

2015•2016
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterproef

Stabiliteitsoptimalisatie van stalen skeletstructuur voor modulaire units

Promotor :
Prof. dr. ir. Herve DEGEE

Promotor :
ing. MARK BROUWERS

Sam Gielkens , Olivier Vanrijkel

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Gezamenlijke opleiding Universiteit Hasselt en KU Leuven

2015•2016
Faculteit Industriële
ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterproef

Stabiliteitsoptimalisatie van stalen skeletstructuur
voor modulaire units

Promotor :
Prof. dr. ir. Herve DEGEE

Promotor :
ing. MARK BROUWERS

Sam Gielkens , Olivier Vanrijkel
*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële
wetenschappen: bouwkunde*

Woord vooraf

Deze masterproef is geschreven in het kader van onze opleiding Industrieel Ingenieur Bouwkunde aan de Universiteit Hasselt. Het schrijven van deze scriptie was een leerrijke ervaring en heeft ons meer inzicht gegeven in het gebruik van dunwandige profielen.

Voor het tot stand komen van deze masterproef zouden wij graag enkele mensen willen bedanken.

In eerste plaats willen wij graag CBZ nv bedanken voor het mogelijk maken van deze masterproef. Hiervoor danken wij in het bijzonder ing. Brouwers M. voor de vrijgemaakte tijd en zijn rol als promotor voor het opvolgen van deze thesis.

Daarnaast willen wij graag onze interne promotor bedanken. Namelijk prof. dr. ir. Hervé Degée voor zijn raadgevingen, adviezen en eerlijke feedback om deze thesis tot een goed eind te brengen.

Inhoudsopgave

Abstract	9
Abstract in English	11
1 Inleiding	13
1.1 Situering	13
1.2 Probleemstelling.....	13
1.3 Doelstelling	14
2 Omkadering	15
2.1 Classificatie tot koudgevormde dunwandige profielen (Klasse 4)	15
2.2 Toepassingsgebied en voordelen	16
2.2.1 Keuze van CBZ voor dit type profiel.....	17
2.2.2 Productieproces	18
2.2.3 Vormgeving profielen.....	19
3 Handberekening	21
3.1 Algemene gegevens.....	21
3.2 Lastendaling	22
3.2.1 Berekening van de dakelementen.....	22
3.2.2 Berekening van de kolom	23
3.3 Berekening van de profielen	24
3.3.1 Berekenen profiel dakstructuur	24
3.3.2 Berekenen profiel kolommen	25
3.3.3 Berekenen profiel chassisbalk	27
3.4 Besluit handberekening.....	28
4 Softwareberekeningen	29
4.1 Huidige toestand modelleren	29
4.1.1 Algemene randvoorwaarden	29
4.1.2 Resultaten huidige situatie	31
4.1.3 Besluit huidig model	34
4.2 Het nieuwe concept modelleren.....	34
4.2.1 Bijkomende/gewijzigde randvoorwaarden.....	34
4.2.2 Resultaten nieuw model	36

5	Boutverbindingen	41
5.1	Bevestigingsmateriaal 'monobolts'	41
5.2	Individuele en samengestelde profielen	42
5.2.1	Verbinding chassisbalk-bodemdwarsligger	42
5.2.2	Chassisbalk	43
5.2.3	Verbinding kolom – chassisbalk	44
5.2.4	Kolom	44
5.2.5	Verbinding dakbalk – dakdwarsliggers	44
5.2.6	Dwarsliggers	45
5.2.7	Dakbalk	45
5.3	IDEA Connection	46
5.4	Handberekeningen verbindingen	49
5.4.1	Verbinding dakbalk – dwarsbalk dak	49
5.4.2	Verbinding chassisbalk - dwarsbalk bodem	49
5.4.3	Verbinding kolom – kolom	50
6	Besluit	51
	Literatuurlijst	53
	Bijlagen	54
	Bijlage A: Maximale breedte-dikte verhoudingen voor op druk belaste onderdelen	54
	Bijlage B: Berekeningsrapport-Unit 6x3 Standaard Rekenmodel	57
	Bijlage C: Berekeningsrapport-Unit 6x3 2 units Rekenmodel	70
	Bijlage D: Berekeningsrapport-Unit 6x3 nieuwe profielen Rekenmodel	79
	Bijlage E: Specificaties 'monobolt'	88

Lijst van tabellen

Tabel 1: Resultaat dwarsbalk niet-OK.....	32
Tabel 2: Resultaat dwarsbalk OK	32
Tabel 3: Resultaten definitief Sigma profiel	39
Tabel 4: Torsieknikweerstand kolom	39
Tabel 5: Snedekrachten	47
Tabel 6: Ongebalanceerde krachten	47
Tabel 7: Ingegeven lasten	48
Tabel 8: Controleberekening bouten	48
Tabel 9: Gegevens monobolts	49

Lijst van figuren

Figuur 1: Permanent schoolgebouw met Warsco Units [1]	13
Figuur 2: Veel voorkomende koudgevormde profielen [2]	16
Figuur 3: Staalskeletbouw [5]	17
Figuur 4: Koudrollen van stalen profielen [6]	18
Figuur 5: Zetbank [7]	18
Figuur 7: C-Profiel [9]	19
Figuur 6: Sigma-profiel [8]	19
Figuur 8: Belasting eigengewicht dak	22
Figuur 9: Belasting bovenliggende unit.....	23
Figuur 10: Illustratie kolom	23
Figuur 11: Belastingen kolom.....	25
Figuur 12: Formule moment berekenen.....	27
Figuur 13: Belastingen op chassisbalk	27
Figuur 14: Model bestaande toestand.....	30
Figuur 15: U - profiel steunpunt	30
Figuur 16: Illustratie vaste verbindingen	31
Figuur 17: Positie dwarsbalk	31
Figuur 18: Unit met bijkomende middenkolom	33
Figuur 19: Momentenlijn middenkolom.....	33
Figuur 20: Kolomprofiel.....	35
Figuur 21: Profiel chassisbalk	35
Figuur 22: I-profiel uit U100x20x1.....	36
Figuur 23: Profiel met brede bovenflens	37
Figuur 24: Sigma profiel 1	37
Figuur 25: Verschillende Sigma profielen	38
Figuur 26: Definitief Sigma profiel	38
Figuur 27: Model nieuw concept	40
Figuur 28: Montageproces monobolt [11]	41
Figuur 29: Trekpenafzuiger [12].....	42
Figuur 30: Verbinding chassisbalk-bodemdwarsligger.....	42
Figuur 31: Verbinding bodemchassis	43
Figuur 32: Verbinding kolom - chassisbalk	44
Figuur 33: Verbinding dakbalk - dakdwarsligger	44
Figuur 34: Geschrinkt patroon.....	45
Figuur 35: Positionering bouten bodemchassis	47
Figuur 36: Positionering hoekprofielen	48

Abstract

CBZ nv te Zutendaal, onderdeel van Warsco Units, is een constructiebedrijf dat modulaire units produceert. Het doel van deze masterproef is om het stalen frame van dergelijke units volgens een nieuw concept te dimensioneren en te optimaliseren.

De units worden aan uiterste maten geproduceerd waardoor uitzonderlijk vervoer van toepassing is. De financiële kost die dit met zich meebrengt, beperkt Warsco Units om zich op de internationale markt aan te bieden. Door de units demonteerbaar te maken kan men hieraan toch een oplossing bieden. Hiervoor kiest CBZ voor een eigen productie van koudgevormde dunwandige profielen en worden de gelaste verbindingen vervangen door boutverbindingen.

Om de units te kunnen produceren volgens het nieuwe concept moeten de profielen berekend worden op basis van de Europese Norm 1993-1-3. In deze masterproef wordt er voor de berekeningen beroep gedaan op een eindige elementen software pakket, genaamd RFEM. Als resultaat is er een unit gekomen die aan alle normen en vooropgestelde eisen voldoet.

Abstract in English

CBZ located at Zutendaal, part of Warsco Units, is a construction company that produces modular units. The purpose of this master's thesis is to dimension and optimize the steel frame of such units according to a new concept.

The units are manufactured to extreme measures which apply exceptional transport. The financial cost that this entails limited Warsco Units to participate in the international market. By making the units disassembled it yet can offer a solution. For this, CBZ chooses its own production of cold-formed thin-walled profiles and the welded joints are replaced by bolts.

To produce the units according to the new concept, the profiles should be calculated based on the European Standard 1993-1-3. For the calculations in this master's thesis is chosen for a finite element software package called RFEM. As a result, a unit that meets all the standards and requirements is obtained.

1 Inleiding

1.1 Situering

De masterproef beschreven in deze thesis is in samenwerking met het bedrijf CBZ (Constructie bedrijf Zutendaal) te Zutendaal. De opdracht bestaat eruit om modulaire units te dimensioneren en mogelijk later ook te optimaliseren.

CBZ nv is een onderdeel van Warsco Units te Genk. Warsco Units splitst zijn activiteiten in drie deelgroepen: constructie, verkoop/verhuur en transport van de units. CBZ is het bedrijf dat instaat voor de productie van de units. Ze zijn een volledig zelfstandig bedrijf dat tevens ook op een andere locatie is gevestigd dan Warsco Units zelf.

De units worden gebruiksklaar geproduceerd voor verschillende doelgroepen. Zo zijn er units voor scholen, bedrijfsgebouwen, bouwsector, industrie, zorgsector, eventsector en speciale toepassingen. Een speciale toepassing kan zijn: een machine kamer, een operatiekamer voor een ziekenhuis of een coördinatie-unit (CP-OPS) voor de hulpdiensten. Afhankelijk van de doelgroep zijn de units nog te onderscheiden in hun uitvoeringswijze. Zo kan men de keuze maken uit een standaardmodel, luxemodel en een bouwwagen. In tegenstelling met wat de meeste mensen denken staan de units nu ook meer en meer in als permanente accommodaties [1].



Figuur 1: Permanent schoolgebouw met Warsco Units [1]

De hoofdzaak van onze opdracht bestaat eruit om het framework van een unit te berekenen volgens de norm, meer bepaald EN 1993-1-3 [2]. Eerder werden de units samengesteld met profielen die mogelijk over- of ondergedimensioneerd waren. Men berustte zich vooral op ervaring en basisberekeningen voor de keuze van de profielen.

In een tweede stadium van onze masterproef zullen we de units gaan optimaliseren. Hiervoor moeten we een nieuwe vormgeving voor bepaalde profielen dimensioneren en het frame van de units demonteerbaar maken.

1.2 Probleemstelling

Voor de eerste opdracht, het berekenen van het framework, botsen we op het volgende probleem. Er is een onderdeel in de Eurocode, namelijk EN 1993-1-3: Aanvullende regels voor koudgevormde profielen en platen, dat de berekeningsmethodiek van koudgevormde dunwandige profielen omschrijft. De berekeningsmethode voor dergelijke profielen is zeer complex en staat nog niet helemaal op punt. Dit zorgt ervoor dat er geen eenduidige oplossing bestaat voor het berekenen van de profielen en er ook een onzekerheid bestaat of de gebruikte rekenmethodiek wel correct is. We trachten de huidige situatie (opbouw frame) te berekenen volgens Eurocode 3 met ondersteuning van uitgewerkte voorbeelden.

Het tweede probleem vormt zich bij het transport van de units. De units worden vaak aan uiterste maten samengesteld zodat ze nog net vervoerbaar zijn. Uiteraard gebeurt dit dan via uitzonderlijk vervoer. Omdat dit speciaal transport financieel zeer zwaar doorweegt op de kostprijs zorgt dit ervoor dat Warsco units beperkt is in hun verkoop tot een straal van 300km. Om hierin een oplossing te bieden en internationaal te kunnen verkopen wordt er ons gevraagd om de units demonteerbaar te maken. Dit heeft als gevolg dat het volledig gelaste framework nu zal worden samengesteld door boutverbindingen. Deze verbindingen dienen wij te dimensioneren. Bijkomend kan men nu de anticorrosiebehandeling achterwege laten en een gegalvaniseerd framework toepassen, hierdoor zal het productieproces sneller verlopen. Het probleem dat zich bij deze opdracht voordoet is eveneens dat het zeer complex is om dergelijke berekeningen (boutverbindingen) uit te voeren voor koudgeformde dunwandige profielen.

1.3 Doelstelling

Onze doelstelling is om de berekeningen van de huidige situatie te doen volgens Eurocode 3 en als gevolg van deze resultaten mogelijk het framework te herdimensioneren. Hierbij zullen we vooral de eventueel overgedimensioneerde profielen aanpassen door een meer geoptimaliseerde maatvoering. Nadat we dit gedaan hebben trachten we om bepaalde profielen te vervangen door een profiel met een eigen vormgeving zodat men hierin een onderscheid kan maken met andere bedrijven en zo plagiaat wil voorkomen. In een laatste stap van onze masterproef moeten de nu gelaste verbindingen vervangen worden door boutverbindingen, deze dienen ook gedimensioneerd te worden volgens de toe te passen Eurocode.

Om de probleemstelling, complexe berekeningen, beter te begrijpen zullen we ons eerst informeren door bestaande literatuur door te nemen. Als tweede deel van de literatuurstudie zullen we trachten om de uitgewerkte voorbeelden van Eurocode 3 te begrijpen. Daarna zullen we telkens onze berekeningen van het frame laten berusten op de uitgewerkte voorbeelden van EN 1993-1-3.

Wanneer we een deel van de berekeningen hebben afgerond (deel frame of deel boutverbindingen) zullen we dit ook laten berekenen door een daarvoor bedoeld software programma. We gaan hiervoor gebruik maken van het programma RFEM. De keuze voor dit programma is ons opgelegd door CBZ omdat ze dit programma pas aankochten om ook uitgebreidere toepassingen te kunnen berekenen en meer nauwkeurige resultaten te bekomen. Om met dit programma te kunnen werken gaan we de nodige opleidingen volgen.

Na de softwareberekeningen kunnen we dan ook onze eigen berekeningen weerleggen en een besluit nemen. We zullen er dan vooral op toezien of de Eurocodemethodiek betrouwbaar is of niet.

2 Omkadering

In dit hoofdstuk zal de methodologie en denkwijze voor de berekening en de toepassingen van koudgevormde dunwandige profielen toegelicht worden. Als eerst volgt een uiteenzetting van wat men verstaat onder een dunwandigprofiel en hoe men deze classificeert. Vervolgens worden mogelijke toepassingen van dunwandige profielen toegelicht.

2.1 Classificatie tot koudgevormde dunwandige profielen (Klasse 4)

Wanneer structuren of gebouwen berekend worden dient dit altijd te gebeuren aan de hand van de genormeerde formules in de van toepassing zijnde Eurocode. De grondslag van het constructief ontwerpen is terug te vinden in Eurocode 0. De formules die van toepassing zijn voor het berekenen van staalstructuren zijn omvat in Eurocode 3.

In het geval van staalstructuren zijn veel berekeningsprocedures en te hanteren formules afhankelijk van de doorsnedeklasse. Het doel van de classificatie van de doorsnede is om na te gaan hoezeer de weerstand en de rotatiecapaciteit van een doorsnede zijn beperkt door de plooiweerstand [3]. Als eerste stap dient dus altijd de gebruikte doorsnede geclassificeerd te worden zodat de juiste formules gebruikt worden voor de verdere berekeningen. In Eurocode 3-1-1 paragraaf 5.5 [3] onderscheidt men 4 doorsnedeklassen:

- **Klasse 1** doorsneden (plastische doorsneden) zijn doorsneden waarin zich een plastisch scharnier kan vormen waarbij de rotatiecapaciteit voldoende is voor de plastische berekeningen zonder weerstandsverlies;
- **Klasse 2** doorsneden (gedrongen doorsneden) zijn doorsneden waar het plastisch moment kan worden bereikt, doch met beperkte rotatiecapaciteit door lokaal plooiën;
- **Klasse 3** doorsneden (semi-gedrongen doorsneden) zijn doorsneden waar het elastische moment kan worden bereikt, doch lokaal plooiën verhindert de ontwikkeling van het plastisch moment;
- **Klasse 4** doorsneden (slanke doorsneden) zijn doorsneden waar lokaal plooiën zal optreden voor het bereiken van de vloeigrens in één of meerdere delen van de doorsnede.

Wanneer een doorsnede belast wordt kan de doorsnede gedeeltelijk of volledig aan een drukspanning onderhevig zijn. Delen die onderhevig zijn aan een drukspanning kunnen bezwijken aan knik en/of aan lokaal plooiën. De doorsneden wordt daarom opgedeeld in verschillende delen, zodat deels of volledig gedrukte delen en delen onderhevig aan trekspanning afzonderlijk geclassificeerd kunnen worden. Dus de flenzen en de lijfplaat worden bijvoorbeeld elk afzonderlijk beschouwd. Er is ook een onderscheid tussen inwendige en uitwendige plaatdelen.

De classificatie dient correct te gebeuren en is zeker noodzakelijk omdat de te hanteren profieieigenschappen ervan afhankelijk zijn. Wanneer een doorsnede geclassificeerd is in klasse 1 of klasse 2 dient men te rekenen met het plastische weerstandsmoment (W_{pl}) van de doorsneden. Bij elementen van klasse 3 wordt er gerekend met het elastische weerstandsmoment (W_{el}). Een klasse 4 doorsnede bevindt zich ook in het elastische gebied maar de weerstand wordt hier bepaald door de lokale instabiliteit van de lijfplaat of de flens. Daarom wordt de doorsnede gereduceerd en wordt er gerekend met de effectieve doorsnedekarakteristieken (W_{eff}). De reductie vindt altijd plaats in de gedrukte zone van het plaatdeel en dient berust te zijn op tabel 4.1 en 4.2 uit Eurocode 3-1-5 [4].

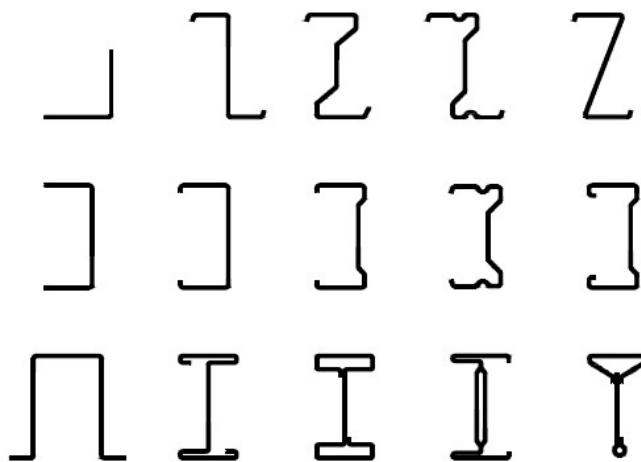
De classificatie van de doorsneden berust op de slankheid van het profiel. De slankheid wordt bepaald door de breedte/dikte verhouding van de op druk belaste plaatdelen. Het op druk belaste plaatdeel omvat elk plaatdeel dat onder de beschouwde belastingscombinatie ofwel volledig ofwel gedeeltelijk op druk belast is. De verschillende

op druk belaste plaatdelen van een doorsnede (zoals een lijf of een flens) kunnen in verschillende klassen zijn onderverdeeld. De doorsnede wordt ingedeeld bij die klasse die overeenkomt met de hoogste klasse van de op druk belaste plaatdelen. De tabel waarmee de classificatie dient te gebeuren kan u terugvinden in bijlage A. Een voorbeeld van de af te toetsen slankheid is als volgt gegeven.

$$c/t \leq 42\varepsilon \text{ met } \varepsilon = \sqrt{235/f_y} \quad (1)$$

2.2 Toepassingsgebied en voordelen

Over heel de wereld kunnen toepassingen van dunwandige koudgevormde profielen teruggevonden worden, zowel in bouwkundige constructies zoals industriële gebouwen, loodsen en stallen alsook in niet-bouwkundige constructies waaronder magazijnrekken of onderstellen van voertuigen en bijhorende werktuigen. Figuur 2 weergeeft enkele veel voorkomende dunwandige profielen. Veel voorkomend zijn de Zed- en Sigma-profielen.



Figuur 2: Veel voorkomende koudgevormde profielen [2]

Een belangrijk voordeel van dit type profiel is dat de dwarsdoorsnede meestal tot een maximum geoptimaliseerd is waardoor de doorbuiging en het draagvermogen optimaal zijn bij gebruik van een minimum aan staalverbruik. Dit heeft als gevolg dat er wordt toegespitst op de toenemende materiaalkost en het uitputten van de grondstoffen.

Wanneer we de toetsing voor de keuze van dit type profiel meer vanuit praktisch oogpunt bekritisieren is er een groot voordeel te onderscheiden dat zich terugvindt bij het montageproces. Voor constructies die gebruik maken van dunwandige profielen is de montage voor de arbeiders minder arbeidsintensief omdat de profielen minder wegen dan in sterkte gelijkgestelde alternatieve profielen. Ditzelfde voordeel weegt ook sterk door bij het dimensioneren van stapelrekken. Bij deze constructies zal de verhouding van gewicht per oppervlakte groot zijn waardoor men zoveel mogelijk wilt besparen in de constructie zodat men meer opslagcapaciteit heeft. De keuze voor alternatieve profielen leidt ook tot een robuuste constructie en een minder efficiënt gebruik van de te benutten ruimte.

Een bijkomend voordeel is dat wanneer men met dunwandige profielen werkt, er in de staalbouw veel gebruik gemaakt kan worden van prefabricage. Zo kunnen bijvoorbeeld volledig samengestelde wanddelen op de werf aangevoerd worden. Hierdoor wordt er tijd bespaard op de werf en is het totale bouwproces van kortere duur. Omdat de profielen relatief licht zijn uitgevoerd zijn aanpassingen op de werf gemakkelijk realiseerbaar. Ook zullen de transportkosten sterk afnemen omdat men minder gewicht moet vervoeren en ook meer materialen kan vervoeren per vracht. Zie figuur 3 voor een staalskeletbouw en toepassing van prefabricage.



Figuur 3: Staalskeletbouw [5]

2.2.1 Keuze van CBZ voor dit type profiel

Momenteel worden de chassis van de units die men produceert bij CBZ volledig samengesteld als een gelaste constructie. Dit heeft een grote arbeidskost tot gevolg omdat men hiervoor gecertificeerde lassers moet tewerkstellen. Om deze grote kost te elimineren wil men overschakelen naar dunwandige profielen zodat men gebruik kan maken van boutverbindingen en op die manier het lasproces uit de productiecyclus kan halen. Bijkomend geeft het gebruik van boutverbindingen hen de mogelijkheid om units te produceren die volledig demonteerbaar zijn waardoor de units aan een lagere kost over een grote afstand getransporteerd kunnen worden. Hierdoor kan CBZ zijn marktafzet vergroten.

Een tweede argument berust op het feit dat bij gebruik van de koudgevormde dunwandige profielen er gekozen kan worden voor gegalvaniseerde profielen. Dit is een groot voordeel omdat in combinatie met de boutverbindingen ook de zware kostenpost van het poederlakken uitgesloten kan worden.

Een laatste beslissingsparameter steunt op het feit dat wanneer ze gebruik zullen maken van dit type profiel het productieproces van de profielen op eigen site kan gebeuren. Door een relatief beperkte investering in de van toepassing zijnde machines is het mogelijk om de profielen zelf te produceren. Met de productie in eigen beheer zorgen ze ervoor dat ze onafhankelijk worden van derden en dat ze de profielen kunnen dimensioneren naar eigen behoefte. Ook kunnen ze zich op deze manier onderscheiden van anderen en mogelijk een patent nemen op hun constructiewijze.

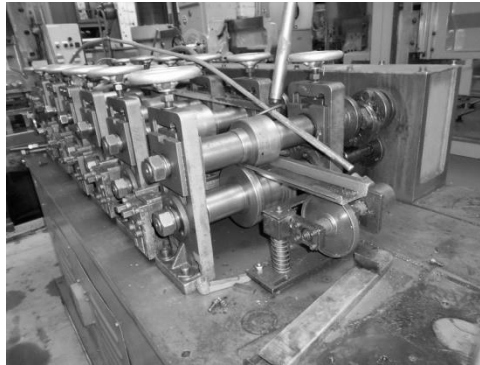
2.2.2 Productieproces

Koudgevormde profielen worden vervaardigd uit koud- of warmgewalste staalplaat. Deze staalplaat wordt op rollen (coils) geleverd en kan al dan niet voorzien zijn van een corrosiewerende beschermlaag. De gewenste profielvorm wordt verkregen door het koudrollen of zetten van de staalplaat. Het grootste verschil tussen deze twee methodes is dat koudrollen een continue proces is, terwijl het zetten op een plooi bank gebeurt.

Voor het koudrollen van stalen profielen wordt er begonnen met de staalplaat afkomstig van de coils op de gewenste breedte te snijden.

In de volgende stap van het proces zal het ponsen van de nodige springen in de staalplaat aan bod komen. Het is belangrijk om het ponsen uit te voeren voor het rollen van de plaat. Omdat de lijven van bepaalde profielen loodrecht op elkaar staan zal er anders in verticale en horizontale richting een ponsbeweging nodig zijn. Bijkomend dient het profiel ter plaatse van de ponsbewerking ondersteund te worden. Hierdoor is het ponsen na het profileren zowel praktisch ongunstig als economisch onrendabel.

De derde stap van het koudrollen betreft het rollen van de staalplaat. Hiervoor wordt de staalplaat doorheen profileringsrollen geleid en zal het zijn gewenste vorm bekomen (zie figuur 3). In de laatste fase wordt het profiel op de gewenste lengte geknipt met behulp van een dubbele knipbeweging om het profiel zo weinig mogelijk te vervormen.



Figuur 4: Koudrollen van stalen profielen [6]

Het zetten, ook wel persen van de staalplaat genoemd, verloopt volgens een ander productieproces. Tijdens dit proces zal de staalplaat afkomstig van de coil eerst op de juiste lengte geknipt worden. Vervolgens zal ook bij het persproces in de tweede fase het ponsen van de springen plaatsvinden. In de laatste stap zal aan de staalplaat door middel van een plooi bank de gewenste vormgeving gegeven worden.



Figuur 5: Zetbank [7]

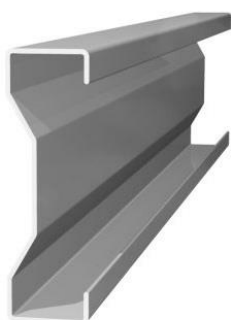
Een zeker niet te verwaarlozen aandachtspunt zijn de onbehandelde snij- en ponsvlakken. Door in eerste instantie de staalplaat zowel in breedte als in lengte op de gewenste maat te snijden zullen deze snijvlakken niet voorzien zijn van een corrosiewerende beschermlaag. Deze onbeschermden snijvlakken ontstaan ook bij iedere ponsbewerking. Echter wanneer de plaat niet te dik is zal het onbehandelde oppervlak toch een beschermlaag verkrijgen door een continue actieve chemische reactie van de aangrenzende wel behandelde oppervlakken. Als de plaat te dik wordt zal de chemische activiteit niet meer voldoende sterk zijn om het onbehandelde oppervlak uit zichzelf te overbruggen. De keuze ligt dan bij de fabrikant van de geprofileerde profielen om deze vlakken al dan niet na te behandelen. In het geval van dunwandige profielen is dit dus niet nodig.

2.2.3 Vormgeving profielen

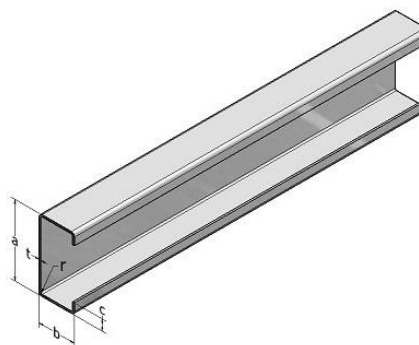
Veel voorkomende vormgevingen in het gamma van de dunwandige profielen waren reeds zichtbaar op figuur 2. De gekende C- en Sigma-profielen worden nu nader toegelicht. De keuze van de vormgeving is gegrond op enkele belangrijke parameters:

- de fabricage mogelijkheden;
- de kosten afhankelijk van de fabricage;
- de stabiliteitseisen waaraan het profiel moet voldoen;
- de invloed op de montage van de profielen.

Rekening houdend met deze invloeden blijkt het C- en Sigma-profiel hier het best uit te komen. Wanneer men de profielen inzet als toepassing van een koker valt de keuze meestal op het C-profiel. Dit zal meestal vrij rechthoekig gemaakt worden met een hoogte die niet veel groter is dan de breedte van het profiel. Een koker profiel dient vooral de normaalkrachten op te nemen en heeft daarom voldoende oppervlakte nodig. Als men een dunwandig profiel wil inzetten als balk zal het profiel vooral buigweerstand moeten hebben. Daarom zijn deze profielen vaak slanker, dus in verhouding hoger geprofileerd. Door de in verhouding hoge lijfplaat van dit profiel ontstaat er meer kans op lokaal plooiën. Om hieraan een oplossing te bieden wordt er vaak een 'inham' gemaakt in de lijfplaat waardoor de doorsnede minder plooi gevoelig is. Op deze manier bekomt men het Sigma-profiel (zie figuur 6). De korte stukjes plaat aan de 'rand' van de plaat (bij ontvouwing), aangeduid op figuur 7 met de letter 'c', die zowel bij het C- als Sigma-profiel terug te vinden zijn zorgen ervoor dat het profiel minder snel de neiging heeft om open te plooiën. Op figuur 7 ziet u het C-profiel met 'randverstijvers'.



Figuur 6: Sigma-profiel [8]



Figuur 7: C-Profiel [9]

3 Handberekening

In dit hoofdstuk zal er een handmatige berekening volgen. Het uitgangspunt voor al de berekeningen (dus ook in het software programma) is dat er op de unit van zes meter lang en drie meter breed zich een bovenliggende unit bevindt. De lastendaling zal een de hand van deze belasting en de normaal in acht te nemen belastingen volgens de grondslag van het constructief ontwerp beschreven in eurocode 0 gebeuren. Omdat het weinig zinvol zou zijn om elk profiel van de unit individueel te berekenen is er een selectie gebeurd van de te berekenen profielen. Er wordt een dakprofiel, een kolom en een onderste draagbalk uitgewerkt.

We zullen deze handberekeningen uitvoeren om een eerste feeling te krijgen met de orde grootte van de belastingen en om te controleren of de resultaten van de softwareberekeningen realistisch zijn of niet.

3.1 Algemene gegevens

Onderstaand volgt een opsomming van de gebruikte belastingen:

- De units worden toegepast als kantoorruimte. Hieruit volgt een gebruiksklasse B, voor deze klasse wordt er door de EC een vloerbelasting van $3,0 \text{ kN/m}^2$ opgelegd (EC 1 tabel 6.2);
- Het totale gewicht van één unit bedraagt $\pm 2500 \text{ kg} = 25 \text{ kN}$;
- Voor onderhoudswerken wordt er een dakbelasting van $0,4 \text{ kN/m}^2$ gehanteerd (EC 1 tabel 6.10);
- De sneeuwbelasting op het dak wordt m.b.v. EC 1-3 als volgt bepaald:

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k \quad (2)$$

Met: μ_i = sneeuwbelastingsvormcoëfficiënt: 0,8 voor platte daken
 s_k = karakteristieke waarde van sneeuwbelasting op de grond

Klimaatgebied: Centraal West

$$s_k = 0,164 * z - 0,082 + \frac{A}{966}$$

met: z = zonenummer: 4,5

A = hoogte van de locatie boven zeeniveau: 45 m

$$s_k = 0,164 * 4,5 - 0,082 + \frac{45}{966} = 0,7 \text{ kN/m}^2$$

C_e = blootstellingscoëfficiënt: 1,0

C_t = warmtecoëfficiënt: 1,0

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 0,7 = 0,56 \text{ kN/m}^2$$

- Voor de windbelasting wordt volgens EC 1-4, $0,5 \text{ kN/m}^2$ aangenomen, de wind zal in de handberekening staan op de korte zijde. In het software programma zal in verschillende belastingsgevallen de wind afwisselend op elke wand komen te staan;

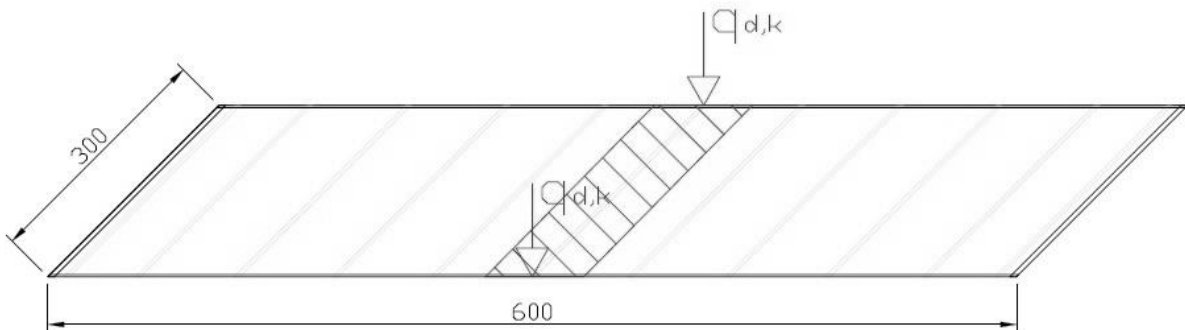
3.2 Lastendaling

Om het eigengewicht van de unit inclusief al het bekledingsmateriaal in rekening te brengen, passen we een verdeelsleutel toe die gebaseerd is op de oppervlakte van de verschillende wanddelen. Een afgewerkte unit van 6x3 m heeft gemiddeld een massa van 25 kN. De toepassing van deze verdeelsleutel wordt toegelicht in de verdere berekening.

