

2017 • 2018
Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Masterthesis

Ontwerp en realisatie van een abri

PROMOTOR :

dr. ir. Kris HENRIOULLE

PROMOTOR :

Dhr. Kurt VANHEMEL

Thomas Hesius, Brecht Lamers

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

De transnationale Universiteit Limburg is een uniek samenwerkingsverband van twee universiteiten in twee landen: de Universiteit Hasselt en Maastricht University.



Universiteit Hasselt | Campus Diepenbeek | Agoralaan Gebouw D | BE-3590 Diepenbeek
Universiteit Hasselt | Campus Hasselt | Martelarenlaan 42 | BE-3500 Hasselt



2017 • 2018

Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Masterthesis

Ontwerp en realisatie van eenabri

PROMOTOR :

dr. ir. Kris HENRIOULLE

PROMOTOR :

Dhr. Kurt VANHEMEL

Thomas Hesius, Brecht Lamers

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



KU LEUVEN

Woord vooraf

In deze scriptie beschrijven we ons project dat we tijdens het eerste semester van het academiejaar 2017-2018 hebben uitgevoerd bij Epsilon NV te Bree. We hebben in deze periode zeer veel bijgeleerd. We hopen dat ons ontwerp en berekeningen van de abri voor Oslo een tevreden klant zal opleveren.

Eerst en vooral bedanken we de bedrijfsleider van Epsilon, ing. Dirk Gorré, om ons de kans te geven om ons eindwerk in zijn bedrijf te mogen afwerken. Verder bedanken we onze promotor vanuit de UHasselt/KU Leuven, dr. ir. Kris Henriouille, voor de hulp en de opvolging tijdens deze periode. Ten slotte zouden we Kurt Vanhemel, ir. Sander Gielen en Lise Willems willen bedanken voor de uitleg en ondersteuning van ons project. Ook willen we het bedrijf bedanken voor de kansen die ze ons hebben gegeven zoals de plaatsing van de abri in Helsingborg, Zweden. Tot slot willen we iedereen die ons geholpen en gesteund heeft tijdens onze studies en stageperiode vermelden.

Inhoudsopgave

Woord vooraf	1
Lijst met tabellen	5
Lijst met figuren	7
Verklarende woordenlijst	9
Abstract	11
Abstract in English	13
1 Inleiding	15
1.1 Situering.....	15
1.2 Probleemstelling.....	15
1.3 Doelstelling.....	16
1.4 Methode.....	17
1.5 Vooruitblik.....	17
2 Voorstudie	19
2.1 Fundering.....	19
2.2 Materiaalselectie dragende constructie.....	19
2.3 Aluminium extrusieprofielen.....	21
2.4 Normen.....	22
2.4.1 Windbelasting.....	22
2.4.2 Sneeuwbelasting.....	22
3 Sterkteberekeningen	23
3.1 Horizontale balk.....	24
3.2 Verticale balk.....	28
3.3 Totem.....	30
3.4 Dakspant.....	31
3.5 Stabiliteit.....	33
3.6 Besluit.....	34
4 Ontwerp	35
4.1 Constructie.....	35
4.1.1 Dragende constructie.....	35
4.1.2 Aluminium extrusieprofielen.....	36
4.1.3 Dakspant.....	38
4.1.4 Overbrugbare helling.....	40
4.2 Energie.....	41
4.2.1 Verlichting.....	41
4.2.2 Bewegingsdetectie.....	42
4.2.3 Autonome werking abri.....	43
5 Kostprijs	47

6 Besluit	49
Bibliografie	51
Bijlagen	53
Bijlage A: Berekening materiaalselectie dragende constructie	53
Bijlage B: Traagheidsmoment T-profielen	61
Bijlage C: Stabiliteit	62
Bijlage D: Lux metingen passagiersinformatie	65
Bijlage E: Schakeling bewegingsdetectie	67
Bijlage F: Stuklijst	68
Bijlage G: Technische tekeningen	70

Lijst met tabellen

Tabel 1: Configuratie volgens eerste ontwerp.....	23
Tabel 2: Belastingen die inwerken op de constructie.....	23
Tabel 3: Overzichtstabel sterkteberekening rekenbladen.....	34
Tabel 4: Opbrengst zonnepanelen in Oslo per maand.....	43
Tabel 5: Berekening tekort aan energie per maand in Oslo	44
Tabel 6: Berekening tekort aan energie per maand in Bordeaux met bewegingsdetectie.....	45
Tabel 7: Kostprijsberekening abri Oslo	47
Tabel A1: Gegevens S235.....	57
Tabel A2: Materialen (limiet water op acceptabel).....	58
Tabel A3: Gegevens AISI 1040	58
Tabel A4: Materialen (limiet water op uitstekend)	59
Tabel A5: Gegevens AISI 409	60
Tabel B1: Gegevens T-profiel.....	61
Tabel C1: Belasting stabiliteit	62
Tabel C2: Gegevens rug	62
Tabel C3: Gegevens dak	62
Tabel C4: Dichtheid materiaal	62
Tabel D1: Resultaten meting lichtsterkte GE PowerMax	65
Tabel D2: Resultaten meting lichtsterkte GE Tetra LED tape VE+BO.....	65
Tabel D3: Resultaten meting lichtsterkte uurroosterkader HLS-PCB-10.....	66
Tabel D4: Resultaten meting lichtsterkte uurroosterkader HLS-PCB-11	66

Lijst met figuren

Figuur 1: Concepttekening Oslo	15
Figuur 2: Draadstang en J-bolt	19
Figuur 3: Verticale balk aangeduid op dragende constructie	20
Figuur 4: Grafiek materialen CES EduPack	20
Figuur 5: Dragende constructie	23
Figuur 6: Schematische voorstelling doorbuiging van de horizontale balk	24
Figuur 7: Vrijlichaamsschema horizontale balk.....	25
Figuur 8: Snede horizontale balk voor buigspanning.....	25
Figuur 9: Schematische voorstelling torsiemoment	26
Figuur 10: Snede horizontale balk voor torsie	26
Figuur 11: Dragende constructie met twee steunstrips	27
Figuur 12: Schematische voorstelling doorbuiging verticale balk.....	28
Figuur 13: Snede verticale balk.....	29
Figuur 14: Totem geïntegreerd in abri	30
Figuur 15: Bovenaanzicht dak.....	31
Figuur 16: Mesh dakspant	31
Figuur 17: Von Mises dakspant	32
Figuur 18: Displacement dakspant	32
Figuur 19: Windbelasting langs de voorzijde	33
Figuur 20: Schets zijaanzicht dakspant	35
Figuur 21: Portaalconstructie	35
Figuur 22: Galgconstructie.....	35
Figuur 23: Doorsnede gootprofiel	36
Figuur 24: Doorsnede steunbalk	36
Figuur 25: Grafiek sterkteverlies lasverbinding aluminium [14, p. 85].....	37
Figuur 26: Schets doorsnede dakspant met T-vorm.....	38
Figuur 27: Schets doorsnede dakspant eerste voorstel.....	38
Figuur 28: Schets doorsnede dakspant tweede voorstel.....	38
Figuur 29: Schets doorsnede dakspant derde voorstel	39
Figuur 30: Doorsnede finale dakspant	39
Figuur 31: Schets overbrugbare helling	40
Figuur 32: Extrusieprofiel voorste dakspant met geïntegreerde verlichting	41
Figuur 33: Testopstelling verlichte uurroosterkader met opaalplaat.....	41
Figuur 34: Testopstelling verlichte uurroosterkader met lichtgeleidingsplaat.....	42
Figuur 35: Render finale ontwerp abri	49

Figuur A1: Situatieschets balk	53
Figuur A2: Doorbuiging balk.....	54
Figuur A3: Buigspanning balk	55
Figuur A4: Grafiek materialen (limiet water op acceptabel)	58
Figuur A5: Grafiek materialen (limiet water op uitstekend).....	59
Figuur B1: Verplaatsing zwaartepunt T-profiel	61
Figuur B2: Bemating totem.....	61
Figuur C1: Situatieschets stabiliteit.....	62

Verklarende woordenlijst

Abri: wachthokje, met name bij bus-en tramhaltes.

Aspect ratio: een meting van de mesh elementen bij eindige elementen waarbij de afwijking van de lengte t.o.v. de hoogte wordt bekeken. Een hoge aspect ratio vindt plaats bij lange, dunne elementen.

Breukvastheid: weerstand van een materiaal tegen breuk.

Luxor: lichtbak om reclame weer te geven d.m.v. posters.

Maaiveld: bovenkant van het terrein dat een bouwwerk omgeeft.

Mesh: een mesh bij eindige elementen is een onderverdeling van een CAD model in kleinere delen genaamd elementen. Op deze elementen wordt er een set van formules opgelost.

Render: fotorealistisch genereren van een CAD-model.

Totem: pilaar naast of verwerkt in de abri om passagiersinformatie weer te geven zoals uurrooster, routekaart of haltenaam.

Abstract

Epsilon NV te Bree is gespecialiseerd in het vervaardigen van publicitair en niet-publicitair straatmeubilair, hoofdzakelijkabri's. Abri's zijn wachthokjes, met name bij bus-en tramhaltes. Epsilon heeft concepttekeningen van een nieuweabri voor de stad Oslo in Noorwegen aan een klant voorgesteld. Maar de concepttekeningen bevatten enkel de weergave van een product dat uiterlijk voldoet aan de verwachtingen van de klant. Deze masterproef heeft als hoofddoelstelling om de concepttekeningen van eenabri in Oslo om te zetten naar productietekeningen, rekening houdend met de specificaties en richtlijnen die zijn opgelegd door de klant in een aanbestedingsleidraad. Een deeldoelstelling is een voorstudie over de energievoorziening van eenabri.

Eerst zijn de verschillende aspecten van soortgelijke projecten bekeken zoals de plaatsing, opbouw en gebruikte materialen. Verder zijn er verschillende sterkteberekeningen uitgevoerd om aan de belastingen te voldoen. Daarnaast werd de plaatsing van de eersteabri van een nieuwe reeks in Helsingborg, Zweden opgevolgd. Deze kennis werd gebruikt bij het ontwikkelen van deabri in Oslo. Verder is er gekeken welke componenten nodig zijn om eenabri energetisch autonoom te laten werken. Tot slot zijn de productietekeningen van de extrusieprofielen en de dragende constructie getekend.

Het eindresultaat is een volledige set van productietekeningen om deabri te produceren. Daarnaast kan Epsilon de voorstudie en de rekenbladen van de sterkteberekeningen gebruiken in toekomstige projecten.

Abstract in English

Epsilon NV in Bree is specialized in the production of advertising and non-advertising street furniture, mainly shelters. Epsilon introduced concept drawings of a new shelter to the city of Oslo in Norway. These concept drawings are an appearance of a product which meets the expectations of the customer. The placement, structure and used components are still to be determined. The aim of this master's thesis is to convert the concept drawings of a shelter in Oslo into a technical design which answers the needs and requirements defined by the customer in a tender. Also, a preparatory study about the supply of energy of a shelter is required.

First, the different aspects of similar projects were examined, namely the placement, structure and used materials. Additionally, strength calculations were made to meet the standards. Besides, the first shelter in a new line of shelters was placed in Helsingborg, Sweden. This knowledge was used to develop the shelter in Oslo. Furthermore we analyzed which components are necessary for a shelter to work energetically autonomous. Finally, the production drawings of the extrusion profiles and supporting construction were made.

The result is a total set of production drawings which can be used to produce the shelter. Epsilon can also use the preparatory study about the supply of energy and the spreadsheets that were made for the strength calculations for future projects.

1 Inleiding

1.1 Situering

Als laatstejaarsstudenten van de gezamenlijke opleiding industrieel ingenieur elektromechanica van de KU Leuven en UHasselt, krijgen wij de mogelijkheid om onze masterproef te realiseren bij Epsilon NV gelegen te Bree. Epsilon beschikt over meer dan 20 jaar ervaring in de ontwikkeling en productie van uiteenlopende display-oplossingen. Epsilon kan van veeleisende en grootschalige projecten een succes maken door steeds nieuwe productiemethodes te implementeren en nieuwe producten te ontwikkelen. Ze verkopen hun producten wereldwijd, maar richten zich vooral op Europa.

In 2001 won Epsilon een aanbesteding van De Lijn: een contract voor de productie en plaatsing vanabri's. Abri's zijn wachthokjes, met name bij bus-en tramhaltes [1]. Deze aanbesteding leidde tot de oprichting van de nieuwe afdeling Infra. Deze divisie spitst zich toe op het ontwerp, de productie en de plaatsing van publicitair en niet-publicitair straatmeubilair [2].

Abri's zijn nu de hoofdactiviteit van het bedrijf. Ze zijn meestal vervaardigd op vraag van steden of vervoersmaatschappijen. De klant stelt een aanbestedingsleidraad op met een reeks technische en uiterlijke kenmerken waaraan de producten moeten voldoen. Een abri is immers meer dan alleen een dak met zijpanelen. De klant verwacht een mooi en functioneel straatmeubilair dat voorzien is van de nodige faciliteiten om het de reiziger zo comfortabel mogelijk te maken tijdens het wachten. Verder zijn deabri's steeds vaker voorzien van een eigen energievoorziening.

1.2 Probleemstelling

Begin 2017 heeft Epsilon concepttekeningen van een nieuwe abri aan een klant voorgesteld (zie Figuur 1). Deze klant wil deabri's verkopen aan de stad Oslo in Noorwegen. De concepttekeningen bevatten enkel de weergave van een product dat uiterlijk voldoet aan de verwachtingen van de klant. De volledige opbouw, plaatsing en gebruikte componenten liggen nog niet vast.



Figuur 1: Concepttekening Oslo

1.3 Doelstelling

Onze hoofddoelstelling is het omzetten van een concept van eenabri naar een technisch ontwerp rekening houdend met de specificaties en richtlijnen die zijn opgelegd door de klant in een aanbestedingsleidraad. Het eindresultaat is een volledige set van productietekeningen om deabri te produceren. Om dit eindresultaat te bekomen zijn er verschillende sterkteberekeningen en nieuwe inzichten nodig om de huidige componenten en technieken te optimaliseren. Een deeldoelstelling is een voorstudie over de energievoorziening van eenabri.

De gedetailleerde functionele vereisten zoals de positie van de informatieborden, afmetingen en andere specificaties zijn beschreven in het aanbestedingsleidraad [3]. De belangrijkste specificaties zijn:

- er zijn verschillende configuraties van deabri mogelijk. Deze staan beschreven in de aanbestedingsleidraad;
- deabri moet een windbelasting volgens de Europese norm EN 1991-1-4 'Algemene belastingen – Windbelastingen' kunnen weerstaan;
- deabri moet een sneeuwbelasting volgens de Europese norm EN 1991-1-3 'Algemene belastingen – Sneeuwbelasting' kunnen weerstaan. Daarnaast moet ze ook bestendig zijn tegen de klimaatomstandigheden in Oslo waaronder temperaturen tot -20°C;
- bestand zijn tegen corrosie door zeewater en strooizout;
- deabri moet een levenscyclus van 15 jaar hebben. Verder moeten ze recycleerbaar zijn waar mogelijk;
- het moet mogelijk zijn deabri met of zonder reclamepaneel te plaatsen;
- de zitbank moet 47 tot 51 cm hoog zijn met een lengte van één module en uit hout vervaardigd zijn;
- de verlichting moet een lichtsterkte hebben van 100 lux. Deze moet enkel aan gaan als de natuurlijke lichtsterkte onder de 100 lux bedraagt;
- passagiersinformatie moet verlicht zijn.

1.4 Methode

Om de werkwijze van het bedrijf te leren kennen, maken we technische tekeningen in Solid Works voor andere toepassingen. Het gaat hier over kleine aanpassingen in bestaande projecten zoals een aanpassing aan de verlichte haltenaam van een abri in Belfast.

Vervolgens gaan we een vergelijkbare abri grondig bestuderen om een goede omzetting van concept tot een technische ontwerp te bekomen. We gaan de verschillende onderdelen van soortgelijke projecten bekijken zoals de plaatsing, opbouw en gebruikte componenten. Hierbij bekijken we of er betere technieken beschikbaar zijn. Verder gaan we de eerste abri van een nieuwe reeks plaatsen in Helsingborg, Zweden. Dit doen we om mogelijke problemen te onderscheppen en vervolgens op te lossen. Hierdoor zal de plaatsing door de plaatselijke monteurs efficiënter verlopen. Deze kennis kunnen we gebruiken bij het ontwikkelen van de abri in Oslo. Verder kan men het geleverde onderzoek toepassen in toekomstige projecten. Daarnaast is er gekeken welke componenten nodig zijn om een abri energetisch autonoom te laten werken.

Nadat bepaald is welke technieken we gaan gebruiken zal de vertaling naar de technische tekeningen gebeuren. Dit doen we in samenwerking met het Nederlandse ontwerp bureau Fabrique. We testen de onderdelen die we in het ontwerp zullen gebruiken. Als de tekeningen zijn goedgekeurd door de klant zal de abri in productie gaan en door Epsilon geplaatst worden in Oslo.

1.5 Vooruitblik

Hoofdstuk 2 beschrijft de voorstudie. Deze evalueert verschillende mogelijkheden voor de fundering, het materiaal van de dragende constructie en de aluminium extrusieprofielen. Daarnaast wordt er onderzocht welke normen van toepassing zijn in Oslo en welke belastingen dit met zich meebrengt.

De verschillende sterkteberekeningen zijn gemaakt in Hoofdstuk 3. Hierbij wordt de dragende constructie doorgerekend en de stabiliteit van de abri bekeken.

Hoofdstuk 4 bespreekt a.d.h.v. de sterkteberekeningen uit het derde hoofdstuk ontwerpoplossingen om een compromis te vinden tussen het concept van de ontwerper en een sterke technisch product. Daarnaast wordt het energieaspect van de abri besproken. De verlichting, elektrische schakeling en energetisch autonome werking van de abri komen hier aan bod.

Hoofdstuk 5 bespreekt de kostprijs van de abri. De kostprijs van de verschillende onderdelen zijn weergegeven in percentages.

2 Voorstudie

2.1 Fundering

Epsilon kan de fundering van een abri op verschillende manieren plaatsten. Zo kan er gewerkt worden met prefab beton ofwel door de beton ter plaatse te storten. Welke manier Epsilon gaat gebruiken hangt af van verschillende factoren.

Prefab ofwel geprefabriceerde beton is beton die in een fabriek wordt gemaakt. Dit heeft als voordeel dat men voor een lage kostprijs zeer goede kwaliteit kan bekomen. De lage kostprijs is te wijten aan deze fabrieksomgeving. Er worden minder fouten gemaakt en er is minder afval. Verder kan er een efficiënte montage gebeuren. De monteurs kunnen de abri bij Epsilon op de prefab plaat monteren en vervolgens in zijn geheel plaatsen. Deze werkwijze gaat de werktijden op de werf verminderen waardoor de arbeidskosten lager zijn. Verder is er minder geluidsoverlast omdat de monteurs niet ter plaatse moeten boren. Daarnaast zijn drukke wegen minder lang geblokkeerd door een vrachtwagen. Een groot nadeel van prefab beton is dat de monteurs genoeg ruimte moeten voorzien voor een kraanwagen om het geheel te plaatsen. Daarnaast zal de transportkost verhogen omdat de abri in zijn geheel wordt getransporteerd. Hierdoor kan de transporteur minder abri's per vrachtwagen laden.

Beton ter plaatse storten heeft als voordeel dat kleine oneffenheden in de ondergrond worden uitgevlakt. Hierdoor kan men het oppervlakte waterpas maken. Bij het gebruiken van deze methode zal de abri niet in één keer plaatsbaar zijn. Daarnaast moeten de monteurs ter plaatse boren om de fundering met de abri te bevestigingen.

Voor de bevestiging met de stalen constructie van de abri kunnen de monteurs draadstangen of een J-bolt (zie Figuur 2) gebruiken. Voor de draadstangen moet men een gat boren en vervolgens met een chemisch anker vastzetten. Een J-bolt wordt samen met de beton ingestort.

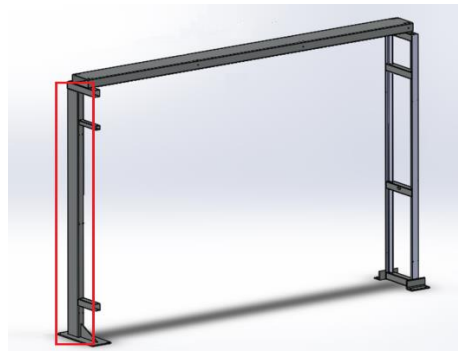


Figuur 2: Draadstang en J-bolt

2.2 Materiaalselectie dragende constructie

In het kader van de voorstudie is er gekeken of er een beter alternatief bestaat voor het huidige materiaal van de draagconstructie. Meer bepaald voor de verticale steunbalk die is aangeduid in Figuur 3. Deze is momenteel vervaardigd uit staal S235. Hiervoor is de methode gebruikt die is aangegeven in de vierde editie van het boek “Materials Selection in Mechanical Design“ [4]. A.d.h.v. het programma CES EduPack 2017 van Granta Design bekomen we verschillende voorstellen die aan de eisen voldoen. Het programma houdt rekening met de

geometrische en functionele beperkingen die op voorhand opgegeven zijn. De volledige berekening, figuren en tabellen zijn te vinden in Bijlage A.



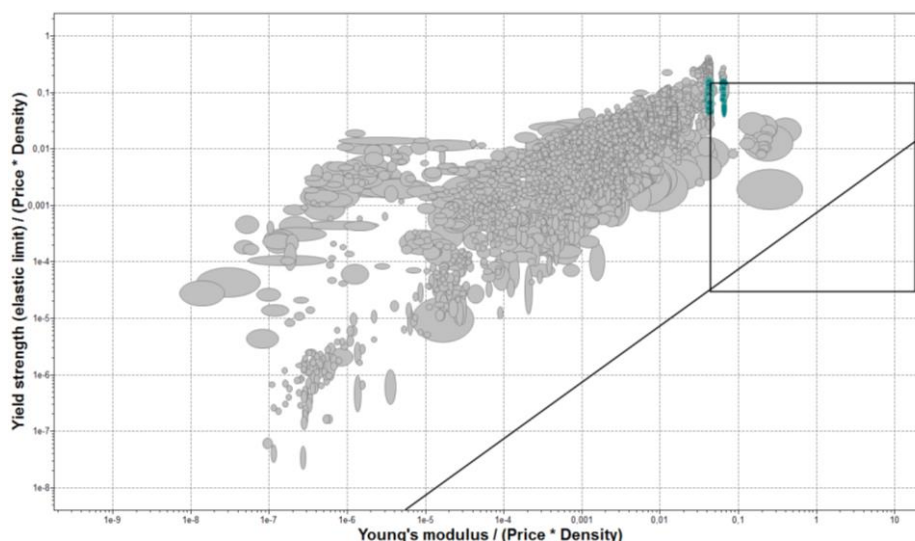
Figuur 3: Verticale balk aangeduid op dragende constructie

Het doel van deze studie was een materiaal zoeken waarbij de kostprijs van de steunbalk zo laag mogelijk is. De wanddikte van de balk is afhankelijk van het uiteindelijk gekozen materiaal en is dan ook variabel. Eerst worden er twee formules opgesteld voor de dikte van de koker a.d.h.v. de doorbuiging (formule A2 in Bijlage A) en de buigspanning (formule A3 in Bijlage A). Vervolgens wordt hierbij de materiaalindex MI1 en MI2 opgesteld door de formules in te vullen in de formule van de kostprijs (formule A1 in Bijlage A) en de materiaaleigenschappen af te zonderen. De materiaalindexen zijn enkel afhankelijk van het materiaal doordat ze alleen maar materiaalafhankelijke parameters bevatten.

$$MI1 = \frac{E}{\rho * c}$$

$$MI2 = \frac{\sigma}{\rho * c}$$

Door deze materiaalindexen te maximaliseren, bekomen we een materiaal waarbij de steunbalk zo goedkoop mogelijk wordt. Om een optimum te zoeken tussen beide materiaalindexen, zijn de kostprijzen aan elkaar gelijkgesteld waarna het mogelijk is om MI1 in functie van MI2 te schrijven. Met deze gegevens kan CES EduPack een grafiek opstellen. (zie Figuur 4).



Figuur 4: Grafiek materialen CES EduPack

Op de x-as staat de materiaalindex die bekomen is met formule van doorbuiging. Op de y-as staat de tweede materiaalindex die bekomen is met de formule van buigspanning. De opgegeven limieten zijn:

- breukvastheid: 18MPa;
- temperatuur: -15°C, 40°C;
- waterbestendig: acceptabel (bestendig mits een nabehandeling);
- zout waterbestendig: acceptabel (bestendig mits een nabehandeling).

