van de verticale aangenomen. Met de methode Ménard en/of Birch-Hanssen kan de daadwerkelijke horizontale veerwaarde bepaald worden.

5.1.2 Resultaten uit EE-model

Uit het EE-model volgen verschillende resultaten. Omdat er gewerkt wordt met een numeriek model moeten resultaten op een juiste manier geïnterpreteerd en uitgelezen worden. De omgang met deze resultaten wordt beschreven in *V. Bijlage C - Verwerken van resultaten Eindige Elementen methode*. Hierin wordt bijvoorbeeld beschreven op welke wijze sneden worden gemaakt en gebruikt ten behoeve van de toetsing.

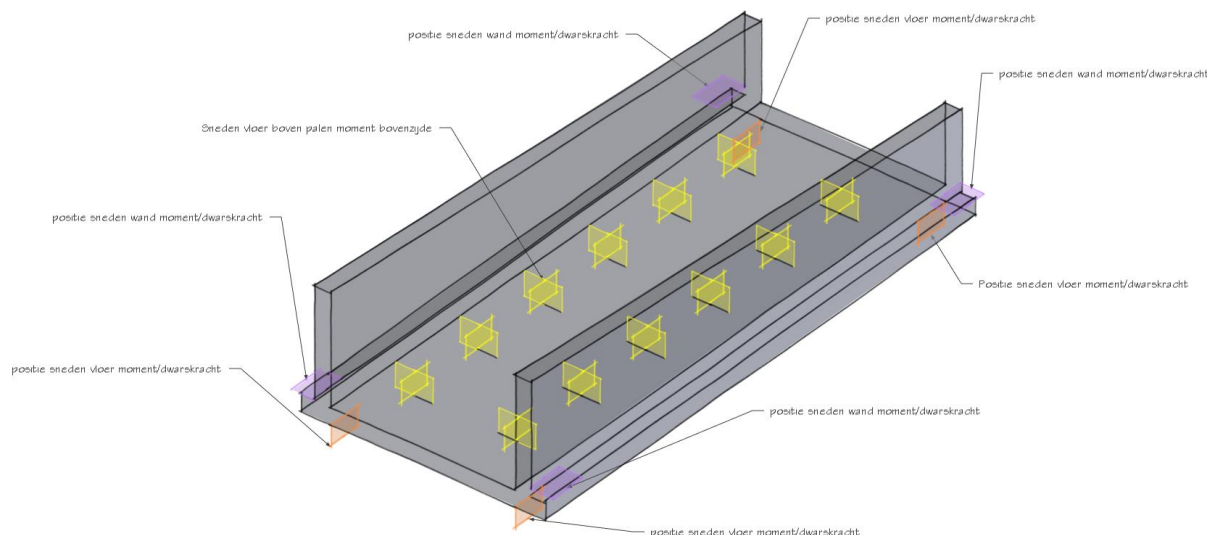
5.1.3 Toetscriteria

De toetscriteria die gebruikt worden volgen uit de eurocode. De gebruikte delen van de Eurocode zijn opgesomd in §4.4.1. Een volledige uitwerking van de toetscriteria is te vinden in *VI. Bijlage D – toetscriteria*.

5.1.4 Controleposities

Vanuit ervaring zijn de maatgevende sneden voor een onderdoorgang vooraf al vast te stellen. Het is erg omvangrijk om overal iedere snede te toetsen, bovendien levert dit voor ontwerpdoeleinden ook geen extra informatie op: indien de maatgevende snede voldoet, voldoet een andere snede ook. Het optimaliseren van bijvoorbeeld wapeningshoeveelheden

is pas van belang in een latere fase. Voor dit onderzoek worden dan ook enkel de maatgevende sneden beschouwd. In onderstaande afbeelding worden de posities van de maatgevende sneden weergegeven, de positie is indicatief aangezien deze afhankelijk is van de lengte, aantal palen, afstand 'd' bij dwarskracht enzovoorts.



Figuur 5-2 Snedeposities voor toetsing

5.2 Belastingen

De belastingen worden gekozen op basis van EC1. De belastingen kunnen onder een aantal noemers worden gesplitst respectievelijk de permanente belastingen, de variabele belastingen, calamiteitsbelastingen en de vermoeiingsbelastingen. In bijlage IV. *Bijlage E – Belastinggevallen* worden de gebruikte belastinggevallen uitgebreid behandeld. In deze paragraaf worden enkel de meest belangrijke gevallen kort behandeld en met name de belastinggevallen die niet zijn meegenomen worden hier toegelicht.

5.2.1 Variabele belastingen door wegverkeer

Verticale belastingen

De verticale belasting door wegverkeer in de onderdoorgang wordt gekozen o.b.v. artikel 4.3 van EC1-2. Belastingmodel 1 wordt als maatgevend belastinggeval beschouwd. Omdat het model onmogelijk voor alle situaties toepasbaar kan worden gemaakt is ervoor gekozen om de inwendige breedte te beperken tot een maximaal twee fictieve rijstroken. Dit betekent een maximale inwendige breedte van 8,99m.

Rem- en aanzet belastingen

Gezien de beperkte invloed voor een variantenvergelijking wordt dit belastinggeval voor het parametrisch model achterwege gelaten. De rem- en aanzet belastingen zullen voor de verschillende varianten namelijk gelijk zijn en zijn derhalve een minder goed vergelijkcriterium.

Centrifugaal krachten

Het uitgangspunt van dit onderzoek is een rechte moot zonder horizontale boogstralen. Van centrifugaal krachten is derhalve geen sprake.

5.2.2 Overige variabele belastingen

Opspaneffect

In de praktijk blijkt dat het opspaneffect een gevolg is van de dimensies en stijfheidsverschillen van een constructie, en dus niet een puur externe belasting is. Om deze reden zal deze belasting dan ook niet maatgevend zijn voor vaststellen van de dimensies van de constructie. Voor het ontwerpen is het opspaneffect dan ook van minder belang en deze wordt verder niet beschouwd in dit onderzoek.

Wind

Voor open moten geldt dat de invloed van de windbelasting op de krachtsverdeling minimaal is, dan wel verwaarloosbaar aangezien de constructie grotendeels onder maaiveld niveau ligt. De windbelasting wordt derhalve buiten beschouwing gelaten.

Thermische belastingen

De temperatuurbelasting op de wanden en vloeren van de onderdoorgang wordt bepaald aan de hand van ROK 1.4. Dit is een algemeen geaccepteerde methode maar wijkt wel behoorlijk af van het Eurocode model waarbij gekeken wordt naar indringingsdiepte.

5.2.3 Belastingmodel voor vermoeiing

Over het algemeen is de vermoeiingstoets voor onderdoorgangen van minder belang tijdens de ontwerpfase. Zelden is deze namelijk maatgevend. Wel is over het algemeen zichtbaar dat bij dunnere constructiediktes de vermoeiing een grotere rol gaat spelen.

Waar de vermoeiingstoets wel een grote rol speelt is bij het toepassen van zogenaamde groutinjectiepalen. Omdat deze oplossing al redelijk specifiek is wordt er gekozen om enkel bij de ontwerpsommen voor de “Best Guess” een inschatting te maken voor de haalbaarheid hiervan.

In het parametrische model wordt vermoeiing in eerste instantie niet meegenomen gezien de beperkte invloed op het ontwerp. Het is uiteraard wel een mogelijke uitbreiding in een vervolgfase.

5.3 Combinaties

De combinaties worden gekozen op basis van EC0 Bijlage A2. De uitwerking van de combinaties alsmede het omgaan met gelijktijdigheid van belastingen wordt uitwerkt in *VIII. Bijlage F – Belastingcombinaties*.

5.4 Software

Een belangrijk onderdeel van het maken van een parametrisch model is de software die gebruikt wordt. We kunnen de software onder drie noemers schikken namelijk: 1. Eindige Elementen software 2. Toets software en 3. Communicatie- of programmeersoftware. Eén voor één worden deze behandeld in de volgende paragraaf.

» Eindige Elementen software

De eerste en voornaamste software die nodig is lijkt behoorlijk vanzelfsprekend: software waarin eindige elementen sommen gemaakt kunnen worden. Op de markt zijn ook tal aan software bekend die hierin kunnen voorzien. Wel zijn er een aantal voorwaarden noodzakelijk om de software te kunnen gebruiken voor het parametrische model.

1. Eindige elementen sommen op 2D niveau (platen, schijven, schalen)
2. Bestuurbaar middels programmeertaal (XML, Python, enzovoorts)
3. Beschikbaar

Voorwaarde 3 lijkt behoorlijk evident, echter heeft het gebruik van software die de gebruiker al heeft natuurlijk de voorkeur.

In dit geval wordt er gekozen om te werken met SCIA Engineer van Nemetschek. Dit is een veel gebruikt programma onder constructeurs en bovendien is het tijdens dit onderzoek beschikbaar. Andere alternatieven zouden kunnen zijn: Sofistik, Robot, Diana of bijvoorbeeld RFEM.

SCIA Engineer is aan te sturen doormiddel van het inladen van XML-bestanden. Grof gezegd is dit een soort tabel met informatie waaruit SCIA zijn informatie kan halen en een model kan opbouwen. Door een script te schrijven die deze XML maakt kan het parametrische model gemaakt worden.

» Toets software

De resultaten vanuit de Eindige Elementen software moeten getoetst worden. Dit kan door gebruik te maken van toet software. Voor betonsneden is het bijvoorbeeld mogelijk om deze te toetsen in programma's als bijvoorbeeld DBet of IDEA Statica. Over het algemeen zijn er ook al veel Excel sheets voorhanden waar meerdere toetsingen uitgevoerd kunnen worden. Voor het bereken van paal draagvermogen zijn ook verschillende software voor handen, echter is het uitgangspunt in dit onderzoek dat deze aangeleverd worden door een geotechnicus, en hoort derhalve niet tot de scope van dit onderzoek.

Voor dit onderzoek zullen de toetsingen worden gedaan met behulp van Excel. Dit wordt veel gebruikt en levert een mate van vrijheid op. Bovendien bezit Excel in de vorm van VBA een eigen programmeertools die mogelijk gebruikt kan worden.

» Communicatie- of programmeersoftware

Als laatste element is de communicatie- of programmeersoftware benodigd. De software is in eerste instantie nodig om het model te kunnen aanpassen en op te bouwen en ten tweede is het nodig als verbinding tussen de eindige elementen sommen en de toetsingssoftware. Mogelijkheden om hierin te kunnen voorzien zijn net als eerder omvangrijk. Programmeertalen als C+, python, VBA, C++ en andere talen lenen zich allen goed om dit te kunnen vervullen. Zoals eerder vermeldt is de samenwerking tussen VBA en Excel zeer goed (VBA is in Excel geïntegreerd). Voornamelijk om deze reden wordt hier dan ook gebruik van gemaakt.

6 Parameters onderdoorgang

Nu alle onderdelen min of meer besproken zijn worden de van belang zijnde parameters voor het model van de onderdoorgang worden vastgesteld. Over het algemeen kunnen hier twee soorten parameters worden onderscheiden. Enerzijds de hoofdparameters en anderzijds de sub parameters. De hoofdparameters dienen om de sub parameters aan te sturen middels gedefinieerde regels. In dit hoofdstuk worden in verband met de omvang enkel de hoofdparameters besproken (42 hoofdparameters en 144 sub parameters), in *IX. Bijlage G – Parameters* zijn de sub parameters ook beknopt weergegeven inclusief de relaties tot de hoofdparameters.

De parameters worden weergegeven in tabelvorm om een goed overzicht te houden. Om op andere wijze het overzicht te kunnen bewaren worden de parameters in een zestal subcategorieën onderverdeeld respectievelijk Materialen en massa's, Dwarsmaatvoering, Langsmaatvoering, Belastingen, Combinaties en Fundering.

6.1 Materialen en Massa's

Onder deze noemer worden een aantal parameters geschaald. Het gaat hier voornamelijk om de algemene parameters voor soortelijke gewichten. Over het algemeen zal hier weinig mee gevarieerd worden, de massa's zijn vaak al voorgeschreven vanuit de Eurocode. Desalniettemin zijn deze parameters ingebouwd om de gebruiker de vrijheid te geven hier mee te kunnen sleutelen. Met name de parameters voor grond (gewicht en neutrale gronddruk coëfficiënt) kunnen nog wel eens parameters zijn die per project specifiek ingevoerd worden.

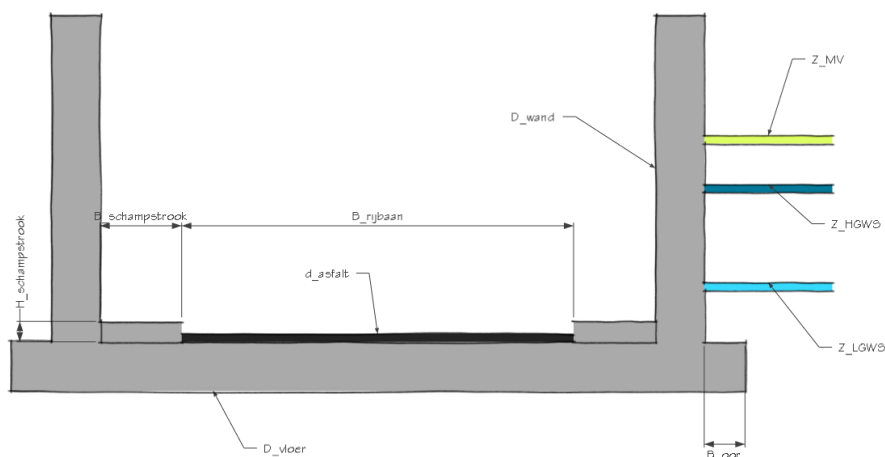
<i>Symbol</i>	<i>Programmeernaam</i>	<i>Omschrijving</i>	<i>Eenheid</i>
γ_{asfalt}	gamma_asfalt	Soortelijk gewicht asfalt	kN/m ³
γ_{beton}	gamma_beton	Soortelijk gewicht beton	kN/m ³
γ_{water}	gamma_water	Soortelijk gewicht water	kN/m ³
γ_{gdr}	gamma_gronddroog	Soortelijk gewicht grond droog	kN/m ³
γ_{gsat}	gamma_grondnat	Soortelijk gewicht grond nat	kN/m ³
k_0	k_0	Neutrale gronddruk coëfficiënt	-

6.2 Dwarsmaatvoering

Onder de maatvoering in dwarsrichting worden alle parameters ingevoerd zoals ze zijn weergegeven in figuur 6-1. Het gaat hier om de parameters die de maatvoering in de dwarsrichting vastleggen. Bovendien worden hier de peilen voor het maaiveld, de hoge grondwaterstand en de lage grondwaterstand vastgelegd. Van deze drie laatste parameters wordt als uitgangspunt genomen dat deze constant zijn over de gehele mootlengte. Ter

voorbereiding op een eventuele uitbreiding is ook alvast de parameter B_{oor} vastgesteld, alhoewel deze bij een onderdoorgang met palen feitelijk nooit wordt toegepast. Deze kan gebruikt worden voor een uitbreiding naar een mogelijkheid met fundering op staal.

Symbol	Programmeernaam	Omschrijving	Eenheid
d_{vloer}	D_vloer	Vloerdikte	mm
d_{wand}	D_wand	Wanddikte	mm
d_{asfalt}	d_asfalt	Asfaltdikte	mm
$b_{rijbaan}$	B_rijbaan	Rijbaanbreedte	m
$b_{schampstrook}$	B_schampstrook	Breedte schampstrook (2-zijdig)	m
$h_{schampstrook}$	H_schampstrook	Hoogte schampstrook	m
b_{oor}	B_oor	Breedte oor	m
$z_{maaiveld}$	Z_MV	Maaiveld hoogte	m [t.o.v. N.A.P.]
z_{lgws}	Z_LGWS	Grondwaterstand laag	m [t.o.v. N.A.P.]
z_{hgws}	Z_HGWS	Grondwaterstand hoog	m [t.o.v. N.A.P.]

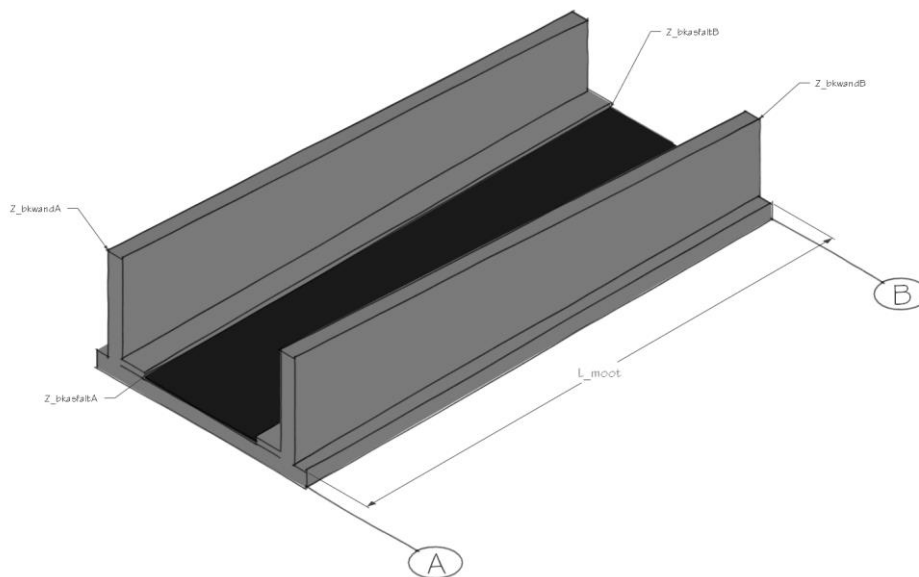


Figuur 6-1 parameters dwarsmaatvoering

6.3 Langsmaatvoering

Onder de parameters in langsrichting wordt de maatvoering in lengte richting vastgelegd. Hierbij wordt vastgelegd: de mootlengte en de peilmaten van zowel bovenkant asfalt aan beide zijden en bovenkant wand.

Symbol	Programmeernaam	Omschrijving	Eenheid
L_{moot}	L_moot	Mootlengte	m
$z_{bk\ asfalt\ as\ A}$	Z_bkasfaltA	b.k. asfalt as A	m [t.o.v. N.A.P.]
$z_{bk\ asfalt\ as\ B}$	Z_bkasfaltB	b.k. asfalt as B	m [t.o.v. N.A.P.]
$z_{bk\ wand\ as\ A}$	Z_bkwandA	b.k. wand as A	m [t.o.v. N.A.P.]
$z_{bk\ wand\ as\ B}$	Z_bkwandB	b.k. wand as B	m [t.o.v. N.A.P.]



Figuur 6-2 parameters langsmaatvoering

6.4 Belastinggevallen

De belastinggevallen worden waar mogelijk vastgelegd in parameters. Hierin zitten met name de parameters die belastingmodel BM1 vastleggen. Verder wordt het temperatuurprofiel hier vastgelegd en de equivalente maaiveldbelasting.

Symbol	Programmeernaam	Omschrijving	Eenheid
α_{q1}	alpha_q1	reductiefactor q-last rijstrook 1	-
α_{q2}	alpha_q2	reductiefactor q-last rijstrook 2	-
α_{qr}	alpha_qr	reductiefactor q-last reststrook	-
α_{Q1}	alpha_QQr1	reductiefactor aslasten rijstrook 1	-
α_{Q2}	alpha_QQr2	reductiefactor aslasten rijstrook 2	-
$F_{AS,RS1}$	F_AS_RS1	TS - Aslast rijstrook 1	kN
$F_{AS,RS2}$	F_AS_RS2	TS - Aslast rijstrook 2	kN
$B_{wielprent}$	B_wielprent_BM1	TS - Wielprent afmeting	m
x_{as}	x_asafstand_BM1	TS - asafstand rijrichting	m
y_{as}	y_asafstand_BM1	TS - asafstand dwarsrichting	m
q_{RS1}	q_RS1	UDL - rijstrook 1	kN/m ²
q_{RS2}	q_RS2	UDL - rijstrook 2	kN/m ²
q_{RSr}	q_RS_rest	UDL - reststrook	kN/m ²
q_{MV}	MV_BELASTING_V	Equivalente maaiveldbelasting	kN/m ²
T_0	T_0_ref	referentie temperatuur	° C/K
$T_{bi,zomer}$	T_bi_zomer	temperatuur binnenzijde zomer	° C/K
$T_{bu,zomer}$	T_bu_zomer	temperatuur grondzijde zomer	° C/K
$T_{bi,winter}$	T_bi_winter	temperatuur binnenzijde winter	° C/K
$T_{bu,winter}$	T_bu_winter	temperatuur grondzijde winter	° C/K
$\Delta T_{dag,max}$	T_dag_max	Maximale temperatuurdaling dagelijks	° C/K
$\Delta T_{dag,min}$	T_dag_min	Maximale temperatuurstijging dagelijks	° C/K

6.5 Belastingcombinaties

Feitelijk zijn de belastingcombinaties enkel afhankelijk van de gevolgklasse vanuit de Eurocode.

Symbol	Programmeernaam	Omschrijving	Eenheid
CC	-	gevolgklasse	-

6.6 Fundering

Als laatste volgt de parameter die naar alle verwachting het meest zal worden gebruikt en gewijzigd. Hierin worden aan de hand van een paalraster bepaald waar de palen komen. Feitelijk zijn de x- en y-coördinaten van de palen een sub parameter en wordt dit gegenereerd aan de hand van een raster met opgegeven randafstanden. Meer hierover volgt in *hoofdstuk 7: Best Guess*. De paalveren volgen in een normaal ontwerpproces uit een iteratief proces tussen constructeur en geotechnicus. Tijdens het bouwen van dit model wordt er (arbitrair) uitgegaan van een constante verticale paalveer van 100 MN/m en een horizontale paalveer van 10 MN/m.

Symbol	Programmeernaam	Omschrijving	Eenheid
$X_{paal,i}$	X_paal_i	Paalpositie in x richting van paal i	m
$Y_{paal,i}$	Y_paal_i	Paalpositie in y richting van paal i	m
$k_{v,z}$	k_vz	Verticale veerwaarde paal (uniform)	MN/m
$k_{v,x}$	k_vx	Horizontale x veerwaarde paal (uniform)	MN/m
$k_{v,y}$	k_vy	Horizontale y veerwaarde paal (uniform)	MN/m

7 Best Guess

De eerste stap in het ontwerpproces (parametrisch of niet) is het maken van een “Best Guess”. Aan de hand van handsommen en schattingsregels kan in grote lijnen bepaald worden welke dimensies nodig zijn om de constructie te kunnen laten voldoen. Aan de hand van deze dimensies wordt het uiteindelijke model opgebouwd en getoetst, indien mogelijk (en gewenst) kan er vervolgens verfijnd en geoptimaliseerd worden. Het gebruik van de “Best Guess” is tweeledig: ten eerste wordt hiermee de startsituatie vastgelegd, ten tweede kan het gebruikt worden om te toetsen of het model betrouwbare resultaten geeft. Orde grote zullen de resultaten namelijk overeen moeten komen. De “Best Guess” is in een parametrische Excel sheet uitgewerkt voor gebruiksvriendelijkheid en snelheid. Stap-voor-stap worden in dit hoofdstuk de verschillende onderdelen hiervan behandeld en toegelicht. Een aantal parameters zullen hier ook al worden toegelicht, getoetst en ook vergelijk criteria worden al vastgelegd. Al deze factoren zullen in het latere parametrische model ook weer gebruikt worden alleen op meer gedetailleerde en geavanceerde wijze. De basis blijft echter hetzelfde.

7.1 Algemeen

Algemeen				
Ontwerplevensduur	100	jaar		
Gevolgklasse	CC2			
Scheurwijdte criteria en dekking				
W_{max}	C_{nom}	C_{toeg}	k_x	
0,2 mm	60 mm	60 mm	1,00	
W_{max}	C_{nom}	C_{toeg}	k_x	
0,2 mm	60 mm	60 mm	1,00	
overig				
W_{max}	C_{nom}	C_{toeg}	k_x	
0,3 mm	50 mm	60 mm	1,20	
o.k. vloer				
W_{max}	C_{nom}	C_{toeg}	k_x	
0,3 mm	50 mm	60 mm	1,20	

Ten eerste worden de eerste basis onderdelen ingevoerd. Hierin wordt vastgelegd welke gevolgklasse van toepassing is. Ook worden hier de verschillende scheurwijdte eisen vastgelegd voor verschillende delen van de constructie. Aan de hand van de bepaalde dekkingen en toegepaste dekkingen wordt de factor k_x bepaald waarmee de scheurwijdte eis mag worden verhoogd, er geldt namelijk:

$$k_x = \frac{c_{toegepast}}{c_{nom}} \leq 2,0 \quad \rightarrow \quad w_{max} = w_{max,dur} \cdot k_x$$

7.2 Combinaties

Combinaties							
U/LS		Blijvende belastingen			Overheersende veranderlijk		Andere veranderlijk
Gevolgklasse	comb.	$Y_{G, sup}$	$Y_{G, inf}$		verkeer	overig	overige
CC2	6.10a	1,3	0,9		1,35 x ψ_0	1,5 x ψ_0	1,35 x ψ_0
	6.10b	1,2	0,9		1,35	1,5	1,35 x ψ_0

SLS		Blijvende belastingen			veranderlijk	
	comb.	$Y_{G, sup}$	$Y_{G, inf}$		overheersende	andere
	KAR	1,0	1,0		1,0	ψ_0
	FRE	1,0	1,0		ψ_1	ψ_2

Aan de hand van de vastgelegde gevolgklasse worden de ULS combinaties vastgelegd. Ter informatie worden ook de gebruikte SLS combinaties weergegeven. Deze combinaties worden gebruikt voor de verdere toetsingen, een en ander volgt uit de vastgelegde regels zoals beschreven in §5.3.

7.3 Geometrie

GEOMETRIE	
Lengte moot	20 m
b.k. wand as A	+2,00 m N.A.P.
b.k. wand as B	+2,00 m N.A.P.
b.k. asfalt as A	-1,00 m N.A.P.
b.k. asfalt as B	-2,00 m N.A.P.
breedte rijbaan	6 m
breedte schampstroken (2-zijdig)	0,25 m
hoogte schampstrook	0,19 m
fictieve rijbaanbreedte	6,5 m
fictief aantal rijstroken	2 stks
asfalt dikte	0,1 m

Vervolgens kan de geometrie van de moot vastgelegd worden. De parameters zijn al enigszins verklaard in hoofdstuk 6. Een extra verduidelijking is er voor de fictieve rijbaanbreedte. Deze is namelijk afhankelijk van de hoogte van de schampstrook. Indien deze schampstrook een hoogte heeft van 0,2m of hoger mag deze namelijk als voertuig kerend beschouwd worden, voor de fictieve rijbaanbreedte geldt derhalve:

$$b_{rijbaan, fictief} = b_{rijbaan} + 2 \cdot b_{schampstrook} \quad \text{als} \quad h_{schampstrook} < 0,2m \quad \text{anders} \quad b_{rijbaan, fictief} = b_{rijbaan}$$

7.4 Omgeving

OMGEVING					
Maaiveldhoogte	+2,00 m N.A.P.	$V_{g, droog}$	18 kN/m ²	$V_{g, nat}$	20 kN/m ²
Lage grondwaterstand (LGWS)	0,00 m N.A.P.	V_{water}	10 kN/m ²		
Hoge grondwaterstand (HGWS)	+1,50 m N.A.P.	Combinatie factor variabel deel water ULS:		1,5 [-]	
Equivalente maaiveldbelasting	20 kN/m ²	type:	verkeer		
Horizontale gronddruk coëff.	0,5 [-]	ψ_0	0,8	ψ_1	0,8

De volgende stap in het maken van de “Best-Guess” is het vast leggen van de omgevingsfactoren. Hierin zitten de maaiveldpeilen en de grondwaterstanden. Bovendien wordt hier ook de equivalente maaiveldbelasting ingevoerd. Soortelijke gewichten van de grond en water worden hier ook in gevoerd. Een belangrijk deel is ook het invoeren van de combinatiefactor voor het variabele deel van de grondwaterstand. Afhankelijk van de voorschriften worden deze namelijk anders in rekening gebracht. In de ROK 1.4 wordt bijvoorbeeld onderscheid gemaakt tussen een grote grondwaterstand fluctuatie en een relatief

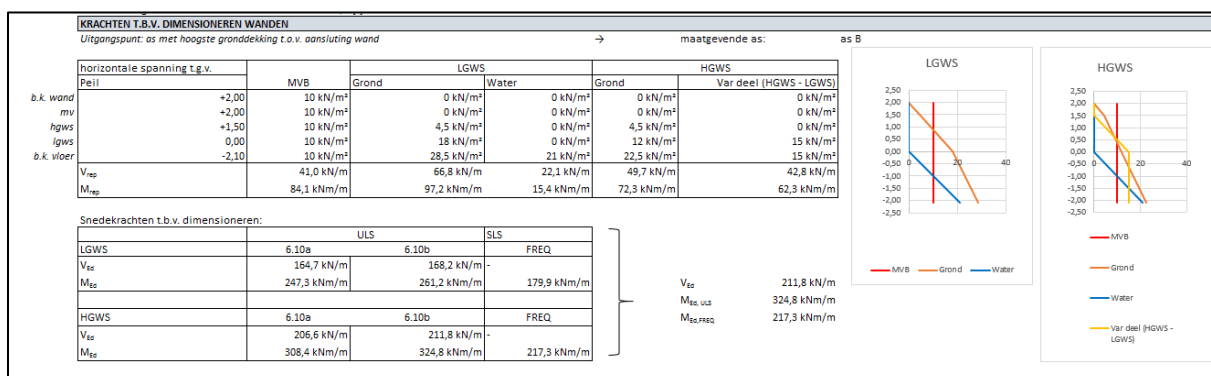
kleine fluctuatie. De belastingfactor is hiervan afhankelijk. Bovendien kan op deze manier een eventuele fysieke beperking in rekening gebracht, dat wil zeggen: indien de waterstand fictief boven de rand van de betonbak uit komt ten gevolge van de gebruikte belastingfactor kan er gekozen worden om deze “af te toppen”, de bak zal in dat geval namelijk vol lopen.

Als laatste wordt nog de equivalente maaiveldbelasting toegelicht: de momentaan factoren kunnen namelijk ingevoerd worden indien de maaiveldbelasting niet een verkeerslast is, dit geeft de gebruiker enige vrijheid voor andere doeleinden. Over het algemeen zal de situatie wel zo zijn dat deze belasting een verkeerslast is.

7.5 Snedekrachten

Nu een groot deel van de parameters ingevoerd zijn worden de snedekrachten bepaald. De maatgevende snede waar de krachten het grootste zijn is ter plaatse van de wand inklemming. De krachten in vloer en wand zijn hier over het algemeen het grootste. Voor de berekening wordt eerst vastgesteld aan welke zijde (as A of as B) de maatgevende snede is. De zijde met de grootste kerende hoogte wordt gebruikt voor de berekening. Gezien het feit dat de dimensies nog niet volledig bekend zijn wordt de snede op de dag van de doorsnede (bovenkant vloer) getoetst, voor zowel dwarskracht als moment. Voor dwarskracht leidt dit tot een conservatieve benadering (toetsing mag op afstand ‘d’ vanuit de dag) en voor moment is dit een kleine onderschatting (moet eigenlijk in het zwaartepunt van de drukzone zoals beschreven in *V. Bijlage C - Verwerken van resultaten Eindige Elementen methode*).

Twee situaties worden beschouwd: de situatie met hoge grondwaterstand en de situatie met lage grondwaterstand, het horizontale korrel- of waterdrukverloop is weergegeven in de grafieken bij beide gevallen.



7.6 Dimensioneren

Aan de hand van de snedekrachten kunnen de sneden worden gedimensioneerd. Het dimensioneren wordt gedaan aan de hand van drie criteria: dwarskrachtcapaciteit, momentcapaciteit en scheurwijdte. Na invoeren van de betonkwaliteit kunnen de sommen worden gemaakt. Hierbij moet de gebruiker een aantal gewenste te beschouwen wapeningsconfiguraties invoeren. Door vervolgens iteratief de 'd' te verhogen kan een optimum worden gevonden waar de doorsnede exact voldoet. Dit wordt voor de drie criteria gedaan. Per configuratie zal één criterium de overhand hebben: dit is de minimaal benodigde dikte. Het verloop van toegepaste wapening versus nuttige hoogte is weergegeven in de grafiek. Zichtbaar is de grilligheid van de dimensionering op scheurwijdte, hierin is duidelijk de invloed van de diameter van de wapening zichtbaar.

DIMENSIONEREN

betonkwaliteit: C30/37f_{ck}30 N/mm²LOS OP: DIMENSIONEREN

	V _{max}	12-100	16-125	16-100	20-150	20-100
d (invoerparameter)	542 mm	542 mm	516 mm	441 mm	428 mm	318 mm
k (≤ 2,00)	1,61	1,61	1,62	1,67	1,68	1,79
A _k	0 mm ²	1131 mm ²	1608 mm ²	2011 mm ²	2094 mm ²	3142 mm ²
ρ (≤ 0,02)	0,000	0,002	0,003	0,005	0,005	0,010
V _{min} = 0,035 × k ^{2/3} × f _{td} ^{1/2} × b _w × d	211,8 kN/m	211,8 kN/m	204,6 kN/m	183,0 kN/m	179,3 kN/m	146,4 kN/m
V _{Rd,s} = C _{Rd,s} × k × (100 × ρ _k × f _{td}) ^{1/3} × b _w × d	0,0 kN/m	192,7 kN/m	211,8 kN/m	211,8 kN/m	211,8 kN/m	211,8 kN/m
max(V _{min} , V _{Rd,s})	211,8 kN/m	211,8 kN/m	211,8 kN/m	211,8 kN/m	211,8 kN/m	211,8 kN/m
V _{ed}	211,8 kN/m	211,8 kN/m	211,8 kN/m	211,8 kN/m	211,8 kN/m	211,8 kN/m
verschil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ber. Uitgevoerd?	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Dimensioneren op basis van moment in UGT						
	α	0,75	β	0,389		
		12-100	16-125	16-100	20-150	20-100
A _k	1131 mm ²	1608 mm ²	2011 mm ²	2094 mm ²	3142 mm ²	
d (invoerparameter)	673 mm	482 mm	394 mm	380 mm	273 mm	
x _{rel} = A _k × f _{yk} / (α × f _{td} × b × d)	33 mm	47 mm	58 mm	61 mm	91 mm	
x _{rel,max} = d × 500 / (500 + f _{yk})	360 mm	258 mm	211 mm	203 mm	146 mm	
ξ = d - β × min(x _{rel} , x _{rel,max})	660 mm	464 mm	371 mm	357 mm	238 mm	
M _{Rd}	324,8 kNm/m	324,8 kNm/m	324,8 kNm/m	324,8 kNm/m	324,8 kNm/m	
M _{ed}	324,8 kNm/m	324,8 kNm/m	324,8 kNm/m	324,8 kNm/m	324,8 kNm/m	
verschil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
ber. Uitgevoerd?	OK	OK	OK	OK	OK	

Dimensioneren op basis van moment in SLS: Scheurwijdte						
	E _s	200000 N/mm ²	E _{cm}	32837 N/mm ²		
		12-100	16-125	16-100	20-150	20-100
A _k	1131 mm ²	1608 mm ²	2011 mm ²	2094 mm ²	3142 mm ²	
d (invoerparameter)	526 mm	498 mm	429 mm	444 mm	276 mm	
h = d + Ø/2 + c _{top,act}	598 mm	574 mm	505 mm	524 mm	356 mm	
ρ = A _k / (b × d)	0,002	0,003	0,005	0,005	0,011	
x _{rel} = (-σ _{sk,p} + √((σ _{sk,p}) ² + 2 × σ _{sk,p} × ρ)) ×	78 mm	89 mm	91 mm	94 mm	85 mm	
σ _{yk} = M _{ed} / (A _k × (d - 1/3 × x _{rel}))	385 N/mm ²	288 N/mm ²	271 N/mm ²	251 N/mm ²	279 N/mm ²	
h _{tr,eff} = min(2,5 × (h - d) × (h - x _{rel}) / 3 × h / 2)	173 mm	162 mm	138 mm	143 mm	90 mm	
ρ _{yk,eff} = A _k / A _{tr,eff}	0,007	0,010	0,015	0,015	0,035	
s _{R,max} = k ₃ × c + k ₁ × k ₂ × k ₄ × ϕ / ρ _{yk,eff}	516 mm	477 mm	391 mm	437 mm	302 mm	
s _{R,max} ≤ max(15 × ϕ; (50 - 0,8 × σ _{yk}) × ϕ)	312 mm	416 mm	416 mm	520 mm	520 mm	
(σ _{yk,eff} - σ _{yk}) = (σ _{yk} - k ₄ × f _{yk,eff}) / ρ _{yk,eff} × (1 +	1,00‰	0,83‰	0,92‰	0,82‰	1,19‰	
(σ _{yk,eff} - σ _{yk}) ≥ 0,8 × σ _{yk,eff}	1,15‰	0,87‰	0,81‰	0,75‰	0,84‰	
W _k	0,36 mm	0,36 mm	0,36 mm	0,36 mm	0,36 mm	
W _{k,max} × k ₅	0,36 mm	0,36 mm	0,36 mm	0,36 mm	0,36 mm	
verschil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
ber. Uitgevoerd?	OK	OK	OK	OK	OK	

Nuttige hoogte doorsnede 'd' vs toegepaste wapening

$\alpha_s = E_s / E_{cm}$ 6,09 - $f_{ct,eff}$ 2,90 N/mm²

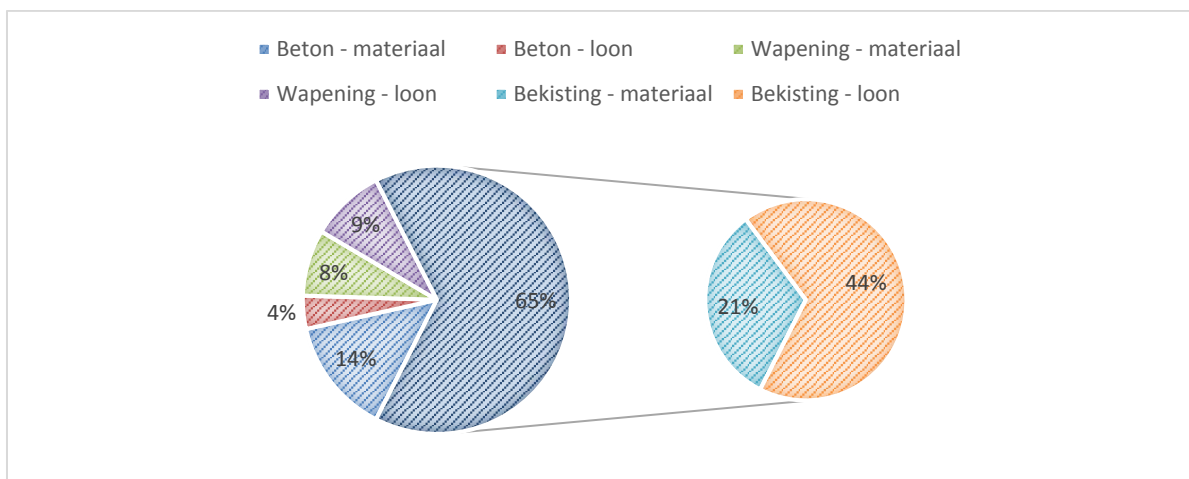
k_1 0,8 - (voor staven met hoge aanhechting)
 k_2 0,5 - (0,5 voor buiging / 1,0 voor zuivere trek)
 k_3 3,4 -
 k_4 0,425 -
 k_5 0,4 - (0,6 kortdurende belastingen / 0,4 langdurende belastingen)
 k_6 1,2 = $(c_{top,act} / c_{top}) \leq 2$

7.7 Vergelijkcriteria

Nu de dimensionering voor verschillende configuraties plaats heeft gevonden kan er een vergelijk worden gemaakt tussen de verschillende varianten. Gekozen wordt om kosten als besliscriterium te kiezen. Omdat dit een belangrijk aspect vormt, ook in het vervolgtraject, wordt hier kort bij stilgestaan en onderbouwd waarop dit gebaseerd is.

7.7.1 Kosten

Kosten in de uitvoering zijn een lastig onderdeel van een vergelijk. Er is weinig transparantie in de markt en bovendien zijn de kosten een onderdeel die afhankelijk is van vele zaken zoals marktwerking, krapte, orderportefeuilles en politieke belangen. Globaal kan gesteld worden dat de kosten voor het maken van een betonconstructie een verdeling kent zoals in onderstaand cirkeldiagram weergegeven is.



Figuur 7-1 Kosten betonwand (Sterken, 2017)

Zichtbaar is het voornaamste deel van de kosten opgaat aan bekisting (65% totaal). Het geval wil, dat deze parameter voor alle varianten min of meer gelijk is. De bekisting is niet afhankelijk van de wanddikte. Derhalve wordt deze parameter niet gebruikt als vergelijkcriterium.

7.7.1.1 Kosten beton

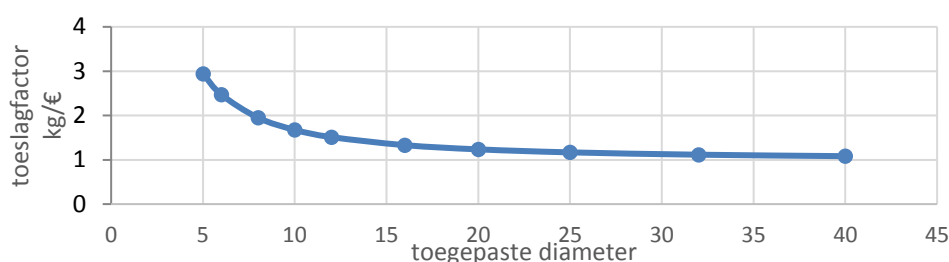
De betonkosten zijn relatief eenvoudig in rekening te brengen. Het volume beton (m^3) kan in rekening gebracht worden met een prijs per m^3 beton. Orde grote kosten voor 1 m^3 beton bedraagt inclusief aanbrengen €100. Door dit als invoerparameter te gebruiken kan er gevarieerd worden om bijvoorbeeld een gevoeligheidsanalyse te doen.

7.7.1.2 Kosten wapening

De wapeningskosten vergen iets meer aandacht. De kosten zijn op te delen in twee delen, enerzijds de materiaalkosten van ca. 1 €/kg en anderzijds de kosten voor het verwerken van de wapening. Deze laatste term blijkt uit gesprekken met buigcentrales afhankelijk van de

diameter. Hierin zitten meerdere effecten zoals legsnelheid, kraangebruik enzovoorts. De ton/uur capaciteit van een kleine diameter ligt lager dan bij grote diameters en dus is een kleine diameter duurder.

Gekozen wordt om een toeslag op de massa van de staaf in rekening te brengen. Op deze manier worden de verwerkingskosten verdisconteerd in de hoeveelheid wapening. Een kleine diameter zal in dat geval een negatiever effect hebben dan het toepassen van een grotere diameter. Het opmerkelijke is dat dit criterium lijnrecht tegen over de effecten voor scheurwijdte berekeningen staat. De toeslagfactoren zijn als volgt vastgesteld aan de hand van de verkregen informatie:



Aan de hand van deze factoren kan dan nu worden berekend welke variant qua configuratie (wanddikte versus benodigde wapening) de voorkeur geniet.

7.7.2 Best Guess model

Wanneer bovenstaande gegevens gebruikt worden voor het “Best Guess” model kan op cijfermatige basis een keuze worden gemaakt voor de economisch meest voordelige configuratie. Hierbij worden voor de niet berekende wapening aannames gedaan: in de horizontale richting wordt krimpwapening aangenomen op basis van ervaringsgetallen, aan de drukzijde wordt de minimale wapening als aanname genomen.

CONCLUSIE PER CONFIGURATIE

Kosten m3 beton wand:

100 EUR/m3

Kosten kg staal:

1 EUR/kg

→ verwerking wordt in rekening gebracht als massa toeslag

Diameter hoofdwapening	12-100	16-125	16-100	20-150	20-100
A _s	1131 mm ²	1608 mm ²	2011 mm ²	2094 mm ²	3142 mm ²
Minimale benodigde d:	673 mm	516 mm	441 mm	444 mm	318 mm
h = d+Ø/2+c _{ges}	739 mm	584 mm	509 mm	514 mm	388 mm
h afgerond naar boven op veelvoud van 25mm	750	600	525	525	400
m3 beton	0,75	0,6	0,525	0,525	0,4
A _{cr,verl} = 0,26 x f _{ctm} /f _{yk} x b x d	1130	904	791	791	602
diameter buigtekwapening	12	16	16	20	20
kg/m ³	1,36655	2,1413	2,1413	3,1124	3,1124
aantal meters totaal / m ² wand	10,00	8,00	10,00	6,67	10,00
inschatting wapening binnenzijde (min. wapening)	12-100	12-125	12-143	12-143	12-187
diameter verticale wapening binnenzijde	12	12	12	12	12
kg/m ³	1,36655	1,36655	1,36655	1,36655	1,36655
aantal meters totaal / m ² wand	10,00	8,00	6,99	6,99	5,35
inschatting horizontale wapening tweezijdig	16-75	16-100	16-100	16-100	14-100
diameter horizontale wapening	16	16	16	16	14
kg/m ³	2,1413	2,1413	2,1413	2,1413	1,7343
aantal meters totaal / m ² wand	26,67	20,00	20,00	20,00	20,00
kg wapeningsstaal:	84,43	70,89	73,80	73,13	73,12
kg/m ²	112,38	118,15	140,56	139,30	182,79

kosten materiaal per variant/ m² wand

Variant	Kosten Staal (€)	Kosten beton (€)	Totaal (€)
dikte 750+12-100	84,43	75,00	159,43
dikte 600+16-125	70,89	60,00	130,89
dikte 525+16-100	73,80	52,50	126,30
dikte 525+20-150	73,13	52,50	125,63
dikte 400+20-100	73,12	40,00	113,12

Over het algemeen kan geconcludeerd worden dat het toepassen van minder beton en iets meer buigtrekwapening een voordeligere variant oplevert dan een grote wanddikte en minder buigtrekwapening. Dit komt voornamelijk doordat bij een grotere wanddikte meer krimpwapening toegepast moet worden, dit nivelleert de besparing aan wapening. De kosten van de wapening lijken ook behoorlijk constant per configuratie. Het besparen van beton levert daar tegenover wel een economisch voordeel op.

Belangrijk te vermelden is dat de getoonde bedragen fictieve vergelijkbedragen zijn. Het zijn geenszins geldbedragen waarmee gecalculeerd kan worden, daarvoor zijn de bedragen te basaal en incompleet. Voor een vergelijk lenen zij zich echter uitstekend!

7.8 Keuze dimensies

Aan de hand van het vergelijk kan nu een keuze worden gemaakt. Eerst wordt geopteerd om de wanddikte gelijk te kiezen aan de vloerdikte. Het moment bij de hoekaansluiting wordt namelijk 'omgezet' in de vloer en zal een gelijke grote hebben. Er kan afgeweken worden van de economisch beste keuze op basis van praktische oogpunt, esthetica en inpassing.

Keuze dimensies vloer en wand	
Wanddikte	550 mm
Vloerdikte (kies gelijk aan wanddikte)	550 mm

7.9 Uitwerking paalraster

Nu over het algemeen alle dimensies en afmetingen vastgelegd zijn kunnen ontwerpsommen voor het palenplan gemaakt worden. Hier wordt uitgegaan van een vierkante meter belasting van bijvoorbeeld waterdruk, permanente belastingen en verkeerslasten. De gebruiker kan een aantal varianten van paalrasters invoeren waarna de resultaten vergeleken kunnen worden met draagkrachttabellen en/of sommen van de geotechnicus. Eventuele beschouwing van de haalbaarheid van het toepassen van groutinjectieankers op basis van de vermoeiingsrimpel kan hier ook worden beschouwd.