3.2.1 Berekening van de dakelementen

Zoals eerder vermeld passen we een verdeelsleutel toe om het eigengewicht in rekening te brengen. Hiervoor wegen we telkenmaal de oppervlakte van het te beschouwen deel af ten opzichte van de totale oppervlakte aan wand-, vloer- en dakpanelen.

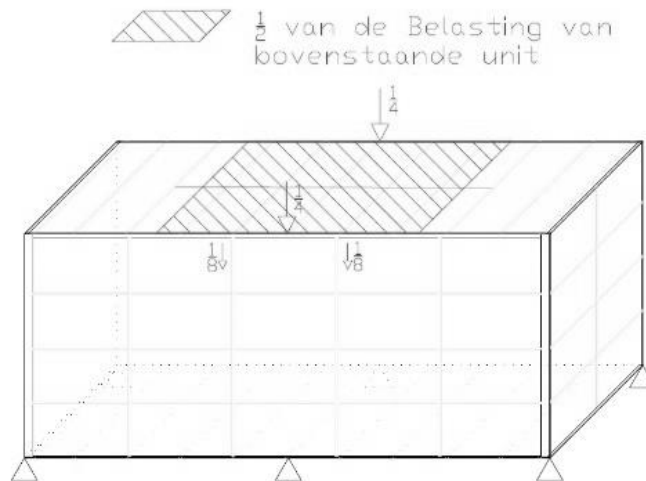
- Totaal oppervlak van de wand-, vloer- en dakpanelen: $2 * [(6 * 3) + (2,56 * 3) + (2,56 * 6)] = 82,62 \text{ m}^2$
- Nu volgt het gewicht van het dak procentueel ten opzichte van het totaal gewicht door middel van de oppervlakteverhouding:
 - Oppervlakte dak = $6 * 3 = 18 \text{ m}^2$
 - Eigengewicht dak = $\frac{18 \text{ m}^2}{82,62 \text{ m}^2} * 25 = 5,45 \text{ kN}$
- De belasting afgedragen naar de kolommen komende van het eigengewicht van het dak is te zien op figuur 8 en wordt als volgt berekend:
 - $q_{dak} = 1,35 * \frac{5,45 \text{ kN}}{18 \text{ m}^2} = 0,41 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
 - $q_{\frac{dak}{m}} = 0,41 * 0,595 = 0,24 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
(0.595m is de tussenafstand van de liggers)
 - $q_{dak \rightarrow kolom} = q_{d,k} = \frac{0,24 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 3\text{m}}{2} = 0,37 \text{ kN} = F_1$



Figuur 8: Belasting eigengewicht dak

3.2.2 Berekening van de kolom

Vervolgens wordt er verder gegaan met het berekenen van de meest belaste kolom. De bovenliggende unit steunt op 6 steunpunten, hierdoor zullen de hoekkolommen en de middelste kolommen het meest belast zijn. De belasting komende van het middelste steunpunt komt overeen met $\frac{1}{4}$ van de totale belasting. Omdat er geen kolom recht onder het middelpunt staat, wordt de belasting evenredig verdeeld over de twee dichtstbijzijnde kolommen. Er zal dus $\frac{1}{8}$ van de belasting afgedragen worden naar de meest belaste kolommen zoals te zien is in figuur 9.



Figuur 9: Belasting bovenliggende unit

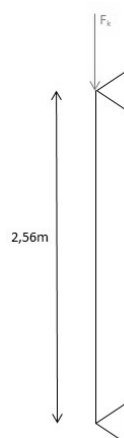
Berekening van de belasting op middelste kolommen:

$$- F_k = 2 * F_1 + \frac{1}{8} * (F_u + F_s + F_o) \text{ met } F_u: \text{unit}, F_s: \text{sneeuw en } F_o: \text{onderhoud}$$

$$F_k = 2 * 0,37 + \frac{1}{8} * [1,35 * 25 \text{ kN} + (1,5 * 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 1,5 * (0,7 + 0,4) \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}) * 18\text{m}^2]$$

$$F_k = 17,68 \text{ kN}$$

De belasting op de kolom F_k grijpt aan de bovenkant aan zoals figuur 10 weergeeft.



Figuur 10: Illustratie kolom

3.3 Berekening van de profielen

Nu de krachten die op de te berekenen profielen gekend zijn kunnen we controleren als de profielen voldoen.

3.3.1 Berekenen profiel dakstructuur

Als eerste stap dienen we de doorsnedeklasse te bepalen. Dit dienen we te doen a.d.h.v. de tabellen in bijlage A. Het profiel van de dakliggers bestaat uit een koker 60x30x2. Wanneer we voor dit profiel de doorsnede klasse willen bepalen dienen we de verhouding van de lengte van het te beschouwen plaatdeel van het profiel op de dikte ervan te vergelijken met een waarde uit de tabel in bijlage A. Deze waarden berusten op een bepaalde factor vermenigvuldigd met epsilon ϵ . Epsilon wordt bepaald door de vierkantswortel te nemen van het quotiënt van 235 en de vloeispanning van het staal f_y .

$$\epsilon = \sqrt{235/f_y} \quad (3)$$

We maken gebruik van staal 235 waardoor ϵ gelijk is aan 1.
Het aftoetsen van de doorsnede klasse gebeurt dan als volgt:

$$- \quad \frac{c}{t} = \frac{60}{2} = 30 < 72\epsilon \quad (4)$$

Dit heeft als gevolg dat we kunnen aannemen dat het profiel een klasse 1 doorsnede heeft.

Vervolgens bepalen we het optredende buigmoment waarvoor we het profiel dienen te dimensioneren waaruit we het weerstandbiedende moment kunnen bepalen. De belastingen die we opnemen in deze berekening zijn het eigengewicht van de unit, de sneeuwbelasting en het onderhoud. De waarden van deze berekening kunnen teruggevonden worden in voorgaande berekeningen.

$$- \quad \text{Belasting: } q = \left[0.41 \frac{kN}{m^2} + 1.5 * (0.7 + 0.4) kN/m^2 \right] * 0.595 m = 1.2257 kN/m$$

$$- \quad M = \frac{q * l^2}{8} = \frac{1.23 \frac{kN}{m} * 3^2 m}{8} = 1.37 kNm = 1370 Nm \quad (5)$$

$$- \quad \sigma = \frac{M}{W} \Rightarrow W = \frac{M * \gamma_{m0}}{\sigma} = \frac{1370 Nm * 1000 mm * 1}{235 N/mm^2} = 5867.71 mm^3 \quad (6)$$

Wanneer we deze waarden vergelijken met het maximum weerstandbiedende moment van het profiel opgegeven in de catalogen dan zien we dat het profiel niet voldoet volgens deze vereenvoudigde handberekening.

$$- \quad 5,02 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 < 5,87 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

3.3.2 Berekenen profiel kolommen

De kolommen bestaan uit een koker 40x40x1.5. Zoals eerder bepaald dienen we deze te controleren voor een verticale belasting van 17.68 kN. We kunnen de nodige oppervlakte van het profiel nu bepalen als volgt:

$$- F = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m0}} \Rightarrow A = \frac{F \cdot \gamma_{m0}}{f_y} = \frac{17680 \text{ N} \cdot 1}{235} = 75.234 \text{ mm}^2 \quad (7)$$

De kolommen moeten ook aan horizontale windbelasting kunnen weerstaan.

- Horizontale belasting (wind): 0,5 kN/m²
- Windkracht: $F_w = 0,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,15 \text{ m} \cdot 1,5 = 0,575 \text{ kN/m}$

$$- M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{0,575 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 2,56^2 \text{ m}}{8} = 0,47 \text{ kNm} \quad (5)$$

$$- W = \frac{M \cdot \gamma_{m0}}{\sigma} = \frac{470 \text{ Nm} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 1}{355 \text{ N/mm}^2} = 1323,94 \text{ mm}^3 \quad (8)$$

Een vereenvoudigde weergave van deze verticale en horizontale belastingen is weergegeven in figuur 11.

Eigenschappen profiel:

- koker 40x40x1.5

$$I_y = 6.94 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

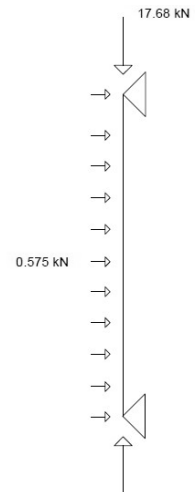
$$W_y = W_z = 3.47 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 4130 \text{ mm}^3$$

$$I_t = 11.30 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 6.94 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$A = 294 \text{ mm}^2$$



Figuur 11: Belastingen kolom

De eigenschappen van het profiel voldoen om bovenstaande belastingen op te nemen.

Er zal nu een uitgebreidere berekening volgen van het kolomprofiel waarbij er rekening wordt gehouden met de combinatie van verticale- en horizontale belasting en de gevoeligheid op knik van de kolom.

In eerste stap doen we een doorsnede klasse bepaling zoals eerder al verduidelijkt werd.

- Doorsnede klasse bepaling => Klasse 1
- Controle van de weerstand tegen de optredende belastingen:

$$N_{rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{294 \cdot 235}{1} = 69.09 \text{ kN} > 17.68 \text{ kN} \Rightarrow OK \quad (9)$$

$$M_{rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{4130 \cdot 235}{1} = 0.97 \text{ kNm} \quad (10)$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 6.94 \cdot 10^4}{2560^2} = 21.9482 \text{ kN} \quad (11)$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{294 \cdot 235}{21.95 \cdot 10^3}} = 1.77 \quad (12)$$

⇒ Bepalen van de kipcurve: $\frac{h}{b} = 1 \leq 2 \Rightarrow \text{curve } b \Rightarrow \alpha = 0.34$

$$\phi_y = 0.5 * [1 + \alpha_{LT} * (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,\theta}) + \beta * \lambda_{LT}^2] = 0.5 * [1 + 0.34 * (1.77 - 0.2) + 1 * 1.77^2] = 2.33 \quad (13)$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 + \lambda^2}} = \frac{1}{2.33 + \sqrt{2.33^2 - 1.77^2}} = 0.26 \quad (14)$$

Voor de z-richting bekomen we dezelfde resultaten als gevolg van de symmetrische profieldoorsnede.

$$C_{my} = 1 - 0.18 * \frac{N_{ed}}{N_{cr,y}} = 1 - 0.18 * \frac{17.68}{21.9482} = 0.855 \quad (15)$$

$$w_y = \frac{W_{pl}}{W_{el}} = 1.1902 \leq 1.5 \quad (16)$$

$$k_{yy} = 1 + (w_y - 1) * \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} * C_{my}^2 * \lambda_{max} - \frac{1.6}{w_y} * C_{my}^2 * \lambda_{max}^2 \right) * n_{pl} \right] \geq \frac{W_{el}}{W_{pl}} \quad (17)$$

$$= 1 + (1.1902 - 1) * \left[\left(2 - \frac{1.6}{1.1902} * 0.855^2 * 1.77 - \frac{1.6}{1.1902} * 0.855^2 * 1.77^2 \right) * \frac{17.68}{104.37} \right] = 0.909$$

$$k_{yz} = 1 + (w_z - 1) * \left[\left(2 - \frac{14 * C_{mz}^2 * \lambda_{max}^2}{w_z^5} \right) * n_{pl} \right]$$

$$= 1 + (1.1902 - 1) * \left[2 - \frac{14 * 0.855^2 * 1.77^2}{1.1902^5} * \frac{17.68}{104.37} \right] = 0.65 \quad (18)$$

Oplossen van de totale vergelijking:

$$\frac{N_{ed}}{\chi_y * N_{rd}} + \mu_y \left[\frac{C_{my} * M_{y,ed}}{\left(1 - \frac{N_{ed}}{N_{cr,y}} \right) * k_{yy} * M_{y,rd}} \right] \leq 1 \quad (19)$$

$$\frac{N_{ed}}{\chi_z * N_{rd}} + \mu_z \left[0.6 * \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} * \frac{C_{my} * M_{y,ed}}{\left(1 - \frac{N_{ed}}{N_{cr,y}} \right) * k_{yz} * M_{y,rd}} \right] \leq 1 \quad (20)$$

⇒ Solve ⇒ $M_{y,ed} = 69.9 \text{ Nm}$ en $M_{y,ed} = 53.81 \text{ Nm}$

⇒ $M_{y,ed} = 53.81 \text{ Nm} \leq 1.47 \text{ kNm} \Rightarrow OK$

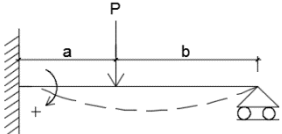
Kip komende van de wind moeten we niet in rekening brengen want $I_t \geq I_y$

We kunnen dus besluiten dat het profiel voor de kolommen voldoet om aan de op dit profiel onderworpen belastingen te kunnen weerstaan.

3.3.3 Berekenen profiel chassisbalk

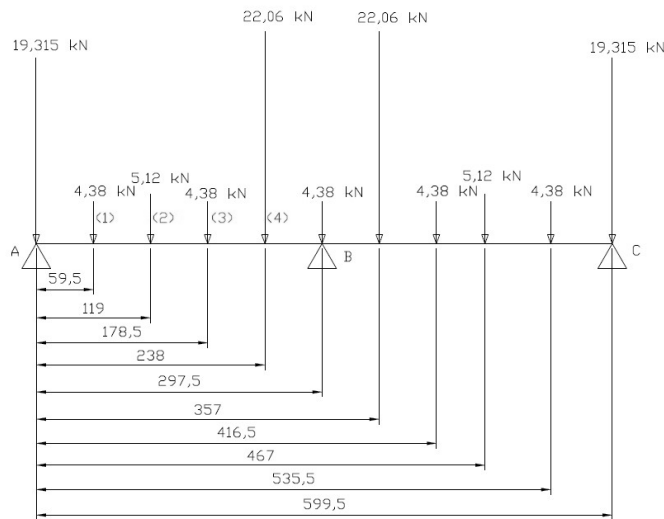
Om de chassisbalk te controleren bekijken we welke krachten er overal op aangrijpen en bepalen we het maximummoment dat optreedt door deze belastingen. Om het maximummoment te bepalen van deze balk op drie steunpunten mogen we voor de berekeningen de helft van deze balk beschouwen en dit aanzien als een balk die opgelegd is en ter hoogte van het middelste steunpunt ingeklemd is. Figuur 12 weergeeft dit model.

We kunnen vervolgens gebruik maken van de volgende formule:

$$- M_A = \frac{-P \cdot a \cdot b (l+b)}{2 \cdot l^2} \quad (21)$$


Figuur 12: Formule moment berekenen

Dit kan nu toegepast worden op de chassisbalk. Figuur 13 geeft aan welke belastingen hierop aangrijpen.



Figuur 13: Belastingen op chassisbalk

$$- M_1 = \frac{-4,38 \cdot 2,38 \cdot 0,59 \cdot (2,975 + 0,595)}{2 \cdot 2,975^2} = -1,25 \text{ kNm}$$

$$- M_2 = \frac{-5,12 \cdot 1,785 \cdot 1,19 \cdot (2,975 + 1,19)}{2 \cdot 2,975^2} = -2,56 \text{ kNm}$$

$$- M_3 = \frac{-4,38 \cdot 1,19 \cdot 1,785 \cdot (2,975 + 1,785)}{2 \cdot 2,975^2} = -2,50 \text{ kNm}$$

$$- M_4 = \frac{-22,06 \cdot 0,595 \cdot 2,38 \cdot (2,975 + 2,38)}{2 \cdot 2,975^2} = -9,68 \text{ kNm}$$

$$- M_{stp} = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 = -1,25 - 2,56 - 2,50 - 9,68 = 16 \text{ kNm}$$

Berekening profiel chassisbalk:

- Doorsnedeklasse bepalen U-profiel 100x50x5: $\frac{c}{t} = \frac{100}{5} = 20 \Rightarrow$ Klasse 1
- $W_{ed} = \frac{16 \cdot 10^3 \text{ Nm} \cdot 10^3 \text{ mm}}{235 \text{ N/mm}^2} = 68.085 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$
- $W_{rd} = 26,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

$$\Rightarrow W_{ed} \geq W_{rd} \Rightarrow \text{NOK}$$

De chassisbalk blijkt niet te voldoen volgens de handberekening.

3.4 Besluit handberekening

Door het uitvoeren van de handberekeningen is er snel duidelijk geworden dat het niet evident is om volledige structuren volledig volgens Eurocode 3 te berekenen. Er moeten vaak vereenvoudigingen doorgevoerd worden en aannames gedaan worden om een handberekening haalbaar te maken. Wanneer een profiel uit zijn omgeving wordt genomen en hier de standaard berekeningen op worden toegepast blijkt het in sommige gevallen al zeer complex te zijn.

Uit navraag is gebleken dat ingenieursbureaus al meermaals een rekennota hebben ingediend van bepaalde units en hierbij telkenmaal een kanttekening werd gemaakt over de correctheid van de berekeningen.

Om de berekeningen uit te voeren hebben we dus vele vereenvoudigingen en aannames gedaan. Wanneer we bepaalde resultaten weerlegden met de resultaten van het software programma waren er overeenstemmingen terug te vinden. De meer complexere rekennota's wijken meer af van het softwareprogramma.

De berekeningen zijn door ons gedaan om ingeleid te worden in ons project en feeling te krijgen met de orde grootte van de optredende belastingen. Op enkele kleine vergelijkingen van de handberekeningen met de softwareberekeningen na werd er niet veel belang meer gehecht aan deze handberekeningen. Om een meer realistisch resultaat van het geheel te verkrijgen wordt gebruik gemaakt van het software pakket en worden de resultaten van de handberekeningen niet meer in belang genomen. Het hoofddoel van deze thesis is dan ook een rekennota te construeren van een vernieuwde unit met behulp van het softwarepakket.

4 Softwareberekeningen

In dit hoofdstuk komen de berekeningen met het softwarepakket RFEM aanbod. Er wordt in eerste instantie een model opgebouwd om de staalstructuur van de huidige samenstelling van een unit te berekenen. Vervolgens wordt er een nieuw model opgebouwd waarin er nieuwe profielen gebruikt worden en ook de opbouw van de unit sterk gewijzigd wordt. In een laatste stap worden de vaste verbindingen vervangen door boutverbindingen.

Ook voor deze berekeningen wordt uitgegaan van een unit die zes meter lang is en drie meter breed waarbij er zich een bovenliggende unit bevindt.

4.1 Huidige toestand modelleren

4.1.1 Algemene randvoorwaarden

Vooraleer het eerste model opgebouwd werd met behulp van het softwarepakket RFEM dient er eerst nogmaals duidelijk afgebakend te worden wat de uitgangspunten zijn. De berekening gebeurt op basis van volgende belastingen:

- het eigengewicht van het stalen skelet;
- functionele belasting (kantoorruimte);
- de sneeuwbelasting op het dak;
- een onderhoudsbelasting op het dak;
- windbelasting in verschillende richtingen;
- de aanwezigheid van een bovenliggende unit.

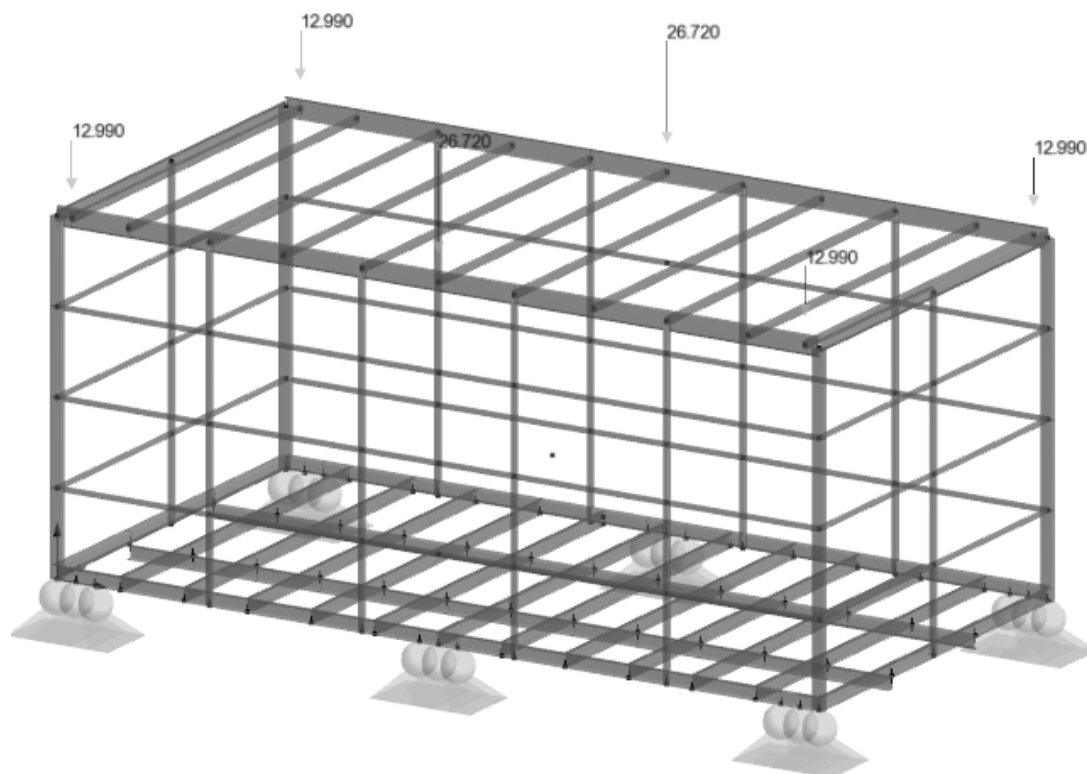
Het model dat we zullen simuleren is dus de onderliggende unit. Er wordt niet effectief een bovenliggende unit gemodelleerd in het programma. De bovenliggende unit wordt in rekening gebracht als een bijkomende belasting in de vorm van puntlasten. Deze puntlasten zijn te verklaren doordat de units op zes steunpunten rusten. Op elke hoek van de unit bevindt zich een steunpunt en in het midden van de lengte van de unit. Deze steunpunten zijn in werkelijkheid geconstrueerd door een U-profiel 100x50x5 van 300 mm onder de unit te voorzien op de eerder beschreven plaatsen.

De eerste situatie die dient berekend te worden is dus een alleenstaande unit met daarop de belastingen die eerder werden opgesomd met uitzondering van een bovenliggende unit. De resultaten, en meer bepaald de reactiekrachten die hieruit volgen, staan 'symbool' voor de bovenliggende unit en kunnen gebruikt worden in het definitieve model. Voor dit definitieve model wordt er dus vanuit gegaan dat er zich een bovenliggende unit bevindt. Dit heeft als gevolg dat er op de onderste unit geen sneeuw en onderhoud kunnen plaatsvinden en dus dienen de sneeuw- en onderhoudsbelastingen niet nogmaals aangebracht te worden. Het uiteindelijke model bestaat dan uit volgende belastingen:

- het eigengewicht van het stalen skelet;
- functionele belasting (kantoorruimte);
- windbelasting in verschillende richtingen;
- puntlasten van de bovenliggende unit.

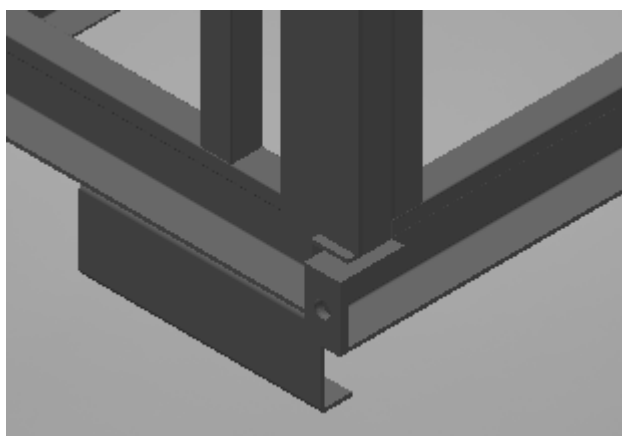
Het model zelf werd samengesteld aan de hand van beschikbare ontwerptekeningen. Deze plannen waren zowel in 2D (Autocad) als 3D (Inventor) beschikbaar. De gebruikte profielen waren allen gekend dus de opbouw van het model is nu realiseerbaar. Echter toch belangrijk te vermelden in deze thesis is dat wanneer je als leek in werking wordt gesteld met een zeer uitgebreid softwarepakket zoals RFEM dit enige zelfstudie vereist om overweg te kunnen met het programma en goede resultaten te bekomen.

Figuur 14 toont hoe het eerste model en tevens ook de opbouw van een werkelijke unit van 6x3 m eruit ziet. Merk op dat de unit op zes steunpunten ondersteund is en de bovenliggende unit wordt gesimuleerd door de zes puntkrachten die op de dakstructuur aangrijpen. Ook kan u zien dat er geen rekening wordt gehouden met eventuele ramen en deuren.



Figuur 14: Model bestaande toestand

Op figuur 15 is er een detail te zien van hoe de steunpunten in werkelijkheid worden uitgevoerd. Het steunpunt bestaat dus zoals eerder vermeld uit een U-profiel 100x50x5.

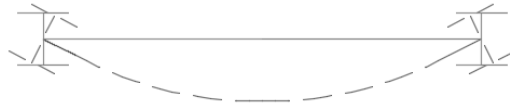


Figuur 15: U - profiel steunpunt

In eerste instantie was het de bedoeling om in het model een bedding te voorzien onder deze steunpunten. Proefondervindelijk konden we besluiten dat dit geen meerwaarde bracht en de waardes voor dergelijke bedding niet eenduidig vast te leggen zijn. Daarom is er in overleg geopteerd om drie scharnieren per steunpunt te voorzien i.p.v. een bedding zoals in figuur 14 te zien is. Dit zou de werkelijkheid goed benaderen.

4.1.2 Resultaten huidige situatie

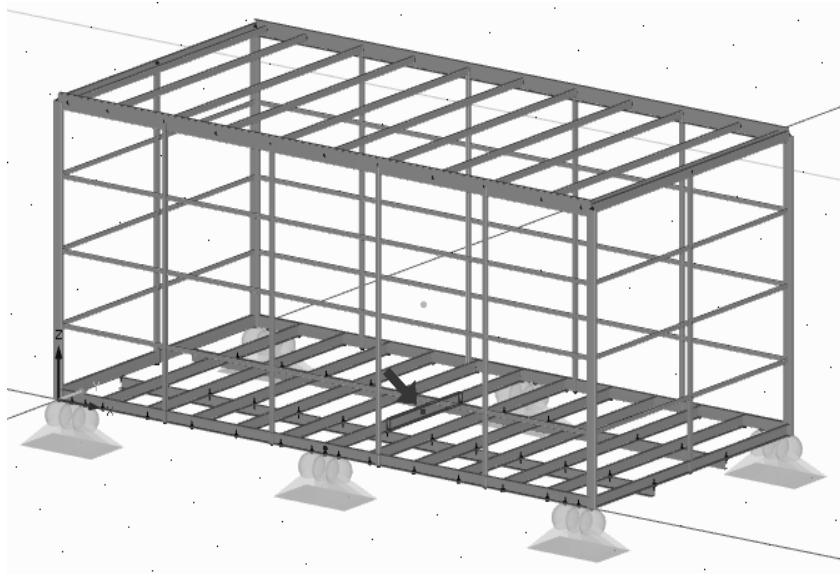
Het model is helemaal opgebouwd zodat het de werkelijkheid zo goed mogelijk benaderd. Er is gebruik gemaakt van zes steunpunten, de verbindingen zijn stijf, overal zijn de juiste profielen gebruikt en de belastingen zijn aangebracht. De motivatie om te beschouwen dat de verbindingen stijf zijn, is berust op het feit dat een profiel zoals de dakbalk in het veld voldoende vrij is om rond zijn as te roteren. Op die manier kan het de vervorming als gevolg van de doorbuiging van de dwarsbalken in het dak volgen. Figuur 16 verduidelijkt dit. Deze figuur is louter iteratief en houdt geen rekening met de juiste profielgeometrieën.



Figuur 16: Illustratie vaste verbindingen

Voor het opnemen van de horizontale krachten (windbelasting) wordt aangenomen dat dit volledig wordt gedragen door het stalen frame zelf. De bijdrage van de wanden en de bekleding wordt in deze thesis buiten beschouwing gelaten. In de toekomst zal het mogelijk een nieuwe onderzoeksvraag worden om de bijdrage van wanden en bekleding wel in rekening te brengen.

De eerste stap, zoals eerder vermeld, was dat een unit wordt gemodelleerd met daarop al de mogelijke belastingen inclusief onderhoud en sneeuw. De reactiekrachten die hieruit voortkomen worden dan gebruikt voor het model waar we ook rekening houden met een bovenstaande unit. Wanneer de software een volledige Eurocode 3 *check* uitvoert op het model zonder bovenliggende unit resulteert dit in een negatief resultaat. Uit de controle blijkt dat er een profiel is dat niet voldoet. Dit onvolkomen profiel is de dwarsbalk die zich tussen de middelste steunpunten bevindt (zie figuur 17). Bij nadere analyse van de resultaten zien we dat dit profiel, een U 100x40x3, bezwijkt door een te grote normaalspanning. De resultaten van dit profiel zijn samengevat in tabel 1, het volledige berekeningsrapport van dit model is terug te vinden in bijlage B.



Figuur 17: Positie dwarsbalk

Tabel 1: Resultaat dwarsbalk niet-OK

Materiaalwaarden - Staal S 235 EN 1993-1-1:2005-05					
Doorsnede-eigenschappen - SHAPE-THIN U100X40X3					
Rekenwaarden Snedekrachten					
Doorsnedeclassificatie - Klasse 3					
Controle					
Nomaalkracht	N _{Ed}	-41.42	kN		
Oppervlakte van de dwarsdoorsnede	A	5.14	cm ²		
Nomaalspanning t.g.v. N	$\sigma_{x,N,Ed}$	-8.05	kN/cm ²		
Moment	M _{y,Ed}	2.96	kNm		
Traagheidsmoment	I _y	75.30	cm ⁴		
Vezelcoördinaat	z _{SP}	-50.0	mm		
Nomaalspanning t.g.v. m _y	$\sigma_{x,My,Ed}$	-19.66	kN/cm ²		
Nomaalspanning	$\sigma_{x,Ed}$	-27.71	kN/cm ²		
Dwarskracht	V _{z,Ed}	0.00	kN		
Statisch Moment	Q _y	5.17	cm ³		
Wanddikte	t	3.0	mm		
Afschuifspanning	$\tau_{V,z,Ed}$	0.00	kN/cm ²		
Voegrens	f _y	23.50	kN/cm ²		3.2.1
Materiaalwaarde	γ_{M0}	1.000			6.1
Afschuifweerstand	V _{pl,z,Rd}	34.55	kN		verg. (6.18)
Criterium V _{z,Ed} / V _{pl,z,Rd}	V _z	0.000		≤ 0.5	6.2.8(2)
Weerstand	$\sigma_{x,Rd}$	23.50	kN/cm ²		verg. (6.45)
U.C.-waarde	η	1.18		> 1	6.2.10

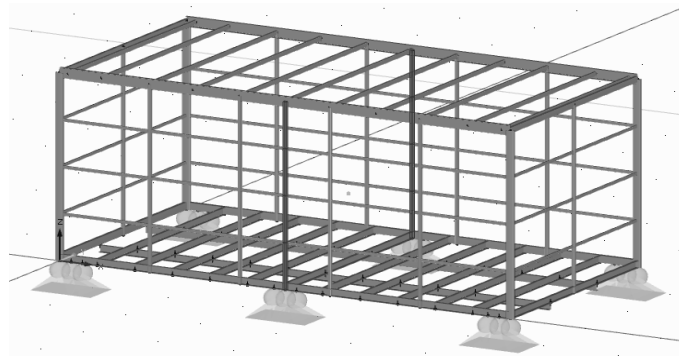
Om niet roekeloos aan te nemen dat de resultaten die verkregen worden uit de berekening van het programma correct zijn, hebben we van deze dwarsbalk een kleine handmatige rekennota gemaakt met behulp van de aangrijpende belastingen volgens RFEM. De waarden die hierdoor verkregen werden bevestigde de resultaten van het programma.

Het U-profiel dat men momenteel gebruikt in de units is dus niet conform met de eurocode en is aan optimalisatie toe. De voorkeur ging uit naar een profiel uit dezelfde familie. Na enkele simulaties met verschillende dwarsdoorsneden resulteert het profiel dat wel voldoet in een U 100x50x5. De resultaten hiervan zijn terug te vinden in tabel 2. Het is duidelijk te zien dat wanneer er gebruik gemaakt wordt van dit profiel de optredende buigspanning σ_{ed} kleiner is dan de maximale weerstandbiedende buigspanning σ_{rd} . Het model voldoet nu aan de volledige eurocode 3 *check*. Een resultatenrapport van deze situatie kan u terugvinden in bijlage C. De volgende stap is het aanbrengen van de bovenliggende unit.