Uit Figuur 4 komen de vier meest geschikte materialen voor deze toepassing. Deze zijn te vinden in Tabel A2. Hieruit blijkt dat AISI 1040 het meest geschikte materiaal is. AISI 1040 heeft dezelfde kostprijs als het huidige materiaal (0,63 €/kg) maar de vloeispanning is 375 N/mm² t.o.v. 235 N/mm². Dit wil zeggen dat er voor de zelfde kostprijs een sterker alternatief beschikbaar is.

Als de limieten van water en zout water op “uitstekend” staan dan geeft CES vier andere materialen. Deze zijn te vinden in Tabel A4 Hierbij is het meest geschikte materiaal AISI 409. Dit materiaal heeft een hoge kostprijs van 1,16 €/kg en een vloeigrens van 250N/mm². Een groot voordeel is dat het materiaal corrosiebestendig is. Hierdoor zal er geen nabehandeling nodig zijn en zal de totale kostprijs dalen.

Voor de constructie van een abri wordt er S235 of S355 gebruikt omdat bovenstaande materialen niet in de vorm van een balk verkrijgbaar zijn. Daarnaast verkoopt de huidige leverancier van Epsilon deze materialen niet en weegt de kost van het voorgestelde materiaal niet op tegen de kost van het huidige materiaal.

2.3 Aluminium extrusieprofielen

Bij de opbouw van een abri wordt staal gebruikt voor de dragende constructie en aluminium voor de omkasting. Aluminium is minder sterk en duurder per kg dan staal maar het product kan lichter en met een betere afwerking vervaardigd worden. Daarnaast is aluminium volledig recycleerbaar en verliest het zijn kwaliteit niet.

Epsilon ontwerpt de aluminium omkasting in samenwerking met een ontwerpbureau. Vervolgens gaat het ontwerp naar een extern bedrijf dat gespecialiseerd is in het vervaardigen van aluminium extrusieprofielen. Dit bedrijf maakt een matrijs waarmee een profextrusie van het ontwerp wordt gemaakt. Bij het extruderen wordt er vloeibaar aluminium door een matrijs geperst waardoor het materiaal de vorm aanneemt van de matrijs. Als deze is goedgekeurd kunnen de profielen in productie gaan.

Door aluminium extrusieprofielen te gebruiken kunnen er diverse vormen geproduceerd worden. Hierdoor draagt het profiel niet enkel bij tot het uiterlijk van de abri, maar kan het ook verschillende functionaliteiten hebben. Zo kan de dakgoot voor de afwatering, de bekabeling of de volledige verlichting geïntegreerd worden in het profiel. Daarnaast kunnen aluminium klikprofielen ervoor zorgen dat bevestigingsmaterialen zoals schroeven, bouten of moeren weggewerkt zijn.

2.4 Normen

Het ontwerp moet voldoen aan de geldende normen in Noorwegen. Hierbij is gekeken hoeveel de sneeuw- en windbelasting is in Oslo volgens de norm. De Europese normen hanteren parameters die afhankelijk zijn van het land waar de constructie geplaatst moet worden. Deze parameters zijn terug te vinden in de nationale bijlage.

2.4.1 Windbelasting

Aan de hand van de gebruikte Europese norm voor windbelasting [5] in combinatie met de nationale bijlage van windbelasting in Noorwegen [6] kan de windlast bepaald worden. De fundamentele basiswindsnelheid $v_{b,0}$ in Oslo bedraagt 22 m/s. Vervolgens is de basiswindsnelheid v_b berekend. C_{dir} , C_{season} , C_{alt} en C_{prob} komen uit tabellen uit de nationale bijlage bij de Europese norm.

$$v_b = C_{dir} * C_{season} * C_{alt} * C_{prob} * v_{b,0} = 1 * 1 * 1 * 1 * 22 = 22 \text{ m/s}$$

Om de windbelasting $q_{p(z)}$ in N/m^2 te kunnen berekenen zijn er tussenberekeningen nodig zoals het bepalen van de windturbulentie $I_{v(z)}$, de terreinfactor k_r en de gemiddelde windsnelheid v_m . De waarden van K_i , $C_{0(z)}$ en z_0 komen uit de nationale bijlage.

$$I_{v(z)} = \frac{K_i}{C_{0(z)} * \ln \frac{z}{z_0}} = \frac{1}{1 * \ln \frac{3}{0,003}} = 0,145$$

$$k_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,156$$

$$v_m = k_r * \ln \frac{z}{z_0} * C_{0(z)} * v_b = 0,156 * \ln \frac{3}{0,003} * 1 * 22 = 23,7 \text{ m/s}$$

De windbelasting volgens de Europese norm wordt dan:

$$q_{p(z)} = (1 + 7 * I_{v(z)}) * \frac{1}{2} * \rho * v_{m(z)}^2$$

$$q_{p(z)} = (1 + 7 * 0,145) * \frac{1}{2} * 1,25 * 23,7^2 = 707 \text{ N/m}^2$$

2.4.2 Sneeuwbelasting

A.d.h.v. de gebruikte Europese norm voor sneeuwbelasting [7] in combinatie met de nationale bijlage van sneeuwbelasting in Noorwegen [8] kan de sneeuwlast bepaald worden. Om de sneeuwlast S in kN/m^2 te bepalen wordt onderstaande formule gebruikt. μ_1 , C_e , C_t en S_k komen uit de nationale bijlage bij de Europese norm.

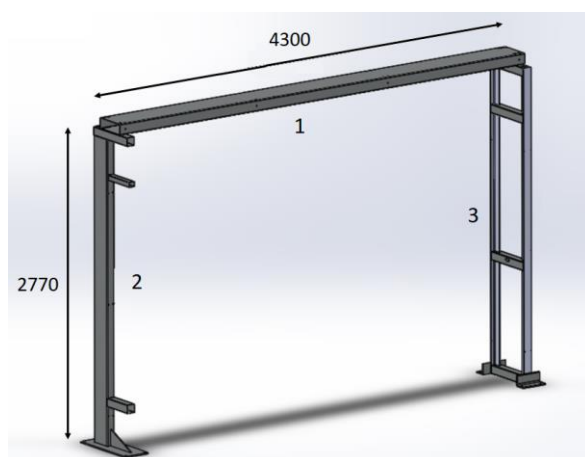
$$S = \mu_1 * C_e * C_t * S_k = 0,8 * 1 * 1 * 4,75 = 3,8 \text{ kN/m}^2$$

3 Sterkteberekeningen

Voor de sterkteberekeningen wordt er gekeken welk profiel en welk materiaal voldoet aan de belastingen die op de constructie inwerken. Hierbij wordt een veiligheidsfactor van 0,7 voor een statische belasting en factor $0,7 \cdot (2/3)$ voor een dynamische belasting gebruikt [9].

Daarnaast wordt er gekeken welke fundering er nodig is om ervoor te zorgen dat de abri niet gaat kantelen. Op de constructie werken verschillende krachten: windbelasting, sneeuwbelasting, eigen gewicht en een puntbelasting d.m.v. vandalisme (zie Tabel 2). De sneeuw- en windlast zijn in paragraaf 2.4 bepaald. De kracht d.m.v. vandalisme is een kracht waarbij een persoon van 150 kg op het dak van de abri gaat staan.

De dragende constructie bestaat uit een horizontale balk met twee steunpunten (zie Figuur 5). De configuraties van de profielen zijn gebaseerd op het eerste ontwerp dat ontworpen is door het ontwerpbureau Fabrique. Bij dit ontwerp is er geen rekening gehouden met de normen en specificaties voor in Oslo. Enkel het uiterlijk aspect van de concepttekeningen wordt hier gerespecteerd. Tabel 1 geeft de configuratie weer van het eerste ontwerp.



Figuur 5: Dragende constructie

Tabel 1: Configuratie volgens eerste ontwerp

nr.	Profiel	Lengte [mm]	Breedte [mm]	Hoogte [mm]	Wandikte [mm]	I [mm ⁴]
1	Horizontale balk	4300	300	100	5	$7383 \cdot 10^3$
2	Verticale balk	2770	200	100	6	$1794 \cdot 10^4$
3	T-profiel	2770	100	100	11	$1790 \cdot 10^3$

Tabel 2: Belastingen die inwerken op de constructie

	[N/m ²]	[N]	[N/mm]
Windbelasting	708	8421	3,04
Sneeuwbelasting	3800	$29,41 \cdot 10^3$	6,84
Eigen gewicht dak		2020	0,47
Eigen gewicht balk 1		2074	0,31
Vandalisme		1500	

3.1 Horizontale balk

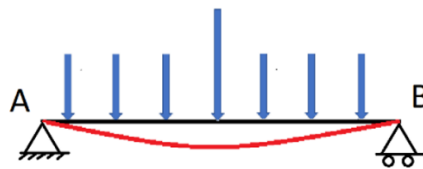
De horizontale balk is ingeklemd en opgelegd op twee steunpunten. De balk is berekend op doorbuiging, buigspanning, torsiespanning en de totale vervangspanning.

3.1.1 Doorbuiging

Om de doorbuiging te berekenen wordt formule (1) voor een puntbelasting gebruikt en formule (2) voor een gelijkmatig verdeelde belasting [9]. De doorbuiging is het grootst in het midden van de balk zoals weergegeven in Figuur 6.

$$\delta = \frac{P * l^3}{48 * E * I} \quad (1)$$

$$\delta = \frac{5 * q * l^4}{384 * E * I} \quad (2)$$



Figuur 6: Schematische voorstelling doorbuiging van de horizontale balk

$$\delta_{gewicht} = \frac{5 * (0,47 \text{ N/mm} + 0,48 \text{ N/mm}) * (4300 \text{ mm})^4}{384 * 210 * 10^3 \text{ N/mm}^2 * 738 * 10^4 \text{ mm}^4} = 2,2 \text{ mm}$$

$$\delta_{sneeuw} = \frac{5 * 6,84 \text{ N/mm} * (4300 \text{ mm})^4}{384 * 210 * 10^3 \text{ N/mm}^2 * 738 * 10^4 \text{ mm}^4} = 19,6 \text{ mm}$$

$$\delta_{vandalisme} = \frac{1500 \text{ N} * (4300 \text{ mm})^3}{48 * 210 * 10^3 \text{ N/mm}^2 * 738 * 10^4 \text{ mm}^4} = 1,6 \text{ mm}$$

De totale doorbuiging is de som van de doorbuigingen door de verschillende belastingen.

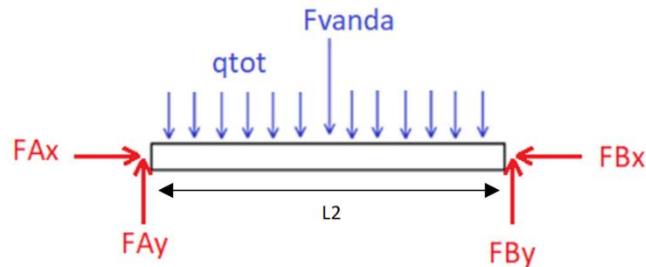
$$\delta_{totaal} = \delta_{gewicht} + \delta_{sneeuw} + \delta_{vandalisme}$$

$$\delta_{totaal} = 23,5 \text{ mm}$$

Dit wil zeggen dat de horizontale balk in het midden 23,5 mm gaat doorbuigen over een afstand van 4300 mm bij maximale belasting. In de aanbestedingsleidraad staat vermeld dat de doorbuiging van de constructie maximum 1/125 van de totale overspanning mag zijn. Op 4300 mm is dit 34,4 mm. Dit wil zeggen dat de doorbuiging van de horizontale balk acceptabel is.

3.1.2 Buigspanning

Om de spanning te berekenen wordt er een vrijlichaamsschema gemaakt (zie Figuur 7). Door het eigen gewicht, sneeuwlast en de kracht door vandalisme ontstaan de reactiekrachten F_{Ay} en F_{By} .



Figuur 7: Vrijlichaamsschema horizontale balk

$$\sum M_A = 0:$$

$$-q_{tot} * L_2 * \frac{L_2}{2} - F_{vandal} * \frac{L_2}{2} + F_{By} * L_2 = 0$$

$$F_{By} = \frac{q_{tot} * L_2 * \frac{L_2}{2} + F_{vandal} * \frac{L_2}{2}}{L_2}$$

$$F_{By} = 7,62\text{N/mm} * \frac{4300}{2}\text{mm} + \frac{1500\text{N}}{2} = 17,1 * 10^3 \text{ N}$$

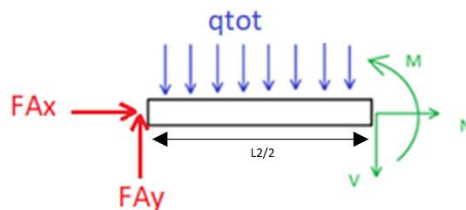
$$\sum F_y = 0:$$

$$F_{Ay} + F_{By} - F_{vandal} - q_{tot} * lengte = 0$$

$$F_{Ay} = -F_{By} + F_{vandal} + q_{tot} * lengte$$

$$F_{Ay} = -17,1 * 10^3 \text{ N} + 1500\text{N} + 7,62\text{N/mm} * 4300\text{mm} = 17,1 * 10^3 \text{ N}$$

Op de helft van de horizontale balk wordt er een snede gemaakt omdat hier de grootste spanning zal optreden (zie Figuur 8).



Figuur 8: Snede horizontale balk voor buigspanning

$$M(x) = F_{Ay} * x - q_{tot} * x * \frac{x}{2}$$

$$\begin{aligned} M(2150) &= 17,1 * 10^3 \text{ N} * 2150\text{mm} - 7,62\text{N/mm} * 2150\text{mm} * \frac{2150}{2}\text{mm} \\ &= 192 * 10^5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

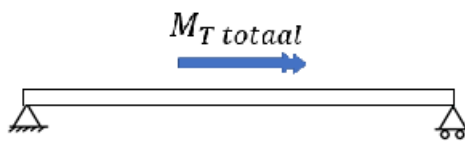
Met de spanning in het midden van de balk, de afstand tot de uiterste vezel en het traagheidsmoment in het horizontaal vlak kunnen we met formule (3) de spanning berekenen.

$$\sigma = \frac{M(x) * y}{I} \quad (3)$$

$$\sigma = \frac{192 * 10^5 \text{ Nmm} * 50 \text{ mm}}{7383 * 10^3 \text{ mm}^4} = 130 \text{ N/mm}^2$$

3.1.3 Torsiespanning

Er ontstaat een spanning die veroorzaakt wordt door de torsie die ontstaat door het eigen gewicht en sneeuwlast (zie Figuur 9). We berekenen de gemiddelde torsiespanning met het wringmoment, de dikte en de omsloten oppervlakte van de balk a.d.h.v. onderstaande formule.



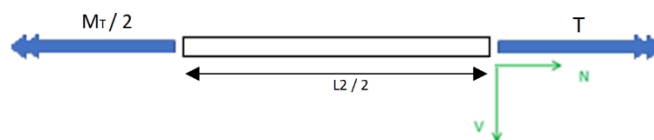
Figuur 9: Schematische voorstelling torsiemoment

$$\tau_{gem} = \frac{T}{2 * t * A_{omsl}}$$

Het uitwendig torsiemoment M_T is de som van de momenten op de balk. De breedte van het dak is 1800 mm. De verdeelde belasting wordt in het midden van het dak gelegd. Hierdoor zal de afstand 900 mm vanaf de zijkant zijn.

$$M_T = 2020 \text{ N} * 900 \text{ mm} + 29,41 * 10^3 \text{ N} * 900 \text{ mm} + 1500 \text{ N} * 1800 \text{ mm} = 310 * 10^5 \text{ Nmm}$$

Op de helft van de horizontale balk wordt er een snede gemaakt zodat het inwendig torsiemoment kan bepaald worden (zie Figuur 10).



Figuur 10: Snede horizontale balk voor torsie

$$T = \frac{M_T}{2} = \frac{310 * 10^5 \text{ Nmm}}{2} = 155 * 10^5 \text{ Nmm}$$

$$A_{omsl} = (b - t) * (h - t) = (300 \text{ mm} - 5 \text{ mm}) * (100 \text{ mm} - 5 \text{ mm}) = 28,0 * 10^3 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{gem} = \frac{155 * 10^5 \text{ Nmm}}{2 * 5 \text{ mm} * 28,0 * 10^3 \text{ mm}^2} = 55,4 \text{ N/mm}^2$$

De torsiehoek van een dunwandige buis met lengte l wordt berekend met onderstaande formule. Hierbij is de glijmodulus G van staal gelijk aan 79300 N/mm^2 .

$$\varphi = \sum \frac{T * l}{4 * A_{omsl}^2 * G} * \int \frac{ds}{t}$$

$$\varphi = \frac{155 * 10^5 \text{ Nmm} * 4300 \text{ mm}}{4 * (28,0 * 10^3 \text{ mm}^2)^2 * 79,3 * 10^3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} * \left(2 * \frac{100 \text{ mm}}{5 \text{ mm}} + 2 * \frac{300 \text{ mm}}{5 \text{ mm}} \right)$$

$$= 42,9 * 10^{-3} \text{ rad} = 2,46^\circ$$

Door het torsiemoment ontstaat er een torsiehoek van $2,46^\circ$. Dit kan een nadelig effect hebben op het design. Het dak is 1800 mm breed en zal dus $77,3 \text{ mm}$ zakken op het eindeinde door de hoekverdraaiing.

3.1.4 Vervangspanning

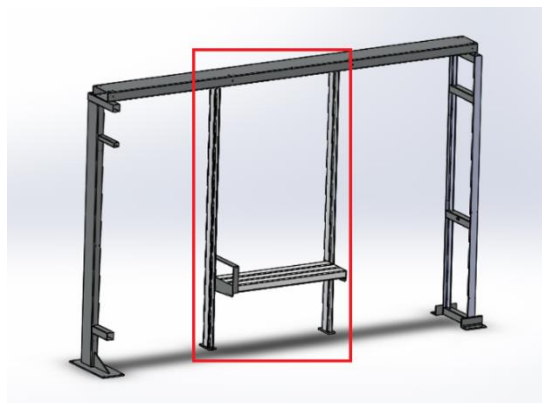
Om de totale spanning op de balk te berekenen wordt de formule van de vervangspanning gebruikt [9]. Deze spanning is de combinatie van de buigspanning en de torsiespanning. De torsiespanning gaat drie keer meer doorwegen dan de buigspanning.

$$\sigma_{vervang} = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2}$$

$$\sigma_{vervang} = \sqrt{130^2 \text{ N/mm}^2 + 3 * 55,4^2 \text{ N/mm}^2} = 161 \text{ N/mm}^2$$

Bij een veiligheidsfactor van $2/3 * 0,7$ is de toelaatbare spanning 109 N/mm^2 bij staal S235 en 165 N/mm^2 bij staal S355. Het gebruikte profiel is niet sterk genoeg om onder de toelaatbare spanning te blijven met staal S235. De spanning komt op 147% van de toelaatbare spanning. Bij staal S355 komt de spanning op 98% van de toelaatbare spanning. Deze zal wel volstaan.

Verder kan er na overleg met de klant twee steunstrips geplaatst worden die bijdragen aan de stevigheid van de constructie. De steunstrips die zijn aangeduid op Figuur 11 mogen enkel de verticale krachten opvangen waardoor de doorbuiging verwaarloosbaar zal zijn en de vervangspanning zal verlagen. De vervangspanning komt op 89% van de toelaatbare spanning met staal S235. Daarnaast is het mogelijk om de zitbank op de steunstrips te bevestigen zodat deze niet meer afzonderlijk van de abri is.



Figuur 11: Dragende constructie met twee steunstrips

3.2 Verticale balk

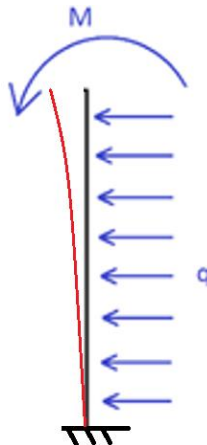
Het linkse steunpunt is een verticale balk die is ingeklemd. De wind veroorzaakt een gelijkmatig verdeelde belasting en de sneeuw op het dak veroorzaakt een moment in de verticale balk.

3.2.1 Doorbuiging

Om de doorbuiging van de balk te berekenen worden volgende formules gebruikt waarbij (4) de formule voor een gelijkmatig verdeelde belasting is en (5) de formule voor een moment. Er zijn twee verticale profielen die de krachten opvangen. Hierdoor zal de belasting op elke verticale balk gehalveerd zijn. De doorbuiging is het grootst op het uiteinde van de balk zoals weergegeven in Figuur 12.

$$\delta = \frac{q * l^4}{8 * E * I} \quad (4)$$

$$\delta = \frac{M * l^2}{2 * E * I} \quad (5)$$



Figuur 12: Schematische voorstelling doorbuiging verticale balk

$$\delta_{wind} = \frac{\left(\frac{3,04}{2} \text{ N/mm}\right) * (2770\text{mm})^4}{8 * 210 * 10^3 \text{ N/mm}^2 * 179 * 10^5 \text{ N/mm}^4} = 2,96 \text{ mm}$$

Het totale moment dat op de balk inwerkt is de som van de momenten van het dak, sneeuwbelasting en de vandalismekracht. Ook hier zal de sneeuw de grootste belasting veroorzaken.

$$M_{totaal} = M_{gewicht \text{ dak}} + M_{sneeuw} + M_{vandalisme}$$

$$\begin{aligned} M_{totaal} &= 900\text{mm} * 2020\text{N} + 900\text{mm} * 29,41 * 10^3\text{N} + 1800\text{mm} * 1500\text{N} \\ &= 310 * 10^5 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$$\delta_M = \frac{\left(\frac{310 * 10^5 \text{ Nmm}}{2}\right) * (2770\text{mm})^2}{2 * 210 * 10^3 \text{ N/mm}^2 * 179 * 10^5 \text{ N/mm}^4} = 15,8 \text{ mm}$$

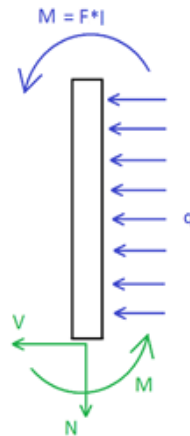
De totale doorbuiging is de som van de doorbuigingen door de verschillende belastingen.

$$\delta_{\text{totaal}} = \delta_{\text{wind}} + \delta_M = 18,8 \text{ mm}$$

Dit wil zeggen dat de verticale balk bovenaan 18,8 mm gaat doorbuigen over een afstand van 2770 mm bij maximale belasting. In de aanbestedingsleidraad staat vermeld dat de doorbuiging van de constructie maximum 1/125 van de totale hoogte mag zijn. Op 2770 mm is dit 22,2 mm. Dit wil zeggen dat de doorbuiging van de verticale balk acceptabel is.

3.2.2 Buigspanning

Om de spanning te berekenen wordt er een vrijlichaamsschema van de verticale balk gemaakt (zie Figuur 13). Hier zal de grootste spanning optreden bij de inklemming aan de grond.



Figuur 13: Snede verticale balk

$$M(x) = \frac{M_{\text{totaal}}}{2} + \frac{Q_{\text{wind}}}{2} * L_2 * \frac{L_2}{2}$$

$$M(\text{grond}) = \frac{310 * 10^5 \text{ Nmm}}{2} + \frac{3,04}{2} \text{ N/mm} * 2770\text{mm} * \frac{2770}{2} \text{ mm} = 213 * 10^5 \text{ Nmm}$$

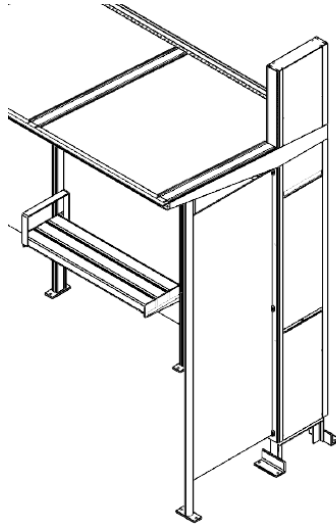
A.d.h.v. de formule van buigspanning (3) kunnen we de spanning onderaan de balk berekenen.

$$\sigma = \frac{213 * 10^5 \text{ Nmm} * 100\text{mm}}{179 * 10^5 \text{ mm}^4} = 119 \text{ N/mm}^2$$

Bij een veiligheidsfactor van $2/3 * 0,7$ is de toelaatbare spanning 109 N/mm² bij staal S235 en 165 N/mm² bij staal S355. Het gebruikte profiel is niet sterk genoeg om onder de toelaatbare spanning te blijven met staal S235. Hierbij komt de spanning op 108% van de toelaatbare spanning. Met staal S355 is het profiel wel sterk genoeg. Hierbij komt de spanning op 72% van de toelaatbare spanning.