Keuze paalraster

Inschatting belastingen per m² vloer

Permanente belasting (vloer + asfalt)

16,05 kN/m²

Waterdruk tegen o.k. vloer diepste punt (LGWS)

26,50 kN/m²

Waterdruk tegen o.k. vloer var. deel (HGWS-LGWS)

15,00 kN/m²

Maximale belasting t.g.v. TS - BM 1: (1 aslast)

600 kN

Oppervlakte TS - BM1 ((2,40 + d_{paal}) x (1,60 + d_{paal})):

6,3425 m²

Belasting t.g.v. TS - BM1

94,60 kN/m²

Maximale belasting t.g.v. UDL - BM1

9 kN/m²

Maximale wisseling t.g.v. FAT (0,7 x TS + 0,3 x UDL)

68,9 x Araster kN

maar totaal niet groter dan 600 kN

→ geeft bij paalrasters groter dan 3x3 een overschatting

middenpaal beschouwd, geen randeffecten:

paalraster vs paalbelasting in kN	1,5x1,5	2,0x2,0	2,5x2,5	3,0x3,0	3,5x3,5	4,0x4,0
permanente paalbelasting (FAT - MIN)	-23,51	-41,80	-65,31	-94,05	-128,01	-167,20
kar. Drukbelasting (LGWS)	209,59	372,60	582,19	586,95	582,24	576,80
kar. Trekbelasting (HGWS)	-57,26	-101,80	-159,06	-219,05	-311,76	-407,20
Maximale drukbelasting paal cf. 6.10 a	245,03	435,61	680,64	708,62	730,50	755,76
Maximale drukbelasting paal cf. 6.10 b	304,36	541,08	845,44	878,04	902,61	930,96
Maximale trekbelasting paal cf. 6.10 a	-95,64	-170,02	-265,66	-382,55	-520,69	-680,08
FAT - MAX	131,56	233,88	365,44	350,25	325,06	296,00
ΔFAT	155,07	275,68	430,75	444,30	453,08	463,20

Vergelijk bovenstaande paalbelastingen met paal draagvermogen tabellen, vermoeiing beschouwing indien groutinjectieankerpalen worden overwogen: dit kan kritisch zijn! Beter in een vroeg stadium afkaarten dan later!

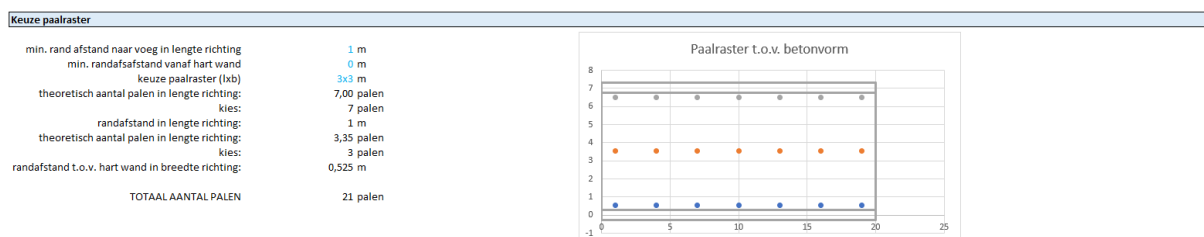
7.10 Vloerdikte versus pons

Als laatste wordt op basis van de verschillende paalrasters met de berekende paalreacties berekend of pons een probleem oplevert. Hierbij wordt conservatief getoetst op basis van de toelaatbare schuifspanning in beton zonder wapening (v_{min}). Ter vereenvoudiging wordt uitgegaan van een ronde paal, een vierkante paal kan in rekening worden gebracht door te rekenen met een equivalente diameter ($d_{eq} = 1,13 \cdot b_{paal}$). Er is onderscheid gemaakt voor de toetsing op basis van trek en op basis van druk. Hierbij kunnen verschillende diameters in rekening gebracht worden. Met behulp van de factor voor constructiehoogte kan bovendien in rekening gebracht worden als de pons maar door de halve doorsnede wordt geleid (bijvoorbeeld bij het toepassen van schotels). Wanneer de maximale schuifspanning overschreden wordt voldoet de constructie niet en zal er óf voor een dikkere vloer gekozen moeten worden, óf het paalraster moet verkleind, óf de betonkwaliteit verhoogd.

Vloerdikte t.o.v. paalraster							
	ϕ [mm]	(factor constructiehoogte beschikbaar pons)	d_{pons} (= $0,9 \times h \times$ factor)	$l_{geveling}$ [mm]	k	v_{min} [MPa]	
paalametring t.b.v. pons druk	300	1,00	495	7163	1,64	0,40	
paalametring t.b.v. pons trek	300	0,50	247,5	4053	1,90	0,50	
paalraster	1,5x1,5	2,0x2,0	2,5x2,5	3,0x3,0	3,5x3,5	4,0x4,0	
Optredende ponsspanning druk [MPa]	0,09	0,15	0,24	0,25	0,25	0,26	
Optredende ponsspanning trek [MPa]	0,10	0,17	0,26	0,38	0,52	0,68	

7.11 Keuzepaalraster

Als laatste wordt de uiteindelijke paalraster keuze gemaakt op basis van bovenstaande resultaten. Dit kan grafisch weergegeven worden, hiermee worden ook de coördinaten van het palenplan vastgelegd.



Hier mee zijn dan ook alle onderdelen ten aanzien van de “Best Guess” vastgelegd, de basis voor het parametrisch model is hiermee gelegd!

8 Toepassen model

Met de 'Best Guess' als basis wordt gestart met het daadwerkelijke parametrische model. In dit hoofdstuk wordt kort omschreven hoe dit parametrische model is opgezet. Dit wordt op hoofdniveau gedaan, begrip van het proces en de genomen stappen is voldoende om te snappen hoe het model werkt en is opgesteld. Vervolgens wordt kort weergegeven welke stappen doorlopen moeten worden om het model te gebruiken, daarna wordt de basissituatie vastgelegd aan de hand waarvan een parameterstudie wordt gedaan.

8.1 Basis workflow modellen

Om een parametrisch model op te bouwen met behulp van SCIA is het belangrijk om te begrijpen hoe SCIA aan te sturen is. SCIA maakt gebruik van zogenaamde XML-bestanden, grof gezegd zijn dit tabellen met een bepaalde structuur waarin SCIA zijn informatie opslaat en uit kan lezen. Een typisch fragment van zo'n dergelijk XML is weergegeven in figuur 8-1.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-16" standalone="true"?>
- <project xmlns="http://www.scia.cz">
  <def uri="parameters_ODG.xml.def"/>
  - <container t="EP_Parameters.EP_Param.1" id="{5C62EA11-86D4-11D4-B3AB-00104BC3B531}">
    - <table t="EP_Parameters.EP_Param.1" id="57B5304D-29F1-41E8-9EF4-D4CB262BBA21" name="Parameters">
      - <h>
        <h0 t="Naam"/>
        <h1 t="UniqueID"/>
        <h2 t="Type"/>
        <h3 t="Evaluatie"/>
        <h4 t="Gebruik bereik"/>
        <h5 t="Omschrijving"/>
        <h6 t="Waarde"/>
        <h7 t="Minimum"/>
        <h8 t="Maximum"/>
      </h>
      - <obj id="20" nm="L_moot">
        <p0 v="L_moot"/>
        <p1 v="{88F31D42-48A4-4F52-88FC-3A90BC4F944B}"/>
        <p2 t="Lengte" v="3"/>
      </obj>
    </table>
  </container>
</project>
```

Figuur 8-1 fragment van XML uit SCIA

Workflow 1: vervangen van gegevens

De meest 'basic' en makkelijke versie van het maken van een parametrisch model met SCIA en het gebruik van een XML is onderstaand in een stappenplan weergegeven.

1. Maak een model in SCIA;
2. Exporteer de aan te passen parameters middels XML;
3. Pas de parameters in de XML aan;
4. Herlees het XML-bestand in SCIA;
5. Reken het model opnieuw door;
6. Interpreteer de resultaten en verwerk deze;
7. Indien nodig ga terug naar stap 3.

Workflow 2: schrijven van XML

Als we nog een stap verder gaan laten we SCIA, in den beginne, compleet links liggen:

1. Schrijf een XML met alle parameters;
2. Herlees het XML-bestand in SCIA;
3. Reken het model door;
4. Interpreteer de resultaten en verwerk deze;
5. Indien nodig ga terug naar stap 1 met aangepaste parameters.

SCIA wordt feitelijk alleen als een (zeer geavanceerde) rekenmachine gebruikt en niet als input programma.

8.2 Toepassing workflow modellen

Bij ons specifieke geval van het parametrische model voor onderdoorgangen wordt een combinatie van beide workflows toegepast. Dit heeft een aantal redenen:

1. Indien de parameters enkel in waarde wijzigen zijn zij uitermate geschikt voor workflow 1: het herschrijven van een XML-bestand. Deze wijze is het minst foutgevoelig en is het minst bewerkelijk. Kort gezegd: de waarde van de parameter wordt opgezocht op in de tabel, de waarde wordt vervangen door een andere waarde en de XML kan worden opgeslagen en opnieuw worden ingelezen. Voorbeelden van parameters waarvoor dit geldt:
 - a. Geometrie;
 - b. Belastinggevallen;
 - c. Sneden op vaste posities;
2. Indien de parameters een wijziging hebben in hoeveelheid (bijvoorbeeld het aantal palen) werkt workflow 1 niet praktisch. De mogelijkheid bestaat, om bij het voorbeeld van palen te blijven, om een overdadige hoeveelheid palen in het model te maken, deze aan te passen en de niet gebruikte palen op veerwaarde 0 te zetten waardoor zij geen invloed hebben. Wat in dit geval prettiger is om zelf een XML-bestand te schrijven waarmee de hoeveelheid palen onafhankelijk kan worden ingevoerd en worden herlezen. Voorbeelden van parameters:
 - a. Steunpunten;
 - b. Belastingcombinaties;
 - c. Sneden boven steunpunten;

Door beide workflows te combineren voor de onderdelen waarvoor zij het beste werken kan erg goed een model worden gemaakt. De schoonheid die XML's namelijk hebben is dat zij samen toegevoegd kunnen worden tot één totaal XML. In onderstaande figuur wordt duidelijk gemaakt hoe de XML's uit de workflows gecombineerd kunnen worden.

```
1  <?xml version="1.0" encoding="UTF-16" standalone="yes"?>
2  <project xmlns="http://www.scia.cz">
3    <def uri=DEFINITIE FILE/>
4    <container id="{NUMMER}" t="CONTAINERTITEL">
5      <table id="TABELNUMMER" t="TABELTITEL" name="PARAMETERTITEL">

GEGEVENS IN TABEL MET BEHULP VAN WORKFLOW 1

6      </table>      #→ sluit tabel
7    </container>    #→ sluit container
8    <container id="{NUMMER}" t="CONTAINERTITEL">
9      <table id="TABELNUMMER" t="TABELTITEL" name="PARAMETERTITEL">

GEGEVENS IN TABEL MET BEHULP VAN WORKFLOW 2
```

Figuur 8-2 voorbeeld met XML opbouw vanuit verschillende workflows

Een belangrijk onderdeel van bovenstaand stuk XML is in regel 3 zichtbaar. Hierin wordt de locatie van de zogenaamde definitie file genoemd. Gesteld kan worden dat dit een soort woordenboek is waarmee SCIA doormiddel van de containernummers en tabelnummers een vertaling kan maken van de gegevens die in de tabel staan. Dit is nodig omdat de tabellen qua opbouw weinig gelijkenis kennen en zeer parameter specifiek zijn. De opbouw zoals bovenstaand is de enige ‘constante’ hierin. De schoonheid zit in het feit dat in één XML zeer veel “containers” toegevoegd kunnen worden en in één keer naar SCIA gestuurd kunnen worden.

Of workflow 1 of workflow 2 nu gebruikt wordt er geldt altijd: Het schrijven en/of aanpassen van een XML kan handmatig met een kladblokprogramma. Echter is dit zo bewerkelijk dat dit niet wenselijk is. Beter en sneller is het gebruiken van een programmeertaal voor deze taak. Een computer kan dit namelijk beter, sneller en bovendien met minder fouten. In dit specifieke model wordt hiervoor VBA gebruikt, zoals beschreven in §5.4.

8.3 Invoer workflow 1

Als eerste wordt de omgeving gepresenteerd waar de gegevens van workflow 1 ingevoerd kunnen worden. Deze is weergegeven in navolgende afbeelding. Alle hoofdparameters, zoals weergegeven in §6, die ingevoerd kunnen worden met workflow 1 worden hier ingevoerd. Een groot aantal parameters worden overgenomen vanuit de “Best Guess”, een aantal kunnen

worden overruled en een aantal parameters moeten aangevuld worden. Doormiddel van het drukken op de knop 'XML-file parameters schrijven' wordt de XML-file aangepast waarin de parameters zijn weergegeven.

Materialen en massa's					
Parameter	Symbool	Waarde	Eenheid		
Soortelijk gewicht asfalt		23	kN/m ³		
Soortelijk gewicht beton		25	kN/m ³		
Soortelijk gewicht water		10	kN/m ³		
Soortelijk gewicht grond droog		18	kN/m ³		
Soortelijk gewicht grond nat		20	kN/m ³		
Horizontale gronddruk coëfficiënt		0,5	-		
XML file parameters schrijven					
Dwarsmaatvoering					
Parameter	Symbool	Waarde	Eenheid		waarde
Dikte vloer		550	mm	--> kan afwijken van best guess	550 mm
Dikte wand		550	mm	--> kan afwijken van best guess	550 mm
Dikte Asfalt		100	mm		
Breedte rijbaan		6	m		
Breedte schampstrook		0,25	m		
Hoogte schampstrook		0,19	m		
Breedte oor		0	m	--> zit niet in best guess	
Maaiveld hoogte [t.o.v. N.A.P.]		2	m		
Grondwaterstand Laag [t.o.v. N.A.P.]		0	m		
Grondwaterstand Hoog [t.o.v. N.A.P.]		1,5	m		
Lengte maatvoering					
Parameter	Symbool	Waarde	Eenheid		
Lengte moot		20	m		
bovenkant asfalt as A [t.o.v. N.A.P.]		-1	m		
bovenkant asfalt as B [t.o.v. N.A.P.]		-2	m		
bovenkant wand as A [t.o.v. N.A.P.]		2	m		
bovenkant wand as B [t.o.v. N.A.P.]		2	m		
Verkeersbelastingen					
Parameter	Symbool	Waarde	Eenheid		
reductiefactor q-last rijstrook 1		1	-	--> zit niet in best guess	
reductiefactor q-last rijstrook 2		1	-	--> zit niet in best guess	
reductiefactor q-last reststrook		1	-	--> zit niet in best guess	
reductiefactor aslasten rijstrook 1		1	-	--> zit niet in best guess	
reductiefactor aslasten rijstrook 2		1	-	--> zit niet in best guess	
TS - Aslast rijstrook 1		300	kN		
TS - Aslast rijstrook 2		200	kN	--> zit niet in best guess	
TS - Wielprint afmeting		0,4	m	--> zit niet in best guess	
TS - asafstand rijrichting		1,2	m	--> zit niet in best guess	
TS - asafstand dwarsrichting		2	m	--> zit niet in best guess	
UDL - rijstrook 1		9	kN/m ²		
UDL - rijstrook 2		2,5	kN/m ²	--> zit niet in best guess	
UDL - reststrook		2,5	kN/m ²	--> zit niet in best guess	
Overige belastingen					
Equivalente maaiveld belasting		20	kN/m ²		
referentie temperatuur		15	°C/°K	--> zit niet in best guess	
temperatuur binnenzijde zomer		35	°C/°K	--> zit niet in best guess	
temperatuur grondzijde zomer		13	°C/°K	--> zit niet in best guess	
temperatuur binnenzijde winter		-15	°C/°K	--> zit niet in best guess	
temperatuur grondzijde winter		3	°C/°K	--> zit niet in best guess	
Maximale temperatuursdaling dagelijks		-8	°C/°K	--> zit niet in best guess	
Maximale temperatuurstijging dagelijks		20	°C/°K	--> zit niet in best guess	

8.4 Invoer workflow 2 – fundering

Na het invoeren van de parameters die de geometrie en de belastingen vastleggen kan het palenplan ingevoerd worden. Deze parameter is het meest interessante om mee te variëren, vandaar dat deze een aparte kop heeft. De belastingcombinaties zullen na eenmaal ingevoerd te zijn niet snel meer wijzigen en vormen per project een vaste basis. De manier van invoeren is voor het parametrische model is van minder belang, dus wordt deze niet in dit onderzoek gepresenteerd. De manier van invoeren is vergelijkbaar met het invoeren van het paalraster.

Keuze paalraster	
min. rand afstand naar voeg in lengte richting	1 m
min. randafstand vanaf hart wand	0 m
keuze paalraster (lxb)	2x2 m
theoretisch aantal palen in lengte richting:	10,00 palen
kies:	10 palen
randafstand in lengte richting:	1 m
theoretisch aantal palen in dwarsrichting:	4,53 palen
kies:	4 palen
randafstand t.o.v. hart wand in breedte richting:	0,525 m
TOTAAL AANTAL PALEN	40 palen
naam plaat waar palen onder komen	E1
Stijfheid Z	100 mN/m
Stijfheid X=Y	10 mN/m

Paalraster

Schrijf XML file paalraster

Eenzelfde invoer gedeelte als bij de “Best Guess” is hier weergegeven. Aan de hand van een zestal parameters kan op een snelle manier een palenplan gegenereerd worden. Na het vaststellen van het palenplan worden beide XML's naar SCIA gestuurd en doorgerekend waarna een analyse van de resultaten kan plaatsvinden. Onderstaand is een fragment weergegeven van het onderliggende VBA-script.