Tabel 2: Resultaat dwarsbalk OK

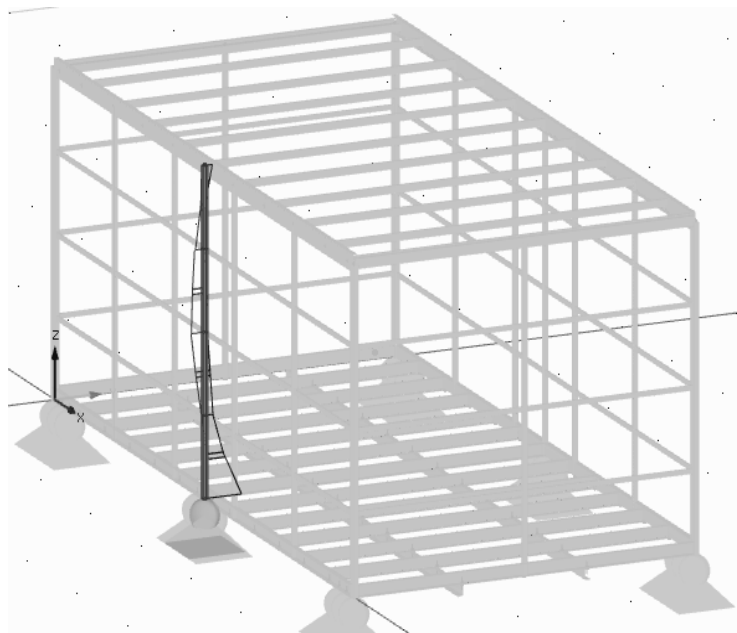
Materiaalwaarden - Staal S 235 EN 1993-1-1:2005-05					
Doorsnede-eigenschappen - KU 100/50x5					
Rekenwaarden Snedekrachten					
Doorsnedeclassificatie - Klasse 3					
Controle					
Nomaalkracht	N _{Ed}	-58.50	kN		
Oppervlakte van de dwarsdoorsnede	A	8.95	cm ²		
Nomaalspanning t.g.v. N	$\sigma_{x,N,Ed}$	-6.54	kN/cm ²		
Moment	M _{y,Ed}	4.06	kNm		
Traagheidsmoment	I _y	131.00	cm ⁴		
Vezelcoördinaat	z _{SP}	-50.0	mm		
Nomaalspanning t.g.v. m _y	$\sigma_{x,My,Ed}$	-15.51	kN/cm ²		
Nomaalspanning	$\sigma_{x,Ed}$	-22.04	kN/cm ²		
Dwarskracht	V _{z,Ed}	0.00	kN		
Statisch Moment	Q _y	8.91	cm ³		
Wanddikte	t	5.0	mm		
Afschuifspanning	$\tau_{V,z,Ed}$	0.00	kN/cm ²		
Voegrens	f _y	23.50	kN/cm ²		3.2.1
Materiaalwaarde	γ_{M0}	1.000			6.1
Afschuifweerstand	V _{pl,z,Rd}	54.54	kN		verg. (6.18)
Criterium V _{z,Ed} / V _{pl,z,Rd}	V _z	0.000		≤ 0.5	6.2.8(2)
Weerstand	$\sigma_{x,Rd}$	23.50	kN/cm ²		verg. (6.45)
U.C.-waarde	η	0.94		≤ 1	6.2.10

Nadat het softwarepakket de Eurocode 3 *check* uitvoert op het model waarbij er zich een bovenliggende unit bevindt voldoet het frame opnieuw niet meer. Ditmaal blijkt uit de analyse van de resultaten dat de bovenste langsliggers ter plaatse van de middelste puntkracht, komende van de bovenliggende unit, niet voldoet. Dit valt logisch te verklaren doordat de kolommen zich niet recht onder deze grote puntkrachten bevinden maar ze er links en rechts van staan. Het liggerprofiel, een U-profiel 140x40x3, wordt ook te veel op buiging belast. De meest economische en haalbare aanpassing is om een bijkomende kolom te voorzien recht onder de puntlast. Deze staat dus midden tussen de bestaande kolommen. Door het invoeren van deze extra kolom kan de puntlast rechtstreeks afgeleid worden naar het oplegpunt. De Eurocode *check* geeft met deze aanpassing terug een gunstig resultaat weer. Het aangepaste frame is te zien op figuur 18. De bijgevoegde kolommen zijn rood gemarkeerd.



Figuur 18: Unit met bijkomende middenkolom

De huidige situatie is nu gemodelleerd en voldoet aan de Eurocode controle mits enkele aanpassingen. Uit de resultaten blijkt dat het meest belaste profiel de toegevoegde kolom is en deze belast is aan 98%. De normaalspanningen lopen hier hoog op, wat als gevolg heeft dat de kolom knik gevoelig wordt. Dit kunnen we zien doordat de buigspanningen oplopen tot 98% van hun weerstand. De momentenlijn is weergegeven in figuur 19.



Figuur 19: Momentenlijn middenkolom

4.1.3 Besluit huidig model

De eerste grote mijlpaal in het vooropgestelde onderzoeksopzet is nu bereikt. Er is een model opgesteld van de huidige situatie mits kleine aanpassingen opdat het voldoet aan de normen volgens Eurocode 3. De resultaten kunnen gebruikt worden voor de units die momenteel nog gemaakt worden en in de omloop zijn. In de toekomst komt er een nieuwe opbouw van de units (met dunwandige profielen) en zal dit huidige model niet meer van toepassing zijn. In volgende paragraaf zullen we ingaan op het nieuwe concept.

4.2 Het nieuwe concept modelleren

Zoals al eerder duidelijk gemaakt is, wordt het de bedoeling om het frame van de units volledig op te bouwen met dunwandige profielen die door eigen productie vervaardigd worden. Doordat men de profielen zelf zal produceren worden we beperkt door een maximale lengte van vier meter en een dikte van vijf millimeter. Dit komt door de eigenschappen van het aangekochte machinepark.

Ook zal het gebruik van boutverbindingen onmiddellijk doorgevoerd worden zodat de unit volledig (de-)monteerbaar is en er geen lasbewerkingen meer aan te pas komt. In het onderzoeksopzet wordt aangenomen dat dit een individuele vraagstelling is maar hier wordt dus van af geweken. De berekeningen van de verbindingen worden wel pas in de laatste fase opgenomen maar bij het uitdenken van de nieuwe profielen is de gedachtegang zo dat er wordt gewerkt met boutverbindingen. Doordat er gebruik wordt gemaakt van de nieuwe profielen en verbindingen, is het uitgangspunt voor de berekeningen en de opbouw van de unit licht gewijzigd.

4.2.1 Bijkomende/gewijzigde randvoorwaarden

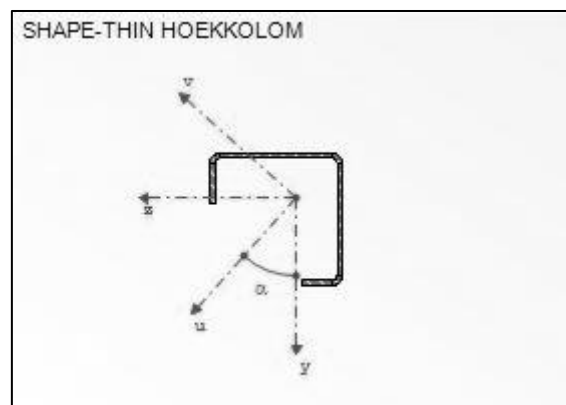
Een grote verandering van de uitgangspunten, en dus een bijkomende vereiste aan het model dat we dienen op te bouwen en waarvan we tevens de profielen dienen te dimensioneren, is dat de wanden intern volledig profielloos moeten zijn. Hiermee wordt bedoeld dat het maken van volledige open wanden mogelijk moet zijn zodat deze units voor alle toepassingen ingezet kunnen worden. Wanneer er dan toch ergens wanden komen, of een deel van een wand wordt voorzien, komt dit de constructie alleen maar ten goede en zal het totale frame in alle gevallen zeker voldoende sterk zijn.

In verloop van onze thesis heeft het bedrijf in kwestie al een mogelijk nieuw concept uitgewerkt wat vormgeving betreft. Enkele keuzes van profilering werden gemaakt op basis van praktisch nut. Zo werd de vormgeving van de chassisbalk, de kolommen en de dwarsliggers in het dak al bepaald. Enkel de afmetingen hiervan dienden vastgelegd te worden zodat deze profielen voldoen op het vlak van stabiliteit. De profilering van de dakbalken dienen we wel zelf te doen.

De keuze van de dwarsliggers in het dak ging uit naar een samengesteld profiel uit twee U-profielen. Op die manier is het mogelijk om een profiel te bekomen dat voldoende stabiliteit kan bieden en dat men tevens zelf kan produceren. Met de reeds geïnstalleerde plooi bank is het een zeer eenvoudig productieproces om U-profielen te plooiën waardoor deze dwarsliggers relatief goedkoop geproduceerd kunnen worden. Enkel moet er aandacht besteed worden aan de verbinding tussen beide profielen. De verbinding zal gebeuren op basis van 'monobolts'. De verbinding van de dwarsliggers in het dak met de dakbalk wordt gemodelleerd met een extern softwarepakket, IDEA StatiCa. Ook andere belangrijke verbindingen zullen met dit programma gecontroleerd worden. De U-profielen krijgen een hoogte van 100 mm. Deze hoogte is op die manier gekozen zodat ze overeenkomt met de benodigde hoogte om de dakisolatie te kunnen voorzien.

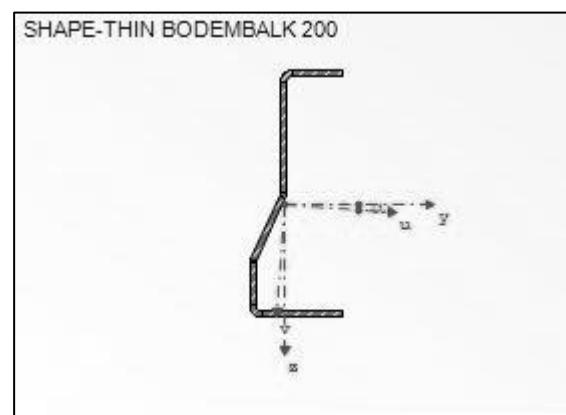
De dimensionering van de dakbalk was een van de grootste uitdagingen. Een overspanning maken van 6 meter met een zo beperkt mogelijk profiel wat afmetingen betreft is geen gemakkelijke opgave. Bijkomend werd er opgelegd dat het profiel niet hoger dan 200 mm mocht zijn. Voor de breedte van het profiel werd gevraagd om de huidige situatie zo dicht mogelijk te benaderen (40 mm). Met deze twee randvoorwaarden als gegeven is de vormgeving van start gegaan.

Het derde van belang zijnde profiel is die van de kolommen. Hiervoor werd een voorstel naar voren geschoven om een open profiel te maken zoals weergegeven op figuur 20. Dit profiel heeft een buitenafmeting van 130x130 mm. Door gebruik te maken van dergelijk profiel voorziet men ruimte in het binnenste volume van de kolom om afwatering en mogelijk leidingen hierdoor te leiden en op die manier ervoor te zorgen dat deze niet in het zicht komen. In het nieuwe model worden deze ook effectief toegepast.



Figuur 20: Kolomprofiel

Ten slot is er een profilering voorgesteld van de chassisbalk zoals weergegeven op figuur 21. De chassisbalk zal bij het nieuwe concept onderworpen worden aan een volledige lijnondersteuning i.p.v. de drie steunpunten zoals deze bestaan bij het huidige concept. In de onderste helft van de hoogte buigt het profiel naar buiten. Dit is bedoeld om een minimale voeg en overgang te bekomen wanneer de buitenbekleding tegen de wand wordt gemonteerd. Ook zorgt het ervoor dat wanneer meerdere units aan elkaar worden bevestigd, de buitenbekleding van beide units elkaar niet raken en er zo geen schade kan ontstaan. Verder heeft dit profiel een hoogte van 200 mm en een breedte van 75mm. De hoogte van 200mm komt overeen met de totale hoogte die men bij de huidige units heeft. Hier wordt deze hoogte gevormd door de chassisbalk en de opleg profielen (zie ook figuur 15).



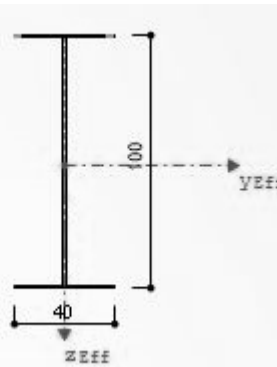
Figuur 21: Profiel chassisbalk

4.2.2 Resultaten nieuw model

Bij het bespreken van de resultaten zullen we opnieuw de verschillende profielen overlopen en hierbij een beschrijving geven van de berekeningsresultaten. Wat in dit hoofdstuk nog niet ter sprake zal komen is de dimensionering van de verbindingen. Hiervoor verwijzen we naar hoofdstuk 5.

Wat betreft de dwarsliggers die in de dakstructuur worden voorzien, is er weinig ontwerp gebeurd. De randvoorwaarden waren gedetailleerd opgelegd waardoor de keuze van het profiel enkel kon resulteren in het gecombineerde I-profiel verkregen door twee U-profielen. De hoogte is zoals eerder vermeld vastgelegd op 100 mm zodat dit overeenkomt met de isolatiehoogte. De vormgeving ligt dus vast, enkel de dikte van het profiel kan gekozen worden en de lengte van de flensdelen. Wanneer bij de berekeningen gebruik wordt gemaakt van twee U-profielen 100x30x2 blijkt het profiel al te voldoen. Er is gekozen om het profiel meer te optimaliseren. Dit in de zin van minder materiaalgebruik en meer capaciteitsgebruik van het profiel.

Het resultaat is bekomen door gebruik te maken van twee U100x20x1 – profielen. Het profiel is te zien op figuur 22. Laat het duidelijk zijn dat de flensplaten dus 1 mm dik zijn en het samengevoegde lijf 2 mm dik is.

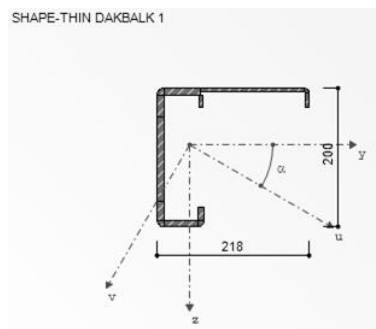


Figuur 22: I-profiel uit U100x20x1

Aan de vooropgestelde belastingen onderhevig wordt het gecombineerde I-profiel maximaal belast op 89% van zijn capaciteit. Het profiel dient de meeste weerstand te bieden aan knik rond de verticale as. Dit is te verklaren door de grote hoogte en beperkte breedte van het profiel. Men zou de hoogte dus beter kunnen reduceren om een meer optimaal en tegelijkertijd stabiel profiel te bekomen. Maar dan kan het profiel niet meer voldoen aan de randvoorwaarden. Bij de analyse van de resultaten kan ook gezien worden dat de lijfplaat van 2 mm dik valt onder klasse 3 van de doorsnedeclassificatie en de bovenste flensplaten in klasse 4 worden geklasseerd. De onderste flensplaten zijn uiteraard niet kritiek omdat deze op trek worden belast. Momenteel zijn de berekeningen die vallen onder klasse 4 doorsnedes nog niet geïntegreerd in de software maar naar zeggen wordt hier volop aan gewerkt.

Het volgende profiel dat nader onder de loep wordt genomen is het profiel van de dakbalk. Doordat er werd gevraagd om volledig open wanden mogelijk te maken is er veel aandacht besteed aan dit profiel. Uit de resultaten van het model van de huidige units was al gebleken dat de huidige dakbalk (U140x40x3) niet voldeed. Om te zorgen dat deze unit wel voldeed, diende er een extra kolom voorzien te worden in het midden van de balk. Met dit in het achterhoofd is het duidelijk dat een volledig vrije overspanning maken geen eenvoudige opgave is. In plaats van een extra kolom dienen nu alle kolommen verwijderd te worden. Om een mogelijke oplossing te bekomen zijn we vertrokken vanuit het standpunt om gebruik te maken van de maximale afmetingen die in de perken van de randvoorwaarden vallen en wanneer het profiel voldoet deze afmetingen te reduceren. Het eerste profiel werd dus een U-profiel met maximale hoogte

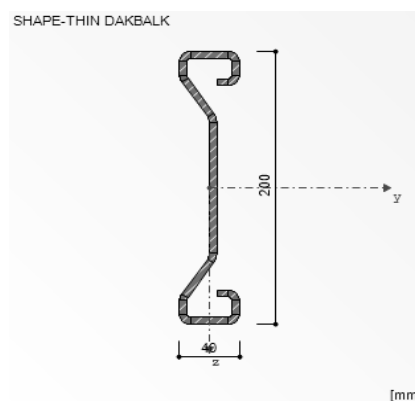
van 200 mm en een originele breedte van 40 mm. Bij paragraaf 4.2 werd gezegd dat de dikte van de gebruikte platen maximaal 5 mm kan bedragen. Met deze afmetingen (U200x40x5) is de eerste berekening van start gegaan. Zoals men kon vermoeden voldoet dergelijk profiel totaal niet. Om toch een geschikt profiel te verkrijgen, is het mogelijk een oplossing om de plaatdikte aan te passen. Het ontwerp bestaat dan uit twee U-profielen van 5mm dikte die men in elkaar monteert waardoor men op die manier een profiel van 10 mm dikte kan realiseren. Ook bij het doorvoeren van deze aanpassing kon het profiel niet voldoende weerstand bieden. De balk werd teveel belast op buiging. Om hieraan een oplossing te bieden moet er meer materiaal zijn, zo ver mogelijk van de neutrale vezel, zodat het traagheidsmoment groter wordt. Omdat we een beperking hadden van 40 mm voor de breedte was dit niet mogelijk zonder af te wijken van de randvoorwaarden. De beperking van 40 mm berust op het feit dat de wanden in totaal ongeveer 100 mm dik zijn en er nog voldoende ruimte moet zijn om isolatie voor de staalstructuur te steken zodat er geen koudebruggen zijn. Hierop verder geredeneerd is het wel mogelijk om enkel de bovenflens breder te maken. Deze maakt echter geen deel meer uit van de wand. Ze steekt er als het waren bovenuit en zit geïntegreerd in de dakopbouw. Het profiel dat hieruit voort kwam en dat getest werd was een U-profiel met een vergrote bovenflens zoals te zien in figuur 23.



Figuur 23: Profiel met brede bovenflens

Ook bij dit profiel verkregen we een negatief resultaat. Uit navraag is gebleken dat er veel gebruik wordt gemaakt van Sigma profielen. Dergelijke profielen brengen veel bewerkingstappen met zich mee bij het plooiën ervan maar omdat voorgaande ideeën niet tot een positief resultaat konden leiden, zijn we met het idee van Sigma profilering verder gegaan.

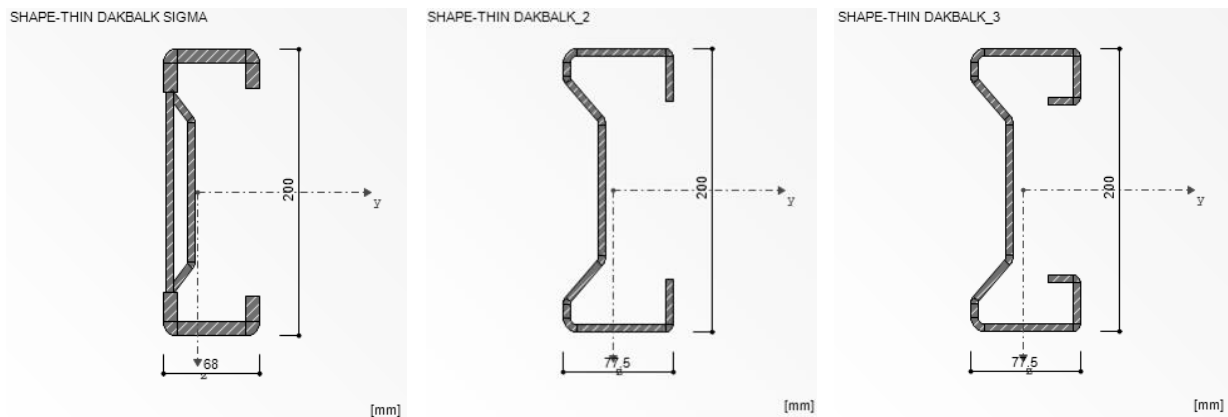
Om tot een goed profiel te bekomen, een profiel dat voldoende stabiliteit biedt tegen buiging, hebben we verschillende modellen getest. Bij de testen met een Sigma profiel is opnieuw het uitgangspunt om te voldoen aan de randvoorwaarden. Een profiel van 200 millimeter hoog, 40 millimeter breed en 5 millimeter dik. Het ontwerp is te zien in figuur 24. De berekening resulteerde nogmaals in een negatief resultaat.



Figuur 24: Sigma profiel 1

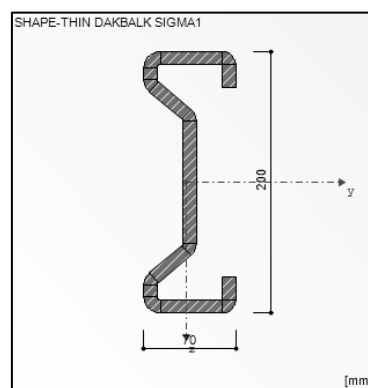
Na vele pogingen bleek het echter niet haalbaar te zijn om een profiel te creëren dat voldeed wanneer we niet van de maximale afmetingen mochten afwijken. Er is dus toch gekozen om het mogelijk te maken dat het profiel ook aan de onderzijde breder mocht zijn dan 40 mm.

Verskillende modellen zijn getest, enkele hiervan zijn terug te vinden in figuur 25. Het meest linkse profiel is een combinatie van een U-profiel en een Sigma profiel. Het middelste en rechtse profiel zijn Sigma profielen met 5 mm dikte.



Figuur 25: Verschillende Sigma profielen

Deze profielen konden op hun beurt ook niet voldoende stabiliteit bieden. Wel was duidelijk dat het geschikt profiel werd benaderd. De oplossing die uiteindelijk resulteert in een profiel dat voldoet aan de stabiliteitseisen is het profiel weergegeven in figuur 26.



Figuur 26: Definitief Sigma profiel

Het eindresultaat is een Sigma profiel met een hoogte van 200 mm, een breedte van 70 mm en een dikte van 10 mm. Een belangrijke opmerking hierbij is dat de hoogte van de verticale lijfplaat 100 mm is. Dit moet zo zijn omdat hierop de I-liggers van de dakstructuur (met een hoogte van 100mm) op toe komen. Het profiel is op die manier geprofileerd en geoptimaliseerd dat het 100 procent van zijn capaciteit vergt om te voldoen aan de stabiliteitseisen. Hoe de twee profielen aan elkaar worden gemonteerd en kunnen gezien worden als één profiel wordt nader besproken in hoofdstuk 5 dat de verbindingen zal bevatten. De resultaten zijn terug te vinden in tabel 3.

Tabel 3: Resultaten definitief Sigma profiel

☑ Materiaalwaarden - Staal S 235 EN 1993-1-1:2005-05					
☑ Doorsnede-eigenschappen - SHAPE-THIN DAKBALK SIGMA1					
☑ Rekenwaarden Snedekrachten					
☑ Doorsnede-classificatie - klasse 3					
☑ Controle					
— Moment	$M_{y,Ed}$	46.28	kNm		
— Elastisch weerstandsmoment	$W_{el,y,min}$	197.70	cm ³		
— Vloegrens	f_y	23.50	kN/cm ²		3.2.1
— Materiaalwaarde	γ_{M0}	1.000			6.1
— Momentweerstand	$M_{el,y,Rd}$	46.46	kNm		verg. (6.14)
— Momentweerstand	$M_{c,y,Rd}$	46.46	kNm		
— U.C.-waarde	η	1.00		≤ 1	(6.12)
☑ Berekeningsformule					
— $M_{y,Ed} / M_{c,y,Rd} = 1.00 \leq 1$ (6.12)					

In wat nu volgt worden de hoekkolommen verder besproken. Volgens de gedachtegang van het nieuwe concept heeft deze al een vormgeving gekregen zoals eerder besproken. Wat echter nog niet verteld werd is dat de kolommen met een hoogte van ongeveer 2.5 m niet uit één volledige lengte zullen gemaakt worden. Er wordt voor gekozen om het bovenste gedeelte van de kolom een hoogte te geven van ongeveer een meter zodat de assemblage van de dakstructuur volledig op werkhoogte kan gebeuren. Wanneer het bodemchassis dan ook geassembleerd is, worden beide delen op elkaar gezet en vormen ze zo het totaalframe. Doordat er op deze manier gewerkt zal worden ontstaat er dus een extra verbinding om beide kolomdelen samen te brengen. Deze verbinding zal gebeuren door middel van een koppelprofiel. Dit is eenzelfde profiel als de kolom zelf maar met kleinere afmetingen zodat het in de binnenafmetingen van de kolom past. De verschillende profielen zullen dan weer verbonden worden met bouten.

Bij de berekeningen van het model konden we vaststellen dat wanneer de dakbalk stijf genoeg was, en de doorbuigingen dus beperkt bleven, de kolom ook voldoende weerstand had. Bij verdere analyse van de resultaten was ook te zien dat de kolom het meest belast wordt door 'torsie plooiën'. Dit is een te verwachten resultaat en kan gewijid worden aan het feit dat de kolom een 'open' profiel is. De resultaten zijn terug te vinden in tabel 4.

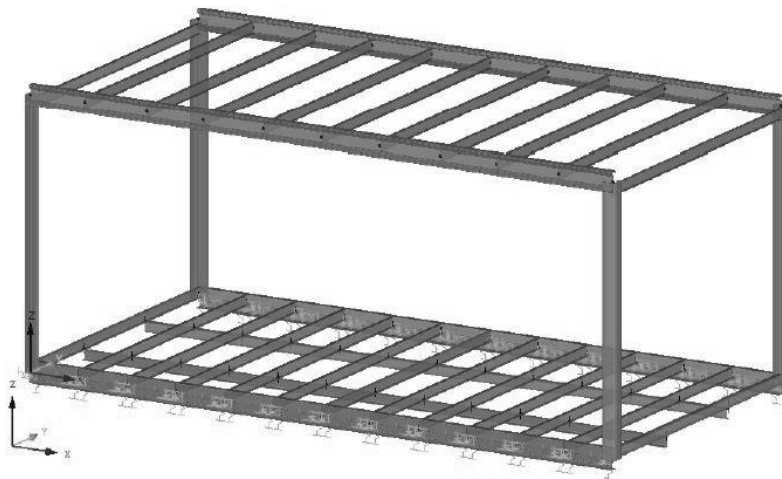
Tabel 4: Torsieknikweerstand kolom

— Welvingsconstante van de doorsnede	I_w	2860.74	cm ⁶		
— Elasticiteitsmodulus	E	21000.00	kN/cm ²		
— Glijdingsmodulus	G	8076.92	kN/cm ²		
— Meewerkende staallengte	$L_{cr,u}$	2.477	m		
— Meewerkende staallengte	$L_{cr,v}$	2.477	m		
— Lengte	L_T	2.477	m		
— Elastische knikkraft	$N_{cr,u}$	1792.09	kN		
— Elastische knikkraft	$N_{cr,v}$	632.81	kN		
— Elastische Torsiestabiliteitslast	$N_{cr,T}$	198.50	kN		
— Elastische torsieknikkraft	$N_{cr,TF}$	186.55	kN	$\leq N_{cr,T}$	6.3.1.4(2)
— Vloegrens	f_y	23.50	kN/cm ²		3.2.1
— Slankheidsgraad	$\lambda_{_T}$	1.431		> 0.2	6.3.1.2(4)
— Normaalkraft (druk)	N_{Ed}	37.46	kN		
— Criterium $N_{Ed} / N_{cr,TF}$	$\eta_{N,cr}$	0.201		> 0.04	6.3.1.2(4)
— Knikkromme	K_{LT}	c			Tabel 6.2
— Imperfectiegetal	α_T	0.490			Tabel 6.1
— Hulpfactor	Φ_T	1.826			6.3.1.2(1)
— Reductiefactor	χ_T	0.338			verg. (6.49)
— Materiaalwaarde	γ_{M1}	1.000			6.1
— Torsieknikweerstand	$N_{b,TF,Rd}$	129.12	kN		verg. (6.47)
— U.C.-waarde	η	0.29		≤ 1	(6.46)

Het laatste profiel waaraan aandacht is besteed is het profiel van de chassisbalk. Ook hieraan is een profilering gegeven op basis van functionaliteit in plaats van op basis van stabiliteit. De vormgeving is zoals eerder vermeld berust op het creëren van een minimale overgangsvogt tussen de buitenbekleding en de chassisbalk. Bij het berekenen ervan bleek het ook te voldoen op niveau van de stabiliteit. De maximale capaciteit die geveerd wordt zit op 89% van de totale capaciteit. Omdat de units een lengte hebben

van minstens zes meter zal de chassisbalk altijd uit twee of meerdere delen bestaan. Hierdoor moet er ook gewerkt worden met koppelstukken. Dit zal ook gebeuren op basis van eenzelfde profiel dat in de chassisbalk past en doormiddel van bouten de twee delen met elkaar verbindt. Hierbij dient er dan wel voor gezorgd te worden dat het koppelstuk tussen twee liggers van het bodemchassis past zodat er voor de profielen van het bodemchassis geen twee verschillende lengtes gemaakt moeten worden. Wanneer het koppelstuk langer zou zijn dan de tussenafstand van de liggers zou tweemaal de dikte van het koppelstuk afgetrokken moeten worden van de lengte van de ligger.

Elk profiel is nu nader bekeken op de profielen van het bodemchassis na. Aan dit profiel, U100x40x3 zijn geen veranderingen doorgevoerd omdat de hoogte hiervan ook vastligt (totaal 200 mm) en deze volgens de huidige profilering op 91 procent belast worden. De twee sledes blijven ook behouden om het opnemen voor transport van de units mogelijk te maken. In figuur 27 is het model volgens het nieuwe concept weergegeven. De analytische resultaten van dit finale model zijn terug te vinden in bijlage D.



Figuur 27: Model nieuw concept

5 Boutverbindingen

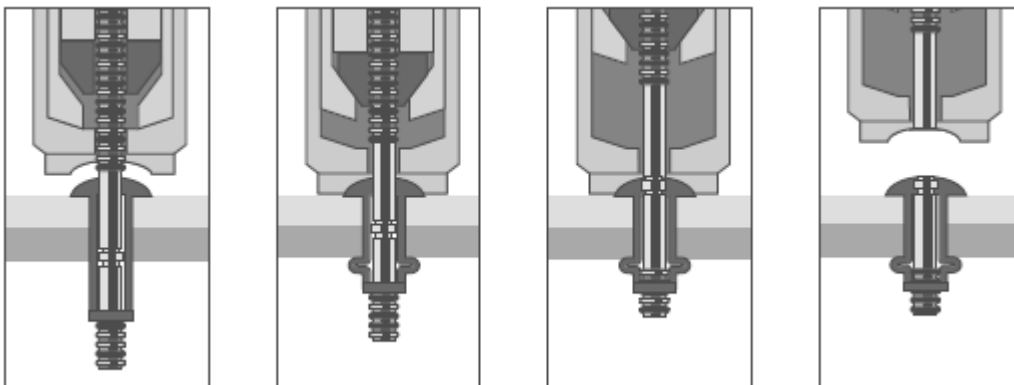
In het laatste hoofdstuk van deze thesis worden de belangrijkste verbindingen toegelicht. Er zal een overzicht volgen van hoe de verschillende profielen onderling of met andere profielen verbonden worden, of er kan gerekend worden met een samengesteld profiel of eerder op de individuele weerstand van de profielen, welke verbindingsmiddelen gebruikt worden, de berekeningen die gedaan zijn m.b.v. het softwarepakket IDEA Connection en tot slot enkele handberekeningen omtrent de verbindingen. Tijdens de laatste fase van onze thesis is er op het bedrijf al een bodemchassis samengesteld met de nieuwe profielen. De detaillering van de verbindingen hiervan bespreken we daarom op basis van de werkelijk toegepaste verbindingen.

5.1 Bevestigingsmateriaal 'monobolts'

Zoals eerder besproken is het niet meer de bedoeling om de profielen aan elkaar te lassen. Daarom zullen de verbindingen tussen de profielen gebeuren door een soort van boutverbinding. In de eerste plaats is er hier gedacht aan een standaard bout-moer verbinding. Door het hoge aantal boutverbindingen die nodig zijn om een volledige unit te assembleren zou dit een zeer tijdrovende taak zijn. Daarom is er gekozen om de verbindingen tot stand te brengen door middel van klinkbouten of ook wel 'monobolts' genoemd. Deze stalen 'monobolts' beschikken over een hoge trek- en afschuifsterkte waardoor ze een goede vervanging zijn voor lasverbindingen en standaard bout-moer verbindingen. De specificaties van in de unit gebruikte 'monobolts' zijn terug te vinden in bijlage E. De grote voordelen van de 'monobolts' zijn [10]:

- dat ze blind te plaatsen zijn waardoor de productietijd aanzienlijk vermindert;
- ze zijn trillingsvast;
- er is geen voor- of nabehandeling van de te verbinden materialen nodig;
- een oppervlaktebehandeling wordt niet beschadigd door het klinken;
- bijna bij alle materialen toepasbaar omdat alleen de nagel vervormd en er geen warmte vrij komt.

De plaatsing van 'monobolts' kan zeer eenvoudig gebeuren doordat ze van één zijde af geplaatst worden. Net zoals bij een bout-moer verbinding moeten er op de gewenste plaatsen gaten voorzien worden. Deze gaten kunnen gemaakt worden tijdens het ponsen van de geometrie van het profiel. Tijdens het assembleren van de profielen worden er dan in de voorziene gaten 'monobolts' gestoken waarna een speciaal gereedschap de trekpen wegtrekt. Zie figuur 28 voor een montagevolgorde.