3.3 Totem

Het rechtse steunpunt bestaat uit twee T-profielen die met een rugafstand van 502 mm t.o.v. elkaar staan. Hierdoor kunnen er ledstrips in de hoeken van de T-profielen geplaatst worden zodat deze de passagiersinformatie op de totem kan verlichten. De totem wordt geïntegreerd in de abri (zie Figuur 14). De berekening van de doorbuiging en de buigspanning is gelijkaardig aan die van de verticale balk. Enkel het traagheidsmoment zal veranderen.



Figuur 14: Totem geïntegreerd in abri

3.3.1 Doorbuiging

De doorbuiging wordt berekend met formules van een ingeklemde balk (4) en (5). Het traagheidsmoment wordt berekend d.m.v. de stelling van Steiner toe te passen [10]. Hierdoor bekomen we het totale traagheidsmoment t.o.v. de centrale as van de twee T-profielen. Deze berekening is te vinden in Bijlage B.

$$\delta_{wind} = \frac{\left(\frac{3,04}{2} \text{ N/mm}\right) * (2770\text{mm})^4}{8 * 210 * 10^3 \text{ N/mm}^2 * 206 * 10^5 \text{ mm}^4} = 0,26 \text{ mm}$$

$$\delta_M = \frac{\left(\frac{310 * 10^5}{2} \text{ Nmm}\right) * (2770\text{mm})^2}{2 * 210 * 10^3 \text{ N/mm}^2 * 206 * 10^5 \text{ mm}^4} = 1,37 \text{ mm}$$

$$\delta_{totaal} = \delta_{wind} + \delta_M = 1,63 \text{ mm}$$

3.3.2 Buigspanning

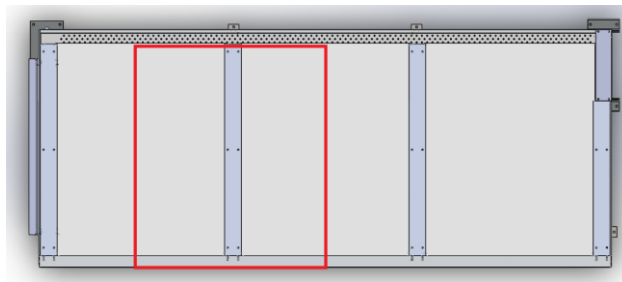
De buigspanning van T-profielen wordt berekend met formule (3). De afstand tot de uiterste vezel is de helft van de rugafstand van de T-profielen.

$$\sigma = \frac{213 * 10^5 \text{ Nmm} * \left(\frac{502 \text{ mm}}{2} \right)}{206 * 10^6 \text{ mm}^4} = 25,9 \text{ N}$$

De T-profielen geven onder deze belasting een zeer lage buigspanning. Hierdoor komt de spanning op 24% van de toelaatbare spanning met S235. Dit wil zeggen dat ze te sterk gekozen zijn. Hier zou een kleinere maat ook voldoen aan de belasting. Een groot nadeel van het gebruik van T-profielen is dat ze maar in één richting een groot traagheidsmoment hebben.

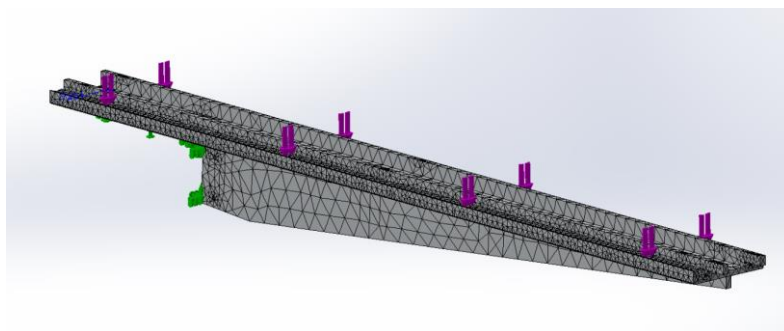
3.4 Dakspant

De vier dakspanten vangen de sneeuwlast op die op het glas ligt. Op één dakspant werkt de sneeuw die op het rode vierkant ligt in onderstaande Figuur 15. De binnenste dakspanten vangen de grootste krachten op.



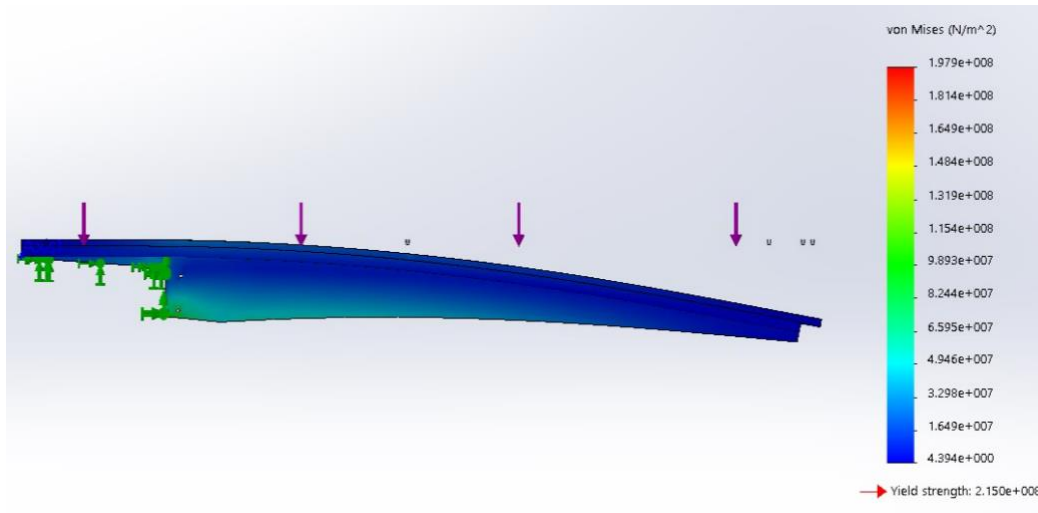
Figuur 15: Bovenaanzicht dak

Omdat deze dakspant een vorm heeft waarvan het traagheidsmoment en het zwaartepunt verandert in functie van de lengte, wordt de berekening uitgevoerd met een simulatiepakket binnen Solid Works. Op het dakspant komt een gelijkmatige belasting die een buigmoment zal veroorzaken. De mesh (zie Figuur 16) is zo gekozen dat bij een verandering van de fijnheid het resultaat niet meer dan 5% verandert. Daarnaast is er *adaptive meshing* gebruikt. Hierdoor wordt de mesh plaatselijk kleiner. Dit heeft als gevolg dat de aspect ratio 7 bedraagt. Deze waarde voldoet om een correct resultaat te bekomen. Het resultaat hiervan is dat het wiskundig model stabiel is [11].

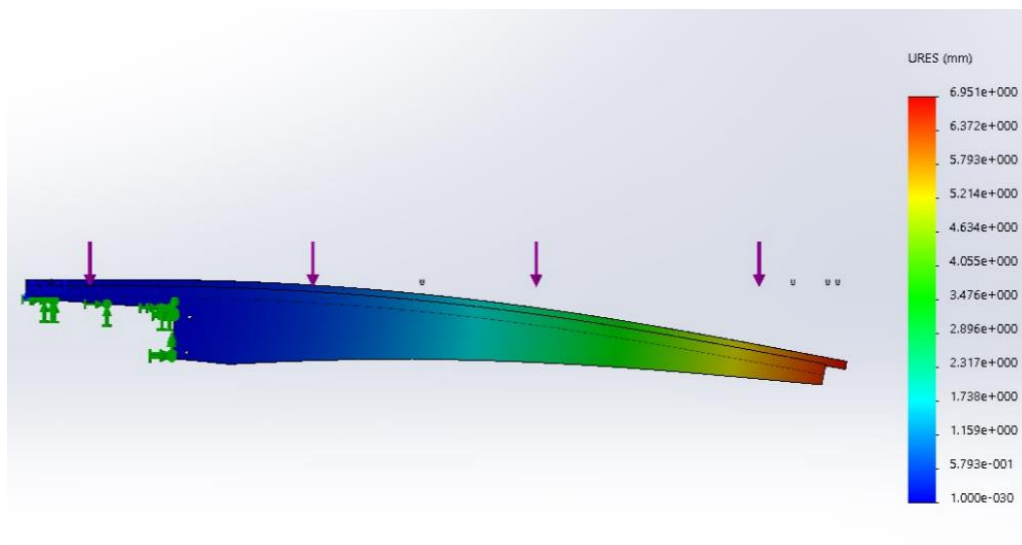


Figuur 16: Mesh dakspant

In Figuur 17 en 18 is te zien dat de spanning 198 N/mm² en de doorbuiging 6,95 mm bedraagt. Omdat het dakspant uit aluminium vervaardigd moet worden gaat de vloeigrens lager liggen dan bij staal. Aluminium Alu 6060 T6 heeft een vloeigrens van 215 N/mm². Hierdoor komt de belasting met een veiligheidsfactor van 0,7 op 132% van de toelaatbare spanning. Dit wil zeggen dat het dakspanten niet sterk genoeg zijn om de sneeuwlast in Oslo te kunnen weerstaan.



Figuur 17: Von Mises dakspant

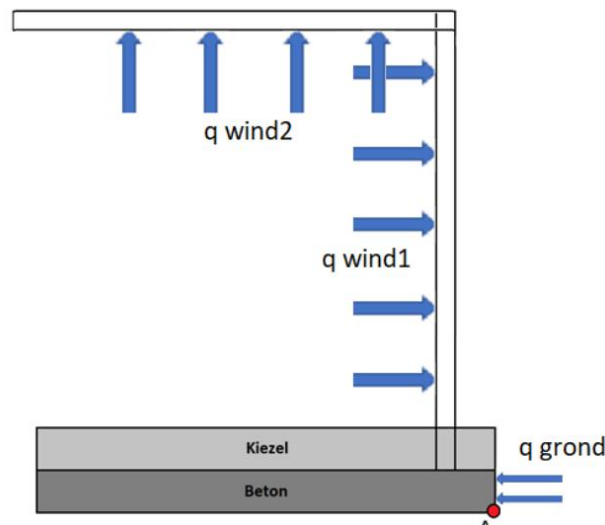


Figuur 18: Displacement dakspant

3.5 Stabiliteit

De fundering dient om de abri op te bevestigen en om ervoor te zorgen dat deze niet zal kantelen. Om de dikte van de fundering te berekenen om kantelen te voorkomen kan de wind een belasting veroorzaken in de rug of langs voorzijde. De grond levert een tegenwerkende kracht. Het gewicht van de kiezel en het gewicht van de beton gaan een tegenwerkend moment leveren.

We bekijken enkel de meest ongunstige situatie waarbij de wind langs de voorzijde waait omdat deze het grootste moment gaat veroorzaken (zie Figuur 19). De sneeuwlast gaat in dit geval de constructie naar beneden duwen waardoor het kantelen minder waarschijnlijk wordt. Daarom laten we de sneeuw buiten beschouwing.



Figuur 19: Windbelasting langs de voorzijde

Deze berekening is te vinden in Bijlage C. Hieruit blijkt dat de fundering met een oppervlakte van 1750x4600 mm resulteert in een negatieve dikte van de beton. Dit wil zeggen dat met een kiezelhoogte van 250 mm de beton overbodig is om het kantelen tegen te werken. Uit de berekening blijkt dat zonder kiezel de fundering 82 mm dik moet zijn. De fundering zal in werkelijkheid groter zijn om de draadstangen van de constructie in te bevestigen. M.a.w. de abri zal onder deze belasting niet omkantelen. De draadstangen worden vastgezet d.m.v. een chemisch anker. Hierbij moet de minimale betondikte volgens de technische gegevens van het gebruikte chemisch anker 161 mm zijn bij een draadstang van M16. De minimale betondikte om de belastingen op te vangen wordt berekend met onderstaande berekeningsmethode [12]. Het moment staat in kNm en breedte in m.

$$\text{min dikte} = 0,03 * \sqrt{\frac{M}{b}} = 0,03 * \sqrt{\frac{31 \text{ kNm}}{1,75 \text{ m}}} = 0,126 \text{ m}$$

De minimale betondikte om de belastingen op te vangen is kleiner dan de dikte die nodig is voor het chemisch anker. De dikte van de beton moet groter zijn dan deze waarden. Hierdoor is de fundering op 200 mm gekozen.

Om de fundering te bevestigen zullen er boven- en onderaan betonnetten geplaatst worden. Hierbij moet de onderste een grotere doorsnede hebben als de bovenste omdat de trekspanningen hier het grootst zijn. Om de minimale wapeningsdoorsnede te berekenen wordt onderstaande berekeningsmethode gebruikt [12]. Hierbij is het moment in Nmm en de hoogte in mm.

$$\text{min wapeningsdoorsnede} = 0,004 * \frac{M}{h} = 0,004 * \frac{310 * 10^5 \text{ Nmm}}{200 \text{ mm}} = 620 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Om aan deze wapeningsdoorsnede te voldoen moet er onderaan een net komen met een diameter van 10 mm en een maaswijdte van 150 x 150 mm. Dit geeft een wapeningsdoorsnede van 524 mm²/m. Dit is de doorsnede per meter breedte. Boven moet er een net komen met een diameter van 8 mm en een maaswijdte van 150 x 150 mm. Dit geeft een wapeningsdoorsnede van 335 mm²/m. Deze gegevens komen uit de Eurocode 2 wapeningswijzer [13]. In totaal is de wapeningsdoorsnede van deze netten 859 mm²/m. Deze waarde is groter dan 620 mm²/m. Hierdoor zijn de netten goed gekozen.

3.6 Besluit

De configuratie van de dragende constructie die is gekozen door de ontwerper van het ontwerpbureau voldoet niet aan de belastingen met staal S235. Met staal S355 zou de dragende constructie wel nipt volstaan. De T-profielen in de totem kunnen dunner zodat er materiaal wordt gespaard. Daarnaast heeft een dunnere totem een voordelig effect op het uiterlijk van de abri.

Daarnaast geven de dakspanten grote problemen. Omwille van het klimaat in Oslo kan er een zeer grote sneeuwlast ontstaan van 380 kg/m² sneeuw. Het uiterlijk van de abri zal moeten veranderen om de volledige constructie aan de belastingen te laten voldoen. Er worden verschillende ontwerp oplossingen besproken in Hoofdstuk 4.

De berekeningen die verricht zijn bij het ontwerpen van de abri zijn opgesteld in rekenbladen (zie Tabel 3). Hierdoor kan er snel en eenvoudig een aanpassing gebeuren aan de configuratie van de abri. Verder kan Epsilon de rekenbladen gebruiken in toekomstige soortgelijke projecten om het ontwerp door te rekenen.

Tabel 3: Overzichtstabel sterkteberekening rekenbladen

	Horizontale balk		Verticale Balk		Totem (I-profielen)	
Lengte	4320	[mm]	2768	[mm]	2768	[mm]
Breedte	300	[mm]	200	[mm]	100	[mm]
Hoogte	100	[mm]	100	[mm]	100	[mm]
Wanddikte	5	[mm]	6	[mm]	11	[mm]
δ	23,47	[mm]	18,72	[mm]	3,00	[mm]
σ	161,57	[N/mm ²]	118,88	[N/mm ²]	25,94	[N/mm ²]
	147	% limiet s235	108	% limiet s235	24	% limiet s235
	98	% limiet s355	72	% limiet s355	16	% limiet s355

4 Ontwerp

4.1 Constructie

Aan de hand van de sterkteberekeningen zijn er aanpassingen doorgevoerd in het eerste ontwerp. Hierbij is enkel gekeken naar de stalen dragende constructie. Hierdoor kon d.m.v. de dikte van de profielen aan te passen een optimaal ontwerp van de dragende constructie gekozen worden. Na overleg met de klant is er besloten om in dit ontwerp twee steunstrips te plaatsen die het bankje zwevend maken en bijdragen aan de sterkte van de constructie.

In de volgende fase is het ontwerp van het dakspant sterk veranderd t.g.v. de sterkteberekeningen. In de aanbestedingsleidraad staat dat deze taps toelopend (zie Figuur 20) en uit aluminium vervaardigd moet zijn. Hier moet een compromis gevonden worden tussen de sterkte en de vorm van het dakspant.



Figuur 20: Schets zijaanzicht dakspant

Aangezien het geen eenvoudige opgaven was om het dakspant te bevestigen op de horizontale balk, veranderde de opbouw van de constructie in het finale ontwerp.

4.1.1 Dragende constructie

Na overleg met de klant, het ontwerp bureau en een rekenbureau is er tot het besluit gekomen dat de totale opbouw van de abri verandert. Hierdoor bekomen we een ander product. De portaalconstructie (zie Figuur 21) is veranderd naar een galgconstructie (zie Figuur 22). Om dit te bereiken is het ontwerp veranderd van twee naar vier steunbalken. Bij de portaalconstructie speelt de horizontale balk een belangrijke rol. Dit vereist een grote en zware balk. Bij een galgstructuur mag de horizontale balk verwijderd worden omdat deze geen krachten opvangt. Hierdoor wordt het dakspant rechtstreeks op de verticale steunbalk bevestigd. Dit zorgt voor een gemakkelijk en sterke verbinding. Hierbij worden de steunbalken uit staal S235 en de dakspant uit aluminium vervaardigd. Tot slot zijn in de totem aan de zijkant van de abri de T-profielen veranderd in balken om de zijdelingse krachten beter op te vangen. Een extra voordeel is dat de abri met dit ontwerp gemakkelijk van lengte kan veranderen door verticale steunbalken bij te plaatsen.



Figuur 21: Portaalconstructie

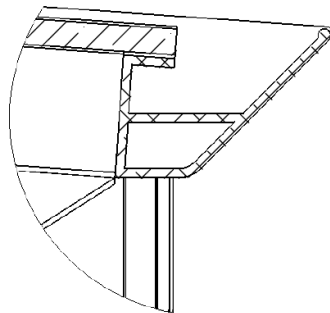


Figuur 22: Galgconstructie

4.1.2 Aluminium extrusieprofielen

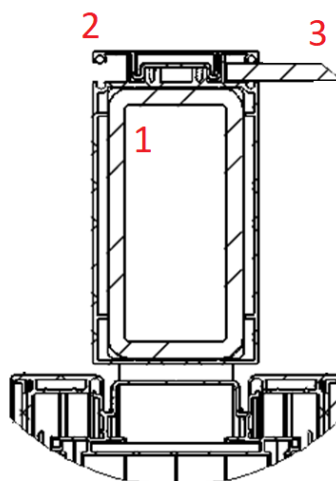
De aluminium profielen die gebruikt zijn in de abri zijn extrusieprofielen. Deze zijn ontworpen in samenwerking met het ontwerp bureau Fabrique. Bij het ontwerpen van de extrusieprofielen zijn er bepaalde richtlijnen waaraan de ontwerper zich moet houden. Zo moeten de profielen zo vlak mogelijk en uniform van dikte gemaakt zijn. Daarnaast is het aangeraden om de hoeken af te ronden. Het profiel kan beter geperst worden door minder dichte kamers te voorzien en diepe gleuven te vermijden [14]. Als deze richtlijnen niet zijn toegepast zal de kostprijs van de matrijs stijgen.

De extrusieprofielen hebben een grotere functionaliteit dan enkel de omkasting van de dragende constructie te laten voldoen aan het concept. Ze dienen ook als goot voor de afwatering (zie Figuur 23) en als behuizing voor de ledverlichting. Daarnaast wordt de elektrische bekabeling weggewerkt in de profielen. De profielen zijn voorzien van de nodige schroefogen en gleuven om afdekplaten en klikprofielen te bevestigen.



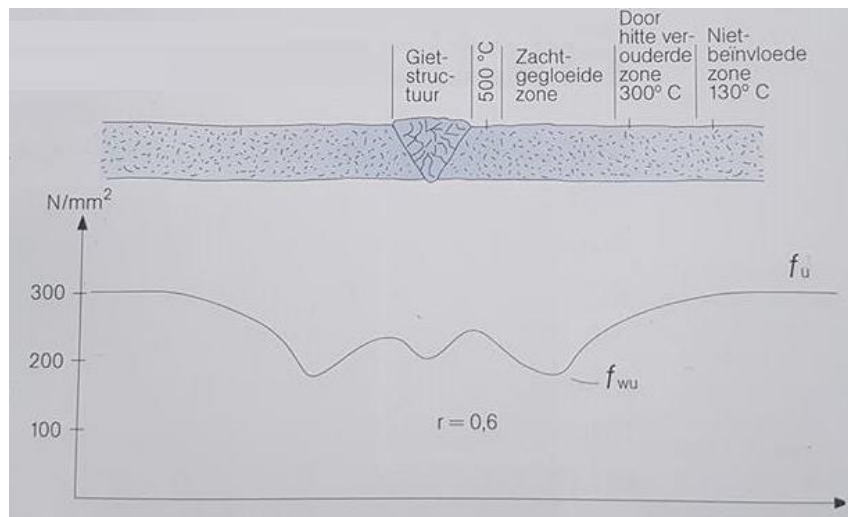
Figuur 23: Doorsnede gootprofiel

De omkasting van de steunpalen zorgt ervoor dat de abri een gesloten geheel is. Zo is de bevestiging van de glaspanelen in de rug geïntegreerd in dit profiel (zie Figuur 24). Rond de stalen koker (1) zit het aluminium extrusieprofiel (2) die de glasplaat (3) vasthoudt. De bevestigingsschroeven worden afgedekt d.m.v. een klikprofiel.



Figuur 24: Doorsnede steunbalk

Een manier om de profielen permanent te verbinden is het gebruik van een lasverbinding d.m.v. smeltlassen. De beste methodes om aluminium te lassen zijn met MIG en TIG. Met deze technieken is het mogelijk om materiaal met een dikte van 1 mm of meer te lassen. Bij MIG lassen kan er voor een diepere indringing van de las zoals bij een hoeklas of het lassen van een dik materiaal een mengsel van argon en helium gebruikt worden. Door deze techniek is er een penetratie van 10-12 mm mogelijk. Het nadeel van het lassen van de meeste aluminiumlegeringen is dat de sterkte in de omgeving van de las vermindert (zie Figuur 25).



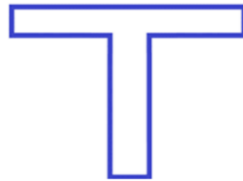
Figuur 25: Grafiek sterkteverlies lasverbinding aluminium [14, p. 85]

Een mogelijke oplossing is een constructieve oplossing voorzien. De sterkte kan behouden worden door het materiaal te verdikken waar de las moet komen. De methode die in dit ontwerp is toegepast om de sterktevermindering tegen te gaan is door gebruik te maken van een andere legering. De legering EN AW-6061 T6 verliest weinig sterkte door het lassen. Deze legering is ook gekend als constructiemateriaal voor dynamische belaste verbindingen. Bij deze methode zijn er geen uiterlijke veranderingen aan de dakspant nodig.

Een ander probleem dat aluminium met zich meebrengt is galvanische corrosie. Galvanische corrosie ontstaat wanneer verschillende metalen langdurig in direct contact staan met elkaar. In dit geval zal er corrosie optreden op het minst edele metaal. Dus als de aluminium profielen contact maken met het staal van de dragende constructie zal er galvanische corrosie optreden. Deze galvanische corrosie zorgt voor een afname van het materiaal bij het aluminium. Dit kan voorkomen worden door het contact te verbreken tussen het staal en het aluminium. Bij het ontwerp voor Oslo zijn de aluminium onderdelen afgewerkt met een poederlak. Hierdoor zijn de twee materialen gescheiden [14].

4.1.3 Dakspant

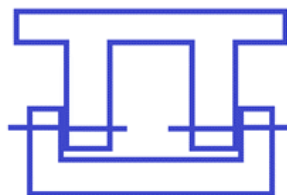
D.m.v. onze sterkteberekeningen en die van het rekenbureau werd het duidelijk dat het dakspant een zeer kritisch onderdeel was. Hoofdzakelijk omdat het taps toelopende uit aluminium vervaardigde dakspant de grote sneeuwlast moet kunnen dragen. Een voordeel van deze T-vormige doorsnede is dat het dakspant er slank uitziet en zo voldoet aan de verwachtingen van de klant. De T-vorm (zie Figuur 26) uit het eerste ontwerp komende van het ontwerpbureau was echter niet aangepast aan de spanningsverdeling over de doorsnede van het profiel. Aan de onderkant van het profiel komen de grootste krachten terwijl er zich bij een T-vorm juist weinig materiaal aan de onderkant bevindt.



Figuur 26: Schets doorsnede dakspant met T-vorm

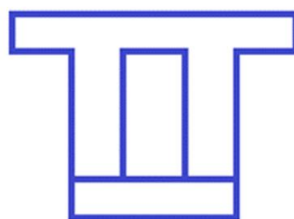
In overleg met het rekenbureau en de klant is er besloten om het dakspant een kokervorm te geven om aan de belastingen te voldoen. Om een taps toelopend profiel te bekomen moet dit in twee delen vervaardigd worden. Hierbij zijn er drie voorstellen bekeken.