```
'invullen tabel
For j = 1 To aant_kolommen
  For i = 1 To aant_rijen
    paaln = (j * aant_rijen - aant_rijen + i)
    paalnaam = "Paal" & paaln
    coordnr = (14 + paaln)
    coordnaam = "K" & coordnr
    f.writeline "<obj id="" & paaln & "" nm="" & paalnaam & "">"
    f.writeline "<p0 v="" & paalnaam & ""/>"
    f.writeline "<p1 v="" & stijfheid_y & ""/>"
    f.writeline "<p2 v="" & stijfheid_z & ""/>"
```

Figuur 8-3 Fragment VBA-script invoeren fundatie

8.5 Verwerken resultaten

Uit SCIA worden een aantal te toetsen resultaten verkregen, het gaat hierbij om snedekrachten en oplegreacties. De posities waar getoetst wordt zijn omschreven in §5.1.4. Om een vergelijk te kunnen maken moet er per snedekracht beschouwd worden wat er constructief benodigd is om het criterium te kunnen halen.

8.5.1 Snedekrachten moment

Tegenwoordig wordt algemeen getoetst op een wijze waarbij de doorsnede vast wordt gelegd, een wapeningshoeveelheid wordt toegepast en vervolgens wordt gekeken of deze

hoeveelheid voldoet. In dit specifieke geval zou het handig zijn om de som om te keren: Gegeven een aantal krachten: hoeveel wapening is benodigd om hieraan te voldoen? Gekozen is om dit op een numerieke wijze te doen. Door een grote hoeveelheid mogelijkheden aan wapeningsconfiguraties te berekenen kan een verloop vastgesteld worden van de momentcapaciteit. De kleinste hoeveelheid (kg's inclusief verwerkingstoeslag) waar zowel het sterkte als het scheurwijdte criterium voldoet is de economisch meest voordelige keuze. De volledige lijst met deze capaciteiten is gepresenteerd in *XII. Bijlage J – dimensionering*.

In de grafiek voor momenten is duidelijk een grillige lijn zichtbaar, dit is voornamelijk de invloed van de verwerkingsfactor die de hoeveelheid kg/m verhoogd. Op te merken is dat ten gevolge van het toepassen deze toeslagfactor de capaciteitslijn van het scheurwijdtecriterium minder grillig wordt en de capaciteitslijn op basis van het sterktecriterium juist grillig wordt (zonder toeslag is deze vloeiend). Dit komt overeen met de conclusie die in §7.7.1.2 ook al was getrokken, echter is dit op een andere wijze wederom aangetoond.

8.5.2 Snedekrachten dwarskracht

Voor de dwarskracht kunnen we eenzelfde exercitie doen waarbij we bij een grote hoeveelheid configuraties de dwarskrachtcapaciteit berekenen. De volledige lijst met deze capaciteiten is gepresenteerd in *XII. Bijlage J – dimensionering*.

Net als bij de momentcapaciteiten wordt een grilligheid in de capaciteit gevonden. Deze is in het geval van dwarskracht puur toe te schrijven aan de toeslagfactoren voor verwerking. Voor de toetsing geldt: indien de hoeveelheid wapening benodigd voor dwarskracht groter is dan voor momentcapaciteit wordt de hoeveelheid wapening op basis van dwarskracht maatgevend. Indien deze hoeveelheid wapening lager is dan benodigd voor momentcapaciteit, is de hoeveelheid buigtrekwapening op basis van momentcapaciteit maatgevend.

8.5.3 Oplegreacties

Als laatste volgt de toetsing van de paalreacties. De toetsing van de oplegreacties zal op twee punten gedaan moeten worden. Enerzijds moet de draagkracht worden getoetst en anderzijds moet de ponscapaciteit van de vloer worden getoetst.

8.5.3.1 Ponscapaciteit

De toetsing van de ponscapaciteit wordt gedaan op basis van dezelfde criteria als bij de “Best Guess” met als aanname enkel ‘centrische’ pons. Dit versimpelt in dit stadium de berekening behoorlijk. Doordat gerekend wordt met de minimale capaciteit zonder het aandeel buigtrekwapening een rol te laten spelen wordt het verwaarlozen van eventuele

excentriciteiten en de effecten bij de randen enigszins ondervangen. Feitelijk moet conform de Eurocode aan de belastingzijde de factor β in rekening worden gebracht. In VI. Bijlage D – toetscriteria wordt aannemelijk gemaakt dat dit wordt ondervangen door het rekenen met de minimale capaciteit. Koromt: de factor β wordt dus niet in rekening gebracht. Bij een eventuele uitbreiding van het model kan dit worden toegevoegd. Voor het vergelijk tussen varianten wordt dit als voldoende geacht. Verder is het uitgangspunt dat voor zowel trek als druk de volledige doorsnede hoogte beschikbaar is. De volledige lijst met de ponscapaciteiten is gepresenteerd in XII. Bijlage J – dimensionering.

8.5.3.2 Draagkracht

De toetsing op draagkracht op zowel trek als druk wordt over het algemeen uitgevoerd door een geotechnicus. Deze kan verschillende berekeningen maken en ook een draagkrachttabel maken waar per paalpuntniveau (PPN) een draagkracht wordt weergegeven. Het lastige aan dit geval is dat geotechniek voor een groot deel afhankelijk is van interpretatie, grondsamenstellingen, sonderingen en paaltypes. Voor dit onderzoek gaan we uit van een voorbeeld fictieve draagkrachttabel uit een bestaand project om toch een vergelijkmodel te kunnen opstellen. In de praktijk zal dit projectafhankelijk aangeleverd worden door een geotechnicus. Het vergelijk is louter indicatief, want het feit dat de hart-op-hart afstand van de palen invloed heeft op het trekdraagvermogen wordt hier gemakshalve verwaarloosd.

Paallengte	R _{c;net;d}	R _{c;net;t}
m	druk [kN]	trek [kN]
15	1170	195
16	1260	210
17	1440	240
18	1620	270
19	1740	290
20	1860	310
21	2040	340
22	2160	360
23	2280	380
24	2400	400
25	2520	420
26	2580	430
27	2820	470

Figuur 8-4 Principe paal draagkracht tabel

8.6 Vergelijkingsmodellen

Voor het vergelijken wordt het eerder gepresenteerde model uit de “Best Guess” gebruikt. De parameters die interessant zijn om te wijzigen zijn zowel het palenplan en de vloerdikte. De invloed van de wanddikte wordt als nihil geschat op basis van de “Best Guess” en wordt derhalve constant gehouden. De volgende varianten worden vergeleken:

Paalraster	Vloerdikte	550	550	550	550
[m]	Vloerdikte [mm]	450	550	650	750
2x2	Raster: 4 m ²	x	x	x	x
3x3	Raster: 9 m ²	x	x	x	x
4x4	Raster: 16 m ²	x	x	x	x

Dit resulteert in een totaal van twaalf varianten. Op basis van voorgaande criteria wordt uiteindelijk een kostenvergelijking gedaan. Hierna is ook vast te stellen welke parameters in dit specifieke geval echt invloed hebben.

9 Analyse model

Nu het model gemaakt is, kan deze gebruikt worden. In dit hoofdstuk worden de bevindingen van het gebruik van het model gepresenteerd.

9.1 Vergelijk met “Best Guess”

De “Best Guess” kan nogmaals tot zijn recht komen. Door de berekeningen die doormiddel van de “Best Guess” gedaan zijn te vergelijken met de resultaten uit het Eindige Elementen (EE) model kan gevalideerd worden of de resultaten enigszins vergelijkbaar zijn. Er wordt niet verwacht dat de getallen exact overeenkomen (gelukkig maar, anders zou het maken van een geavanceerde berekening geen zin hebben), maar er kan wel gecontroleerd worden of de resultaten orde grote gelijk zijn.

Geconcludeerd kan worden dat de snedekrachten uit het EE-model goed overeenkomen met de sommen uit de “Best Guess”. Met name de momenten bij de wandinklemming zitten binnen 10% van de geschatte waarde, dit is erg nauwkeurig en hieruit is bovendien te concluderen dat de wand zich inderdaad als een uitragende ligger gedraagt. De geschatte paalreacties wijken meer af, soms tot wel 50%. Dan nog kan gesteld worden dat het EE-model veilig is om te gebruiken.

Voor het berekenen van de paalreacties tijdens de “Best Guess” is namelijk een zeer simplistisch model gebruikt waarbij stijfheden en randeffecten ten gevolge van de wand niet zijn meegenomen. Voornamelijk U-bakken met een kleine inwendige breedte zullen hier veel effecten van ondervinden en derhalve is het gebruikte schattingsmodel niet geheel juist. Waar vooral naar gekeken wordt is of de drukbelasting enorm wordt overschreden, dit kan namelijk niet. De maximale belasting op één paal kan namelijk niet veel hoger zijn dan de geschatte waarde uit de “Best Guess”. Over het algemeen zijn de paalreacties lager en derhalve kan ook nog geconcludeerd worden dat het geavanceerde rekenen een toegevoegde (economische) waarde heeft.

9.2 Dwarskracht

Tijdens het uitwerken is gebleken dat de toets positie voor dwarskrachtcapaciteit van de vloer precies binnen een ponsperiferie valt. Het ponscriterium is derhalve maatgevend. Om deze reden is de benodigde wapening bij de wand inklemming op basis van dwarskracht niet meegenomen als vergelijkcriterium.

9.3 'Optimaal ontwerp'

Er wordt gezocht naar een optimaal ontwerp. Echter kan de benaming 'optimaal' op meerdere manieren geïnterpreteerd worden. In dit geval wordt er gezocht naar een kostenoptimum: lagere kosten is beter. Vanuit de positie van de levensduur kan er op een heel andere wijze gekeken worden naar de constructie, robuustheid zou in dat geval van belang zijn. Dit zou ondervangen kunnen worden door meer materiaal (beton, palen, wapening) dan nodig toe te passen. Gesteld kan worden: een optimum is perspectief afhankelijk. Wel kan gesteld worden dat economische belangen over het algemeen de boventoon voeren bij constructies en derhalve is het zoeken naar een kosten optimum niet een vreemde gedachte.

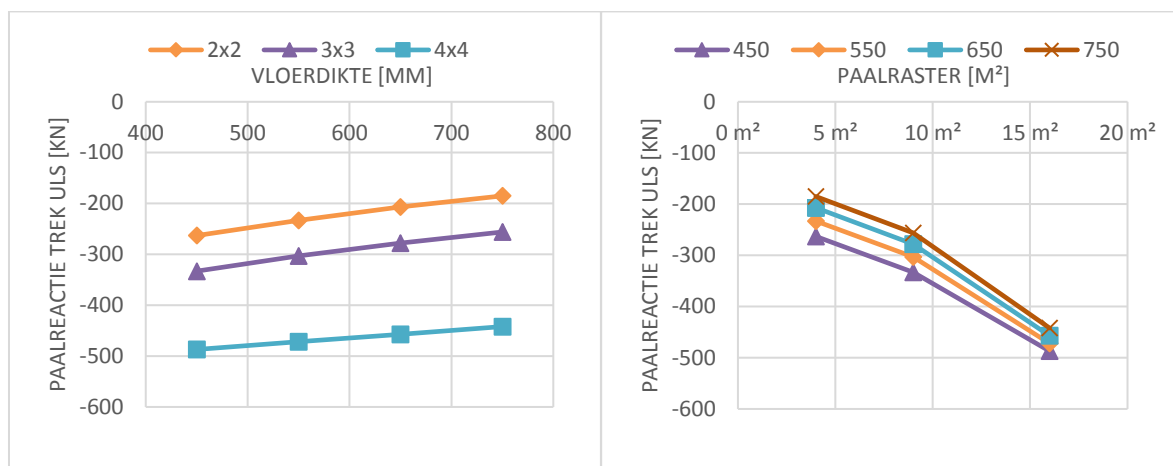
Wel wordt bij het zoeken naar een kosten optimum gekeken naar een 'praktisch' kostenoptimum. Bijvoorbeeld: uit het theoretische model kan blijken dat het kosten optimum een oplossing is met verschillende paallengtes. Echter uit de praktijk is bekend dat dit qua uitvoering, risico's op fouten en bouwsnelheid geen optimale oplossing is. Om deze reden wordt er bijvoorbeeld gekozen voor een constante paallengte over de gehele moot.

9.4 Opvallende resultaten

Voordat de optimale variant gepresenteerd wordt, wordt er eerst gekeken naar de verkregen resultaten. Dit parametrische model heeft namelijk nog een tweede functie: het verschaffen van inzicht. Door de resultaten te bekijken en de relaties tot elkaar te gaan begrijpen kan er inzicht verkregen worden over het gedrag van de constructie. Aan welke knoppen kan er gedraaid worden om een bepaald resultaat te krijgen, en welke parameters hebben geen invloed? Voor een ontwerper is dit inzicht van groter belang dan het geven van het optimale antwoord. Dit is, naar bescheiden mening, dan ook de echte toegevoegde waarde van het parametrische modelleren: het vergroten van kennis. In deze paragraaf worden maar enkele voorbeelden behandelt omwille de omvang van het onderzoek. Het totale overzicht van de onderlinge verbanden is te vinden in *X. Bijlage H – ontwerpresultaten*.

9.4.1 Paalreacties op trek

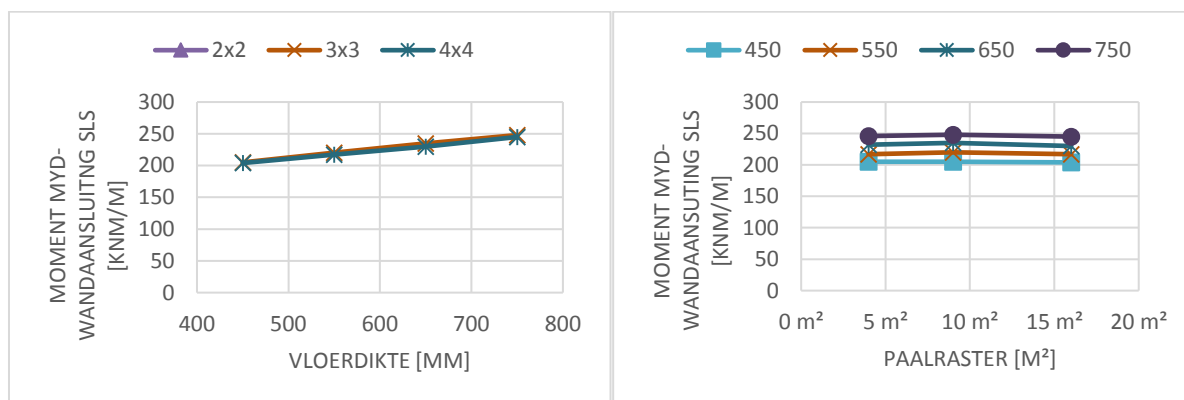
Er is een duidelijk verband zichtbaar voor de paalreacties op trek op basis van twee parameters. Enerzijds leidt het verhogen van de vloerdikte tot een verlaging van de trekreactie. Dit is ook te verwachten: de neerwaartse belasting neemt toe. Anderzijds leidt het vergroten van het paalraster (minder palen) ook tot een verhoging van de trekreactie. Dit voldoet eveneens aan de verwachting, de belasting wordt over minder palen verdeeld. Wat ook te zien is dat het aantal palen een dominanter effect heeft ten opzichte van de trekreactie dan het toevoegen van dikte.



Figuur 9-1 Paalreactie trek (ULS) in relatie tot vloerdikte (l) en paalraster (r)

9.4.2 Moment onderzijde vloer aansluiting wand

Een ander duidelijk verband is zichtbaar voor het moment aan de onderzijde vloer ter plaatse van de aansluiting met de wand. Deze blijkt namelijk geen relatie te hebben met het aantal palen. Wel is een relatie zichtbaar met de dikte van de vloer. Bij een dikkere vloer neemt de stijfheid van de vloer toe en dus trekt deze meer moment naar zich toe: de snedekrachten nemen toe. Niet onderzocht is de relatie van afstand van de buitenste paal tot de wand, naar verwachting heeft dit wel invloed op het moment bij de wandaansluiting.



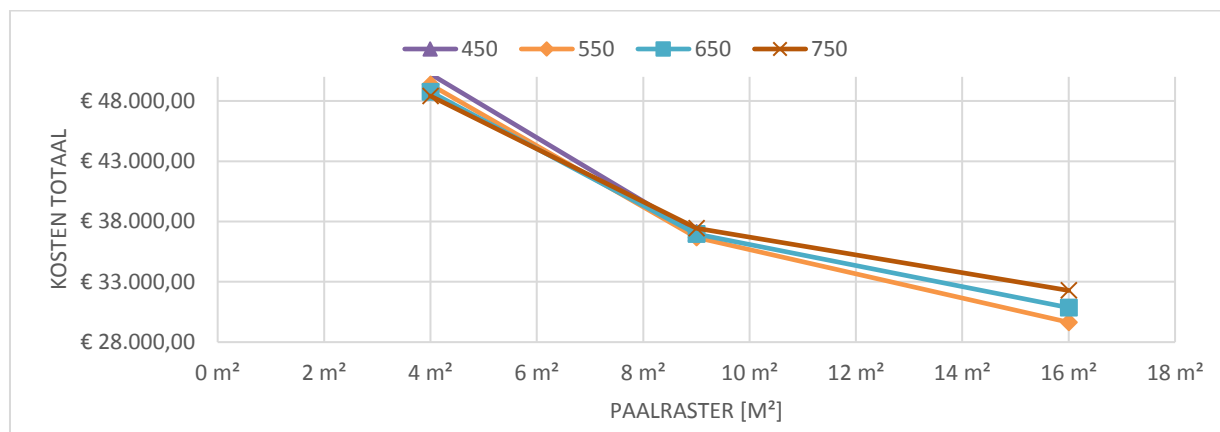
Figuur 9-2 Moment myD- vloer (SLS) in relatie tot vloerdikte (l) en paalraster (r)

9.4.3 Moment boven paal in langsrichting

Voor het moment boven de palen in de langsrichting is een vergelijkbaar verband als bij de paalreacties op trek zichtbaar. Het wordt duidelijk dat zowel de vloerdikte als het paalraster een rol spelen. Bij toenemende stijfheid van de vloer neemt het moment boven de palen toe: de vloer trekt meer belasting naar zich toe. Ook te onderscheiden is dat met een toenemend paalraster de momenten toenemen. Ook dit voldoet aan de verwachtingen, de overspanning van de vloer neemt namelijk toe bij een minder aantal palen. De grafieken hierbij behorend kunnen teruggevonden worden in X. *Bijlage H – ontwerpresultaten*.

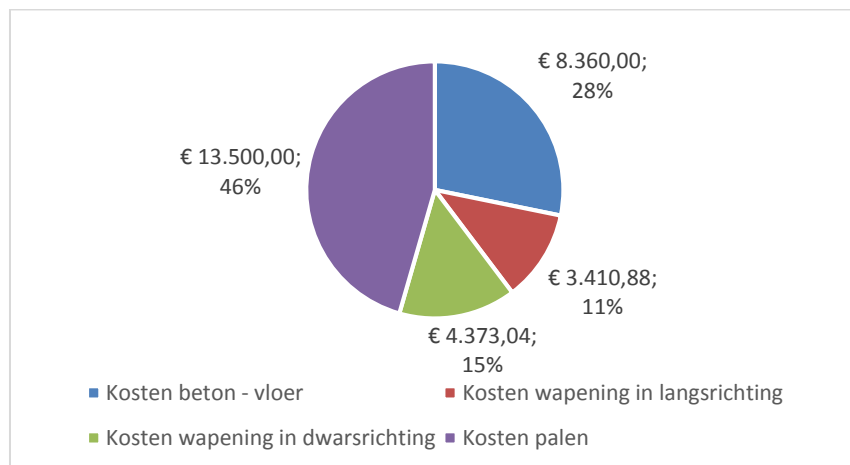
9.5 Optimum

Geconcludeerd kan worden dat bij het huidige model het optimum wordt gevonden bij een vloer van 550mm en een paalraster van 4x4. Een dunnere vloer is qua draagvermogen en ponscapaciteit niet mogelijk, maar indien dit mogelijk was zou dit leiden tot een nog optimaler ontwerp.



Figuur 9-3 Fictieve kosten per variant als functie van paalraster

Heel duidelijk is op te maken dat de fundatie een dermate dominante rol heeft in de kosten dat iedere besparing hierop van groot belang is. Met andere woorden, er moet wel heel veel beton en wapening worden bespaard om een extra paal te kunnen verantwoorden. Hoewel minder palen wel leidt tot meer wapening, en een dikkere vloer ook tot mindere wapening leidt kan dit nooit in gelijke mate op tegen de besparing op palen. Bij dit vergelijk zijn aannames gedaan betreffende kostprijzen, er wordt ook gezien dat bij wijziging van deze kosten nog steeds hetzelfde effect zichtbaar is, de paalkosten blijven dominant en de prijzen voor beton en wapening moeten dermate worden opgehoogd om ook dominant te zijn. Bij kostprijzen van €100/m³, €50/m en €1/kg voor respectievelijk beton, palen en wapening wordt de volgende verhouding in kosten gevonden.



Figuur 9-4 kostenverhouding bij optimale variant

9.6 Beperkingen model

Zoals met ieder model zijn er beperkingen aan het gebruik van een model, onderstaand een korte opsomming:

- » Er is kennis van het gebruik van XML nodig;
- » Een mechanica model is een theoretisch model en een ontwerp hulpmiddel om het gedrag van de constructie zo goed mogelijk te beschrijven. Echter zal dit nooit de werkelijkheid zijn, zoals (niet uitputtend):
 - Vloerplaat wordt vlak gemodelleerd en ondervind derhalve geen normaalkrachten ten gevolge van zwaartekracht,
- » Kennis van XML versus SCIA Engineer nodig, bijvoorbeeld (niet uitputtend):
 - Een model met puntondersteuningen moet eerst 'opgeschoond' worden voor juiste werking;
- » Nog geen foutmeldingen aanwezig, bijvoorbeeld (niet uitputtend):
 - HGWS moet hoger zijn dan LGWS;
 - Belastingen moeten positief ingevoerd worden;
- » "Best Guess" leidt tot een overschatting van paaldrukreacties en in sommige gevallen een onderschatting van paaltrekreacties. De "Best Guess" als enkel als leidend nemen is niet betrouwbaar. "Best Guess" wel gebruiken ter validatie van het model;
- » Kennis van plaatmechanica is noodzakelijk voor goede beoordeling van resultaten;
- » Aantal posities belastingmodel 1: tien posities verdeeld over de lengte. Bij een grote mootlengte leidt dit tot onnauwkeurigheid en is dit mogelijk te grof;
- » Inwendige fictieve rijbaanbreedte van 3 tot 8,99 meter (maximaal twee fictieve rijstroken);
- » Voetgangersbelastingen zijn niet in het model opgenomen;
- » Geen opspaneffect meegenomen;
- » Wijzigen van betonsterkteklasse en E-modulus in model is niet parametrisch;
- » Geen vermoeiingstoets;
- » Enkel maatgevende sneden worden getoetst;
- » Uitgangspunt is dat de doorsneden zich volgens de slanke liggertheorie gedragen.
- » Temperatuurprofiel conform ROK 1.4;
- » De veerstijfheid van de fundatie is constant aangenomen, de invloed is niet onderzocht;

9.7 Toekomstbestendigheid model

Wanneer veel tijd geïnvesteerd wordt in het maken van een parametrisch model is het wenselijk om deze ook toekomstbestendig te maken. Tijdens het maken van het model zijn

bepaalde keuzes gemaakt om hier zoveel mogelijk in te voorzien. Onderstaan worden de genomen maatregelen als opsomming weergegeven bovendien worden ook de kansen opgesomd die voor een verbetering kunnen zorgen.

9.7.1 Transparantie

Door het model transparant op te zetten is het makkelijker voor meerder gebruikers te doorgronden hoe het model werkt, wat er nodig is en waarmee het eventueel aangepast kan worden dit komt de toekomstbestendigheid ten goede. Het is goed mogelijk het model uit te breiden of, bijvoorbeeld bij een normwijziging, te wijzigen wanneer dit duidelijk is. Op de volgende manieren is hierin voorzien:

- » Zoveel mogelijk van de functionaliteiten van SCIA gebruik maken;
- » Een programmeertaal gebruiken die toegankelijk is en makkelijk verkrijgbaar;
- » Terugkoppelingen in Excel waar de gemiddelde constructeur goed mee bekend is;
- » Overzichtelijke gebruikssheets;
- » Ook bestuurbaar direct in SCIA;

9.7.2 Flexibiliteit

Door het model vooraf al goed in te richten is het mogelijk om zoveel mogelijk wijzigingen te maken zonder dat daar direct programmeerkennis voor nodig is. De volgende voorbeelden onderschrijven dit:

- » Zoveel mogelijk aanpasbare parameters, ook al zijn zij vaak constant;
- » Het alvast toevoegen van een parameter voor het toepassen van een 'oor';
- » Het model is geschikt om in de toekomst uit te breiden;
- » Ook bestuurbaar direct in SCIA;

9.7.3 Kansen

Er zijn nog steeds veel kansen om het gebruik en onderhoud van het model te vergroten. Hierbij kan gedacht worden aan de volgende punten:

- » Gebruikers bekend maken met VBA en XML;
- » Gebruikers opleiden in plaatmechanica;
- » Gebruikers enthousiasmeren door het gebruik en de voordelen te laten zien (middels dit model);
- » Toevoegen van meer waarschuwingen en tussencontrole punten, eigenlijk 'monkey proofing';
- » Accepteren dat niet iedereen dit model kan gebruiken en dus het gebruik reguleren voor ervaren gebruikers met voldoende mechanica- en praktijkkennis;

9.8 Zelf-optimalisatie mogelijkheden

Na het gebruiken van het model kan er vanuit de in §3.2.2 genoemde voorbeelden voor zelf-optimalisatie beschouwd worden of er kansen worden gezien deze toe te passen als uitbreiding van het parametrische model. Kansen worden gezien voor het toepassen van een Agent Gebaseerd Model. Hierbij kunnen, doormiddel van een algoritme, verschillende varianten van combinaties van constructiediktes en paalrasters gegenereerd worden om vervolgens uit al deze data een optimum te vinden.

Eerder is geconcludeerd dat de fundatie een zeer dominante rol speelt in het vinden van het optimum. De dominantie is dermate groot dat in twijfel wordt getrokken of een zelf-optimaliserend model wel een andere conclusie gaat trekken. De spreiding qua constructiediktes is niet enorm groot: te dun kan praktisch gezien niet in verband met inpassing van voegprofielen en te dik levert weer problemen en kosten op zoals koeling tijdens het verharden.

Feitelijk is het dus de vraag of een investering in het maken van een zelf-optimaliserend model leidt tot een ander optimum dan eerder aangetoond. Eigenlijk is met die conclusie al aangetoond dat dit hoogstwaarschijnlijk niet loont. Bovendien wordt een ander voordeel van het handmatig gestuurde model in vergelijking met een zelf-optimaliserend model ondermijnd, namelijk het vergroten van inzicht en kennis. Er wordt meer een 'black box' gecreëerd.

10 Conclusie en aanbevelingen

Tijdens dit onderzoek is een parametrisch model gemaakt voor het ontwerpen van de toeritten van een onderdoorgang. Het doel hiervan, het efficiënter maken van het ontwerpproces, is zeer zeker behaald. Door het model is de snelheid van het opbouwen van een eindige elementen model erg vergroot waardoor in dezelfde tijd meerdere varianten beschouwd worden. Bovendien wordt hierdoor het inzicht vergroot in het gedrag van de constructie.

Het model is opgebouwd als een gebruiker gestuurd parametrisch model waar gebruik wordt gemaakt van de Eindige Elementen Methode. Hierbij worden toepassingen als Excel en SCIA Engineer aan elkaar gekoppeld middels VBA en XML. In Excel kunnen met 42 hoofdparameters een totaal van 144 sub parameters gestuurd worden waarmee het gehele model wordt opgebouwd.

Uit verschillende testen zijn verschillende conclusies te trekken. De belangrijkste conclusie hierbij is dat de fundering een zeer dominante rol speelt in het kostenaspect. Vooraf is gespeeld met de gedachte om bijvoorbeeld een groot aantal palen toe te passen waardoor de constructiediktes kleiner kunnen en dit mogelijk tot een optimaler ontwerp leidt. Uit dit onderzoek is gebleken dat deze gedachte geen bevestiging vindt. De fundatie speelt een dermate grote rol dat het toepassen van minder palen, op wat voor manier dan ook, altijd loont op kostengebied.

Hieruit is ook te concluderen dat het investeren in een zelf-optimaliserend model naar verwachting weinig toegevoegde waarde zal hebben. Het automatisch doorrekenen van honderden configuraties van constructiediktes en paalrasters zal naar verwachting geen ander resultaat opleveren, en daarom zal deze investering dan ook geen toegevoegde waarde hebben.

Waar wel winst behaald is, is het versnellen van het ontwerpproces. Zowel het opbouwen van het model als het wijzigen van het model kan in een fractie van de tijd die het eerder kostte. Het breder toepasbaar maken van het model door het toevoegen van functionaliteiten is dan ook aan te bevelen. Dit model kan bovendien gebruikt worden om toekomstige constructeurs te enthousiasmeren voor het gebruiken van programmeren in het ontwerpproces, het levert namelijk tijd, minder fouten, minder werkdruk, werkplezier, inzicht en kennis op!

REFLECTIE

Omdat dit onderzoek deel uitmaakt van het afsluiten van een opleiding, is het ook belangrijk om terug te blikken en te reflecteren. Dit gaat niet zo zeer om het onderzoek, of het resultaat van het onderzoek, maar meer om de weg daar naartoe. Wat heb ik geleerd? Wat kon beter? Waarin ben ik gegroeid? Hier wordt kort op ingegaan.

De basis van dit onderzoek is deels gelegd door de tweeëneenhalf jaar studie MSEng die hieraan vooraf ging. Tijdens dit onderzoek kon veel van wat geleerd was in deze studiekeerperiode toegepast worden. Betreffende de studie: ik heb deze als leuk, maar wel zwaar ervaren. De combinatie werk-studie is enerzijds prettig: de stof kan direct toegepast worden. Anderzijds is het qua tijdsbesteding heftig, zeker over meerdere jaren. Ik kan merken dat mijn kennisniveau behoorlijk toegenomen is tijdens deze jaren. Niet alleen vakinhoudelijk, maar ook qua houding. Qua houding: Ik heb geleerd kritisch te kijken: Waarom zijn dingen zoals ze zijn? Wat is de achtergrond achter de geschreven regels? Door de werk-studie combinatie was het noodzakelijk een discipline te ontwikkelen. Dit heeft mij doen groeien als mens en als ontwerper.

Tijdens dit onderzoek heb ik ook veel geleerd. Ten eerste was het starten en vastleggen van een onderzoek al een hele les. Wat is haalbaar in deze periode? Wat moet in een onderzoek zitten en hoe toon ik aan dat ik de verwachte competenties beheers? Na dit vastgelegd te hebben was het onderzoek zelf ook een uitdaging. Omdat er geen vaste contactmomenten meer zijn en de planning bij jezelf ligt is het erg makkelijk om te veel te ontspannen. De discipline verdwijnt even. Ook zaken als de geboorte van je kind en het doen van een verbouwing helpt daarin niet. Het is een erg goede les gebleken en uiteindelijk is het gelukt dit allemaal te kunnen combineren.

Op inhoudelijk gebied heb ik veel geleerd over software, programmeren met VBA. De werking van SCIA Engineer, maar ook hoe ziet een ontwerpproces er nu uit? Ik heb vooraf al verschillende keren meerdere onderdoorgangen ontworpen. Maar het vastleggen van het ontwerpproces blijkt zo makkelijk nog niet. Heel veel gaat op de automatische piloot. Het is wel zeer waardevol gebleken om eens daadwerkelijk bewust te worden van de stappen die worden gezet tijdens een dergelijk ontwerpproces. Bovendien was dit voor het maken van het model onmisbaar.

Een ander ding dat voor mij veel waarde heeft is het ontdekken van de zienswijze van collega's, professionals en bedrijven op parametrisch modelleren. Ik merkte hierin een soort

natuurlijke tegenstand tegen deze nieuwe manier van modelleren en denken. Het is een onderzoek op zichzelf om dit te kunnen omschrijven. Maar ik weet uit ervaring dat verandering, ook al is dit ten goede, niet direct met open armen wordt ontvangen. Enerzijds weet men niet of nauwelijks wat er mogelijk is, anderzijds is men ook angstig dat banen worden weggenomen door dergelijke toepassingen. Mijn eigen standpunt is hier anders in. Ik vind zelf: hoe meer men automatiseert op gebied van ontwerpen, des te meer kennis de gebruiker moet hebben. Om goed in te kunnen schatten wat de betrouwbaarheid is van een model, is kennis en ervaring noodzakelijk. Ik verwacht dan ook niet dat dit banen kost maar juist een verrijking is van de banen die er zijn. Overigens kan dit model in het verrijken van kennis een mooie rol spelen: Hoe zijn de verbanden tussen parameters? Wat verandert er als ik een parameter aanpas, en wat heeft invloed? Dit is dan ook mijns inziens waarvoor een parametrisch model goed kan dienen: een extra stuk gereedschap waardoor een ontwerper beter kan ontwerpen en meer kennis kan vergaren over een constructie.

Wat ik verder nog erg waardevol vond was het verkeerd inschatten van bepaalde zaken vooraf. Een kleine greep: Vooraf had ik bijvoorbeeld gedacht dat ik door bijvoorbeeld meer palen toe te passen een goedkopere betonconstructie kon krijgen. Dit blijkt wel deels waar, echter is de invloed van de fundering zo groot, dat de besparing op de betonconstructie nooit op kan tegen een besparing op de fundatie. Verder heb ik bijvoorbeeld geleerd, dat het toepassen van een kleinere diameter aan betonstaal duurder is qua verwerkingskosten dan het toepassen van grotere diameters. Ik had dit juist andersom verwacht: vanwege het feit dat ik dacht dat het meer en zwaarder werk was om grote diameters te plaatsen. Dergelijke onderwerpen, waar ik het mis had, hebben mij meer kennis, maar ook een betere kijk op de praktijk gegeven.

Als laatste heeft mij dit onderzoek de kans gegeven om te laten zien wat er mogelijk is. Omdat werkgevers zo onbekend zijn met het onderwerp is men niet direct bereid om veel te investeren zonder de toegevoegde waarde te kunnen zien. Door dit onderzoek kan ik beter aantoonbaar maken wat de waarde kan zijn. Dit heeft deuren voor mij, maar ook voor het bedrijf waar ik werk, geopend. Ik hoop dan ook dat ik in de toekomst andere gebieden verder kan onderzoeken op gebied van parametrisch ontwerpen en nog betere en meer tools kan maken voor toekomstige ontwerpers. Mijn gevoel zegt namelijk dat dit de toekomst is!