Figuur 28: Montageproces monobolt [11]

Het gereedschap is een speciale tang die handmatig bediend wordt of een trekpenafzuiger die pneumatisch of elektrisch bediend wordt. Omdat dit gereedschap tijdens de assemblage van een unit zeer frequent zal gebruikt worden is er gekozen voor een pneumatische trekpenafzuiger zoals te zien in figuur 29. Deze zal eventueel wel op een 'balancer' geplaatst worden om het gebruik van dit zware gereedschap (ongeveer vijf kilogram) te vergemakkelijken.



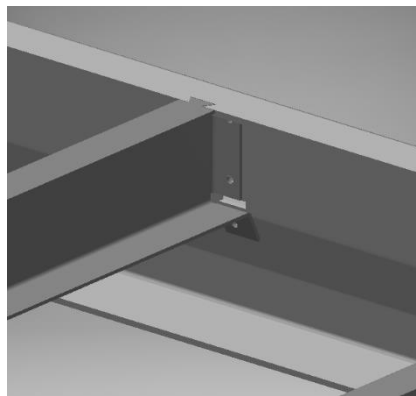
Figuur 29: Trekpenafzuiger [12]

5.2 Individuele en samengestelde profielen

Er zal opnieuw een overzicht volgen van de verschillende profielen maar ditmaal worden de desbetreffende verbindingen besproken. De berekeningen met betrekking tot de verbindingen worden in volgende deelhoofdstukken behandeld (5.3 en 5.4).

5.2.1 Verbinding chassisbalk-bodemdwarsligger

De eerste verbinding die we tegenkomen bevindt zich bij het bodemchassis. De chassisbalken moeten verbonden worden met de dwarsliggers. Om deze verbinding mogelijk te maken zijn er aan de uiteindes van de dwarsligger lippen voorzien. Via deze lippen kan m.b.v. de monobolts de verbinding tussen chassisbalk en dwarsligger gewaarborgd worden. De verbinding is op deze manier gemaakt zodat men de monobolts langs de buitenzijde kan aanbrengen. Dit is het minst arbeidsintensief. Het werktuig om de monobolts te plaatsen is namelijk van aanzienlijk gewicht. De verbinding tussen chassisbalk en dwarsligger kan teruggevonden worden op figuur 30. Merk op dat er aan de bovenkant van het profiel een zwaluwstaartverbinding voorzien is. Dit heeft meerdere doeleinden, namelijk: een correcte positionering voor de montage, meer stabiliteit en samenhang en tot slot draagt het bij om het uittrekken van de dwarsbalk tegen te gaan bij grote doorbuiging ervan. Het schuine lipje is een extra waarborging maar kan in de toekomst mogelijk achterwegen gelaten worden.



Figuur 30: Verbinding chassisbalk-bodemdwarsligger

De verbinding tussen de dwarsliggers en de langssledes onder de unit gebeurt momenteel met bouten. Men heeft hier niet de ruimte om een monobolt te plaatsen. In de toekomst wordt mogelijk de onderflens van de dwarsligger verbreed zodat men wel in staat is om monobolts te hanteren.

5.2.2 Chassisbalk

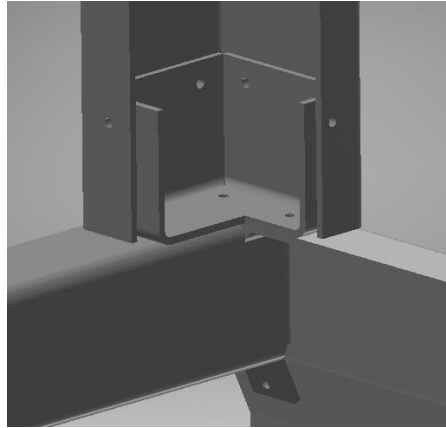
Zoals eerder aangehaald is geweten dat de lengte van de profielen beperkt is tot vier meter. Dit heeft als gevolg dat men de profielen dient te verlengen om units van zes, negen en twaalf meter lang te maken. Hierdoor moet er een verbinding gemaakt worden tussen beide profielen. Deze verbinding wordt gemaakt door een profiel met dezelfde vorm maar met kleinere afmetingen in beide aan elkaar te maken profielen te schuiven en deze dan door middel van de monobolts met elkaar te verbinden zodat men uiteindelijk een profiel bekomt met de gewenste lengte. Dit brengt met zich mee dat men ter plaatse van dergelijk koppelprofiel een verdikking krijgt van de chassisbalk. Hierdoor zal de dwarsbalk in lengte moeten afnemen. De positie van de koppelplaat is zo gekozen dat men modulair kan werken (dus men maakt lengtes van drie meter) en dat de lengte ervan beperkt is tot tweemaal de tussenafstand van de dwarsliggers. Enkel de middelste dwarsligger dient dan een kortere lengte te krijgen. Dit stoort niet want het middelste profiel is zoals eerder geweten een dikker U-profiel dan de andere dwarsprofielen. Er moeten dus, zoals eerder al het geval was, maar twee verschillende dwarsbalken gemaakt worden en er komt geen bijkomend onderdeel. Dit is positief want er wordt getracht om zo weinig mogelijk verschillende onderdelen te maken. Bij het proefchassis dat momenteel al bestaat is er gebruik gemaakt van zes boutverbindingen per chassisbalkonderdeel. De berekeningen zullen later moeten uitwijzen of dit voldoende is of eerder overgedimensioneerd is. De verbinding is terug te vinden op figuur 31.



Figuur 31: Verbinding bodemchassis

5.2.3 Verbinding kolom – chassisbalk

Om de verbinding tussen de kolom en de chassisbalk mogelijk te maken wordt er een extra onderdeel voorzien. Het stuk heeft een bodemplaat waarmee het bevestigd wordt aan het bodemchassis en opstaande kanten zodat het kan verbonden worden met de kolom. De opstaande kanten zijn zo geprofileerd dat het de inwendige afmetingen van de kolom aanneemt. De verbinding tussen kolom en bodemchassis is te zien op figuur 32.



Figuur 32: Verbinding kolom - chassisbalk

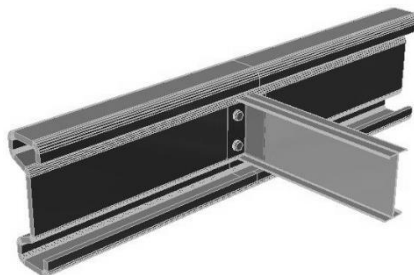
Dit is een eerste model van deze verbinding. In de toekomst kan deze nog wijzigen. Er wordt afgewogen om het verbindingsstuk overbodig te maken door de twee grote plaatdelen van het kolomprofiel door te trekken naar beneden zodat men de verbinding zijdelings kan voorzien aan de chassisbalk en dwarsbalk.

5.2.4 Kolom

In voorgaande werd aangehaald dat de kolommen niet uit éénzelfde lengte gemaakt zullen worden. Men wil een deling maken in de kolom zodat er bij de montage op werkhoogte kan geassembleerd worden. Hierdoor moet er ook een verbinding voorzien worden tussen beide kolomdelen. Deze verbinding zal net zoals bij de chassisbalk gebeuren door een inwendige koppelplaat te voorzien die dezelfde vorm als de kolom aanhoudt. De bouten die hiervoor gebruikt worden zullen vooral op afschuiving belast worden.

5.2.5 Verbinding dakbalk – dakdwarsliggers

De verbinding tussen de dakbalken en de dwarsliggers van het dak gebeurt zoals de verbinding tussen de chassisbalk en de dwarsliggers van de bodem. De dwarsliggers van het dak bestaan uit een samengesteld I-profiel. Er zullen daarom aan elke zijde van de dwarsligger twee plaatdelen voorzien worden om de verbinding mogelijk te maken. Men verkrijgt dus vier boutverbindingen aan iedere zijde van de dwarsbalk. Een detail hiervan is te zien op figuur 33.



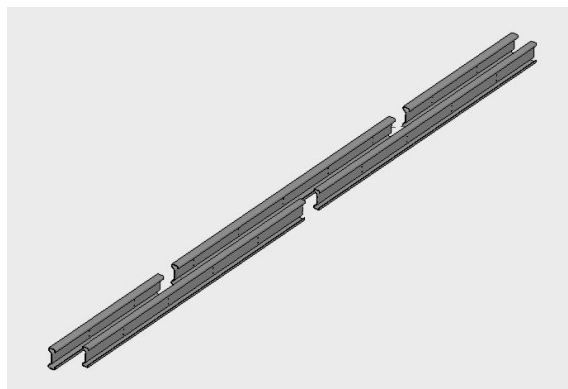
Figuur 33: Verbinding dakbalk - dakdwarsligger

5.2.6 Dwarsliggers

Zoals eerder en in vorige paragraaf aangehaald werd is geweten dat de dwarsliggers van het dak bestaan uit een samengesteld I-profiel. Dit profiel wordt verkregen door twee U-profielen met hun lijfplaten tegen elkaar te bevestigen. In het model van RFEM is dit profiel ook opgenomen als zijnde een profiel. Een perfecte samenwerking wordt dus verondersteld. Dit is ook gegrond omdat ze praktisch nooit onafhankelijk zullen kunnen belast worden of kunnen gaan doorbuigen. Ook cijfermatig is dit gecontroleerd. Het argument berust erop dat wanneer de gebruikte U-profielen afzonderlijk werken en hun weerstandbiedende momenten worden opgeteld, dit overeenstemt met het geval dat wanneer we het weerstandbiedend moment van het samengesteld profiel bekijken. Dit wil dus zeggen dat in theorie de twee afzonderlijke profielen niet aan elkaar verbonden moeten worden. Om praktische redenen en om toch een 'safety factor' in te bouwen wordt dit toch gedaan. De dimensionering van deze verbinding wordt dus niet gegrond door berekeningsparameters maar louter door ervaring en gevoel.

5.2.7 Dakbalk

Om een unit van zes meter te maken kan ook de dakbalk niet uit een lengte gemaakt worden. Er zal dus weer een koppeling moeten gebeuren van meerdere profielen aan elkaar om de gewenste lengte te bekomen. Al eerder was duidelijk dat de grote vrije overspanning van de dakbalk de maximale capaciteit vergt van de doorsnede. Ook is al aangehaald dat de totaal doorsnede bestaat uit twee samengestelde Omega-profielen van vijf millimeter dik. Bijkomend is geweten dat door het weglaten van de kolommen in het veld de dakbalk in het midden een groot veldmoment dient op te nemen. Met al deze parameters in het achterhoofd is ervoor gekozen om de dakbalk niet in het midden te koppelen maar een geschrinkt patroon te voorzien. We kunnen op die manier voorkomen dat de positie van de koppeling niet valt op de positie van het maximale moment en men moet geen extra koppelplaat voorzien. De dwarsliggers kunnen dus ook allemaal met dezelfde lengte gemaakt worden. Ook is geweten dat de verbinding van elke dwarsbalk aan de dakbalk gebeurt door vier bouten. Hierdoor zal het samengesteld profiel dus met een tussenafstand van ongeveer een halve meter telkenmaal aan elkaar verbonden worden. Op deze manier kan men dus twee verbindingen realiseren in eenzelfde stap. Op figuur 34 is een voorbeeld te zien van hoe dergelijk geschrinkt patroon verkregen kan worden voor een unit van zes meter. De buitenste lengte bestaat uit een afwisseling van 1.5m, 3m en 1.5m. De binnenste lengte bestaat uit twee stukken van drie meter.



Figuur 34: Geschrinkt patroon

5.3 IDEA Connection

IDEA Connection is een onderdeel van het softwarepakket IDEA Statica. Dit softwarepakket kan gebruikt worden voor de berekening en detaillering van de meeste constructie onderdelen. Zo kan men er consoles, platen, balken, kolommen, verbindingen, enz. in berekenen, zowel in beton als in staal. In deze masterproef zal er enkel gebruik gemaakt worden van het onderdeel IDEA Connection voor de berekening en detaillering van de verbindingen van de unit volgens het nieuwe concept.

In de eerste plaats is er voor de berekening van deze verbindingen gekozen voor IDEA Connection omdat dit ons is opgelegd door CBZ. CBZ heeft voor dit programma gekozen omdat IDEA Connection compatibel is met RFEM. Dit heeft dus als grote voordeel dat het mogelijk is om ons RFEM model van de unit volgens het nieuwe concept in te laden in IDEA Connection. Zo zou het dan mogelijk zijn om binnen enkele klikken een model in IDEA Connection te hebben met een volledige opbouw van de structuur, inclusief alle werkzame krachten in de elementen en knopen. Vervolgens is het dan mogelijk om in IDEA Connection verbindingen, lassen, bouten, enz. toe te voegen zodat er een detaillering van de verbinding tot stand komt, zoals deze in de praktijk werkelijk zal zijn. In de volgende stap kunnen alle optredende krachten en spanningen in de bouten, lassen en profielen van deze verbinding door IDEA Connection berekend worden. Wel zal er in IDEA Connection voor de verbinding gebruik worden gemaakt van bouten in plaats van de eerder besproken 'monobolts'. Dit om de simpele reden dat er geen 'monobolts' voorhanden zijn in de bibliotheek van IDEA Connection. Als de krachten in de bouten door het programma berekend zijn, is het eenvoudig om deze te vergelijken met de specificaties van de 'monobolts' in bijlage E en zo de best overeenkomende 'monobolt' te kiezen.

Helaas is IDEA Connection nog een vrij jonge software waardoor we tijdens het gebruik hiervan een aantal problemen hebben ondervonden. De grootste problemen zullen hieronder uitgebreid geëxpliceerd worden. Door deze problemen is het voor ons niet haalbaar geweest om de verbindingen van de unit met IDEA Connection te berekenen. Daarom zal er ook nog een deel volgen waarin verbindingen door middel van handberekeningen zijn uitgewerkt.

Het eerste probleem met IDEA Connection deed zich voor bij het inladen van het RFEM-model. Namelijk na het inladen, waren er geen profielen te zien in IDEA Connection. Dit was blijkbaar te wijten aan het feit dat onze unit niet is opgebouwd met standaard profielen, maar met zelf ontworpen profielen in SHAPE-THIN. Dit probleem hebben we wel kunnen verhelpen dankzij de profiel editor in IDEA Connection.

Het volgende probleem dat zich voordeed is dat het niet mogelijk was om onze profielen in te laden, waardoor ook de bijhorende krachten in de elementen en knopen niet mee ingeladen werden. Als oplossing hiervoor was het wel mogelijk om de krachten in elk gewenst punt op te zoeken in RFEM en vervolgens manueel in te geven in IDEA Connection, zie tabel 5. Met deze manier van werken stuiten we op het volgende probleem waarbij IDEA Connection de knoop niet in evenwicht beschouwt. Zoals te zien in tabel 6 zijn er nu ongebalanceerde krachten. De krachten in tabel 5 zullen hierdoor zodanig moeten worden aangepast dat er geen ongebalanceerde krachten meer aanwezig zijn. Door de krachten in tabel 5 aan te passen zullen deze niet meer volledig hetzelfde zijn zoals ze door RFEM berekend zijn en zullen de resultaten ook niet volledig correct zijn.

Tabel 5: Snedekrachten

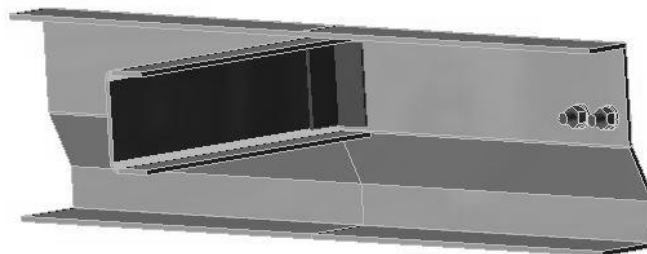
Snedekrachten		Leegmaken	Kopieer X positie						
	StAAF	Positie	X [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
	SM104	Einde	0,00	0,2	0,0	0,0	0,0	46,3	0,0
>	dwarsligger	Einde	0,00	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0
	SM75	Einde	0,00	0,2	0,0	0,0	0,0	46,3	0,0

Tabel 6: Ongebalanceerde krachten

Ongebalanceerde krachten						
	X [kN]	Y [kN]	Z [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
>	0,0	0,0	-0,4	0,0	0,0	0,0

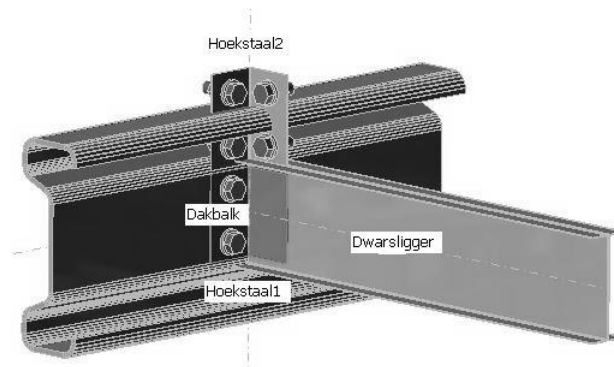
In het volgende stadium van het ontwerp met IDEA Connection komen we tot het exacte ontwerp van de verbinding. Hierbij zullen er verbindingssloten, bouten en lassen moeten worden toegevoegd om een detaillering van de verbinding tot stand te brengen zoals deze in de praktijk werkelijk zal zijn. Echter lukte deze detaillering van de verbinding ook niet altijd zonder problemen. Hieronder zullen enkele voorbeelden opgesomd worden.

In figuur 32 moet de boutgroep verticaal staan en op het hoekprofiel in plaats van horizontaal en op het einde van de chassisbalk. Met behulp van de bouteditor is het mogelijk om de bouten op de correcte plaats te plaatsen, maar na het bevestigen van de aanpassing verspringen de bouten terug naar de originele foute positie.



Figuur 35: Positionering bouten bodemchassis

Figuur 33 toont het probleem bij de positionering van een tweede hoekprofiel. Het hoekprofiel zou ook verdraaid moeten kunnen worden zodat het aan de andere zijde van de dwarsligger kan geplaatst worden. De ene lip van het hoekprofiel wordt gebout in de dakbalk en de andere lip moet met zijn rug tegen de rug van het eerste hoekprofiel staan. In IDEA Connection is er geen optie om een hoekprofiel te roteren, daarom was het onmogelijk om dit hoekprofiel correct te positioneren.



Figuur 36: Positionering hoekprofielen

Als laatste en misschien ook wel belangrijkste probleem met IDEA Connection twijfelen wij zeer sterk aan de correctheid van de resultaten. Als voorbeeld is er in tabel 7 te zien dat er geen normaalkrachten en momenten op de dwarsligger zijn ingegeven. In tabel 8 daarentegen is te zien dat er na de controleberekening van de bouten toch trekkrachten in de bouten optreden.

Tabel 7: Ingegeven lasten

Snedekrachten		Leegmaken	Kopieer X positie							
	Staaf	Positie	X [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]	
>	Dakbalklinks	Einde	0,00	0,2	0,0	0,1	0,0	46,3	0,0	
	dwarsligger	Einde	0,00	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	
	Dakbalkrechts	Einde	0,00	0,2	0,0	0,0	0,0	46,3	0,0	

Tabel 8: Controleberekening bouten

Controle van bouten en ankers voor het extreme lasteffect								
	Onderdeel	Belastingen	Ft [kN]	V [kN]	U.C. [%]	Uts [%]	Utts [%]	Status
>	B1	LE1	4,6	0,523	70,0	9,1	14,0	☑
	B2	LE1	4,5	0,312	68,3	5,4	12,7	☑
	B3	LE1	4,9	0,445	75,9	7,7	14,6	☑
	B4	LE1	4,5	0,39	69,6	6,8	13,3	☑

Omdat het onmogelijk is om trekkrachten te krijgen bij profielen waar geen normaalkrachten of momenten in optreden vinden wij dit een onbetrouwbaar resultaat. Hierdoor twijfelen wij ook aan de betrouwbaarheid van andere resultaten in IDEA Connection, daardoor zal er verder geen gebruik gemaakt worden van dit programma voor de dimensionering van de bouten.

5.4 Handberekeningen verbindingen

Omdat zoals in vorig deelhoofdstuk aangehaald is dat het berekenen van de verbindingen met de software geen betrouwbare resultaten geeft is ervoor geopteerd om de verbindingen handmatig te berekenen. Deze berekeningen zullen heel basis zijn maar kunnen toch de werkelijkheid voor meer dan 50% benaderen. Dit kan meer betrouwbaar geacht worden dan de resultaten van het softwareprogramma. De berekeningen worden uitgevoerd op een selectie van drie belangrijke verbindingen, namelijk de verbinding tussen de dakbalk en de dwarsbalken van het dak, de verbinding tussen de chassisbalk en de dwarsbalken van de bodem en tot slot de verbinding tussen de kolomprofielen.

5.4.1 Verbinding dakbalk – dwarsbalk dak

De verbinding tussen de dakbalk (Sigma-profiel) en de dwarsbalken van het dak (samengestelde I-ligger) wordt gedaan door middel van vier 'monobolts'. Voor een illustratie kan er teruggekeken worden naar figuur 33. Er wordt verondersteld dat deze verbinding zowel de verbinding waarborgt tussen de dakbalk en een dwarsbalk alsook de verbinding tussen de twee in elkaar lopende Sigma-profielen. De verbinding tussen de twee Sigma-profielen dient niet nagerekend te worden omdat deze profielen vormvast in elkaar zitten en ze op voldoende regelmaat (tussenafstand dwarsbalken) aan elkaar worden gebout. Voor de handberekening te doen wordt de knoop berekend waar de grootse belastingen optreden. De grootste belastingen op de dwarsbalken van het dak zijn er wanneer er zich geen bovenliggende unit bevindt, er treedt dan een sneeuwlast en onderhoudslast aan op het dak. Echter zijn de belastingen aan de randen eveneens verwaarloosbaar klein en blijkt een berekening voor de boutverbinding overbodig te zijn.

5.4.2 Verbinding chassisbalk - dwarsbalk bodem

Bij de verbinding tussen de chassisbalk een dwarsbalk van de bodem worden er twee bouten per knoop voorzien. Aan het uiteinde van de dwarsbalk wordt een bevestigingslip voorzien om de verbinding mogelijk te maken. Ook bij deze verbindingen zijn de krachten die RFEM weergeeft verwaarloosbaar klein. Als we de belasting berekenen op basis van een simplistische lastendaling verkrijgen we een dwarskracht van 2250N per knoop. De knoop bevat twee bouten dus de maximale afschuifkracht op te nemen per bout is 1125N.

Het bedrijf, CBZ nv, heeft reeds een keuze gemaakt voor de bouten die ze zullen gebruiken. De specificaties hiervan zijn terug te vinden in bijlage E. De fabrikant verzekert een afschuifkracht en een uittrekkkracht van de bouten. Het is niet duidelijk of op deze waarden een veiligheid is toegepast dus daarom wordt dit voor een extra waarborging toch toegepast en wordt de cataloguswaarde gedeeld door de partiële veiligheidsfactor γ_{M2} . Deze is voor bouten en klinknagels gelijk aan 1,25. De aangepaste weerstandbiedende krachten zijn terug te vinden in tabel 9.

Tabel 9: Gegevens monobolts

Gegevens monobolts				
d [mm]	Afschijfkracht catalogus [N]	Afschuifkracht veilig [N]	Uittrekkkracht catalogus [N]	Uittrekkkracht veilig [N]
4.8	6400	5120	5100	4080
6.4	11800	9440	10500	8400
10.0	26400	21120	17500	14000

Voor deze verbinding kan er dus gebruik gemaakt worden van de 4.8 bouten om de verbinding te waarborgen. Uitgebreidere berekeningen zijn niet van toepassing.

5.4.3 Verbinding kolom – kolom

De kolommen zullen niet uit een volledige lengte gemaakt worden. Ze worden in twee delen gesplitst zodat de montage van het dak kan gebeuren op werkhogte en er geen stellingen of ladders nodig zijn. Om de twee kolomdelen met elkaar te verbinden wordt er zoals eerder vermeld een verbindingsplaat gebruikt. De verschillende plaatdelen worden ook aan elkaar verbonden door middel van 'monobolts'. Voor deze verbinding houden we enkel rekening met de kans op afschuiven van de bouten en uitscheuren van de plaatdelen. Het moment dat optreedt in de kolommen wordt door contactspanningen doorgegeven. De normaalkracht die maximaal op de kolom aangrijpt is 37,5 kN. In het geval dat we gebruik maken van 6.4 bouten dienen we dus vier bouten te gebruiken om de afschuifkracht te kunnen weerstaan. Dit is de verbinding tussen één kolomdeel en de verbindingsplaat. In totaal zullen er dus acht bouten nodig zijn om de totale verbinding te maken. De bouten dienen gepositioneerd te worden conform NBN EN 1993-1-8 tabel 3.3 [13].

Verder zullen er berekeningen gebeuren op basis van NBN EN 1993-1-8 tabel 3.4: rekenwaarde van de weerstand voor individuele verbindingsmiddelen, die zijn onderworpen aan afschuiving en/of trek [13]. Hierin is opgenomen hoe de stuikweerstand gecontroleerd dient te worden.

- Stuikweerstand:
$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (22)$$

Hierin kan k_1 gelijk aan 1 en α_b gelijk aan 0,5 genomen worden. F_u en t zijn eigenschappen van het profiel en d is de diameter van de bout. Ingevuld geeft dit:

$$F_{b,Rd} = \frac{1 * 0.5 * 510 * 6.4 * 10}{1.25} = 13.1 \text{ kN}$$

De maximale stuik die er optreedt per bout is gelijk aan $37.5 \text{ kN} / 4 = 9375 \text{ N}$. De maximale stuikkracht die er mag optreden opdat de plaat niet uitscheurt is 13056 N per bout. Er is dus geen gevaar voor uitscheuren van de platen. Voor de verbinding tussen de verschillende kolomdelen kan er dus gebruik gemaakt worden van (2 keer) vier 6.4 bouten.

6 Besluit

Deze masterproef is begonnen met een handmatige berekening van een standaard unit. Om deze handmatige berekening uit te voeren werden er belangrijke aannames gemaakt die een rol speelde tijdens de volledige uitvoering van de masterproef. De handmatige berekeningen zijn zeer nuttig geweest om een goede voeling te krijgen met de opbouw van de unit, de ordegrrootte van optreden belastingen en de Eurocode. Wel moet er gezegd worden dat deze handberekeningen niet altijd eenvoudig waren en een sterke vereenvoudiging zijn van de berekeningen uitgevoerd door een softwareprogramma.

Uitgebreide berekeningen en optimalisatie van de unit is gebeurd met behulp van het softwarepakket RFEM. Omdat dit voor ons een compleet nieuw programma was heeft het wel enige tijd gevergd om dit goed onder de knie te krijgen. We zijn in RFEM begonnen met het aanmaken van een model volgens de huidige opbouw van een unit rekening houdend met dezelfde aannames als in de handberekening. Op deze manier was het ook mogelijk om de resultaten van de softwareberekening te vergelijken met de handberekening. Uit deze vergelijking kan besloten worden dat de resultaten weinig met elkaar overeenkomen. Dit is grotendeels te wijten aan het feit dat het softwareprogramma in staat is om veel uitgebreidere en nauwkeurigere berekeningen uit te voeren. Na een eerste analyse bleek het huidige model niet te voldoen. Maar mits een kleine aanpassing voldeed de unit van het huidige model wel aan de vooropgestelde eisen en aan een volledige Eurocode 3 controle.

Na de controle van het huidige model kon er begonnen worden met de opbouw van een model volgens een volledig nieuw concept. In dit nieuwe concept was het van groot belang dat de profielen door CBZ zelf konden vervaardigd worden uit gegalvaniseerde platen en door middel van boutverbindingen met elkaar verbonden worden. Hierdoor was er een nieuwe vormgeving van de profielen nodig. De nieuwe profielen behoren nu tot de koudgevormde dunwandige profielen. Met behulp van het softwarepakket RFEM hebben we een nieuwe vormgeving voor de profielen kunnen bepalen, die zowel aan de functionele als aan de stabiliteitseisen van het nieuwe concept voldoen.

Tot slot was het de bedoeling om van het softwarepakket IDEA Connection gebruik te maken voor het berekenen en detailleren van de boutverbindingen. Maar tijdens het gebruik van deze vrij jonge software is ons duidelijk geworden dat deze nog niet helemaal op punt staat. Hierdoor zijn wij in de laatste fase van deze masterproef voor de berekening van boutverbindingen terug overgeschakeld naar handberekeningen. Uit deze handberekeningen kan besloten worden dat de gedimensioneerde bouten die nodig zijn voor het aan elkaar bevestigen van de profielen ruimschoots voldoende zijn voor het opnemen van de optredende krachten ter plaatse van deze verbindingen.

Doordat we in deze masterproef spreken over modulaire units zijn er oneindig veel verschillende opstellingen van de units mogelijk. Hierdoor zal de optimalisatie van de units voor iedere opstelling verschillend zijn en zal er continue onderzoek nodig blijven. Wel is er dankzij onze vernieuwingen een goede basis gelegd voor een standaard opstelling waar steeds op kan verder gebouwd worden. Door de vooropgestelde aannames is de bijdrage van wanden en bekleding in deze masterproef buiten beschouwing gelaten. In de toekomst kan er mogelijk een nieuwe onderzoeksvraag gesteld worden om de bijdrage van de wanden en de bekleding wel in rekening te brengen.

Globaal gezien was deze masterproef een leerrijke ervaring. Zo hebben wij de kans gekregen om onze opgedane kennis over staalconstructies werkelijk te gebruiken in een praktijkvoorbeeld en daar bijkomend twee nieuwe interessante softwarepakketten te ontdekken. Ook vonden wij het interessant om onze masterproef voor een bedrijf te mogen uitvoeren dat zeer geïnteresseerd was in het resultaat en waarbij dit resultaat ook werkelijk zal toegepast worden.