Het eerste voorstel (zie Figuur 27) is twee aparte profielen extruderen en verbinden met een bevestigingsmateriaal. Het bovenste profiel wordt schuin afgezaagd om uiteindelijk een schuine dakspant te bekomen. Vervolgens wordt het onderste deel met klinknagels bevestigd op het bovenste deel. Een voordeel van deze manier van werken is dat de montage ter plaatse kan gebeuren. Een nadeel is dat de bevestigingsmaterialen zichtbaar zijn. Dit is volgens de aanbestedingsleidraad niet acceptabel.



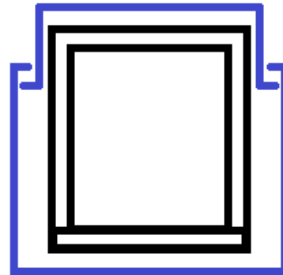
Figuur 27: Schets doorsnede dakspant eerste voorstel

Bij het tweede voorstel (zie Figuur 28) wordt er een lasverbinding gebruikt om het bovenste schuine deel met het onderste deel te bevestigen. Dit heeft als nadeel dat dit zeer veel laswerk zou vereisen en de lasnaden zeer goed zichtbaar zijn. De zichtbaarheid van de lasnaden is volgens de aanbestedingsleidraad niet acceptabel.



Figuur 28: Schets doorsnede dakspant tweede voorstel

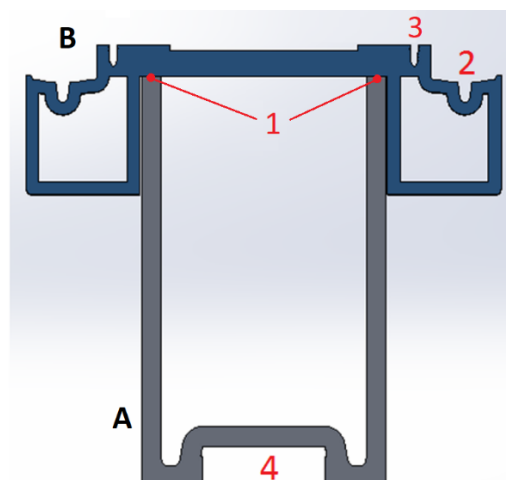
Een derde voorstel (zie Figuur 29) is om het dakspant uit twee materialen te vervaardigen. Hierbij zit er in het dakspant een stalen koker die de krachten opvangt en een aluminium omkasting die deze wegwerkt. D.m.v. klikprofielen kan de bevestiging van de aluminium omkasting onzichtbaar gebeuren. Een nadeel is dat deze manier van werken meer productietijd vraagt. Daarnaast treedt er elektrolytische corrosie op als aluminium en staal lang met elkaar in contact komen.



Figuur 29: Schets doorsnede dakspant derde voorstel

Uiteindelijk is er gekozen voor een aangepaste versie van het tweede voorstel (zie Figuur 30). Hierbij wordt er een schuin U-profiel (A) aan het bovenste profiel (B) gelast. In het bovenste profiel zijn sleufgaten gefreesd om de profielen aan elkaar te lassen. Deze sleufgaten zitten op de plaats waar het uiteinde van de benen van het U-profiel het bovenste profiel raken (1). Door enkel in de sleufgaten te lassen blijven de lastijden laag. Daarnaast wordt er een ander soort aluminium (EN AW-6061 T6) gebruikt die zijn mechanische eigenschappen behoudt na het lassen.

Verder is op onderstaande figuur te zien dat dit extrusieprofiel meerdere functionaliteiten heeft. Zo zijn er gleuven (2) voorzien om rubbers in te plaatsen. Deze zorgen voor een waterdichte afdichting met het glas op het dak. Daarnaast zijn er gleuven (3) voorzien die dienen voor de bevestiging van het glas. Deze zijn zo gemaakt dat er over de hele lengte schroeven van M4 in passen. Hier zal een bevestigingsstrip voor het glas ingeschroefd worden. De U-vormige opening (4) heeft als functie om de bevestiging met de verticale balk te verbergen. Deze wordt afgedicht met een klikprofiel. Zo is er over de hele dakspant geen bevestigingsmateriaal zichtbaar.



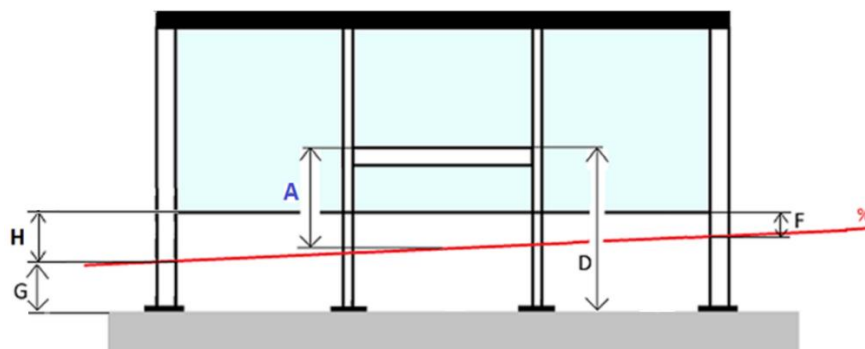
Figuur 30: Doorsnede finale dakspant

4.1.4 Overbrugbare helling

Omdat niet alleabri's op een horizontale ondergrond geplaatst worden is het noodzakelijk dat deabri ontworpen is om een helling van het maaiveld te kunnen opvangen. Deabri wordt steeds geplaatst op een horizontaal liggende betonfundering. Door de helling van het maaiveld die met een schuine lijn is aangeduid in Figuur 31, zal er aan de zijkant een hoogteverschil ontstaan. In de aanbestedingsleidraad staat beschreven dat er een hoogte F van 150 mm moet overblijven tussen het glas en het maaiveld zodat afval en sneeuw gemakkelijk te verwijderen is. Aan de andere zijde moet er een minimum hoogte G van 50 mm aanwezig zijn zodat de fundering diep genoeg in de grond zit. Verder moet het zitbankje in het midden op een hoogte A van 490 mm van het maaiveld bevestigd zijn.

Om het aantal configuraties van de onderdelen te beperken wordt er in Oslo gekeken naar al de locaties waar Epsilon eenabri zal plaatsen. Hierbij wordt er een configuratie gemaakt die aan de helling op 95% van de locaties voldoet. Op de overige locaties met een grotere helling zal Epsilon een tweede configuratie van deabri plaatsen.

Het voordeel van deze manier van werken is dat er slechts twee modellen gebruikt worden om de helling op te vangen. Daarnaast zal de lengte van alle gebruikte profielen zo kort mogelijk zijn omdat de paallengte minimaal blijft.

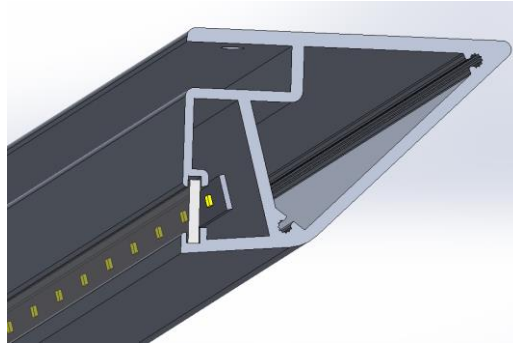


Figuur 31: Schets overbrugbare helling

4.2 Energie

4.2.1 Verlichting

Voor de verlichting in de abri worden er ledstrips gebruikt uit een voorgaand project. Deze hebben een laag verbruik en voldoen aan de eisen van de klant. De verlichting moet inschakelen als de lichtsterkte minder dan 100 lux bedraagt. Deze wordt gemeten met een lichtsensor. De ledstrips worden geïntegreerd in het dak. Hiervoor is er een ruimte voorzien in het extrusieprofiel van het voorste dakprofiel (zie Figuur 32). In de opening van deze ruimte zit een opaalplaat die het licht van de leds gelijkmatig verdeeld.



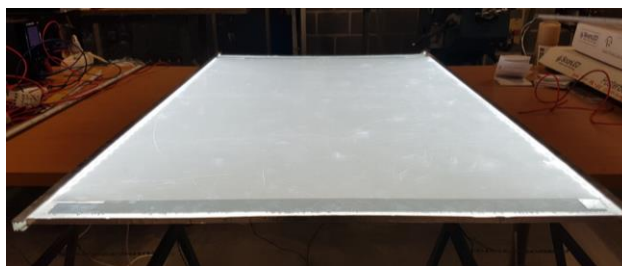
Figuur 32: Extrusieprofiel voorste dakspant met geïntegreerde verlichting

Om de juiste leds te kiezen voor de verlichte passagiersinformatie zijn er luxmetingen uitgevoerd. Hierbij zijn twee opstellingen bekeken. Bij de eerste opstelling worden ledstrips in een bak geplaatst die vervolgens op een opaalplaat schijnen. Deze opaalplaat laat het licht door zodat het uurrooster of de routekaart verlicht wordt (zie Figuur 33). De tabel met metingen van de lichtsterkte en gelijkmatigheid (zie Tabel D2 in Bijlage D) toonde aan dat de GE Tetra led het beste resultaat geeft voor deze toepassing.



Figuur 33: Testopstelling verlichte uurroosterkader met opaalplaat

Een tweede opstelling is het gebruiken van een lichtgeleidingsplaat (zie Figuur 34). Deze plaat heeft als voordeel dat de ledstrips langs de zijkant bevestigd kunnen worden. Hierdoor zal de dikte van de kader kleiner zijn. De metingen van de lichtsterkte en gelijkmatigheid (zie Tabel D4 in Bijlage D) toonde aan dat de HLS-PCB-11 led het beste resultaat geeft voor deze toepassing.



Figuur 34: Testopstelling verlichte uurroosterkader met lichtgeleidingsplaat

In deabri van Oslo wordt er gekozen voor een lichtgeleidingsplaat. Deze is duurder dan de opaalplaat maar de gelijkmatigheid over de hele plaat is veel beter. Dit geeft een mooier resultaat en de passagiersinformatie is beter te lezen.

4.2.2 Bewegingsdetectie

Om energie te besparen kan er gewerkt worden met een bewegingsdetectie. Hierbij wordt er een schakeling opgebouwd die ervoor gaat zorgen dat de verlichting niet voortdurend ingeschakeld is. Als er een persoon aanwezig is in deabri zal de verlichting aan gaan of van een gedimde stand naar volle sterkte gaan. Naast energiebesparing gaat deze schakeling de lichtvervuiling verminderen. Om dit te verwezenlijken zijn er verschillende soorten sensoren mogelijk. De keuze hangt af van welk typeabri wordt gebruikt. De meest voor de hand liggende opties zijn PIR-sensoren en AIR-sensoren.

Een PIR-sensor of passieve infrarood sensor is een sensor die het infrarood licht van objecten detecteert. Objecten zenden warmte-energie in de vorm van straling uit. De sensor detecteert de variatie van infrarode straling die wordt veroorzaakt doordat er een persoon beweegt in zijn gezichtsveld.

Voordelen:

- detecteert geen koude objecten;
- laag verbruik;

Nadelen:

- kan niet door glas detecteren;
- detecteert ook voorbijgangers.

Een AIR-sensor of actieve infrarode detector zend een gebundelde lichtstraal uit naar een ontvanger. Als de lichtstraal onderbroken wordt gaat de verlichting branden.

Voordelen:

- detecteert enkel als er personen deabri intreden;
- gemakkelijk weg te werken in het frame;
- laag verbruik;

Nadelen:

- zender en ontvanger nodig;
- reizigers die lang in het schuilhuisje staan worden niet gedetecteerd.

Bij de abri in Oslo is een PIR-sensor de beste optie omdat de sensor de reizigers tijdens het wachten detecteert en niet alleen bij het intreden van de abri. Verder wordt een PIR-sensor in het dak bevestigd waardoor deze minder vatbaar is voor vandalisme. Het detecteren van voorbijgangers waardoor de verlichting onnodig inschakelt kan opgelost worden met een sensor die een detectiehoek heeft van 180°. Hierdoor is bij een juiste positie van de sensor de detectiezone aan de binnenzijde van de abri.

4.2.3 Autonome werking abri

4.2.3.1 Abri in Oslo

Een abri kan autonoom werken a.d.h.v. zonnepanelen in combinatie met batterijen. Dit wil zeggen dat de abri een eigen energievoorziening heeft en vrij opgesteld kan worden, los van het elektriciteitsnet. Hierdoor zal de elektriciteitskost nul zijn en werkt dit mee aan het groene imago van de stad. Daarnaast moeten er geen grondwerken gebeuren voor de aansluiting op het elektriciteitsnet. Een autonome abri kan bij verandering van de infrastructuur in een stad gemakkelijk en goedkoop verplaatst worden naar een andere locatie.

De berekening is uitgevoerd op een abri met twee zonnepanelen. De gebruikte zonnepanelen bij Epsilon in andere projecten hebben een nominaal vermogen van 35 Wp. De zonnepanelen hebben een helling van vijf graden. Dit is niet de meest efficiëntste helling maar op deze manier zijn de panelen minder zichtbaar en minder vatbaar voor vandalisme. Onderstaande Tabel 4 geeft de opbrengst van de zonnepanelen per maand in Oslo [15]. De waardes geven een gemiddelde opwekking van energie per maand gemeten over een periode van twaalf jaar. E_d staat voor dagelijks en E_m voor de maandelijkse gemiddelde hoeveelheid opgewekte energie in wattuur.

Tabel 4: Opbrengst zonnepanelen in Oslo per maand

Maand	E_d [Wh]	E_m [Wh]
jan	22,0	681
feb	60,4	1690
mrt	156,0	4830
apr	230,0	6890
mei	299,0	9260
jun	315,0	9460
jul	280,0	8680
aug	230,0	7130
sep	159,0	4760
okt	76,4	2370
nov	27,3	819
dec	11,9	369

Om de abri autonoom te laten werken moet er een batterij gekozen worden die de opgewekte energie van overdag, gedurende de nacht kan leveren aan de verbruikers. De verbruikers zijn: de ledverlichting (3,25W), de ledstrip in de uurroosterkader (6W) en de ledstrip in de verlichte totem (6W). Dit geeft een totaal verbruik van 15,25 Watt.

De tijd waarin de abri verlicht moet zijn is afhankelijk van de periode. In de wintermaanden is het langer donker en zal de verlichting tot dertien uur lang aanblijven. Hierdoor is er in de maand december een verbruik van 198,3 Wh per dag. In juni zal de verlichting maar vier uur aanblijven waardoor het verbruik in de wintermaanden veel hoger is dan in de zomermaanden (zie Tabel 5). Dit terwijl er minder energie wordt opgewekt door de geringe zonuren.

Tabel 5: Berekening tekort aan energie per maand in Oslo

Maand	E _d [Wh]	LED aan [h/24h]	Verbruik [Wh/24h]	Opbrengst - verbruik [Wh/24h]	dagen / maand	Tekort [Wh]
jan	22	12,0	183,0	-161,0	31	-4991,0
Feb	60,4	10,5	160,1	-99,7	28	-2792,3
Mar	156	8,5	129,6	26,4	31	-
Apr	230	6,5	99,1	130,9	30	-
Mei	299	5,0	76,3	222,8	31	-
Jun	315	4,0	61,0	254,0	30	-
Jul	280	4,5	68,6	211,4	31	-
Aug	230	6,0	91,5	138,5	31	-
Sep	159	8,0	122,0	37,0	30	-
Oct	76,4	10,0	152,5	-76,1	31	-2359,1
Nov	27,3	11,5	175,4	-148,1	30	-4442,3
Dec	12	13,0	198,3	-186,3	31	-5773,8

In Tabel 5 is te zien dat er vijf maanden een tekort aan energie is. In de maand december is het tekort aan energie het grootst. Dit komt omdat er 31 dagen gemiddeld maar 12 Wh per dag wordt opgewekt en het verbruik 198,3 Wh per dag is. Dit wil zeggen dat er op het einde van de maand december een tekort aan energie is van 5773,8 Wh. Een oplossing voor dit probleem is een grotere batterij die het tekort aan energie van elke maand kan opvangen. Maar dit is niet haalbaar omdat dit zeer veel batterijen zou vereisen om de kritische maanden van energie te voorzien. Daarnaast zouden meer zonnepanelen een oplossing zijn maar dit zou de kosten doen stijgen en de prijs van een netaansluiting overtreffen omdat er 15 zonnepanelen nodig zijn. Zelfs met een energiebesparende schakeling waarbij de verlichting wordt gedimd zal dit niet efficiënt zijn in Oslo. Daarnaast wordt er in Noorwegen veel groene energie geproduceerd d.m.v. andere milieu vriendelijke methodes. Hierdoor is een netaansluiting een betere oplossing voor de abri.

4.2.3.2 Abri in Bordeaux

Een abri autonoom laten werken a.d.h.v. zonne-energie kan wel nuttig zijn bij andere projecten in landen waarbij er meer zonuren zijn. Er is gekeken welke configuratie nodig is om dit systeem toe te passen in de stad Bordeaux, Frankrijk. Hieruit blijkt dat met de voorgaande verbruikers twee zonnepanelen net niet genoeg is om autonoom te werken. Hierbij zal er nog steeds een tekort aan energie zijn in de wintermaanden. Een oplossing is een schakeling met een bewegingsdetectie (zie Bijlage E). De verlichting gaat van 100% naar 30% dalen als er een bepaalde tijd geen beweging is in de abri. Voor deze berekening gaat de totale verlichting van de abri naar 30% en zal bij een detectie de verlichting vijf minuten

aanblijven. Er is aangenomen dat er 45 keer per nacht een persoon gedetecteerd wordt in de abri. Deze instellingen zijn aanpasbaar naar de behoefte van de klant.

In Tabel 6 is te zien dat er met een bewegingsdetectie enkel in de maand december een tekort aan energie is van 288,1 Wh. Dit kan de schakeling opvangen met twee batterijen van 18 Ah met een maximale ontlading van 80%.

$$\text{capaciteit batterijen} = U * I * 0,8 * 2 = 12 \text{ V} * 18 \text{ Ah} * 0,8 * 2 = 345,6 \text{ Wh}$$

Tabel 6: Berekening tekort aan energie per maand in Bordeaux met bewegingsdetectie

Maand	E _d [Wh]	LED aan [h/24h]	Verbruik [Wh/24h]	Opbrengst - verbruik [Wh/24h]	dagen / maand	Tekort [Wh]
jan	84,6	12,0	82,4	2,2	31	-
feb	145	10,5	77,8	67,2	28	-
mrt	226	8,5	71,7	154,3	31	-
apr	270	6,5	65,6	204,4	30	-
mei	300	5,0	61,0	239,0	31	-
jun	330	4,0	58,0	272,0	30	-
jul	322	4,5	59,5	262,5	31	-
aug	292	6,0	64,1	227,9	31	-
sep	246	8,0	70,2	175,8	30	-
okt	164,8	10,0	76,3	88,5	31	-
nov	98,6	11,5	80,9	17,7	30	-
dec	76,2	13,0	85,5	-9,3	31	-288,1

5 Kostprijs

Als laatste onderdeel van deze masterproef is er gekeken welke kostprijs er gekoppeld is aan het vervaardigen van de abri. Hierbij is de opdeling gemaakt tussen de sub-samenstellingen en de eindmontage van de abri. De prijs is opgedeeld in drie categorieën, namelijk materiaal, lakwerk en arbeidskost. In Tabel 7 is te zien dat de kost van het materiaal het grootst is. Deze bedraagt 76%. De kost van de arbeid zoals freesbewerkingen, lassen en plooiwerk bedraagt 19,7% van de totale kostprijs. Hierbij is de kost van engineering niet meegerekend.

De kost van het materiaal zit vooral in de onderbouw en in het dak omwille van de aankoop van de verschillende profielen en het glas. Daarnaast zit de prijs van het lakwerk vooral in de dak omwille van de aluminium dakspanten. De grootste arbeidskost zit in de eindmontage, onderbouw en luxor. De luxor is een standaard onderdeel dat bij verschillende producten gebruikt wordt. Het is een lichtbak om reclame weer te geven d.m.v. posters.

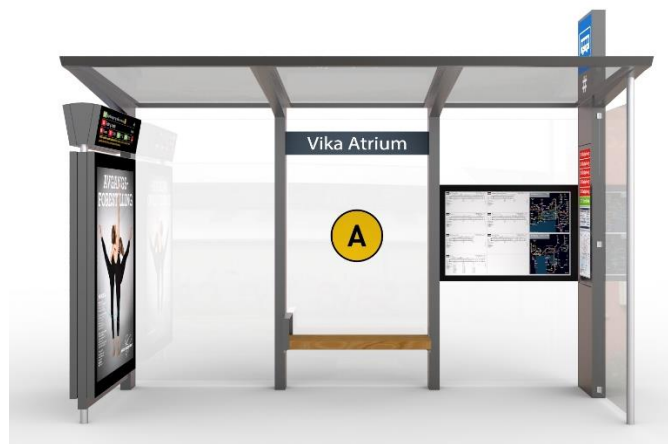
Tabel 7: Kostprijsberekening abri Oslo

	Materiaal	Lakwerk	Arbeid	Totaal
Beton	10,3%	0,0%	0,0%	10,3%
Onderbouw	23,1%	0,7%	4,4%	28,2%
Dak	22,8%	1,7%	1,7%	26,2%
Kolom	7,1%	1,1%	3,3%	11,4%
Bench	2,1%	0,4%	0,1%	2,6%
Luxor	10,7%	0,3%	4,9%	15,9%
Eindmontage	0,0%	0,0%	5,3%	5,3%
	76,0%	4,2%	19,7%	100,0%

De kostprijs van een nieuwe matrijs voor de aluminium extrusieprofielen bedraagt gemiddeld € 3500. Er worden 9 nieuwe matrijzen aangemaakt. Deze kost is niet ingerekend in bovenstaande tabel. Daarnaast moet bij het totale bedrag de transportkost en de kost van engineering nog worden opgeteld.

6 Besluit

De hoofddoelstelling van deze masterproef was om de concepttekeningen van een abri in Oslo omzetten naar productietekeningen, rekening houdend met de specificaties en richtlijnen die zijn opgelegd door de klant in een aanbestedingsleidraad. Hierbij is na verschillende sterkteberekeningen het ontwerp veranderd van een portaalstructuur naar een galgstructuur om aan de extra sneeuwbelasting in Oslo te voldoen. De renders (Figuur 35) en productietekeningen (Bijlage G) zijn goedgekeurd door de klant waardoor de abri in productie kan gaan. Uit de kostprijsberekening blijkt dat de grootste kost van de abri zit in de aankoop van de materialen om de abri te vervaardigen. A.d.h.v. de gemaakte rekenbladen kan Epsilon snel sterkteberekeningen op soortgelijke ontwerpen uitvoeren. Zo krijgt de ontwerper een eerste zicht van de nodige sterkte van de profielen.



Figuur 35: Render finale ontwerp abri

Een extra voordeel van deze constructie is dat Epsilon de abri kan gebruiken voor andere toepassingen. Zo kan Epsilon dit ontwerp gebruiken als basis voor het ontwerp voor een oplaadstation voor elektrische voertuigen door de abri uit te breiden in de lengte.

In de voorstudie is er gekeken of er een beter alternatief bestaat voor het huidige staal van de draagconstructie. Hieruit blijkt dat er alternatieven bestaan voor deze toepassing zoals AISI 1040 en AISI 409. Omwille van de hoge kostprijs van AISI 409 t.o.v. het huidige materiaal en omdat beide materialen niet leverbaar zijn in de gewenste profielen zijn deze materialen niet haalbaar.

Daarnaast is er onderzoek verricht naar het energetisch autonoom werken van een abri d.m.v. zonnepanelen en batterijen. Hierbij was te zien dat dit niet efficiënt is in Noorwegen door de geringe zonuren. In meer zuidelijke gebieden zoals Bordeaux, Frankrijk is dit wel haalbaar. Hiervoor is een energiesysteem gedimensioneerd en getest. Voor dit systeem is een schakeling ontwikkeld die de lichtsterkte verlaagt van 100% naar 30% om energie te besparen zodat er minder zonnepanelen en batterijen nodig zijn.