I. Literatuurlijst

BAM Infra B.V. (2017, oktober 11). *We make it before we make it*. Opgehaald van [www.baminfra.nl](https://www.baminfra.nl/nieuws/we-make-it-before-we-make-it): <https://www.baminfra.nl/nieuws/we-make-it-before-we-make-it>

Blaauwendraad, J. (2010). *Plates and FEM | Surprises and Pitfalls*. Springer.

COB. (2017). *Handboek Tunnelbouw*. Centrum voor Ondergronds Bouwen.

Dimcic, M. (2011). *Structural Optimization of Grid Shells Based on Genetic Algorithms*. Stuttgart: Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen Universität Stuttgart.

Mockplus. (2017, April 04). Opgehaald van Mockplus: <https://www.mockplus.com/blog/post/agile-ux-design-process>

Pastoors, A. (sd). *Geïnformeerd / parametrisch ontwerpen & VR*. Opgehaald van [www.bna.nl](https://www.bna.nl/programmas/technologische-ontwikkeling/geinformeerd-parametrisch-ontwerpen/): <https://www.bna.nl/programmas/technologische-ontwikkeling/geinformeerd-parametrisch-ontwerpen/>

ProRail. (2018, Juli 26). *Veiligste overweg is géén overweg*. Opgehaald van ProRail: <https://www.prorail.nl/nieuws/veiligste-overweg-is-g-n-overweg>

Sterken, R. (2017). *Colleges uitvoeringstechniek BVBMS*.

II. Afbeeldingenlijst

Figuur 4-1: Ontwerpproces (Mockplus, 2017)	18
Figuur 4-2: Stroomschema ontwerpproces	23
Figuur 5-1 systeemlijnen model	25
Figuur 5-2 Snedeposities voor toetsing	27
Figuur 6-1 parameters dwarsmaatvoering	32
Figuur 6-2 parameters langsmatvoering	33
Figuur 7-1 Kosten betonwand (Sterken, 2017)	39
Figuur 8-1 fragment van XML uit SCIA	43
Figuur 8-2 voorbeeld met XML opbouw vanuit verschillende workflows	45
Figuur 8-3 Fragment VBA-script invoeren fundatie	47
Figuur 8-4 Principe paal draagkracht tabel	49
Figuur 9-1 Paalreactie trek (ULS) in relatie tot vloerdikte (l) en paalraster (r)	52
Figuur 9-2 Moment myD- vloer (SLS) in relatie tot vloerdikte (l) en paalraster (r)	52
Figuur 9-3 Fictieve kosten per variant als functie van paalraster	53
Figuur 9-4 kostenverhouding bij optimale variant	53

III. Bijlage A – Variantenstudie toeritten

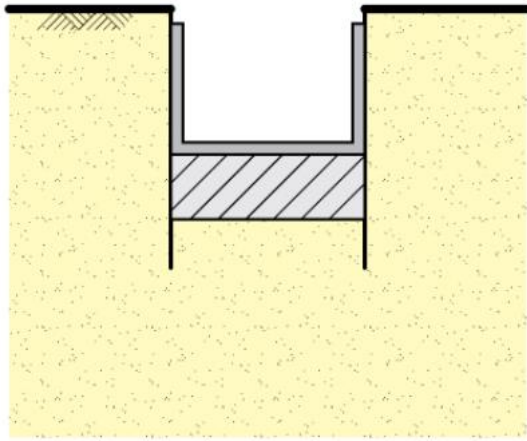
In deze bijlage worden kort een aantal varianten behandeld die toegepast kunnen worden voor construeren van de toeritten van een onderdoorgang. De basis hiervan komt voornamelijk van informatie uit het Handboek Tunnelbouw van het COB (Nederlands kennisCentrum voor Ondergrond Bouwen en ondergronds ruimtegebruik). Om een vergelijking tussen de varianten te kunnen maken worden kort de volgende aspecten behandeld: Uitvoerwijze, Geotechniek, Kosten, Ruimtebeslag, Risico's en Esthetica.

Betonnen U-bak

De meest simpele oplossing die al vele jaren wordt toegepast is de betonnen U-bak. De betonnen U-bak bestaat uit een betonnen vloer, met twee buitenwanden erop. Optioneel is het mogelijk om tussenwanden hiertussen te plaatsen om bijvoorbeeld autoverkeer en fietsverkeer te scheiden. De toerit wordt over het algemeen opgedeeld in meerdere moten met een typische lengte van ca 25m. Uitzetten en krimpen ten gevolge van temperatuur wijzigingen blijken bij deze lengtes relatief goed beheersbaar. Tussen de moten worden dilatatie profielen voorzien om waterdichtheid te kunnen garanderen.

Uitvoerwijze

Om een dergelijke U-bak te kunnen maken is het essentieel om een bouwkuip te maken waar in een droge omgeving gewerkt kan worden. Dit kan op meerdere manieren worden behaald. Over het algemeen wordt er gebruik gemaakt van tijdelijke stalen damwanden die op een later stadium terug worden gewonnen, indien gewenst kunnen ook diepwanden, boorpalenwanden en of Mixed-In-Place (MIP) wanden worden toegepast voor de horizontale afsluiting van grond en grondwater. Deze laatste 3 kunnen niet worden teruggewonnen en moeten derhalve als verloren beschouwd worden, ze maken namelijk geen deel uit van de definitieve constructie.



Schematische doorsnede U-bak met onderwaterbetonvloer en damwanden (COB, 2017)

Om ook in verticale zin een droge bouwkuip te kunnen krijgen is men afhankelijk van het geotechnisch bodemprofiel. Dit bepaalt namelijk veelal de wijze van afsluiten van het grondwater. Meer hierover volgt in de volgende paragraaf. De charme van deze oplossing is dat de afsluiting maar tijdelijk van aard hoeft te zijn en er altijd wel een oplossing is om deze afsluiting te kunnen realiseren. Op de lange termijn neemt de betonbak deze functie over. De U-bak is daarom feitelijk in iedere omgeving toepasbaar.

Geotechniek

Fundatie

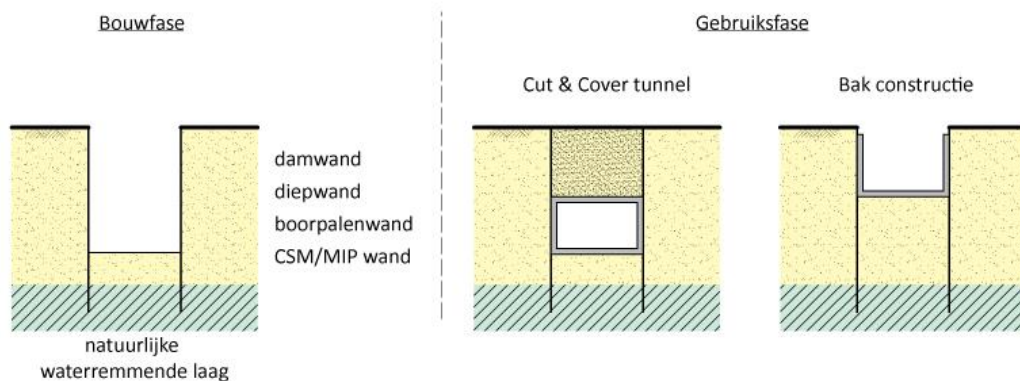
Qua fundatie worden er veel varianten gevonden. De moten kunnen zowel op staal als op palen worden gefundeerd. Hierbij zijn twee zaken van invloed: de draagkrachtigheid van de ondergrond, als ook de grondwaterstand. Indien de waterdruk groot wordt, bij bijvoorbeeld diepe moten, worden er veelal palen toegepast die zowel als druk- en trekelement dienen. Een andere mogelijkheid is het toepassen van zogenaamde 'oren' aan de moot, die de opwaartse druk van het water kunnen compenseren door de hoeveelheid grond die op de 'oren' rust.

Waterdichtheid bouwkuip

Zoals in de vorige paragraaf gesteld is het waterdicht krijgen van de bouwkuip een belangrijke voorwaarde om een dergelijke onderdoorgang te kunnen construeren. Hierbij is de ondergrond wederom doorslaggevend. Er zijn verschillende mogelijkheden.

» *Natuurlijke grondlagen*

Allereerst wordt over het algemeen gekeken of er een natuurlijke waterafsluitende laag aanwezig is. Een dergelijke aquitard is nooit volledig waterafsluitend maar laat het water relatief slecht door. Hierbij kan gedacht worden aan een klei of leemlaag. Door de (bijvoorbeeld) damwanden tot deze laag aan te brengen wordt een zowel horizontale als verticale afsluiting van het grondwater gecreëerd. Eénmaal leeggepompt kan men met open bemaling de kleine hoeveelheid doordringende water reguleren. Voorwaarden voor het kunnen gebruiken van een dergelijke laag is dat deze op voldoende diepte zit (in verband met opbarsten) en dat deze laag volledig aaneengesloten is. Mogelijkheden om een dergelijke laag plaatselijk te dichten zijn er wel, maar zijn vaak tijdelijk van aard, en behelst een risico. Bij een reparatie methode kan gedacht worden aan bijvoorbeeld waterglasinjectie. Voordeel van het gebruik van natuurlijke lagen is het kostenaspect, er hoeft niet extra materiaal toegevoegd te worden aan de omgeving en er hoeven geen extra maatregelen toegepast te worden.

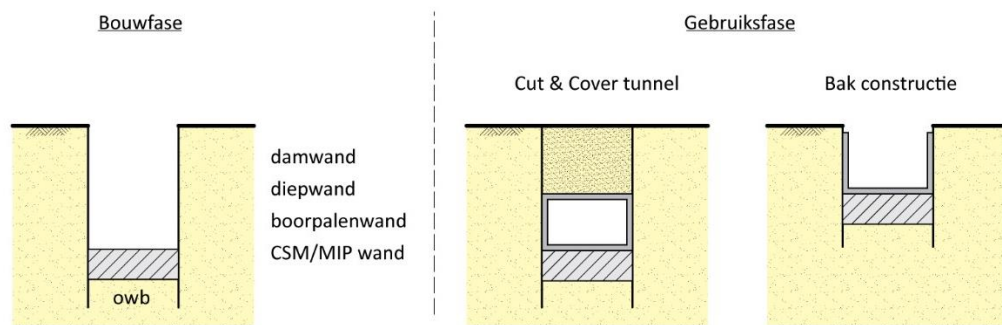


Principeddoorsnede natuurlijke waterremmende laag (COB, 2017)

» *Onderwater beton*

Wanneer er geen natuurlijke grondlaag aanwezig is kan er gekeken worden naar het toepassen van een onderwaterbetonvloer. De bouwkuip wordt in dit geval in den natte ontgraven. Vervolgens kan met behulp van duikers en speciaal materieel een onderwaterbeton vloer gestort worden. De onderwater betonvloer moet voldoende dikte hebben om de waterdruk te kunnen weerstaan met zijn eigen gewicht, een andere mogelijkheid is het opnemen van ankerpalen in de onderwaterbetonvloer om op deze

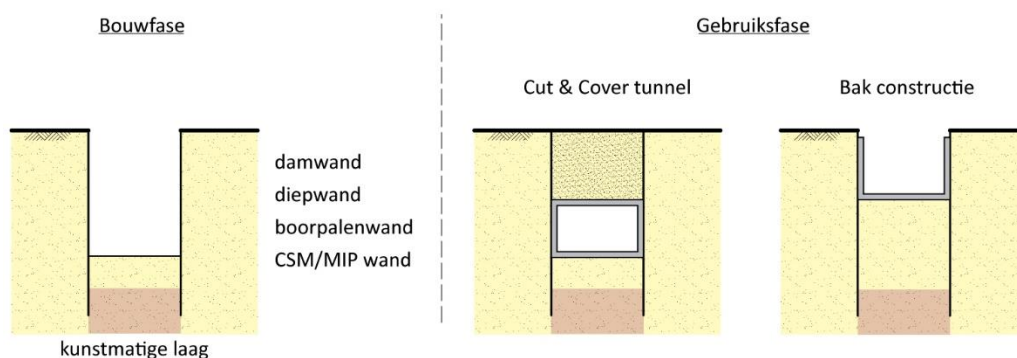
manier de waterdruk te kunnen weerstaan. Na het uitharden van het onderwaterbeton wordt de bouwkuip leeggepompt. Veelal kan op lange termijn de waterdichtheid van onderwaterbeton niet gegarandeerd worden, zeker wanneer deze ongewapend worden uitgevoerd. Het aanbrengen van onderwaterbeton heeft als voordeel dat het in nagenoeg alle situaties en grondslagen mogelijk is, nadeel is dat het een relatief kostbare optie is.



Principeddoorsnede onderwaterbeton kuip (COB, 2017)

» Kunstmatige grondafsluiting

Bij bepaalde grondlagen is het mogelijk om een kunstmatige grondafsluiting te maken. Eén van de opties is waterglasinjectie. Feitelijk is het principe gelijk als bij de natuurlijk afsluitende laag echter wordt er op een kunstmatige wijze, vaak door injectie, een waterafsluitende laag geconstrueerd. Bij waterglas injectie worden de grondkorrels eigenlijk aan elkaar gelijmd. Voorwaarde hierbij is dat de grondwaterstroming niet een te hoge snelheid heeft omdat het geïnjecteerde waterglas in dat geval wegspoelt en geen tijd krijgt om te binden met de grondkorrels. De methode is relatief kostbaar en kan enkel door gespecialiseerde bedrijven worden aangebracht, bovendien zijn er een heel aantal randvoorwaarden benodigd om deze methode te kunnen toepassen.



Principeddoorsnede kunstmatige waterremmende laag (COB, 2017)

Kosten

Kostentechnisch is de variant met de betonnen U-bak niet een goedkope optie. Er is relatief veel materiaal nodig en bovendien zijn er veel manuren nodig om deze variant te kunnen construeren. Met name in het geval van het moeten toepassen van palen gaan de kosten behoorlijk omhoog.

Ruimtebeslag

Qua ruimtebeslag is de betonnen U-bak uitermate effectief. Door dat het hoogteverschil in maaiveld door een verticaal element (wand) wordt gescheiden is in de breedte maar weinig ruimte nodig. Vergeleken met andere varianten heeft de U-bak zelfs het kleinste ruimtebeslag, zowel tijdens uitvoering als tijdens de gebruiksfase.

Risico's

Voor iedere variant die bedacht wordt zijn er veel risico's aanwezig, het is dan ook onmogelijk om alle risico's te behandelen. In de volgende paragraaf worden kort een aantal belangrijke risico's weergegeven die al bij het ontwerp van belang zijn.

Een belangrijk risico is overmatige lekkage. Dit geldt zowel in de uitvoeringsfase als in de gebruiksfase. Het risico in de uitvoeringsfase is nog het grootste aangezien de bodemopbouw een erg grote invloed op heeft. De uiteindelijke betonbak is over het algemeen goed waterdicht te krijgen, mits de constructiediktes groot genoeg zijn. Bovendien is het goed mogelijk om bij watervoerende scheurvorming naderhand te injecteren. De dilataties tussen de moten zijn wel een kritisch punt en moet goed ontworpen en uitgevoerd worden, aangezien zij de "zwakke" plek zijn wat betreft lekkages.

Een ander risico is opdrijven. Het is noodzakelijk om een goed beeld te hebben van de aanwezige grondwaterstandfluctuaties en de te verwachten fluctuaties in de toekomst. Wanneer de constructie onvoldoende eigen gewicht heeft zullen er voldoende trekelementen of ballast aanwezig moeten zijn. Een ander mogelijkheid is het toepassen van oren, dit kan maar tot een beperkte opwaartse waterdruk.

Esthetica

Het voordeel van de betonnen U-bak is dat er veel vrijheid is wat betreft esthetica, zowel in vorm als in afwerking. Het beton leent zich erg goed om patronen in aan te brengen of naderhand te bewerken met bijvoorbeeld een tegelafwerking.

Tussenrapport

Voor de U-bak variant wordt de balans opgemaakt. Deze samenvatting op basis van de verschillende criteria vormt de basis in het vergelijk tussen de verschillende varianten. Door plussen en minnen toe te kennen voor de verschillende criteria kan er een vergelijk worden gemaakt, in de toelichting wordt kort verhelderd waar deze score op gebaseerd is.

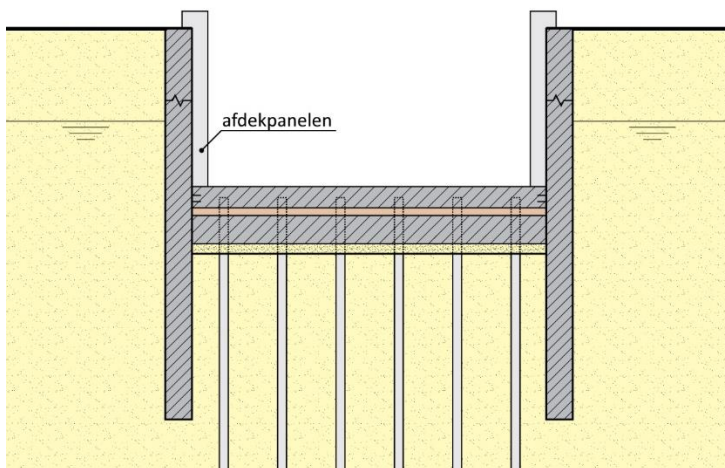
<i>Criterium</i>	Score	Toelichting
<i>Uitvoerwijze</i>	+/-	Relatief veel handelingen nodig op basis van uitvoering om tot een resultaat te komen, echter wel veel voorkomende werk (er is veel ervaring); tijdelijke bouwkuip is nodig.
<i>Geotechniek - fundatie</i>	+	Afhankelijk van ondergrond en grondwaterstanden: varianten met palen en funderingen op staal zijn mogelijk.
<i>Geotechniek - Waterdichtheid bouwkuip</i>	++	Veel oplossingsmogelijkheden afhankelijk van grondslag
<i>Kosten</i>	-	Relatief veel materiaal gebruik en dus relatief duur.
<i>Ruimtebeslag</i>	++	Zowel tijdens uitvoeringsfase als tijdens gebruiksfase zeer gering.
<i>Risico's</i>	+	Risico's aanwezig, maar wel goed beheersbaar.
<i>Totaal</i>	+++++	

Kuipconstructie

De kuipconstructie is vergelijkbaar met de betonnen U-bak constructie echter zit het grote verschil in het feit dat de tijdelijke damwanden of diepwanden hier een permanente functie krijgen. Veelal moet hierbij met een onderwaterbetonvloer gewerkt worden om hier vervolgens een constructieve vloer bovenop te maken die gekoppeld wordt met de wanden. In dit geval wordt er (arbitrair) uitgegaan van de variant met diepwanden.

Uitvoerwijze

Bij deze variant worden in eerst diepwanden aangebracht. Vervolgens kan er begonnen worden met een ontgraving in den natte waar vervolgens (al dan niet met trekelementen) een onderwaterbetonvloer wordt geconstrueerd. De bouwkuip kan vervolgens leeggepompt worden waarna een constructieve vloer aangebracht wordt. Essentieel is de koppeling tussen de diepwand en de constructieve vloer.



Schematische doorsnede diepwanden kuipconstructie met onderwaterbetonvloer (COB, 2017)

Grotendeel is deze variant vergelijkbaar met de vorige variant, behoudens het feit dat er geen constructieve wanden worden gemaakt naast de diepwand/damwand constructie. Na het gereedmaken worden vaak de diepwanden bekleed met afdekpanelen, aangezien het aanzicht van de diepwanden niet vlak is.

Geotechniek

Fundatie

Over het algemeen zal een fundering op palen toegepast moeten worden, afhankelijk van de opwaartse waterdruk. Verder is de oplossing wat betreft fundatie vergelijkbaar met de U-bak.

Waterdichtheid bouwkuip

De waterdichtheid van de bouwkuip wordt in verticale zin behaald door het toepassen van onderwaterbeton. De diepwanden zelf moeten ook voldoende waterkerend vermogen hebben. Zie voor de toelichting van het toepassen van onderwaterbeton in het de vorige paragrafen

Kosten

Een voordeel aan deze variant is dat die tijdelijke constructie gecombineerd wordt met de uiteindelijke constructie, hierdoor wordt een winst behaald in het aantal arbeidsuren. Echter is het aanbrengen van een diepwand ten opzichte van een stalen damwand een tijdrovendere taak. Bovendien zijn er meer risico's gebonden aan het aanbrengen van diepwanden. De vraag is of de risico's afwegen tegen een eventueel kostenvoordeel.

Ruimtebeslag

Qua ruimtebeslag het toepassen van een kuipconstructie vergelijkbaar met de U-bak Door dat het hoogteverschil in maaiveld door een verticaal element (wand) wordt gescheiden is in de breedte maar weinig ruimte nodig. Omdat er nog voorzet elementen benodigd zijn om de wanden ook esthetisch aantrekkelijk te krijgen is het ruimtebeslag iets groter dan bij de U-bak.

Risico's

Voor iedere variant die bedacht wordt zijn er veel risico's aanwezig, het is dan ook onmogelijk om alle risico's te behandelen. In de volgende paragraaf worden kort een aantal belangrijke risico's weergegeven die al bij het ontwerp van belang zijn.

Een belangrijk risico is overmatige lekkage. Dit geldt zowel in de uitvoeringsfase als in de gebruiksfase. Zeker bij het toepassen van diepwanden, daar deze een permanente functie zullen vervullen. Hierbij is het beperken van de scheurvorming in de diepwanden van groot belang. Ook de aansluiting tussen de constructieve vloer en de diepwanden vergt de nodige aandacht, dit zal namelijk het zwakke punt zijn in de constructie.

Ook hier geldt het risico van opdrijven. Het is noodzakelijk om een goed beeld te hebben van de aanwezige grondwaterstandfluctuaties en de te verwachten fluctuaties in de toekomst. Het gebruiken van het aanwezige onderwaterbeton als extra ballast kan één van de opties zijn, hiervoor moet uiteraard wel een constructieve koppeling gemaakt worden tussen de constructievloer en het onderwaterbeton.

Esthetica

De vrijheid betreffende esthetica is beperkt bij deze variant. De diepwanden hebben van zichzelf een grove afwerking die over het algemeen (over smaak valt niet te twisten) niet als mooi wordt bestempeld. Doormiddel van voorzetpanelen kan dit worden verfraaid. Wanden onder een hoek is niet mogelijk. Dit zou enkel kunnen door de voorzetpanelen hierop aan te passen.

Tussenrapport

Voor de kuipconstructie variant wordt de balans opgemaakt. Deze samenvatting op basis van de verschillende criteria vormt de basis in het vergelijk tussen de verschillende varianten. Door plussen en minnen toe te kennen voor de verschillende criteria kan er een vergelijk worden gemaakt, in de toelichting wordt kort verhelderd waar deze score op gebaseerd is.

Criterium	Score	Toelichting
<i>Uitvoerwijze</i>	+	Tijdelijke bouwkuip is een definitieve constructie, relatief minder handelingen zijn nodig.
<i>Geotechniek - fundatie</i>	+	Afhankelijk van ondergrond en grondwaterstanden: varianten met palen en funderingen op staal zijn mogelijk.
<i>Geotechniek - Waterdichtheid bouwkuip</i>	+	Eigenlijk alleen mogelijk met onderwaterbeton, voordeel is dat deze onafhankelijk van de ondergrond toepasbaar is.
<i>Kosten</i>	+/-	Tijdelijke constructie vervuld een permanente rol, dit is kostentechnisch voordelig. Echter zijn er afdekpanelen nodig wat weer een extra kosten factor is.
<i>Ruimtebeslag</i>	+	Gering, echter scoort deze relatief lager dan bijvoorbeeld de U-bak ten gevolge van de extra benodigde ruimte voor voorzetpanelen
<i>Risico's</i>	+/-	Aansluitingen tussen onderwaterbeton en wanden zijn kritisch voor waterdichtheid kuip in tijdelijke en definitieve fase.
Totaal	++++	

Folieconstructie

De laatste variant die wordt behandeld is de zogenaamde folieconstructie. In feite is dit ook een kunstmatige afsluiting van het grondwater. Echter wordt de folie zowel in verticale als horizontale richting gebruikt om het grondwater te keren. De folieconstructie kan in twee varianten worden uitgevoerd respectievelijk een schuin oplopende folie (talud 1:3 bij natte ontgraving) of een verticale folie. Bij deze laatste is wel een hulpconstructie benodigd in de vorm van een damwand tijdens de uitvoering. De folieconstructie onder een talud wordt het meest toegepast. Bij deze manier van construeren is het mogelijk om een open en groene toerit te maken wat als prettig wordt ervaren door de weggebruikers.

Uitvoerwijze

Een folieconstructie kan op twee wijzen worden aangebracht respectievelijk in den natte en in den droge. Voor beide geldt dat ter plaatse van de folie grond wordt weggehaald. Indien wegpompen van het water niet mogelijk is wordt dit een natte ontgraving waar het water blijft staan. Vervolgens wordt de folie afgezonken waarna weer een grondaanvulling plaatsvindt. Het gewicht van de grond moet de resulterende waterdruk onder de folie kunnen weerstaan. De folie moet dus op voldoende diepte worden aangelegd. Dit in combinatie met een oplopend talud (1:3 bij natte ontgraving en 1:2 bij droge ontgraving) heeft wel als resultaat dat de hoeveelheid grondwerk groot is.

Geotechniek

Fundatie

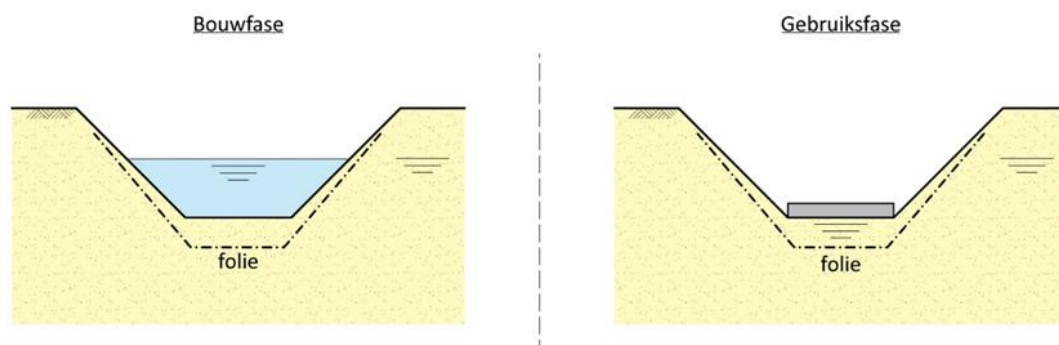
In feite is er geen fundatie benodigd bij deze variant. Het weglichaam kan op het aangevulde zand worden geconstrueerd waardoor er niet een constructieve vloer benodigd is. Bovendien wordt het waterpeil binnen de foliepolder op een laag peil gehouden waardoor opdrijven (van de weg) geen probleem meer is.

Waterdichtheid bouwkuip

De waterdichtheid van zowel de bouwkuip als de uiteindelijke constructie wordt door de folie bewerkstelligd. Hierbij zijn zoals eerder gezegd twee varianten mogelijk, deze worden kort beschreven.

» “Oplopend talud”

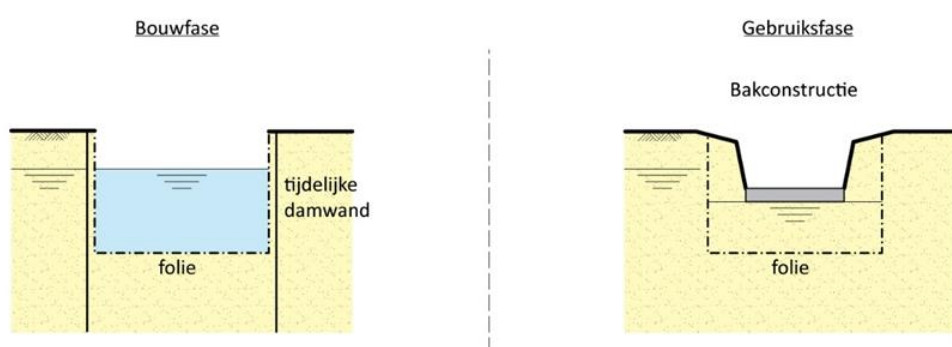
De variant met een oplopend talud is de meest toegepaste bij folies. Afhankelijk van grondwaterstanden en bodemopbouw kan gekozen worden voor ontgraving in den natte en in den droge. De meeste voorkomende variant is ontgraving in den natte, deze wordt navolgend dan ook behandeld. Ten eerste wordt de foliepolder ontgraven tot voldoende diepte. Vervolgens wordt de folie afgezonken. Deze folie wordt bovenwater al als en geheel geconstrueerd. Na afzinken kan er aangevuld worden met nieuw zand, waarna het grondwaterpeil binnen de foliepolder kan worden verlaagd. Door voldoende neerwaartse belasting aan te brengen in de vorm van grond blijft de folie op zijn plek en vormt op deze manier de waterafsluitende laag. Belangrijke details zijn ter plaatse van de overgang naar het omliggende gebied (kielspit) en de aansluiting op het spoor- of wegdragende deel hier kan (indien nodig) op een betonconstructie aangesloten worden doormiddel van een zogenaamde klemconstructie.



Principedoorsnede folieconstructie met oplopend talud (COB, 2017)

» *Verticale folieconstructie*

Wanneer de beschikbare ruimte geen polder toe laat met oplopende taluds kan er uitgeweken worden naar de variant met een verticale folie. Hierbij wordt een folie in een tijdelijke bouwkuip aangebracht. De folie wordt feitelijk opgehangen aan de damwanden. Hierdoor vormt de folie de waterafsluitende laag. Na aanbrengen van voldoende grond kan er verticaal en horizontaal evenwicht worden behaald. Vervolgens kan de tijdelijke damwand constructie worden verwijderd. Omdat bij deze variant voldoende grond in de polder nodig is om de horizontale grond en waterdruk te kunnen weerstaan is het ruime beslag wel groter als we dit vergelijken met de traditionele U-bak.



Principeddoorsnede verticale folieconstructie (COB, 2017)

Kosten

Folieconstructies zijn over het algemeen kostentechnisch erg aantrekkelijk. Er is voornamelijk veel arbeid nodig voor de ontgraving, qua materialen vallen de kosten relatief mee. De variant met de verticale folie is wel enigszins duurder, er wordt wel bespaard op ruimte (en de kosten die hiermee gepaard gaan) echter moet er een tijdelijke damwand aangebracht worden. Door de extra handelingen en het “huren” van de damwand zijn de kosten relatief duurder.

Ruimtebeslag

De folie zoals hij in de meeste gevallen toegepast wordt is relatief ruimte consumerend. Dit komt met name omdat het grondlichaam voldoende tegengewicht moet hebben om de waterdruk te kunnen weerstaan. Het toepassen van een folieconstructie in een stedelijke omgeving waar veel bebouwing aanwezig is, is hierdoor eigenlijk niet mogelijk.

Risico's

Voor iedere variant die bedacht wordt zijn er veel risico's aanwezig, het is dan ook onmogelijk om alle risico's te behandelen. In de volgende paragraaf worden kort een aantal belangrijke risico's weergegeven die al bij het ontwerp van belang zijn.

Een belangrijk risico is overmatige lekkage. Er is een kans aanwezig dat de folie in zowel de uitvoeringsfase als de gebruiksfase lek raakt. Tijdens de uitvoering kan doormiddel van doormetingen gecontroleerd worden of er lekken aanwezig zijn en indien nodig kunnen de lassen tussen de verschillende foliedelen verbeterd of aangepast worden. De lekkage in de gebruiksfase is een groter risico. Dit kan met name ontstaat wanneer en ontgravingen worden gedaan door derden, die geen kennis hebben van het aanwezig zijn van de folie. Veelal worden hierom bordjes geplaatst met een graafverbod, dit ondervangt het risico enigszins. Wanneer er wel schade ontstaat tijdens de gebruiksfase heeft dit (economisch) erg grote gevolgen

Een tweede risico op overmatige lekkage is de detaillering. De eerder benoemde kielspit en klemconstructie moeten goed gedetailleerd worden. Dit zijn namelijk de meest risicovolle delen waar lekkage kan ontstaan. Juiste detaillering kan dit risico verkleinen.

Een ander risico is opdrijven. Het is noodzakelijk om een goed beeld te hebben van de aanwezige grondwaterstandfluctuaties en de te verwachten fluctuaties in de toekomst. Wanneer de folie onvoldoende diep aangebracht is kan het gevolg zijn dat de hele grond op gaat barsten: feitelijk het bezwijken van de constructie. Zowel het hebben van voldoende kennis van de fluctuaties van de grondwaterstand als het inbouwen van voldoende veiligheid dragen bij om dit risico te verkleinen.

Esthetica

Over het algemeen wordt een folieconstructie door het “open” en “groene” karakter als erg prettig ervaren door de gebruikers. De toetreding van licht en het goede overzicht dat wordt verkregen creëert een veilig gevoel bij weggebruikers. Qua esthetica wordt dit dan ook vaak als mooi beschouwd, de constructie kan als het ware opgaan in de natuurlijke omgeving. Er is variatie mogelijk door elementen in de taluds aan te brengen die een nadere sfeer creëren, echter zijn de mogelijkheden beperkter als bij bijvoorbeeld de traditionele U-bak.

Tussenrapport

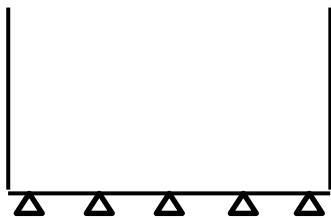
Voor de folieconstructie variant wordt de balans opgemaakt. Deze samenvatting op basis van de verschillende criteria vormt de basis in het vergelijk tussen de verschillende varianten. Door plussen en minnen toe te kennen voor de verschillende criteria kan er een vergelijk worden gemaakt, in de toelichting wordt kort verhelderd waar deze score op gebaseerd is.

Criterium	Score	Toelichting
<i>Uitvoerwijze</i>	++	Voornamelijk veel grondwerk, geen tijdelijke bouwconstructie nodig
<i>Geotechniek - fundatie</i>	+/-	Enkel fundering op staal mogelijk, aanvulmateriaal dient voldoende draagkracht te bezitten.
<i>Geotechniek - Waterdichtheid bouwkuip</i>	+	De folie is de waterafsluitende laag, indien goed uitgevoerd werkt dit goed.
<i>Kosten</i>	+	Relatief goedkoop qua materiaal en arbeidsuren; meer kosten qua grondaankoop.
<i>Ruimtebeslag</i>	--	Erg groot ruimtebeslag. Niet mogelijk in dichtbebouwd stedelijk gebied.
<i>Risico's</i>	+/-	Kritische details en gevaar voor lekkage tijdens gebruiksfase. Wel enigszins beheersbaar.
Totaal	++	

IV. Bijlage B – modelvormen eindige elementenmethode

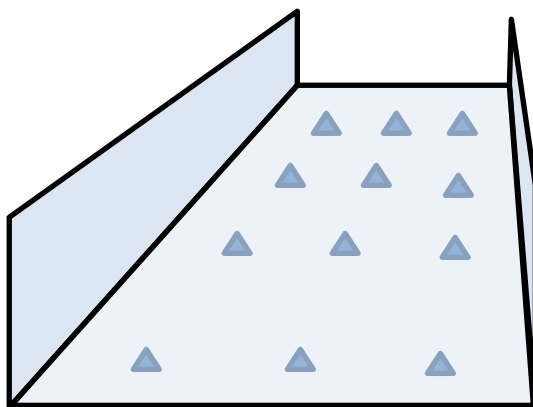
» 1D – staafelementen

De eerste mogelijkheid is om de constructie te schematiseren met behulp van 1D staafelementen. Dit model leent zich goed voor constructies die zich uni axiaal gedragen. Het nadeel is dat dit model geen krachtswerking in de langsrichting beschrijft. Bovendien kan puntvormige ondersteuning minder goed benaderd worden en zal, doordat de krachtswerking in één richting wordt beschouwd, een conservatiever model ontstaan. Doordat de krachtswerking in langsrichting en de puntvormige ondersteuning niet goed kunnen worden beschreven is dit model minder geschikt voor onderdoorgangen.



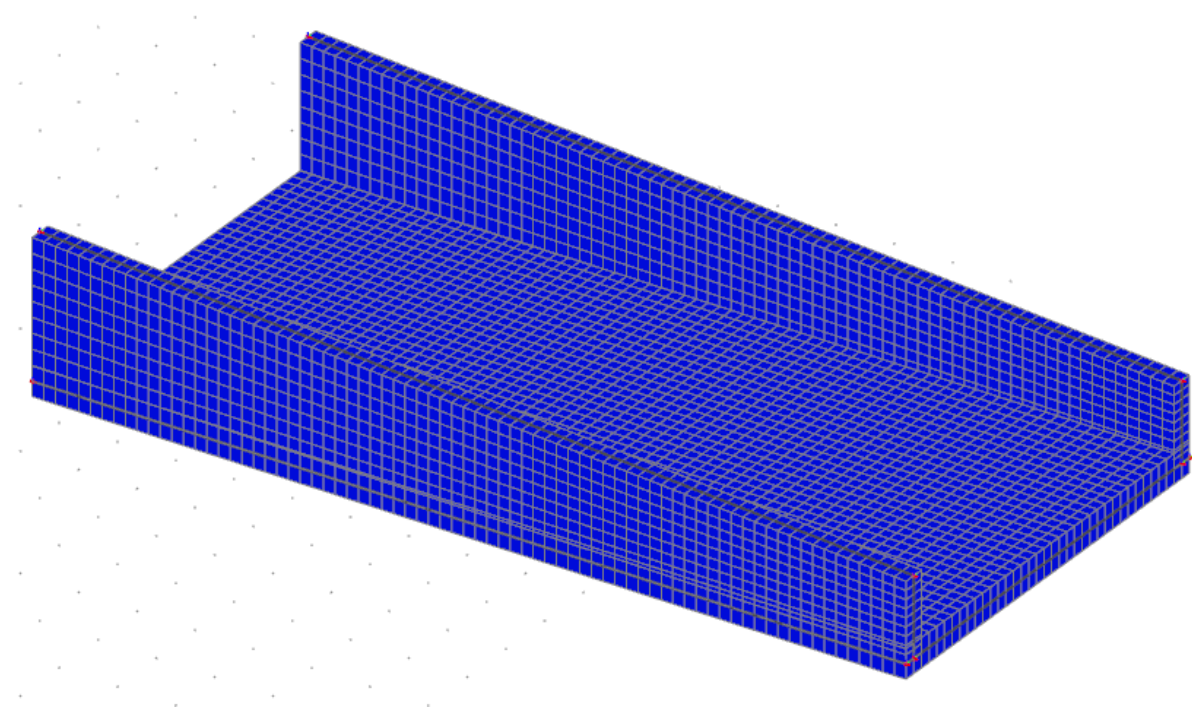
» 2D – plaat- of schaalementen

De tweede mogelijkheid is om de constructie te schematiseren met behulp van 2D – plaat of schaalementen. De hierboven beschreven puntondersteuning en krachtswerking in de langsrichting kan erg goed beschreven worden. Het verschil tussen plaat en schaalementen zit in het feit dat de schaalementen normaalkrachten kunnen opnemen. Wandliggerwerking van de wandplaten en van de vloer ten gevolge van remkrachten kunnen zo goed beschreven worden. Bovendien leent deze modelvorming zich uitermate goed voor ontwerpdoeleinden. Het resultaat is namelijk ontwerpmomenten en normaalkrachten waaruit bijvoorbeeld wapening bepaald kan worden.