Literatuurlijst

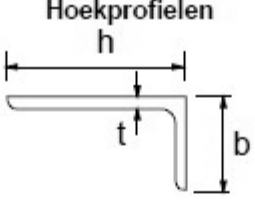
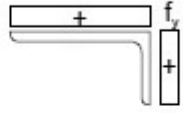
- [1]: Warsco Units (2015). Geraadpleegd op 19 oktober 2015 via <http://www.warsco.eu>
- [2]: NBN 1993-1-3. Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-3: Aanvullende regels voor koudgevormde profielen en platen
- [3]: NBN 1993-1-3. Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen
- [4]: NBN 1993-1-5. Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-5: Algemene regels - constructieve plaatvelden
- [5]: Be-Steel staalframebouw (2016). Geraadpleegd op 3 maart 2016 via <http://be-steel.eu/nl>
- [6]: Metafox subcontracting (2013). Geraadpleegd op 24 maart 2016 via <http://www.metafoxsubcontracting.be/>
- [7]: Alu-coating poedercoating en professionele aluminiumbewerkingen (2015). Geraadpleegd op 24 maart 2016 via <http://alucoating.be/diensten/plooien>
- [8]: Sab profiel a tata steel enterprise (2016). Geraadpleegd op 14 maart 2016 via <http://www.sabprofiel.nl>
- [9]: KS profiel (02/2013). Geraadpleegd op 14 maart 2016 via <http://www.ksprofiel.nl/profielen/c-plus-profielen>
- [10]: Beluma access & fastening solutions (01/2012). Geraadpleegd op 3 mei 2016 via <http://www.beluma.be>
- [11]: De metaalgids (2016) gerealiseerd door Federatie Metaalplaat. Geraadpleegd op 3 mei 2016 via <http://www.demetaalgids.nl>
- [12]: Avdel Global technologies company (02/2009). Geraadpleegd op 3 mei 2016 via <http://www.avdelusallc.com>
- [13]: NBN 1993-1-8. Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-8: Algemene regels - Ontwerp en berekening van verbindingen

Bijlagen

Bijlage A: Maximale breedte-dikte verhoudingen voor op druk belaste onderdelen

Inwendige op druk belaste onderdelen						
				Buigings-as		
				Buigings-as		
Klasse	Onderdeel belast op buiging	Onderdeel belast op druk	Onderdeel belast op druk en buiging			
Spanningsverdeling in de onderdelen (druk is positief)						
1	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 33\varepsilon$	indien $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ indien $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83\varepsilon$	$c/t \leq 38\varepsilon$	indien $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ indien $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$			
Spanningsverdeling in de onderdelen (druk is positief)						
3	$c/t \leq 124\varepsilon$	$c/t \leq 42\varepsilon$	indien $\psi > -1$: $c/t \leq \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ indien $\psi \leq -1$: $c/t \leq 62\varepsilon(1 - \psi)\sqrt{-\psi}$			
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Uitkragende flenzen						
		Gewalste profielen		Gelaste profielen		
Klasse	Onderdeel belast op druk	Onderdeel belast op druk en buiging				
		Uiterste vezel onder druk		Uiterste vezel onder trek		
Spanningsverdeling in de onderdelen (druk is positief)						
1	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	
Spanningsverdeling in de onderdelen (druk is positief)						
3	$c/t \leq 14\epsilon$	$c/t \leq 21\epsilon\sqrt{k_\sigma}$ Voor k_σ zie EN 1993-1-5				
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	e	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Klasse		Doorsnede in druk				
Zie ook "Uitkragende flenzen" (zie blad 2 van 3)					Geldt niet voor hoekprofielen die over de volle lengte met andere componenten zijn verbonden	
Spanningsverdeling over de doorsnede (druk is positief)						
3		$h/t \leq 15\varepsilon : \frac{b+h}{2t} \leq 11,5\varepsilon$				
Klasse		Doorsnede in druk en/of buiging				
1		$d/t \leq 50\varepsilon^2$				
2		$d/t \leq 70\varepsilon^2$				
3		$d/t \leq 90\varepsilon^2$				
OPMERKING Voor $d/t > 90\varepsilon^2$ zie EN 1993-1-6.						
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	ε^2	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

CONSTRUCTIEVE BEREKENING

PROJECT

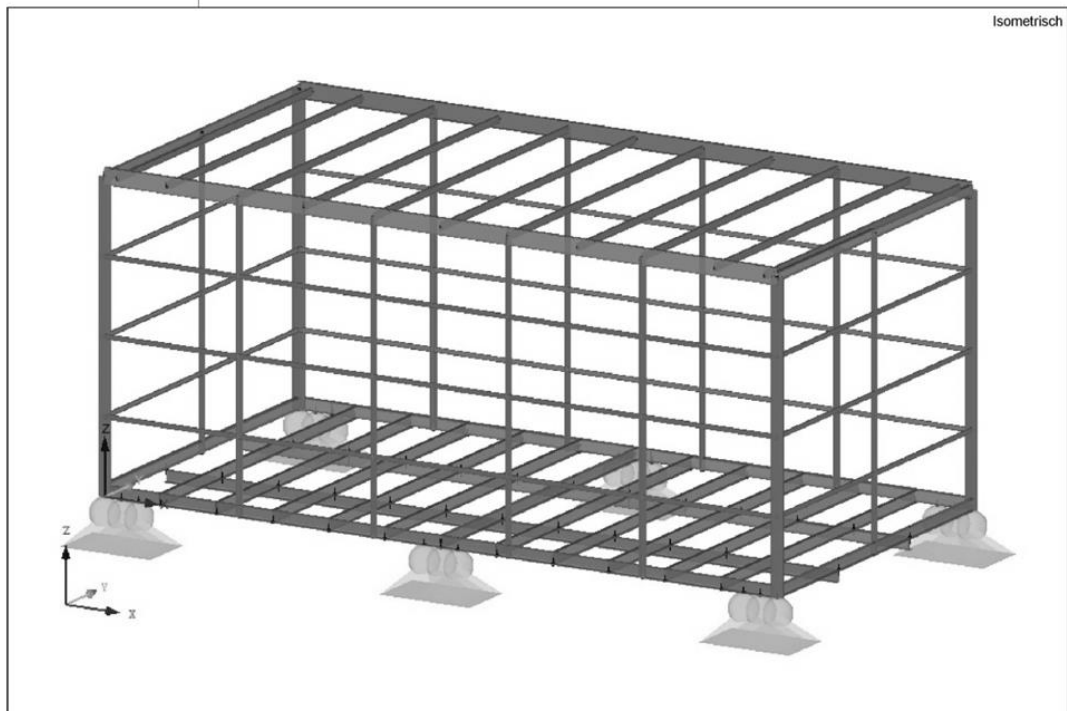
MASTERPROEF
Stabiliteitsoptimalisatie van stalen skeletstructuur voor
modulaire units

KLANT

CBZ nv
Zevenputtenstraat 12
B-3690 Zutendaal

AUTEUR

Sam Gielkens
Olivier Vanrijkel



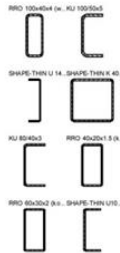
ALGEMENE GEGEVENS MODEL

Algemeen	Modelnaam	: Olivier-Sam_Unit 6x3 Rekenmodel
	Projectnaam	: VB unit
	Modeltype	: 3D
	Positieve richting van globale z-as	: Naar Boven
	Classificatie van belastinggevallen en combinaties	: Volgens norm:EN 1990 Nationale bijlage:NBN - België
	<input checked="" type="checkbox"/> Combinaties automatisch aanmaken	: <input checked="" type="checkbox"/> Resultaatcombinaties

1.3 MATERIALEN

Matr. No.	Modulus E [kN/cm ²]	Modulus G [kN/cm ²]	Coëff. v. Poisson n [-]	Vol. gewicht g [kN/m ³]	Therm. uitz. a [1/C]	Materiaalfactor γ_m [-]	Materiaal Model
1	Staal S 235 EN 1993-1-1:2005-05 21000.00	8076.92	0.300	78.50	1.20E-05	1.00	Isotroop Linear Elastisch

1.13 DOORSNEDES



Snedes No.	Matr. No.	J [cm ⁴]		I _y [cm ⁴]		Hoofdassen a [°]	Rotatie a' [°]	Globale maatvoering [mm]	
		A [cm ²]	A _y [cm ²]	A _x [cm ²]	A _y [cm ²]			Breedte b	Hoogte h
1	RRO 100x40x4 (warmgevormd) Condessa	1	74.40	121.00	27.40	0.00	0.00	40.0	100.0
			10.40	1.74	7.10				
2	KU 100/50x5	1	0.73	131.00	21.60	0.00	0.00	50.0	100.0
			8.95	3.02	4.02				
3	SHAPE-THIN U 140X40X3	1	0.18	168.97	8.32	0.00	0.00	40.0	140.0
			6.34	1.07	3.74				
4	SHAPE-THIN K 40X40X1.5	1	8.70	5.56	5.56	0.00	0.00	40.0	40.0
			2.27	0.97	0.97				
5	KU 80/40x3	1	0.13	43.10	6.98	0.00	0.00	40.0	80.0
			4.45	1.45	1.94				
6	RRO 40x20x1.5 (koudgevormd) Condessa	1	2.74	3.27	1.10	0.00	0.00	20.0	40.0
			1.65	0.37	1.06				
7	RRO 60x30x2 (koudgevormd) Condessa	1	12.60	15.00	5.08	0.00	0.00	30.0	60.0
			3.34	0.75	2.14				
10	SHAPE-THIN U100X40X3	1	0.14	75.30	7.58	0.00	0.00	40.0	100.0
			5.14	1.29	2.55				

2.1 BELASTINGSGEVALLEN

Bel. Geval	BG omschrijving	EN 1990 NBN Actiecategorie	Eigen gewicht - Factor in richting			
			Actief <input checked="" type="checkbox"/>	X	Y	Z
BG1	Eigen gewicht	Blijvend	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	0.000	-1.000
BG2	Sneeuw	Sneeuw (H.E. 1000 m a.s.l.)	<input type="checkbox"/>			
BG3	Wind in +X	Wind	<input type="checkbox"/>			
BG4	Wind in -X	Wind	<input type="checkbox"/>			
BG5	Veranderlijke belasting	Opgelegd - Categorie B: kantoorfunctie	<input type="checkbox"/>			
BG6	onderhoud	Opgelegd - Categorie B: kantoorfunctie	<input type="checkbox"/>			

2.6 RESULTAATCOMBINATIES

Resultaat-Combin.	DS	Resultaatcombinatie Omschrijving	No.	Factor	Belasting	Criterium	Alternat. Groep
RC1		1.0*BG1/b	1	1.00	BG1 Eigen gewicht	Blijvend	-
		1.0*BG5 + 1.0*BG6	1	1.00	BG5 Veranderlijke belasting	Variabel	-
RC2		1.0*BG5 + 1.0*BG6	2	1.00	BG6 onderhoud	Variabel	-
		1.0*BG2	1	1.00	BG2 Sneeuw	Variabel	-
RC3		1.0*BG3 of 1.0*BG4	1	1.00	BG3 Wind in +X	Variabel	1
		1.0*BG3 of 1.0*BG4	2	1.00	BG4 Wind in -X	Variabel	1
RC5	ULS	1.0*BG1/b	1	1.35	RC1 1.0*BG1/b	Blijvend	-
		1.0*BG5 + 1.0*BG6	2	1.50	RC2 1.0*BG5 + 1.0*BG6	Blijvend	-
		1.0*BG2	3	0.75	RC3 1.0*BG2	Variabel	-
		1.0*BG3 of 1.0*BG4	4	0.90	RC4 1.0*BG3 of 1.0*BG4	Variabel	-
RC6	ULS	1.0*BG1/b	1	1.35	RC1 1.0*BG1/b	Blijvend	-
		1.0*BG5 + 1.0*BG6	2	1.05	RC2 1.0*BG5 + 1.0*BG6	Variabel	-
		1.0*BG2	3	1.50	RC3 1.0*BG2	Blijvend	-
		1.0*BG3 of 1.0*BG4	4	0.90	RC4 1.0*BG3 of 1.0*BG4	Variabel	-
RC7	ULS	1.0*BG1/b	1	1.35	RC1 1.0*BG1/b	Blijvend	-
		1.0*BG5 + 1.0*BG6	2	1.05	RC2 1.0*BG5 + 1.0*BG6	Variabel	-
		1.0*BG2	3	0.75	RC3 1.0*BG2	Variabel	-
		1.0*BG3 of 1.0*BG4	4	1.50	RC4 1.0*BG3 of 1.0*BG4	Blijvend	-
RC8	S Ch	1.0*BG1/b	1	1.00	RC1 1.0*BG1/b	Blijvend	-
		1.0*BG5 + 1.0*BG6	2	1.00	RC2 1.0*BG5 + 1.0*BG6	Blijvend	-
		1.0*BG2	3	0.50	RC3 1.0*BG2	Variabel	-
		1.0*BG3 of 1.0*BG4	4	0.60	RC4 1.0*BG3 of 1.0*BG4	Variabel	-
RC9	S Ch	1.0*BG1/b	1	1.00	RC1 1.0*BG1/b	Blijvend	-
		1.0*BG5 + 1.0*BG6	2	0.70	RC2 1.0*BG5 + 1.0*BG6	Variabel	-
		1.0*BG2	3	1.00	RC3 1.0*BG2	Blijvend	-
		1.0*BG3 of 1.0*BG4	4	0.60	RC4 1.0*BG3 of 1.0*BG4	Variabel	-
RC10	S Ch	1.0*BG1/b	1	1.00	RC1 1.0*BG1/b	Blijvend	-
		1.0*BG5 + 1.0*BG6	2	0.70	RC2 1.0*BG5 + 1.0*BG6	Variabel	-

2.6 RESULTAATCOMBINATIES

Resultaat-Combin.	DS	Resultaatcombinatie Omschrijving	No.	Factor	Belasting	Criterium	Alternat. Groep	
RC11	S Fr		3	0.50	RC3	1.0*BG2	Variabel	-
			4	1.00	RC4	1.0*BG3 of 1.0*BG4	Blijvend	-
			1	1.00	RC1	1.0*BG1/b	Blijvend	-
			2	0.50	RC2	1.0*BG5 + 1.0*BG6	Blijvend	-
RC12	S Fr		3	0.00	RC3	1.0*BG2	Variabel	-
			4	0.00	RC4	1.0*BG3 of 1.0*BG4	Variabel	-
			1	1.00	RC1	1.0*BG1/b	Blijvend	-
			2	0.30	RC2	1.0*BG5 + 1.0*BG6	Variabel	-
RC13	S Fr		3	0.00	RC3	1.0*BG2	Variabel	-
			4	0.00	RC4	1.0*BG3 of 1.0*BG4	Variabel	-
			1	1.00	RC1	1.0*BG1/b	Blijvend	-
			2	0.30	RC2	1.0*BG5 + 1.0*BG6	Variabel	-
RC14	S Qp		3	0.00	RC3	1.0*BG2	Variabel	-
			4	0.20	RC4	1.0*BG3 of 1.0*BG4	Blijvend	-
			1	1.00	RC1	1.0*BG1/b	Blijvend	-
			2	0.30	RC2	1.0*BG5 + 1.0*BG6	Variabel	-
RC15	ULS	UGT (STR/GEO) - blijvend / tijdelijk - verg. 6.10	3	0.00	RC3	1.0*BG2	Variabel	-
			4	0.00	RC4	1.0*BG3 of 1.0*BG4	Variabel	-
			1	1.00	RC5	1.0*BG3 of 1.0*BG4	Blijvend	1
			2	1.00	RC6		Blijvend	1
RC16	S Ch	BGT - Karakteristiek	3	1.00	RC7		Blijvend	1
			1	1.00	RC8		Blijvend	1
			2	1.00	RC9		Blijvend	1
			3	1.00	RC10		Blijvend	1
RC17	S Fr	BGT - Frequent	1	1.00	RC11		Blijvend	1
			2	1.00	RC12		Blijvend	1
			3	1.00	RC13		Blijvend	1
			1	1.00	RC14		Blijvend	-

BG2
Sneeuw

3.15 GEGENEREERDE LASTEN

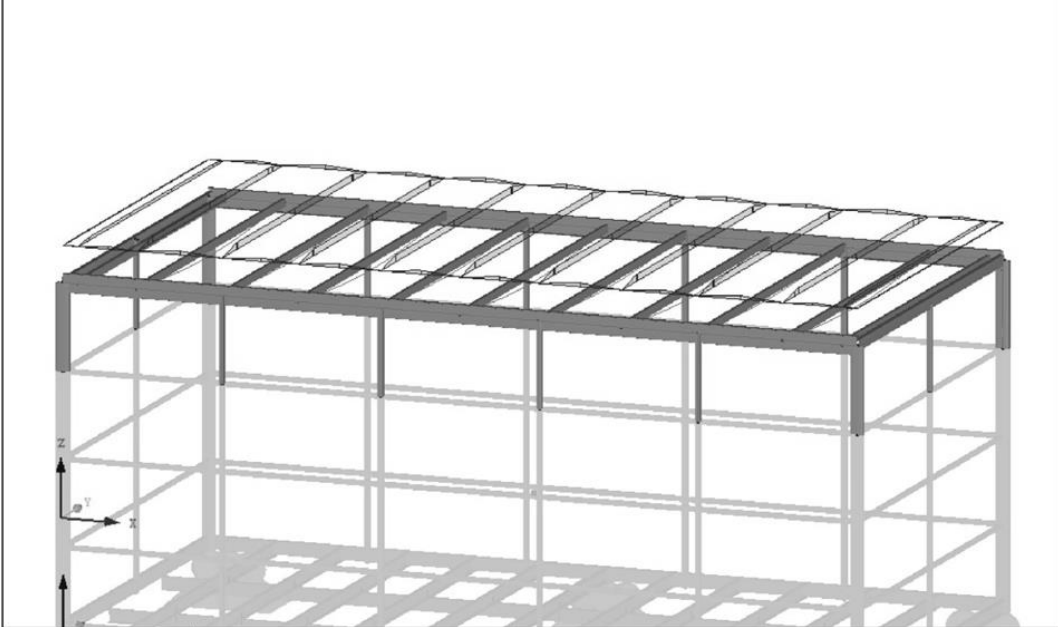
BG2: Sneeuw

No.	Belastingomschrijving
1	Van Sneeuwbelastingen (Vlak/Lessenaarsdak)
	Sneeuw Lastparameters
	Volgens de norm : EN 1991-1-3
	Nationale Bijlage : België
	Hoogte A : 20.000 m
	Sneeuwbelasting op de bodem s_k : 0.500 kN/m ²
	Coëfficiënten
	Blootstelling C_e : 1.00
	Thermische Coëfficiënt C_t : 1.00
	Dakgeometrie
	Knoop A : 53
	B : 56
	C : 55
	D : 54
	BG genereren
	<input checked="" type="checkbox"/> BG s1 : BG2
	Maak Last Type
	<input checked="" type="checkbox"/> Staaflasten
	Lastverdelingstype
	<input checked="" type="checkbox"/> Gecombineerd
	Genereer sneeuwbelastingen op staaf No. : 92,93,96,99,114,115, 211-215,217-220, 222-230,232-235, 237-243,267-270
	Parameters
	A_R : 18.000 m ²
	a : 0.0 °
	S_k : 0.500 kN/m ²
	m : 0.800
	s_1 : 0.400 kN/m ²
	Gegeneerde totale belastingen
	S P Vlakken : 7.200 kN
	S P : 7.199 kN
	Totale moment bij de oorsprong
	S P Vlakken : 24.150 kNm
	S P : 24.146 kNm
	Cellen geselecteerd voor genereren
	S Aantal Cellen : 12
	S Cel vlak : 18.000 m ²

■ GLOBALE VERVORMINGEN u_z

BG2: Sneeuw
Globale vervormingen u-Z

Isometrisch



BG3
Wind in +X

■ 3.15 GEGENEREERDE LASTEN

BG3: Wind in +X

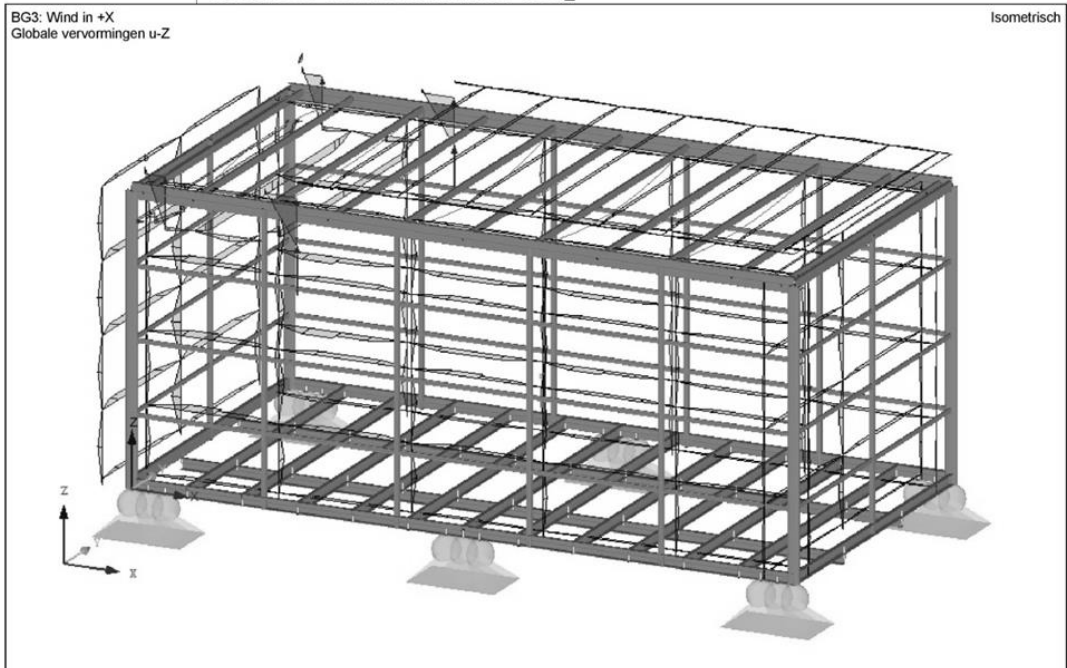
No.	Belastingomschrijving	
1	Van Windbelastingen (Gebouwen)	
	Snelheid Druk	Volgens de norm : EN 1991-1-4 Nationale Bijlage : België Windgebied : 25 Terrein Categorie : Categorie III Constructie Hoogte h : 2.560 m Fundamentele Windsnelheid $v_{b,0}$: 25.0 m/s
	Grondgeometrie	Knoop I : 1 J : 14 K : 26 L : 13
	Daktype en Geometrie	Type : ☐ Vlak/Een Schuine Kant Dak Knoop A : 56 B : 55 C : 54 D : 53
	Dakrandtype	☐ Scherpe-randen dakrandengebied
	BG genereren	☑ BG w+ : BG3 ☑ BG w- : BG4
	Stel wind in op een zijde	☐ A - B
	Maak Last Type	☐ Staaflasten
	Lastverdelingstype	☐ Gecombineerd
	Windbelasting wordt gegeneerd op staaf No.	: 1,4-7,10-13,16-19, 22-25,27,39,62,84, 87-101,103,104, 106-115,118,122,124, 125,127-215,217-220, 222-230,232-235, 237-243,267-270,280, 283,288,289,291-300, 305-310
	Gebouwafmeting	h : 2.560 m b : 3.000 m

3.15 GEGENEREERDE LASTEN

BG3: Wind in +X

No.	Belastingomschrijving																															
	d	: 6.000 m																														
	e Wanden	: 3.000 m																														
	e Dak	: 3.000 m																														
	A Wanden	: 46.080 m ²																														
	A Dak	: 18.000 m ²																														
	a	: 0.0 *																														
	d A	: 0.800 m																														
	d B	: 2.400 m																														
	d C	: 3.000 m																														
	d p	: 0.750 m																														
	d r	: 0.300 m																														
	d ij	: 1.200 m																														
	d i	: 4.500 m																														
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Gebied</th> <th>Externe Drukcoëfficiënt $C_{pe,10}$</th> <th>Externe Druk w_e [kN/m²]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>-1.200</td> <td>-0.581</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>-0.800</td> <td>-0.387</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>-0.500</td> <td>-0.242</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>0.724</td> <td>0.298</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>-0.347</td> <td>-0.143</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>-1.800</td> <td>-0.871</td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>-1.200</td> <td>-0.581</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>-0.700</td> <td>-0.339</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td>0.200</td> <td>0.097</td> </tr> </tbody> </table>		Gebied	Externe Drukcoëfficiënt $C_{pe,10}$	Externe Druk w_e [kN/m ²]	A	-1.200	-0.581	B	-0.800	-0.387	C	-0.500	-0.242	D	0.724	0.298	E	-0.347	-0.143	F	-1.800	-0.871	G	-1.200	-0.581	H	-0.700	-0.339	I	0.200	0.097
Gebied	Externe Drukcoëfficiënt $C_{pe,10}$	Externe Druk w_e [kN/m ²]																														
A	-1.200	-0.581																														
B	-0.800	-0.387																														
C	-0.500	-0.242																														
D	0.724	0.298																														
E	-0.347	-0.143																														
F	-1.800	-0.871																														
G	-1.200	-0.581																														
H	-0.700	-0.339																														
I	0.200	0.097																														
Gegeneerde totale belastingen		S P Vlakken : 3.429 kN																														
		S P : 3.429 kN																														
Totale moment bij de oorsprong		S P Vlakken : 9.538 kNm																														
		S P : 9.551 kNm																														
Cellen geselecteerd voor genereren		S Aantal Cellen : 134																														
		S Cel vlak : 97.368 m ²																														

■ GLOBALE VERVORMINGEN u_z



3.15 GEGENEREERDE LASTEN

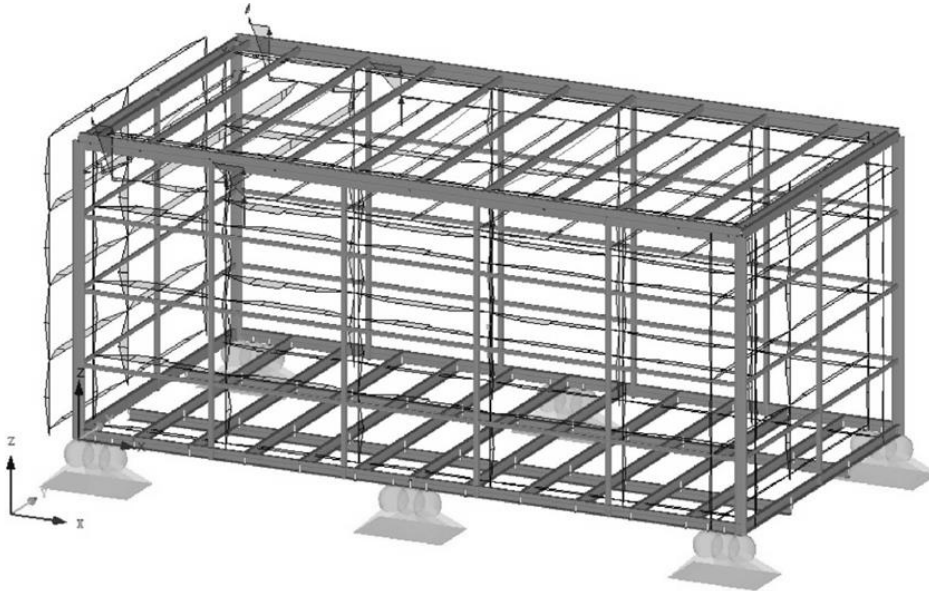
BG4: Wind in -X

No.	Belastingomschrijving																																																												
1	Van Windbelastingen (Gebouwen)																																																												
	Snelheid Druk	<table border="0"> <tr><td>Volgens de norm</td><td>:</td><td>EN 1991-1-4</td></tr> <tr><td>Nationale Bijlage</td><td>:</td><td>Belgie</td></tr> <tr><td>Windgebied</td><td>:</td><td>25</td></tr> <tr><td>Terrein Categorie</td><td>:</td><td>Categorie III</td></tr> <tr><td>Constructie Hoogte</td><td>h</td><td>2.560 m</td></tr> <tr><td>Fundamentele Windsnelheid</td><td>$v_{b,0}$</td><td>25.0 m/s</td></tr> </table>	Volgens de norm	:	EN 1991-1-4	Nationale Bijlage	:	Belgie	Windgebied	:	25	Terrein Categorie	:	Categorie III	Constructie Hoogte	h	2.560 m	Fundamentele Windsnelheid	$v_{b,0}$	25.0 m/s																																									
	Volgens de norm	:	EN 1991-1-4																																																										
	Nationale Bijlage	:	Belgie																																																										
	Windgebied	:	25																																																										
	Terrein Categorie	:	Categorie III																																																										
	Constructie Hoogte	h	2.560 m																																																										
	Fundamentele Windsnelheid	$v_{b,0}$	25.0 m/s																																																										
	Grondgeometrie	<table border="0"> <tr><td>Knoop</td><td>I</td><td>: 1</td></tr> <tr><td></td><td>J</td><td>: 14</td></tr> <tr><td></td><td>K</td><td>: 26</td></tr> <tr><td></td><td>L</td><td>: 13</td></tr> </table>	Knoop	I	: 1		J	: 14		K	: 26		L	: 13																																															
	Knoop	I	: 1																																																										
		J	: 14																																																										
		K	: 26																																																										
		L	: 13																																																										
	Daktype en Geometrie	<table border="0"> <tr><td>Type</td><td>:</td><td><input checked="" type="radio"/> Vlak/Een Schuine</td></tr> <tr><td></td><td></td><td><input type="radio"/> Kant Dak</td></tr> <tr><td>Knoop</td><td>A</td><td>: 56</td></tr> <tr><td></td><td>B</td><td>: 55</td></tr> <tr><td></td><td>C</td><td>: 54</td></tr> <tr><td></td><td>D</td><td>: 53</td></tr> </table>	Type	:	<input checked="" type="radio"/> Vlak/Een Schuine			<input type="radio"/> Kant Dak	Knoop	A	: 56		B	: 55		C	: 54		D	: 53																																									
	Type	:	<input checked="" type="radio"/> Vlak/Een Schuine																																																										
			<input type="radio"/> Kant Dak																																																										
	Knoop	A	: 56																																																										
		B	: 55																																																										
		C	: 54																																																										
		D	: 53																																																										
Dakrandtype	<input checked="" type="radio"/> Scherpe-randen dakrandengebied																																																												
BG genereren	<table border="0"> <tr><td><input checked="" type="checkbox"/> BG w+</td><td>:</td><td>BG3</td></tr> <tr><td><input checked="" type="checkbox"/> BG w-</td><td>:</td><td>BG4</td></tr> </table>	<input checked="" type="checkbox"/> BG w+	:	BG3	<input checked="" type="checkbox"/> BG w-	:	BG4																																																						
<input checked="" type="checkbox"/> BG w+	:	BG3																																																											
<input checked="" type="checkbox"/> BG w-	:	BG4																																																											
Stel wind in op een zijde	<input checked="" type="radio"/> A - B																																																												
Maak Last Type	<input checked="" type="radio"/> Staaflasten																																																												
Lastverdelingstype	<input checked="" type="radio"/> Gecombineerd																																																												
Windbelasting wordt gegeneerd op staaf No.	:	1,4-7,10-13,16-19, 22-25,27,39,62,64, 87-101,103,104, 106-115,118,122,124, 125,127-215,217-220, 222-230,232-235, 237-243,267-270,280, 283,288,289,291-300, 305-310																																																											
Gebouwafmeting	<table border="0"> <tr><td>h</td><td>:</td><td>2.560</td><td>m</td></tr> <tr><td>b</td><td>:</td><td>3.000</td><td>m</td></tr> <tr><td>d</td><td>:</td><td>6.000</td><td>m</td></tr> <tr><td>e Wanden</td><td>:</td><td>3.000</td><td>m</td></tr> <tr><td>e Dak</td><td>:</td><td>3.000</td><td>m</td></tr> <tr><td>A Wanden</td><td>:</td><td>46.080</td><td>m²</td></tr> <tr><td>A Dak</td><td>:</td><td>18.000</td><td>m²</td></tr> <tr><td>a</td><td>:</td><td>0.0</td><td>"</td></tr> <tr><td>d A</td><td>:</td><td>0.600</td><td>m</td></tr> <tr><td>d B</td><td>:</td><td>2.400</td><td>m</td></tr> <tr><td>d C</td><td>:</td><td>3.000</td><td>m</td></tr> <tr><td>d F</td><td>:</td><td>0.750</td><td>m</td></tr> <tr><td>d F</td><td>:</td><td>0.300</td><td>m</td></tr> <tr><td>d H</td><td>:</td><td>1.200</td><td>m</td></tr> <tr><td>d I</td><td>:</td><td>4.500</td><td>m</td></tr> </table>	h	:	2.560	m	b	:	3.000	m	d	:	6.000	m	e Wanden	:	3.000	m	e Dak	:	3.000	m	A Wanden	:	46.080	m ²	A Dak	:	18.000	m ²	a	:	0.0	"	d A	:	0.600	m	d B	:	2.400	m	d C	:	3.000	m	d F	:	0.750	m	d F	:	0.300	m	d H	:	1.200	m	d I	:	4.500	m
h	:	2.560	m																																																										
b	:	3.000	m																																																										
d	:	6.000	m																																																										
e Wanden	:	3.000	m																																																										
e Dak	:	3.000	m																																																										
A Wanden	:	46.080	m ²																																																										
A Dak	:	18.000	m ²																																																										
a	:	0.0	"																																																										
d A	:	0.600	m																																																										
d B	:	2.400	m																																																										
d C	:	3.000	m																																																										
d F	:	0.750	m																																																										
d F	:	0.300	m																																																										
d H	:	1.200	m																																																										
d I	:	4.500	m																																																										
Gebied	Externe Drukcoëfficiënt $C_{pe,10}$	Externe Druk w_e [kN/m ²]																																																											
A	-1.200	-0.581																																																											
B	-0.800	-0.387																																																											
C	-0.500	-0.242																																																											
D	0.724	0.298																																																											
E	-0.347	-0.143																																																											
F	-1.800	-0.871																																																											
G	-1.200	-0.581																																																											
H	-0.700	-0.339																																																											
I	-0.200	-0.097																																																											
Gegeneerde totale belastingen	S P Vlakken	: 4.641 kN																																																											
	S P	: 4.641 kN																																																											
Totale moment bij de oorsprong	S P Vlakken	: 7.182 kNm																																																											
	S P	: 7.178 kNm																																																											
Cellen geselecteerd voor genereren	S Aantal Cellen	: 134																																																											
	S Cel vlak	: 97.368 m ²																																																											

■ GLOBALE VERVORMINGEN u_z

BG4: Wind in -X
Globale vervormingen u-Z

Isometrisch



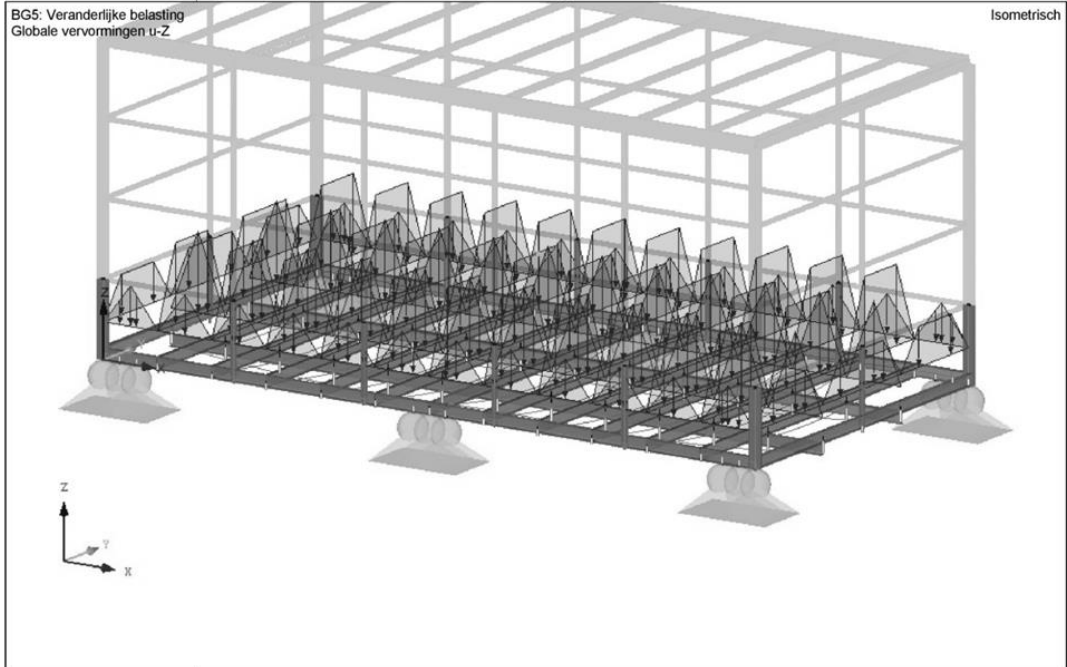
BG5
Veranderlijke belasting

■ 3.15 GEGENEREEERDE LASTEN

BG5: Veranderlijke belasting

No.	Belastingomschrijving				
1	Van Vlaklasten via vlak				
	Vlaklastrichting	Loodrecht op vlak	:	<input checked="" type="checkbox"/> z	
	Staaflastrichting	Richting van genereerde staaflasten:	:	<input checked="" type="checkbox"/> Globaal in X, Y, Z	
	Lasttoewijzingsbereik	<input checked="" type="checkbox"/> Volledig gesloten vlak			
	Lastverdelingstype:	<input checked="" type="checkbox"/> Gecombineerd			
	Vlaklast grootte	<input checked="" type="checkbox"/> Constant	:	3.000 kN/m ²	
	Grens van vlaklast vlak	Hoekknopen	:	1,14,26,13	
		Aanwijzing	:	Elke rij in de lijst geeft een vlak weer	
	Gegeneerde totale belastingen in richting		SP Vlakken	X	: 0.000 kN
				Y	: 0.000 kN
			Z	: -54.000 kN	
		SP Staven	X	: 0.000 kN	
			Y	: 0.000 kN	
			Z	: -54.000 kN	
Totale moment bij de oorsprong		SP Vlakken	X	: -81.000 kNm	
			Y	: 162.000 kNm	
			Z	: 0.000 kNm	
		SP Staven	X	: -81.000 kNm	
			Y	: 162.000 kNm	
			Z	: 0.000 kNm	
Cellen geselecteerd voor genereren		S Aantal Cellen	:	36	
		S Cel vlak	:	18.000 m ²	
Converteren van Vlaklasten naar Staaft No.			:	1,2,4-7,10-13,16-19,22-25,27-87,95,98,101,104,110-113,118,125,280,283,288,289,291-300,305-310	