Bibliografie

- [1] „Van Dale,” [Online]. Available: <http://www.vandale.be/opzoeken?pattern=abri&lang=nn>. [Geopend 18 oktober 2017].
- [2] „Epsilon NV,” Epsilon, [Online]. Available: <http://www.epsilonvs.com/NL/projects/sleutelcijfers>. [Geopend 5 oktober 2017].
- [3] Stad Oslo, *Framework Agreement Relating to Advertising-Funded Shelters and Informational Elements for Bus and Tram Stops in Oslo*, Oslo, 2017.
- [4] M. F. Ashby, *Materials Selection in Mechanical Design*, Cambridge, UK: Butterworth-Heinemann, 2010.
- [5] *Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 1-4: Algemene belastingen - Windbelasting (+ AC:2010)*, Brussel, België: Bureau voor Normalisatie, 2005.
- [6] Standards Norway, *National Annex NA, Eurocode 1: Actions on structures Part 1-4: General actions, Wind actions*, Lysaker, Norway: Standard Online AS, 2009.
- [7] *Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 1-3: Algemene belastingen - Sneeuwbelasting (+ AC:2009)*, Brussel, België: Bureau voor Normalisatie, 2003.
- [8] Standards Norway, *National Annex NA, Eurocode 1: Actions on structures Part 1-3: General actions, Snow loads*, Lysaker, Norway: Standard Online AS, 2008.
- [9] R. C. Hibbeler, *Sterkteleer*, Amsterdam: Pearson Benelux, 2015.
- [10] R. C. Hibbeler, *Dynamica*, Amsterdam: Pearson Benelux, 2014.
- [11] B. J. Mac Donald, *Partical Stress Analysis with Finite Elements*, Dublin, Ireland: Glasnevin Publishing, 2011.
- [12] J. Vantomme, *Berekenen van betonconstructies*, Brussel: VUB press, 2009.
- [13] *Eurocode 2 wapeningswijzer*, Apeldoorn, Nederland: Vereniging Wapeningsstaal Nederland, 2014.
- [14] S. P. AB, *Sapa Handboek voor ontwerpers*, Drunen, Nederland: Sapa, 2009.
- [15] "Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps," European Commission, [Online]. Available: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>. [Accessed 15 november 2017].

Bijlagen

Bijlage A: Berekening materiaalselectie dragende constructie

1. Het probleem vertalen naar een materiaalselectie probleem

Functie:

- dragen van de constructie van eenabri.

Geometrische beperkingen:

- hoogte $h = 2850$ mm;
- doorbuiging $\delta = 22.8$ mm ($1/125^{\text{ste}}$ van de hoogte).

Functionele beperkingen:

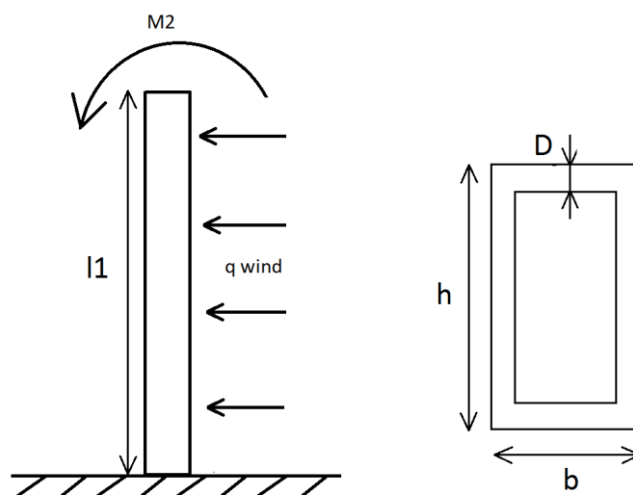
- breukvastheid;
- lasbaarheid;
- gemakkelijk bewerkbaar;
- corrosiebestendig (eventueel na een bewerking);
- kan tegen (zout) water;
- maximum / minimum temperatuur;
- niet plastisch vervormen door kracht F_{Wind} en F_{Dak} .

Objectief:

- K: kostprijs

Vrije variabele:

- D: dikte balk



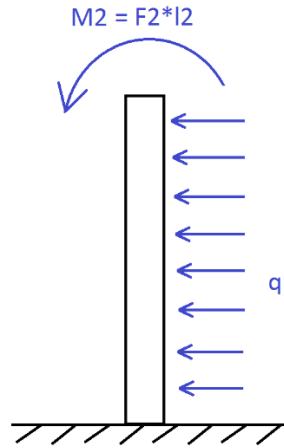
Figuur A1: Situatieschets balk

2. Formules opstellen

- Formule kostprijs

$$K = m * c = \rho * V * c = \rho * A * l_1 * c = \rho * 2D * (b + h) * l_1 * c \quad (A1)$$

- Formule doorbuiging



Figuur A2: Doorbuiging balk

$$\delta = \frac{F_1 * l_1^3}{C_1 * E * I_{koker}} + \frac{M2 * l_1^2}{C_2 * E * I_{koker}} \leq \delta_0$$

$$C_1 = 8 \text{ en } C_2 = 2$$

$$I_{koker} = \frac{1}{6} * h^3 * D1 * \left(1 + 3 * \frac{b}{h}\right)$$

$$\delta = \frac{F_1 * l_1^3}{8 * E * \frac{1}{6} * h^3 * D1 * \left(1 + 3 * \frac{b}{h}\right)} + \frac{M2 * l_1^2}{2 * E * \frac{1}{6} * h^3 * D1 * \left(1 + 3 * \frac{b}{h}\right)}$$

De dikte D1 er uit halen:

$$D1 = \frac{3 * l_1^2 * (F_1 * l_1 + 4 * M2)}{4 * (3 * b + h) * E * h^2 * \delta} \quad (A2)$$

Vervolgens D1 invullen in formule (A1):

$$K1 = \rho * c * 2 * \left(\frac{3 * l_1^2 * (F_1 * l_1 + 4 * M2)}{4 * (3 * b + h) * E * h^2 * \delta} \right) * (b + h) * l_1$$

$$K1 = \frac{\rho * c}{E} * \frac{6 * l_1^3 * (F_1 * l_1 + 4 * M2) * (b + h)}{4 * (3 * b + h) * h^2 * \delta}$$

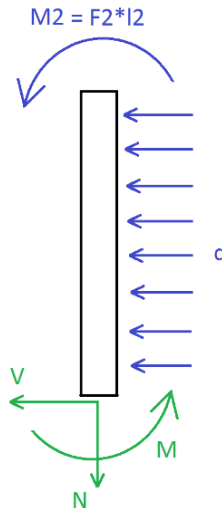
De eerste materiaalindex MI1 zijn de materiaal gebonden factoren van K1:

$$\text{Materiaal index} = \frac{1}{MI1} = \frac{\rho * c}{E}$$

We gaan maximaliseren dus MI1 omdraaien geeft:

$$MI1 = \frac{E}{\rho * c}$$

- Formule buigspanning:



Figuur A3: Buigspanning balk

$$\sum M = 0: \quad + M_2 + q * l_1 * \frac{l_1}{2} + M = 0$$

$$M = -M_2 - \frac{q * l_1^2}{2}$$

Vervolgens M invullen in de formule van buigspanning:

$$\sigma = \frac{-M * y}{I} = \frac{-\left(-M_2 - \frac{q * l_1^2}{2}\right) * y}{I}$$

$$I = \frac{1}{6} * h^3 * D * \left(1 + 3 * \frac{b}{h}\right)$$

$$\sigma = \frac{-M * y}{I} = \frac{-\left(-M_2 - \frac{q * l_1^2}{2}\right) * y}{\frac{1}{6} * h^3 * D * \left(1 + 3 * \frac{b}{h}\right)}$$

$$D2 = \frac{3 * (q * l_1^2 + 2 * M_2) * y}{(3 * b + h) * h^2 * \sigma} \tag{A3}$$

Vervolgens invullen in formule (A1):

$$K2 = \rho * c * 2 * \left(\frac{3 * (q * l_1^2 + 2 * M_2) * y}{(3 * b + h) * h^2 * \sigma} \right) * (b + h) * l_1$$

$$K2 = \frac{\rho * c}{\sigma} * \frac{6 * (q * l_1^2 + 2 * M_2) * y * (b + h) * l_1}{(3 * b + h) * h^2}$$

De tweede materiaalindex MI2 zijn de materiaal gebonden factoren van K2:

$$\text{Materiaal index} = \frac{1}{MI2} = \frac{\rho * c}{\sigma}$$

We gaan maximaliseren dus MI2 omdraaien geeft:

$$MI2 = \frac{\sigma}{\rho * c}$$

3. Limieten

- breukvastheid: 18MPa;
- temperatuur: -15°C, 40°C;
- water: Acceptabel;
- zout water: Acceptabel.

4. Parameters

- Hoogte van de balk: h = 120 mm
- Breedte van de balk: b = 80 mm
- Lengte van de balk: L₁ = 2850 mm
- Windbelasting Volgens de EN 1991-1-4 ‘Algemene belastingen – Windbelastingen’:

$$q_{wind} = 9770 * 10^{-7} \text{ N/mm}^2$$

$$F_{wind} = q_{wind} * A_{rug} = 9770 * 10^{-7} \text{ N/mm}^2 * 9840 * 10^3 \text{ mm}^2 = 9614 \text{ N}$$

$$F1 = \frac{F_{wind}}{2} = \frac{9614 \text{ N}}{2} = 4807 \text{ N}$$

- Verdeelde belasting over de balk door de wind:

$$q_{wind \text{ over balk}} = \frac{4807 \text{ N}}{2400 \text{ mm}} = 2,003 \text{ N/mm}$$

- Kracht tgv de zwaartekracht: dak + externe belasting:

$$F2 = \frac{5000 \text{ N} + 1500 \text{ N}}{2} = 3250 \text{ N}$$

- Moment t.g.v. kracht F2:

$$M2 = \frac{l_{dak}}{2} * F2 = \frac{1755}{2} \text{ mm} * 3250 \text{ N} = 2852 * 10^3 \text{ Nmm}$$

5. Kostprijs aan elkaar gelijkstellen

$$K1 = K2$$

$$\frac{1}{MI1} * \frac{6 * l_1^3 * (F_1 * l_1 + 4 * M_2) * (b + h)}{4 * (3 * b + h) * h^2 * \delta} = \frac{1}{MI2} * \frac{6 * (q * l_1^2 + 2 * M_2) * y * (b + h) * l_1}{(3 * b + h) * h^2}$$

$$\frac{6 * (2850\text{mm})^3 * (4807\text{N} * 2850\text{mm} + 4 * 2852 * 10^3 \text{Nmm}) * (80\text{mm} + 120\text{mm})}{MI1 * 4 * (3 * 80\text{mm} + 120\text{mm}) * (120\text{mm})^2 * 22,8\text{mm}}$$

=

$$\frac{6 * \left(2,003 \frac{\text{N}}{\text{mm}} * (2850\text{mm})^2 + 2 * 2852 * 10^3 \text{Nmm}\right) * 60\text{mm} * (80\text{mm} + 120\text{mm}) * 2850\text{mm}}{MI2 * (3 * 80\text{mm} + 120\text{mm}) * (120\text{mm})^2}$$

$$\frac{1}{MI1} * 1,5 * 10^{12} = \frac{1}{MI2} * 1,1 * 10^9$$

$$MI1 * 6,7 * 10^{-13} = MI2 * 9,1 * 10^{-10}$$

$$MI2 = MI1 * 0,000733$$

6. Huidig materiaal (S235)

Tabel A1: Gegevens S235

E	$210 * 10^3$	N/mm ²
σ	235	N/mm ²
ρ	$7,85 * 10^3$	kg/m ³
c	0,631	Euro/kg

- Dikte balk uitrekenen met formule A2 en A3:

$$D1 = \frac{3 * (2850\text{mm})^2 * (4807 \text{N} * 2850 \text{mm} + 4 * 2852 * 10^3 \text{Nmm})}{4 * (3 * 80\text{mm} + 120\text{mm}) * (120\text{mm})^2 * 22,8\text{mm} * 210 * 10^3 \text{N/mm}^2} = \mathbf{6,16 \text{ mm}}$$

$$D2 = \frac{3 * (2,003 \text{N/mm} * 2850^2 \text{N} + 2 * 2852 * 10^3 \text{Nmm}) * 60 \text{mm}}{(3 * 80 \text{mm} + 120 \text{mm}) * (120 \text{mm})^2 * 235 \text{N/mm}^2} = 3,25 \text{ mm}$$

- Massa en kostprijs van het product berekenen:

$$m = \rho * 2 * D * (b + h) * l_1$$

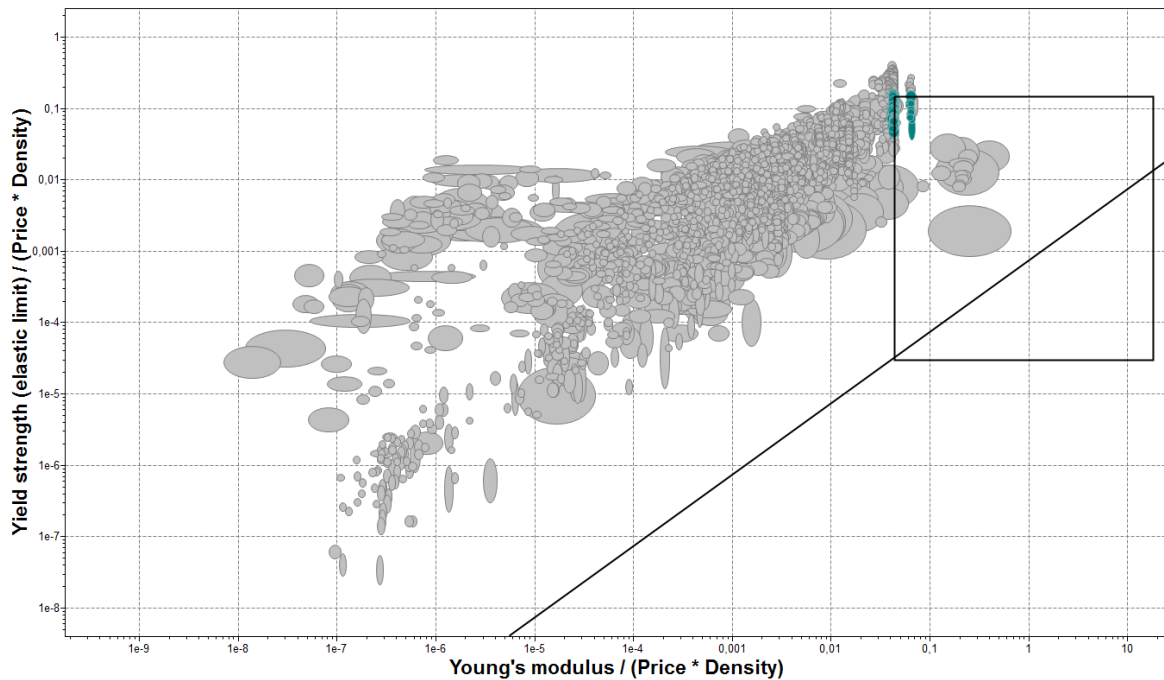
$$m = 7,85 * 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3} * 2 * 6,16 \text{ mm} * (80 \text{ mm} + 120 \text{ mm}) * 2850 \text{ mm}$$

$$m \text{ (oud)} = 55,1 \text{ kg}$$

$$KP = c * m = 0,631 * 55,1 = \mathbf{34,8 \text{ euro}}$$

7. Nieuw materiaal (Limiet water op acceptabel)

7.1. Ranking



Figuur A4: Grafiek materialen (limiet water op acceptabel)

De materialen zijn gerangschikt van klein naar groot volgens MI1 omdat de waarden van MI1 kleiner zijn dan die van MI2.

Tabel A2: Materialen (limiet water op acceptabel)

	Materiaal	MI1	MI2
1	Carbon steel, AISI 1040, normalized	0,0432	0,0763
2	Carbon steel, AISI 1060, normalized	0,0432	0,0855
3	Structural steel, S275N, normalized	0,0428	0,0489
4	Low alloy steel, AISI 5140, normalized	0,0428	0,0948

7.2. Kostprijs berekenen

Tabel A3: Gegevens AISI 1040

E	$210 \cdot 10^3$	N/mm ²
σ	375	N/mm ²
ρ	$7,85 \cdot 10^3$	kg/m ³
c	0,631	Euro/kg

- Dikte balk uitrekenen met formule A2 en A3:

$$D1 = \frac{3 \cdot (2850\text{mm})^2 \cdot (4807\text{ N} \cdot 2850\text{ mm} + 4 \cdot 2852 \cdot 10^3\text{ Nmm})}{4 \cdot (3 \cdot 80\text{mm} + 120\text{mm}) \cdot (120\text{mm})^2 \cdot 22,8\text{mm} \cdot 210 \cdot 10^3\text{ N/mm}^2} = 6,16\text{ mm}$$

$$D2 = \frac{3 * (2,003 \text{ N/mm} * (2850 \text{ N})^2 + 2 * 2852 * 10^3 \text{ Nmm}) * 60 \text{ mm}}{(3 * 80 \text{ mm} + 120 \text{ mm}) * (120 \text{ mm})^2 * 375 \text{ N/mm}^2} = 2,03 \text{ mm}$$

- Massa en kostprijs van het product berekenen:

$$m = \rho * 2 * D * (b + h) * l_1$$

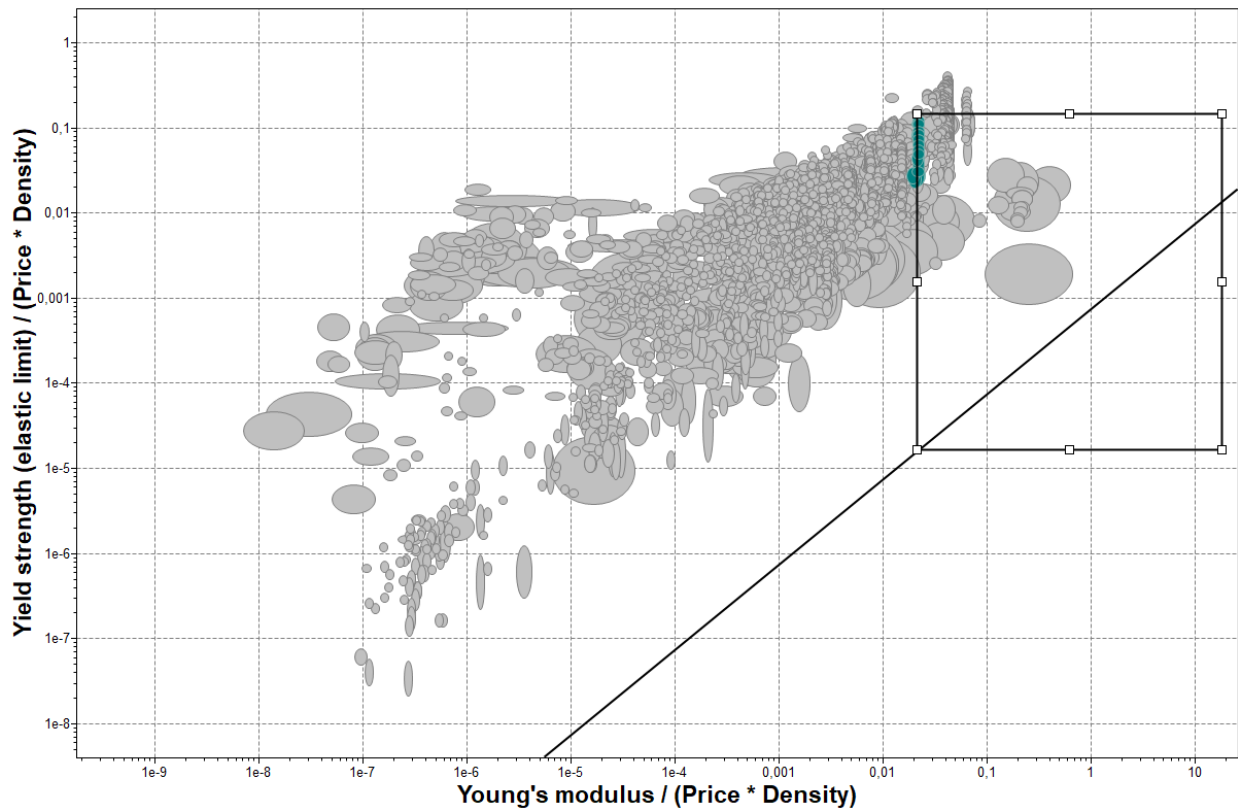
$$m = 7,85 * 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3} * 2 * 6,16 \text{ mm} * (80 \text{ mm} + 120 \text{ mm}) * 2850 \text{ mm}$$

$$m (\text{oud}) = 55,1 \text{ kg}$$

$$KP = c * m = 0,631 * 55,1 = \mathbf{34,8 \text{ euro}}$$

8. Nieuw materiaal (Limiet water op uitstekend)

8.1. Ranking



Figuur A5: Grafiek materialen (limiet water op uitstekend)

Tabel A4: Materialen (limiet water op uitstekend)

1	Stainless steel, ferritic, AISI 409, annealed	0,0227	0,0283
2	Stainless steel, martensitic, AISI 403, hard temper	0,0219	0,0722
3	Stainless steel, martensitic, ASTM CA-15, cast, tempered at 315°C	0,0219	0,113
4	Stainless steel, martensitic, ASTM CA-40, cast, tempered at 315°C	0,0219	0,125

8.2. Kostprijs berekenen

Tabel A5: Gegevens AISI 409

E	$200 * 10^3$	N/mm ²
σ	250	N/mm ²
ρ	$7,70 * 10^3$	kg/m ³
c	1,16	Euro/kg

- Dikte balk uitrekenen met formule A2 en A3:

$$D1 = \frac{3 * (2850\text{mm})^2 * (4807\text{ N} * 2850\text{ mm} + 4 * 2852 * 10^3\text{ Nmm})}{4 * (3 * 80\text{mm} + 120\text{mm}) * (120\text{mm})^2 * 22,8\text{mm} * 200 * 10^3\text{N/mm}^2} = \mathbf{6,47\text{ mm}}$$

$$D2 = \frac{3 * (2,003\text{ N/mm} * (2850\text{N})^2 + 2 * 2852 * 10^3\text{Nmm}) * 60\text{ mm}}{(3 * 80\text{ mm} + 120\text{ mm}) * (120\text{ mm})^2 * 250\text{ N/mm}^2} = 3,05\text{ mm}$$

- Massa en kostprijs van het product berekenen:

$$m = \rho * 2 * D * (b + h) * l_1$$

$$m = 7,70 * 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3} * 2 * 6,47\text{ mm} * (80\text{ mm} + 120\text{ mm}) * 2850\text{ mm}$$

$$m\text{ (oud)} = 56,8\text{ kg}$$

$$KP = c * m = 1,16 * 56,8 = \mathbf{65,9\text{ euro}}$$

Bijlage B: Traagheidsmoment T-profielen

In de rekenbladen kan de configuratie van de T-profielen worden aangepast. Hierbij wordt automatisch het traagheidsmoment uitgerekend.

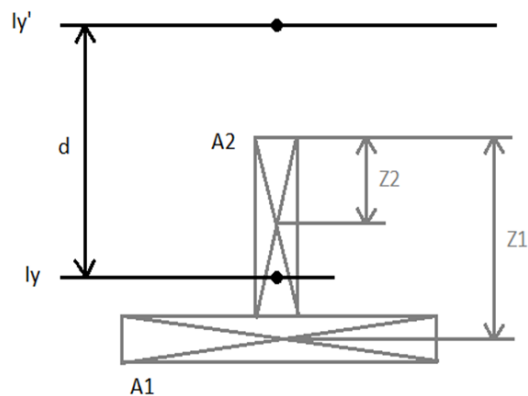
Tabel B1: Gegevens T-profiel

	I_y [mm ⁴]	Lengte [mm]	Breedte [mm]	Hoogte [mm]	Dikte [mm]	Afstand rug R [mm]
T-profiel	$737 \cdot 10^2$	2770	80	80	9	502

Afstand bepalen tussen het zwaartepunt van één T-profiel en van de totale totem. (Zie Figuur B2)

$$d = \frac{Q}{2} + \frac{(A1 * Z1) + (A2 * Z2)}{A_{tot}}$$

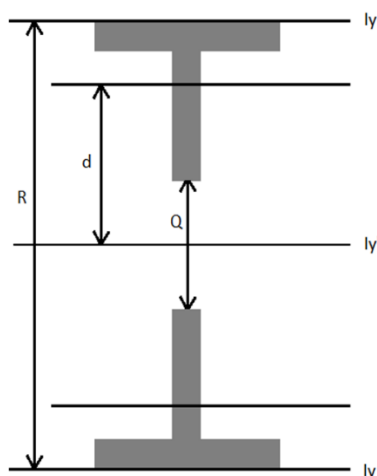
$$d = \frac{342mm}{2} + \frac{(720mm^2 * 75,5mm) + (639mm * 35,5mm^2)}{1360mm^2} = 228mm$$



Figuur B1: Verplaatsing zwaartepunt T-profiel

Formule van Steiner:

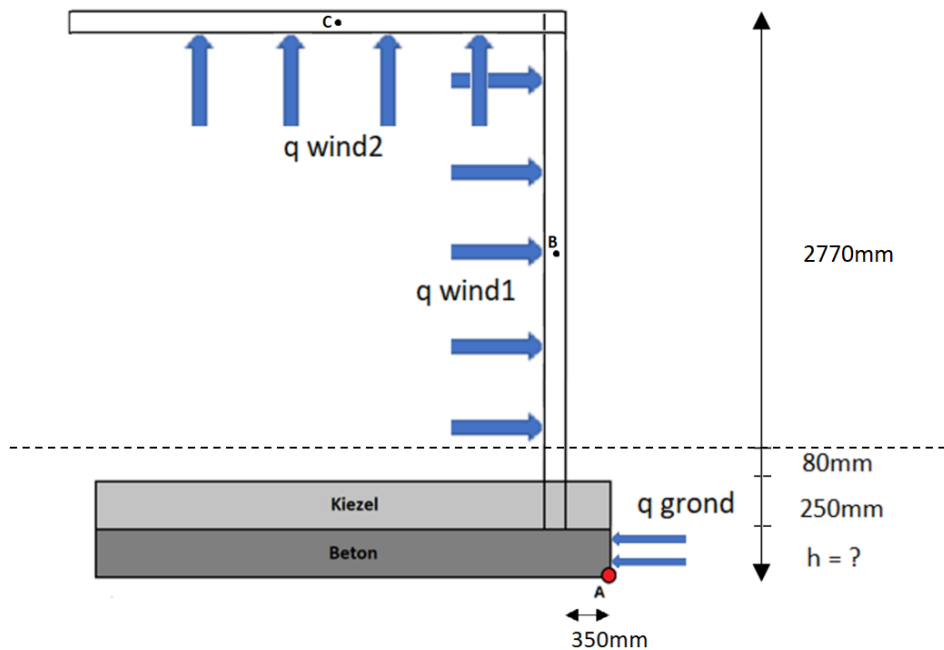
$$I'_y = I_y + d^2 * A = 7370 * 10^2 \text{ mm}^4 + 228^2 \text{ mm} * 1360 \text{ mm}^2 = 142 * 10^5 \text{ mm}^4$$



Figuur B2: Bemating totem

Bijlage C: Stabiliteit

De fundering heeft een oppervlakte van 4600*1750mm.