» 3D – solids

Als laatste is de mogelijkheid aanwezig om een model te vormen met 3D-solids. Hierbij wordt de volledige constructie met 3D-kubus elementen beschreven. Hiermee is de meest realistische modellering mogelijk, echter kleven hieraan wel een aantal nadelen. Om een goede berekening te kunnen maken zal de wapening ook al ingevoerd moeten worden. De hoeveelheid invoer is vele malen groter waardoor 3D-solids zich niet goed lenen om mee te ontwerpen. Het maken van wijzigingen is lastiger en er zijn meer parameters. Bovendien is er geavanceerde rekensoftware nodig om dergelijke modellen te kunnen maken. Verder is de moet de kennis van de gebruiker op relatief hoog niveau zijn om te kunnen inschatten of de resultaten realistisch zijn.

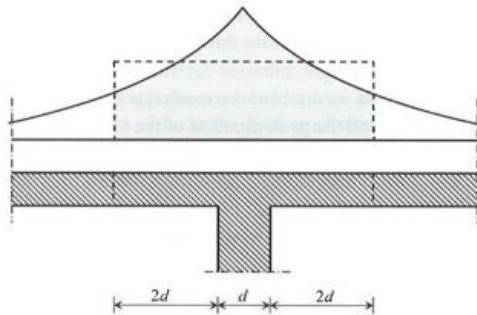


Uit bovenstaande teksten blijkt dat het schematiseren met behulp van 2D-plaatelementen het beste past bij het ontwerp van onderdoorgangen, dit vormt dan ook het uitgangspunt voor de verdere uitwerking.

V. Bijlage C - Verwerken van resultaten Eindige Elementen methode

Snedekrachten ter plaatse van puntondersteuning

Middelen over snede van $5 \cdot D_{paal}$ (Blaauwendraad, 2010)

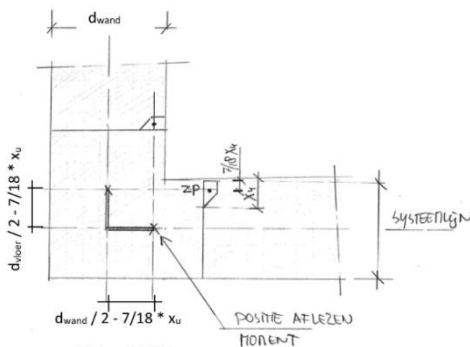


Het uitsmeren van een momentpiek (Blaauwendraad, 2010)

Snedekrachten ter plaatse van wandaansluiting

Voor het aflezen van de snedekrachten is gebruik gemaakt van sneden. Ter plaatse van de aansluiting in de vloerplaat met de wand wordt het maatgevende moment afgelezen ter plaatse van het zwaartepunt van de betondrukzone van het aansluitende element. Dit komt direct uit het feit dat de knoop een oneindige stijfheid bezit. Vanuit de vakwerkanalogie wordt de excentriciteit van de snede op onderstaande afstand gelegd. Voor het bepalen wordt een inschatting voor de drukzone gedaan, een overschatting van de drukzone (groter kiezen) leidt tot een conservatiever resultaat. Arbitrair wordt er gekozen voor een drukzone van 100mm bij een doorsnede kleiner of gelijk aan 650mm en een drukzone van 150mm bij een doorsnede groter dan 650mm. In XII. Bijlage J – dimensionering is te zien dat deze aanname voldoet.

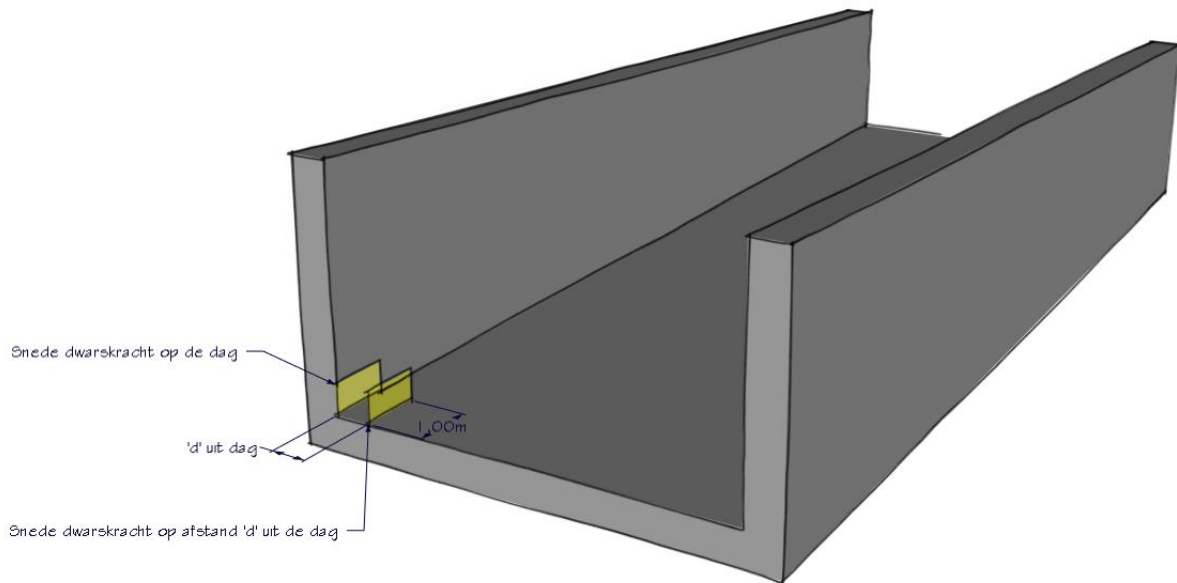
$$e_{snede} = 0,5 \cdot h_{wand | vloer} - \frac{7}{18} \cdot x_u$$



Positie aflezen momenten ter plaatse van wand

Dwarskrachten

Voor het aflezen van de snedekrachten wordt gebruik gemaakt van sneden. Bij een gelijkmatig verdeelde belasting (gronddruk, waterdruk, maaiveldbelasting) mag de dwarskracht op een positie met een afstand d vanaf de dag van de wand of vloer afgelezen worden. De snedekracht wordt gemiddeld over een snede van 1m.



Representatieve snede dwarskracht in vloer

VI. Bijlage D – toetscriteria

Draagkracht paalfundering

Voor de draagkracht van de paalfundering worden de oplegreacties uit het EE-model uitgelezen. Vervolgens worden deze getoetst aan de opgegeven draagkracht vanuit de berekening van een geotechnicus. Er moet gelden:

$$\frac{P_{Ed}}{P_{Rd}} \leq 1$$

Bij een op paal draagkracht gebaseerd optimaal ontwerp zal de unitycheck zo dicht mogelijk of gelijk zijn aan 1. Anderzijds vanuit het oogpunt van robuustheid en toekomstbestendigheid is een unitycheck waar nog ruimte is (kleiner dan 1) wenselijk. Vanuit projectcontext en opdrachtgever (initiatiefnemer of aannemer) zal blijken waar het zwaartepunt moet liggen.

Voor een economisch ontwerp op gebied van de paalfundering is het meest optimale ontwerp een ontwerp met zo weinig mogelijk paallengte, en zo weinig mogelijk palen. Ook zal een constant paalstramien met constante inbrengdieptes een positieve werking hebben op de uitvoering, de productiviteit ligt dan namelijk hoger door de hoge repetitie. Een “theoretisch” palenplan met veel verschillende paalpuntniveaus, paaltypes en hart-op-hart afstanden is niet wenselijk om dat dit erg foutgevoelig is en een lagere productiesnelheid oplevert.

Buigtrekwapening

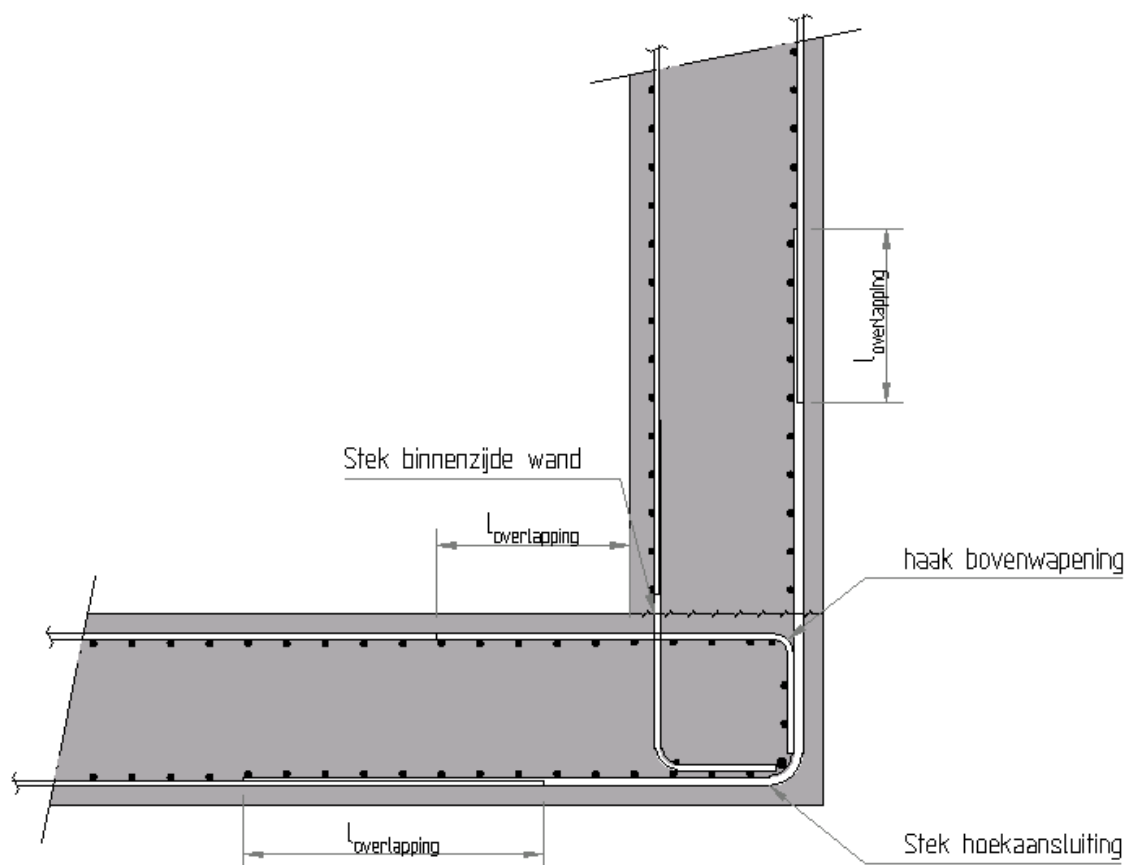
Vanuit de sneden uit het EE-model volgen normaalkrachten en momenten die getoetst moeten worden. Uit deze snedekrachten kan bepaald worden welke hoeveelheid wapening toegepast moet worden. Over het algemeen hieruit een omgekeerd evenredig verband tussen de dikte van de betondoorsnede en de hoeveelheid wapening: kort gezegd, hoe kleiner de doorsnede hoe meer wapening nodig is en andersom, hoe groter de doorsnede des te minder wapening benodigd is op basis van het krachten spel. Dit verband gaat niet volledig op daar een boven- en ondergrens gevormd worden door het minimale en maximale wapeningspercentage. Bovendien worden verschijnselen als scheurvorming in jonge beton ten gevolge van verhardingskrimping op dit moment buiten beschouwing gelaten. Dit is voor het ontwerp stadium van minder belang.

De elementen die gebruikt worden geven als resultaat normaalkrachten en momenten in verschillende grenstoestanden. In feite is de onderdoorgang voornamelijk een constructie die

de krachten middels momenten en dwarskrachten afdraagt. Gekozen kan worden om het aandeel van de normaalkrachten te verwaarlozen. Wanneer dit consequent bij alle varianten wordt gedaan zal het vergelijk tussen de varianten nog steeds reëel zijn gezien de beperkte invloed.

De momenten moeten in twee grenstoestanden worden beschouwd. Namelijk de uiterste grenstoestand (Ultimate Limit State (ULS)) voor toetsing op sterkte en de bruikbaarheidsgrenstoestand (Serviceable Limit State (SLS)) voor toetsingen op toelaatbare scheurwijdte ten behoeve van duurzaamheid. Er moet gelden:

- » ULS $\rightarrow \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1,0$
- » SLS $\rightarrow$ Scheurwijdte $w_k \leq w_{max} \cdot k_x$



Representatief detail aansluiting vloer op wand

Waterdichtheid

Gezien het feit dat de constructie zich voor een gedeelte onder de grondwaterstand bevindt is het belangrijk om waterdichtheid te kunnen garanderen. Hiervoor worden de toetscriteria uit Eurocode 1992-3 voor Silo's en opslagtanks gebruikt. Enerzijds wordt hierin gesteld dat de drukzone (in de SLS) van het beton een minimale dikte moet hebben om waterdichtheid te kunnen garanderen. Indien hier niet aan wordt voldaan geldt een beperking van de scheurwijdte (afhankelijk van de waterdruk) die de waterdichtheid garandeert. Er volgt:

$$x_{min} > 50mm$$

Óf

$$w_{k1} \leq 0,2mm \text{ bij } \frac{h_0}{h} \leq 5,0$$

$$w_{k1} \leq 0,05mm \text{ bij } \frac{h_0}{h} \geq 35,0$$

Waarin:

h_0 de kerende waterhoogte

h de constructie dikte

Tussenliggende waarden mogen worden geïnterpoleerd.

Dwarskracht

Dwarskrachtwapening in plaalementen is over het algemeen niet wenselijk vanuit praktisch oogpunt. Het aanbrengen van deze wapening is een tijdrovende taak. Om deze reden vormt het uitgangspunt altijd dat de betondoorsnede zonder dwarskrachtwapening in staat moet zijn om de optredende dwarskrachten te kunnen weerstaan. Toetsing wordt gedaan op basis van EC2-1 art 6.2.2 (1). Er moet gelden:

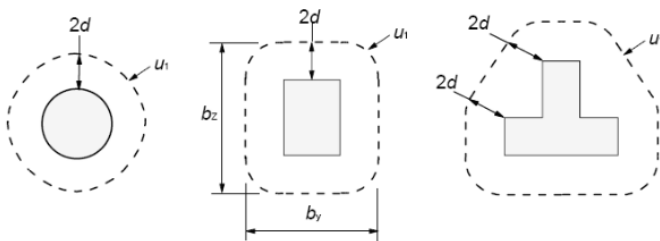
$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c}} \leq 1,0$$

Indien deze voorwaarde niet geldt en de betondoorsnede niet kan worden vergroot, kan er dwarskrachtwapening toegepast worden conform EC2-1 art 6.2.3 (3). Er moet in dat geval gelden:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,s}} \leq 1,0 \text{ en } \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} \leq 1,0$$

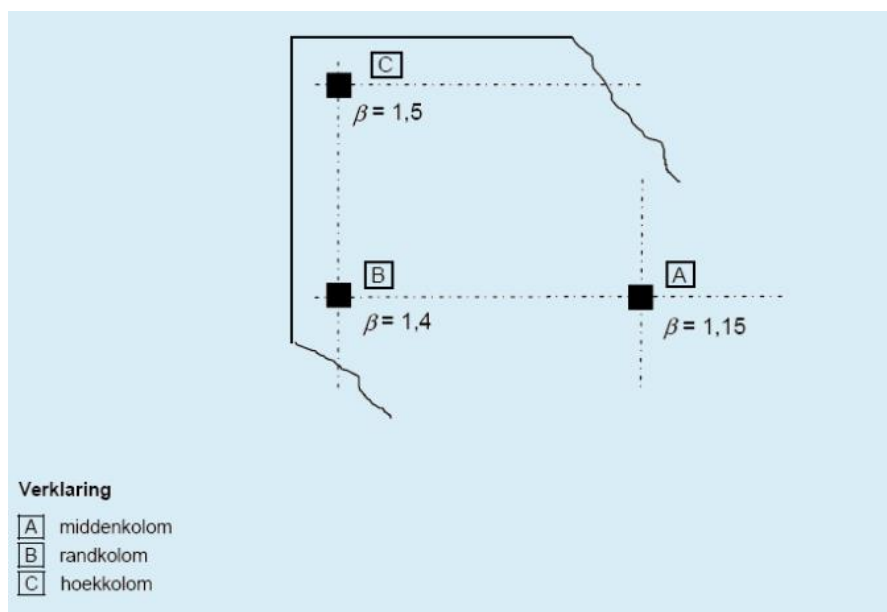
Pons

De toetsing voor pons bij puntvormig ondersteunde constructies is feitelijk niets anders dan een dwarskracht toetsing over een bepaalde omtrek (periferie). De toetscriteria zoals beschreven over dwarskracht zijn ook hier van toepassing. Het toepassen van ponswapening is niet wenselijk. Toetsing wordt gedaan op basis van EC2-1-1 art 6.4.



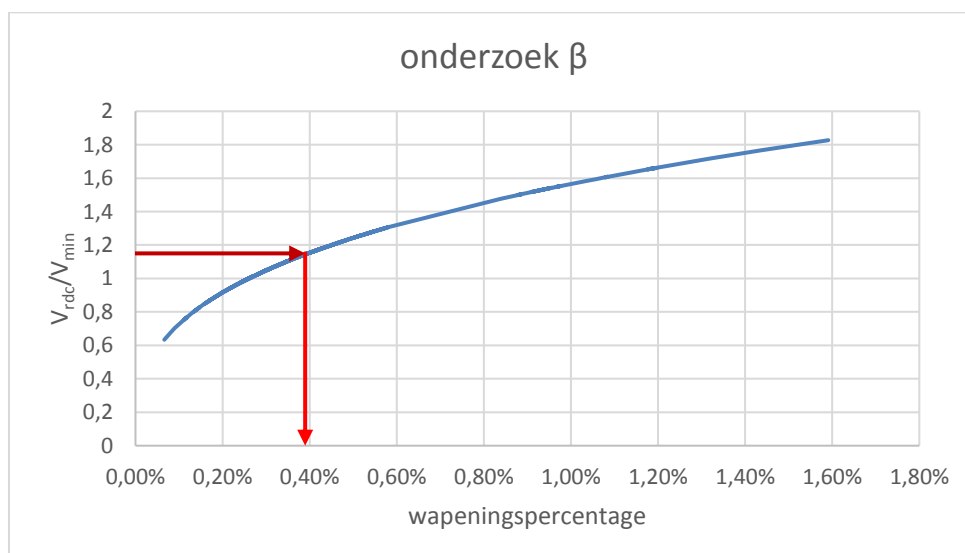
Kenmerkende eerste controle-omtrekken rond belaste gebieden (EC2-1-1)

Als vereenvoudiging wordt enkel gerekend met enkel de dwarskrachtcapaciteit zonder wapening (v_{min}). Conform eurocode moet er aan de belastingkant nog gerekend worden met een factor β waarmee excentrische pons in rekening kan worden gebracht bij niet verdere gegevens. Over het algemeen zal bij een onderdoorgang centrische pons het geval zijn. Desalniettemin zal in dat geval alsnog een factor van 1,15 in rekening moeten worden gebracht. Met andere woorden de ponskracht (oplegreactie) wordt nog 15% verhoogd.



Aanbevolen waarden voor β

Wanneer we voor een specifieke doorsnede berekenen vanaf wel wapeningspercentage deze factor β ondervangen wordt zien we dat dit geldt vanaf een percentage van circa 0,4%. Bij constructies als onderdoorgangen wordt veelal een percentage van circa 1% toegepast. Het ondervangen van de factor β door het aandeel buigtrekwapening te verwaarlozen lijkt dus gegrond. Hier moet uiteraard wel op toegezien worden dat het wapeningspercentage daadwerkelijk groter is dan 0,4%. In een toekomstige uitbreiding van het model zal de β factor wel toegepast kunnen worden. In dat geval kan er ook gerekend worden met het werkelijke wapeningsaandeel.



$V_{rd,c}/V_{min}$ versus de toegepaste wapeningsverhouding

Verplaatsingen wanden

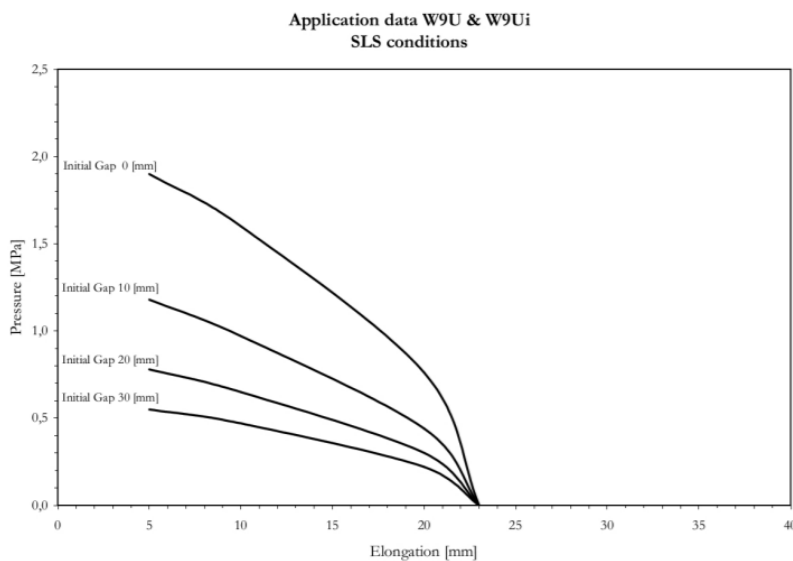
De vervorming van de buitenwanden wordt gecontroleerd op basis van CUR166 deel 1 art. 3.3.10:

$$U_{\text{grens}} = 1/200 \times H < 50\text{mm}$$

In de praktijk blijken deze waarden nagenoeg altijd haalbaar, gekozen wordt om deze toetsing niet uit te voeren bij dit model. Een verdere uitbreiding van het model kan zijn om de toetsing hier wel in op te nemen, dit zal dan in een vervolgtraject opgenomen moeten worden.

Relatieve verplaatsingen tussen voegen

Voor de verplaatsingen in verticale zin kan als criterium het voegprofiel worden genomen. Een voegprofiel kan maar beperkte vervormingen opnemen en zo waterdicht blijven. Voor verschillende voegprofielen zijn er tabellen waar op basis van waterdruk kan worden bepaald welke vervorming het profiel op kan nemen, zie bijvoorbeeld onderstaande figuur.



Vervormingsgrafiek W9U profiel (Hakron, Trelleborg)

Gezien het feit dat er gewerkt wordt aan een parametrisch model van één moot is dit criterium voor het model van minder belang. In de praktijk zal dit echter wel getoetst moeten worden, vandaar dat dit criterium toch wordt genoemd. In het verdere onderzoek wordt dit criterium achterwege gelaten.

VII. Bijlage E – Belastinggevallen

Permanente belastingen

Eigen gewicht

- Beton $\gamma = 25,0 \text{ kN/m}^3$ (gewapend)
- Beton $\gamma = 23,8 \text{ kN/m}^3$ (ongewapend)

Rustende belasting

- Ballast $\gamma = 22,0 \text{ kN/m}^3$
- Asfalt $\gamma = 23,0 \text{ kN/m}^3$
- Staal $\gamma = 78,5 \text{ kN/m}^3$

Grond- en waterdruk

- grond nat $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- grond droog $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
- gronddrukcoëfficiënt $k_0 = 0,5$
- water $\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$

De horizontale gronddruk op de wanden wordt als volgt bepaald:

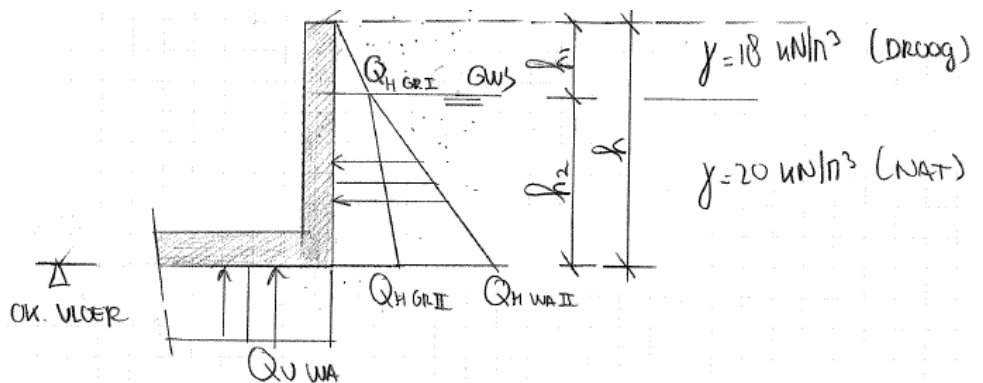
$$q_{h \text{ gr I}} = 0,5 \times 18 \text{ kN/m}^3 \times h_1 \quad \text{horizontaal}$$

$$q_{h \text{ gr II}} = (0,5 \times 18 \text{ kN/m}^3 \times h_1) + (0,5 \times (20 - 10) \times h_2) \quad \text{horizontaal}$$

De hydrostatische waterdruk op de wanden en vloer wordt als volgt bepaald:

$$q_{h \text{ wa II}} = (\text{GWS} - \text{ok vloer}) \times 10 \text{ kN/m}^3 = h_2 \times 10 \text{ kN/m}^3 \quad \text{horizontaal}$$

$$q_{v \text{ wa}} = (\text{GWS} - \text{ok vloer}) \times 10 \text{ kN/m}^3 \quad \text{verticaal}$$



Belastingen grond- en waterdruk

Variabele belastingen door wegverkeer

De verticale belasting door wegverkeer in de onderdoorgang wordt gekozen o.b.v. artikel 4.3 van EC1-2. Belastingmodel 1, 2 en 4 zijn van toepassing.

Belastingmodel 1 (LM1)

Per rijstrook van 3,0m breed, bestaat deze belasting uit twee geconcentreerde aslasten (tandemlast) en een gelijkmatig verdeelde belasting. In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de belastingen.

Positie	Tandemstelsel (TS)	Gelijkmatig verdeelde last (UDL)	
	$Q_i = \dots [\text{kN}]$	$q_i = \dots [\text{kN/m}^2]$	$q_r = \dots [\text{kN/m}^2]$
Rijstrook 1	300	9,0	
Rijstrook 2	200	2,5	
Rijstrook 3	100	2,5	
Overige stroken		2,5	
Resterend opp.			2,5

De correctiefactoren (α) worden bepaald aan de hand van de verkeersintensiteit:

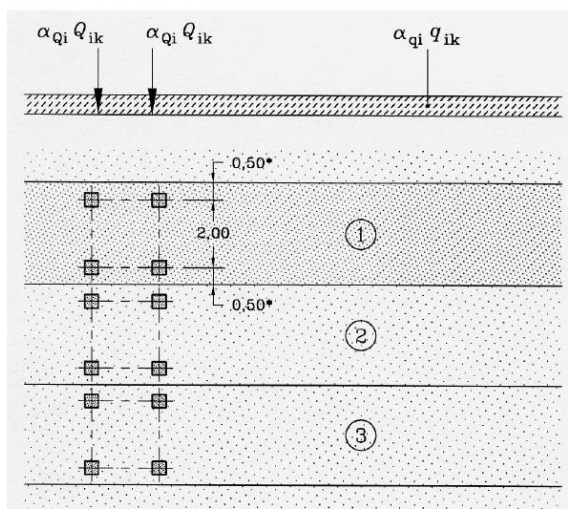
$$N_{\text{obs}} = 2,0 \times 10^6 \text{ vrachtwagens per jaar per rijstrook voor zwaar verkeer}$$

Op basis van tabel NB.1 uit EC1-2 worden de volgende correctiefactoren aangehouden:

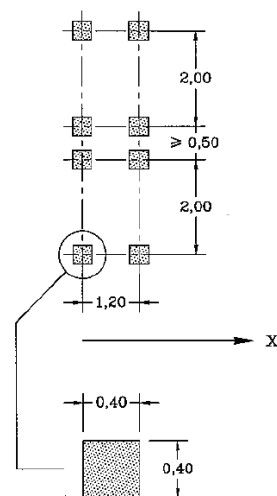
$$\alpha_{Q1} = 1,0 \text{ TS}$$

$$\alpha_{qi} = 1,0 \text{ UDL}$$

De belastingen worden volgens onderstaand figuur geplaatst in de tunnelbak:



Configuratie LM1

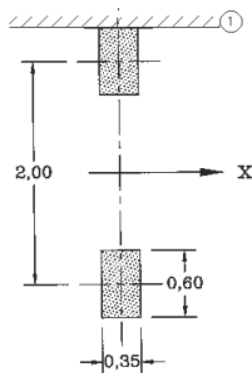


Het aantal theoretische rijstroken wordt bepaald op basis van de afstand tussen de vaste voertuigkeringen:

onderdeel	breedte rijweg	aantal stroken	breedte strook	resterend opp.
	$w = \dots$ [m]	$n = \dots$ [-]	$w_l = \dots$ [m]	[m]
onderdoorgang	8,99	2	3,0	2,99

Belastingmodel 2 - enkele aslast (LM2)

LM2 bestaat uit een enkele aslast van $Q_{ak} = 400$ kN die op iedere willekeurige positie van de rijweg geplaatst kan worden. De aslast bestaat uit 2 wielprenten met de configuratie volgens onderstaand figuur.



Verklaring

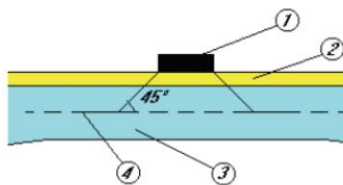
X Lengterichting van de brug
1 Stootrand

Configuratie LM2

Belastingmodel 2 is enkel interessant om lokale effecten te beschouwen. Voor het globale ontwerp wordt belastingmodel 1 gebruikt. Belastingmodel 2 wordt derhalve niet beschouwd in dit onderzoek.

Spreading wielprenten op vloer

De wielprenten worden 1:1 (= 45°) gespreid tot de systeemlijn van de vloerplaat of het dek.



Verklaring

- 1 wielcontactdruk
- 2 slijtlaag
- 3 betonnen rijvloer
- 4 middenvlak van de betonnen rijvloer

spreading lokale lasten

Rem- en aanzet belastingen

De rem- en aanzetbelasting wordt bepaald op basis van EC1-2 artikel 4.4.1.

Voor een moot met lengte L geldt:

$$Q_{lk} = 0,6 \times \alpha_{Q;1} \times (2 \times Q_{1;k}) + 0,10 \times \alpha_{q;1} \times q_{1;k} \times w_{th;1} \times L$$

Gezien de beperkte invloed voor een varianten vergelijk wordt dit belastinggeval voor het parametrisch model achterwege gelaten. De rem- en aanzet belastingen zullen voor de verschillende varianten namelijk gelijk zijn en zijn derhalve een minder goed vergelijk criterium.

Centrifugaalkrachten

Het uitgangspunt van dit onderzoek is een rechte moot zonder horizontale boogstralen. Van centrifugaalkrachten is derhalve geen sprake.

Overige variabele belastingen

Opspaneffect

Ten gevolge van de temperatuurswisselingen zal de betonconstructie willen verlengen en verkorten. De verlenging van de constructie in dwarsrichting wordt tegengegaan door het grondmassief aan de buitenzijde van de wanden. Het "opspannen" wat hierdoor ontstaat zorgt voor extra horizontale belasting op de buitenwanden.

De verhoogde gronddruk kan worden bepaald op basis van NEN 9997-1 artikel 9.5.4. Bij deze rekenmethode wordt de optredende gronddrukfactor berekend ($k > 0,5$). In de praktijk blijkt dat het opspaneffect een gevolg is van de dimensies en stijfheidsverschillen van een constructie, en dus niet een puur externe belasting is. Om deze reden zal deze belasting dan ook niet maatgevend zijn voor vaststellen van de dimensies van de constructie. Voor het ontwerpen is het opspaneffect dan ook van minder belang en deze word verder niet beschouwd in dit onderzoek.

Verticale belasting maaiveld

Ten gevolge van het aanwezig zijn van bijvoorbeeld een voertuig of een mensenmenigte op het maaiveld, ontstaat een horizontale spanning op de wanden van de onderdoorgang. Veelal wordt deze belasting voorgeschreven vanuit het PVE. Vaak wordt een belasting aangenomen die een equivalent zijn van LM1. Gekozen wordt voor een dergelijke last.

$$\begin{aligned} q_{mv,v,eq} &= 20 \text{ kN/m}^2 && \text{verticaal} \\ q_{mv,h,eq} &= 0,5 \times 20 \text{ kN/m}^2 = 10 \text{ kN/m}^2 && \text{horizontaal} \end{aligned}$$

Wind

Voor open moten geldt dat de invloed van de windbelasting op de krachtsverdeling minimaal is, dan wel verwaarloosbaar. De windbelasting wordt derhalve buiten beschouwing gelaten.

Thermische belastingen

De temperatuurbelasting op de wanden en vloeren van de onderdoorgang wordt bepaald aan de hand van EC1-1-5 met de aanvullingen uit ROK 1.4.

Jaarlijkse temperatuurinvloeden

In onderstaande tabel staan de jaarlijkse temperatuurwisseling voor vloer en wanden welke opgesloten zitten in het grondmassief.

	<i>winterperiode</i>		<i>zomerperiode</i>	
onderdeel	binnenzijde	buitenzijde	binnenzijde	buitenzijde
wanden	-15 °C	+3 °C	+35 °C	+13 °C
vloer	-15 °C	+3 °C	+35 °C	+13 °C

Dagelijkse temperatuurinvloeden

In onderstaande tabel staat de dagelijkse gradiënt ΔT voor vloer en wanden van een open gedeelte voor de niet grondzijde (= binnenzijde).

onderdeel	afdekking	minimum temperatuur	maximum temperatuur
wanden	0,00m (nihil)	$\Delta T = -8 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\Delta T = +20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
vloer	asfalt (nihil)	$\Delta T = -8 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\Delta T = +20 \text{ }^{\circ}\text{C}$

NB. De dagelijkse temperatuurgradiënt werkt over de gehele plaatdikte.

De jaarlijkse temperatuurwisselingen worden gesuperponeerd op de dagelijkse gradiënt. Als referentietemperatuur wordt $T_0 = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ aangehouden.

Toepassing temperatuurbelastingen in EE-modellen

De belastingen worden in de EE-modellen ingevoerd voor de situatie temperatuurdaling en -stijging. De jaarlijkse en dagelijkse wisselingen (indien van toepassing) worden gesuperponeerd, rekening houdend met de genoemde referentie temperaturen. Voor het belastinggeval temperatuurdaling geldt bijvoorbeeld:

$$\begin{aligned} \text{Wanden / vloer} \quad \text{binnenzijde } \Delta T_{bi} &= (-15 - 8) - 15 = -38\text{ }^{\circ}\text{C} \quad \text{jaarlijks + dagelijks} \\ \text{buitenzijde } \Delta T_{bui} &= +3 - 15 = -12\text{ }^{\circ}\text{C} \quad \text{jaarlijks} \end{aligned}$$

Belastingmodel voor vermoeiing

Vermoeiing door wegverkeer

Voor de vermoeiingsberekening wordt “Belastingmodel 1 voor vermoeiing” conform EC1-2 artikel 4.6.2 toegepast.

De configuratie van het model is gelijk aan LM1 als omschreven in §5.3.1. Alle α -factoren zijn 1,0. Voor de karakteristieke waarde van de belastingen geldt:

$$\text{Aslasten (TS)} = 0,7 \times \alpha_{Q,i} \times Q_{i,k}$$

$$\text{Q-last (UDL)} = 0,3 \times \alpha_{q,i} \times q_{i,k}$$

Het aantal spanningswisselingen wordt bepaald volgens EC1-2 artikel 4.6.1+NB (tabel NB.5 – 4.5(n)). Hierbij is de verkeerscategorie van belang. Deze is projectspecifiek.

Tabel NB.5 – 4.5(n) — Aantal verwachte zware voertuigen per jaar en per rijstrook voor zwaar verkeer

Verkeerscategorie		$N_{obs,a,ai}$ per jaar en per rijstrook voor zwaar verkeer
1	Autosnelwegen (A-wegen) en wegen met twee of meer rijstroken per rijrichting en met intensief vrachtverkeer	$2,0 \times 10^6$
2	(Auto)wegen met gemiddeld vrachtverkeer (zoals N-wegen)	$0,5 \times 10^6$
3	Wegen met weinig vrachtverkeer	$0,125 \times 10^6$
4	Wegen met weinig vrachtverkeer en bovendien uitsluitend bestemmingsverkeer	$0,05 \times 10^6$
OPMERKING De aantallen zware voertuigen per jaar en per rijstrook voor zwaar verkeer $N_{obs,a,ai}$ zijn inclusief trend.		

Indien een verfijning van de vermoeiingstoets noodzakelijk is, kan belastingmodel 4a toegepast voor stalen onderdelen en belastingmodel 4b voor beton. Belastingmodel 4a en 4b betreffen een verzameling van verschillende realistische vrachtwagens. Het nadeel is dat toepassen van dit model een zeer bewerkelijke exercitie is door de vele belastinggevallen en combinaties. Om deze reden wordt pas naar dit model gegrepen indien dit noodzakelijk is.

Over het algemeen is de vermoeiingstoets voor onderdoorgangen van minder belang tijdens de ontwerpfase. Zelden is deze namelijk maatgevend. Wel is over het algemeen zichtbaar dat bij dunnere constructiediktes de vermoeiing een grotere rol gaat spelen.

Waar de vermoeiingstoets wel een grote rol speelt is bij het toepassen van zogenaamde groutinjectiepalen. Bij deze palen wordt een massief rondstalen anker in een groutlichaam in de ondergrond aangebracht. Deze palen zijn zeer effectief om trekbelastingen op te nemen (ten gevolge van opdrijven). In beperkte mate kunnen drukbelastingen ook overgebracht worden door het groutlichaam. Dit systeem is relatief goedkoop en mede hierom een aantrekkelijke oplossing voor vele aannemers. Het nadeel is dat door de relatief kleine spanningsdoorsnede de vermoeiingsspanning een maatgevende rol gaat spelen. Het is daarom verstandig om in een vroeg stadium een beschouwing hiervan te doen. Omdat deze oplossing al redelijk specifiek is wordt er gekozen om enkel bij de ontwerpsommen voor de “Best Guess” een inschatting te maken voor de haalbaarheid hiervan.

In het parametrische model wordt vermoeiing in eerste instantie niet meegenomen gezien de beperkte invloed op het ontwerp. Het is uiteraard wel een mogelijke uitbreiding in een vervolgfase.

VIII. Bijlage F – Belastingcombinaties

De combinaties worden gekozen op basis van EC0 Bijlage A2. Hierbij is met name de gevolgklasse (CC) en de ontwerplevensduur van belang. Onderstaand in tabelvorm volgen de combinaties in de verschillende grenstoestanden.

Ultimate Limit State (ULS)

Tabel NB.13 – A2.4(B) — Belastingsfactoren voor wegverkeersbruggen en bruggen voor langzaam verkeer en voetgangers- en fietsbruggen STR/GEO) (groep B)

Gevolgklasse	β	G			Verkeer (met $\psi = 1$)	Overig veranderlijk (met $\psi = 1$)
		$\gamma_{G,j,sup}$		$\gamma_{G,j,inf}$		
		6.10a	6.10b (incl. ξ)	6.10a en 6.10b		
CC1	3,3	1,20	1,10	0,9	1,20	1,35
CC2	3,8	1,30	1,20	0,9	1,35	1,5
CC3	4,3	1,40	1,25	0,9	1,5	1,65

NB. Temperatuurbelastingen worden niet meegenomen in de ULS combinaties. Aangenomen wordt dat de constructie voldoende ductiliteit bezit om de opgelegde vervormingen ten gevolge van temperatuurbelastingen op te kunnen nemen en zodoende geen onveilige situatie oplevert. Eén en ander conform EC2-1-1 art. 2.3.1.2 (2).

Serviceable Limit State (SLS)

Tabel A2.6 — Rekenwaarden voor belastingen voor gebruik in de belastingscombinaties

Combinatie	Blijvende belastingen G_d		Voorspanning	Veranderlijke belastingen Q_d	
	Ongunstig	Gunstig		Overheersend	Andere
Karakteristiek	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	P	$Q_{k,1}$	$\psi_{0,i} Q_{k,i}$
Frequent	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	P	$\psi_{1,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$
Quasi-blijvend	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	P	$\psi_{2,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$

Ψ – Factoren

Tabel NB.9 – A2.1 — ψ -factoren voor bruggen voor weg- en langzaam verkeer

Belasting	Symbool		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Verkeersbelastingen (zie NEN-EN 1991-2+C1, tabel 4.4)	gr1a (LM1 + voetgangers- of fietspadbelastingen)	TS	0,8	0,8	0,4
		UDL		0,8	
		Horizontale belasting		0,8	
		voetgangers- + fietspad-belastingen		0,8 ^d	
	gr1b (enkele as)		0	0,8 ^b	0
	gr2 (horizontale krachten dominant)		0,8	0,8 ^c	0
	gr3 (voetgangersbelastingen)		0	0,8 ^b	0
	gr4 (LM4 – belasting door een menigte)		0	0,8 ^b	0
	gr5 (LM3 – speciale voertuigen)	TS	0	0,8 ^b	0
		UDL		0,8 ^b	
		Horizontale belastingen		0,8 ^b	
		Speciaal voertuig		1,0 ^b	
Windkrachten	F_{wk}	blijvende ontwerpsituatie	0,3	0,6 ^b	0
		uitvoering	0,8	0	0
	F_{w^*}		1,0	0	–
Thermische belastingen	T_k		0,3	0,8 ^b	0,3 ^a
Sneeuwbelastingen	$Q_{Sn,k}$	blijvende ontwerpsituatie	0	0	0
		uitvoering	0,6	0	0
Belastingen tijdens de bouw	Q_c		1,0	0	1,0

^a In de uiterste grenstoestand mag voor ψ_2 voor thermische belasting de waarde 0 zijn aangehouden.

^b Voor aanrijding op of onder de brug en aanvaring is $\psi_1 = 0$.

^c Voor scheurvomingsberekeningen van beton zijn de verschillende waarden van ψ_1 gelijk aan de waarden behorend bij gr1a.

^d Voor scheurvormingsberekeningen van beton moet $\psi_1 = 0,4$ zijn aangehouden.

OPMERKING

Groepen verkeersbelastingen hoeven niet met elkaar te zijn gecombineerd.

Gelijktijdigheid van belastingen

Voor het maken van de combinaties is het ook van belang welke belastingen gelijktijdig zullen optreden en in welke mate. De gelijktijdigheid van belastingen wordt gekozen op basis van EC0 bijlage A2 Tabel NB.16. Hierin wordt voorschreven welke belastinggroepen gelijktijdig gerekend moeten worden en welke momentaanfactoren hiervoor in rekening moeten worden gebracht.

Tabel NB.16 — ψ -waarden voor belastingscombinaties STR – wegverkeersbruggen en bruggen voor langzaam verkeer

Belasting	Belastingscombinaties												
	gr1a	gr1b	gr2	gr3	gr4	gr5	W ^b		T ^b		S	A1 ^{a,b}	
TS	1	0	0,8	0	0	0,8	0,8	0,64	0,8	0,64	0	0,8	0,64
UDL	1	0	0,8	0	0	0,8	0,8	0,64	0,8	0,64	0	0,8	0,64
Enkele as	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Horizontale belasting	0,8	0	1	0	0	0,8	0,64	0,8	0,64	0,8	0	0,64	0,8
Voetpaden	0,4	0	0,4	1	1	0	0,32	0,32	0,32	0,32	0	0,32	0,32
Mensenmenigte	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Bijzondere voertuigen	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Wind ^c F_{wk}	0,3	0	0,3	0	0	0,3	1	1	0,3	0,3	0	0	0
Wind ^c F_w^*	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Temperatuur	0,3	0	0,3	0	0,3	0,3	0,3	0,3	1	1	0	0	0
Sneeuw	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Impact op of onder de brug	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Aardbevingsbelasting	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

^a A1 = aanrijding op of onder de brug en aanvaring.

^b Bij deze combinaties is in eerste kolom $gr1a \times \psi_0$ en de tweede kolom $gr2 \times \psi_0$. Voor de definitie van de groep verkeersbelasting gr1a en gr2 zie NEN-EN 1991-2+C1.

^c Waar verkeersbelasting op (delen van) de brug aanwezig is, mag zijn gerekend met F_w^* in plaats van F_{wk} .

IX. Bijlage G – Parameters

1. Parameters						
Naam	Omschrijving	Type	Evaluatie	Formule	Waarde	Eenheid
L_moot	Lengte moot	Lengte	Waarde		20	m
B_rijbaan	Breedte rijbaan	Lengte	Waarde		6	m
B_schampstrook	breedte schampstrook 2 zijdig	Lengte	Waarde		0,25	m
B_inwendig	inwendige breedte	Lengte	Formule	$B_{rijbaan} + 2 * B_{schampstrook}$	6,5	m
D_wand	dikte wanden	Doorsnede lengte	Waarde		550	mm
D_vloer	dikte vloer	Doorsnede lengte	Waarde		550	mm