■ GLOBALE VERVORMINGEN u_z



BG6
onderhoud

■ 3.15 GEGENEREERDE LASTEN

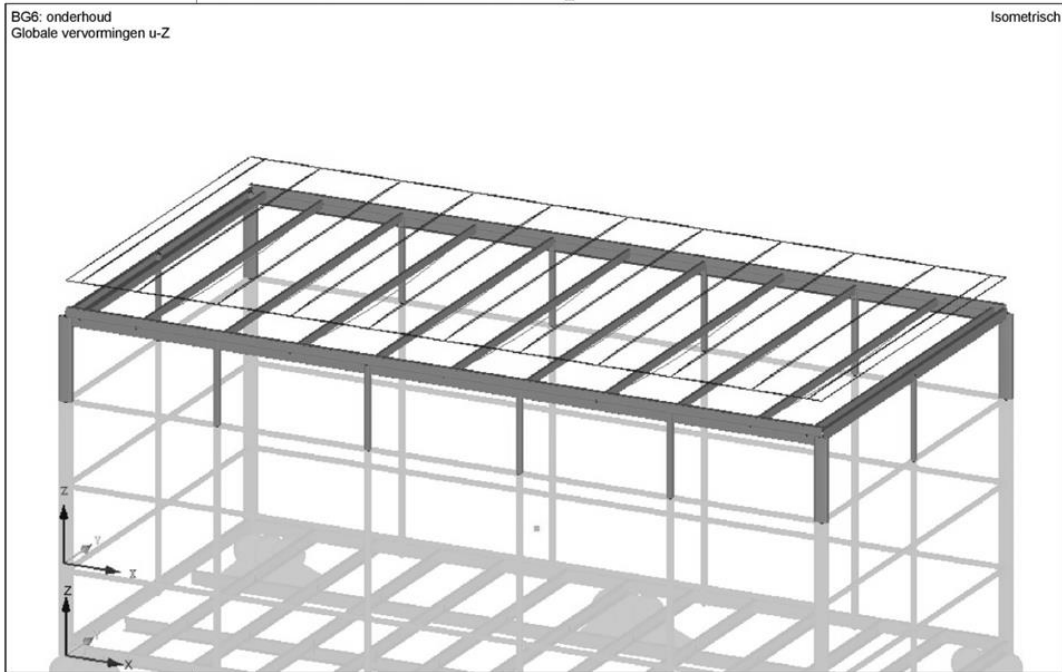
BG6: onderhoud

No.	Belastingomschrijving	
1	Van Vlaklasten via vlak	
	Vlaklastrichting	Loodrecht op vlak : <input checked="" type="checkbox"/> Z
	Staaflastrichting	Richting van gegenereerde staaflasten: : <input checked="" type="checkbox"/> Globaal in X, Y, Z
	Lasttoewijzingsbereik	<input checked="" type="checkbox"/> Volledig gesloten vlak
	Lastverdelingstype:	<input checked="" type="checkbox"/> Gecombineerd
	Vlaklast grootte	<input checked="" type="checkbox"/> Constant : 0.280 kN/m ²
	Grens van vlaklast vlak	Hoekknopen : 56,55,54,53 Aanwijzing : Elke rij in de lijst geeft een vlak weer
	Gegenereerde totale belastingen in richting	
	SP Vlakken	X : 0.000 kN Y : 0.000 kN Z : -5.040 kN
	SP Staven	X : 0.000 kN Y : 0.000 kN Z : -5.039 kN
Totale moment bij de oorsprong		
SP Vlakken	X : -7.560 kNm Y : 15.120 kNm Z : 0.000 kNm	
SP Staven	X : -7.559 kNm Y : 15.117 kNm Z : 0.000 kNm	
Cellen geselecteerd voor genereren		
S Aantal Cellen	: 12	
S Cel vlak	: 18.000 m ²	
Converteren van Vlaklasten naar Staaft No.		
	: 92,93,96,99,114,115, 211-215,217-220, 222-230,232-235, 237-243,267-270	

■ GLOBALE VERVORMINGEN u_z

BG6: onderhoud
Globale vervormingen u-Z

Isometrisch



■ 4.0 RESULTATEN - OPSOMMING

Omschrijving	Waarde	Eenheid	Opm.
Eigen gewicht			
Som van belastingen in X	0.00	kN	
Som van de steunpuntreacties in X	0.00	kN	
Som van belastingen in Y	0.00	kN	
Som van de steunpuntreacties in Y	0.00	kN	
Som van belastingen in Z	-7.19	kN	
Som van de steunpuntreacties in Z	-7.19	kN	Afwijking 0.00%
Resultante van reacties om x-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie (X:3.000, Y:1.500, Z:0.950 m)
Resultante van reacties om y-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie
Resultante van reacties om z-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie
Max. verplaatsing in x-as	-0.0	mm	Staal No. 122, x: 0.560 m
Max. verplaatsing in y-as	0.2	mm	Staal No. 178, x: 0.400 m
Max. verplaatsing in z-as	-1.0	mm	Staal No. 232, x: 1.500 m
Max. verplaatsing (vector)	1.0	mm	Staal No. 232, x: 1.500 m
Max. rotatie om x-as	0.9	mrad	Staal No. 242, x: 0.448 m
Max. rotatie om y-as	0.2	mrad	Staal No. 125, x: 0.550 m
Max. rotatie om z-as	0.2	mrad	Staal No. 194, x: 0.600 m
Berekeningsmethode	Lineair		Geometrisch lineaire statische berekening
Stijfheidsreductie maal factor	<input type="checkbox"/>		
Aantal lastincrementen	1		
Aantal iteraties	1		
Sneeuw			
Som van belastingen in X	0.00	kN	
Som van de steunpuntreacties in X	0.00	kN	
Som van belastingen in Y	0.00	kN	
Som van de steunpuntreacties in Y	0.00	kN	
Som van belastingen in Z	-7.20	kN	
Som van de steunpuntreacties in Z	-7.20	kN	Afwijking 0.00%
Resultante van reacties om x-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie (X:3.000, Y:1.500, Z:0.950 m)
Resultante van reacties om y-as	-0.001	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie
Resultante van reacties om z-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie
Max. verplaatsing in x-as	-0.1	mm	Staal No. 175, x: 0.320 m
Max. verplaatsing in y-as	2.3	mm	Staal No. 179, x: 0.240 m
Max. verplaatsing in z-as	-8.1	mm	Staal No. 232, x: 1.500 m
Max. verplaatsing (vector)	8.1	mm	Staal No. 232, x: 1.500 m
Max. rotatie om x-as	-8.3	mrad	Staal No. 220, x: 0.000 m
Max. rotatie om y-as	-0.2	mrad	Staal No. 298, x: 0.350 m
Max. rotatie om z-as	1.8	mrad	Staal No. 194, x: 0.600 m
Berekeningsmethode	Lineair		Geometrisch lineaire statische berekening
Stijfheidsreductie maal factor	<input type="checkbox"/>		
Aantal lastincrementen	1		
Aantal iteraties	1		
Wind in +X			
Som van belastingen in X	3.38	kN	
Som van de steunpuntreacties in X	3.38	kN	Afwijking 0.00%
Som van belastingen in Y	0.00	kN	
Som van de steunpuntreacties in Y	0.00	kN	
Som van belastingen in Z	0.57	kN	
Som van de steunpuntreacties in Z	0.57	kN	Afwijking 0.00%
Resultante van reacties om x-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie (X:3.000, Y:1.500, Z:0.950 m)
Resultante van reacties om y-as	6.536	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie
Resultante van reacties om z-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie
Max. verplaatsing in x-as	12.5	mm	Staal No. 182, x: 0.240 m
Max. verplaatsing in y-as	-10.8	mm	Staal No. 156, x: 0.800 m
Max. verplaatsing in z-as	-7.3	mm	Staal No. 223, x: 1.500 m
Max. verplaatsing (vector)	12.5	mm	Staal No. 182, x: 0.240 m
Max. rotatie om x-as	12.5	mrad	Staal No. 97, x: 0.240 m
Max. rotatie om y-as	13.6	mrad	Staal No. 124, x: 0.160 m
Max. rotatie om z-as	-11.5	mrad	Staal No. 168, x: 0.900 m
Berekeningsmethode	Lineair		Geometrisch lineaire statische berekening
Stijfheidsreductie maal factor	<input type="checkbox"/>		
Aantal lastincrementen	1		
Aantal iteraties	1		
Wind in -X			
Som van belastingen in X	3.38	kN	
Som van de steunpuntreacties in X	3.38	kN	Afwijking 0.00%
Som van belastingen in Y	0.00	kN	
Som van de steunpuntreacties in Y	0.00	kN	
Som van belastingen in Z	3.18	kN	
Som van de steunpuntreacties in Z	3.18	kN	Afwijking 0.00%
Resultante van reacties om x-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie (X:3.000, Y:1.500, Z:0.950 m)
Resultante van reacties om y-as	4.577	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie
Resultante van reacties om z-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie
Max. verplaatsing in x-as	12.5	mm	Staal No. 182, x: 0.240 m
Max. verplaatsing in y-as	-10.0	mm	Staal No. 156, x: 0.800 m
Max. verplaatsing in z-as	6.0	mm	Staal No. 214, x: 1.500 m
Max. verplaatsing (vector)	12.5	mm	Staal No. 182, x: 0.240 m
Max. rotatie om x-as	11.7	mrad	Staal No. 97, x: 0.240 m
Max. rotatie om y-as	13.6	mrad	Staal No. 124, x: 0.160 m
Max. rotatie om z-as	-11.5	mrad	Staal No. 168, x: 0.900 m
Berekeningsmethode	Lineair		Geometrisch lineaire statische berekening
Stijfheidsreductie maal factor	<input type="checkbox"/>		
Aantal lastincrementen	1		
Aantal iteraties	1		
Veranderlijke belasting			
Som van belastingen in X	0.00	kN	
Som van de steunpuntreacties in X	0.00	kN	
Som van belastingen in Y	0.00	kN	
Som van de steunpuntreacties in Y	0.00	kN	
Som van belastingen in Z	-54.00	kN	
Som van de steunpuntreacties in Z	-54.00	kN	Afwijking 0.00%
Resultante van reacties om x-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie (X:3.000, Y:1.500, Z:0.950 m)
Resultante van reacties om y-as	-0.010	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie
Resultante van reacties om z-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie
Max. verplaatsing in x-as	-0.6	mm	Staal No. 118, x: 0.000 m
Max. verplaatsing in y-as	0.9	mm	Staal No. 131, x: 0.320 m

■ 4.0 RESULTATEN - OPSOMMING

Omschrijving	Waarde	Eenheid	Opm.
Max. verplaatsing in z-as	-8.1	mm	Staal No. 46, x: 0.550 m
Max. verplaatsing (vector)	8.1	mm	Staal No. 46, x: 0.550 m
Max. rotatie om x-as	7.9	mrad	Staal No. 77, x: 0.950 m
Max. rotatie om y-as	-4.9	mrad	Staal No. 86, x: 0.500 m
Max. rotatie om z-as	-0.9	mrad	Staal No. 298, x: 0.233 m
Berekeningsmethode	Lineair		Geometrisch lineaire statische berekening
Stijfheidsreductie maal factor	<input type="checkbox"/>		
Aantal lastincrementen	1		
Aantal iteraties	1		
onderhoud			
Som van belastingen in X	0.00	kN	
Som van de steunpuntreacties in X	0.00	kN	
Som van belastingen in Y	0.00	kN	
Som van de steunpuntreacties in Y	0.00	kN	
Som van belastingen in Z	-5.04	kN	
Som van de steunpuntreacties in Z	-5.04	kN	Afwijking 0.00%
Resultante van reacties om x-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie (X:3.000, Y:1.500, Z:0.950 m)
Resultante van reacties om y-as	-0.001	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie
Resultante van reacties om z-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie
Max. verplaatsing in x-as	-0.1	mm	Staal No. 175, x: 0.320 m
Max. verplaatsing in y-as	1.6	mm	Staal No. 179, x: 0.240 m
Max. verplaatsing in z-as	-5.6	mm	Staal No. 232, x: 1.500 m
Max. verplaatsing (vector)	5.6	mm	Staal No. 232, x: 1.500 m
Max. rotatie om x-as	-5.8	mrad	Staal No. 220, x: 0.000 m
Max. rotatie om y-as	-0.2	mrad	Staal No. 298, x: 0.350 m
Max. rotatie om z-as	1.3	mrad	Staal No. 194, x: 0.600 m
Berekeningsmethode	Lineair		Geometrisch lineaire statische berekening
Stijfheidsreductie maal factor	<input type="checkbox"/>		
Aantal lastincrementen	1		
Aantal iteraties	1		
Samenvatting			
Max. verplaatsing in x-as	12.5	mm	BG3, Staal No. 182, x: 0.240 m
Max. verplaatsing in y-as	-10.8	mm	BG3, Staal No. 156, x: 0.800 m
Max. verplaatsing in z-as	-8.1	mm	BG5, Staal No. 46, x: 0.550 m
Max. verplaatsing (vector)	12.5	mm	BG3, Staal No. 182, x: 0.240 m
Max. rotatie om x-as	12.5	mrad	BG3, Staal No. 97, x: 0.240 m
Max. rotatie om y-as	13.6	mrad	BG3, Staal No. 124, x: 0.160 m
Max. rotatie om z-as	-11.5	mrad	BG3, Staal No. 168, x: 0.900 m
Andere instellingen			
Aantal 1D Eindige Elementen			: 246
Aantal 2D Eindige Elementen			: 0
Aantal 3D Eindige Elementen			: 0
Aantal EE-netknoten			: 144
Aantal vergelijkingen			: 864
Max. aantal iteraties			: 100
Aantal doorsnedes voor staafresultaten			: 10
Verdeling van kabels/fundatie/verlopende staven			: 10
Aantal staafverdelingen voor het zoeken naar max. waarden			: 10
Verdelingen van EE-net voor grafische weergave resultaten			: 3
Percentage van iteraties volgens de Picard-methode in combinatie met de Newton-Raphson methode			: 5 %
Opties			
<input checked="" type="checkbox"/> Afschuitijfheid activeren voor Slaven (Ay, Az)			
<input checked="" type="checkbox"/> Activeren van staafverdelingen voor grote vervorming of post-kritische berekening			
<input checked="" type="checkbox"/> Activeer ingevoerde stijfheidwijzigingen			
<input type="checkbox"/> Negeer rotatievrijheidsgraden			
<input checked="" type="checkbox"/> Controle van de kritische staafkrachten			<input checked="" type="radio"/> Direct
Oplossingsmethode voor de vergelijkingen			<input type="radio"/> Iteratie
Plaatbuigingstheorie			<input checked="" type="radio"/> Mindlin
			<input type="radio"/> Kirchhoff
Solverversie			<input type="radio"/> 32-bit
			<input checked="" type="radio"/> 64-bit
Precisie en Tolerantie			<input type="checkbox"/> Wijzig standaardinstelling

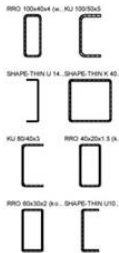
1.1 ALGEMENE GEGEVENS

Te berekenen staven:	Alle
Te berekenen staafverz.:	
Uiterste grenstoestandontwerp	RC15 UGT (STR/GEO) - blijvend / tijdelijk - verg. 6.10
Te berekenen RC's:	

1.2 MATERIALEN

Matl. No.	Materiaal Omschrijving	E-Modulus E [kN/cm ²]	Glijdingsmodulus G [kN/cm ²]	Coëff. van Poisson n [-]	Vloei spanning f _{yk} [kN/cm ²]	Max. Dikte t [mm]
1	Staal S 235 EN 1993-1-1:2005-05	21000.00	8076.92	0.300	23.50 21.50	40.0 80.0

1.3 DOORSNEDES



Snede No.	Matl. No.	Doorsnede Omschrijving	Doorsnede type voor classificatie	Max Ontwerp Unity Check	Commentaar
1	1	RRO 100x40x4 (warmgevormd) Condasa	Vierkant Gewalst	0.33	
2	1	KU 100/50x5	Algemeen	0.94	
3	1	Type Algemeen - alleen Klasse 3 mogelijk SHAPE-THIN U 140X40X3	Algemeen	0.83	
4	1	Type Algemeen - alleen Klasse 3 mogelijk SHAPE-THIN K 40X40X1.5	Algemeen	0.66	
5	1	Type Algemeen - alleen Klasse 3 mogelijk KU 80/40x3	Algemeen	0.32	
6	1	Type Algemeen - alleen Klasse 3 mogelijk RRO 40x20x1.5 (koudgevormd) Condasa	Vierkant Gewalst	0.58	
7	1	RRO 60x30x2 (koudgevormd) Condasa	Vierkant Gewalst	0.59	
10	1	SHAPE-THIN U100X40X3 Type Algemeen - alleen Klasse 3 mogelijk	Algemeen	0.59	

2.2 BEREKENING PER DOORSNEDE

Snede No.	Staal No.	Positie x [m]	BG/BC/RC	Berekening	volgens Formule	
1	RRO 100x40x4 (warmgevormd) Condasa	202	0.640	RC15	0.33	£ 1 223) Doorsnedecontrole - Dubbele buiging, afschuif- en normaalkracht volgens 6.2.10 en 6.2.9 - klasse 3 - algemene doorsnede
2	KU 100/50x5	50	0.550	RC15	0.94	£ 1 183) Doorsnedecontrole - buiging, afschuif- en normaalkracht volgens 6.2.9.2 - klasse 3 - algemene doorsnede
3	SHAPE-THIN U 140X40X3	213	0.115	RC15	0.83	£ 1 223) Doorsnedecontrole - Dubbele buiging, afschuif- en normaalkracht volgens 6.2.10 en 6.2.9 - klasse 3 - algemene doorsnede
4	SHAPE-THIN K 40X40X1.5	131	0.640	RC15	0.66	£ 1 223) Doorsnedecontrole - Dubbele buiging, afschuif- en normaalkracht volgens 6.2.10 en 6.2.9 - klasse 3 - algemene doorsnede
5	KU 80/40x3	269	1.500	RC15	0.32	£ 1 223) Doorsnedecontrole - Dubbele buiging, afschuif- en normaalkracht volgens 6.2.10 en 6.2.9 - klasse 3 - algemene doorsnede
6	RRO 40x20x1.5 (koudgevormd) Condasa	168	1.500	RC15	0.58	£ 1 223) Doorsnedecontrole - Dubbele buiging, afschuif- en normaalkracht volgens 6.2.10 en 6.2.9 - klasse 3 - algemene doorsnede
7	RRO 60x30x2 (koudgevormd) Condasa	226	1.500	RC15	0.59	£ 1 143) Doorsnedecontrole - buiging en afschuifkracht volgens 6.2.9.2 en 6.2.10 - klasse 3 - algemene doorsnede
10	SHAPE-THIN U100X40X3	48	0.550	RC15	0.59	£ 1 183) Doorsnedecontrole - buiging, afschuif- en normaalkracht volgens 6.2.9.2 - klasse 3 - algemene doorsnede

4.1 STUKLIJST PER STAAF

Veld No.	Doorsnede Omschrijving	Aantal Staven	Lengte [m]	Tot Lengte [m]	Oppervlak [m ²]	Solids [m ³]	Vol.gew. [kg/m]	Gewicht [kg]	Tot.gew. [t]
1	2 - KU 100/50x5	4	0.55	2.20	0.82	0.00	7.03	3.86	0.015
2	10 - SHAPE-THIN U100X40X3	10	1.10	11.00	3.84	0.01	4.04	4.44	0.044
3	2 - KU 100/50x5	32	0.50	16.00	5.97	0.01	7.03	3.51	0.112
4	2 - KU 100/50x5	8	0.20	1.60	0.60	0.00	7.03	1.41	0.011
5	2 - KU 100/50x5	4	0.40	1.60	0.60	0.00	7.03	2.81	0.011
6	2 - KU 100/50x5	4	0.10	0.40	0.15	0.00	7.03	0.70	0.003
7	2 - KU 100/50x5	4	0.30	1.20	0.45	0.00	7.03	2.11	0.008
8	2 - KU 100/50x5	6	0.95	5.70	2.13	0.01	7.03	6.67	0.040
9	10 - SHAPE-THIN U	20	0.95	19.00	6.63	0.01	4.04	3.83	0.077

4.1 STUKLIJST PER STAAF

Veld No.	Doorsnede Omschrijving	Aantal Staven	Lengte [m]	Tot Lengte [m]	Oppervlak [m ²]	Solids [m ³]	Vol.gew. [kg/m]	Gewicht [kg]	Tot.gew. [t]
10	U100X40X3								
2	KU 100/50x5	1	1.10	1.10	0.41	0.00	7.03	7.73	0.008
11	1 - RRO 100x40x4 (warmgevormd) Condesa	16	0.64	10.24	2.76	0.01	8.16	5.22	0.084
12	3 - SHAPE-THIN U 140X40X3	2	0.12	0.23	0.10	0.00	4.98	0.57	0.001
13	3 - SHAPE-THIN U 140X40X3	2	0.11	0.22	0.09	0.00	4.98	0.55	0.001
14	4 - SHAPE-THIN K 40X40X1.5	40	0.64	25.60	7.75	0.01	1.78	1.14	0.046
15	3 - SHAPE-THIN U 140X40X3	2	0.58	1.16	0.50	0.00	4.98	2.90	0.006
16	3 - SHAPE-THIN U 140X40X3	2	0.60	1.21	0.52	0.00	4.98	3.00	0.006
17	3 - SHAPE-THIN U 140X40X3	2	0.58	1.15	0.50	0.00	4.98	2.88	0.006
18	3 - SHAPE-THIN U 140X40X3	2	0.60	1.20	0.51	0.00	4.98	2.97	0.006
19	6 - RRO 40x20x1.5 (koudgevormd) Condesa	30	1.20	36.00	4.14	0.01	1.30	1.55	0.047
20	6 - RRO 40x20x1.5 (koudgevormd) Condesa	12	1.50	18.00	2.07	0.00	1.30	1.94	0.023
21	7 - RRO 60x30x2 (koudgevormd) Condesa	11	3.00	33.00	5.71	0.01	2.62	7.87	0.087
22	3 - SHAPE-THIN U 140X40X3	4	0.45	1.79	0.77	0.00	4.98	2.23	0.009
23	3 - SHAPE-THIN U 140X40X3	2	0.64	1.27	0.55	0.00	4.98	3.17	0.006
24	3 - SHAPE-THIN U 140X40X3	2	0.62	1.24	0.53	0.00	4.98	3.07	0.006
25	3 - SHAPE-THIN U 140X40X3	2	0.62	1.25	0.53	0.00	4.98	3.10	0.006
26	3 - SHAPE-THIN U 140X40X3	2	0.64	1.28	0.55	0.00	4.98	3.20	0.006
27	5 - KU 80/40x3	4	1.50	6.00	1.84	0.00	3.49	5.24	0.021
28	2 - KU 100/50x5	12	0.15	1.80	0.67	0.00	7.03	1.05	0.013
29	2 - KU 100/50x5	4	0.35	1.40	0.52	0.00	7.03	2.46	0.010
Som		246		203.84	52.19	0.09			0.719

CONSTRUCTIEVE BEREKENING

PROJECT

MASTERPROEF
Stabiliteitsoptimalisatie van stalen skeletstructuur voor
modulaire units

KLANT

CBZ nv
Zevenputtenstraat 12
B-3690 Zutendaal

AUTEUR

Sam Gielkens
Olivier Vanrijkel



■ ALGEMENE GEGEVENS MODEL

Algemeen	Modelnaam	: Olivier-Sam_Unit 6x3 Rekenmodel_2 units
	Projectnaam	: VB unit
	Modeltype	: 3D
	Positieve richting van globale z-as	: Naar Boven
	Classificatie van belastinggevallen en combinaties	: Volgens norm:EN 1990 Nationale bijlage:NBN - België
	<input checked="" type="checkbox"/> Combinaties automatisch aanmaken	: <input checked="" type="checkbox"/> Resultaatcombinaties

■ 1.3 MATERIALEN

Matl. No.	Modulus E [kN/cm ²]	Modulus G [kN/cm ²]	Coëff. v. Poisson n [-]	Vol. gewicht g [kN/m ³]	Therm. uitz. a [1/C]	Materiaalfactor γ_m [-]	Materiaal Model
2	Staal S 235 EN 1993-1-1:2005-05 21000.00	8076.92	0.300	78.50	1.20E-05	1.00	Isotroop Linear Elastisch

■ 1.13 DOORSNEDES

Sneden No.	Matl. No.	J [cm ⁴] A [cm ²]	I _y [cm ⁴] A _y [cm ²]	I _z [cm ⁴] A _z [cm ²]	Hoofdassen a [°]	Rotatie a' [°]	Globale maatvoering [mm] Breedte b Hoogte h
1	RRO 100x40x4 (warmgeferdig) Condesa 2	74.40 10.40	121.00 1.74	27.40 7.10	0.00	0.00	40.0 100.0
2	KU 100/50x5 2	0.73 8.95	131.00 3.02	21.60 4.02	0.00	0.00	50.0 100.0
3	SHAPE-THIN U 140X40X3 2	0.18 6.34	168.97 1.07	8.32 3.74	0.00	0.00	40.0 140.0
4	SHAPE-THIN K 40X40X1.5 2	8.70 2.27	5.56 0.97	5.56 0.97	0.00	0.00	40.0 40.0
5	KU 80/40x3 2	0.13 4.45	43.10 1.45	6.98 1.94	0.00	0.00	40.0 80.0
6	RRO 40x20x1.5 (kaltgeferdig) Condesa 2	2.74 1.65	3.27 0.37	1.10 1.06	0.00	0.00	20.0 40.0
7	RRO 60x30x2 (kaltgeferdig) Condesa 2	12.60 3.34	15.00 0.75	5.08 2.14	0.00	0.00	30.0 60.0
11	QRO 40x3 (kaltgeferdig) 2	15.80 4.21	9.32 1.88	9.32 1.88	0.00	0.00	40.0 40.0
12	SHAPE-THIN U100X40X3 2	0.14 5.14	75.30 1.29	7.58 2.55	0.00	0.00	40.0 100.0

■ 2.1 BELASTINGSGEVALLEN

Bel. Geval	BG omschrijving	EN 1990 NBN Actiecategorie	Actief	Eigen gewicht - Factor in richting		
				X	Y	Z
BG1	Eigen gewicht	Blijvend	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	0.000	-1.000
BG3	Wind in +X	Wind	<input type="checkbox"/>			
BG4	Wind in -X	Wind	<input type="checkbox"/>			
BG5	Veranderlijke belasting	Opgelegd - Categorie B: kantoorfunctie	<input type="checkbox"/>			
BG7	Bovenliggende unit		<input type="checkbox"/>			

■ 2.6 RESULTAATCOMBINATIES

Resultaat-Combin.	DS	Resultaatcombinatie Omschrijving	No.	Factor	Belasting	Criterium	Alternat. Groep
RC1		1.0*BG1/b	1	1.00	BG1 Eigen gewicht	Blijvend	-
RC2		1.0*BG5	1	1.00	BG5 Veranderlijke belasting	Variabel	-
RC3		1.0*BG3 of 1.0*BG4	1	1.00	BG3 Wind in +X	Variabel	1
			2	1.00	BG4 Wind in -X	Variabel	1
RC4		1.0*BG7	1	1.00	BG7 Bovenliggende unit	Variabel	-
RC5	ULS		1	1.35	RC1 1.0*BG1/b	Blijvend	-
			2	1.50	RC2 1.0*BG5	Blijvend	-
			3	0.90	RC3 1.0*BG3 of 1.0*BG4	Variabel	-
			4	1.35	RC4 1.0*BG7	Variabel	-
RC6	ULS		1	1.35	RC1 1.0*BG1/b	Blijvend	-
			2	1.05	RC2 1.0*BG5	Variabel	-
			3	1.50	RC3 1.0*BG3 of 1.0*BG4	Blijvend	-
			4	1.35	RC4 1.0*BG7	Variabel	-
RC7	S Ch		1	1.00	RC1 1.0*BG1/b	Blijvend	-
			2	1.00	RC2 1.0*BG5	Blijvend	-
			3	0.60	RC3 1.0*BG3 of 1.0*BG4	Variabel	-
			4	1.00	RC4 1.0*BG7	Variabel	-
RC8	S Ch		1	1.00	RC1 1.0*BG1/b	Blijvend	-
			2	0.70	RC2 1.0*BG5	Variabel	-
			3	1.00	RC3 1.0*BG3 of 1.0*BG4	Blijvend	-
			4	1.00	RC4 1.0*BG7	Variabel	-
RC9	S Fr		1	1.00	RC1 1.0*BG1/b	Blijvend	-
			2	0.50	RC2 1.0*BG5	Blijvend	-
			3	0.00	RC3 1.0*BG3 of 1.0*BG4	Variabel	-
			4	1.00	RC4 1.0*BG7	Variabel	-
RC10	S Fr		1	1.00	RC1 1.0*BG1/b	Blijvend	-

2.6 RESULTAATCOMBINATIES

Resultaat-Combin.	DS	Resultaatcombinatie Omschrijving	No.	Factor	Belasting	Criterium	Alternat. Groep	
RC11	S Qp		2	0.30	RC2	1.0*BG5	Variabel	-
			3	0.20	RC3	1.0*BG3 of 1.0*BG4	Blijvend	-
			4	1.00	RC4	1.0*BG7	Variabel	-
			1	1.00	RC1	1.0*BG1/b	Blijvend	-
RC12	ULS	UGT (STR/GEO) - blijvend / tijdelijk - verg. 6.10	2	0.30	RC2	1.0*BG5	Variabel	-
			3	0.00	RC3	1.0*BG3 of 1.0*BG4	Variabel	-
			4	1.00	RC4	1.0*BG7	Variabel	-
RC15	S Qp	BGT - Quasi-blijvend	1	1.00	RC11	Blijvend	-	
RC13	S Ch	BGT - Karakteristiek	1	1.00	RC6	Blijvend	1	
RC14	S Fr	BGT - Frequent	1	1.00	RC8	Blijvend	1	
RC15	S Fr	BGT - Frequent	2	1.00	RC9	Blijvend	1	
RC15	S Qp	BGT - Quasi-blijvend	1	1.00	RC10	Blijvend	1	
RC15	S Qp	BGT - Quasi-blijvend	1	1.00	RC11	Blijvend	-	