Figuur C1: Situatieschets stabiliteit

Tabel C1: Belasting stabiliteit

q wind	708	[N/m ²]
q grond	50000	[N/m ²]

Tabel C2: Gegevens rug

lengte	4300	[mm]
breedte	2768	[mm]
Oppervlakte	1190*10 ⁴	[mm ²]
Gewicht	790	[kg]

Tabel C3: Gegevens dak

lengte	4300	[mm]
breedte	1800	[mm]
Oppervlakte	774*10 ⁴	[mm ²]
Gewicht	300	[kg]

Tabel C4: Dichtheid materiaal

Kiezel	1700	[kg/m ³]
Beton	2500	[kg/m ³]

De som van de momenten is gelijk aan nul. Uit de tweedegraadsvergelijking die we uitkomen halen we de hoogte van de fundering.

$$\sum M_A = 0$$

$$M_{wind1} + M_{wind2} + M_{grond} + M_{dak} + M_{rug} + M_{kiesel} + M_{beton} = 0$$

$$M_{wind1} = Q_{wind} * A_{rug} * l_{AB}$$

$$M_{wind1} = -708 * 10^{-6} \frac{N}{mm^2} * 1190 * 10^4 mm^2 * (h + 1714) mm$$

$$M_{wind1} = -8427 * h - 1444 * 10^4 Nmm$$

$$M_{wind2} = Q_{wind} * A_{rug} * l_{AC}$$

$$M_{wind2} = -708 * 10^{-6} \frac{N}{mm^2} * 774 * 10^4 mm^2 * 1150 mm$$

$$M_{wind2} = -6302 * 10^3 Nmm$$

$$M_{grond} = Q_{grond} * A_{grond} * \frac{h}{2}$$

$$M_{grond} = 50 * 10^{-3} \frac{N}{mm^2} * (5000 * h) mm^2 * \frac{h}{2} mm$$

$$M_{grond} = 125 * h^2 Nmm$$

$$M_{dak} = m_{dak} * g * l_{AC}$$

$$M_{dak} = 300 kg * 9,81 m/s^2 * 1150 mm$$

$$M_{dak} = +3384 * 10^3 Nmm$$

$$M_{rug} = m_{rug} * g * l_{AC}$$

$$M_{rug} = 790 kg * 9,81 m/s^2 * 350 mm$$

$$M_{rug} = 2712 * 10^3 Nmm$$

$$M_{kiesel} = \rho_{kiesel} * V_{kiesel} * g * \frac{b_{kiesel}}{2}$$

$$M_{kiesel} = 1700 * 10^{-9} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3} * (250 * 8050 * 10^3) \text{ mm}^3 * 9,81 \text{ m/s}^2 * \frac{1800}{2} \text{ mm}$$

$$M_{kiesel} = 3021 * 10^4 \text{ Nmm}$$

$$M_{beton} = \rho_{beton} * V_{beton} * g * \frac{b_{beton}}{2}$$

$$M_{beton} = 2500 * 10^{-9} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3} * (h * 8050 * 10^3) \text{ mm}^3 * 9,81 \text{ m/s}^2 * \frac{1800}{2} \text{ mm}$$

$$M_{beton} = 1777 * 10^2 * h \text{ Nmm}$$

Uit de tweedegraadsvergelijking halen we h:

- Hoogte fundering bij een kieselhoogte van 250 mm:

$$0 = 125 * h^2 + 1693 * 10^2 * h + 1556 * 10^4$$

$$h = -99 \text{ mm}$$

- Hoogte fundering bij een kieselhoogte van 100 mm:

$$0 = 125 * h^2 + 1693 * 10^2 * h - 2564 * 10^3$$

$$h = 15 \text{ mm}$$

- Hoogte fundering bij een kieselhoogte van 0 mm:

$$0 = 125 * h^2 + 1693 * 10^2 * h - 1465 * 10^3$$

$$h = 82 \text{ mm}$$

Bijlage D: Lux metingen passagiersinformatie

1. GE PowerMax

Gegevens:

- opaalplaat: PMMA XT 33% diffusor seynhaeve;
- DC voeding: 12V; 0,41A;
- transfo: Class 2 power Supply MW LPV-60-24V.

Resultaat:

- gemiddelde lichtsterkte = 981 lux
- gelijkmatigheid = 0,39

Tabel D1: Resultaten meting lichtsterkte GE PowerMax

1935	1479	1646	1285
627	613	549	494
468	409	409	380
671	593	591	519
2068	1355	1879	1650

2. GE Tetra LED tape VE+BO

Gegevens:

- opaalplaat: PMMA XT 33% diffusor seynhaeve;
- DC voeding: 12V; 2,53A;
- transfo: Adapter tech, STD-1250P.

Resultaat:

- gemiddelde lichtsterkte = 2088 lux
- gelijkmatigheid = 0,40

Tabel D2: Resultaten meting lichtsterkte GE Tetra LED tape VE+BO

4350	2920	2508	2291
2525	1350	1117	1044
2325	1023	887	829
2520	1309	1187	1027
4230	2563	2925	2830

3. HLS-PCB-10-24V-6750-1102-120-12V-02

Gegevens:

- 70 leds op 2 ledstrips;
- lichtgeleidingsplaat;
- transfo: GE Power supply 12V 60W.

Resultaat:

- Gemiddelde lichtsterkte = 1513 lux
- Gelijkmatigheid = 0,73

Tabel D3: Resultaten meting lichtsterkte uurroosterkader HLS-PCB-10

1632	1823	1741
1313	1487	1338
1111	1306	1152
1426	1512	1321
1830	1928	1773

4. HLS-PCB-11-12V-6750-900-120-6,3W-01

Gegevens:

- 40 leds op 2 ledstrips;
- lichtgeleidingsplaat;
- transfo: GE Power supply 12V 60W.

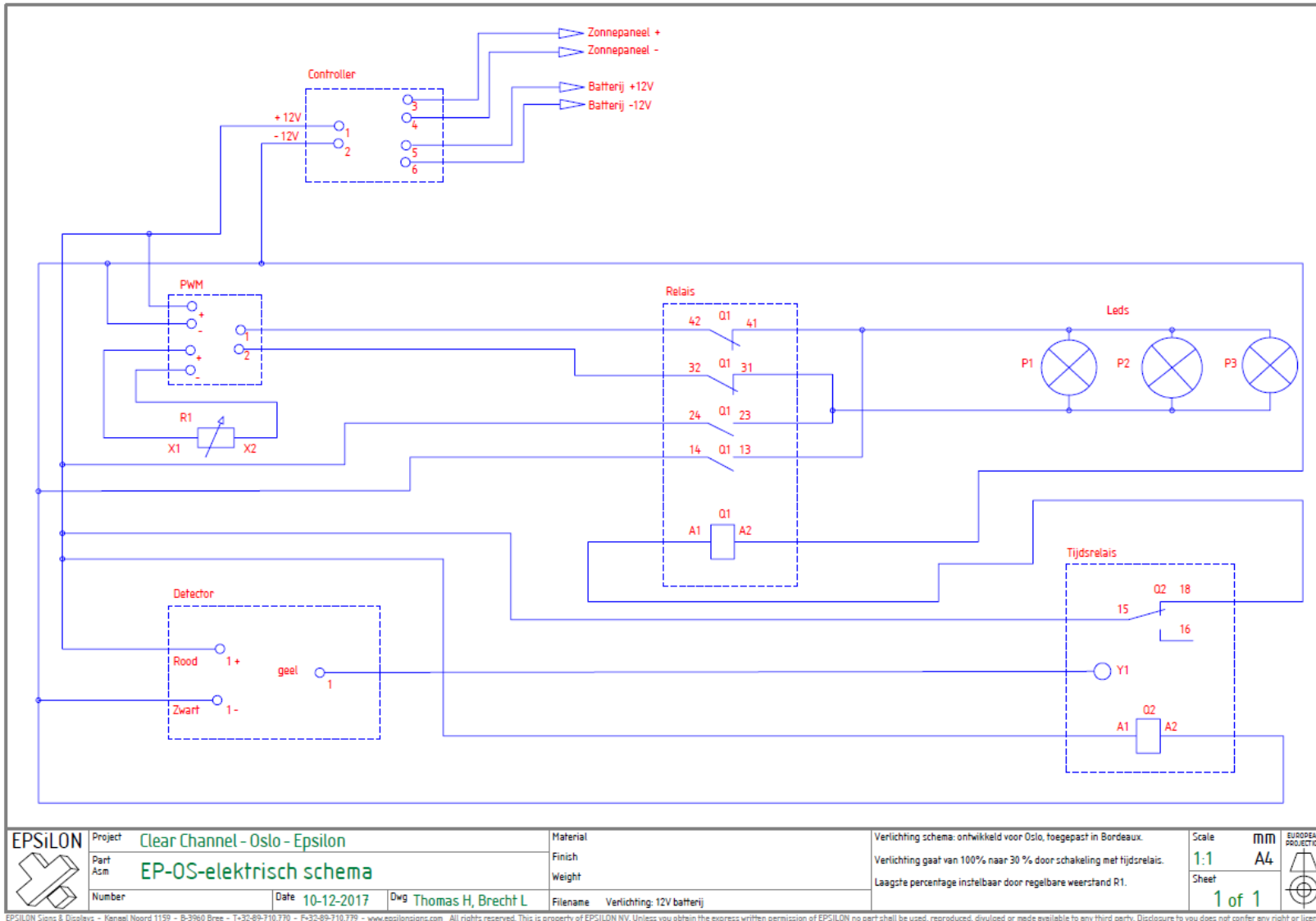
Resultaat:

- Gemiddelde lichtsterkte = 1277 lux
- Gelijkmatigheid = 0,75

Tabel D4: Resultaten meting lichtsterkte uurroosterkader HLS-PCB-11

1448	1641	1539
1145	1227	1092
964	1071	953
1130	1255	1166
1445	1604	1473

Bijlage E: Schakeling bewegingsdetectie

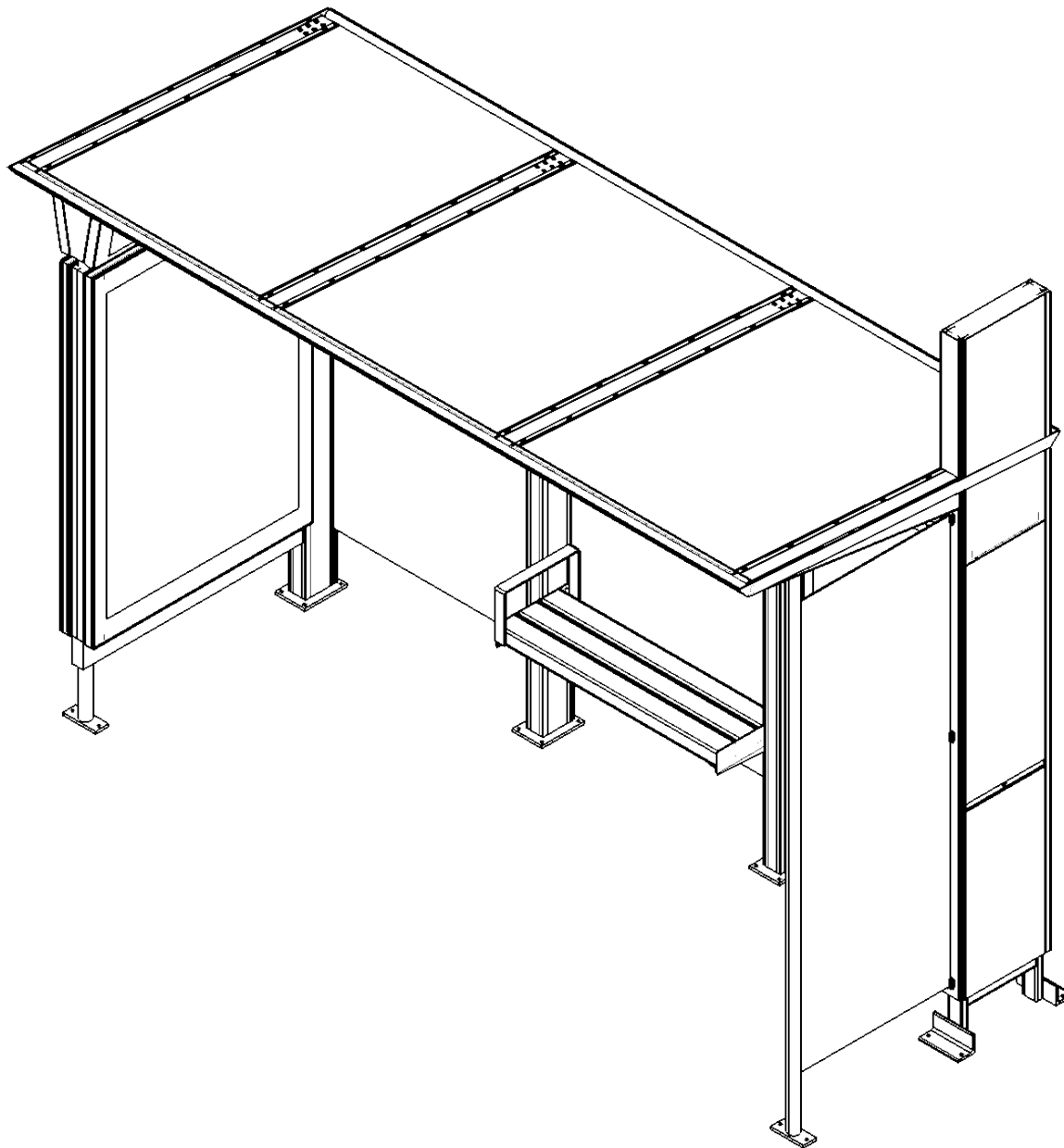


Bijlage F: Stuklijst

										Project:	Clear channel Oslo											
										Reeks:	1730-000-# tem 1730-999-#											
std	koop	subcontr	zaag	frees	plaat	lassen	galva	lakken	Samenstelling	Nummer	Omschrijving	Afmetingen / Info	Materiaal	Certificaat	.SLDDRW file	Aantal						
Dak																						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-001-0	Bovenste deel dakspant (links)	L=1953; 7,4 kg/m	Aluminium EN AW-6061 T6		EP-OS-Roofbeam left	1						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-002-0	Schuin deel dakspant (links)	L=1780; 10,2 kg/m	Aluminium EN AW-6061 T6		EP-OS-Roofbeam2 left	1						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-003-0	Bovenste deel dakspant (midden)	L=1830; 8,5 kg/m	Aluminium EN AW-6061 T6		EP-OS-Roofbeam Middle	2						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-004-0	Schuin deel dakspant (midden)	L=1780; 10,2 kg/m	Aluminium EN AW-6061 T6		EP-OS-Roofbeam2 Middle	2						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-005-0	Bovenste deel dakspant (rechts)	L=1953; 7,4 kg/m	Aluminium EN AW-6061 T6		EP-OS-Roofbeam Right	1						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-006-0	Schuin deel dakspant (rechts)	L=1293; 10,2 kg/m	Aluminium EN AW-6061 T6		EP-OS-Roofbeam2 Right	1						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-007-0	Klikprofiel	L=1638; 0,3 kg/m	Aluminium EN AW-6061 T6		EP-OS-support click profile	3						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-008-0	Klikprofiel rechts	L=1270; 0,3 kg/m	Aluminium EN AW-6061 T6		EP-OS-support click profile Right	1						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-009-0	Voorste dakspant met ruimte voor verlichting	L=4420; 3,1 kg/m	Aluminium EN AW-6061 T6		EP-OS-Roof front profile	1						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-010-0	Dakgoot voor de afwatering	L=4420; 2 kg/m	Aluminium EN AW-6061 T6		EPS-OS-Gutter profile	1						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-011-0	Licht verdeelplaatje	18x3x4295	PC Hight Viscosity		EPS-OS-Light diffuser strip	1						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-012-0	Glas dak	1300x1820x10	Glas		EPS-OS-Roof Glass	3						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-013-0	Strip voor de glasbevestiging dak	20x10x1775	Aluminium EN AW-6061 T6		EPS-OS-Roof Glass strip	6						
Totem																						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-100-0	Steunbalk totem	80x40x6, L=2943mm; 10,17kg/m	Staal S235		EP-OS-Beam totem	2						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-101-0	Bevestiging dakspant	80x100x186	Staal S235		EP-OS-Roofbeam bracket	1						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-102-0	Bevestiging dakspant op balk	64x92x8	Staal S235		EP-OS-Roofbeam support gusset	1						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-103-0	Verstevinging totem	80x80x3, L=415mm; 7,07kg/m	Staal S235		EP-OS-Stiffener column	3						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-105-0	L-profiel grond bevestiging	100x100x12, L=240mm	Staal S235		EP-OS-L profile fixture	2						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-106-0	Alu bekleding totem	L= 2640; 2,9 kg/m	Aluminium EN AW-6061 T6		EP-OS-Column profile	2						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-107-0	Alu bekledingsplaat totem onder	490x983x2	Aluminium EN AW-6061 T6		EP-OS-Cladding Column1	1						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-108-0	Alu bekledingsplaat totem onder	490x983x2	Aluminium EN AW-6061 T6		EP-OS-Cladding Column2	1						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-109-0	Alu bekledingsplaat totem boven	490x398x2	Aluminium EN AW-6061 T6		EP-OS-Cladding Column3	1						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-110-0	Alu bekledingsplaat totem boven	490x398x2	Aluminium EN AW-6061 T6		EP-OS-Cladding Column4	1						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-111-0	Steunpaal voor het glas aan de zijkant	Ø60, L=2950; 1,7 kg/m	Aluminium EN AW-6061 T6		EP-OS-Side glass pole	1						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-112-0	Glas passagiersinformatie totem	485x1250x8	Glas		EP-OS-Display glass column	2						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-113-0	Glas zijkant totem	930x2470x8	Glas		EP-OS-Glass	1						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-114-0	Blokje bevestiging paal rechts	200x80x15	Staal S235		EP-OS-Side glass pole footplate	1						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-115-0	Extra stuk totem: alu bekleding	L= 752mm; 2,9kg/m	Aluminium EN AW-6061 T6		EP-OS-Column profile	2						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-116-0	Extra stuk totem: alu bekledingsplaat	752x490x2	Aluminium EN AW-6061 T6		EP-OS-Cladding Column5	2						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-117-0	Extra stuk totem: bevestigings U-profiel	40x80x3, L=496mm; 3,36kg/m	Staal S235		EP-OS-Column U-profile	1						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-118-0	Extra stuk totem: Afdekplaat	120x540x3	Aluminium EN AW-6061 T6		EP-OS-Column plate	1						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-119-0	Kader passagiersinformatie totem					1						
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		1730-120-0	Blokje glas bevestiging					3						

std koop	subcontr	zaag	frees	plaat	lassen	galva	lakken	Samenstelling	Nummer	Omschrijving	Afmetingen / Info	Materiaal	Certificaat	.SLDRW file	Aantal
										Rug					
✓	✓	✓	✓	✓	✓				1730-200-0	Bevestiging dakspant	80x100x186	Staal S235		EP-OS-Roofbeam bracket	3
✓	✓	✓	✓	✓	✓				1730-201-0	Bevestiging dakspant op balk	64x92x8	Staal S235		EP-OS-Roofbeam support gusset	3
✓	✓	✓	✓	✓	✓				1730-202-0	Balk staander	160x80x10 L=2124mm; 34,32kg/m	Staal S235		EP-OS-Back support pivot	3
✓	✓	✓	✓	✓	✓				1730-203-0	Deksel staander	80x140x20,5	Staal S235		EP-OS-Back support gusset	3
✓	✓	✓	✓	✓	✓				1730-204-0	Voetplaat staander	180x260x15	Staal S235		EP-OS-Back Footplate	3
✓	✓	✓	✓	✓	✓				1730-205-0	Omkastig staander	L=2875; 4,2 kg/m	Aluminium EN AW-6061 T6		EP-OS-Back support	3
✓	✓	✓	✓	✓	✓				1730-206-0	Glasbevestiging staander	L=2875; 0,8 kg/m	Aluminium EN AW-6061 T6		EP-OS-Back clickrail	3
✓	✓	✓	✓	✓	✓				1730-207-0	Klikprofiel	L=2875; 0,3 kg/m	Aluminium EN AW-6063 T6		EP-OS-support click profile	3
✓	✓	✓	✓	✓	✓				1730-208-0	Glas in de rug	1380x2470x10	Glas		EP-OS-Glas	3
										Bank					
✓	✓	✓	✓	✓	✓				1730-300-0	Plaat bevestiging bank	150x442x5	S235		EP-OS-Side bench	2
✓	✓	✓	✓	✓	✓				1730-301-0	Hoek bevestiging bank	30x30x5, l=385mm	S235		EP-OS-Corner profile bench	2
✓	✓	✓	✓	✓	✓				1730-302-0	Handvat bank	60x8x1088	S235		EP-OS-Handrail	1
✓	✓	✓	✓	✓	✓				1730-303-0	Houten balk	1332x115x80	Hout		EP-OS-Bench wood beam	3