B_systeem	Systeem Breedte	Lengte	Formule	$B_{inwendig} + D_{wand}$	7,05	m
Z_bkwandA	b.k. wand N.A.P. as A	Lengte	Waarde		2	m
Z_bkwandB	b.k. wand N.A.P. as B	Lengte	Waarde		2	m
Z_bkasfaltA	b.k. asfalt N.A.P. as A	Lengte	Waarde		-1	m
Z_bkasfaltB	b.k. asfalt N.A.P. as B	Lengte	Waarde		-2	m
d_Asfalt	asfalt dikte	Lengte	Waarde		0,1	m
H_wandA	Systeem hoogte wand as A	Lengte	Formule	$D_{vloer} / 2 + Z_{bkwandA} - Z_{bkasfaltA} + d_{Asfalt}$	3,38	m
H_wandB	Systeem hoogte wand as B	Lengte	Formule	$D_{vloer} / 2 + Z_{bkwandB} - Z_{bkasfaltB} + d_{Asfalt}$	4,38	m
H_schampstrook	dikte schampstrook	Lengte	Waarde		0,19	m
B_oor	breedte oor	Lengte	Waarde		0	m
y_oor1	y_coördinaat oor 1	Lengte	Formule	$-D_{wand} / 2 - B_{oor}$	-0,28	m
y2_oor1	y_coördinaat oor 1 --> vlaklast op oren	Lengte	Formule	$-D_{wand} / 2$	-0,28	m
y_oor2	y_coördinaat oor 2	Lengte	Formule	$B_{systeem} + D_{wand} / 2 + B_{oor}$	7,33	m
y2_oor2	y_coördinaat oor 2 --> vlaklast op oren	Lengte	Formule	$B_{systeem} + D_{wand} / 2$	7,33	m
Z_MV	hoogte maaiveld N.A.P.	Lengte	Waarde		2	m
Z_LGWS	hoogte LGWS N.A.P.	Lengte	Waarde		0	m
Z_HGWS	hoogte HGWS N.A.P.	Lengte	Waarde		1,5	m
y1_schmp1	schampstrook 1	Lengte	Formule	$D_{wand} / 2$	0,28	m
y2_schmp1	schampstrook 1	Lengte	Formule	$D_{wand} / 2 + B_{schampstrook}$	0,53	m
y1_schmp2	schampstrook 2	Lengte	Formule	$B_{systeem} - D_{wand} / 2 - B_{schampstrook}$	6,52	m
y2_schmp2	schampstrook 2	Lengte	Formule	$B_{systeem} - D_{wand} / 2$	6,77	m
gamma_gronddroog	soortelijke massa grond droog	Vlaklast	Waarde		18	kN/m ²
gamma_grondnat	soortelijke massa grond nat	Vlaklast	Waarde		20	kN/m ²
k_0	neutrale gronddruk coëfficiënt	Coëfficiënt	Waarde		0.5	
gamma_water	soortelijke massa water	Vlaklast	Waarde		10	kN/m ²
gamma_beton	soortelijke massa beton	Vlaklast	Waarde		25	kN/m ²
gamma_asfalt	soortelijke massa asfalt	Vlaklast	Waarde		23	kN/m ²
q_asfalt	vlaklast RB asfalt	Vlaklast	Formule	$-d_{Asfalt} * \gamma_{asfalt}$	-2,3	kN/m ²
q_schampstrook	vlaklast RB schampstrook	Vlaklast	Formule	$(B_{schampstrook} > 0) * H_{schampstrook} * \gamma_{beton}$	-4,75	kN/m ²
H_MVA	MV as A	Lengte	Formule	$H_{wandA} - (Z_{bkwandA} - Z_{MV})$	3,38	m
H_MVB	MV as B	Lengte	Formule	$H_{wandB} - (Z_{bkwandB} - Z_{MV})$	4,38	m
H_LGWSA	LGWS as A	Lengte	Formule	$H_{wandA} - (Z_{bkwandA} - Z_{LGWS})$	1,38	m
H_LGWSB	LGWS as B	Lengte	Formule	$H_{wandB} - (Z_{bkwandB} - Z_{LGWS})$	2,38	m
H_HGWSA	HGWS as A	Lengte	Formule	$H_{wandA} - (Z_{bkwandA} - Z_{HGWS})$	2,88	m
H_HGWSB	HGWS as B	Lengte	Formule	$H_{wandB} - (Z_{bkwandB} - Z_{HGWS})$	3,88	m
HO_LGWSA	LGWS as A onder	Lengte	Formule	$H_{LGWSA} - H_{wandA}$	-2	m
HO_LGWSB	LGWS as B onder	Lengte	Formule	$H_{LGWSB} - H_{wandB}$	-2	m
q_LGWSB	qlast LGWSB	Vlaklast	Formule	$H_{wandB} * \gamma_{water}$	43,75	kN/m ²
q_HGWSB	qlast HGWSB	Vlaklast	Formule	$(Z_{HGWS} - Z_{LGWS}) * \gamma_{water}$	15	kN/m ²
x_LGWSA	x_LGWS as A	Lengte	Formule	H_{LGWSA}	0	m
x_LGWSB	x_LGWS as B	Lengte	Formule	$L_{moot} - H_{LGWSB}$	20	m
q_opwLGWSA	q_opwLGWSA	Vlaklast	Formule	$(H_{LGWSA} > (-D_{vloer} / 2)) * ((-D_{vloer} / 2) - H_{LGWSA}) * \gamma_{water}$	16,5	kN/m ²
q_opwLGWSB	q_opwLGWSB	Vlaklast	Formule	$(H_{LGWSB} > (-D_{vloer} / 2)) * ((-D_{vloer} / 2) - H_{LGWSB}) * \gamma_{water}$	26,5	kN/m ²
x_LGWSA_oor	X_lgwsA_op oor	Lengte	Formule	H_{LGWSA}	0	m
x_LGWSB_oor	X_lgwsB_op oor	Lengte	Formule	$L_{moot} - H_{LGWSB}$	20	m
q_nwLGWSA	q_lgwsA_op oor_neerwaarts	Vlaklast	Formule	$(H_{LGWSA} > (D_{vloer} / 2)) * ((D_{vloer} / 2) - H_{LGWSA}) * \gamma_{water}$	-11	kN/m ²
q_nwLGWSB	q_lgwsB_op oor_neerwaarts	Vlaklast	Formule	$(H_{LGWSB} > (D_{vloer} / 2)) * ((D_{vloer} / 2) - H_{LGWSB}) * \gamma_{water}$	-21	kN/m ²
x_HGWSA	x_HGWS as A	Lengte	Formule	H_{HGWSA}	0	m
x_HGWSB	x_HGWS as B	Lengte	Formule	$L_{moot} - H_{HGWSB}$	20	m
q_opwHGWSA	q_opwHGWSA	Vlaklast	Formule	$(H_{HGWSA} > (-D_{vloer} / 2)) * \max(0; \min(H_{HGWSA} - H_{LGWSA}; H_{HGWSA} - D_{vloer} / 2)) * \gamma_{water}$	15	kN/m ²
q_opwHGWSB	q_opwHGWSB	Vlaklast	Formule	$(H_{HGWSB} > (-D_{vloer} / 2)) * \max(0; \min(H_{HGWSB} - H_{LGWSB}; H_{HGWSB} - D_{vloer} / 2)) * \gamma_{water}$	15	kN/m ²

x_HGWSA_oor	X_hgwsA_op oor	Lengte	Formule	(H_HGWSA	0 m
x_HGWSB_oor	X_hgwsB_op oor	Lengte	Formule	L_moot-(H_HGWSB	20 m
q_nwHGWSA	q_hgwsA_op oor_neerwaarts	Viaklast	Formule	$\frac{(H_HGWSA > (D_vloer/2)) * \max(0, \min(H_HGWSA - H_HGWSA, D_vloer/2)) * \gamma_{water}}{D_vloer/2}$	-15 kN/m²
q_nwHGWSB	q_hgwsB_op oor_neerwaarts	Viaklast	Formule	$\frac{(H_HGWSB > (D_vloer/2)) * \max(0, \min(H_HGWSB - H_HGWSB, D_vloer/2)) * \gamma_{water}}{D_vloer/2}$	-15 kN/m²
q1_grondLGWSA	q1 grondlast LGWS as A op peil LGWS	Viaklast	Formule	(H_MVA-H_LGWSA)*gamma_grondroog*k_0	18 kN/m²
q2_grondLGWSA	q2 grondlast LGWS as A op peil o.k. last	Viaklast	Formule	$q1_grondLGWSA + (H_LGWSA - HO_LGWSA) * (\gamma_{gronddroog} - \gamma_{water}) * k_0$	34,88 kN/m²
q1_grondLGWSB	q1 grondlast LGWS as B op peil LGWS	Viaklast	Formule	(H_MVB-H_LGWSB)*gamma_grondroog*k_0	18 kN/m²
q2_grondLGWSB	q2 grondlast LGWS as B op peil o.k. last	Viaklast	Formule	$q1_grondLGWSB + (H_LGWSB - HO_LGWSB) * (\gamma_{gronddroog} - \gamma_{water}) * k_0$	39,88 kN/m²
x_C_LGWS_grondlast_oren	afstand knik in grondlast op oren	Lengte	Formule	$L_{moot} - (\min((L_{moot} - x_{LGWSA_oor}), (L_{moot} - x_{LGWSB_oor})))$	20 m
q1_vert_LGWS_grondlast_oren	q1 grondlast op oren_LGWS	Viaklast	Formule	$\frac{-(H_LGWSA <= (D_vloer/2)) * ((H_MVA - D_vloer/2) * \gamma_{gronddroog}) + (H_LGWSA > (D_vloer/2)) * ((H_MVA - H_LGWSA) * \gamma_{gronddroog} + (H_LGWSA - D_vloer/2) * (\gamma_{gronddroog} - \gamma_{water}))}{L_{moot}}$	-47 kN/m²
H_MVC_LGWS_grondlast_oren	hoogte maaiveld bij knik	Lengte	Formule	x_C_LGWS_grondlast_oren/L_moot*(H_MVB-H_MVA)+H_MVA	4,38 m
H_LGWSC_grondlast_oren	hoogte waterlijn bij knik	Lengte	Formule	x_C_LGWS_grondlast_oren/L_moot*(H_LGWSB-H_LGWSA)+H_LGWSA	2,38 m
q2_vert_LGWS_grondlast_oren	q2 grondlast op oren_LGWS_knik	Viaklast	Formule	$\frac{(H_LGWSC_grondlast_oren <= (D_vloer/2)) * ((H_MVC_LGWS_grondlast_oren - D_vloer/2) * \gamma_{gronddroog}) + (H_LGWSC_grondlast_oren > (D_vloer/2)) * ((H_MVC_LGWS_grondlast_oren - H_LGWSC_grondlast_oren) * \gamma_{gronddroog} + (H_LGWSC_grondlast_oren - D_vloer/2) * (\gamma_{gronddroog} - \gamma_{water}))}{L_{moot}}$	-57 kN/m²
q3_vert_LGWS_grondlast_oren	q3 grondlast op oren_LGWS_einde	Viaklast	Formule	$\frac{-(H_LGWSB <= (D_vloer/2)) * ((H_MVB - D_vloer/2) * \gamma_{gronddroog}) + (H_LGWSB > (D_vloer/2)) * ((H_MVB - H_LGWSB) * \gamma_{gronddroog} + (H_LGWSB - D_vloer/2) * (\gamma_{gronddroog} - \gamma_{water}))}{L_{moot}}$	-57 kN/m²
q1_grondHGWSA	q1 grondlast HGWS as A op peil HGWS	Viaklast	Formule	(H_MVA-H_HGWSA)*gamma_grondroog*k_0	4,5 kN/m²
q2_grondHGWSA	q2 grondlast HGWS as A op peil o.k. last	Viaklast	Formule	$q1_grondHGWSA + (H_HGWSA - HO_LGWSA) * (\gamma_{gronddroog} - \gamma_{water}) * k_0$	28,88 kN/m²
q1_grondHGWSB	q1 grondlast HGWS as B op peil HGWS	Viaklast	Formule	(H_MVB-H_HGWSB)*gamma_grondroog*k_0	4,5 kN/m²
q2_grondHGWSB	q2 grondlast HGWS as B op peil o.k. last	Viaklast	Formule	$q1_grondHGWSB + (H_HGWSB - HO_LGWSB) * (\gamma_{gronddroog} - \gamma_{water}) * k_0$	33,88 kN/m²
x_C_HGWS_grondlast_oren	afstand knik in grondlast op oren	Lengte	Formule	$L_{moot} - (\min((L_{moot} - x_{HGWSA_oor}), (L_{moot} - x_{HGWSB_oor})))$	20 m
q1_vert_HGWS_grondlast_oren	q1 grondlast op oren_HGWS	Viaklast	Formule	$\frac{-(H_HGWSA <= (D_vloer/2)) * ((H_MVA - D_vloer/2) * \gamma_{gronddroog}) + (H_HGWSA > (D_vloer/2)) * ((H_MVA - H_HGWSA) * \gamma_{gronddroog} + (H_HGWSA - D_vloer/2) * (\gamma_{gronddroog} - \gamma_{water}))}{L_{moot}}$	-35 kN/m²
H_MVC_HGWS_grondlast_oren	Hoogte maaiveld bij knik	Lengte	Formule	x_C_HGWS_grondlast_oren/L_moot*(H_MVB-H_MVA)+H_MVA	4,38 m
H_HGWSC_grondlast_oren	Hoogte waterlijn bij knik	Lengte	Formule	x_C_HGWS_grondlast_oren/L_moot*(H_HGWSB-H_HGWSA)+H_HGWSA	3,88 m
q2_vert_HGWS_grondlast_oren	q2 grondlast op oren_HGWS_knik	Viaklast	Formule	$\frac{(H_HGWSC_grondlast_oren <= (D_vloer/2)) * ((H_MVC_HGWS_grondlast_oren - D_vloer/2) * \gamma_{gronddroog}) + (H_HGWSC_grondlast_oren > (D_vloer/2)) * ((H_MVC_HGWS_grondlast_oren - H_HGWSC_grondlast_oren) * \gamma_{gronddroog} + (H_HGWSC_grondlast_oren - D_vloer/2) * (\gamma_{gronddroog} - \gamma_{water}))}{L_{moot}}$	-45 kN/m²
q3_vert_HGWS_grondlast_oren	q3 grondlast op oren_HGWS_einde	Viaklast	Formule	$\frac{-(H_HGWSB <= (D_vloer/2)) * ((H_MVB - D_vloer/2) * \gamma_{gronddroog}) + (H_HGWSB > (D_vloer/2)) * ((H_MVB - H_HGWSB) * \gamma_{gronddroog} + (H_HGWSB - D_vloer/2) * (\gamma_{gronddroog} - \gamma_{water}))}{L_{moot}}$	-45 kN/m²
B_fict_rijbaan	fictieve rijbaan breedte o.b.v. voertuigerende? schampstrook	Lengte	Formule	B_rijbaan+(H_schampstrook<0,2)*2*B_schampstrook	6,5 m
B_fict_rijstrook	fictieve rijbaan breedte o.b.v. voertuigerende? schampstrook	Lengte	Formule	(B_fict_rijbaan<5,4)*3+(5,4<=B_fict_rijbaan)&&(B_fict_rijbaan<=B_fict_rijbaan)*3	3 m
B_fict_resterend	reststrook	Lengte	Formule	B_fict_rijbaan\B_fict_rijstrook	0,5 m
N_rijstroken	aantal theoretische rijstroken	Integer	Formule	int(B_fict_rijbaan/B_fict_rijstrook)	2
alpha_q1	alpha UDL rijstrook 1	Coëfficiënt	Waarde		1
alpha_q2	alpha UDL rijstrook 2	Coëfficiënt	Waarde		1
alpha_qr	alpha reststrook	Coëfficiënt	Waarde		1
alpha_QQr1	alpha TS rijstrook 1	Coëfficiënt	Waarde		1
alpha_QQr2	alpha TS rijstrook 2	Coëfficiënt	Waarde		1
F_AS_RS1	Aslast rijstrook 1	Kracht	Waarde		300 kN
F_AS_RS2	Aslast rijstrook 2	Kracht	Waarde		200 kN
q_RS1	Q-last rijstrook 1	Viaklast	Waarde		9 kN/m²
q_RS2	Q-last rijstrook 2	Viaklast	Waarde		2,5 kN/m²
q_RS_rest	Q-last resterende deel	Viaklast	Waarde		2,5 kN/m²
q_rijstrook1	oppervlakte last UDL rijstrook 1	Viaklast	Formule	q_RS1*alpha_q1	-9 kN/m²
q_rijstrook2	oppervlakte last UDL rijstrook 2	Viaklast	Formule	(N_rijstroken==2)*q_RS2*alpha_q2	-2,5 kN/m²

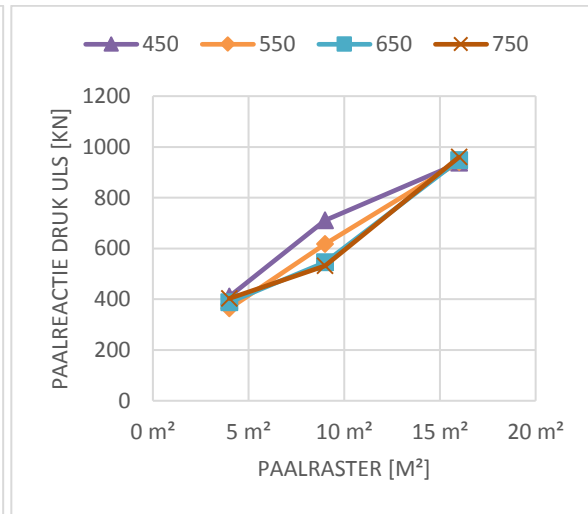
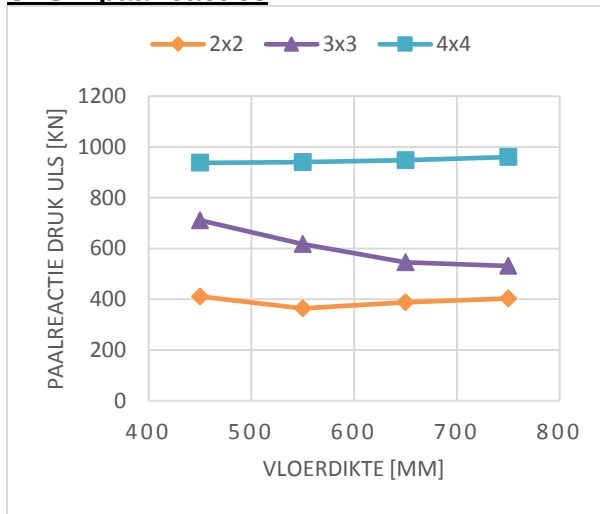
q_rijstrookrest	oppervlakte last UDL rijstrook rest	Vlaklast	Formule	$(B_{fict_resterend} - 0) * q_{RS_rest} * \alpha_{qr}$	-2,5	kN/m ²
q_rijstrookrest_strook1_midden	oppervlakte last UDL rijstrook rest rijstrook 1 midden	Vlaklast	Formule	$(B_{fict_rijbaan} - 3) * q_{RS_rest} * \alpha_{qr}$	-2,5	kN/m ²
QQ_wiellast_rijstrook1	wiellast rijstrook 1	Kracht	Formule	$-F_{AS_RS1} / 2 * \alpha_{QQr1}$	-150	kN
QQ_wiellast_rijstrook2	wiellast rijstrook 2	Kracht	Formule	$(N_{rijstroken} - 2) * F_{AS_RS2} / 2 * \alpha_{QQr2}$	-100	kN
B_wielprent_BM1	zijde wielprent BM1 (vierkant verondersteld)	Lengte	Waarde		0,4	m
B_wielprent_spreid_BM1	Gespreide zijde wiellast BM1	Lengte	Formule	$B_{wielprent_BM1} + D_{vloer}$	0,95	m
A_wielprent_spreid_BM1	opp. wielprent spreiding BM1	Oppervlak	Formule	$B_{wielprent_spreid_BM1}^2$	0,903	
q_wiellast_rijstrook1	oppervlakte last wiel rijstrook 1	Vlaklast	Formule	$QQ_{wiellast_rijstrook1} / A_{wielprent_spreid_BM1}$	-166,2	kN/m ²
q_wiellast_rijstrook2	oppervlakte last wiel rijstrook 2	Vlaklast	Formule	$QQ_{wiellast_rijstrook2} / A_{wielprent_spreid_BM1}$	-110,8	kN/m ²
y1_rijstrook1_rand	y coördinaat rijstrook 1 op rand	Lengte	Formule	$D_{wand} / 2 + (H_{schampstrook} \geq 0,2) * B_{schampstrook}$	0,28	m
y2_rijstrook1_rand	y coördinaat rijstrook 1 op rand	Lengte	Formule	$D_{wand} / 2 + (H_{schampstrook} \geq 0,2) * B_{schampstrook} + B_{fict_rijstrook}$	3,27	m
y3_rijstrook1_rand	y coördinaat rijstrook 1 op rand	Lengte	Formule	$D_{wand} / 2 + (H_{schampstrook} \geq 0,2) * B_{schampstrook} + B_{fict_rijstrook} + (N_{rijstroken} > 1) * B_{fict_rijstrook}$	6,28	m
y4_rijstrook1_rand	y coördinaat rijstrook 1 op rand	Lengte	Formule	$D_{wand} / 2 + (H_{schampstrook} \geq 0,2) * B_{schampstrook} + B_{fict_rijstrook} + (N_{rijstroken} > 1) * B_{fict_rijstrook} + B_{fict_resterend}$	6,78	m
y1_rijstrook1_midden	y coördinaat rijstrook 1 midden	Lengte	Formule	$D_{wand} / 2 + (H_{schampstrook} \geq 0,2) * B_{schampstrook}$	0,28	m
y2_rijstrook1_midden	y coördinaat rijstrook 1 midden	Lengte	Formule	$B_{systeem} / 2 - 1,5$	2,02	m
y3_rijstrook1_midden	y coördinaat rijstrook 1 midden	Lengte	Formule	$B_{systeem} / 2 + 1,5$	5,03	m
y4_rijstrook1_midden	y coördinaat rijstrook 1 op midden	Lengte	Formule	$B_{systeem} - D_{wand} / 2 - (H_{schampstrook} \geq 0,2) * B_{schampstrook}$	6,77	m
x_asafstand_BM1	asafstand in rijrichting	Lengte	Waarde		1,2	m
y_asafstand_BM1	asafstand dwars op rijrichting	Lengte	Waarde		2	m
BM1_STR1_RAND_posa_x1	wielprent str 1 rand pos a	Lengte	Formule		0	0 m
BM1_STR1_RAND_posa_x2	wielprent str 1 rand pos a	Lengte	Formule	$B_{wielprent_spreid_BM1}$	0,95	m
BM1_STR1_RAND_posa_x3	wielprent str 1 rand pos a	Lengte	Formule	$x_{asafstand_BM1}$	1,2	m
BM1_STR1_RAND_posa_x4	wielprent str 1 rand pos a	Lengte	Formule	$x_{asafstand_BM1} + B_{wielprent_spreid_BM1}$	2,15	m
BM1_STR1_RAND_y1	wielprent str 1 rand pos a	Lengte	Formule	$(y1_{rijstrook1_rand} + y2_{rijstrook1_rand}) / 2 - y_{asafstand_BM1} / 2 - B_{wielprent_spreid_BM1} / 2$	0,3	m
BM1_STR1_RAND_y2	wielprent str 1 rand pos a	Lengte	Formule	$(y1_{rijstrook1_rand} + y2_{rijstrook1_rand}) / 2 - y_{asafstand_BM1} / 2 + B_{wielprent_spreid_BM1} / 2$	1,25	m
BM1_STR1_RAND_y3	wielprent str 1 rand pos a	Lengte	Formule	$(y1_{rijstrook1_rand} + y2_{rijstrook1_rand}) / 2 + y_{asafstand_BM1} / 2 - B_{wielprent_spreid_BM1} / 2$	2,3	m
BM1_STR1_RAND_y4	wielprent str 1 rand pos a	Lengte	Formule	$(y1_{rijstrook1_rand} + y2_{rijstrook1_rand}) / 2 + y_{asafstand_BM1} / 2 + B_{wielprent_spreid_BM1} / 2$	3,25	m
BM1_STR1_RAND_posb_x1	wielprent str 1 rand pos b	Lengte	Formule	$0 + 1 * (L_{moot} - B_{wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand_BM1}) / 8$	2,23	m
BM1_STR1_RAND_posb_x2	wielprent str 1 rand pos b	Lengte	Formule	$B_{wielprent_spreid_BM1} + 1 * (L_{moot} - B_{wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand_BM1}) / 8$	3,18	m
BM1_STR1_RAND_posb_x3	wielprent str 1 rand pos b	Lengte	Formule	$x_{asafstand_BM1} + 1 * (L_{moot} - B_{wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand_BM1}) / 8$	3,43	m
BM1_STR1_RAND_posb_x4	wielprent str 1 rand pos b	Lengte	Formule	$x_{asafstand_BM1} + B_{wielprent_spreid_BM1} + 1 * (L_{moot} - B_{wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand_BM1}) / 8$	4,38	m
BM1_STR1_RAND_posc_x1	wielprent str 1 rand pos c	Lengte	Formule	$0 + 2 * (L_{moot} - B_{wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand_BM1}) / 8$	4,46	m
BM1_STR1_RAND_posc_x2	wielprent str 1 rand pos c	Lengte	Formule	$B_{wielprent_spreid_BM1} + 2 * (L_{moot} - B_{wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand_BM1}) / 8$	5,41	m
BM1_STR1_RAND_posc_x3	wielprent str 1 rand pos c	Lengte	Formule	$x_{asafstand_BM1} + 2 * (L_{moot} - B_{wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand_BM1}) / 8$	5,66	m
BM1_STR1_RAND_posc_x4	wielprent str 1 rand pos c	Lengte	Formule	$x_{asafstand_BM1} + B_{wielprent_spreid_BM1} + 2 * (L_{moot} - B_{wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand_BM1}) / 8$	6,61	m
BM1_STR1_RAND_posd_x1	wielprent str 1 rand pos d	Lengte	Formule	$0 + 3 * (L_{moot} - B_{wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand_BM1}) / 8$	6,69	m
BM1_STR1_RAND_posd_x2	wielprent str 1 rand pos d	Lengte	Formule	$B_{wielprent_spreid_BM1} + 3 * (L_{moot} - B_{wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand_BM1}) / 8$	7,64	m
BM1_STR1_RAND_posd_x3	wielprent str 1 rand pos d	Lengte	Formule	$x_{asafstand_BM1} + 3 * (L_{moot} - B_{wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand_BM1}) / 8$	7,89	m
BM1_STR1_RAND_posd_x4	wielprent str 1 rand pos d	Lengte	Formule	$x_{asafstand_BM1} + B_{wielprent_spreid_BM1} + 3 * (L_{moot} - B_{wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand_BM1}) / 8$	8,84	m
BM1_STR1_RAND_pose_x1	wielprent str 1 rand pos e	Lengte	Formule	$0 + 4 * (L_{moot} - B_{wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand_BM1}) / 8$	8,93	m

BM1_STR1_RAND_pose_x2	wielprent str 1 rand pos e	Lengte	Formule	$B_wielprent_spreid_BM1+4*(L_moot-B_wielprent_spreid_BM1-x_asafstand_BM1)/8$	9,88	m
BM1_STR1_RAND_pose_x3	wielprent str 1 rand pos e	Lengte	Formule	$x_asafstand_BM1+4*(L_moot-B_wielprent_spreid_BM1-x_asafstand_BM1)/8$	10,13	m
BM1_STR1_RAND_pose_x4	wielprent str 1 rand pos e	Lengte	Formule	$x_asafstand_BM1+B_wielprent_spreid_BM1+4*(L_moot-B_wielprent_spreid_BM1-x_asafstand_BM1)/8$	11,08	m
BM1_STR1_RAND_posf_x1	wielprent str 1 rand pos f	Lengte	Formule	$0+5*(L_moot-B_wielprent_spreid_BM1-x_asafstand_BM1)/8$	11,16	m
BM1_STR1_RAND_posf_x2	wielprent str 1 rand pos f	Lengte	Formule	$B_wielprent_spreid_BM1+5*(L_moot-B_wielprent_spreid_BM1-x_asafstand_BM1)/8$	12,11	m
BM1_STR1_RAND_posf_x3	wielprent str 1 rand pos f	Lengte	Formule	$x_asafstand_BM1+5*(L_moot-B_wielprent_spreid_BM1-x_asafstand_BM1)/8$	12,36	m
BM1_STR1_RAND_posf_x4	wielprent str 1 rand pos f	Lengte	Formule	$x_asafstand_BM1+B_wielprent_spreid_BM1+5*(L_moot-B_wielprent_spreid_BM1-x_asafstand_BM1)/8$	13,31	m
BM1_STR1_RAND_posg_x1	wielprent str 1 rand pos g	Lengte	Formule	$0+6*(L_moot-B_wielprent_spreid_BM1-x_asafstand_BM1)/8$	13,39	m
BM1_STR1_RAND_posg_x2	wielprent str 1 rand pos g	Lengte	Formule	$B_wielprent_spreid_BM1+6*(L_moot-B_wielprent_spreid_BM1-x_asafstand_BM1)/8$	14,34	m
BM1_STR1_RAND_posg_x3	wielprent str 1 rand pos g	Lengte	Formule	$x_asafstand_BM1+6*(L_moot-B_wielprent_spreid_BM1-x_asafstand_BM1)/8$	14,59	m
BM1_STR1_RAND_posg_x4	wielprent str 1 rand pos g	Lengte	Formule	$x_asafstand_BM1+B_wielprent_spreid_BM1+6*(L_moot-B_wielprent_spreid_BM1-x_asafstand_BM1)/8$	15,54	m
BM1_STR1_RAND_posh_x1	wielprent str 1 rand pos h	Lengte	Formule	$0+7*(L_moot-B_wielprent_spreid_BM1-x_asafstand_BM1)/8$	15,62	m
BM1_STR1_RAND_posh_x2	wielprent str 1 rand pos h	Lengte	Formule	$B_wielprent_spreid_BM1+7*(L_moot-B_wielprent_spreid_BM1-x_asafstand_BM1)/8$	16,57	m
BM1_STR1_RAND_posh_x3	wielprent str 1 rand pos h	Lengte	Formule	$x_asafstand_BM1+7*(L_moot-B_wielprent_spreid_BM1-x_asafstand_BM1)/8$	16,82	m
BM1_STR1_RAND_posh_x4	wielprent str 1 rand pos h	Lengte	Formule	$x_asafstand_BM1+B_wielprent_spreid_BM1+7*(L_moot-B_wielprent_spreid_BM1-x_asafstand_BM1)/8$	17,77	m
BM1_STR1_RAND_posi_x1	wielprent str 1 rand pos i	Lengte	Formule	$0+8*(L_moot-B_wielprent_spreid_BM1-x_asafstand_BM1)/8$	17,85	m
BM1_STR1_RAND_posi_x2	wielprent str 1 rand pos i	Lengte	Formule	$B_wielprent_spreid_BM1+8*(L_moot-B_wielprent_spreid_BM1-x_asafstand_BM1)/8$	18,8	m
BM1_STR1_RAND_posi_x3	wielprent str 1 rand pos i	Lengte	Formule	$x_asafstand_BM1+8*(L_moot-B_wielprent_spreid_BM1-x_asafstand_BM1)/8$	19,05	m
BM1_STR1_RAND_posi_x4	wielprent str 1 rand pos i	Lengte	Formule	$x_asafstand_BM1+B_wielprent_spreid_BM1+8*(L_moot-B_wielprent_spreid_BM1-x_asafstand_BM1)/8$	20	m
BM1_STR2_RAND_y1	wielprent str 1 rand pos a	Lengte	Formule	$(y3_rijstrook1_rand+y2_rijstrook1_rand)/2-y_asafstand_BM1/2-B_wielprent_spreid_BM1/2$	3,3	m
BM1_STR2_RAND_y2	wielprent str 1 rand pos a	Lengte	Formule	$(y3_rijstrook1_rand+y2_rijstrook1_rand)/2-y_asafstand_BM1/2+B_wielprent_spreid_BM1/2$	4,25	m
BM1_STR2_RAND_y3	wielprent str 1 rand pos a	Lengte	Formule	$(y3_rijstrook1_rand+y2_rijstrook1_rand)/2+y_asafstand_BM1/2-B_wielprent_spreid_BM1/2$	5,3	m
BM1_STR2_RAND_y4	wielprent str 1 rand pos a	Lengte	Formule	$(y3_rijstrook1_rand+y2_rijstrook1_rand)/2+y_asafstand_BM1/2+B_wielprent_spreid_BM1/2$	6,25	m
BM1_STR1_MIDDEN_y1	wielprent str 1 midden	Lengte	Formule	$B_systeem/2-y_asafstand_BM1/2-B_wielprent_spreid_BM1/2$	2,05	m
BM1_STR1_MIDDEN_y2	wielprent str 1 midden	Lengte	Formule	$B_systeem/2-y_asafstand_BM1/2+B_wielprent_spreid_BM1/2$	3	m
BM1_STR1_MIDDEN_y3	wielprent str 1 midden	Lengte	Formule	$B_systeem/2+y_asafstand_BM1/2-B_wielprent_spreid_BM1/2$	4,05	m
BM1_STR1_MIDDEN_y4	wielprent str 1 midden	Lengte	Formule	$B_systeem/2+y_asafstand_BM1/2+B_wielprent_spreid_BM1/2$	5	m
MV_BELASTING_V	MV_belasting verticaal	Vlaklast	Waarde		-20	kN/m²
MV_BELASTING_H	MV_belasting horizontaal	Vlaklast	Formule	$-MV_BELASTING_V*k_0$	10	kN/m²
T_0_ref	Ref. temperatuur	Coëfficiënt	Waarde		15	
T_bi_zomer	Temp. binnenzijde zomer	Coëfficiënt	Waarde		35	
T_bu_zomer	Temp. buitenzijde/grondzijde zomer	Coëfficiënt	Waarde		13	
T_bi_winter	Temp. binnenzijde winter	Coëfficiënt	Waarde		-15	
T_bu_winter	Temp. buitenzijde/grondzijde winter	Coëfficiënt	Waarde		3	
T_dag_min	Dagelijkse min wisseling binnenzijde	Coëfficiënt	Waarde		-8	
T_dag_max	Dagelijkse max wisseling binnenzijde	Coëfficiënt	Waarde		20	
T_stijg_bi	temp stijging binnen	Coëfficiënt	Formule	$T_bi_zomer+T_dag_max-T_0_ref$	40	
T_stijg_bu	temp stijging buiten	Coëfficiënt	Formule	$T_bu_zomer-T_0_ref$	-2	
T_stijg_gem	gemiddelde (oor)	Coëfficiënt	Formule	$(T_stijg_bu+T_stijg_bi)/2$	19	
T_daal_bi	temp daling binnen	Coëfficiënt	Formule	$T_bi_winter+T_dag_min-T_0_ref$	-38	

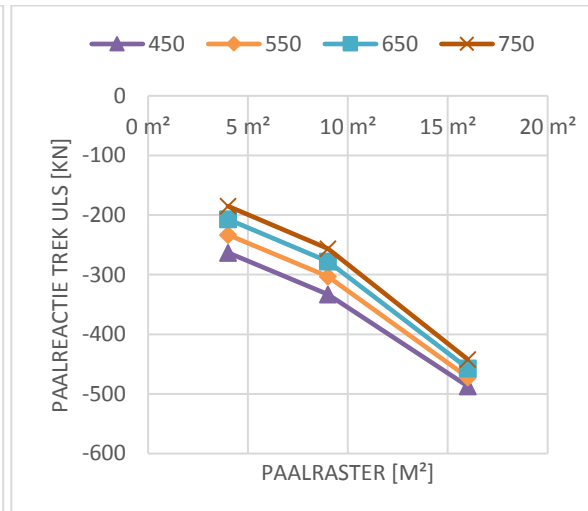
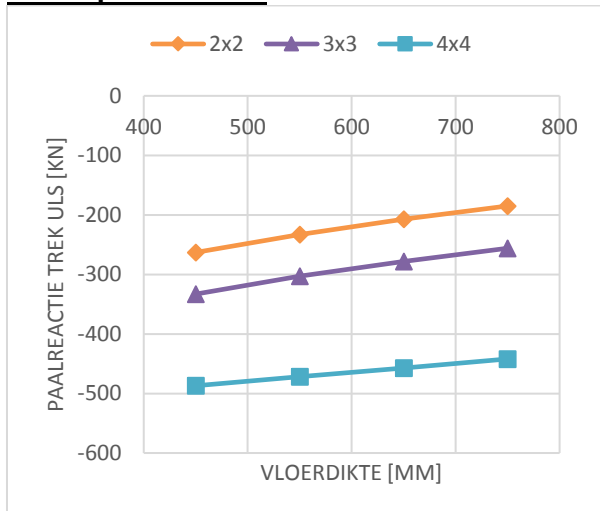
T_daal_bu	temp daling buiten	Coëfficiënt	Formule	$T_{bu_winter} - T_{0_ref}$	-12	
T_daal_gem	gemiddelde (oor)	Coëfficiënt	Formule	$(T_{daal_bu} + T_{daal_bi}) / 2$	-25	
e_sned_vloer	afleespunt snede vloer aansluiting wand	Lengte	Formule	$(1000 * D_{wand} / 2 - 7 / 18 * (D_{wand} \leq 650) * 100 - 7 / 18 * (D_{wand} > 650) * 150) / 1000$	0,24	m
e_sned_wand	afleespunt snede wand aansluiting vloer	Lengte	Formule	$(1000 * D_{vloer} / 2 - 7 / 18 * (D_{vloer} \leq 650) * 100 - 7 / 18 * (D_{vloer} > 650) * 150) / 1000$	0,24	m
x_sned_1	afleespunt snede wand aansluiting vloer	Lengte	Formule	$L_{moot} - 1$	19	m
y_sned	afleespunt snede wand aansluiting vloer	Lengte	Formule	$B_{systeem-e_snede_vloer}$	6,81	m
e_sned_vloer_dwarskracht	afleespunt snede vloer aansluiting wand dwarskracht	Lengte	Formule	$D_{wand} / 2 + D_{vloer} * 0,9$	0,77	m
y_sned_dwarskracht	afleespunt snede wand aansluiting vloer dwarskracht	Lengte	Formule	$B_{systeem-e_snede_vloer_dwarskracht}$	6,28	m
e_sned_wand_dwarskracht	afleespunt snede vloer aansluiting wand dwarskracht	Lengte	Formule	$D_{vloer} / 2 + D_{wand} * 0,9$	0,77	m

X. Bijlage H – ontwerpresultaten

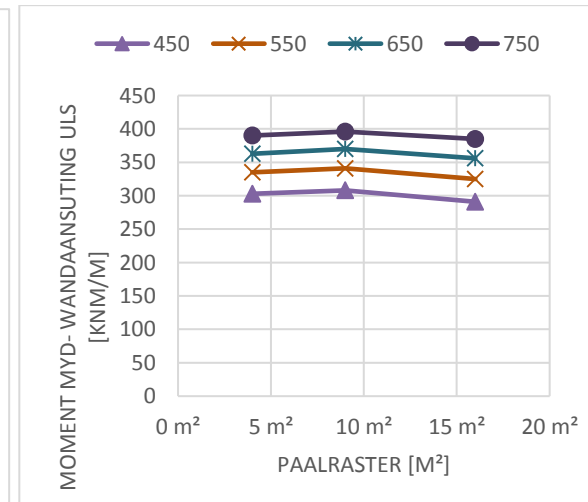
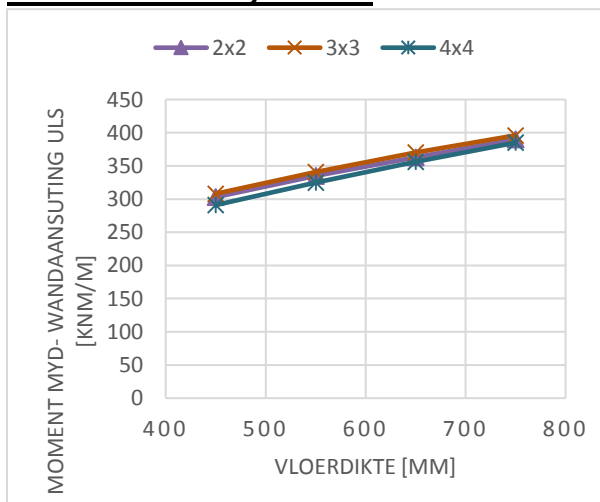
ULS – paalreacties



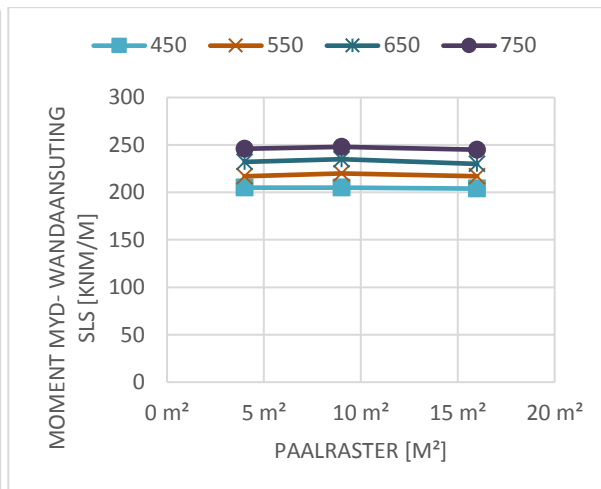
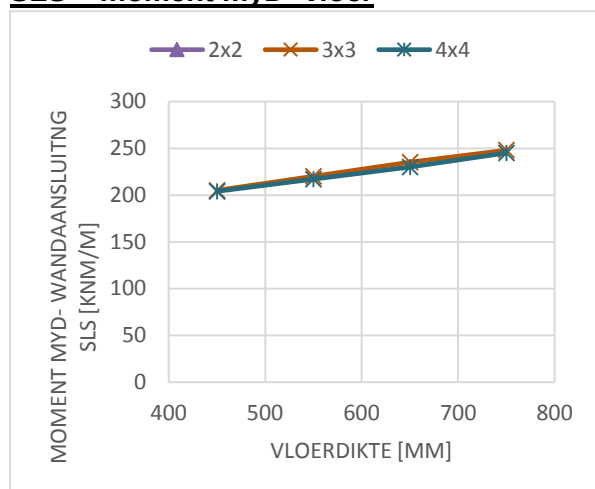
SLS – paalreacties



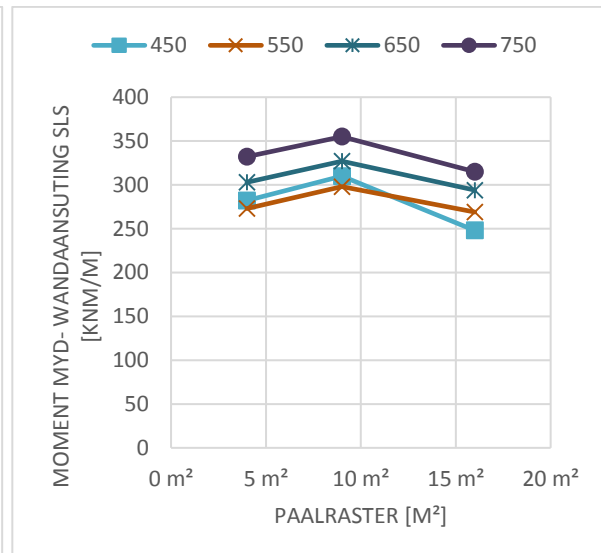
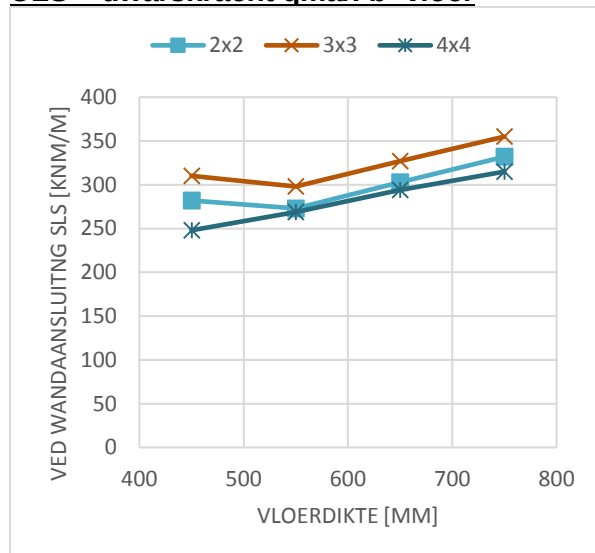
ULS – moment myD- vloer



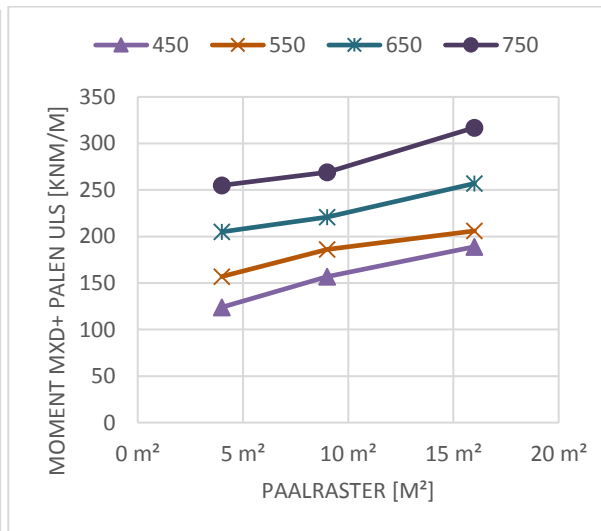
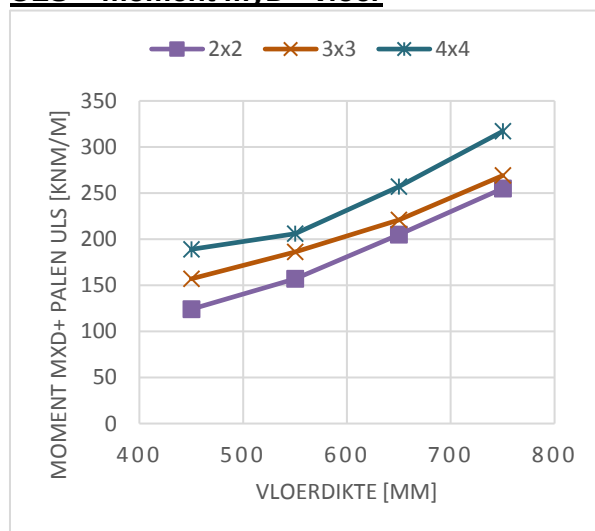
SLS – moment myD- vloer



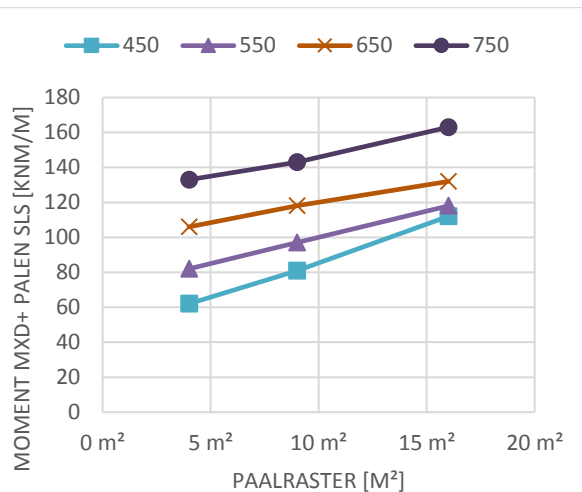
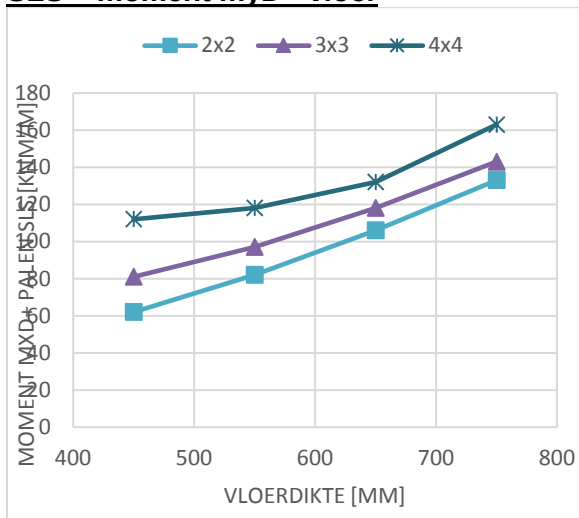
ULS – dwarskracht qmax-b- vloer



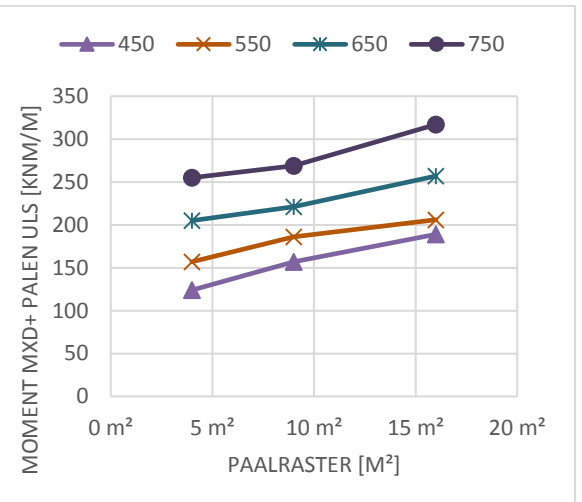
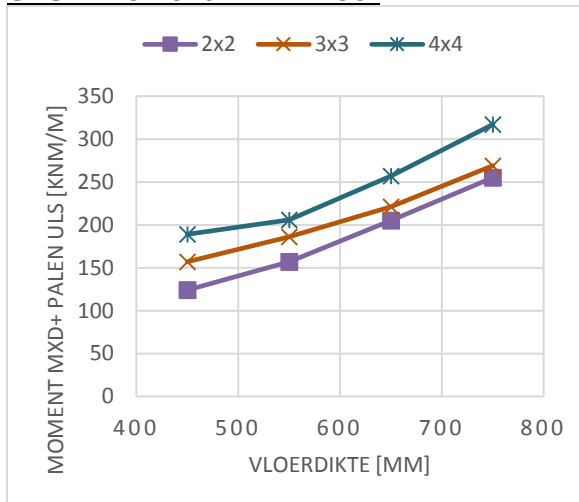
ULS – moment myD+ vloer



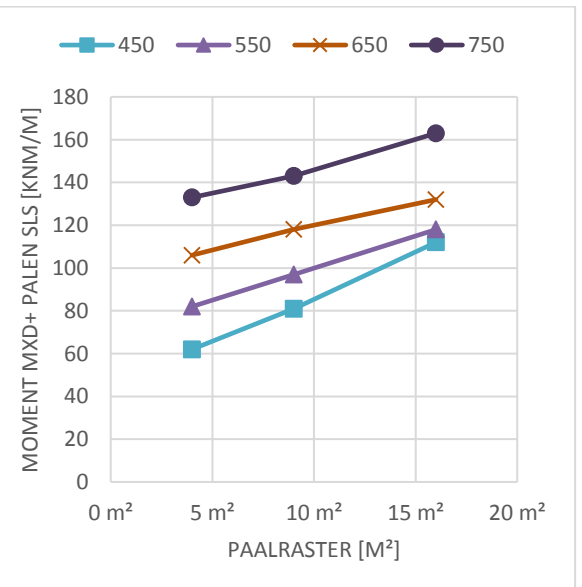
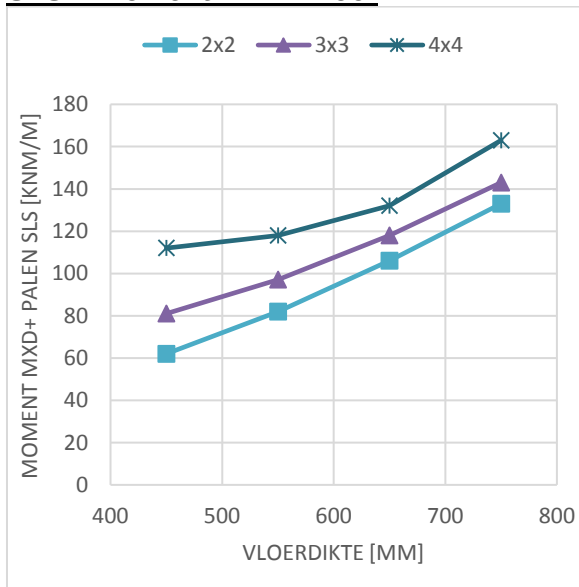
SLS – moment myD+ vloer



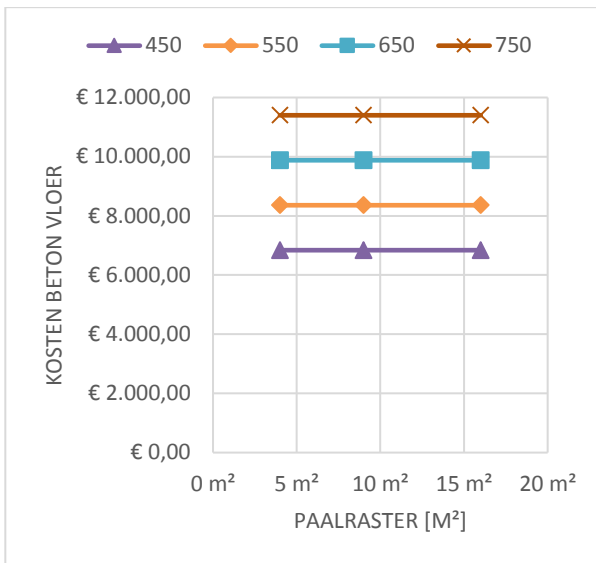
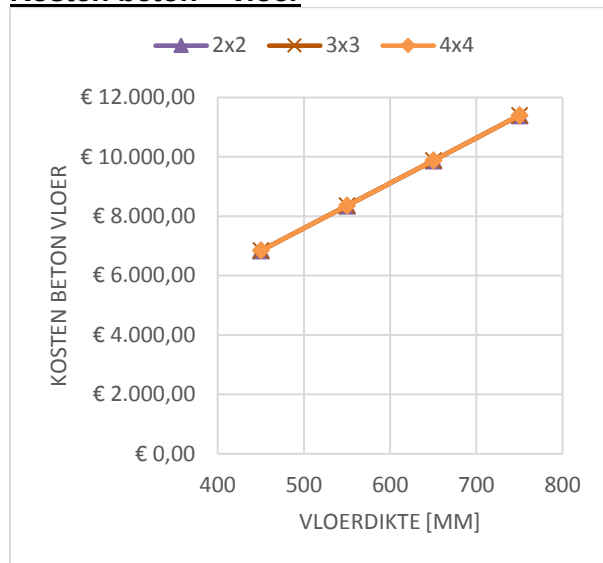
ULS – moment mxD+ vloer



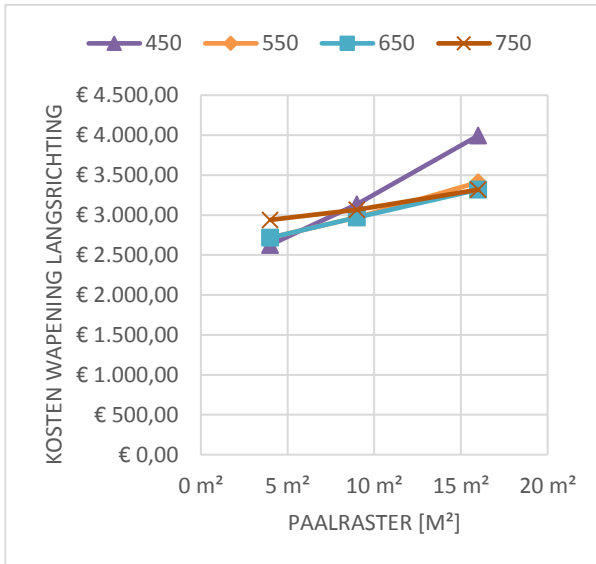
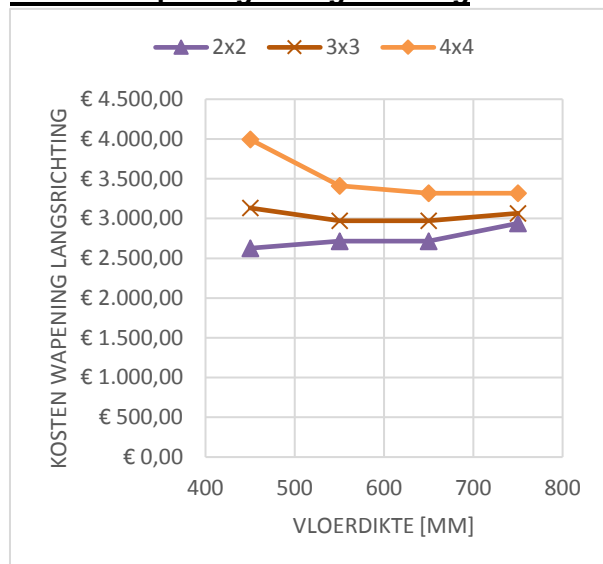
SLS – moment mxD+ vloer



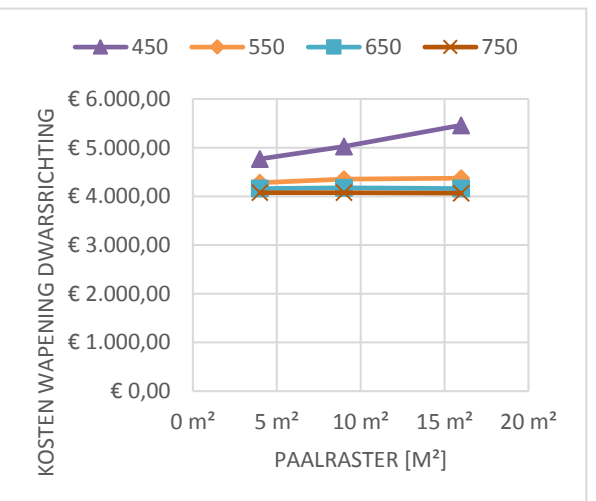
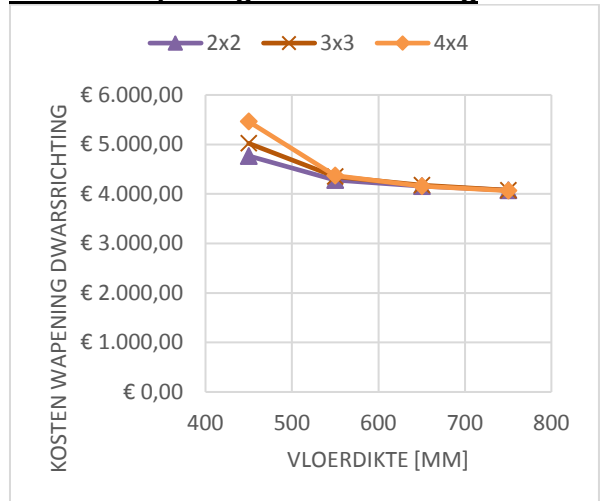
Kosten beton – vloer



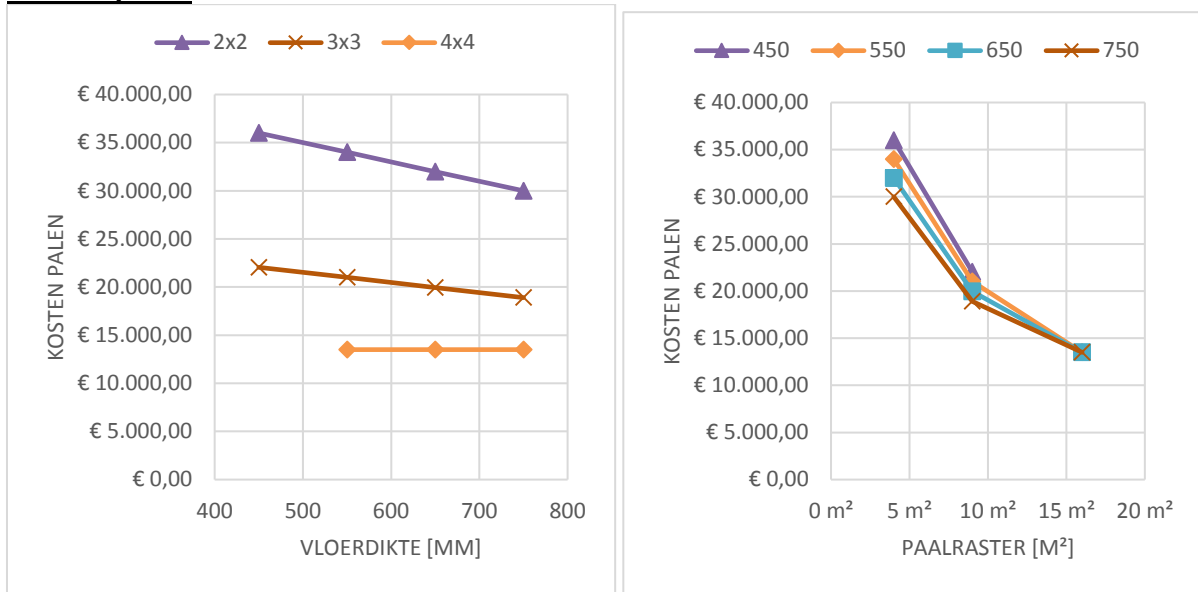
Kosten wapening – langsrichting



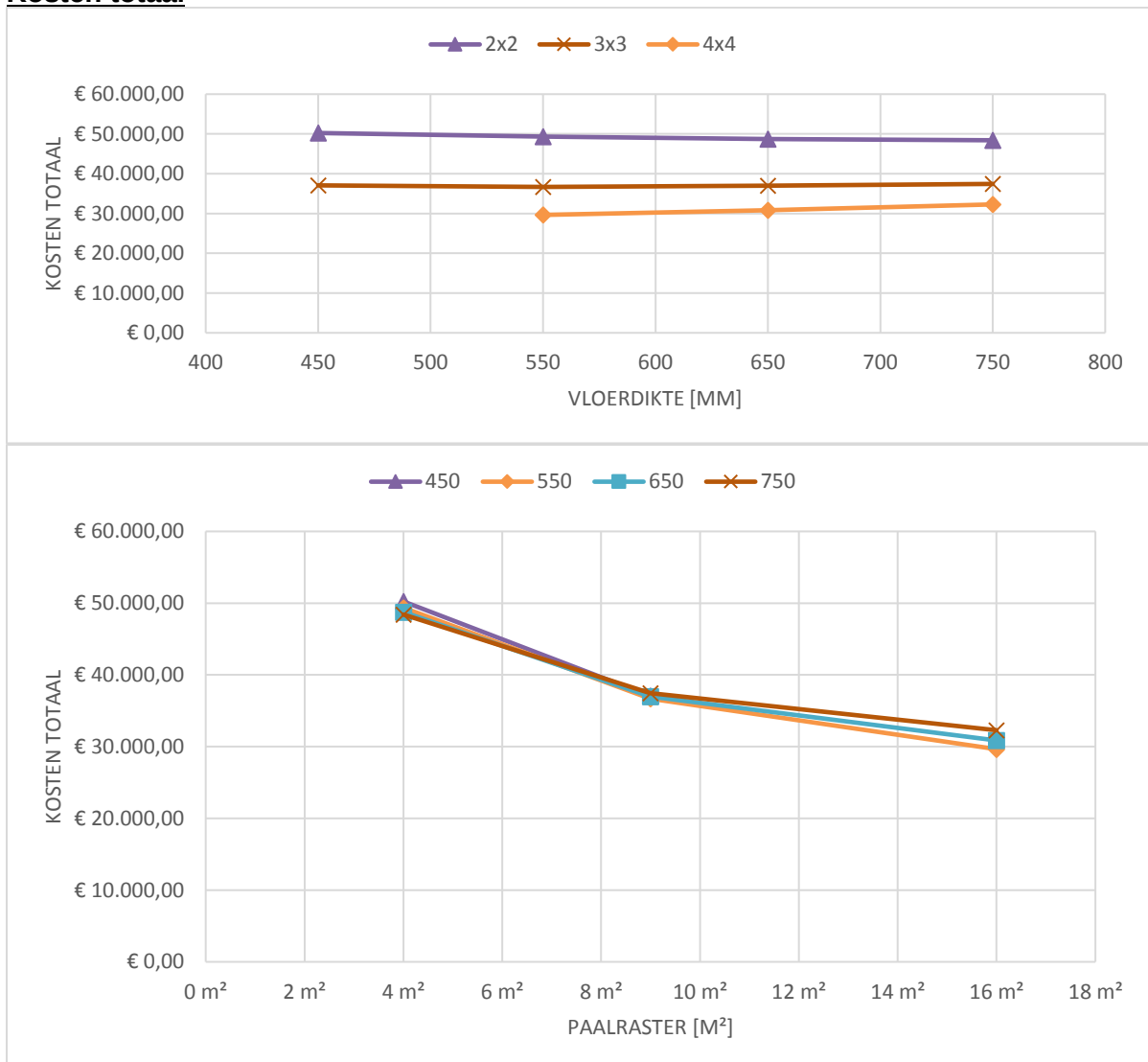
Kosten wapening – dwarsrichting



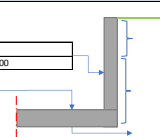
Kosten palen



Kosten totaal

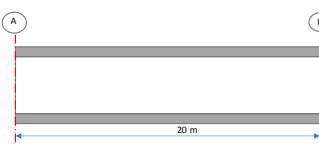


XI. Bijlage I – Best Guess

Algemeen									
Ontwerplevensduur	100	jaar							
Gevolgklasse	CC2								
Scheurwijdte criteria en dekking	W_{max}	c_{min}	c_{slag}	k_s		W_{max}	c_{min}	c_{slag}	k_s
	0,2 mm	50 mm	50 mm	1,00		0,2 mm	50 mm	50 mm	1,00
	W_{max}	c_{min}	c_{slag}	k_s	overig	W_{max}	c_{min}	c_{slag}	k_s
	0,2 mm	50 mm	50 mm	1,00		0,3 mm	50 mm	50 mm	1,20
	W_{max}	c_{min}	c_{slag}	k_s	o.k. vloer	W_{max}	c_{min}	c_{slag}	k_s
	0,3 mm	50 mm	50 mm	1,20		0,3 mm	50 mm	50 mm	1,20

Combinaties							
ULS		Blijvende belastingen		Overheersende veranderlijk		Andere veranderlijk	
Gevolgklasse	comb.	$Y_{G, sup}$	$Y_{G, inf}$	verkeer	overig	verkeer	overig
CC2	6.10a	1,3	0,9	1,35 x ψ_0	1,5 x ψ_0	1,35 x ψ_0	1,5 x ψ_0
	6.10b	1,2	0,9	1,35	1,5	1,35 x ψ_0	1,5 x ψ_0
SLS		Blijvende belastingen		veranderlijk			
	comb.	$Y_{G, sup}$	$Y_{G, inf}$	overheersende	andere		
KAR		1,0	1,0	1,0	ψ_0		
FRE		1,0	1,0	ψ_1	ψ_2		

GEOMETRIE				
Lengte moot	20 m			
b.k. wand as A	+2,00 m N.A.P.			
b.k. wand as B	+2,00 m N.A.P.			
b.k. asfalt as A	-1,00 m N.A.P.			
b.k. asfalt as B	-2,00 m N.A.P.			
breedte rijbaan	6 m			
breedte schampstroken (2-zijdig)	0,25 m			
hoogte schampstrook	0,19 m			
fictieve rijbaanbreedte	6,5 m			
fictief aantal rijstroken	2 stks			
asfalt dikte	0,1 m			
Soortelijk gewicht asfalt	23 kN/m ³			
Soortelijk gewicht beton	25 kN/m ³			



OMGEVING				
Maaiveldhoogte	+2,00 m N.A.P.	$Y_{G, sup}$	18 kN/m ³ $Y_{G, inf}$	20 kN/m ³
Lage grondwaterstand (LGWS)	0,00 m N.A.P.	Y_{water}	10 kN/m ³	
Hoge grondwaterstand (HGWS)	+1,50 m N.A.P.	Combinatie factor variabel deel water ULS:		1,5 [-]
Equivalente maaiveldbelasting	20 kN/m ²	type:	overig	
		ψ_0	0,8	ψ_1 0,8



Horizontale gronddruk coeff.	0,5 [-]
KRACHTEN T.B.V. DIMENSIONEREN WANDEN	
Uitgangspunt: as met hoogste gronddekking t.o.v. aansluiting wand	

horizontale spanning t.g.v.		maatgevende as:		as B	
Peil	MVB	Grond	LGWS	Grond	HGWS
			Water		Var deel (HGWS - LGWS)
+2,00	10 kN/m ²	0 kN/m ²	0 kN/m ²	0 kN/m ²	0 kN/m ²
+2,00	10 kN/m ²	0 kN/m ²	0 kN/m ²	0 kN/m ²	0 kN/m ²
+1,50	10 kN/m ²	4,5 kN/m ²	0 kN/m ²	4,5 kN/m ²	0 kN/m ²
0,00	10 kN/m ²	18 kN/m ²	0 kN/m ²	12 kN/m ²	15 kN/m ²
-2,10	10 kN/m ²	28,5 kN/m ²	21 kN/m ²	22,5 kN/m ²	15 kN/m ²
V_{ed}	41,0 kN/m	66,8 kN/m	22,1 kN/m	49,7 kN/m	42,8 kN/m
M_{ed}	84,1 kN/m	97,2 kN/m	15,4 kN/m	72,3 kN/m	62,3 kN/m



Snedekrachten t.b.v. dimensioneren:		ULS	SLS
LGWS	6.10a	6.10b	FREQ
V_{ed}	164,7 kN/m	168,2 kN/m	-
M_{ed}	247,3 kN/m	261,2 kN/m	179,9 kN/m
HGWS	6.10a	6.10b	FREQ
V_{ed}	206,6 kN/m	211,8 kN/m	-
M_{ed}	308,4 kN/m	324,8 kN/m	217,3 kN/m

$V_{ed, ULS}$ 211,8 kN/m
 $M_{ed, ULS}$ 324,8 kN/m
 $M_{ed, freq}$ 217,3 kN/m

Dimensioneren		betonkwaliteit:		f_{ak}		30 N/mm ²		LOS OP: DIMENSIONEREN	
Dimensioneren op basis van dwarskracht --> uitgangspunt: geen dwarskracht wapening		V_{max}	12-100	16-125	16-100	20-150	20-100		
d (invoerparameter)	542 mm	542 mm	516 mm	441 mm	428 mm	318 mm			
k ($\leq 2,00$)	1,61	1,61	1,62	1,67	1,68	1,79			
A_s	0 mm ²	1131 mm ²	1608 mm ²	2011 mm ²	2094 mm ²	3142 mm ²			
ρ ($\leq 0,02$)	0,000	0,002	0,003	0,005	0,005	0,010			
$V_{red} = 0,035 \times k \times f_{ctd} \times b_w \times d$	211,8 kN/m	211,8 kN/m	204,6 kN/m	183,0 kN/m	179,3 kN/m	146,4 kN/m			
$V_{Rd1} = C_{Rd1} \times k \times (100 \times \rho \times f_{yk})^{1/3} \times b_w \times d$	0,0 kN/m	192,7 kN/m	211,8 kN/m	211,8 kN/m	211,8 kN/m	211,8 kN/m			