BG3
Wind in +X

3.15 GEGENEREERDE LASTEN

BG3: Wind in +X

No.	Belastingomschrijving																														
1	<p>Van Windbelastingen (Gebouwen)</p> <p>Snelheid Druk : Volgens de norm : EN 1991-1-4 Nationale Bijlage : België Windgebied : 25 Terrein Categorie : Categorie III Constructie Hoogte h : 2.560 m Fundamentele Windsnelheid $v_{s,0}$: 25.0 m/s</p> <p>Grondgeometrie : Knoop I : 1 J : 14 K : 26 L : 13</p> <p>Daktype en Geometrie : Type : ☐ Vlak/Een Schuine Kant Dak Knoop A : 56 B : 55 C : 54 D : 53</p> <p>Dakrandtype : ☐ Scherpe-randen dakrandengebied</p> <p>BG genereren : <input checked="" type="checkbox"/> BG w+ : BG3 <input checked="" type="checkbox"/> BG w- : BG4</p> <p>Stel wind in op een zijde : ☐ A - B</p> <p>Maak Last Type : ☐ Staaflasten</p> <p>Lastverdelingstype : ☐ Gecombineerd</p> <p>Windbelasting wordt gegeneerd op staaf No. : 1,3-27,39,62,64,87-104,106-116,118,122,124,125,127-245,267-270,280,283,288,289,294,296,300,306,308,310-318</p> <p>Gebouwafmeting : h : 2.560 m b : 3.000 m d : 6.000 m e Wanden : 3.000 m e Dak : 3.000 m A Wanden : 46.080 m² A Dak : 18.000 m² a : 0.0 m d A : 0.600 m d B : 2.400 m d C : 3.000 m d F : 0.750 m d F : 0.300 m d H : 1.200 m d I : 4.500 m</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Gebied</th> <th>Externe Drukcoëfficiënt $C_{pe,10}$</th> <th>Externe Druk w_e [kN/m²]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>A</td><td>-1.200</td><td>-0.581</td></tr> <tr><td>B</td><td>-0.800</td><td>-0.387</td></tr> <tr><td>C</td><td>-0.500</td><td>-0.242</td></tr> <tr><td>D</td><td>0.724</td><td>0.298</td></tr> <tr><td>E</td><td>-0.347</td><td>-0.143</td></tr> <tr><td>F</td><td>-1.800</td><td>-0.871</td></tr> <tr><td>G</td><td>-1.200</td><td>-0.581</td></tr> <tr><td>H</td><td>-0.700</td><td>-0.339</td></tr> <tr><td>I</td><td>0.200</td><td>0.097</td></tr> </tbody> </table> <p>Gegeneerde totale belastingen : S P Vlakken : 3.429 kN S P : 3.429 kN</p> <p>Totale moment bij de oorsprong : S P Vlakken : 9.538 kNm S P : 9.551 kNm</p>	Gebied	Externe Drukcoëfficiënt $C_{pe,10}$	Externe Druk w_e [kN/m ²]	A	-1.200	-0.581	B	-0.800	-0.387	C	-0.500	-0.242	D	0.724	0.298	E	-0.347	-0.143	F	-1.800	-0.871	G	-1.200	-0.581	H	-0.700	-0.339	I	0.200	0.097
Gebied	Externe Drukcoëfficiënt $C_{pe,10}$	Externe Druk w_e [kN/m ²]																													
A	-1.200	-0.581																													
B	-0.800	-0.387																													
C	-0.500	-0.242																													
D	0.724	0.298																													
E	-0.347	-0.143																													
F	-1.800	-0.871																													
G	-1.200	-0.581																													
H	-0.700	-0.339																													
I	0.200	0.097																													

3.15 GEGENEREERDE LASTEN

BG3: Wind in +X

No.	Belastingomschrijving	
	Cellen geselecteerd voor genereren	S Aantal Cellen : 142 S Cel vlak : 97.375 m ²

BG4
Wind in -X

3.15 GEGENEREERDE LASTEN

BG4: Wind in -X

No.	Belastingomschrijving	
1	Van Windbelastingen (Gebouwen)	
	Snelheid Druk	Volgens de norm : EN 1991-1-4 Nationale Bijlage : België Windgebied : 25 Terrein Categorie : Categorie III Constructie Hoogte h : 2.560 m Fundamentele Windsnelheid v ₅₀ : 25.0 m/s
	Grondgeometrie	Knoop I : 1 J : 14 K : 26 L : 13
	Daktype en Geometrie	Type : ☑ Vlak/Een Schuine Kant Dak Knoop A : 56 B : 55 C : 54 D : 53
	Dakrandtype	☑ Scherpe-randen dakrandengebied
	BG genereren	☑ BG w+ : BG3 ☑ BG w- : BG4
	Stel wind in op een zijde	☑ A - B
	Maak Last Type	☑ Staaflasten
	Lastverdelingstype	☑ Gecombineerd
	Windbelasting wordt gegeneerd op staaf No.	: 1,3-27,39,62,64, 87-104,106-116,118, 122,124,125,127-245, 267-270,280,283,288, 289,294,296,300,306, 308,310-318
	Gebouwafmeting	h : 2.560 m b : 3.000 m d : 6.000 m e Wanden : 3.000 m e Dak : 3.000 m A Wanden : 46.080 m ² A Dak : 18.000 m ² a : 0.0 m d _A : 0.600 m d _B : 2.400 m d _C : 3.000 m b _F : 0.750 m d _F : 0.300 m d _H : 1.200 m d _I : 4.500 m
	Gebied	Externe Drukcoëfficiënt C _{pe,10} : -1.200 Externe Druk w _e [kN/m ²] : -0.581 A : -0.800 : -0.387 B : -0.500 : -0.242 C : 0.724 : 0.298 D : -0.347 : -0.143 E : -1.600 : -0.871 F : -1.200 : -0.581 G : -0.700 : -0.339 H : -0.200 : -0.097 I
	Gegeneerde totale belastingen	S P Vlakken : 4.641 kN S P : 4.641 kN
	Totale moment bij de oorsprong	S P Vlakken : 7.182 kNm S P : 7.178 kNm
	Cellen geselecteerd voor genereren	S Aantal Cellen : 142 S Cel vlak : 97.375 m ²

BG5
Veranderlijke belasting

3.15 GEGENEREERDE LASTEN

BG5: Veranderlijke belasting

No.	Belastingomschrijving	
1	Van Vlaklasten via vlak	
	Vlakrichting	Loodrecht op vlak : ☑ z
	Staafrichting	Richting van gegeneerde staaflasten : ☑ Globaal in X, Y,

3.15 GEGENEREERDE LASTEN

BG5: Veranderlijke belasting

No.	Belastingomschrijving		Z
	Lasttoewijzingsbereik	<input checked="" type="checkbox"/> Volledig gesloten vlak	
	Lastverdelingstype:	<input checked="" type="checkbox"/> Gecombineerd	
	Vlakt grootte	<input checked="" type="checkbox"/> Constant	3.000 kN/m ²
	Grens van vlakt vlak	Hoekknopen	1,14,26,13
		Aanwijzing	Elke rij in de lijst geeft een vlak weer
	Gegeneerde totale belastingen in richting	SP Vlakken	X : 0.000 kN Y : 0.000 kN Z : -54.000 kN
		SP Staven	X : 0.000 kN Y : 0.000 kN Z : -54.000 kN
	Totale moment bij de oorsprong	SP Vlakken	X : -81.000 kNm Y : 162.000 kNm Z : 0.000 kNm
		SP Staven	X : -81.000 kNm Y : 162.000 kNm Z : 0.000 kNm
	Cellen geselecteerd voor genereren	S Aantal Cellen	36
		S Cel vlak	18.000 m ²
	Converteren van Vlaklasten naar Staaft No.		1,2,4-7,10-14,16-19, 22-48,50-73,75-87,95, 98,101,104,105, 110-113,117,118,125, 280,283,288,289,294, 296,300,306,308, 310-318

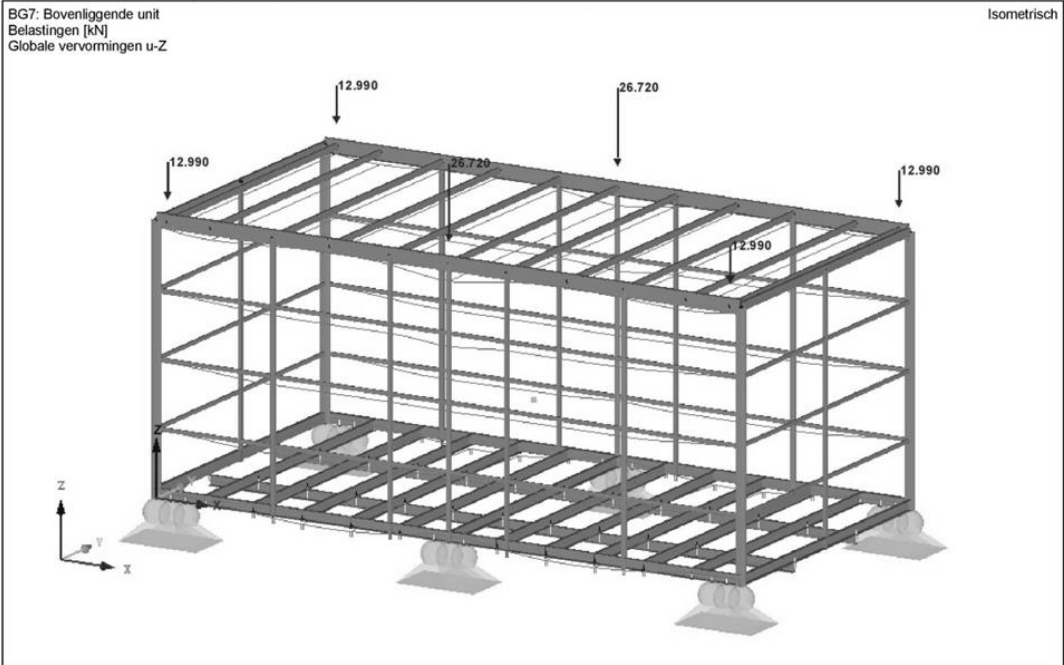
3.1 KNOOPLASTEN - PER COMPONENT - COÖRDINATENSYSTEEM

BG7: Bovenliggende unit

BG7
Bovenliggende unit

No.	Op Knoop No.	Coördinaten Systeem	Kracht [kN]			Moment [kNm]		
			P _x	P _y	P _z	M _x	M _y	M _z
1	130,131	0 Globaal XYZ	0,000	0,000	-26,720	0,000	0,000	0,000
2	120,121,140,141	0 Globaal XYZ	0,000	0,000	-12,990	0,000	0,000	0,000

■ GLOBALE VERVORMINGEN u_Z



4.0 RESULTATEN - OPSOMMING

Omschrijving	Waarde	Eenheid	Opm.
Eigen gewicht			
Som van belastingen in X	0.00	kN	
Som van de steunpuntreacties in X	0.00	kN	
Som van belastingen in Y	0.00	kN	
Som van de steunpuntreacties in Y	0.00	kN	
Som van belastingen in Z	-7.36	kN	
Som van de steunpuntreacties in Z	-7.36	kN	Afwijking 0.00%
Resultante van reacties om x-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie (X:3.000, Y:1.500, Z:0.957 m)
Resultante van reacties om y-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie
Resultante van reacties om z-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie
Max. verplaatsing in x-as	-0.2	mm	Staal No. 182, x: 0.000 m
Max. verplaatsing in y-as	0.2	mm	Staal No. 193, x: 0.800 m
Max. verplaatsing in z-as	1.0	mm	Staal No. 220, x: 1.500 m
Max. verplaatsing (vector)	1.0	mm	Staal No. 220, x: 1.500 m
Max. rotatie om x-as	-0.9	mrad	Staal No. 242, x: 0.448 m
Max. rotatie om y-as	-0.9	mrad	Staal No. 238, x: 0.000 m
Max. rotatie om z-as	0.5	mrad	Staal No. 208, x: 0.640 m
Berekeningsmethode	Lineair		Geometrisch lineaire statische berekening
Stijfheidsreductie maal factor	<input type="checkbox"/>		
Aantal lastincrementen	1		
Aantal iteraties	1		
Wind in +X			
Som van belastingen in X	3.38	kN	
Som van de steunpuntreacties in X	3.38	kN	Afwijking 0.00%
Som van belastingen in Y	0.00	kN	
Som van de steunpuntreacties in Y	0.00	kN	
Som van belastingen in Z	0.57	kN	
Som van de steunpuntreacties in Z	0.57	kN	Afwijking 0.00%
Resultante van reacties om x-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie (X:3.000, Y:1.500, Z:0.957 m)
Resultante van reacties om y-as	6.511	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie
Resultante van reacties om z-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie
Max. verplaatsing in x-as	-1.4	mm	Staal No. 213, x: 0.115 m
Max. verplaatsing in y-as	-12.1	mm	Staal No. 168, x: 0.000 m
Max. verplaatsing in z-as	12.4	mm	Staal No. 182, x: 0.240 m
Max. verplaatsing (vector)	12.4	mm	Staal No. 182, x: 0.240 m
Max. rotatie om x-as	13.3	mrad	Staal No. 125, x: 0.000 m
Max. rotatie om y-as	-13.5	mrad	Staal No. 124, x: 0.160 m
Max. rotatie om z-as	11.5	mrad	Staal No. 168, x: 0.900 m
Berekeningsmethode	Lineair		Geometrisch lineaire statische berekening
Stijfheidsreductie maal factor	<input type="checkbox"/>		
Aantal lastincrementen	1		
Aantal iteraties	1		
Wind in -X			
Som van belastingen in X	3.38	kN	
Som van de steunpuntreacties in X	3.38	kN	Afwijking 0.00%
Som van belastingen in Y	0.00	kN	
Som van de steunpuntreacties in Y	0.00	kN	
Som van belastingen in Z	3.18	kN	
Som van de steunpuntreacties in Z	3.18	kN	Afwijking 0.00%
Resultante van reacties om x-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie (X:3.000, Y:1.500, Z:0.957 m)
Resultante van reacties om y-as	4.552	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie
Resultante van reacties om z-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie
Max. verplaatsing in x-as	1.4	mm	Staal No. 243, x: 0.110 m
Max. verplaatsing in y-as	-12.1	mm	Staal No. 168, x: 0.000 m
Max. verplaatsing in z-as	12.4	mm	Staal No. 182, x: 0.240 m
Max. verplaatsing (vector)	12.4	mm	Staal No. 182, x: 0.240 m
Max. rotatie om x-as	13.3	mrad	Staal No. 125, x: 0.000 m
Max. rotatie om y-as	-13.5	mrad	Staal No. 124, x: 0.160 m
Max. rotatie om z-as	11.5	mrad	Staal No. 168, x: 0.900 m
Berekeningsmethode	Lineair		Geometrisch lineaire statische berekening
Stijfheidsreductie maal factor	<input type="checkbox"/>		
Aantal lastincrementen	1		
Aantal iteraties	1		
Veranderlijke belasting			
Som van belastingen in X	0.00	kN	
Som van de steunpuntreacties in X	0.00	kN	
Som van belastingen in Y	0.00	kN	
Som van de steunpuntreacties in Y	0.00	kN	
Som van belastingen in Z	-54.00	kN	
Som van de steunpuntreacties in Z	-54.00	kN	Afwijking 0.00%
Resultante van reacties om x-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie (X:3.000, Y:1.500, Z:0.957 m)
Resultante van reacties om y-as	-0.017	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie
Resultante van reacties om z-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie
Max. verplaatsing in x-as	-2.0	mm	Staal No. 124, x: 0.000 m
Max. verplaatsing in y-as	2.0	mm	Staal No. 230, x: 0.299 m
Max. verplaatsing in z-as	8.0	mm	Staal No. 46, x: 0.550 m
Max. verplaatsing (vector)	8.0	mm	Staal No. 46, x: 0.550 m
Max. rotatie om x-as	-7.8	mrad	Staal No. 314, x: 0.353 m
Max. rotatie om y-as	7.8	mrad	Staal No. 73, x: 0.950 m
Max. rotatie om z-as	5.6	mrad	Staal No. 116, x: 0.000 m
Berekeningsmethode	Lineair		Geometrisch lineaire statische berekening
Stijfheidsreductie maal factor	<input type="checkbox"/>		
Aantal lastincrementen	1		
Aantal iteraties	1		
Bovenliggende unit			
Som van belastingen in X	0.00	kN	
Som van de steunpuntreacties in X	0.00	kN	
Som van belastingen in Y	0.00	kN	
Som van de steunpuntreacties in Y	0.00	kN	
Som van belastingen in Z	-105.40	kN	
Som van de steunpuntreacties in Z	-105.40	kN	Afwijking 0.00%
Resultante van reacties om x-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie (X:3.000, Y:1.500, Z:0.957 m)
Resultante van reacties om y-as	0.230	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie
Resultante van reacties om z-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie
Max. verplaatsing in x-as	-0.6	mm	Staal No. 245, x: 0.640 m
Max. verplaatsing in y-as	0.1	mm	Staal No. 189, x: 1.500 m

4.0 RESULTATEN - OPSOMMING

Omschrijving	Waarde	Eenheid	Opm.
Max. verplaatsing in z-as	0.6	mm	Staaft No. 228, x: 0.000 m
Max. verplaatsing (vector)	0.6	mm	Staaft No. 245, x: 0.640 m
Max. rotatie om x-as	0.8	mrad	Staaft No. 268, x: 1.500 m
Max. rotatie om y-as	0.5	mrad	Staaft No. 213, x: 0.058 m
Max. rotatie om z-as	0.1	mrad	Staaft No. 116, x: 0.000 m
Berekeningsmethode	Linear		Geometrisch lineaire statische berekening
Stijfheidsreductie maal factor	<input type="checkbox"/>		
Aantal lastincrementen	1		
Aantal iteraties	1		
Samenvatting			
Max. verplaatsing in x-as	-2.0	mm	BG5, Staaft No. 124, x: 0.000 m
Max. verplaatsing in y-as	-12.1	mm	BG3, Staaft No. 168, x: 0.000 m
Max. verplaatsing in z-as	12.4	mm	BG3, Staaft No. 182, x: 0.240 m
Max. verplaatsing (vector)	12.4	mm	BG3, Staaft No. 182, x: 0.240 m
Max. rotatie om x-as	13.3	mrad	BG3, Staaft No. 125, x: 0.000 m
Max. rotatie om y-as	-13.5	mrad	BG3, Staaft No. 124, x: 0.160 m
Max. rotatie om z-as	11.5	mrad	BG3, Staaft No. 168, x: 0.900 m
Andere instellingen	Aantal 1D Eindige Elementen	:	260
	Aantal 2D Eindige Elementen	:	0
	Aantal 3D Eindige Elementen	:	0
	Aantal EE-netknope	:	150
	Aantal vergelijkingen	:	900
	Max. aantal iteraties	:	100
	Aantal doorsnedes voor staafresultaten	:	10
	Verdeling van kabels/fundatie/verlopende staven	:	10
	Aantal staafverdelingen voor het zoeken naar max. waarden	:	10
	Verdelingen van EE-net voor grafische weergave resultaten	:	3
	Percentage van iteraties volgens de Picard-methode in combinatie met de Newton-Raphson methode	:	5 %
Opties	<input checked="" type="checkbox"/> Afschuifstijfheid activeren voor Staven (Ay, Az)		
	<input checked="" type="checkbox"/> Activeren van staafverdelingen voor grote vervorming of post-kritische berekening		
	<input checked="" type="checkbox"/> Actieve ingevoerde stijfheidswijzigingen		
	<input type="checkbox"/> Negeer rotatievrijheidsgraden		
	<input checked="" type="checkbox"/> Controle van de kritische staafkrachten		
	Opllossingsmethode voor de vergelijkingen		<input checked="" type="radio"/> Direct <input type="radio"/> Iteratie <input type="radio"/> Mindlin <input type="radio"/> Kirchhoff <input type="radio"/> 32-bit <input checked="" type="radio"/> 64-bit
Precisie en Tolerantie	<input type="checkbox"/> Wijzig standaardinstelling		

4.1 KNOPEN - REACTIEKRACHTEN

Resultaatcombinaties

Knoop No.	RC		Reactiekrachten [kN]			Reactiemomenten [kNm]			Opm.
			P _x	P _y	P _z	M _x	M _y	M _z	
1	RC12	Max	5.17	-0.99	2.85	0.00	0.00	-0.01	
		Min	-4.08	-15.94	-18.40	0.00	0.00	-0.57	
13	RC12	Max	-0.40	-1.37	-0.69	0.00	0.00	0.24	
		Min	-8.09	-16.01	-20.87	0.00	0.00	-0.02	
14	RC12	Max	5.17	15.94	2.85	0.00	0.00	0.57	
		Min	-4.08	0.99	-18.40	0.00	0.00	0.01	
26	RC12	Max	-0.40	16.01	-0.69	0.00	0.00	0.02	
		Min	-8.09	1.37	-20.87	0.00	0.00	-0.24	
73	RC12	Max	0.98	0.90	-0.37	0.00	0.00	0.00	
		Min	-0.06	-60.68	-31.78	0.00	0.00	-0.02	
129	RC12	Max	0.98	60.68	-0.37	0.00	0.00	0.02	
		Min	-0.06	-0.90	-31.78	0.00	0.00	0.00	
153	RC12	Max	14.44	0.00	4.71	0.00	0.00	-0.01	
		Min	0.98	0.00	-1.29	0.00	0.00	-0.14	
154	RC12	Max	14.44	0.00	4.71	0.00	0.00	0.14	
		Min	0.98	0.00	-1.29	0.00	0.00	0.01	
155	RC12	Max	3.03	0.00	5.48	0.00	0.00	-0.01	
		Min	-12.46	0.00	0.36	0.00	0.00	-0.15	
156	RC12	Max	3.03	0.00	5.48	0.00	0.00	0.15	
		Min	-12.46	0.00	0.36	0.00	0.00	0.01	
157	RC12	Max	-0.88	0.00	-0.84	0.00	0.00	0.03	
		Min	-33.36	-0.18	-14.77	0.00	0.00	-0.70	
158	RC12	Max	33.30	0.00	0.53	0.00	0.00	0.68	
		Min	0.87	-0.18	-14.06	0.00	0.00	-0.02	
159	RC12	Max	-0.88	0.18	-0.84	0.00	0.00	0.70	
		Min	-33.36	0.00	-14.77	0.00	0.00	-0.03	
160	RC12	Max	33.30	0.18	0.53	0.00	0.00	0.02	
		Min	0.87	0.00	-14.06	0.00	0.00	-0.68	
161	RC12	Max	22.00	-0.02	0.59	0.00	0.00	0.28	
		Min	1.62	-0.39	-14.58	0.00	0.00	0.02	
162	RC12	Max	22.00	0.39	0.59	0.00	0.00	-0.02	
		Min	1.62	0.02	-14.58	0.00	0.00	-0.28	
163	RC12	Max	1.22	-0.02	-1.14	0.00	0.00	-0.02	
		Min	-21.14	-0.39	-15.09	0.00	0.00	-0.28	
164	RC12	Max	1.22	0.39	-1.14	0.00	0.00	0.28	
		Min	-21.14	0.02	-15.09	0.00	0.00	0.02	

1.1 ALGEMENE GEGEVENS

Te berekenen staven:	Alle
Te berekenen staalverz.:	
Uiterste grenstoestandsonwerp	RC12 UGT (STR/GEO) - blijvend / tijdelijk - verg. 6.10
Te berekenen RC's:	

1.2 MATERIALEN

Matl. No.	Materiaal Omschrijving	E-Modulus E [kN/cm ²]	Glijdingsmodulus G [kN/cm ²]	Coëff. van Poisson n [-]	Vloei spanning f _{yk} [kN/cm ²]	Max. Dikte t [mm]
2	Staal S 235 EN 1993-1-1:2005-05	21000.00	8076.92	0.300	23.50 21.50	40.0 80.0

1.3 DOORSNEDES

Snede No.	Matl. No.	Doorsnede Omschrijving	Doorsnede type voor klassificatie	Max Ontwerp Unity Check	Commentaar
1	2	RRO 100x40x4 (warmgevormd) Condesa	Vierkant Gewalst	0.48	
2	2	KU 100/50x5	Algemeen	0.92	
3	2	SHAPE-THIN U 140X40X3	Algemeen	0.77	
4	2	SHAPE-THIN K 40X40X1.5	Algemeen	0.55	
5	2	KU 80/40x3	Algemeen	0.39	
6	2	RRO 40x20x1.5 (koudgevormd) Condesa	Vierkant Gewalst	0.58	
7	2	RRO 60x30x2 (koudgevormd) Condesa	Vierkant Gewalst	0.26	
11	2	QRO 40x3 (koudgevormd)	Vierkant Gewalst	0.98	
12	2	SHAPE-THIN U100X40X3	Algemeen	0.59	

2.2 BEREKENING PER DOORSNEDE

Snede No.	Staal No.	Positie x [m]	BG/BC/RC	Berekening	volgens Formule	
1	RRO 100x40x4 (warmgevormd) Condesa	202	0.640	RC12	0.48	£ 1 223) Doorsnedecontrole - Dubbele buiging, afschuif- en normaalkracht volgens 6.2.10 en 6.2.9 - Klasse 3 - algemene doorsnede
2	KU 100/50x5	50	0.550	RC12	0.92	£ 1 183) Doorsnedecontrole - buiging, afschuif- en normaalkracht volgens 6.2.9.2 - Klasse 3 - algemene doorsnede
3	SHAPE-THIN U 140X40X3	92	0.000	RC12	0.77	£ 1 223) Doorsnedecontrole - Dubbele buiging, afschuif- en normaalkracht volgens 6.2.10 en 6.2.9 - Klasse 3 - algemene doorsnede
4	SHAPE-THIN K 40X40X1.5	198	0.640	RC12	0.55	£ 1 223) Doorsnedecontrole - Dubbele buiging, afschuif- en normaalkracht volgens 6.2.10 en 6.2.9 - Klasse 3 - algemene doorsnede
5	KU 80/40x3	267	0.000	RC12	0.39	£ 1 203) Doorsnedecontrole - buiging om z-as, afschuif- en normaalkracht volgens 6.2.9.2 - Klasse 3 - algemene doorsnede
6	RRO 40x20x1.5 (koudgevormd) Condesa	167	0.000	RC12	0.58	£ 1 223) Doorsnedecontrole - Dubbele buiging, afschuif- en normaalkracht volgens 6.2.10 en 6.2.9 - Klasse 3 - algemene doorsnede
7	RRO 60x30x2 (koudgevormd) Condesa	217	0.000	RC12	0.26	£ 1 183) Doorsnedecontrole - buiging, afschuif- en normaalkracht volgens 6.2.9.2 - Klasse 3 - algemene doorsnede
11	QRO 40x3 (koudgevormd)	102	0.000	RC12	0.98	£ 1 223) Doorsnedecontrole - Dubbele buiging, afschuif- en normaalkracht volgens 6.2.10 en 6.2.9 - Klasse 3 - algemene doorsnede
12	SHAPE-THIN U100X40X3	52	0.550	RC12	0.59	£ 1 183) Doorsnedecontrole - buiging, afschuif- en normaalkracht volgens 6.2.9.2 - Klasse 3 - algemene doorsnede

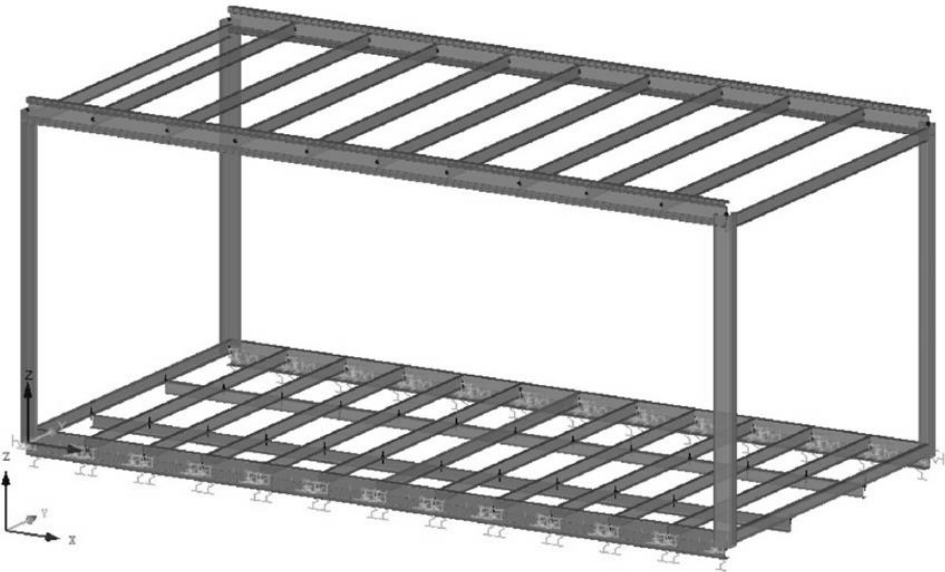
4.1 STUKLIJST PER STAAF

Veld No.	Doorsnede Omschrijving	Aantal Staven	Lengte [m]	Tot Lengte [m]	Oppervlak [m ²]	Solids [m ³]	Vol.gew. [kg/m]	Gewicht [kg]	Tot.gew. [t]
1	2 - KU 100/50x5	4	0.55	2.20	0.82	0.00	7.03	3.86	0.015
2	12 - SHAPE-THIN U100x40x3	10	1.10	11.00	3.84	0.01	4.04	4.44	0.044
3	6 - RRO 40x20x1.5 (koudgevoerd) Condesa	6	0.60	3.58	0.41	0.00	1.30	0.77	0.005
4	2 - KU 100/50x5	28	0.50	14.00	5.22	0.01	7.03	3.51	0.098
5	2 - KU 100/50x5	8	0.20	1.60	0.60	0.00	7.03	1.41	0.011
6	2 - KU 100/50x5	4	0.40	1.60	0.60	0.00	7.03	2.81	0.011
7	2 - KU 100/50x5	4	0.10	0.40	0.15	0.00	7.03	0.70	0.003
8	2 - KU 100/50x5	4	0.30	1.20	0.45	0.00	7.03	2.11	0.008
9	2 - KU 100/50x5	12	0.15	1.80	0.67	0.00	7.03	1.05	0.013
10	6 - RRO 40x20x1.5 (koudgevoerd) Condesa	6	0.60	3.62	0.42	0.00	1.30	0.78	0.005
11	2 - KU 100/50x5	6	0.95	5.70	2.13	0.01	7.03	6.67	0.040
12	12 - SHAPE-THIN U100x40x3	20	0.95	19.00	6.63	0.01	4.04	3.83	0.077
13	2 - KU 100/50x5	1	1.10	1.10	0.41	0.00	7.03	7.73	0.008
14	2 - KU 100/50x5	2	0.50	1.01	0.37	0.00	7.03	3.53	0.007
15	1 - RRO 100x40x4 (warmgevoerd) Condesa	16	0.64	10.24	2.76	0.01	8.16	5.22	0.084
16	3 - SHAPE-THIN U 140x40x3	2	0.12	0.23	0.10	0.00	4.98	0.57	0.001
17	3 - SHAPE-THIN U 140x40x3	2	0.11	0.22	0.09	0.00	4.98	0.55	0.001
18	4 - SHAPE-THIN K 40x40x1.5	40	0.64	25.60	7.75	0.01	1.78	1.14	0.046
19	3 - SHAPE-THIN U 140x40x3	2	0.58	1.16	0.50	0.00	4.98	2.90	0.006
20	3 - SHAPE-THIN U 140x40x3	2	0.60	1.21	0.52	0.00	4.98	3.00	0.006
21	11 - QRO 40x3 (koudgevoerd)	8	0.64	5.12	0.77	0.00	3.30	2.12	0.017
22	2 - KU 100/50x5	2	0.50	0.99	0.37	0.00	7.03	3.50	0.007
23	3 - SHAPE-THIN U 140x40x3	2	0.58	1.15	0.50	0.00	4.98	2.88	0.006
24	3 - SHAPE-THIN U 140x40x3	2	0.60	1.20	0.51	0.00	4.98	2.97	0.006
25	6 - RRO 40x20x1.5 (koudgevoerd) Condesa	24	1.20	28.80	3.31	0.00	1.30	1.55	0.037
26	6 - RRO 40x20x1.5 (koudgevoerd) Condesa	12	1.50	18.00	2.07	0.00	1.30	1.94	0.023
27	7 - RRO 60x30x2 (koudgevoerd) Condesa	11	3.00	33.00	5.71	0.01	2.62	7.87	0.087
28	3 - SHAPE-THIN U 140x40x3	4	0.45	1.79	0.77	0.00	4.98	2.23	0.009
29	3 - SHAPE-THIN U 140x40x3	2	0.64	1.27	0.55	0.00	4.98	3.17	0.006
30	3 - SHAPE-THIN U 140x40x3	2	0.62	1.24	0.53	0.00	4.98	3.07	0.006
31	3 - SHAPE-THIN U 140x40x3	2	0.62	1.25	0.53	0.00	4.98	3.10	0.006
32	3 - SHAPE-THIN U 140x40x3	2	0.64	1.28	0.55	0.00	4.98	3.20	0.006
33	5 - KU 80/40x3	4	1.50	6.00	1.84	0.00	3.49	5.24	0.021
34	2 - KU 100/50x5	2	0.35	0.71	0.26	0.00	7.03	2.48	0.005
35	2 - KU 100/50x5	2	0.35	0.69	0.26	0.00	7.03	2.44	0.005
Som		260		208.96	52.95	0.09			0.736

Bijlage D: Berekeningsrapport-Unit 6x3 nieuwe profielen Rekenmodel

Project: Masterproef	Model: Unit 6x3 nieuwe profielen	Pagina: 1/10
CONSTRUCTIEVE BEREKENING		
PROJECT	MASTERPROEF Stabiliteitsoptimalisatie van stalen skeletstructuur voor modulaire units	
KLANT	CBZ nv Zevenputtenstraat 12 B-3690 Zutendaal	
AUTEUR	Sam Gielkens Olivier Vanrijkel	

Isometrisch



The image shows a 3D isometric view of a steel skeleton structure. It features a rectangular frame with a top and bottom deck. The top deck is supported by a grid of horizontal beams. The bottom deck is supported by a grid of horizontal beams. The structure is shown in a 3D perspective view with a coordinate system (X, Y, Z) at the bottom left corner.