Bijlage G: Technische tekeningen

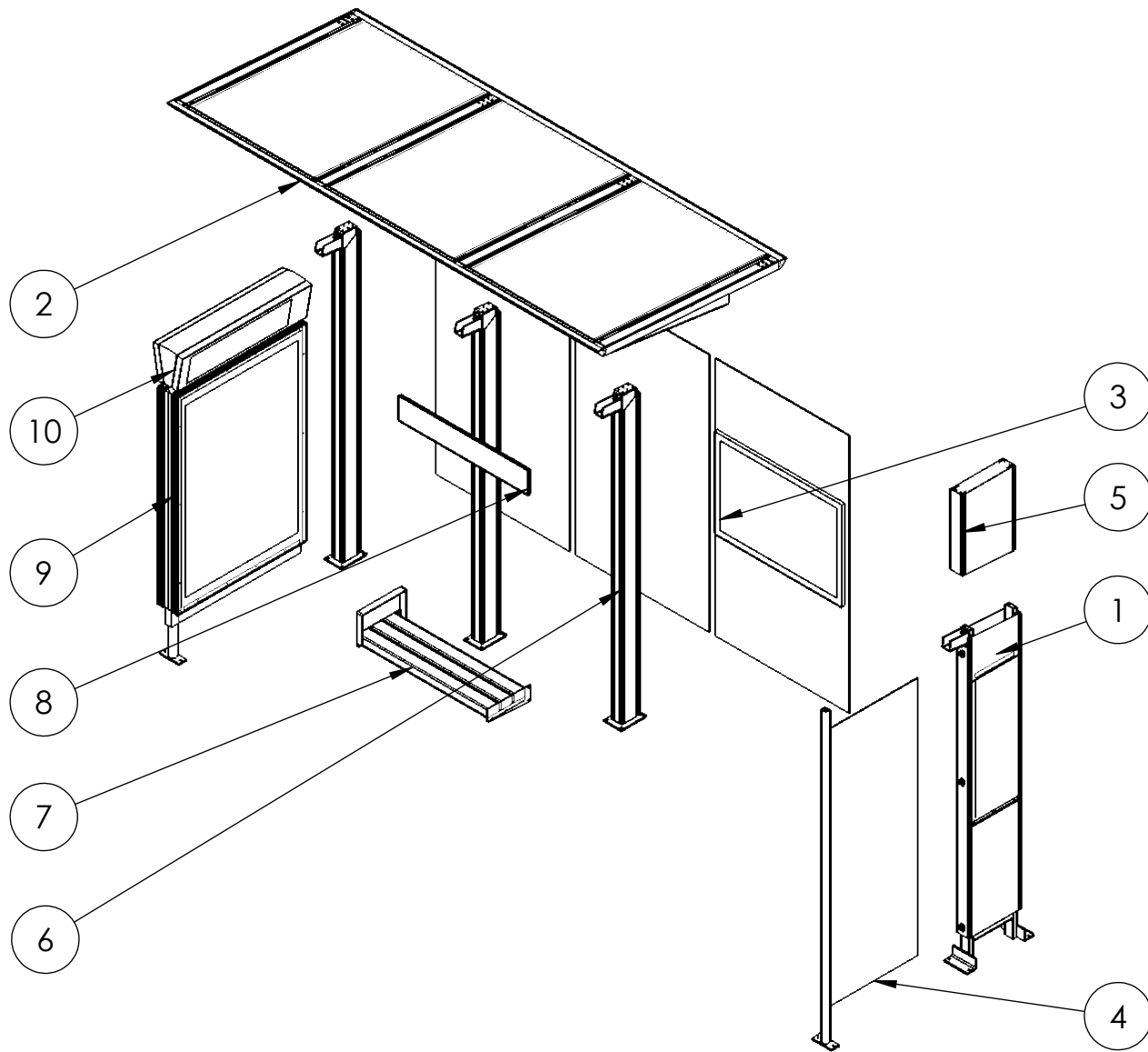


Project	Clear Channel - Oslo - Epsilon		
Part Asm	EP-OS-Shelter		
Number	Date	Dwg	Thomas H, Brecht L
	10/12/2017		

Material	
Finish	
Weight	1240959.33 [g]
Filename	finale tekeningen scriptie

Notes	
-------	--

Scale	mm	EUROPEAN PROJECTION
1:30	A4	
Sheet	1 of 29	



ITEM NO.	DESCRIPTION	3str FEP/QTY.
1	EP-OS-Column illuminated	1
2	EP-OS-Roof	1
3	EP-OS-Rear wall	1
4	EP-OS-Side assembly glass	1
5	EP-OS-Column illuminated top	1
6	EP-OS-Back Support Assem	3
7	EP-OS-Bench	1
8	EP-OS-Name sign	1
9	EP-OS-Luxor DS	1
10	EP-OS-RTI	1



Project **Clear Channel - Oslo - Epsilon**

Part
Asm **EP-OS-Shelter**

Number

Date **10/12/2017**

Dwg **Thomas H, Brecht L**

Material

Finish

Weight **1240959.33 [g]**

Filename **finale tekeningen scriptie**

Notes

Scale

1:50

Sheet

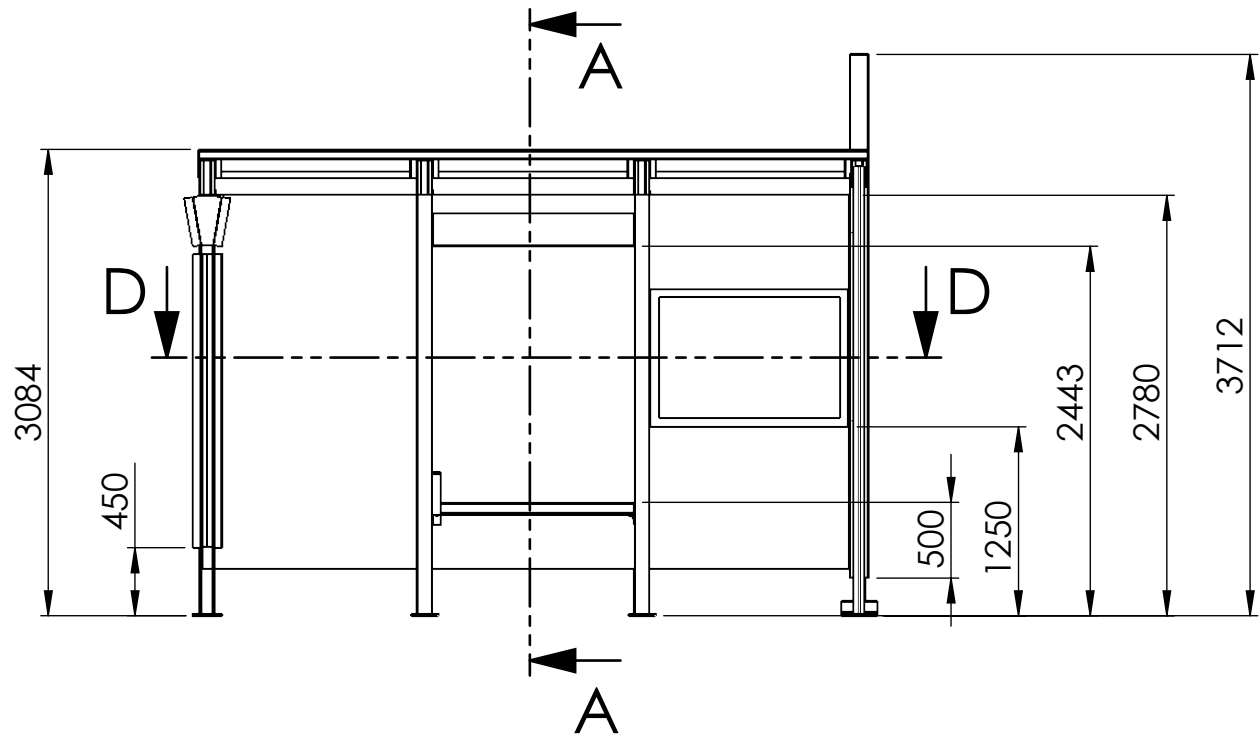
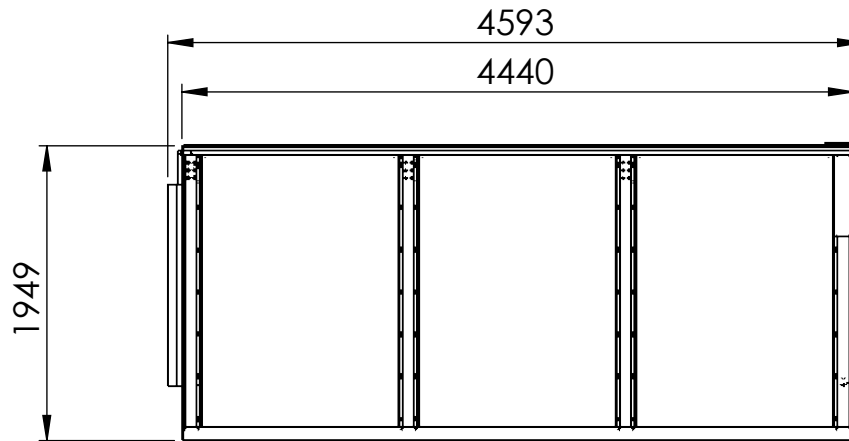
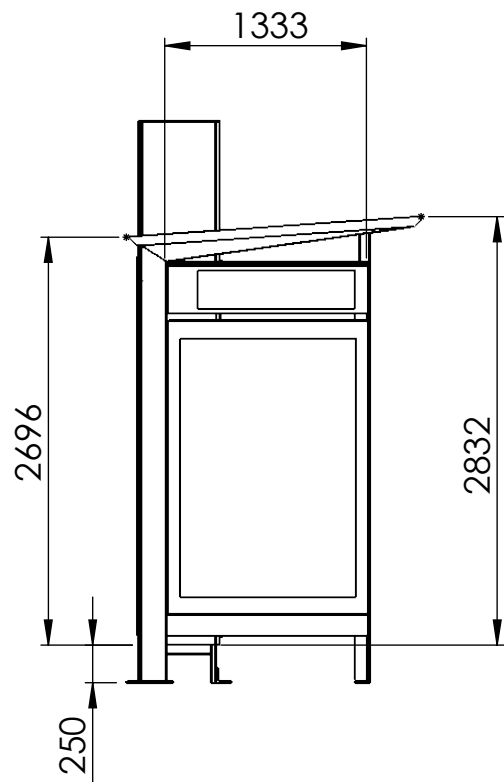
2 of 29

mm

A4

EUROPEAN
PROJECTION



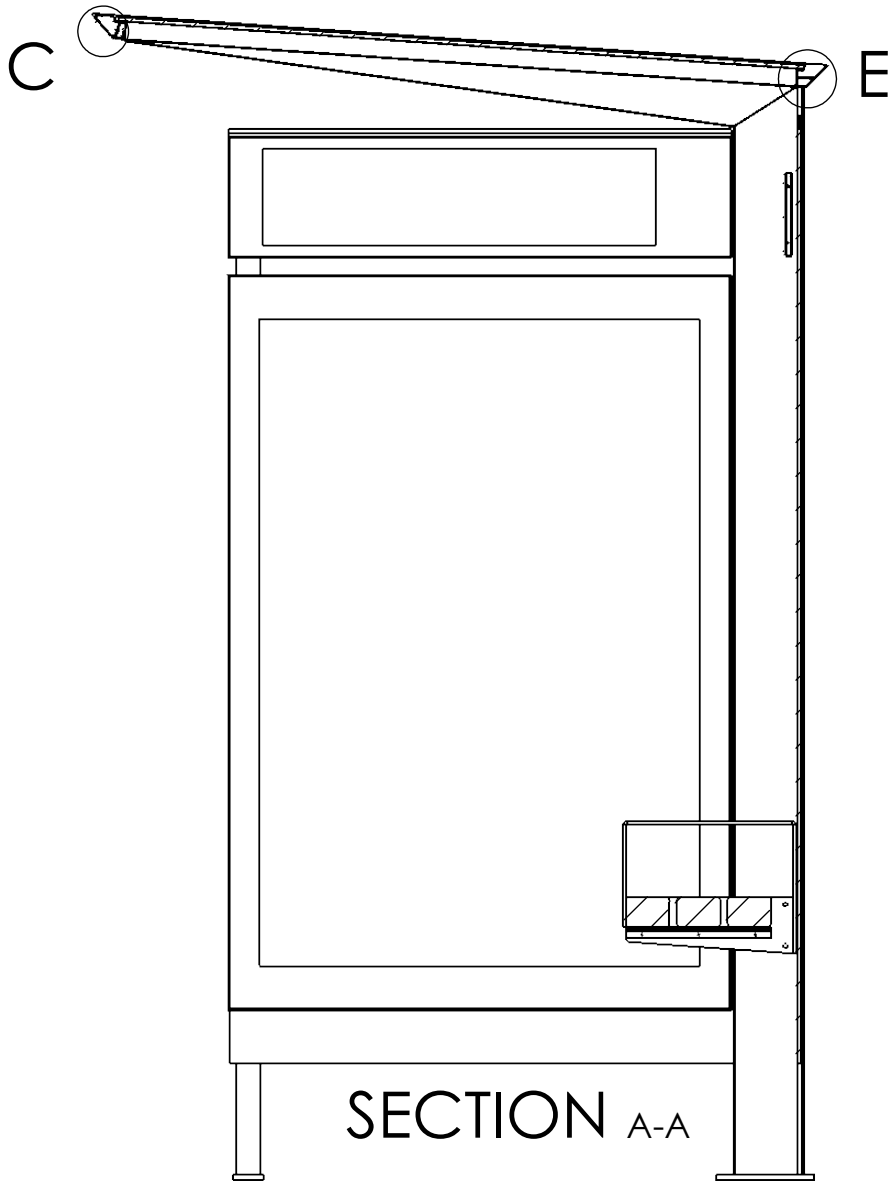


Project	Clear Channel - Oslo - Epsilon		
Part Asm	EP-OS-Shelter		
Number	Date	Dwg	Thomas H, Brecht L
	10/12/2017		

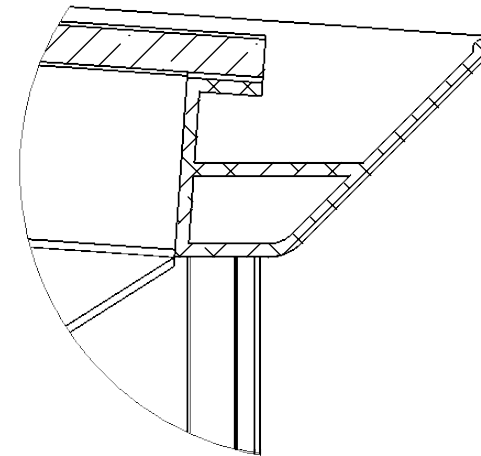
Material	
Finish	
Weight	1240959.33 [g]
Filename	finale tekeningen scriptie

Notes	
-------	--

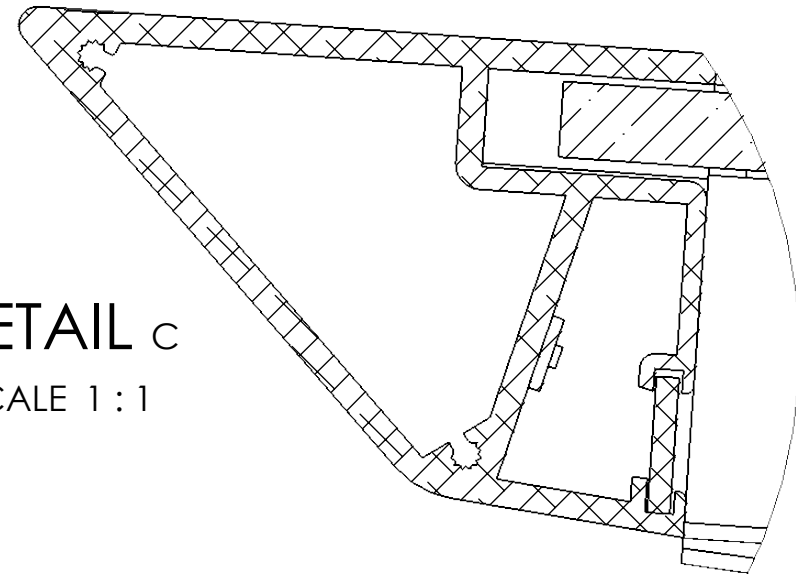
Scale	1:50	mm	A4	EUROPEAN PROJECTION
Sheet	3 of 29			



DETAIL E
SCALE 1 : 2



DETAIL C
SCALE 1 : 1

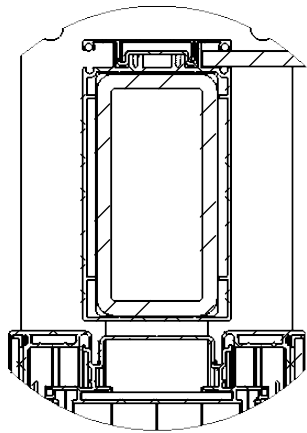


Project	Clear Channel - Oslo - Epsilon		
Part Asm	EP-OS-Shelter		
Number	Date	Dwg	Thomas H, Brecht L
	10/12/2017		

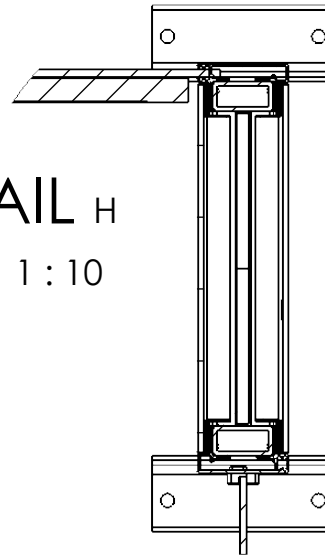
Material	
Finish	
Weight	1240959.33 [g]
Filename	finale tekeningen scriptie

Notes	
-------	--

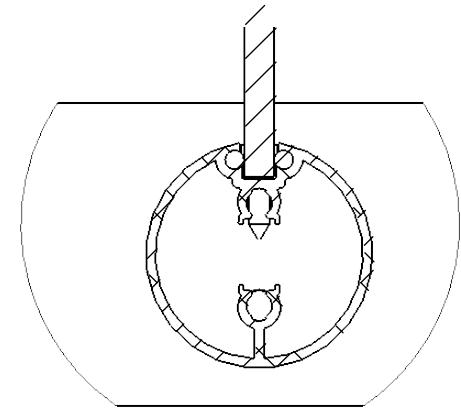
Scale	1:20	mm	A4	EUROPEAN PROJECTION
Sheet	4 of 29			



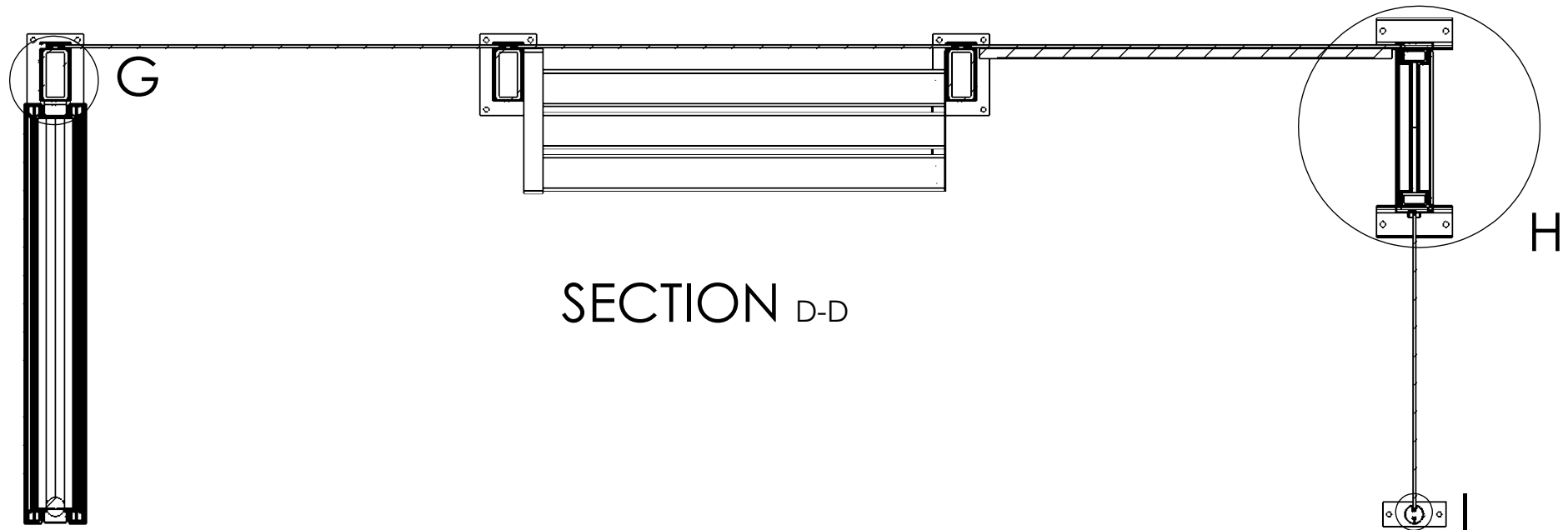
DETAIL G
SCALE 1 : 5



DETAIL H
SCALE 1 : 10



DETAIL I
SCALE 1 : 2



SECTION D-D

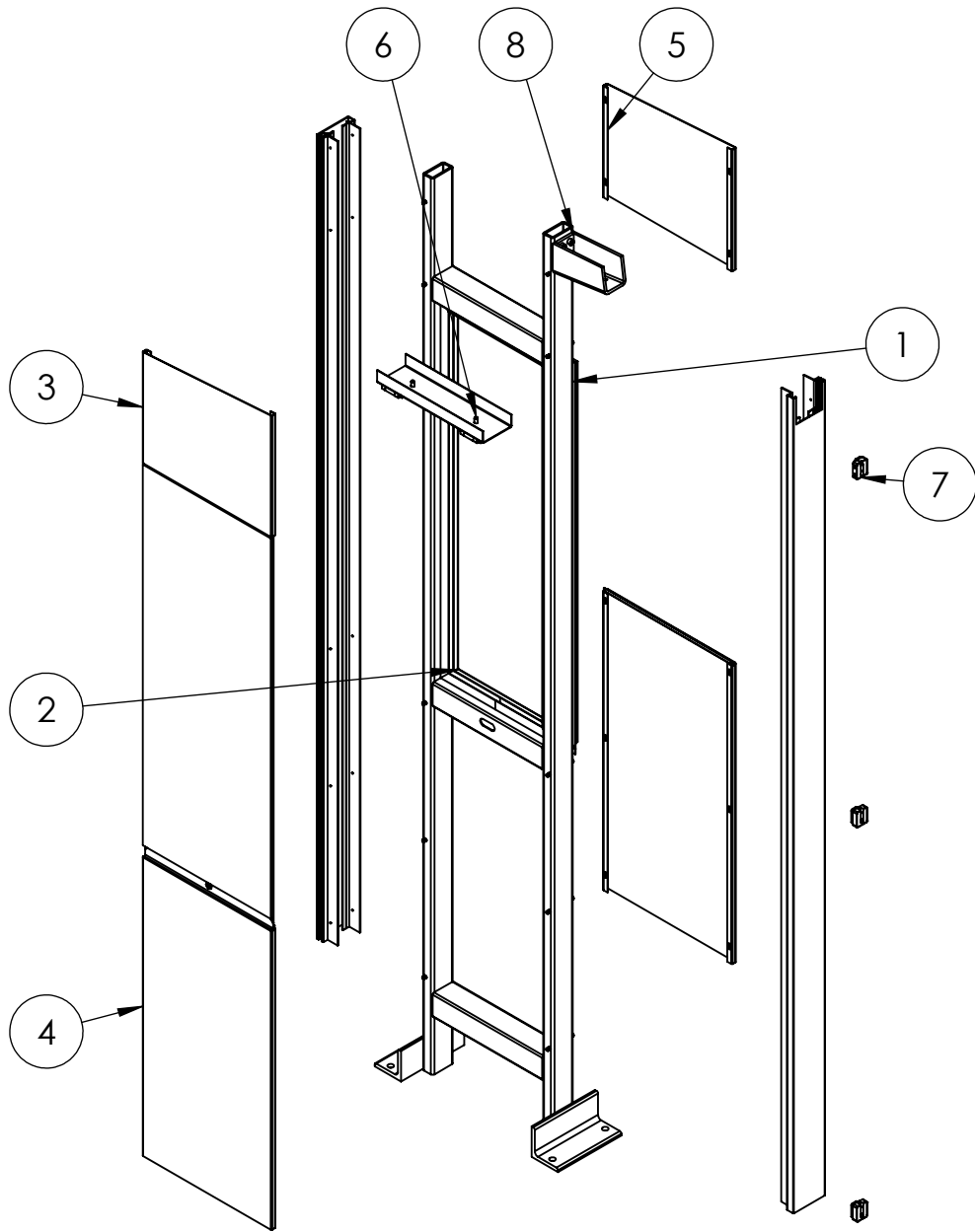


Project	Clear Channel - Oslo - Epsilon		
Part Asm	EP-OS-Shelter		
Number	Date	Dwg	Thomas H, Brecht L
	10/12/2017		

Material	
Finish	
Weight	1240959.33 [g]
Filename	finale tekeningen scriptie

Notes	
-------	--

Scale	1:20	mm	A4	EUROPEAN PROJECTION
Sheet	5 of 29			



ITEM NO.	DESCRIPTION	Illuminate d/QTY.
1	EP-OS-Column structure illuminated	1
2	EP-OS-Display Column assembly	2
3	EP-OS-Column Cladding Illuminated right	1
4	EP-OS-Column Cladding Illuminated bottom	2
5	EP-OS-Column Cladding Illuminated Left	1
6	EP-OS-Display Hinge assembly	1
7	O-HA-Glass block	3
8	EP-OS-Roofbeam bracket	1