$\max(V_{red}, V_{Rd1})$	211,8 kN/m	211,8 kN/m	211,8 kN/m	211,8 kN/m	211,8 kN/m	211,8 kN/m			
V_{ed}	211,8 kN/m	211,8 kN/m	211,8 kN/m	211,8 kN/m	211,8 kN/m	211,8 kN/m			
verschil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
ber. Uitgevoerd?	OK	OK	OK	OK	OK	OK			

Dimensioneren op basis van moment in UGT		α		β		0,389	
		12-100	16-125	16-100	20-150	20-100	
A_s	1131 mm ²	1608 mm ²	2011 mm ²	2094 mm ²	3142 mm ²		
d (invoerparameter)	673 mm	482 mm	394 mm	380 mm	273 mm		
$k_s = A_s \times f_{yk} / (a \times f_{ctd} \times b)$	33 mm	47 mm	58 mm	61 mm	91 mm		
$k_{s, max} = d \times 500 / (500 + f_{yk})$	360 mm	258 mm	211 mm	203 mm	146 mm		
$z = d - \beta \times \min(k_s, k_{s, max})$	660 mm	464 mm	371 mm	357 mm	238 mm		
M_{ed}	324,8 kN/m	324,8 kN/m	324,8 kN/m	324,8 kN/m	324,8 kN/m		
M_{Rd1}	324,8 kN/m	324,8 kN/m	324,8 kN/m	324,8 kN/m	324,8 kN/m		
verschil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
ber. Uitgevoerd?	OK	OK	OK	OK	OK		



Dimensioneren op basis van moment in SLS: Scheurwijdte		E_s		E_{cm}		32837 N/mm ²	
		12-100	16-125	16-100	20-150	20-100	
A_s	1131 mm ²	1608 mm ²	2011 mm ²	2094 mm ²	3142 mm ²		
d (invoerparameter)	526 mm	498 mm	429 mm	444 mm	276 mm		
$h = d + \phi / 2 + C_{top, past}$	598 mm	574 mm	505 mm	524 mm	356 mm		
$\rho = A_s / (b \times d)$	0,002	0,003	0,005	0,005	0,011		
$k_s = (-\alpha_s \times \rho + \sqrt{(\alpha_s \times \rho)^2 + 2 \times \alpha_s \times \rho}) \times d$	78 mm	89 mm	91 mm	94 mm	85 mm		
$\sigma_s = M_{ed} / (A_s \times k_s)$	385 N/mm ²	288 N/mm ²	271 N/mm ²	251 N/mm ²	279 N/mm ²		
$\rho_{lim} = \min(2,5 \times (h - d) / (h - k_s) / 3 / h / 2]$	173 mm	162 mm	138 mm	143 mm	90 mm		
$\rho_{lim} = A_s / A_{s, lim}$	0,007	0,010	0,015	0,015	0,025		
$f_{s, max} = k_s \times \sigma_s + k_2 \times k_3 \times k_4 \times \phi / \rho_{lim}$	516 mm	477 mm	391 mm	437 mm	302 mm		
$S_{max} \leq \max[15 \times \phi, (50 - 0,8 \times f_{s, max})]$	312 mm	416 mm	416 mm	520 mm	520 mm		
$(f_{s, max} - f_{s, lim}) = (\sigma_s - k_1 \times f_{s, lim} / \rho_{lim} \times (1 + \alpha_s \times \rho_{lim})) / E_s$	1,00%	0,83%	0,92%	0,82%	1,19%		
$(f_{s, max} - f_{s, lim}) \geq 0,6 \times \sigma_{s, lim}$	1,15%	0,87%	0,81%	0,75%	0,84%		
w_k	0,36 mm	0,36 mm	0,36 mm	0,36 mm	0,36 mm		
$w_{max} \times k_s$	0,36 mm	0,36 mm	0,36 mm	0,36 mm	0,36 mm		
verschil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
ber. Uitgevoerd?	OK	OK	OK	OK	OK		

$\alpha_s = E_s / E_{cm}$ 6,09 - $f_{s, lim}$ 2,90 N/mm²

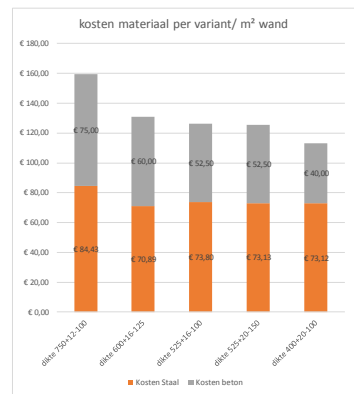
k_1 0,8 - (voor staven met hoge aanhechting)
 k_2 0,5 - (0,5 voor buiging / 1,0 voor zuivere trek)
 k_3 3,4 -
 k_4 0,425 -
 k_5 0,4 - (0,6 kortdurende belastingen / 0,4 langdurende belastingen)
 k_6 1,2 - ($C_{top, past} / c_{min}$) ≤ 2

CONCLUSIE PER CONFIGURATIE

Kosten m3 beton wand: 100 EUR/m3
Kosten kg staal: 1 EUR/kg → verwerking wordt in rekening gebracht als massa toeslag

Diameter hoofdwapening	12-100	16-125	16-100	20-150	20-100
A _s	1131 mm ²	1608 mm ²	2011 mm ²	2094 mm ²	3142 mm ²
Minimale benodigde d:	673 mm	516 mm	441 mm	444 mm	318 mm
h = d+g/2+concreet	739 mm	584 mm	509 mm	514 mm	388 mm
h afgeleid naar boven op veelvoud van 25mm	750	600	525	525	400
m3 beton	0,75	0,6	0,525	0,525	0,4
A _{concr} = 0,26 x f _{cm} /f _{td} x b x d	1130	904	791	791	602
diameter buigtekwapening	12	16	16	20	20
kg/m ³	1,36655	2,1413	2,1413	3,1124	3,1124
aantal meters totaal / m ² wand	10,00	8,00	10,00	6,67	10,00
Inschatting wapening binnenzijde (min. wapening)	12-100	12-125	12-143	12-143	12-187
diameter verticale wapening binnenzijde	12	12	12	12	12
kg/m ³	1,36655	1,36655	1,36655	1,36655	1,36655
aantal meters totaal / m ² wand	10,00	8,00	6,99	6,99	5,35
Inschatting horizontale wapening tweezijdig	16-75	16-100	16-100	16-100	14-100
diameter horizontale wapening	16	16	16	16	14
kg/m ³	2,1413	2,1413	2,1413	2,1413	1,7943
aantal meters totaal / m ² wand	26,67	20,00	20,00	20,00	20,00
kg wapeningstaal	84,43	70,89	73,80	73,13	73,12
kg/m ³	112,58	118,15	140,56	139,30	182,79

Variante	dikte 750+12-100	dikte 600+16-125	dikte 525+16-100	dikte 525+20-150	dikte 400+20-100
Kosten beton	€ 75,00	€ 60,00	€ 52,50	€ 52,50	€ 40,00
Kosten Staal	€ 84,43	€ 70,89	€ 73,80	€ 73,13	€ 73,12
Kosten totaal	€ 159,43	€ 130,89	€ 126,30	€ 125,63	€ 113,12



Keuze dimensies vloer en wand

Wanddikte	550 mm
Vloerdikte (kies gelijk aan wanddikte)	550 mm

Keuze paalraster

Inschatting belastingen per m² vloer
Permanente belasting (vloer + esfaht) 16,05 kN/m²
Waterdruk tegen o.k. vloer diepste punt (LGWS) 26,50 kN/m²
Waterdruk tegen o.k. vloer var. deel (HGWS-LGWS) 15,00 kN/m²
Maximale belasting t.g.v. TS - BM 1: (1 aslast) 600 kN
Oppervlakte TS - BM1 ((2,40 + d_{concr}) x (1,60+d_{concr})): 6,3425 m²
Belasting t.g.v. TS - BM1 94,60 kN/m² maar totaal niet groter dan 600 kN
Maximale belasting t.g.v. UDL - BM1 9 kN/m² → geeft bij paalrasters groter dan 3x3 een overschatting
Maximale wisseling t.g.v. FAT (0,7 x TS + 0,3 x UDL) 68,9 x Araster kN

middenpaal beschouwd, geen randeffecten:

paalraster vs paalbelasting in kN	1,5x1,5	2,0x2,0	2,5x2,5	3,0x3,0	3,5x3,5	4,0x4,0
permanente paalbelasting (FAT - MIN)	-23,51	-41,80	-65,31	-94,05	-128,01	-167,20
kar. Drukbelasting (LGWS)	209,59	372,60	582,19	586,95	582,24	576,80
kar. Trekbelasting (HGWS)	-57,26	-101,80	-159,06	-229,05	-311,76	-407,20
Maximale drukbelasting paal cf. 6.10 a	245,03	435,61	680,64	708,62	730,50	755,76
Maximale drukbelasting paal cf. 6.10 b	304,36	541,08	845,44	878,04	902,61	930,96
Maximale trekbelasting paal cf. 6.10 a	-95,64	-170,02	-265,66	-382,55	-520,69	-680,08
FAT - MAX	131,56	233,88	365,44	350,25	325,06	296,00
GFAT	155,07	275,68	430,75	444,30	453,08	463,20

Vergelijk bovenstaande paalbelastingen met paal draagvermogen tabellen, vermoeding beschouwing indien groutinjectieankerpalen worden overwogen: dit kan kritisch zijn! Beter in een vroeg stadium afkaarten dan later!

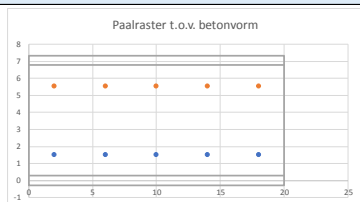
Vloerdikte t.o.v. paalraster

	Ø [mm]	(factor constructiehoogte besch d _{concr} (= 0,9 x h x factor)	k _{geultoren} [mm]	k	V _{red} [MPa]
paalafmeting t.b.v. pons druk	300	1,00	495	7163	1,64
paalafmeting t.b.v. pons trek	300	0,50	247,5	4053	1,90

paalraster	1,5x1,5	2,0x2,0	2,5x2,5	3,0x3,0	3,5x3,5	4,0x4,0
Optredende ponsspanning druk [MPa]	0,09	0,15	0,24	0,25	0,25	0,26
Optredende ponsspanning trek [MPa]	0,10	0,17	0,26	0,38	0,52	0,68

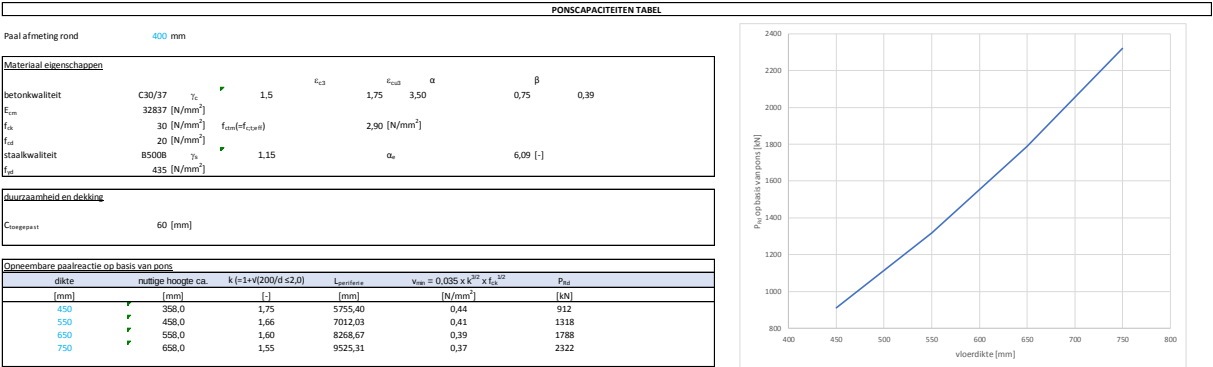
Keuze paalraster

min. rand afstand naar voeg in lengte richting 1 m
min. randafstand vanaf hart wand 0 m
keuze paalraster (xb) 4x4 m
theoretisch aantal palen in lengte richting: 5,50 palen
kies: 5 palen
randafstand in lengte richting: 2 m
theoretisch aantal palen in lengte richting: 2,76 palen
kies: 2 palen
randafstand t.o.v. hart wand in breedte richting: 1,525 m
TOTAAL AANTAL PALEN 10 palen



Oktober 2018 Parametrisch ontwerpen voor onderdoorgangen
Bijlagen- Pagina 109 | 117

Oktober 2018 Parametrisch ontwerpen voor onderdoorgangen Bijlagen- Pagina 110 | 117



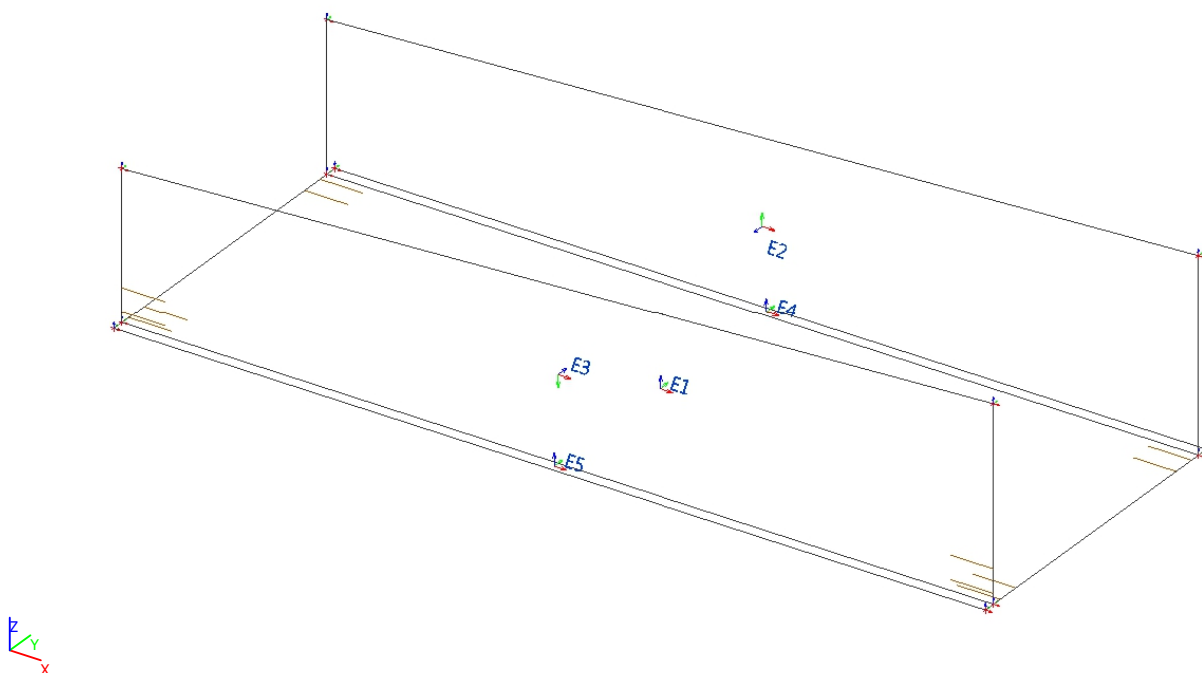
XIII. Bijlage K – SCIA – model invoer

1. Ter informatie

In dit onderzoeksrapport vindt u enkel een zeer beperkte uitvoer van het parametrische model. Gezien de omvang van het model bevordert het de leesbaarheid niet om een volledig model toe te voegen van alle beschouwde varianten. Indien dit wel gewenst kunnen deze uiteraard opgevraagd worden bij de opsteller.

2. Geometrie

2.1. Elementennummering



2.2. 2D-elementen

Naam	Laag	Type	Element type	Materiaal	Dikte type	D.
E1	Laag1	vloer (90)	Standaard	C30/37 (gescheurd)	constant	550
E2	Laag1	wand (80)	Standaard	C30/37 (gescheurd)	constant	550
E3	Laag1	wand (80)	Standaard	C30/37 (gescheurd)	constant	550
E4	Laag1	vloer (90)	Standaard	C30/37 (gescheurd)	constant	550
E5	Laag1	vloer (90)	Standaard	C30/37 (gescheurd)	constant	550

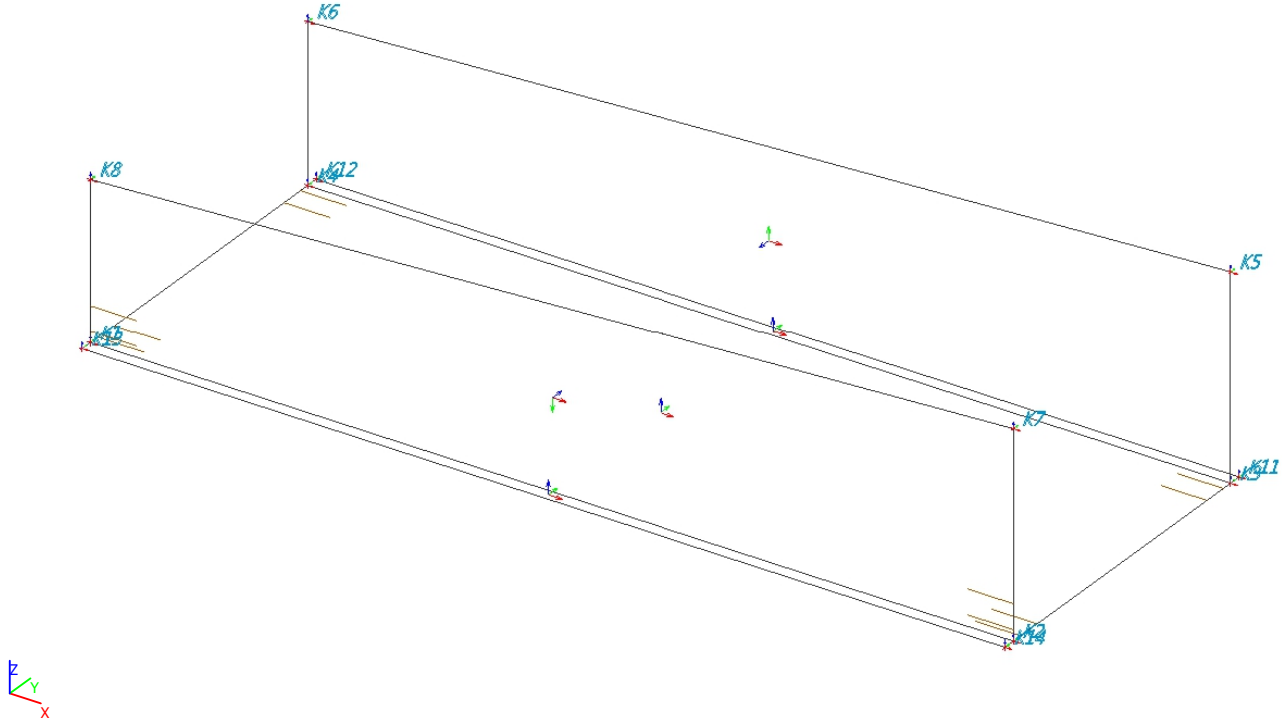
2.3. Materialen

Naam	Type	ρ [kg/m ³]	Dichtheid in natte toestand [kg/m ³]	E_{mod} [MPa]	μ	α [m/mK]	$f_{c,k,28}$ [MPa]	Kleur
C30/37 (gescheurd)	Beton	2500,0	2600,0	1,1000e+04	0.2	0,00	30,00	■

Verklaring van symbolen

Dichtheid in natte toestand	De waarde van de dichtheid van het kenmerk nieuwe toestand wordt alleen gebruikt als een samengesteld dek wordt ingevoerd en rekening wordt gehouden met de belasting van het eigengewicht.
-----------------------------	---

2.4. Knopnummering



2.5. Knopen

Naam	Coördinaat X	Coördinaat Y	Coördinaat Z
K1	0,000	0,000	0,000
K2	20,000	0,000	0,000
K3	20,000	7,050	0,000
K4	0,000	7,050	0,000
K5	20,000	7,050	4,375
K6	0,000	7,050	3,375

Naam	Coördinaat X	Coördinaat Y	Coördinaat Z
K7	20,000	0,000	4,375
K8	0,000	0,000	3,375
K11	20,000	7,325	0,000
K12	0,000	7,325	0,000
K13	0,000	-0,275	0,000
K14	20,000	-0,275	0,000

2.6. Parameters

Naam	Omschrijving	Evaluatie	
L_moot	Lengte moot	Waarde	
B_rijbaan	Breedte rijbaan	Waarde	
B_schamprook	breedte schamprook 2 zijdig	Waarde	
B_inwendig	inwendige breedte	Formule	$B_{rijbaan} + 2 * B_{schamprook}$
D_wand	dikte wanden	Waarde	
D_vloer	dikte vloer	Waarde	
B_systeem	Systeembreedte	Formule	$B_{inwendig} + D_{wand}$
Z_bkwandA	b.k. wand N.A.P. as A	Waarde	
Z_bkwandB	b.k. wand N.A.P. as B	Waarde	
Z_bkasfaltA	b.k. asfalt N.A.P. as A	Waarde	
Z_bkasfaltB	b.k. asfalt N.A.P. as B	Waarde	
d_Asfalt	asfaltdikte	Waarde	
H_wandA	Systeemhoogte wand as A	Formule	$D_{vloer} / 2 + Z_{bkwandA} - Z_{bkasfaltA} + d_{Asfalt}$
H_wandB	Systeemhoogte wand as B	Formule	$D_{vloer} / 2 + Z_{bkwandB} - Z_{bkasfaltB} + d_{Asfalt}$
H_schamprook	dikte schamprook	Waarde	
B_oor	breedte oor	Waarde	
y_oor1	y_coördinaat oor 1	Formule	$-D_{wand} / 2 - B_{oor}$
y2_oor1	y_coördinaat oor 1 --> vlaklast op oren	Formule	$-D_{wand} / 2$
y_oor2	y_coördinaat oor 2	Formule	$B_{systeem} + D_{wand} / 2 + B_{oor}$
y2_oor2	y_coördinaat oor 2 --> vlaklast op oren	Formule	$B_{systeem} + D_{wand} / 2$

Project PARAMETRISCH ONTWERP

Naam	Omschrijving	Evaluatie	
Z_MV	hoogte maaiveld N.A.P.	Waarde	
Z_LGWS	hoogte LGWS N.A.P.	Waarde	
Z_HGWS	hoogte HGWS N.A.P.	Waarde	
y1_schmp1	schampstrook 1	Formule	D_wand/2
y2_schmp1	schampstrook1	Formule	D_wand/2+B_schampstrook
y1_schmp2	schampstrook 2	Formule	B_systeem-D_wand/2-B_schampstrook
y2_schmp2	schampstrook 2	Formule	B_systeem-D_wand/2
gamma_gronddroog	soortelijke massa grond droog	Waarde	
gamma_grondnat	soortelijke massa grond nat	Waarde	
k_0	neutrale gronddruk coëfficiënt	Waarde	
gamma_water	soortelijke massa water	Waarde	
gamma_beton	soortelijke massa beton	Waarde	
gamma_asfalt	soortelijke massa asfalt	Waarde	
q_asfalt	vlaklast RB asfalt	Formule	-d_Asfalt*gamma_asfalt
q_schmpstrook	vlaklast RB schampstrook	Formule	(B_schampstrook>0)*-H_schmpstrook*gamma
H_MVA	MV as A	Formule	H_wandA-(Z_bkwandA-Z_MV)
H_MVB	MV as B	Formule	H_wandB-(Z_bkwandB-Z_MV)
H_LGWSA	LGWS as A	Formule	H_wandA-(Z_bkwandA-Z_LGWS)
H_LGWSB	LGWS as B	Formule	H_wandB-(Z_bkwandB-Z_LGWS)
H_HGWSA	HGWS as A	Formule	H_wandA-(Z_bkwandA-Z_HGWS)
H_HGWSB	HGWS as B	Formule	H_wandB-(Z_bkwandB-Z_HGWS)
HO_LGWSA	LGWS as A onder	Formule	H_LGWSA-H_wandA
HO_LGWSB	LGWS as B onder	Formule	H_LGWSB-H_wandB
q_LGWSB	qlast LGWSB	Formule	H_wandB*gamma_water
q_HGWSB	qlast HGWSB	Formule	(Z_HGWS-Z_LGWS)*gamma_water
x_LGWSA	x_LGWS as A	Formule	(H_LGWSA<(-D_vloer/2))&&(H_LGWSA<H_LGWSB)
x_LGWSB	x_LGWS as B	Formule	L_moot-(H_LGWSB<(-D_vloer/2))&&(H_LGWSB<H_LGWSA)
q_opwLGWSA	q_opwLGWSA	Formule	(H_LGWSA>(-D_vloer/2))*(-(D_vloer/2)-H_LGWSA)
q_opwLGWSB	q_opwLGWSB	Formule	(H_LGWSB>(-D_vloer/2))*(-(D_vloer/2)-H_LGWSB)
x_LGWSA_oor	X_lgwsA_op_oor	Formule	(H_LGWSA<(D_vloer/2))&&(H_LGWSA<H_LGWSB)
x_LGWSB_oor	X_lgwsB_op_oor	Formule	L_moot-(H_LGWSB<(D_vloer/2))&&(H_LGWSB<H_LGWSA)
q_nwLGWSA	q_lgwsA_op_oor_neerwaarts	Formule	(H_LGWSA>(D_vloer/2))*((D_vloer/2)-H_LGWSA)
q_nwLGWSB	q_lgwsB_op_oor_neerwaarts	Formule	(H_LGWSB>(D_vloer/2))*((D_vloer/2)-H_LGWSB)
x_HGWSA	x_HGWS as A	Formule	(H_HGWSA<(-D_vloer/2))&&(H_HGWSA<H_HGWSB)
x_HGWSB	x_HGWS as B	Formule	L_moot-(H_HGWSB<(-D_vloer/2))&&(H_HGWSB<H_HGWSA)
q_opwHGWSA	q_opwHGWSA	Formule	(H_HGWSA>(-D_vloer/2))*max(0;min(H_HGWSA-H_HGWSB;0))
q_opwHGWSB	q_opwHGWSB	Formule	(H_HGWSB>(-D_vloer/2))*max(0;min(H_HGWSB-H_HGWSA;0))
x_HGWSA_oor	X_hgwsA_op_oor	Formule	(H_HGWSA<(D_vloer/2))&&(H_HGWSA<H_HGWSB)
x_HGWSB_oor	X_hgwsB_op_oor	Formule	L_moot-(H_HGWSB<(D_vloer/2))&&(H_HGWSB<H_HGWSA)
q_nwHGWSA	q_hgwsA_op_oor_neerwaarts	Formule	-(H_HGWSA>(D_vloer/2))*max(0;min(H_HGWSA-H_HGWSB;0))
q_nwHGWSB	q_hgwsB_op_oor_neerwaarts	Formule	-(H_HGWSB>(D_vloer/2))*max(0;min(H_HGWSB-H_HGWSA;0))
q1_grondLGWSA	q1 grondlast LGWS as A op peil LGWS	Formule	(H_MVA-H_LGWSA)*gamma_gronddroog*k_0
q2_grondLGWSA	q2 grondlast LGWS as A op peil o.k. last	Formule	(H_MVB-H_LGWSA)*gamma_gronddroog*k_0
q1_grondLGWSB	q1 grondlast LGWS as B op peil LGWS	Formule	(H_MVB-H_LGWSB)*gamma_gronddroog*k_0
q2_grondLGWSB	q2 grondlast LGWS as B op peil o.k. last	Formule	(H_MVB-H_LGWSB)*gamma_gronddroog*k_0
x_C_LGWS_grondlast_oren	afstand knik in grondlast op oren	Formule	L_moot-(min((L_moot-x_LGWSA_oor);(L_moot-x_LGWSB_oor)))
q1_vert_LGWS_grondlast_oren	q1 grondlast op oren LGWS	Formule	-(H_LGWSA<=(D_vloer/2))*((H_MVA-D_vloer/2)-H_LGWSA)
H_MVC_LGWS_grondlast_oren	hoogte maaiveld bij knik	Formule	x_C_LGWS_grondlast_oren/L_moot*(H_MVB-D_vloer/2)
H_LGWSC_grondlast_oren	hoogte waterlijn bij knik	Formule	x_C_LGWS_grondlast_oren/L_moot*(H_LGWSA-D_vloer/2)
q2_vert_LGWS_grondlast_oren	q2 grondlast op oren LGWS knik	Formule	-(H_LGWSC_grondlast_oren<=(D_vloer/2))*((H_MVB-D_vloer/2)-H_LGWSA)
q3_vert_LGWS_grondlast_oren	q3 grondlast op oren LGWS einde	Formule	-(H_LGWSB<=(D_vloer/2))*((H_MVB-D_vloer/2)-H_LGWSB)
q1_grondHGWSA	q1 grondlast HGWS as A op peil HGWS	Formule	(H_MVA-H_HGWSA)*gamma_gronddroog*k_0
q2_grondHGWSA	q2 grondlast HGWS as A op peil o.k. last	Formule	(H_MVB-H_HGWSA)*gamma_gronddroog*k_0
q1_grondHGWSB	q1 grondlast HGWS as B op peil HGWS	Formule	(H_MVB-H_HGWSB)*gamma_gronddroog*k_0
q2_grondHGWSB	q2 grondlast HGWS as B op peil o.k. last	Formule	(H_MVB-H_HGWSB)*gamma_gronddroog*k_0
x_C_HGWS_grondlast_oren	afstand knik in grondlast op oren	Formule	L_moot-(min((L_moot-x_HGWSA_oor);(L_moot-x_HGWSB_oor)))
q1_vert_HGWS_grondlast_oren	q1 grondlast op oren HGWS	Formule	-(H_HGWSA<=(D_vloer/2))*((H_MVA-D_vloer/2)-H_HGWSA)
H_MVC_HGWS_grondlast_oren	Hoogte maaiveld bij knik	Formule	x_C_HGWS_grondlast_oren/L_moot*(H_MVB-D_vloer/2)
H_HGWSC_grondlast_oren	Hoogte waterlijn bij knik	Formule	x_C_HGWS_grondlast_oren/L_moot*(H_HGWSA-D_vloer/2)
q2_vert_HGWS_grondlast_oren	q2 grondlast op oren HGWS knik	Formule	-(H_HGWSC_grondlast_oren<=(D_vloer/2))*((H_MVB-D_vloer/2)-H_HGWSA)
q3_vert_HGWS_grondlast_oren	q3 grondlast op oren HGWS einde	Formule	-(H_HGWSB<=(D_vloer/2))*((H_MVB-D_vloer/2)-H_HGWSB)
B_fict_rijbaan	fictieve rijbaan breedte o.b.v. voertuigkerende? schampstrook	Formule	B_rijbaan+(H_schmpstrook<0,2)*2*B_schmpstrook
B_fict_rijstrook	fictieve rijbaan breedte o.b.v. voertuigkerende? schampstrook	Formule	(B_fict_rijbaan<5,4)*3+((5,4<=B_fict_rijbaan)*5,4)
B_fict_resterend	reststrook	Formule	B_fict_rijbaan\B_fict_rijstrook
N_rijstroken	aantal theoretische rijstroken	Formule	int(B_fict_rijbaan/B_fict_rijstrook)
alpha_q1	alpha UDL rijstrook 1	Waarde	
alpha_q2	alpha UDL rijstrook 2	Waarde	

Project PARAMETRISCH ONTWERP

Naam	Omschrijving	Evaluatie	
alpha_gr	alpha reststrook	Waarde	
alpha_QQr1	alpha TS rijstrook 1	Waarde	
alpha_QQr2	alpha TS rijstrook 2	Waarde	
F_AS_RS1	Aslast rijstrook 1	Waarde	
F_AS_RS2	Aslast rijstrook 2	Waarde	
q_RS1	Q-last rijstrook 1	Waarde	
q_RS2	Q-last rijstrook 2	Waarde	
q_RS_rest	Q-last resterende deel	Waarde	
q_rijstrook1	oppervlakte last UDL rijstrook 1	Formule	$-q_{RS1} \cdot \alpha_{q1}$
q_rijstrook2	oppervlakte last UDL rijstrook 2	Formule	$(N_{rijstroken} == 2) \cdot -q_{RS2} \cdot \alpha_{q2}$
q_rijstrookrest	oppervlakte last UDL rijstrook rest	Formule	$(B_{fict_resterend} > 0) \cdot -q_{RS_rest} \cdot \alpha_{qr}$
q_rijstrookrest_strook1_midden	oppervlakte last UDL rijstrook rest rijstrook 1 midden	Formule	$(B_{fict_rijbaan} > 3) \cdot -q_{RS_rest} \cdot \alpha_{qr}$
QQ_wiellast_rijstrook1	wiellast rijstrook 1	Formule	$-F_{AS_RS1} / 2 \cdot \alpha_{QQr1}$
QQ_wiellast_rijstrook2	wiellast rijstrook 2	Formule	$(N_{rijstroken} == 2) \cdot -F_{AS_RS2} / 2 \cdot \alpha_{QQr2}$
B_wielprent_BM1	zijde wielprent BM1 (vierkant verondersteld)	Waarde	
B_wielprent_spreid_BM1	Gespreide zijde wiellast BM1	Formule	$B_{wielprent_BM1} + D_{vloer}$
A_wielprent_spreid_BM1	opp. wielprent spreiding BM1	Formule	$B_{wielprent_spreid_BM1}^2$
q_wiellast_rijsttrook1	oppervlakte last wiel rijstrook 1	Formule	$QQ_{wiellast_rijstrook1} / A_{wielprent_spreid_BM1}$
q_wiellast_rijsttrook2	oppervlakte last wiel rijstrook 2	Formule	$QQ_{wiellast_rijstrook2} / A_{wielprent_spreid_BM1}$
y1_rijstrook1_rand	y coördinaat rijstrook 1 op rand	Formule	$D_{wand} / 2 + (H_{schampstrook} \geq 0,2) \cdot B_{schamp}$
y2_rijstrook1_rand	y coördinaat rijstrook 1 op rand	Formule	$D_{wand} / 2 + (H_{schampstrook} \geq 0,2) \cdot B_{schamp}$
y3_rijstrook1_rand	y coördinaat rijstrook 1 op rand	Formule	$D_{wand} / 2 + (H_{schampstrook} \geq 0,2) \cdot B_{schamp}$
y4_rijstrook1_rand	y coördinaat rijstrook 1 op rand	Formule	$D_{wand} / 2 + (H_{schampstrook} \geq 0,2) \cdot B_{schamp}$
y1_rijstrook1_midden	y coördinaat rijstrook 1 midden	Formule	$D_{wand} / 2 + (H_{schampstrook} \geq 0,2) \cdot B_{schamp}$
y2_rijstrook1_midden	y coördinaat rijstrook 1 midden	Formule	$B_{systeem} / 2 - 1,5$
y3_rijstrook1_midden	y coördinaat rijstrook 1 midden	Formule	$B_{systeem} / 2 + 1,5$
y4_rijstrook1_midden	y coördinaat rijstrook 1 op midden	Formule	$B_{systeem} - D_{wand} / 2 - (H_{schampstrook} \geq 0,2) \cdot B_{schamp}$
x_asafstand_BM1	asafstand in rijrichting	Waarde	
y_asafstand_BM1	asafstand dwars op rijrichting	Waarde	
BM1_STR1_RAND_posa_x1	wielprent str 1 rand pos a	Formule	0
BM1_STR1_RAND_posa_x2	wielprent str 1 rand pos a	Formule	$B_{wielprent_spreid_BM1}$
BM1_STR1_RAND_posa_x3	wielprent str 1 rand pos a	Formule	$x_{asafstand_BM1}$
BM1_STR1_RAND_posa_x4	wielprent str 1 rand pos a	Formule	$x_{asafstand_BM1} + B_{wielprent_spreid_BM1}$
BM1_STR1_RAND_y1	wielprent str 1 rand pos a	Formule	$(y1_{rijstrook1_rand} + y2_{rijstrook1_rand}) / 2 - y_{asafstand}$
BM1_STR1_RAND_y2	wielprent str 1 rand pos a	Formule	$(y1_{rijstrook1_rand} + y2_{rijstrook1_rand}) / 2 - y_{asafstand}$
BM1_STR1_RAND_y3	wielprent str 1 rand pos a	Formule	$(y1_{rijstrook1_rand} + y2_{rijstrook1_rand}) / 2 + y_{asafstand}$
BM1_STR1_RAND_y4	wielprent str 1 rand pos a	Formule	$(y1_{rijstrook1_rand} + y2_{rijstrook1_rand}) / 2 + y_{asafstand}$
BM1_STR1_RAND_posb_x1	wielprent str 1 rand pos b	Formule	$0 + 1 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_posb_x2	wielprent str 1 rand pos b	Formule	$B_{wielprent_spreid_BM1} + 1 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_posb_x3	wielprent str 1 rand pos b	Formule	$x_{asafstand_BM1} + 1 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_posb_x4	wielprent str 1 rand pos b	Formule	$x_{asafstand_BM1} + B_{wielprent_spreid_BM1} + 1 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_posc_x1	wielprent str 1 rand pos c	Formule	$0 + 2 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_posc_x2	wielprent str 1 rand pos c	Formule	$B_{wielprent_spreid_BM1} + 2 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_posc_x3	wielprent str 1 rand pos c	Formule	$x_{asafstand_BM1} + 2 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_posc_x4	wielprent str 1 rand pos c	Formule	$x_{asafstand_BM1} + B_{wielprent_spreid_BM1} + 2 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_posd_x1	wielprent str 1 rand pos d	Formule	$0 + 3 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_posd_x2	wielprent str 1 rand pos d	Formule	$B_{wielprent_spreid_BM1} + 3 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_posd_x3	wielprent str 1 rand pos d	Formule	$x_{asafstand_BM1} + 3 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_posd_x4	wielprent str 1 rand pos d	Formule	$x_{asafstand_BM1} + B_{wielprent_spreid_BM1} + 3 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_pose_x1	wielprent str 1 rand pos e	Formule	$0 + 4 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_pose_x2	wielprent str 1 rand pos e	Formule	$B_{wielprent_spreid_BM1} + 4 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_pose_x3	wielprent str 1 rand pos e	Formule	$x_{asafstand_BM1} + 4 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_pose_x4	wielprent str 1 rand pos e	Formule	$x_{asafstand_BM1} + B_{wielprent_spreid_BM1} + 4 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_posf_x1	wielprent str 1 rand pos f	Formule	$0 + 5 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_posf_x2	wielprent str 1 rand pos f	Formule	$B_{wielprent_spreid_BM1} + 5 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_posf_x3	wielprent str 1 rand pos f	Formule	$x_{asafstand_BM1} + 5 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_posf_x4	wielprent str 1 rand pos f	Formule	$x_{asafstand_BM1} + B_{wielprent_spreid_BM1} + 5 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_posg_x1	wielprent str 1 rand pos g	Formule	$0 + 6 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_posg_x2	wielprent str 1 rand pos g	Formule	$B_{wielprent_spreid_BM1} + 6 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_posg_x3	wielprent str 1 rand pos g	Formule	$x_{asafstand_BM1} + 6 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_posg_x4	wielprent str 1 rand pos g	Formule	$x_{asafstand_BM1} + B_{wielprent_spreid_BM1} + 6 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_posh_x1	wielprent str 1 rand pos h	Formule	$0 + 7 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_posh_x2	wielprent str 1 rand pos h	Formule	$B_{wielprent_spreid_BM1} + 7 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_posh_x3	wielprent str 1 rand pos h	Formule	$x_{asafstand_BM1} + 7 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_posh_x4	wielprent str 1 rand pos h	Formule	$x_{asafstand_BM1} + B_{wielprent_spreid_BM1} + 7 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_posi_x1	wielprent str 1 rand pos i	Formule	$0 + 8 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$
BM1_STR1_RAND_posi_x2	wielprent str 1 rand pos i	Formule	$B_{wielprent_spreid_BM1} + 8 \cdot (L_{moot-B_wielprent_spreid_BM1} - x_{asafstand})$

Project PARAMETRISCH ONTWERP

Naam	Omschrijving	Evaluatie	
BM1_STR1_RAND_posi_x3	wielprent str 1 rand pos i	Formule	$x_{\text{asafstand_BM1}} + 8 * (L_{\text{moot}} - B_{\text{wielprent_sp}})$
BM1_STR1_RAND_posi_x4	wielprent str 1 rand pos i	Formule	$x_{\text{asafstand_BM1}} + B_{\text{wielprent_spreid_BM1}} + 8 * (y3_{\text{rijstrook1_rand}} + y2_{\text{rijstrook1_rand}}) / 2 - y_{\text{asafstand_BM1}}$
BM1_STR2_RAND_y1	wielprent str 1 rand pos a	Formule	$(y3_{\text{rijstrook1_rand}} + y2_{\text{rijstrook1_rand}}) / 2 - y_{\text{asafstand_BM1}}$
BM1_STR2_RAND_y2	wielprent str 1 rand pos a	Formule	$(y3_{\text{rijstrook1_rand}} + y2_{\text{rijstrook1_rand}}) / 2 - y_{\text{asafstand_BM1}}$
BM1_STR2_RAND_y3	wielprent str 1 rand pos a	Formule	$(y3_{\text{rijstrook1_rand}} + y2_{\text{rijstrook1_rand}}) / 2 - y_{\text{asafstand_BM1}}$
BM1_STR2_RAND_y4	wielprent str 1 rand pos a	Formule	$(y3_{\text{rijstrook1_rand}} + y2_{\text{rijstrook1_rand}}) / 2 - y_{\text{asafstand_BM1}}$
BM1_STR1_MIDDEN_y1	wielprent str 1 midden	Formule	$B_{\text{systeem}} / 2 - y_{\text{asafstand_BM1}} / 2 - B_{\text{wielprent_sp}}$
BM1_STR1_MIDDEN_y2	wielprent str 1 midden	Formule	$B_{\text{systeem}} / 2 - y_{\text{asafstand_BM1}} / 2 + B_{\text{wielprent_sp}}$
BM1_STR1_MIDDEN_y3	wielprent str 1 midden	Formule	$B_{\text{systeem}} / 2 + y_{\text{asafstand_BM1}} / 2 - B_{\text{wielprent_sp}}$
BM1_STR1_MIDDEN_y4	wielprent str 1 midden	Formule	$B_{\text{systeem}} / 2 + y_{\text{asafstand_BM1}} / 2 + B_{\text{wielprent_sp}}$
MV_BELASTING_V	MV_belasting verticaal	Waarde	
MV_BELASTING_H	MV_belasting horizontaal	Formule	$-MV_{\text{BELASTING_V}} * k_0$
T_0_ref	Ref. temperatuur	Waarde	
T_bi_zomer	Temp. binnenzijde zomer	Waarde	
T_bu_zomer	Temp. buitenzijde/grondzijde zomer	Waarde	
T_bi_winter	Temp. binnenzijde winter	Waarde	
T_bu_winter	Temp. buitenzijde/grondzijde winter	Waarde	
T_dag_min	Dagelijkse min wisseling binnenzijde	Waarde	
T_dag_max	Dagelijkse max wisseling binnenzijde	Waarde	
T_stijg_bi	temp stijging binnen	Formule	$T_{\text{bi_zomer}} + T_{\text{dag_max}} - T_{0_ref}$
T_stijg_bu	temp stijging buiten	Formule	$T_{\text{bu_zomer}} - T_{0_ref}$
T_stijg_gem	gemiddelde (oor)	Formule	$(T_{\text{stijg_bu}} + T_{\text{stijg_bi}}) / 2$
T_daal_bi	temp daling binnen	Formule	$T_{\text{bi_winter}} + T_{\text{dag_min}} - T_{0_ref}$
T_daal_bu	temp daling buiten	Formule	$T_{\text{bu_winter}} - T_{0_ref}$
T_daal_gem	gemiddelde (oor)	Formule	$(T_{\text{daal_bu}} + T_{\text{daal_bi}}) / 2$
e_snedes_vloer	afleespunt snede vloer aansluiting wand	Formule	$(1000 * D_{\text{wand}} / 2 - 7 / 18 * (D_{\text{wand}} \leq 650) * 100 - 1) * L_{\text{moot}} - 1$
e_snedes_wand	afleespunt snede wand aansluiting vloer	Formule	$(1000 * D_{\text{vloer}} / 2 - 7 / 18 * (D_{\text{vloer}} \leq 650) * 100 - 1) * L_{\text{moot}} - 1$
x_snedes_1	afleespunt snede wand aansluiting vloer	Formule	$L_{\text{moot}} - 1$
y_snedes	afleespunt snede wand aansluiting vloer	Formule	$B_{\text{systeem}} - e_{\text{snedes_vloer}}$
e_snedes_vloer_dwarskracht	afleespunt snede vloer aansluiting wand dwarskracht	Formule	$D_{\text{wand}} / 2 + D_{\text{vloer}} * 0,9$
y_snedes_dwarskracht	afleespunt snede wand aansluiting vloer dwarskracht	Formule	$B_{\text{systeem}} - e_{\text{snedes_vloer_dwarskracht}}$
e_snedes_wand_dwarskracht	afleespunt snede vloer aansluiting wand dwarskracht	Formule	$D_{\text{vloer}} / 2 + D_{\text{wand}} * 0,9$

3. Belastinggevallen (selectie)

3.1. Belastinggevallen (totaal)

Naam	Omschrijving	Actie type	Lastgroep	Richting	Duur	'Master' belastingsgeval
	Spec	Belastingtype				
BG1	EG	Permanent Eigen gewicht	LG1	-Z		
BG2	RB - ODG	Permanent Standaard	LG1			
BG3a	Gronddruk GLG	Permanent Standaard	LG1			
BG3b	Gronddruk GHG	Permanent Standaard	LG1			
BG3c	Waterdruk GLG	Permanent Standaard	LG1			
BG3d	Waterdruk Variabel deel	Permanent Standaard	LG1			
BG10	BM1 - RAND - UDL Standaard	Variabel Statisch	BM1-UDL		Kort	Geen
BG11	BM1 - MIDDEN - UDL Standaard	Variabel Statisch	BM1-UDL		Kort	Geen
BG12a	BM1 - RAND - TS - STR 1 - [pos] Standaard	Variabel Statisch	BM1-TS-RAND		Kort	BG10 - BM1 - RAND - UDL
BG12b	BM1 - RAND - TS - STR 1 - [pos] Standaard	Variabel Statisch	BM1-TS-RAND		Kort	BG10 - BM1 - RAND - UDL
BG12c	BM1 - RAND - TS - STR 1 - [pos] Standaard	Variabel Statisch	BM1-TS-RAND		Kort	BG10 - BM1 - RAND - UDL
BG12d	BM1 - RAND - TS -	Variabel	BM1-TS-RAND		Kort	BG10 - BM1 -