RFEM 5.05.0030- Algemene 3D-constructies berekend met EEM www.dlubal.com

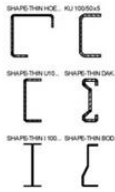
■ ALGEMENE GEGEVENS MODEL

Algemeen	Modelnaam	: Olivier-Sam_Unit 6x3 nieuwe profielen
	Projectnaam	: VB unit
	Modeltype	: 3D
	Positieve richting van globale z-as	: Naar Boven
	Classificatie van belastinggevallen en combinaties	: Volgens norm:EN 1990 Nationale bijlage:NBN - België
	<input checked="" type="checkbox"/> Combinaties automatisch aanmaken	: <input checked="" type="checkbox"/> Resultaatcombinaties

■ 1.3 MATERIALEN

Matl. No.	Modulus E [kN/cm ²]	Modulus G [kN/cm ²]	Coëff. v. Poisson n [-]	Vol. gewicht g [kN/m ³]	Therm. uitz. a [1/C]	Materiaalfactor γ_M [-]	Materiaal Model
2	Staal S 235 EN 1993-1-1:2005-05 21000.00	8076.92	0.300	78.50	1.20E-05	1.00	Isotroop Lineair Elastisch

■ 1.13 DOORSNEDES



Snedes No.	Matl. No.	J [cm ⁴] A [cm ²]	$I_{y,y}$ [cm ⁴]		Hoofdassen a [°]	Rotatie a' [°]	Globale maatvoering [mm]	
			$I_{y,y}$	$A_{y,y}$			Breedte b	Hoogte h
1	SHAPÉ THIN HOEKKOLOM 2	1.22 16.26	530.51 7.09	187.33 5.02	42.12	0.00	130.0	130.0
2	KU 100/50x5 2	0.73 8.95	131.00 3.02	21.60 4.02	0.00	0.00	50.0	100.0
12	SHAPÉ THIN U100X40X3 2	0.14 5.14	75.30 1.29	7.58 2.55	0.00	0.00	40.0	100.0
13	SHAPÉ THIN DAKBALK SIGMA1 2	9.91 37.04	1976.99 10.20	123.92 14.43	0.00	180.00	70.0	200.0
14	SHAPÉ THIN I 100X20X1 2	0.03 2.76	35.29 0.68	1.07 1.82	0.00	0.00	40.0	100.0
15	SHAPÉ THIN BODEMBALK 200 2	1.19 15.70	845.34 3.15	51.41 8.55	4.82	0.00	75.0	200.0

■ 2.1 BELASTINGSGEVALLEN

Bel. Geval	BG omschrijving	EN 1990 NBN Actiecategorie	Eigen gewicht - Factor in richting			
			Actief	X	Y	Z
BG1	Eigen gewicht	Blijvend	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	0.000	-1.000
BG3	Wind in +X	Wind	<input checked="" type="checkbox"/>			
BG4	Wind in -X	Wind	<input type="checkbox"/>			
BG5	Veranderlijke belasting	Opgelegd - Categorie B: kantoorfunctie	<input type="checkbox"/>			
BG7	Bovenliggende unit		<input type="checkbox"/>			

■ 2.6 RESULTAATCOMBINATIES

Resultaat-Combin.	DS	Resultaatcombinatie		Factor	Belasting		Criterium	Alternat. Groep
		Omschrijving	No.		Belasting	Belasting		
RC1		1.0*BG1/b	1	1.00	BG1	Eigen gewicht	Blijvend	-
RC2		1.0*BG5	1	1.00	BG5	Veranderlijke belasting	Variabel	-
RC3		1.0*BG7	1	1.00	BG7	Bovenliggende unit	Variabel	-
RC4	ULS		1	1.35	RC1	1.0*BG1/b	Blijvend	-
			2	1.50	RC2	1.0*BG5	Blijvend	-
			3	1.35	RC3	1.0*BG7	Variabel	-
RC5	S Ch		1	1.00	RC1	1.0*BG1/b	Blijvend	-
			2	1.00	RC2	1.0*BG5	Blijvend	-
			3	1.00	RC3	1.0*BG7	Variabel	-
RC6	S Fr		1	1.00	RC1	1.0*BG1/b	Blijvend	-
			2	0.50	RC2	1.0*BG5	Blijvend	-
			3	1.00	RC3	1.0*BG7	Variabel	-
RC7	S Qp		1	1.00	RC1	1.0*BG1/b	Blijvend	-
			2	0.30	RC2	1.0*BG5	Variabel	-
			3	1.00	RC3	1.0*BG7	Variabel	-
RC8	ULS	UGT (STR/GEO) - blijvend / tijdelijk - verg. 6.10	1	1.00	RC4		Blijvend	-
RC9	S Ch	BGT - Karakteristiek	1	1.00	RC5		Blijvend	-
RC10	S Fr	BGT - Frequent	1	1.00	RC6		Blijvend	-
RC11	S Qp	BGT - Quasi-blijvend	1	1.00	RC7		Blijvend	-

BG3
Wind in +X

■ 3.15 GEGENEREERDE LASTEN

BG3: Wind in +X

No.	Belastingomschrijving	
1	Van Windbelastingen (Gebouwen)	
	Snelheid Druk	Volgens de norm : EN 1991-1-4 Nationale Bijlage : België Windgebied : 25 Terrein Categorie : Categorie III Constructie Hoogte h : 2.960 m

3.15 GEGENEREERDE LASTEN

BG3: Wind in +X

No.	Belastingomschrijving	
	Fundamentele Windsnelheid	V _{5,0} : 25.0 m/s
Grondgeometrie	Knoop	I : 1 J : 14 K : 26 L : 13
Daktype en Geometrie	Type	⊕ Vlak/Een Schuine Kant Dak
	Knoop	A : 56 B : 55 C : 54 D : 53
Dakrandtype	⊕ Scherpe-randen dakrandengebied	
BG genereren	<input checked="" type="checkbox"/> BG w+	: BG3
	<input checked="" type="checkbox"/> BG w-	: BG4
Stel wind in op een zijde	⊕ A - B	
Maak Last Type	⊕ Staaflasten	
Lastverdelingstype	⊕ Gecombineerd	
Windbelasting wordt gegeneerd op staaf No.		: 1,3-7,11,13,16,18,23,25,27,39,64,87,95,96,98,99,101,104,110-115,118,125,198,202,204,209,212,214,215,217-220,222-230,232-235,237-239,242,243,268,270,311-318
Gebouwafmeting	h	: 2.560 m
	b	: 3.000 m
	d	: 6.000 m
	⊕ Wanden	: 3.000 m
	⊕ Dak	: 3.000 m
	A Wanden	: 46.080 m ²
	A Dak	: 18.000 m ²
	a	: 0.0 +
	d _A	: 0.800 m
	d _B	: 2.400 m
	d _C	: 3.000 m
	d _F	: 0.750 m
	d _F	: 0.300 m
	d _H	: 1.200 m
	d _I	: 4.500 m
Gebied	Externe Drukcoëfficiënt C _{pe,10}	Externe Druk w _e [kN/m ²]
A	-1.200	-0.581
B	-0.800	-0.387
C	-0.500	-0.242
D	0.724	0.298
E	-0.347	-0.143
F	-1.800	-0.871
G	-1.200	-0.581
H	-0.700	-0.338
I	0.200	0.097
Gegeneerde totale belastingen	S P Vlakken	: 3.429 kN
	S P	: 3.429 kN
Totale moment bij de oorsprong	S P Vlakken	: 9.538 kNm
	S P	: 9.578 kNm
Cellen geselecteerd voor genereren	S Aantal Cellen	: 46
	S Cel vlak	: 98.725 m ²

BG4
Wind in -X

3.15 GEGENEREERDE LASTEN

BG4: Wind in -X

No.	Belastingomschrijving	
1	Van Windbelastingen (Gebouwen)	
	Snelheid Druk	Volgens de norm : EN 1991-1-4
		Nationale Bijlage : België
		Windgebied : 25
		Terrein Categorie : Categorie III
	Constructie Hoogte	h : 2.560 m
	Fundamentele Windsnelheid	V _{5,0} : 25.0 m/s
Grondgeometrie	Knoop	I : 1 J : 14 K : 26 L : 13
Daktype en Geometrie	Type	⊕ Vlak/Een Schuine Kant Dak
	Knoop	A : 56 B : 55

3.15 GEGENEREERDE LASTEN

BG4: Wind in -X

No.	Belastingomschrijving	
	C	: 54
	D	: 53
Dakrandtype	☐ Scherpe-randen dakrandengebied	
BG genereren	<input checked="" type="checkbox"/> BG w+	: BG3
	<input checked="" type="checkbox"/> BG w-	: BG4
Stel wind in op een zijde	☐ A - B	
Maak Last Type	☐ Staaflasten	
Lastverdelingstype	☐ Gecombineerd	
Windbelasting wordt gegeneerd op staaf No.		: 1,3-7,11,13,16,18,23,25,27,39,64,87,95,96,98,99,101,104,110-115,118,125,198,202,204,209,212,214,215,217-220,222-230,232-235,237-239,242,243,268,270,311-318
Gebouwafmeting	h	: 2.560 m
	b	: 3.000 m
	d	: 6.000 m
	e Wanden	: 3.000 m
	e Dak	: 3.000 m
	A Wanden	: 46.080 m ²
	A Dak	: 18.000 m ²
	a	: 0.0 °
	d A	: 0.600 m
	d B	: 2.400 m
	d C	: 3.000 m
	d F	: 0.750 m
	d F	: 0.300 m
	d H	: 1.200 m
	d I	: 4.500 m
Gebied	Externe Drukcoëfficiënt $C_{pe, 10}$	Externe Druk w_e [kN/m ²]
A	-1.200	-0.581
B	-0.800	-0.387
C	-0.500	-0.242
D	0.724	0.298
E	-0.347	-0.143
F	-1.800	-0.871
G	-1.200	-0.581
H	-0.700	-0.339
I	-0.200	-0.097
Gegeneerde totale belastingen	S P Vlakken	: 4.641 kN
	S P	: 4.641 kN
Totale moment bij de oorsprong	S P Vlakken	: 7.182 kNm
	S P	: 7.170 kNm
Cellen geselecteerd voor genereren	S Aantal Cellen	: 46
	S Cel vlak	: 98.725 m ²

BG5
Veranderlijke belasting

3.15 GEGENEREERDE LASTEN

BG5: Veranderlijke belasting

No.	Belastingomschrijving	
1	Van Vlaklasten via vlak	
	Vlakrichting	Loodrecht op vlak : <input checked="" type="checkbox"/> z
	Staafrichting	Richting van genereerde staaflasten: <input checked="" type="checkbox"/> Globaal in X, Y, Z
	Lasttoewijzingsbereik	<input checked="" type="checkbox"/> Volledig gesloten vlak
	Lastverdelingstype:	<input checked="" type="checkbox"/> Gecombineerd
	Vlaklast grootte	<input checked="" type="checkbox"/> Constant : 3.000 kN/m ²
	Grens van vlaklast vlak	Hoekknopen : 1,14,26,13
		Aanwijzing : Elke rij in de lijst geeft een vlak weer
Gegeneerde totale belastingen in richting	S P Vlakken	X : 0.000 kN
		Y : 0.000 kN
		Z : -54.000 kN
	S P Staven	X : 0.000 kN
		Y : 0.000 kN
		Z : -54.000 kN
Totale moment bij de oorsprong	S P Vlakken	X : -81.000 kNm
		Y : 162.000 kNm
		Z : 0.000 kNm
	S P Staven	X : -81.000 kNm
		Y : 162.000 kNm
		Z : 0.000 kNm
Cellen geselecteerd voor genereren	S Aantal Cellen	: 36
	S Cel vlak	: 18.000 m ²

3.15 GEGENEREERDE LASTEN

BG5: Veranderlijke belasting

No.	Belastingomschrijving	
	Converteren van Vlaklasten naar Staaf No.	: 2,4,6,11,13,16,18,23, 25,27-48,50-61,63-73, 75-87,95,98,101,104, 105,110-113,117,118, 125,311-316

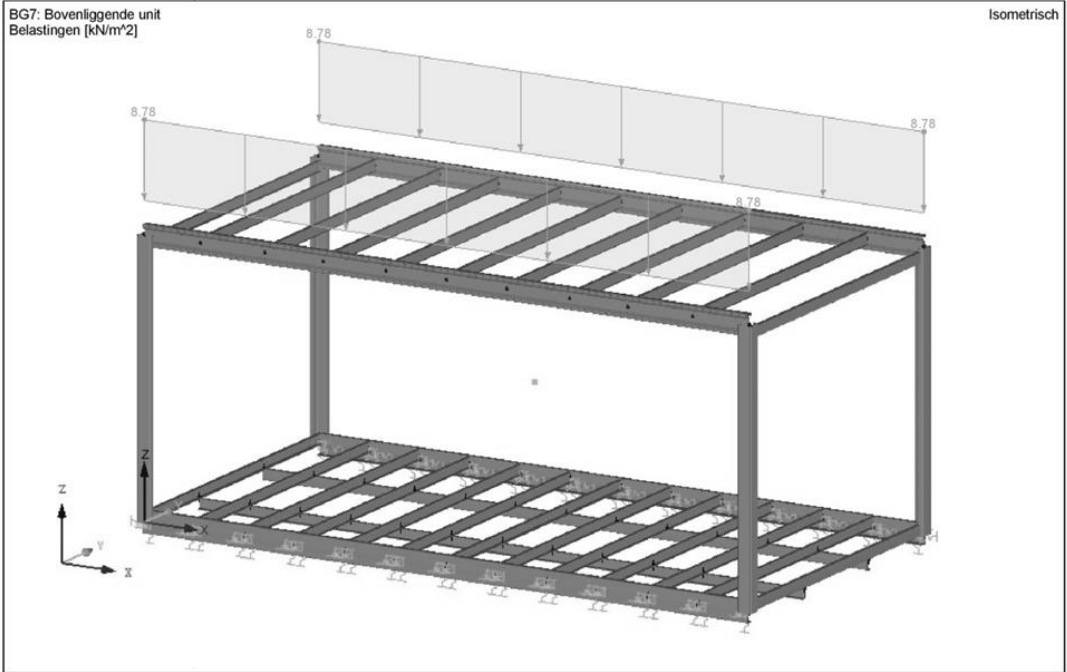
BG7
Bovenliggende unit

3.15 GEGENEREERDE LASTEN

BG7: Bovenliggende unit

No.	Belastingomschrijving			
1	Van vrije Lijnlast			
	Lijnlast Richting	Loodrecht op vlak	: <input checked="" type="checkbox"/> z	
	Staaflastrichting	Richting van genereerde staaflasten:	: <input checked="" type="checkbox"/> Lokaal in x, y, z	
	Positie lijnbelasting	Knoop	A	: 56
			B	: 53
		Help Knoop	C	: 72
	Lijnlast Grootte		p _A	: 8.780 kN/m
			p _B	: 8.780 kN/m
	Gegeneerde Totaallasten	SP Lijnen	X	: 0.000 kN
			Y	: 0.000 kN
			Z	: -52.680 kN
		SP Staven	X	: 0.000 kN
			Y	: 0.000 kN
Z			: -52.680 kN	
Totale Momenten om Oorsprong	SP Lijnen	X	: 0.000 kNm	
		Y	: 158.040 kNm	
		Z	: 0.000 kNm	
	SP Staven	X	: 0.000 kNm	
		Y	: 158.040 kNm	
		Z	: 0.000 kNm	
	Converteren van Vlaklasten naar Staaf No.	: 1,96,99,202,212,214, 217,219,220,223, 225-227,229,230,232, 234,235,237,238,243		
2	Van vrije Lijnlast			
	Lijnlast Richting	Loodrecht op vlak	: <input checked="" type="checkbox"/> z	
	Staaflastrichting	Richting van genereerde staaflasten:	: <input checked="" type="checkbox"/> Lokaal in x, y, z	
	Positie lijnbelasting	Knoop	A	: 55
			B	: 54
		Help Knoop	C	: 130
	Lijnlast Grootte		p _A	: 8.783 kN/m
			p _B	: 8.783 kN/m
	Gegeneerde Totaallasten	SP Lijnen	X	: 0.000 kN
			Y	: 0.000 kN
			Z	: -52.698 kN
		SP Staven	X	: 0.000 kN
			Y	: 0.000 kN
Z			: -52.698 kN	
Totale Momenten om Oorsprong	SP Lijnen	X	: -158.094 kNm	
		Y	: 158.094 kNm	
		Z	: 0.000 kNm	
	SP Staven	X	: -158.094 kNm	
		Y	: 158.094 kNm	
		Z	: 0.000 kNm	
	Converteren van Vlaklasten naar Staaf No.	: 5,7,114,115,214,215, 217,218,220,222-224, 226,228,229,232,233, 235,238,239,242		

■ BG7: BOVENLIGGENDE UNIT



■ 4.0 RESULTATEN - OPSOMMING

Omschrijving	Waarde	Eenheid	Opm.
Eigen gewicht	0.00	kN	
Som van belastingen in X	0.00	kN	
Som van de steunpuntreacties in X	0.00	kN	
Som van belastingen in Y	0.00	kN	
Som van de steunpuntreacties in Y	0.00	kN	
Som van belastingen in Z	-9.79	kN	
Som van de steunpuntreacties in Z	-9.79	kN	Afwijking 0.00%
Resultante van reacties om x-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie (X:3.000, Y:1.500, Z:1.298 m)
Resultante van reacties om y-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie
Resultante van reacties om z-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie
Max. verplaatsing in x-as	-1.7	mm	Staaft No. 1, x: 0.083 m
Max. verplaatsing in y-as	-0.4	mm	Staaft No. 198, x: 1.239 m
Max. verplaatsing in z-as	3.2	mm	Staaft No. 226, x: 1.500 m
Max. verplaatsing (vector)	3.2	mm	Staaft No. 226, x: 1.500 m
Max. rotatie om x-as	-0.8	mrad	Staaft No. 28, x: 0.000 m
Max. rotatie om y-as	-0.8	mrad	Staaft No. 317, x: 0.188 m
Max. rotatie om z-as	-0.7	mrad	Staaft No. 198, x: 0.000 m
Berekeningsmethode	Lineair		Geometrisch lineaire statische berekening
Stijfheidsreductie maal factor	<input type="checkbox"/>		
Aantal lastincrementen	1		
Aantal iteraties	1		
Veranderlijke belasting			
Som van belastingen in X	0.00	kN	
Som van de steunpuntreacties in X	0.00	kN	
Som van belastingen in Y	0.00	kN	
Som van de steunpuntreacties in Y	0.00	kN	
Som van belastingen in Z	-54.00	kN	
Som van de steunpuntreacties in Z	-54.00	kN	Afwijking 0.00%
Resultante van reacties om x-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie (X:3.000, Y:1.500, Z:1.298 m)
Resultante van reacties om y-as	-0.007	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie
Resultante van reacties om z-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie
Max. verplaatsing in x-as	-4.5	mm	Staaft No. 204, x: 0.000 m
Max. verplaatsing in y-as	1.0	mm	Staaft No. 105, x: 0.000 m
Max. verplaatsing in z-as	14.0	mm	Staaft No. 48, x: 0.550 m
Max. verplaatsing (vector)	14.0	mm	Staaft No. 48, x: 0.550 m
Max. rotatie om x-as	9.9	mrad	Staaft No. 314, x: 0.000 m
Max. rotatie om y-as	9.9	mrad	Staaft No. 73, x: 0.950 m
Max. rotatie om z-as	1.2	mrad	Staaft No. 209, x: 0.000 m
Berekeningsmethode	Lineair		Geometrisch lineaire statische berekening
Stijfheidsreductie maal factor	<input type="checkbox"/>		
Aantal lastincrementen	1		
Aantal iteraties	1		
Bovenliggende unit			
Som van belastingen in X	0.00	kN	
Som van de steunpuntreacties in X	0.00	kN	
Som van belastingen in Y	0.00	kN	
Som van de steunpuntreacties in Y	0.00	kN	
Som van belastingen in Z	-105.38	kN	
Som van de steunpuntreacties in Z	-105.38	kN	Afwijking 0.00%
Resultante van reacties om x-as	-0.027	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie (X:3.000, Y:1.500, Z:1.298 m)
Resultante van reacties om y-as	-0.014	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie
Resultante van reacties om z-as	0.000	kNm	Bij zwaartepunt van de Constructie
Max. verplaatsing in x-as	26.2	mm	Staaft No. 202, x: 0.000 m
Max. verplaatsing in y-as	-9.0	mm	Staaft No. 204, x: 1.239 m
Max. verplaatsing in z-as	-55.1	mm	Staaft No. 227, x: 0.000 m
Max. verplaatsing (vector)	55.1	mm	Staaft No. 227, x: 0.000 m
Max. rotatie om x-as	-14.2	mrad	Staaft No. 238, x: 0.000 m
Max. rotatie om y-as	14.5	mrad	Staaft No. 212, x: 0.281 m
Max. rotatie om z-as	14.3	mrad	Staaft No. 1, x: 0.083 m
Berekeningsmethode	Lineair		Geometrisch lineaire statische berekening
Stijfheidsreductie maal factor	<input type="checkbox"/>		
Aantal lastincrementen	1		
Aantal iteraties	1		
Samenvatting			
Max. verplaatsing in x-as	26.2	mm	BG7, Staaft No. 202, x: 0.000 m
Max. verplaatsing in y-as	-9.0	mm	BG7, Staaft No. 204, x: 1.239 m
Max. verplaatsing in z-as	-55.1	mm	BG7, Staaft No. 227, x: 0.000 m
Max. verplaatsing (vector)	55.1	mm	BG7, Staaft No. 227, x: 0.000 m
Max. rotatie om x-as	-14.2	mrad	BG7, Staaft No. 238, x: 0.000 m
Max. rotatie om y-as	14.5	mrad	BG7, Staaft No. 212, x: 0.281 m
Max. rotatie om z-as	14.3	mrad	BG7, Staaft No. 1, x: 0.083 m
Andere instellingen	Aantal 1D Eindige Elementen	:	150
	Aantal 2D Eindige Elementen	:	0
	Aantal 3D Eindige Elementen	:	0
	Aantal EE-netknooppunten	:	102
	Aantal vergelijkingen	:	612
	Max. aantal iteraties	:	100
	Aantal doorsnedes voor staafresultaten	:	10
	Verdeling van kabels/fundatie/verlopende staven	:	10
	Aantal staafverdelingen voor het zoeken naar max. waarden	:	10
	Verdelingen van EE-net voor grafische weergave resultaten	:	3
	Percentage van iteraties volgens de Picard-methode in combinatie met de Newton-Raphson methode	:	5 %
Opties	<input checked="" type="checkbox"/> Afschuifstijfheid activeren voor Staven (Ay, Az)		
	<input checked="" type="checkbox"/> Activeren van staafverdelingen voor grote vervorming of post-kritische berekening		
	<input checked="" type="checkbox"/> Actieve ingevoerde stijfheidswijzigingen		
	<input type="checkbox"/> Negeer rotatievrijheidsgraden		
	<input checked="" type="checkbox"/> Controle van de kritische staafkrachten		
	Oplossingsmethode voor de vergelijkingen		<input type="radio"/> Direct <input type="radio"/> Iteratie <input checked="" type="radio"/> Mindlin <input type="radio"/> Kirchhoff
	Plaatbuigingstheorie		<input type="radio"/> 32-bit <input checked="" type="radio"/> 64-bit
	Solverversie		

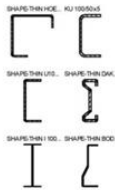
1.1 ALGEMENE GEGEVENS

Te berekenen staven:	Alle
Te berekenen staafverz.:	
Uiterste grenstoestandontwerp	RC8 UGT (STR/GEO) - blijvend / tijdelijk - verg. 6.10
Te berekenen RC's:	

1.2 MATERIALEN

Matl. No.	Materiaal Omschrijving	E-Modulus E [kN/cm ²]	Glijdingsmodulus G [kN/cm ²]	Coëff. van Poisson n [-]	Vloei spanning f _{yk} [kN/cm ²]	Max. Dikte t [mm]
2	Staal S 235 EN 1993-1-1:2005-05	21000.00	8076.92	0.300	23.50 21.50	40.0 80.0

1.3 DOORSNEDES



Snede No.	Matl. No.	Doorsnede Omschrijving	Doorsnede type voor classificatie	Max Ontwerp Unity Check	Commentaar
1	2	SHAPETHIN HOEKKOLOM	Algemeen	0.77	
		Type Algemeen - alleen Klasse 3 mogelijk			
2	2	KU 100/50x5	Algemeen	0.78	
		Type Algemeen - alleen Klasse 3 mogelijk			
12	2	SHAPETHIN U100X40X3	Algemeen	0.82	
		Type Algemeen - alleen Klasse 3 mogelijk			
13	2	SHAPETHIN DAKBALK SIGMA1	Algemeen	1.00	
		Type Algemeen - alleen Klasse 3 mogelijk			
14	2	SHAPETHIN I 100X20X1	Algemeen	0.89	
		Type Algemeen - alleen Klasse 3 mogelijk			
15	2	SHAPETHIN BODEMBALK 200	Algemeen	0.89	
		Type Algemeen - alleen Klasse 3 mogelijk			

2.1 BEREKENING PER GEVAL/COMBI

BG/BC/RC	Belastingsgeval of BC/RC Omschrijving	Staaft No.	Positie x [m]	Berekening	volgens Formule	PT
RC8	Uiterste grenstoestandontwerp UGT (STR/GEO) - blijvend / tijdelijk - verg. 6.10	99	0.603	1.00	£ 1 (112)	PT

2.2 BEREKENING PER DOORSNEDE

Snede No.	Staaft No.	Positie x [m]	BG/BC/RC	Berekening	volgens Formule	
1	SHAPETHIN HOEKKOLOM 209	0.000	RC8	0.77	£ 1 (183)	Doorsnedecontrole - buiging, afschuif- en normaalkracht volgens 6.2.9.2 - klasse 3 - algemene doorsnede
2	KU 100/50x5 50	0.550	RC8	0.78	£ 1 (183)	Doorsnedecontrole - buiging, afschuif- en normaalkracht volgens 6.2.9.2 - klasse 3 - algemene doorsnede
12	SHAPETHIN U100X40X3 71	0.000	RC8	0.82	£ 1 (223)	Doorsnedecontrole - Dubbele buiging, afschuif- en normaalkracht volgens 6.2.10 en 6.2.9 - klasse 3 - algemene doorsnede
13	SHAPETHIN DAKBALK SIGMA1 99	0.603	RC8	1.00	£ 1 (112)	Doorsnedecontrole - buiging om y-as volgens 6.2.5 - klasse 3
14	SHAPETHIN I 100X20X1 214	0.300	RC8	0.89	£ 1 (314)	Stabiliteitsberekening - knik om z-as volgens 6.3.1.1 en 6.3.1.2 - klasse 4
15	SHAPETHIN BODEMBALK 200 312	0.503	RC8	0.89	£ 1 (163)	Doorsnedecontrole - Dubbele buiging en afschuifkracht volgens 6.2.9.2 en 6.2.10 - klasse 3 - algemene doorsnede

4.1 STUKLIJST PER STAAF

Veld No.	Doorsnede Omschrijving	Aantal Staven	Lengte [m]	Tot.Lengte [m]	Oppervlak [m ²]	Solids [m ²]	Vol.gew. [kg/m]	Gewicht [kg]	Tot.gew. [t]
1	1 - SHAPETHIN HOEKKOLOM	4	0.08	0.33	0.22	0.00	12.77	1.06	0.004
2	12 - SHAPETHIN U100X40X3	10	1.10	11.00	3.84	0.01	4.04	4.44	0.044
3	1 - SHAPETHIN HOEKKOLOM	4	2.48	9.91	6.55	0.02	12.77	31.62	0.126
4	15 - SHAPETHIN BODEMBALK 200	20	0.50	10.00	6.38	0.02	12.32	6.16	0.123
5	2 - KU 100/50x5	6	0.95	5.70	2.13	0.01	7.03	6.67	0.040
6	12 - SHAPETHIN U100X40X3	20	0.95	19.00	6.63	0.01	4.04	3.83	0.077
7	2 - KU 100/50x5	20	0.50	10.00	3.73	0.01	7.03	3.51	0.070
8	2 - KU 100/50x5	3	1.10	3.30	1.23	0.00	7.03	7.73	0.023
9	2 - KU 100/50x5	2	0.50	1.01	0.37	0.00	7.03	3.53	0.007

4.1 STUKLIJST PER STAAF

Veld No.	Doorsnede Omschrijving	Aantal Staven	Lengte [m]	Tot Lengte [m]	Oppervlak [m ²]	Solids [m ³]	Vol.gew. [kg/m]	Gewicht [kg]	Tot.gew. [t]
10	13 - SHAPE-THIN DAKBALK SIGMA1	2	0.58	1.16	0.89	0.00	29.08	16.94	0.034
11	13 - SHAPE-THIN DAKBALK SIGMA1	2	0.60	1.21	0.92	0.00	29.08	17.52	0.035
12	2 - KU 100/50x5	2	0.50	0.99	0.37	0.00	7.03	3.50	0.007
13	13 - SHAPE-THIN DAKBALK SIGMA1	2	0.58	1.15	0.88	0.00	29.08	16.79	0.034
14	13 - SHAPE-THIN DAKBALK SIGMA1	2	0.60	1.20	0.91	0.00	29.08	17.37	0.035
15	13 - SHAPE-THIN DAKBALK SIGMA1	2	0.56	1.13	0.86	0.00	29.08	16.35	0.033
16	14 - SHAPE-THIN I 100X20X1	9	3.00	27.00	9.61	0.01	2.17	6.50	0.058
17	13 - SHAPE-THIN DAKBALK SIGMA1	2	0.64	1.27	0.97	0.00	29.08	18.54	0.037
18	13 - SHAPE-THIN DAKBALK SIGMA1	2	0.62	1.24	0.94	0.00	29.08	17.95	0.036
19	13 - SHAPE-THIN DAKBALK SIGMA1	2	0.62	1.25	0.95	0.00	29.08	18.10	0.036
20	13 - SHAPE-THIN DAKBALK SIGMA1	2	0.64	1.28	0.98	0.00	29.08	18.68	0.037
21	13 - SHAPE-THIN DAKBALK SIGMA1	2	0.56	1.12	0.85	0.00	29.08	16.21	0.032
22	12 - SHAPE-THIN U100X40X3	2	3.00	6.00	2.09	0.00	4.04	12.11	0.024
23	15 - SHAPE-THIN BODEMBALK 200	2	0.50	0.99	0.63	0.00	12.32	6.13	0.012
24	15 - SHAPE-THIN BODEMBALK 200	2	0.50	1.01	0.64	0.00	12.32	6.19	0.012
Som		126		118.24	53.55	0.12			0.979

Bijlage E: Specificaties 'monobolt'

STRUCTURELE SYSTEMEN **MONOBOLT** SYSTEMES STRUCTURELS

Staal

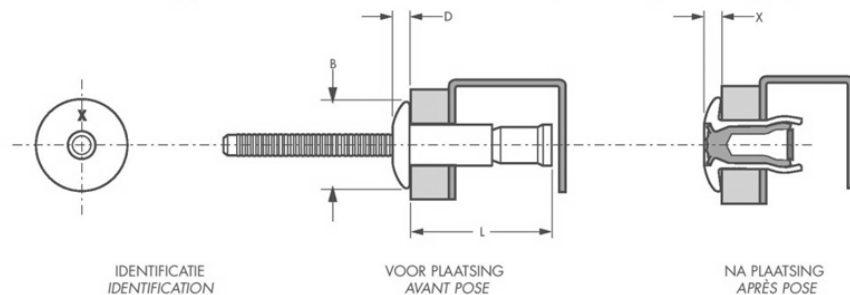
Platte kop

Acier

Tête plate

Huls: Wit verzinkt en gepassiveerd koolstofstaal
Stift: Wit verzinkt en gepassiveerd koolstofstaal

Corps: Acier zingué passivé blanc
Tige: Acier zingué passivé blanc



d Ø mm	Boor Mèche Ø mm	Klembereik Sertissage mm	B mm	D mm	L mm	X mm	Code	Verpakking Emballage
4,8	5,0	1,6 - 6,9	10,1	2,1	18,2	1,9	2771 - 0613	4000
		1,6 - 11,1			24,5		2771 - 0617	3000
6,4	6,6	2,0 - 9,5	13,4	2,9	23,7	2,7	2771 - 0817	2000
		2,0 - 15,9			33,0		2771 - 0824	1500
10,0	10,2	3,0 - 15,9	20,3	4,1	36,2	4,0	2771 - 1228	1000

Staal

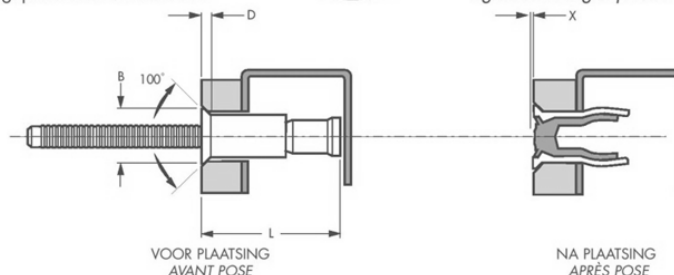
Verzonken kop

Acier

Tête fraisée

Huls: Wit verzinkt en gepassiveerd koolstofstaal
Stift: Wit verzinkt en gepassiveerd koolstofstaal

Corps: Acier zingué passivé blanc
Tige: Acier zingué passivé blanc



d Ø mm	Boor Mèche Ø mm	Klembereik Sertissage mm	B mm	D mm	L mm	X mm	Code	Verpakking Emballage
4,8	5,0	3,2 - 8,4	8,3	2,2	20,0	0,8	2761 - 0615	4000
		3,2 - 12,2			26,3		2761 - 0619	3000
6,4	6,6	3,2 - 12,1	10,1	2,4	26,4	0,8	2761 - 0821	2000

d Ø mm	Afschuifkracht Cisaillement N	Uittrekkkracht Arrachement N
4,8	6400	5100
6,4	11800	10500
10,0	26400	17500

MONOBOLT

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:
Stabiliteitsoptimalisatie van stalen skeletstructuur voor modulaire units

Richting: **master in de industriële wetenschappen: bouwkunde**
Jaar: **2016**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Gielkens, Sam

Vanrijkel, Olivier

Datum: **6/06/2016**