Project PARAMETRISCH ONTWERP

Naam	Omschrijving	Actie type	Lastgroep	Richting	Duur	'Master' belastingsgeval
	Spec	Belastingtype				
	STR 1 - [pos]					RAND - UDL
	Standaard	Statisch				
BG12e	BM1 - RAND - TS - STR 1 - [pos]	Variabel	BM1-TS-RAND		Kort	BG10 - BM1 - RAND - UDL
	Standaard	Statisch				
BG12f	BM1 - RAND - TS - STR 1 - [pos]	Variabel	BM1-TS-RAND		Kort	BG10 - BM1 - RAND - UDL
	Standaard	Statisch				
BG12g	BM1 - RAND - TS - STR 1 - [pos]	Variabel	BM1-TS-RAND		Kort	BG10 - BM1 - RAND - UDL
	Standaard	Statisch				
BG12h	BM1 - RAND - TS - STR 1 - [pos]	Variabel	BM1-TS-RAND		Kort	BG10 - BM1 - RAND - UDL
	Standaard	Statisch				
BG12i	BM1 - RAND - TS - STR 1 - [pos]	Variabel	BM1-TS-RAND		Kort	BG10 - BM1 - RAND - UDL
	Standaard	Statisch				
BG13a	BM1 - RAND - TS - STR 2 - [pos]	Variabel	BM1-TS-RAND		Kort	BG10 - BM1 - RAND - UDL
	Standaard	Statisch				
BG13b	BM1 - RAND - TS - STR 2 - [pos]	Variabel	BM1-TS-RAND		Kort	BG10 - BM1 - RAND - UDL
	Standaard	Statisch				
BG13c	BM1 - RAND - TS - STR 2 - [pos]	Variabel	BM1-TS-RAND		Kort	BG10 - BM1 - RAND - UDL
	Standaard	Statisch				
BG13d	BM1 - RAND - TS - STR 2 - [pos]	Variabel	BM1-TS-RAND		Kort	BG10 - BM1 - RAND - UDL
	Standaard	Statisch				
BG13e	BM1 - RAND - TS - STR 2 - [pos]	Variabel	BM1-TS-RAND		Kort	BG10 - BM1 - RAND - UDL
	Standaard	Statisch				
BG13f	BM1 - RAND - TS - STR 2 - [pos]	Variabel	BM1-TS-RAND		Kort	BG10 - BM1 - RAND - UDL
	Standaard	Statisch				
BG13g	BM1 - RAND - TS - STR 2 - [pos]	Variabel	BM1-TS-RAND		Kort	BG10 - BM1 - RAND - UDL
	Standaard	Statisch				
BG13h	BM1 - RAND - TS - STR 2 - [pos]	Variabel	BM1-TS-RAND		Kort	BG10 - BM1 - RAND - UDL
	Standaard	Statisch				
BG13i	BM1 - RAND - TS - STR 2 - [pos]	Variabel	BM1-TS-RAND		Kort	BG10 - BM1 - RAND - UDL
	Standaard	Statisch				
BG14a	BM1 - MIDDEN - TS - STR 1 - [pos]	Variabel	BM1-TS-MIDDEN		Kort	BG11 - BM1 - MIDDEN - UDL
	Standaard	Statisch				
BG14b	BM1 - MIDDEN - TS - STR 1 - [pos]	Variabel	BM1-TS-MIDDEN		Kort	BG11 - BM1 - MIDDEN - UDL
	Standaard	Statisch				
BG14c	BM1 - MIDDEN - TS - STR 1 - [pos]	Variabel	BM1-TS-MIDDEN		Kort	BG11 - BM1 - MIDDEN - UDL
	Standaard	Statisch				
BG14d	BM1 - MIDDEN - TS - STR 1 - [pos]	Variabel	BM1-TS-MIDDEN		Kort	BG11 - BM1 - MIDDEN - UDL
	Standaard	Statisch				
BG14e	BM1 - MIDDEN - TS - STR 1 - [pos]	Variabel	BM1-TS-MIDDEN		Kort	BG11 - BM1 - MIDDEN - UDL
	Standaard	Statisch				
BG14f	BM1 - MIDDEN - TS - STR 1 - [pos]	Variabel	BM1-TS-MIDDEN		Kort	BG11 - BM1 - MIDDEN - UDL
	Standaard	Statisch				
BG14g	BM1 - MIDDEN - TS - STR 1 - [pos]	Variabel	BM1-TS-MIDDEN		Kort	BG11 - BM1 - MIDDEN - UDL
	Standaard	Statisch				

Project PARAMETRISCH ONTWERP

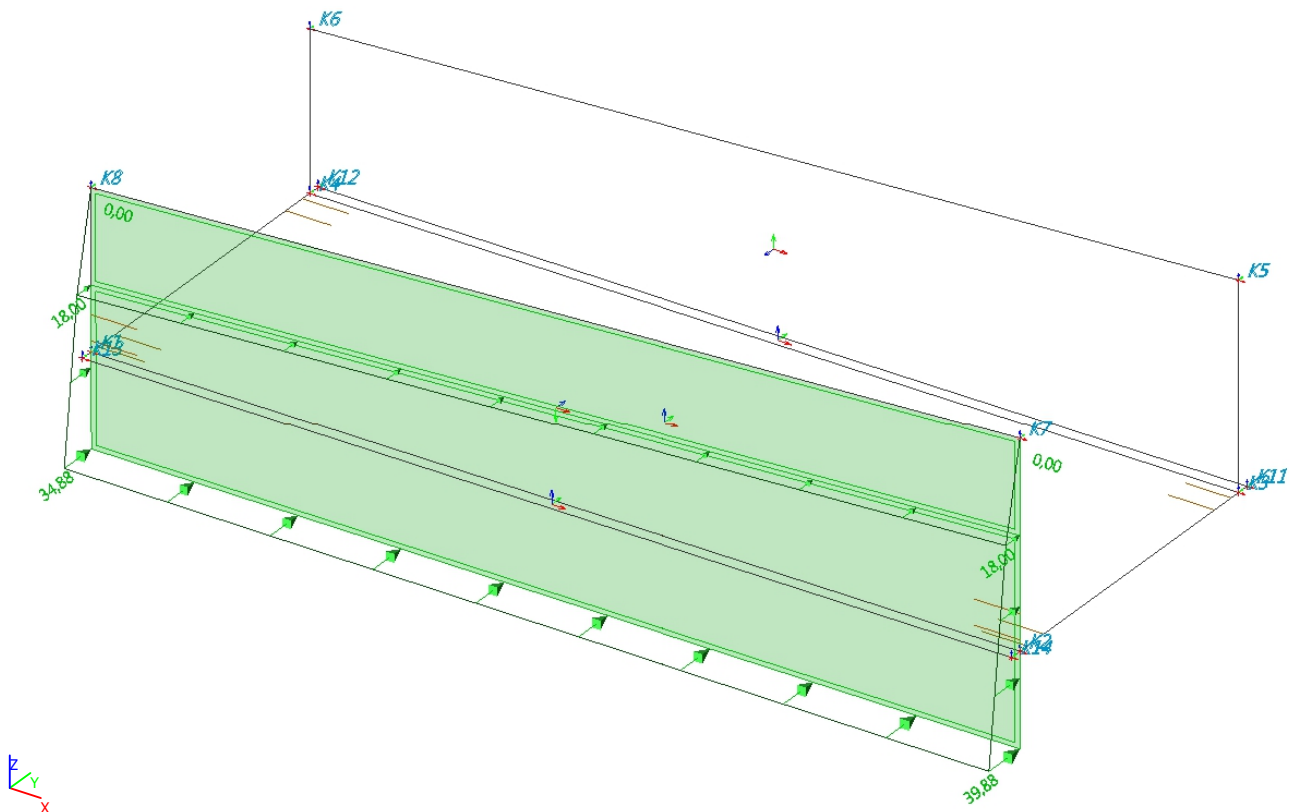
Naam	Omschrijving	Actie type	Lastgroep	Richting	Duur	'Master' belastingsgeval
	Spec	Belastingtype				
BG14h	BM1 - MIDDEN - TS - STR 1 - [pos]	Variabel	BM1-TS-MIDDEN		Kort	BG11 - BM1 - MIDDEN - UDL
	Standaard	Statisch				
BG14i	BM1 - MIDDEN - TS - STR 1 - [pos]	Variabel	BM1-TS-MIDDEN		Kort	BG11 - BM1 - MIDDEN - UDL
	Standaard	Statisch				
BG20	Maaiveld belasting wand 1	Variabel	MV-belasting		Kort	Geen
	Standaard	Statisch				
BG21	Maaiveld belasting wand 2	Variabel	MV-belasting		Kort	Geen
	Standaard	Statisch				
BG25	Temperatuur - stijging	Variabel	Temperatuur		Kort	Geen
	Standaard	Statisch				
BG26	Temperatuur - daling	Variabel	Temperatuur		Kort	Geen
	Standaard	Statisch				

3.2. Belastingsgevallen (selectie)

3.2.1. Belastingsgevallen (selectie) - BG3a

Naam	Omschrijving	Actie type	Lastgroep
	Spec	Belastingtype	
BG3a	Gronddruk GLG	Permanent	LG1
	Standaard		

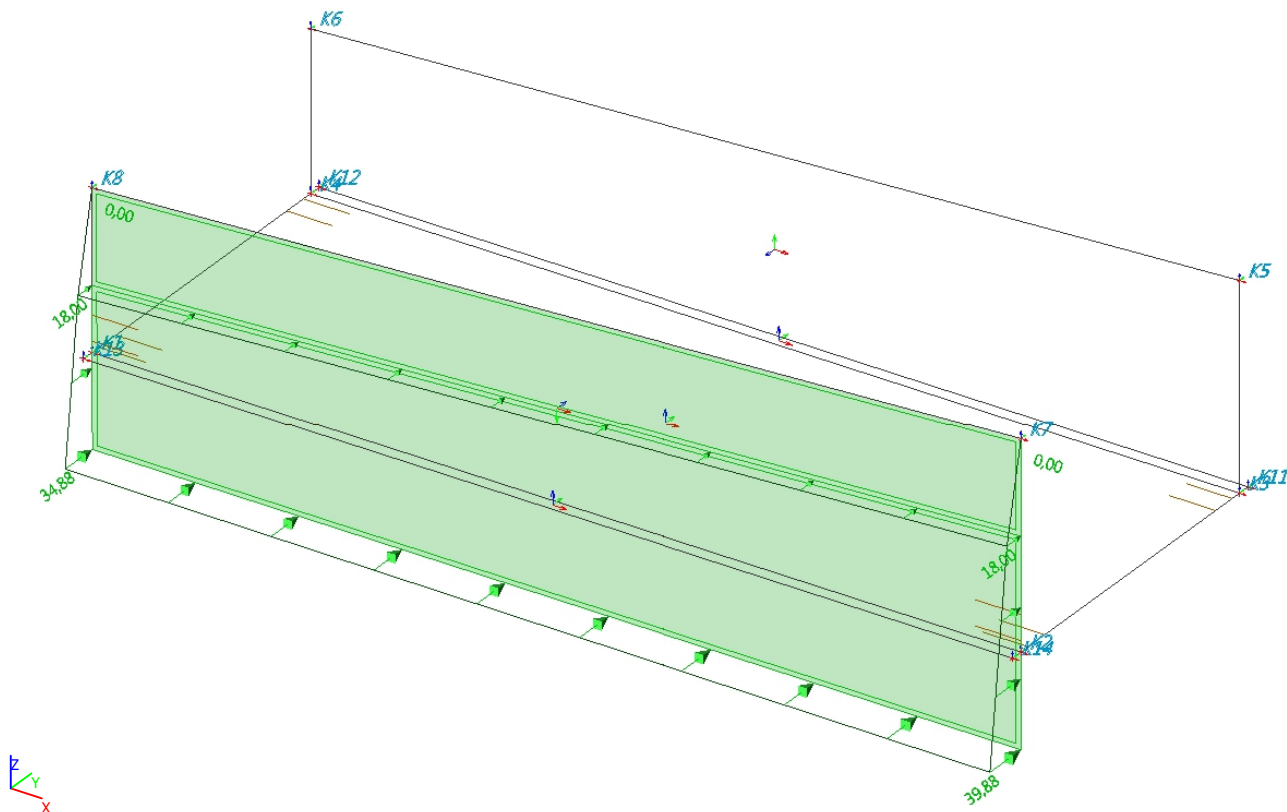
3.2.1.1. BG3a / Totale waarde



3.2.1.2. Vrije oppervlakte last

Naam	Belastingsgeval	Rich	Type	Verdeling	q1	q2	q3	Geldigheid	Selecteer	Systeem	Locatie
FF11	BG3a - Gronddruk GLG	Z	Kracht	3 punten	0,00	0,00	18,00	Alle	Selecteer	Element LCS	Lengte
FF12	BG3a - Gronddruk GLG	Z	Kracht	3 punten	18,00	18,00	39,88	Alle	Selecteer	Element LCS	Lengte

3.2.1.1. BG3a / Totale waarde



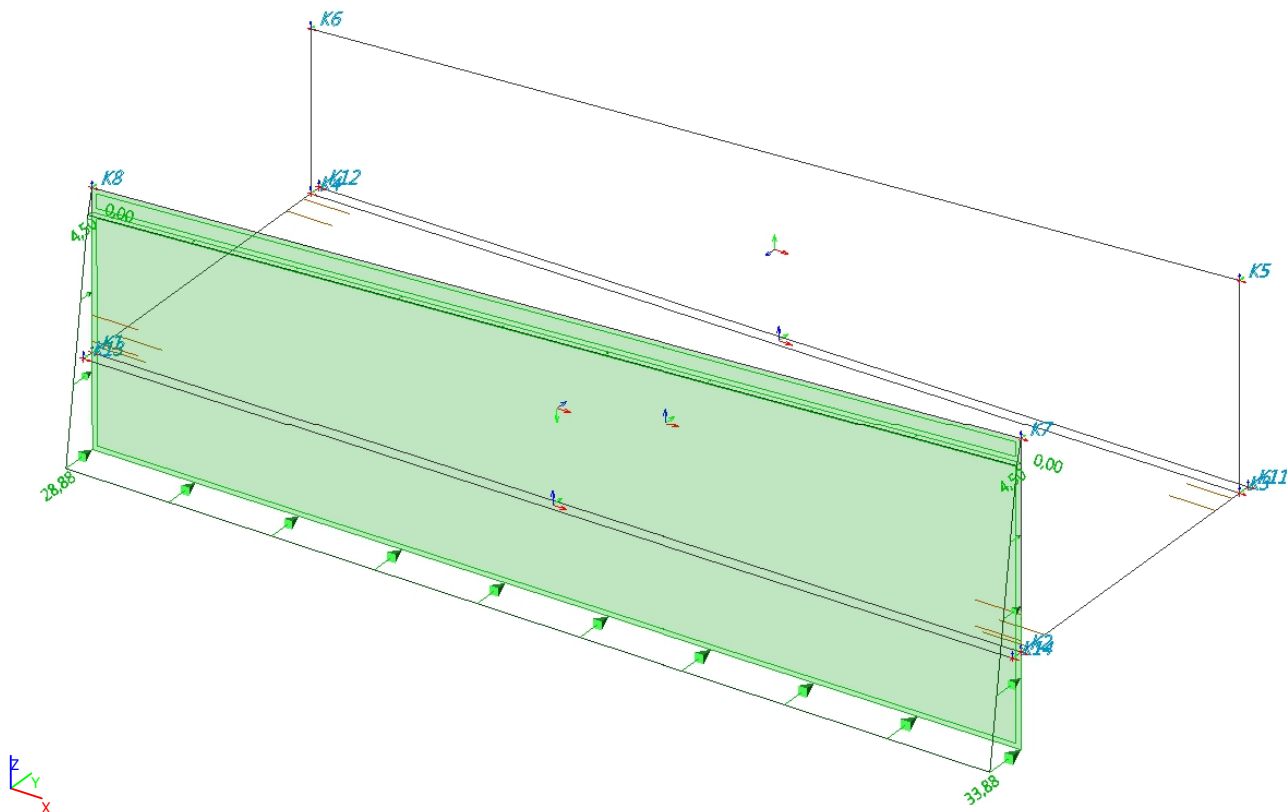
3.2.1.4. Vrije oppervlakte last

Naam	Belastingsgeval	Rich	Type	Verdeling	q1	q2	q3	Geldigheid	Selecteer	Systeem	Locatie
FF11	BG3a - Gronddruk GLG	Z	Kracht	3 punten	0,00	0,00	18,00	Alle	Selecteer	Element LCS	Lengte
FF12	BG3a - Gronddruk GLG	Z	Kracht	3 punten	18,00	18,00	39,88	Alle	Selecteer	Element LCS	Lengte

3.2.2. Belastingsgevallen (selectie) - BG3b

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep
BG3b	Gronddruk GHG	Permanent Standaard	LG1

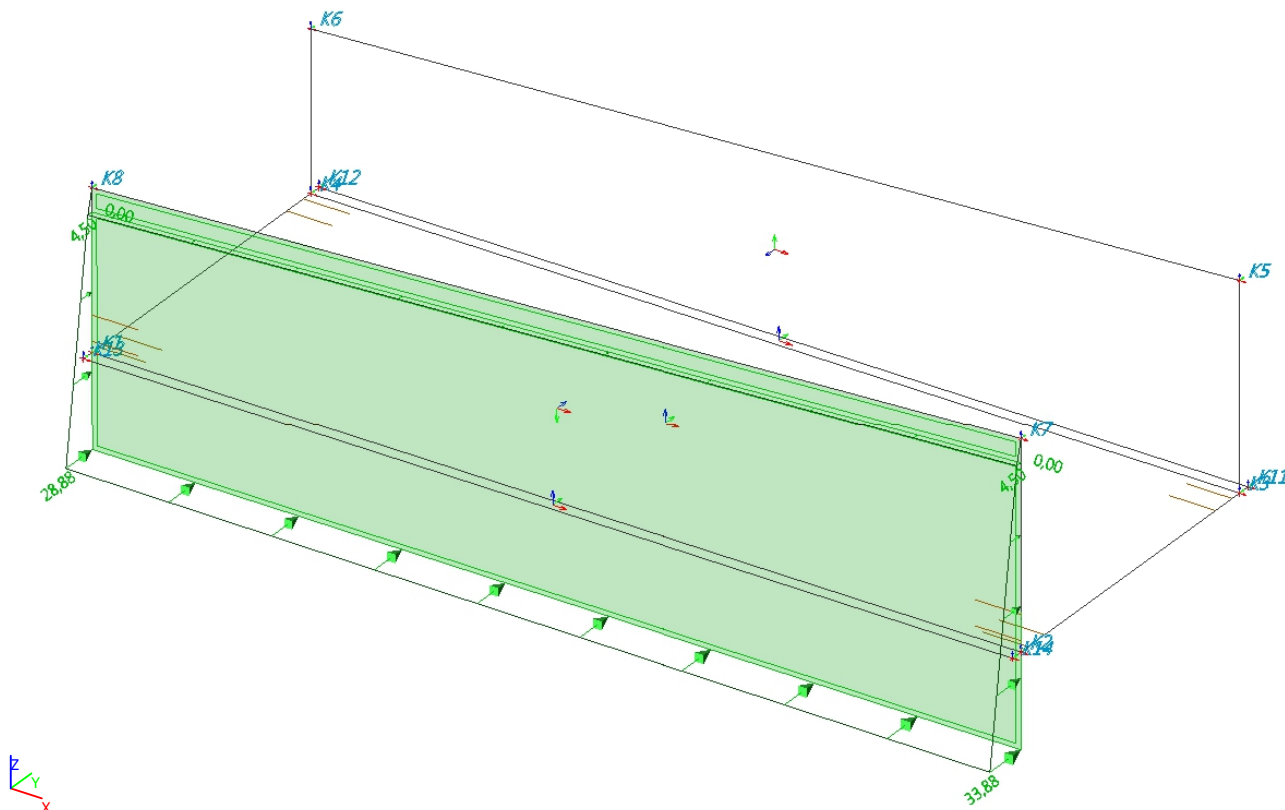
3.2.2.1. BG3a / Totale waarde



3.2.2.2. Vrije oppervlakte last

Naam	Belastingsgeval	Rich	Type	Verdeling	q1	q2	q3	Geldigheid	Selecteer	Systeem	Locatie
FF13	BG3b - Gronddruk GHG	Z	Kracht	3 punten	0,00	0,00	4,50	Alle	Selecteer	Element LCS	Lengte
FF14	BG3b - Gronddruk GHG	Z	Kracht	3 punten	4,50	4,50	33,88	Alle	Selecteer	Element LCS	Lengte

3.2.2.1. BG3a / Totale waarde



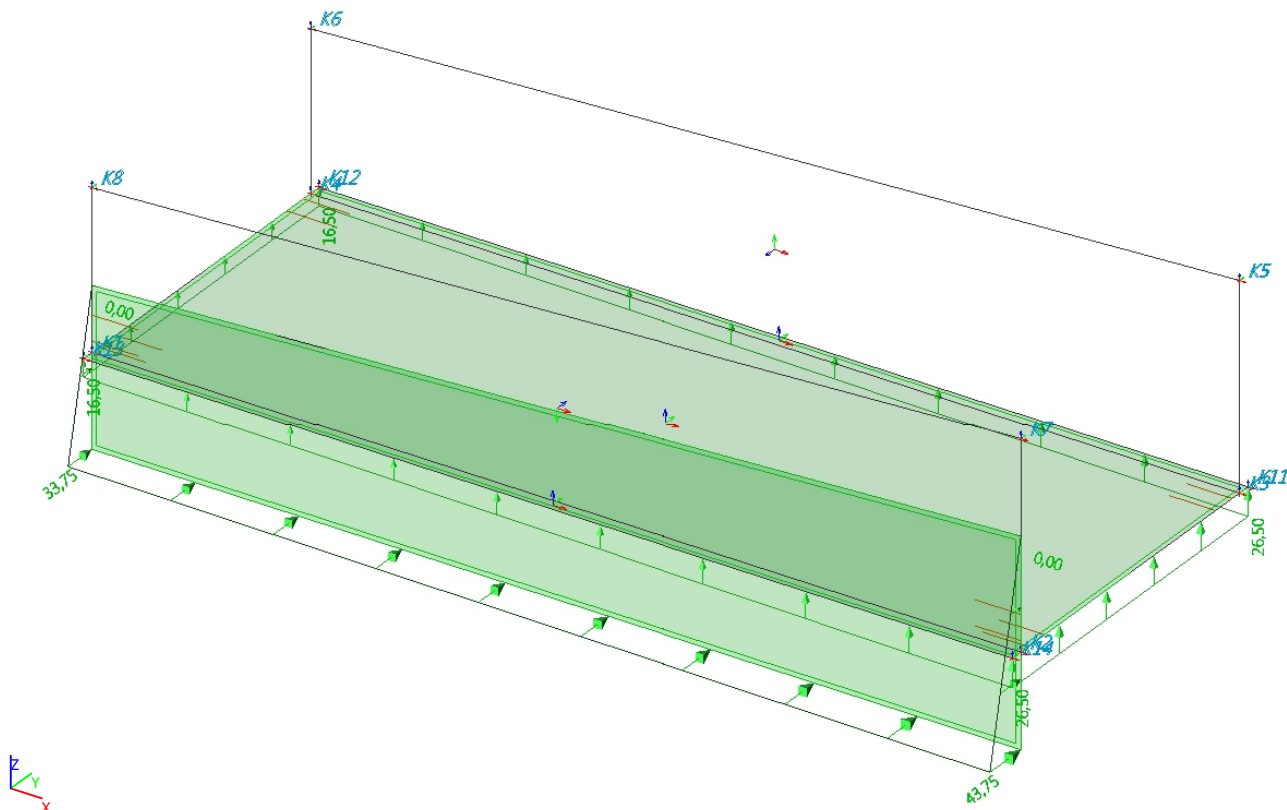
3.2.2.4. Vrije oppervlakte last

Naam	Belastingsgeval	Rich	Type	Verdeling	q1	q2	q3	Geldigheid	Selecteer	Systeem	Locatie
FF13	BG3b - Gronddruk GHG	Z	Kracht	3 punten	0,00	0,00	4,50	Alle	Selecteer	Element LCS	Lengte
FF14	BG3b - Gronddruk GHG	Z	Kracht	3 punten	4,50	4,50	33,88	Alle	Selecteer	Element LCS	Lengte

3.2.3. Belastingsgevalen (selectie) - BG3c

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep
BG3c	Waterdruk GLG	Permanent Standaard	LG1

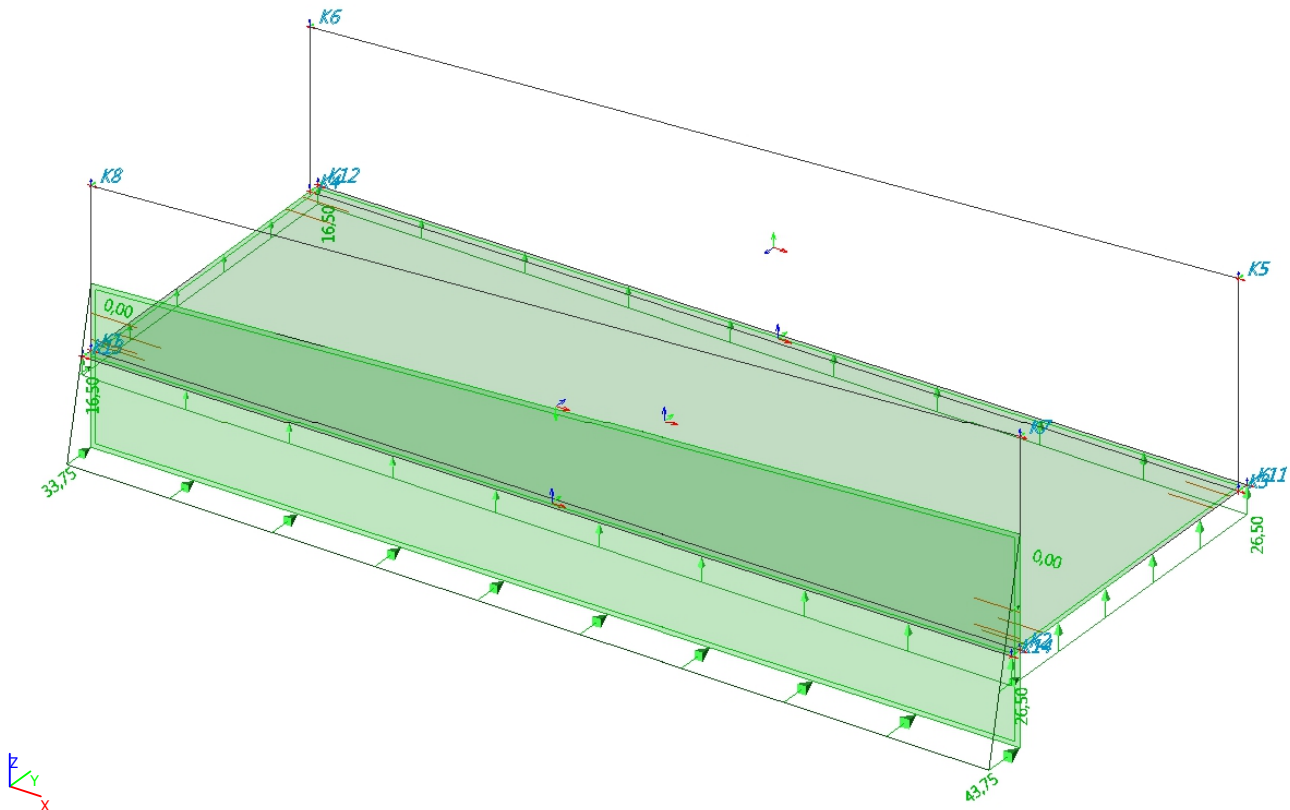
3.2.3.1. BG3a / Totale waarde



3.2.3.2. Vrije oppervlakte last

Naam	Belastingsgeval	Rich	Type	Verdeling	q1	q2	q3	Geldigheid	Selecteer	Systeem	Locatie
FF4	BG3c - Waterdruk GLG	Z	Kracht	3 punten	0,00	0,00	43,75	Alle	Selecteer	Element LCS	Lengte
FF7	BG3c - Waterdruk GLG	Z	Kracht	Richting X	16,50	26,50		Z=0	Auto	Element LCS	Lengte

3.2.3.1. BG3a / Totale waarde



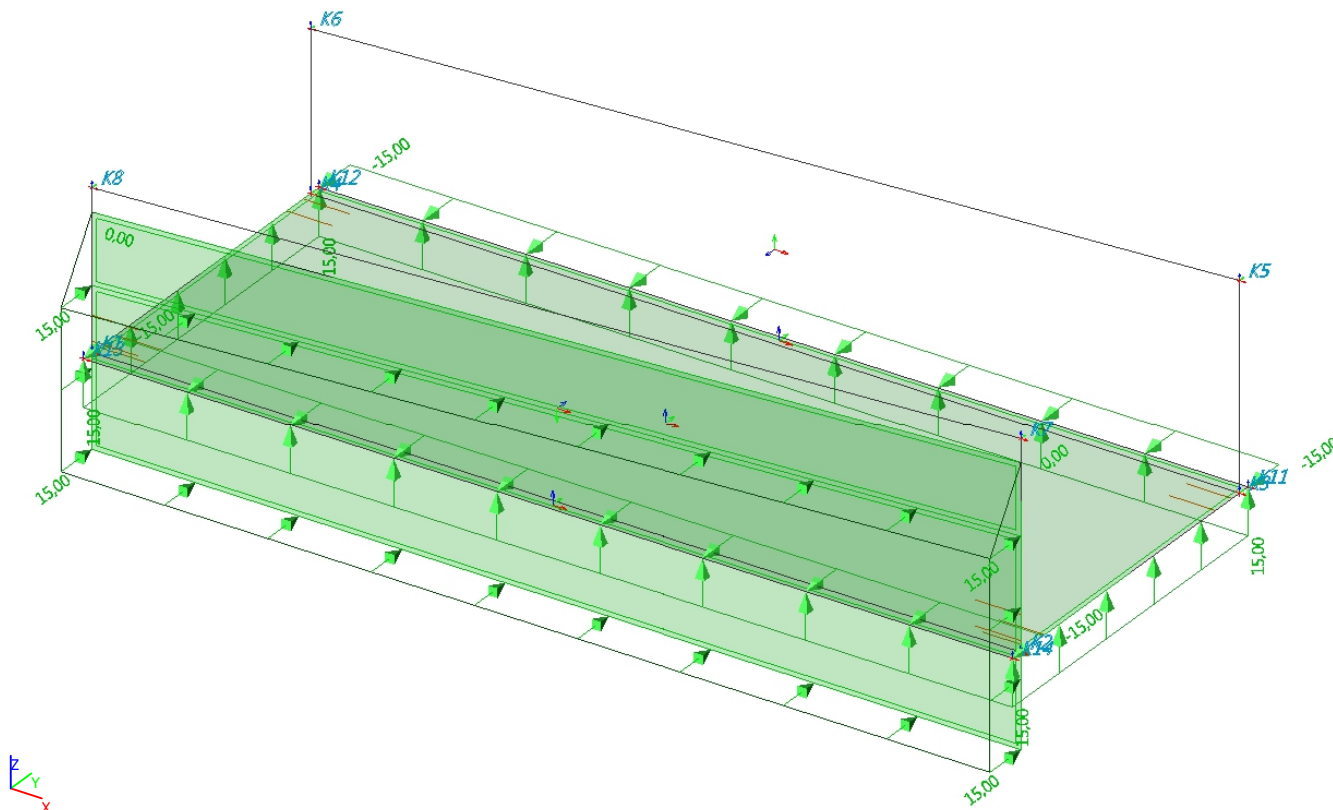
3.2.3.4. Vrije oppervlakte last

Naam	Belastingsgeval	Rich	Type	Verdeling	q1	q2	q3	Geldigheid	Selecteer	Systeem	Locatie
FF4	BG3c - Waterdruk GLG	Z	Kracht	3 punten	0,00	0,00	43,75	Alle	Selecteer	Element LCS	Lengte
FF7	BG3c - Waterdruk GLG	Z	Kracht	Richting X	16,50	26,50		Z=0	Auto	Element LCS	Lengte

3.2.4. Belastingsgevallen (selectie) - BG3d

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep
BG3d	Waterdruk Variabel deel	Permanent	LG1
		Standaard	

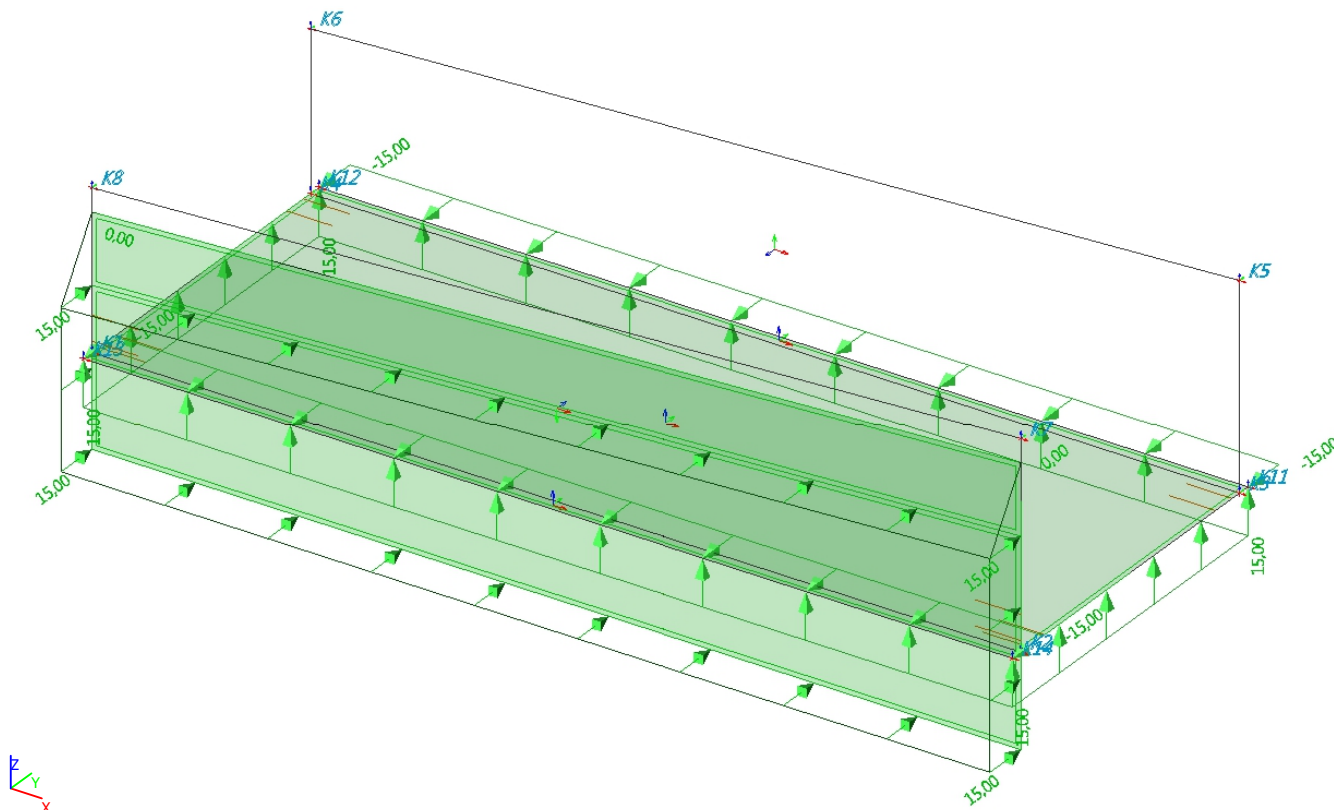
3.2.4.1. BG3a / Totale waarde



3.2.4.2. Vrije oppervlakte last

Naam	Belastingsgeval	Rich	Type	Verdeling	q	q1	q2	q3	Geldigheid	Selecteer	Systeem	
FF5	BG3d - Waterdruk Variabel deel	Z	Kracht	3 punten		0,00	0,00	15,00	Alle	Selecteer	Element LCS	L
FF6	BG3d - Waterdruk Variabel deel	Z	Kracht	Gelijkmatig	15,00				Alle	Selecteer	Element LCS	L
FF8	BG3d - Waterdruk Variabel deel	Z	Kracht	Richting X		15,00	15,00		Z=0	Auto	Element LCS	L
FF148	BG3d - Waterdruk Variabel deel	Z	Kracht	Richting X		-15,00	-15,00		Z=0	Auto	Element LCS	L
FF151	BG3d - Waterdruk Variabel deel	Z	Kracht	Richting X		-15,00	-15,00		Z=0	Auto	Element LCS	L

3.2.4.1. BG3a / Totale waarde



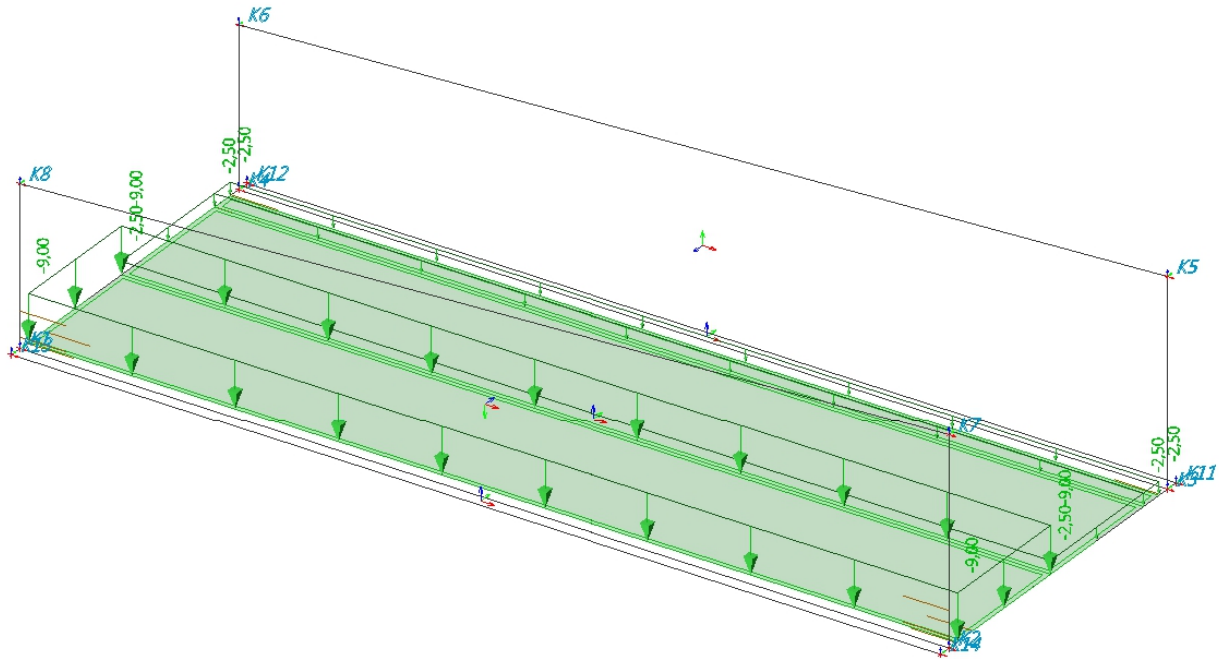
3.2.4.4. Vrije oppervlakte last

Naam	Belastingsgeval	Rich	Type	Verdeling	q	q1	q2	q3	Geldigheid	Selecteer	Systeem	
FF5	BG3d - Waterdruk Variabel deel	Z	Kracht	3 punten		0,00	0,00	15,00	Alle	Selecteer	Element LCS	L
FF6	BG3d - Waterdruk Variabel deel	Z	Kracht	Gelijkmatig	15,00				Alle	Selecteer	Element LCS	L
FF8	BG3d - Waterdruk Variabel deel	Z	Kracht	Richting X		15,00	15,00		Z=0	Auto	Element LCS	L
FF148	BG3d - Waterdruk Variabel deel	Z	Kracht	Richting X		-15,00	-15,00		Z=0	Auto	Element LCS	L
FF151	BG3d - Waterdruk Variabel deel	Z	Kracht	Richting X		-15,00	-15,00		Z=0	Auto	Element LCS	L

3.2.5. Belastingsgevallen (selectie) - BG10

Naam	Omschrijving	Actie type	Lastgroep	Duur	'Master' belastingsgeval
	Spec	Belastingtype			
BG10	BM1 - RAND - UDL	Variabel	BM1-UDL	Kort	Geen
	Standaard	Statisch			

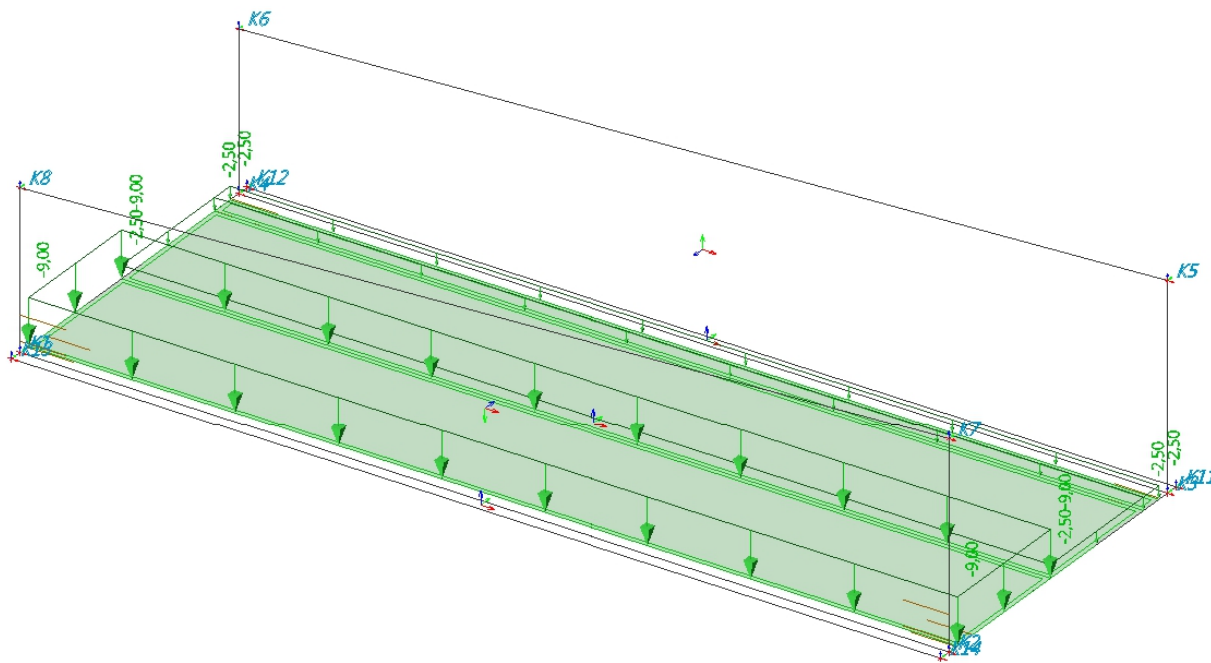
3.2.5.1. BG3a / Totale waarde



3.2.5.2. Vrije oppervlakte last

Naam	Belastingsgeval	Rich	Type	Verdeling	q	Geldigheid	Selecteer	Systeem	Locatie
FF10	BG10 - BM1 - RAND - UDL	Z	Kracht	Gelijkmatig	-9,00	Z=0	Auto	Element LCS	Lengte
FF15	BG10 - BM1 - RAND - UDL	Z	Kracht	Gelijkmatig	-2,50	Z=0	Auto	Element LCS	Lengte
FF16	BG10 - BM1 - RAND - UDL	Z	Kracht	Gelijkmatig	-2,50	Alle	Selecteer	Element LCS	Lengte

3.2.5.1. BG3a / Totale waarde



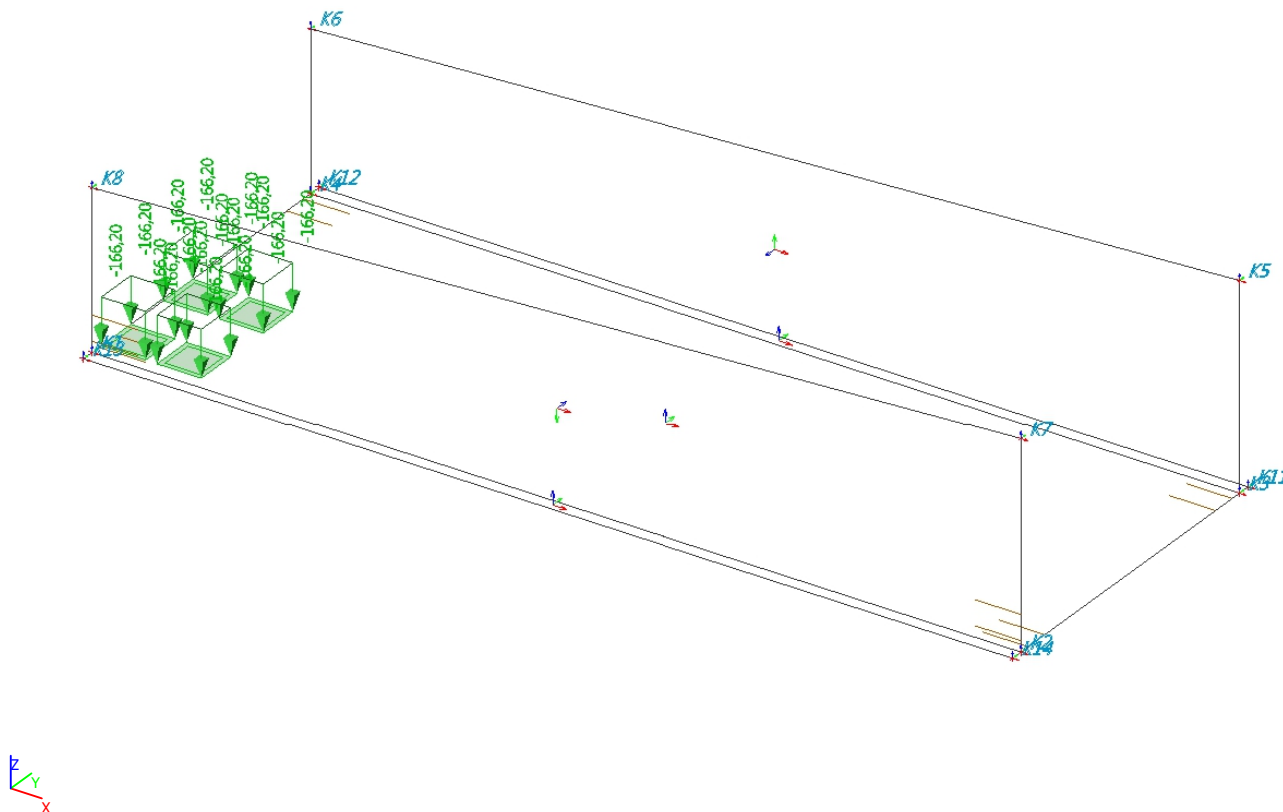
3.2.5.4. Vrije oppervlakte last

Naam	Belastingsgeval	Rich	Type	Verdeling	q	Geldigheid	Selecteer	Systeem	Locatie
FF10	BG10 - BM1 - RAND - UDL	Z	Kracht	Gelijkmatig	-9,00	Z=0	Auto	Element LCS	Lengte
FF15	BG10 - BM1 - RAND - UDL	Z	Kracht	Gelijkmatig	-2,50	Z=0	Auto	Element LCS	Lengte
FF16	BG10 - BM1 - RAND - UDL	Z	Kracht	Gelijkmatig	-2,50	Alle	Selecteer	Element LCS	Lengte

3.2.6. Belastingsgevallen (selectie) - BG12a

Naam	Omschrijving	Actie type	Lastgroep	Duur	'Master' belastingsgeval
Spec		Belastingtype			
BG12a	BM1 - RAND - TS - STR 1 - [pos]	Variabel	BM1-TS-RAND	Kort	BG10 - BM1 - RAND - UDL
	Standaard	Statisch			

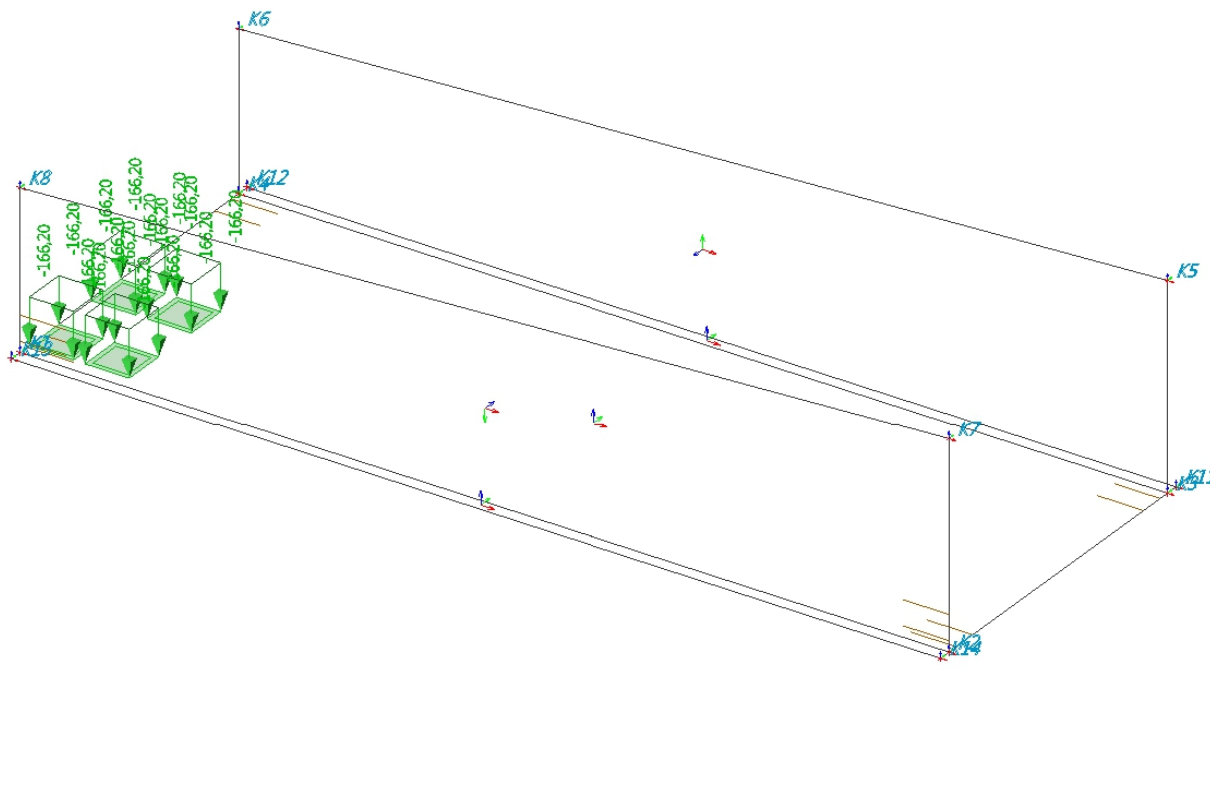
3.2.6.1. BG3a / Totale waarde



3.2.6.2. Vrije oppervlakte last

Naam	Belastinggeval	Rich	Type	Verdeling	q	Geldigheid	Selecteer	Systeem	Locatie
FF37	BG12a - BM1 - RAND - TS - STR 1 - [pos]	Z	Kracht	Gelijkmatig	-166,20	Z=0	Auto	Element LCS	Lengte
FF38	BG12a - BM1 - RAND - TS - STR 1 - [pos]	Z	Kracht	Gelijkmatig	-166,20	Z=0	Auto	Element LCS	Lengte
FF39	BG12a - BM1 - RAND - TS - STR 1 - [pos]	Z	Kracht	Gelijkmatig	-166,20	Z=0	Auto	Element LCS	Lengte
FF40	BG12a - BM1 - RAND - TS - STR 1 - [pos]	Z	Kracht	Gelijkmatig	-166,20	Z=0	Auto	Element LCS	Lengte

3.2.6.1. BG3a / Totale waarde



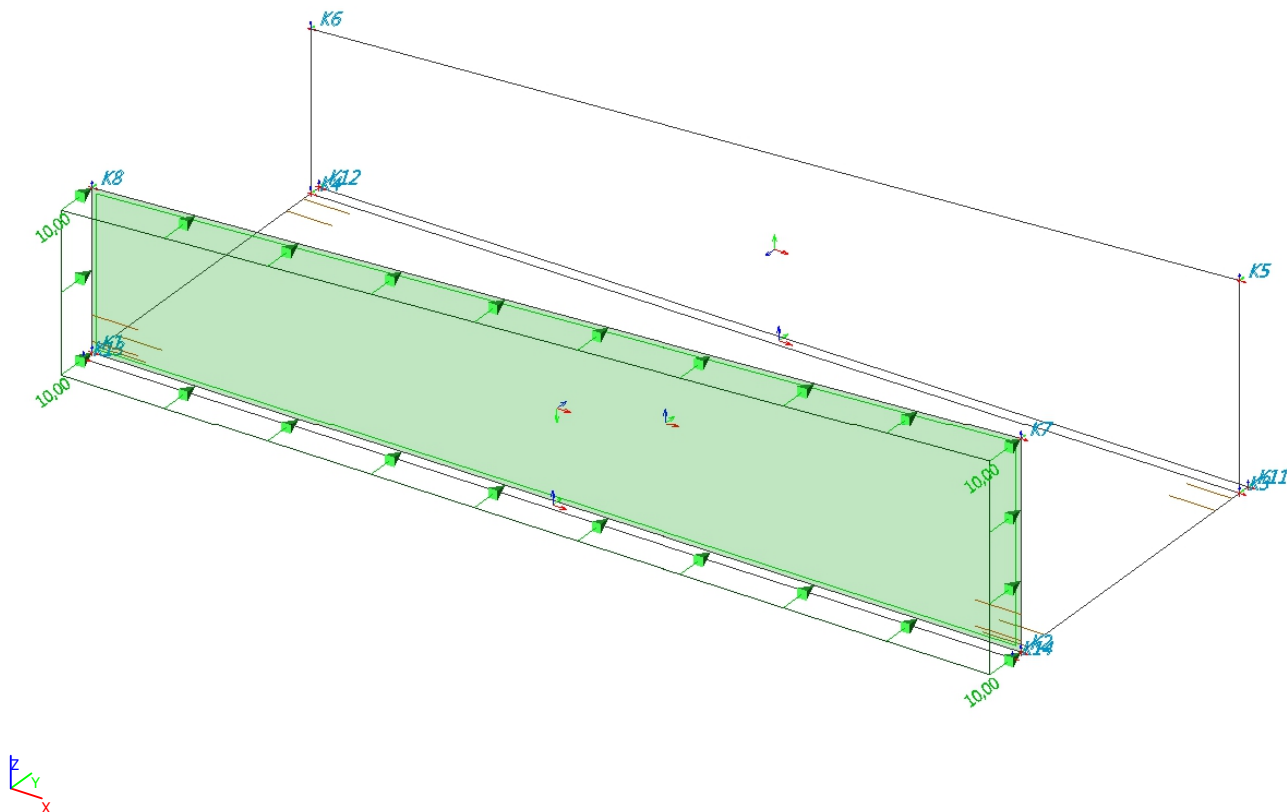
3.2.6.4. Vrije oppervlakte last

Naam	Belastingsgeval	Rich	Type	Verdeling	q	Geldigheid	Selecteer	Systeem	Locatie
FF37	BG12a - BM1 - RAND - TS - STR 1 - [pos]	Z	Kracht	Gelijkmatig	-166,20	Z=0	Auto	Element LCS	Lengte
FF38	BG12a - BM1 - RAND - TS - STR 1 - [pos]	Z	Kracht	Gelijkmatig	-166,20	Z=0	Auto	Element LCS	Lengte
FF39	BG12a - BM1 - RAND - TS - STR 1 - [pos]	Z	Kracht	Gelijkmatig	-166,20	Z=0	Auto	Element LCS	Lengte
FF40	BG12a - BM1 - RAND - TS - STR 1 - [pos]	Z	Kracht	Gelijkmatig	-166,20	Z=0	Auto	Element LCS	Lengte

3.2.7. Belastingsgevallen (selectie) - BG20

Naam	Omschrijving	Actie type	Lastgroep	Duur	'Master' belastingsgeval
Spec		Belastingtype			
BG20	Maaiveld belasting wand 1	Variabel	MV-belasting	Kort	Geen
	Standaard	Statisch			

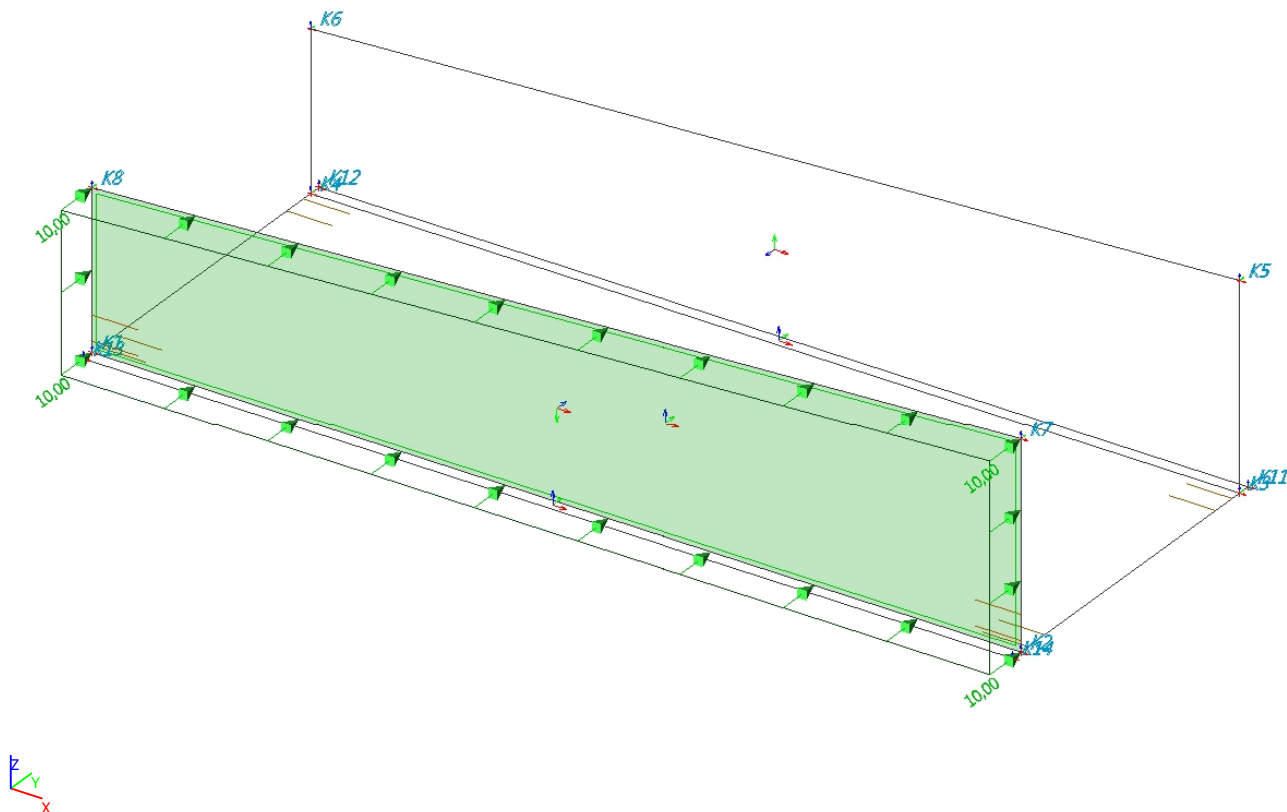
3.2.7.1. BG3a / Totale waarde



3.2.7.2. Vrije oppervlakte last

Naam	Belastingsgeval	Rich	Type	Verdeling	q	Geldigheid	Selecteer	Systeem	Locatie
FF21	BG20 - Maaiveld belasting wand 1	Z	Kracht	Gelijkmatig	10,00	Z=0	Auto	Element LCS	Lengte

3.2.7.1. BG3a / Totale waarde



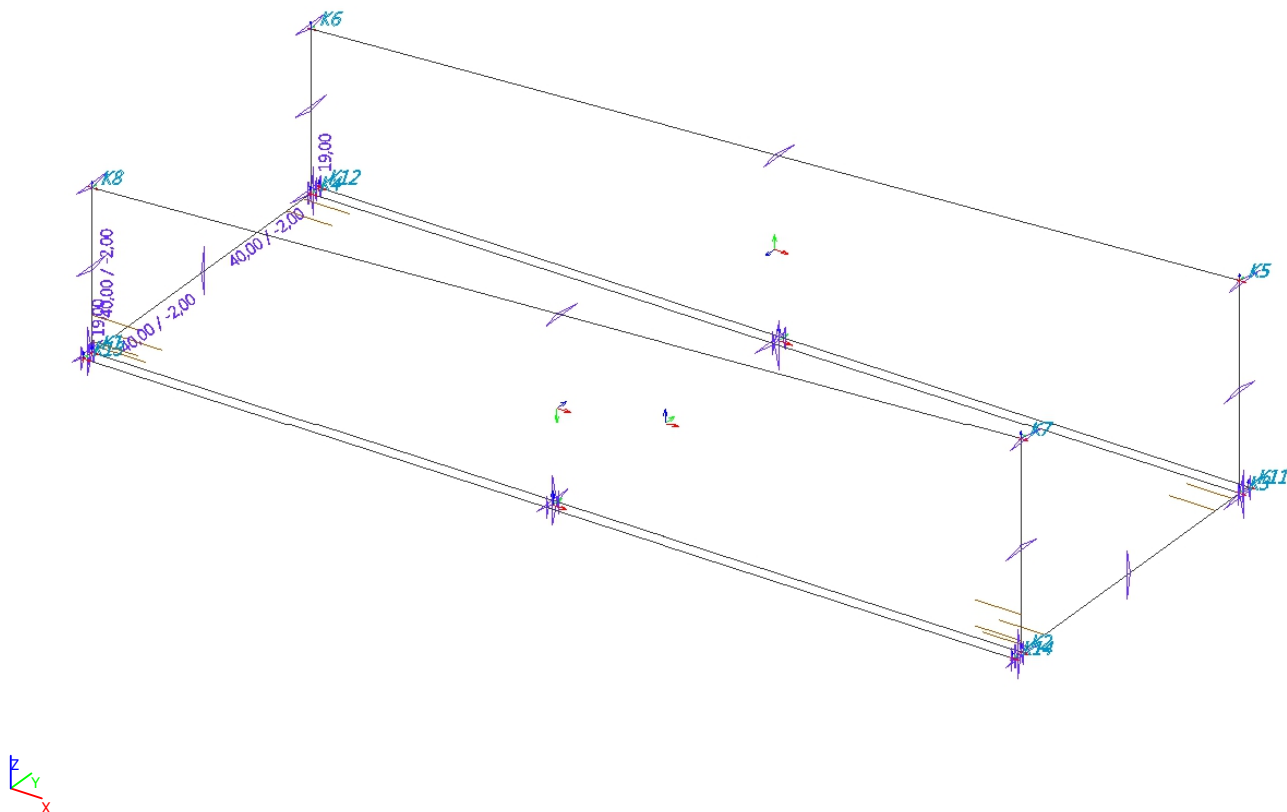
3.2.7.4. Vrije oppervlakte last

Naam	Belastingsgeval	Rich	Type	Verdeling	q	Geldigheid	Selecteer	Systeem	Locatie
FF21	BG20 - Maaiveld belasting wand 1	Z	Kracht	Gelijkmatig	10,00	Z=0	Auto	Element LCS	Lengte

3.2.8. Belastingsgevallen (selectie) - BG25

Naam	Omschrijving	Actie type	Lastgroep	Duur	'Master' belastingsgeval
Spec		Belastingtype			
BG25	Temperatuur - stijging	Variabel	Temperatuur	Kort	Geen
	Standaard	Statisch			

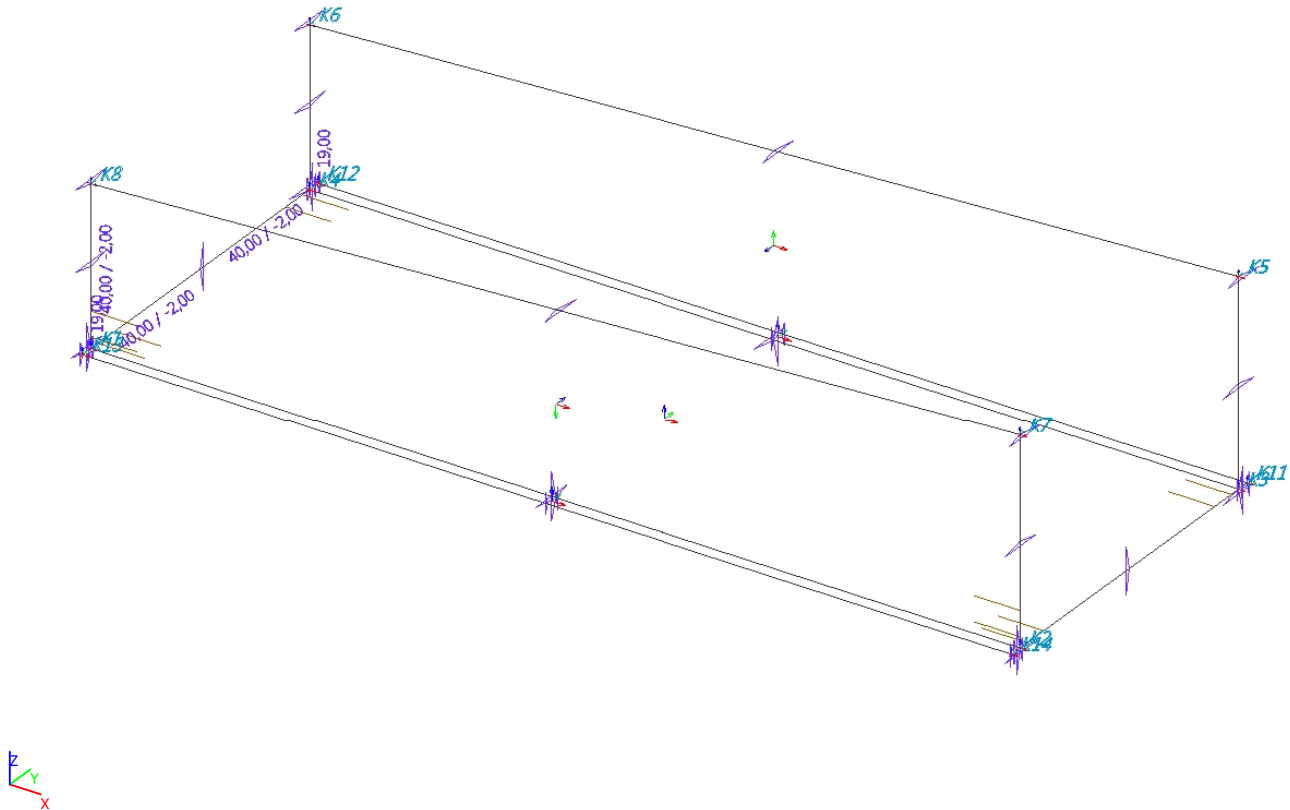
3.2.8.1. BG3a / Totale waarde



3.2.8.2. Thermische last op 2D element

Naam	2D-element	Belastingsgeval	Verdeling	Delta	+z - Boven delta	-z - Onder delta
ST1	E1	BG25 - Temperatuur - stijging	Lineair		40,00	-2,00
ST2	E3	BG25 - Temperatuur - stijging	Lineair		40,00	-2,00
ST3	E2	BG25 - Temperatuur - stijging	Lineair		40,00	-2,00
ST4	E5	BG25 - Temperatuur - stijging	Constant	19,00		
ST5	E4	BG25 - Temperatuur - stijging	Constant	19,00		

3.2.8.1. BG3a / Totale waarde



3.2.8.4. Thermische last op 2D element

Naam	2D-element	Belastingsgeval	Verdeling	Delta	+z - Boven delta	-z - Onder delta
ST1	E1	BG25 - Temperatuur - stijging	Lineair		40,00	-2,00
ST2	E3	BG25 - Temperatuur - stijging	Lineair		40,00	-2,00
ST3	E2	BG25 - Temperatuur - stijging	Lineair		40,00	-2,00
ST4	E5	BG25 - Temperatuur - stijging	Constant	19,00		
ST5	E4	BG25 - Temperatuur - stijging	Constant	19,00		

4. Combinaties

4.1. Belastinggroepen

Naam	Last	Relatie	Type
LG1	Permanent		
BM1-UDL	Variabel	Exclusief	Cat A: Woning
BM1-TS-RAND	Variabel	Exclusief	Cat A: Woning
BM1-TS-MIDDEN	Variabel	Exclusief	Cat A: Woning
MV-belasting	Variabel	Standaard	Cat A: Woning
Temperatuur	Variabel	Exclusief	Cat A: Woning

4.2. Combinaties

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
ULS1		Omhullende - uiterst	BG1 - EG	1,30
			BG2 - RB - ODG	1,30
			BG3a - Gronddruk GLG	1,30
			BG3c - Waterdruk GLG	1,30
			BG20 - Maaiveld belasting wand 1	1,08
			BG21 - Maaiveld belasting wand 2	1,08
ULS2		Omhullende - uiterst	BG1 - EG	1,30

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
			BG2 - RB - ODG	1,30
			BG3b - Gronddruk GHG	1,30
			BG3c - Waterdruk GLG	1,30
			BG3d - Waterdruk Variabel deel	1,30
ULS3		Omhullende - uiterst	BG1 - EG	0,90
			BG2 - RB - ODG	0,90
			BG3b - Gronddruk GHG	1,30
			BG3c - Waterdruk GLG	1,30
			BG3d - Waterdruk Variabel deel	1,30
			BG20 - Maaiveld belasting wand 1	1,08
			BG21 - Maaiveld belasting wand 2	1,08
ULS4		Omhullende - uiterst	BG1 - EG	0,90
			BG2 - RB - ODG	0,90
			BG3b - Gronddruk GHG	1,20
			BG3c - Waterdruk GLG	1,20
			BG3d - Waterdruk Variabel deel	1,20
			BG20 - Maaiveld belasting wand 1	1,35
			BG21 - Maaiveld belasting wand 2	1,35
ULS5		Omhullende - uiterst	BG1 - EG	1,30
			BG2 - RB - ODG	1,30
			BG3a - Gronddruk GLG	1,30
			BG3c - Waterdruk GLG	1,30
			BG10 - BM1 - RAND - UDL	1,08
			BG11 - BM1 - MIDDEN - UDL	1,08
			BG12a - BM1 - RAND - TS - STR 1 - [pos]	1,08
			BG12b - BM1 - RAND - TS - STR 1 - [pos]	1,08
			BG12c - BM1 - RAND - TS - STR 1 - [pos]	1,08
			BG12d - BM1 - RAND - TS - STR 1 - [pos]	1,08
			BG12e - BM1 - RAND - TS - STR 1 - [pos]	1,08
			BG12f - BM1 - RAND - TS - STR 1 - [pos]	1,08
			BG12g - BM1 - RAND - TS - STR 1 - [pos]	1,08
			BG12h - BM1 - RAND - TS - STR 1 - [pos]	1,08
			BG12i - BM1 - RAND - TS - STR 1 - [pos]	1,08
			BG13a - BM1 - RAND - TS - STR 2 - [pos]	1,08
			BG13b - BM1 - RAND - TS - STR 2 - [pos]	1,08
			BG13c - BM1 - RAND - TS - STR 2 - [pos]	1,08
			BG13d - BM1 - RAND - TS - STR 2 - [pos]	1,08
			BG13e - BM1 - RAND - TS - STR 2 - [pos]	1,08
			BG13f - BM1 - RAND - TS - STR 2 - [pos]	1,08
			BG13g - BM1 - RAND - TS - STR 2 - [pos]	1,08
			BG13h - BM1 - RAND - TS - STR 2 - [pos]	1,08
			BG13i - BM1 - RAND - TS -	1,08

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
			STR 2 - [pos]	
			BG14a - BM1 - MIDDEN - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG14b - BM1 - MIDDEN - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG14c - BM1 - MIDDEN - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG14d - BM1 - MIDDEN - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG14e - BM1 - MIDDEN - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG14f - BM1 - MIDDEN - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG14g - BM1 - MIDDEN - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG14h - BM1 - MIDDEN - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG14i - BM1 - MIDDEN - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG20 - Maaiveld belasting	1,08
			wand 1	
			BG21 - Maaiveld belasting	1,08
			wand 2	
			BG25 - Temperatuur - stijging	0,45
			BG26 - Temperatuur - daling	0,45
ULS6		Omhullende - uiterst	BG1 - EG	1,20
			BG2 - RB - ODG	1,20
			BG3a - Gronddruk GLG	1,20
			BG3c - Waterdruk GLG	1,20
			BG10 - BM1 - RAND - UDL	1,35
			BG11 - BM1 - MIDDEN - UDL	1,35
			BG12a - BM1 - RAND - TS -	1,35
			STR 1 - [pos]	
			BG12b - BM1 - RAND - TS -	1,35
			STR 1 - [pos]	
			BG12c - BM1 - RAND - TS -	1,35
			STR 1 - [pos]	
			BG12d - BM1 - RAND - TS -	1,35
			STR 1 - [pos]	
			BG12e - BM1 - RAND - TS -	1,35
			STR 1 - [pos]	
			BG12f - BM1 - RAND - TS -	1,35
			STR 1 - [pos]	
			BG12g - BM1 - RAND - TS -	1,35
			STR 1 - [pos]	
			BG12h - BM1 - RAND - TS -	1,35
			STR 1 - [pos]	
			BG12i - BM1 - RAND - TS -	1,35
			STR 1 - [pos]	
			BG13a - BM1 - RAND - TS -	1,35
			STR 2 - [pos]	
			BG13b - BM1 - RAND - TS -	1,35
			STR 2 - [pos]	
			BG13c - BM1 - RAND - TS -	1,35
			STR 2 - [pos]	
			BG13d - BM1 - RAND - TS -	1,35
			STR 2 - [pos]	
			BG13e - BM1 - RAND - TS -	1,35
			STR 2 - [pos]	
			BG13f - BM1 - RAND - TS -	1,35
			STR 2 - [pos]	
			BG13g - BM1 - RAND - TS -	1,35
			STR 2 - [pos]	
			BG13h - BM1 - RAND - TS -	1,35
			STR 2 - [pos]	
			BG13i - BM1 - RAND - TS -	1,35

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
			STR 2 - [pos]	
			BG14a - BM1 - MIDDEN - TS -	1,35
			STR 1 - [pos]	
			BG14b - BM1 - MIDDEN - TS -	1,35
			STR 1 - [pos]	
			BG14c - BM1 - MIDDEN - TS -	1,35
			STR 1 - [pos]	
			BG14d - BM1 - MIDDEN - TS -	1,35
			STR 1 - [pos]	
			BG14e - BM1 - MIDDEN - TS -	1,35
			STR 1 - [pos]	
			BG14f - BM1 - MIDDEN - TS -	1,35
			STR 1 - [pos]	
			BG14g - BM1 - MIDDEN - TS -	1,35
			STR 1 - [pos]	
			BG14h - BM1 - MIDDEN - TS -	1,35
			STR 1 - [pos]	
			BG14i - BM1 - MIDDEN - TS -	1,35
			STR 1 - [pos]	
			BG20 - Maaiveld belasting	1,35
			wand 1	
			BG21 - Maaiveld belasting	1,35
			wand 2	
			BG25 - Temperatuur - stijging	0,45
			BG26 - Temperatuur - daling	0,45
ULS7		Omhullende - uiterst	BG1 - EG	1,30
			BG2 - RB - ODG	1,30
			BG3a - Gronddruk GLG	1,30
			BG3c - Waterdruk GLG	1,30
			BG10 - BM1 - RAND - UDL	1,08
			BG11 - BM1 - MIDDEN - UDL	1,08
			BG12a - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG12b - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG12c - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG12d - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG12e - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG12f - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG12g - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG12h - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG12i - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG13a - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 2 - [pos]	
			BG13b - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 2 - [pos]	
			BG13c - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 2 - [pos]	
			BG13d - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 2 - [pos]	
			BG13e - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 2 - [pos]	
			BG13f - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 2 - [pos]	
			BG13g - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 2 - [pos]	
			BG13h - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 2 - [pos]	
			BG13i - BM1 - RAND - TS -	1,08

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
			STR 2 - [pos]	
			BG14a - BM1 - MIDDEN - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG14b - BM1 - MIDDEN - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG14c - BM1 - MIDDEN - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG14d - BM1 - MIDDEN - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG14e - BM1 - MIDDEN - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG14f - BM1 - MIDDEN - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG14g - BM1 - MIDDEN - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG14h - BM1 - MIDDEN - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG14i - BM1 - MIDDEN - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG20 - Maaiveld belasting	1,08
			wand 1	
			BG21 - Maaiveld belasting	1,08
			wand 2	
			BG25 - Temperatuur - stijging	0,45
			BG26 - Temperatuur - daling	0,45
ULS8		Omhullende - uiterst	BG1 - EG	1,20
			BG2 - RB - ODG	1,20
			BG3a - Gronddruk GLG	1,20
			BG3c - Waterdruk GLG	1,20
			BG10 - BM1 - RAND - UDL	1,08
			BG11 - BM1 - MIDDEN - UDL	1,08
			BG12a - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG12b - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG12c - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG12d - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG12e - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG12f - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG12g - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG12h - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG12i - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG13a - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 2 - [pos]	
			BG13b - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 2 - [pos]	
			BG13c - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 2 - [pos]	
			BG13d - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 2 - [pos]	
			BG13e - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 2 - [pos]	
			BG13f - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 2 - [pos]	
			BG13g - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 2 - [pos]	
			BG13h - BM1 - RAND - TS -	1,08
			STR 2 - [pos]	
			BG13i - BM1 - RAND - TS -	1,08

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
			STR 2 - [pos]	
			BG14a - BM1 - MIDDEN - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG14b - BM1 - MIDDEN - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG14c - BM1 - MIDDEN - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG14d - BM1 - MIDDEN - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG14e - BM1 - MIDDEN - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG14f - BM1 - MIDDEN - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG14g - BM1 - MIDDEN - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG14h - BM1 - MIDDEN - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG14i - BM1 - MIDDEN - TS -	1,08
			STR 1 - [pos]	
			BG20 - Maaiveld belasting	1,08
			wand 1	
			BG21 - Maaiveld belasting	1,08
			wand 2	
			BG25 - Temperatuur - stijging	1,50
			BG26 - Temperatuur - daling	1,50
SLS1		Omhullende - bruikbaarheid	BG1 - EG	1,00
			BG2 - RB - ODG	1,00
			BG3a - Gronddruk GLG	1,00
			BG3c - Waterdruk GLG	1,00
			BG20 - Maaiveld belasting	0,80
			wand 1	
			BG21 - Maaiveld belasting	0,80
			wand 2	
SLS2		Omhullende - bruikbaarheid	BG1 - EG	1,00
			BG2 - RB - ODG	1,00
			BG3b - Gronddruk GHG	1,00
			BG3c - Waterdruk GLG	1,00
			BG3d - Waterdruk Variabel	1,00
			deel	
SLS3		Omhullende - bruikbaarheid	BG1 - EG	1,00
			BG2 - RB - ODG	1,00
			BG3b - Gronddruk GHG	1,00
			BG3c - Waterdruk GLG	1,00
			BG3d - Waterdruk Variabel	1,00
			deel	
			BG20 - Maaiveld belasting	0,80
			wand 1	
			BG21 - Maaiveld belasting	0,80
			wand 2	
SLS4		Omhullende - bruikbaarheid	BG1 - EG	1,00
			BG2 - RB - ODG	1,00
			BG3a - Gronddruk GLG	1,00
			BG3c - Waterdruk GLG	1,00
			BG10 - BM1 - RAND - UDL	0,80
			BG11 - BM1 - MIDDEN - UDL	0,80
			BG12a - BM1 - RAND - TS -	0,80
			STR 1 - [pos]	
			BG12b - BM1 - RAND - TS -	0,80
			STR 1 - [pos]	
			BG12c - BM1 - RAND - TS -	0,80
			STR 1 - [pos]	
			BG12d - BM1 - RAND - TS -	0,80
			STR 1 - [pos]	
			BG12e - BM1 - RAND - TS -	0,80
			STR 1 - [pos]	
			BG12f - BM1 - RAND - TS -	0,80

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
			STR 1 - [pos]	
			BG12g - BM1 - RAND - TS -	0,80
			STR 1 - [pos]	
			BG12h - BM1 - RAND - TS -	0,80
			STR 1 - [pos]	
			BG12i - BM1 - RAND - TS -	0,80
			STR 1 - [pos]	
			BG13a - BM1 - RAND - TS -	0,80
			STR 2 - [pos]	
			BG13b - BM1 - RAND - TS -	0,80
			STR 2 - [pos]	
			BG13c - BM1 - RAND - TS -	0,80
			STR 2 - [pos]	
			BG13d - BM1 - RAND - TS -	0,80
			STR 2 - [pos]	
			BG13e - BM1 - RAND - TS -	0,80
			STR 2 - [pos]	
			BG13f - BM1 - RAND - TS -	0,80
			STR 2 - [pos]	
			BG13g - BM1 - RAND - TS -	0,80
			STR 2 - [pos]	
			BG13h - BM1 - RAND - TS -	0,80
			STR 2 - [pos]	
			BG13i - BM1 - RAND - TS -	0,80
			STR 2 - [pos]	
			BG14a - BM1 - MIDDEN - TS -	0,80
			STR 1 - [pos]	
			BG14b - BM1 - MIDDEN - TS -	0,80
			STR 1 - [pos]	
			BG14c - BM1 - MIDDEN - TS -	0,80
			STR 1 - [pos]	
			BG14d - BM1 - MIDDEN - TS -	0,80
			STR 1 - [pos]	
			BG14e - BM1 - MIDDEN - TS -	0,80
			STR 1 - [pos]	
			BG14f - BM1 - MIDDEN - TS -	0,80
			STR 1 - [pos]	
			BG14g - BM1 - MIDDEN - TS -	0,80
			STR 1 - [pos]	
			BG14h - BM1 - MIDDEN - TS -	0,80
			STR 1 - [pos]	
			BG14i - BM1 - MIDDEN - TS -	0,80
			STR 1 - [pos]	
			BG20 - Maaiveld belasting wand 1	0,80
			BG21 - Maaiveld belasting wand 2	0,80
			BG25 - Temperatuur - stijging	0,30
			BG26 - Temperatuur - daling	0,30
SLS5		Omhullende - bruikbaarheid	BG1 - EG	1,00
			BG2 - RB - ODG	1,00
			BG3a - Gronddruk GLG	1,00
			BG3c - Waterdruk GLG	1,00
			BG10 - BM1 - RAND - UDL	0,40
			BG11 - BM1 - MIDDEN - UDL	0,40
			BG12a - BM1 - RAND - TS -	0,40
			STR 1 - [pos]	
			BG12b - BM1 - RAND - TS -	0,40
			STR 1 - [pos]	
			BG12c - BM1 - RAND - TS -	0,40
			STR 1 - [pos]	
			BG12d - BM1 - RAND - TS -	0,40
			STR 1 - [pos]	
			BG12e - BM1 - RAND - TS -	0,40
			STR 1 - [pos]	
			BG12f - BM1 - RAND - TS -	0,40

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
			STR 1 - [pos]	
			BG12g - BM1 - RAND - TS -	0,40
			STR 1 - [pos]	
			BG12h - BM1 - RAND - TS -	0,40
			STR 1 - [pos]	
			BG12i - BM1 - RAND - TS -	0,40
			STR 1 - [pos]	
			BG13a - BM1 - RAND - TS -	0,40
			STR 2 - [pos]	
			BG13b - BM1 - RAND - TS -	0,40
			STR 2 - [pos]	
			BG13c - BM1 - RAND - TS -	0,40
			STR 2 - [pos]	
			BG13d - BM1 - RAND - TS -	0,40
			STR 2 - [pos]	
			BG13e - BM1 - RAND - TS -	0,40
			STR 2 - [pos]	
			BG13f - BM1 - RAND - TS -	0,40
			STR 2 - [pos]	
			BG13g - BM1 - RAND - TS -	0,40
			STR 2 - [pos]	
			BG13h - BM1 - RAND - TS -	0,40
			STR 2 - [pos]	
			BG13i - BM1 - RAND - TS -	0,40
			STR 2 - [pos]	
			BG14a - BM1 - MIDDEN - TS -	0,40
			STR 1 - [pos]	
			BG14b - BM1 - MIDDEN - TS -	0,40
			STR 1 - [pos]	
			BG14c - BM1 - MIDDEN - TS -	0,40
			STR 1 - [pos]	
			BG14d - BM1 - MIDDEN - TS -	0,40
			STR 1 - [pos]	
			BG14e - BM1 - MIDDEN - TS -	0,40
			STR 1 - [pos]	
			BG14f - BM1 - MIDDEN - TS -	0,40
			STR 1 - [pos]	
			BG14g - BM1 - MIDDEN - TS -	0,40
			STR 1 - [pos]	
			BG14h - BM1 - MIDDEN - TS -	0,40
			STR 1 - [pos]	
			BG14i - BM1 - MIDDEN - TS -	0,40
			STR 1 - [pos]	
			BG20 - Maaiveld belasting wand 1	0,40
			BG21 - Maaiveld belasting wand 2	0,40
			BG25 - Temperatuur - stijging	0,80
			BG26 - Temperatuur - daling	0,80
PERM		Lineair - BGT	BG1 - EG	1,00
			BG2 - RB - ODG	1,00
			BG3a - Gronddruk GLG	1,00
			BG3c - Waterdruk GLG	1,00

4.3. Resultaatklassen

Naam	Lijst
Alle ULS	ULS1 - Omhullende - uiterst
	ULS2 - Omhullende - uiterst
	ULS3 - Omhullende - uiterst
	ULS4 - Omhullende - uiterst
	ULS5 - Omhullende - uiterst
	ULS6 - Omhullende - uiterst
	ULS7 - Omhullende - uiterst
	ULS8 - Omhullende - uiterst
Alle SLS	SLS1 - Omhullende - bruikbaarheid

Naam	Lijst
	SLS2 - Omhullende - bruikbaarheid
	SLS3 - Omhullende - bruikbaarheid
	SLS4 - Omhullende - bruikbaarheid
	SLS5 - Omhullende - bruikbaarheid
	PERM - Lineair - BGT