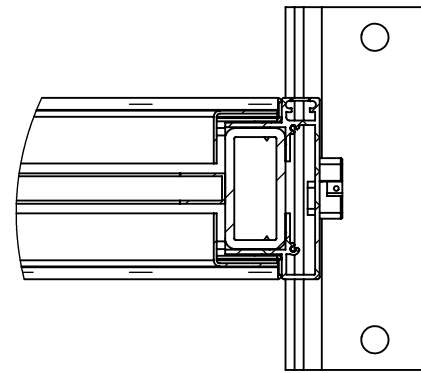
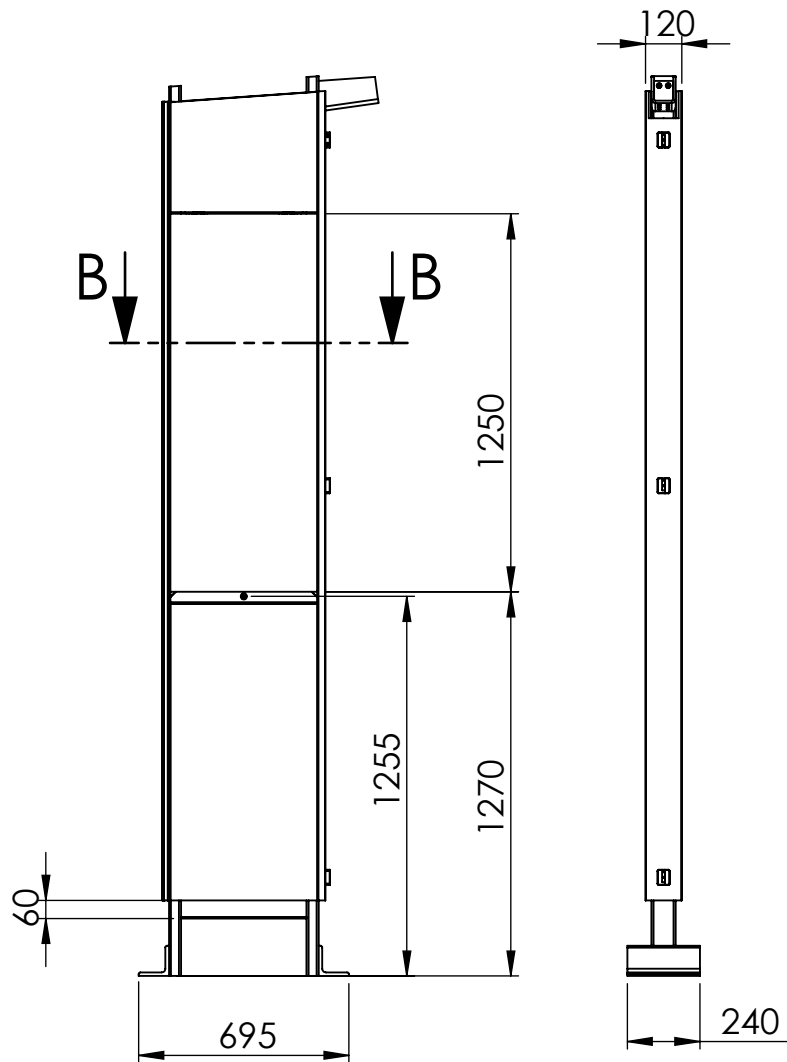


Project	Clear Channel - Oslo - Epsilon		
Part Asm	EP-OS-Column		
Number	-	Date	20/12/2017
Dwg	Thomas H, Brecht L		

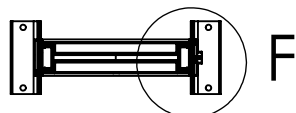
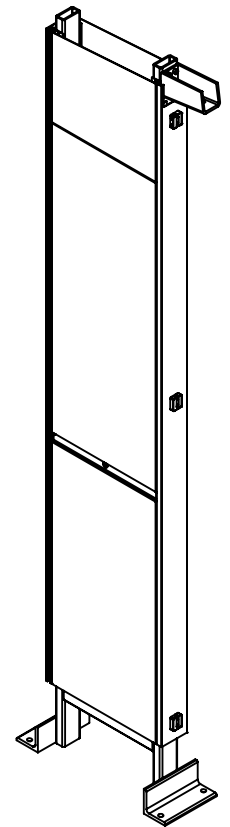
Material	
Finish	
Weight	122091.26 [g]
Filename	finale tekeningen scriptie

Notes	
-------	--

Scale	1:20	mm	A4	EUROPEAN PROJECTION
Sheet	6 of 29			



DETAIL F
SCALE 1 : 5



SECTION B-B



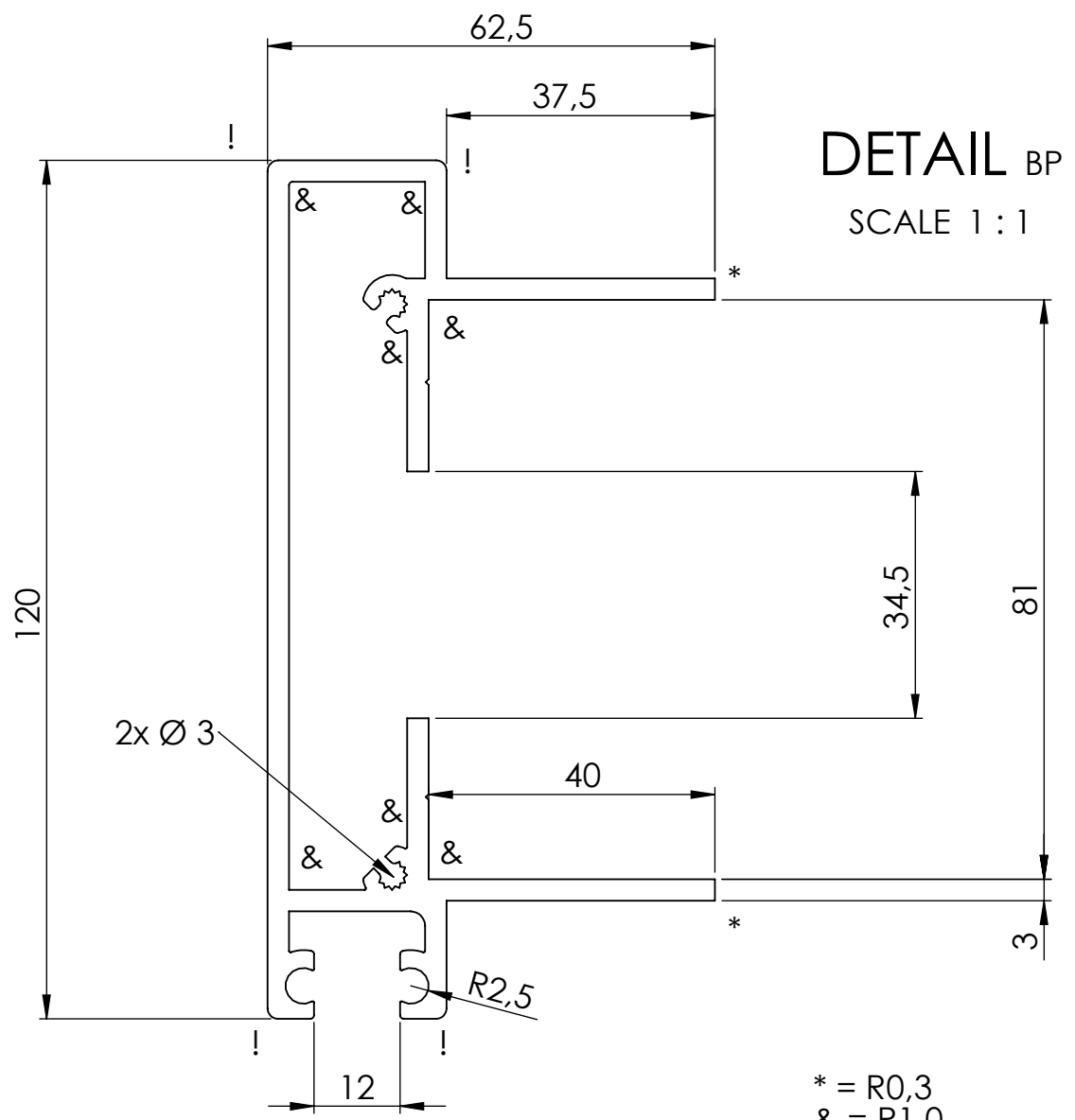
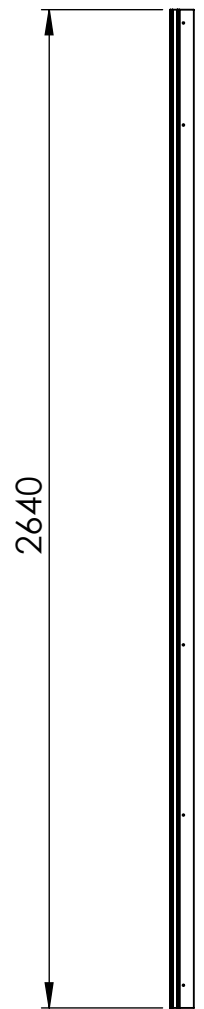
Project	Clear Channel - Oslo - Epsilon		
Part Asm	EP-OS-Column		
Number	-	Date	20/12/2017
Dwg	Thomas H, Brecht L		

Material	
Finish	
Weight	122091.26 [g]
Filename	finale tekeningen scriptie

Notes	
-------	--

Scale	1:25	mm	A4	EUROPEAN PROJECTION
Sheet	7 of 29			

BP



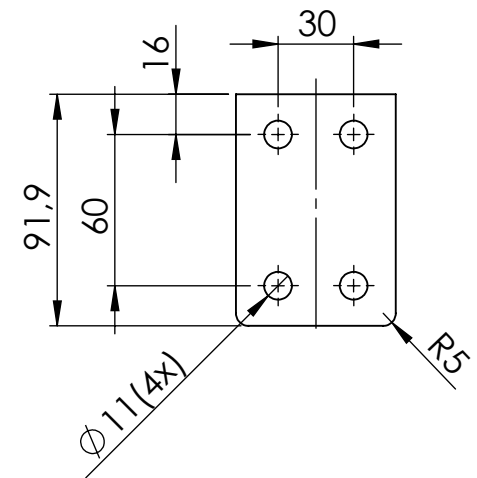
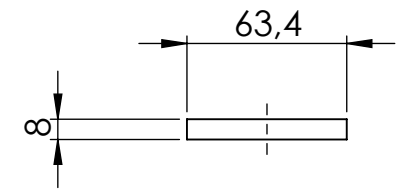
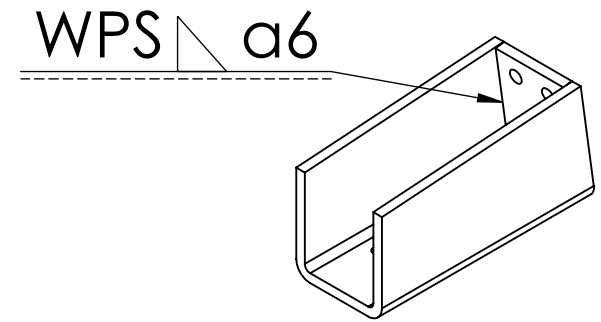
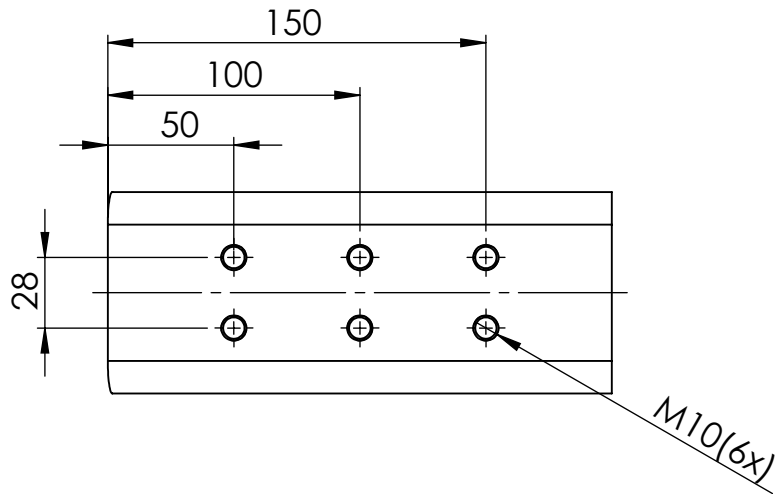
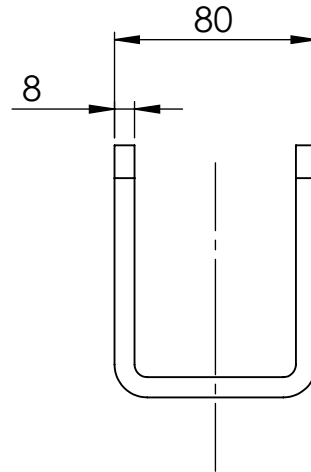
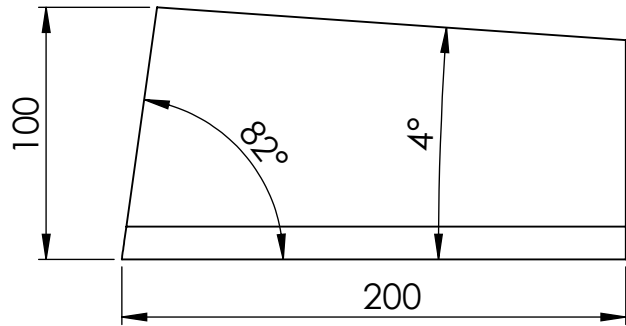
DETAIL BP
SCALE 1 : 1

* = R0,3
& = R1,0
! = R1,5
niet aangeduide: R = 0,5mm

algemene tolerantie iso 2768-mk

Tolerantie vlg: EN12020-2

	Project Clear Channel - Oslo - Epsilon			Material Aluminium EN AW-6061 T6	Notes	Scale 1:20	mm A4	
	Part Asm EP-OS-Column profile			Finish Powdercoated		Sheet 8 of 29		
	Number 1730-106-0	Date 20/12/2017	Dwg Thomas H, Brecht L	Weight 7380.84 [g]				
	Filename finale tekeningen scriptie							



algemene tolerantie iso 2768-mk



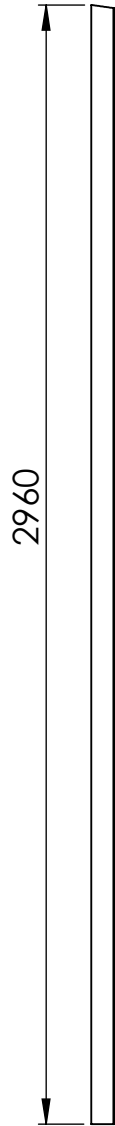
Project	Clear Channel - Oslo - Epsilon		
Part Asm	EP-OS-Roofbeal support		
Number	1730-103-0	Date	20/12/2017
Dwg	Thomas H, Brecht L		

Material	Steel S235
Finish	Galvanised
Weight	3275.19 [g]
Filename	finale tekeningen scriptie

Notes	
-------	--

Scale	1:3	mm	A4	EUROPEAN PROJECTION
Sheet	9 of 29			

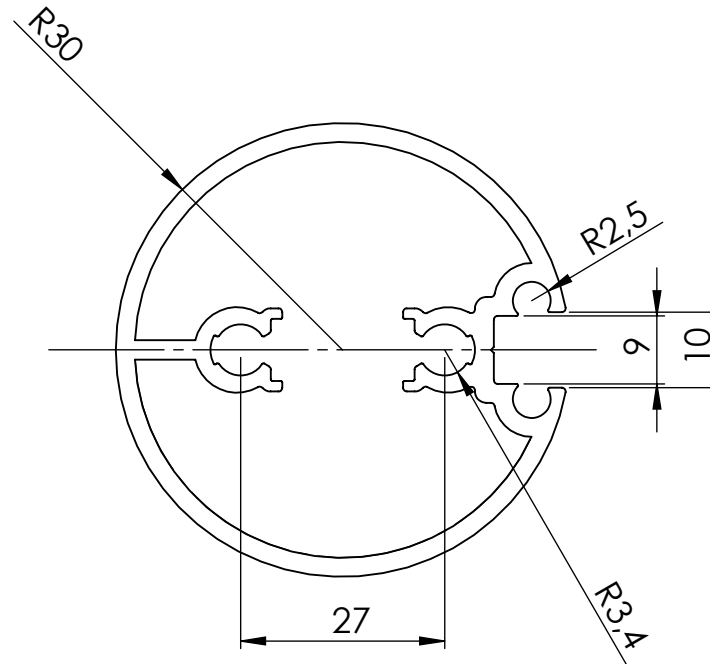
CA ©



2960

DETAIL CA

SCALE 1 : 1



* = R0,3
 & = R1,0
 ! = R1,5
 niet aangeduide R 0,5mm

algemene tolerantie iso 2768-mk

Tolerantie vlg: EN12020-2

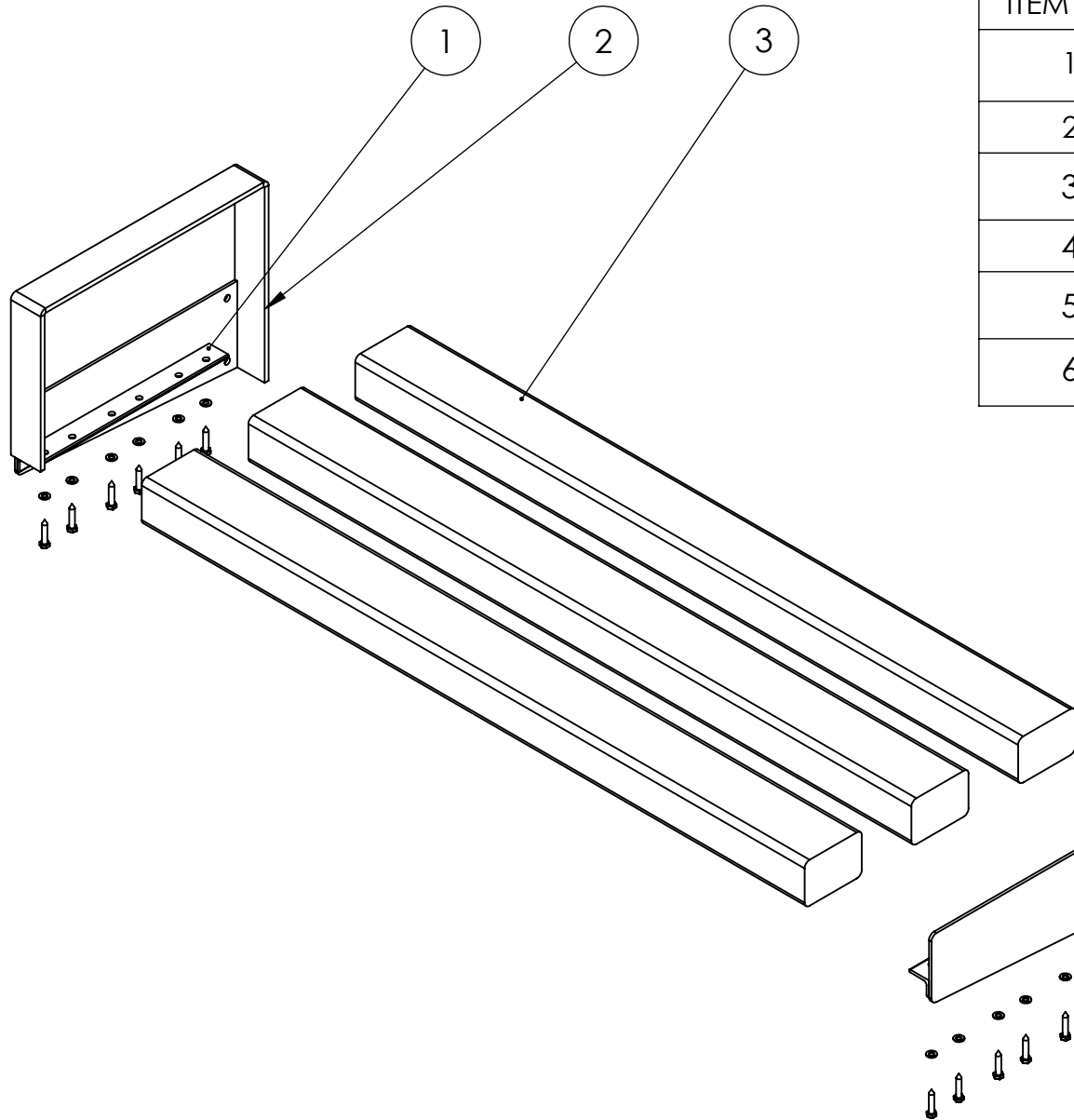


Project	Clear Channel - Oslo - Epsilon		
Part Asm	EP-OS-Side glass pole		
Number	1730-111-0	Date	20/12/2017
Dwg	Thomas H, Brecht L		

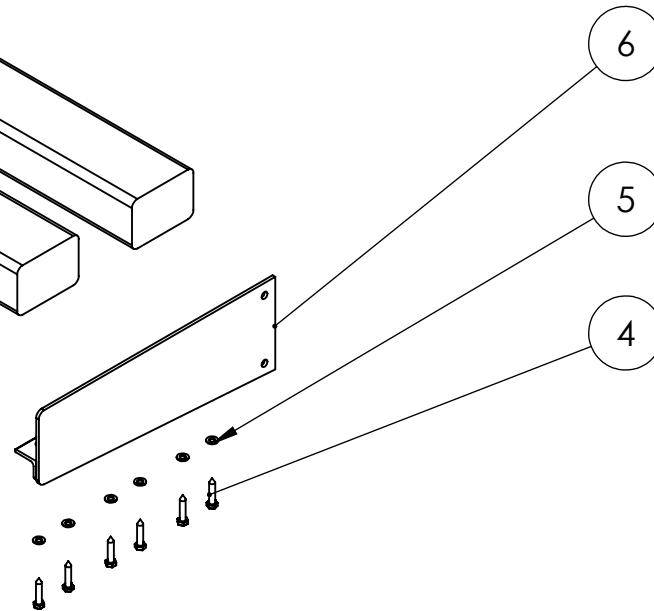
Material	Aluminium EN AW-6060 T66
Finish	Powdercoated
Weight	5008.55 [g]
Filename	finale tekeningen scriptie

Notes	
-------	--

Scale	1:20	mm	A4	EUROPEAN PROJECTION
Sheet	10 of 29			



ITEM NO.	DESCRIPTION	QTY.
1	EP-OS-Corner profile 30x40x8mm	2
2	EP-OS-Handrail	1
3	EP-OS-Bench Wood Beam	3
4	DIN571 M8x40	12
5	Plain washer ISO7089 M8 DIN125-1 A	12
6	EP-OS-Bench side plate Left	2

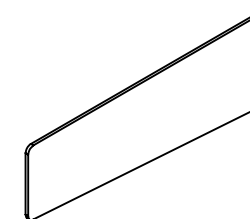
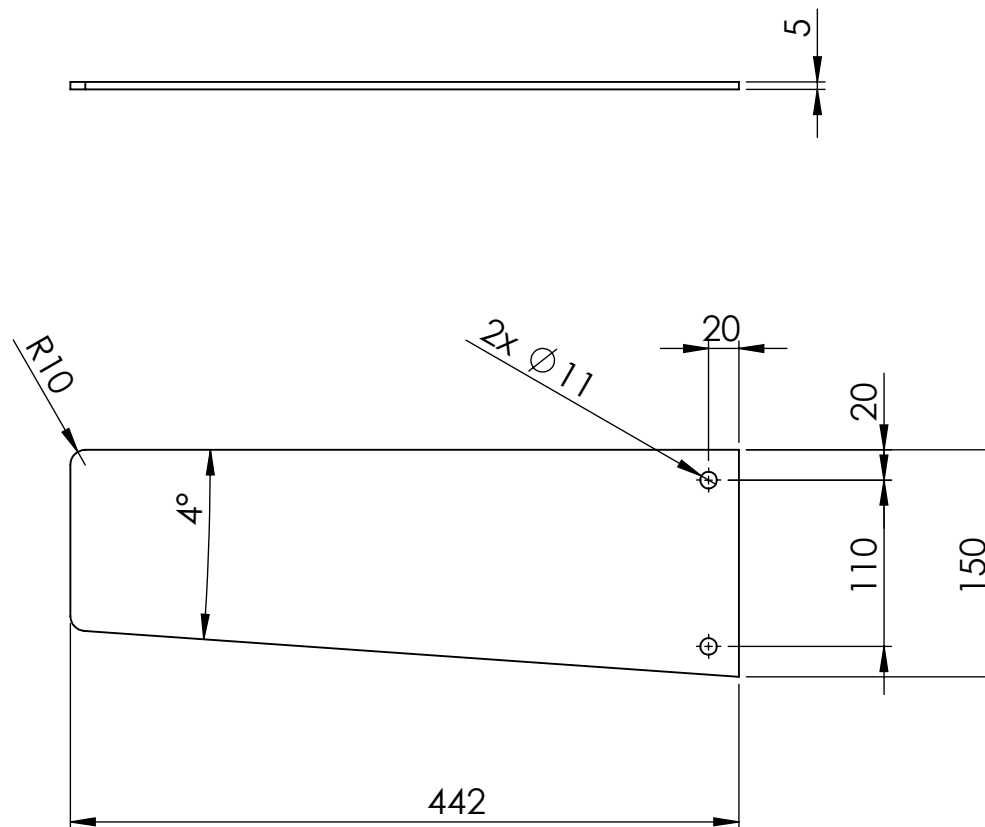


Project	Clear Channel - Oslo - Epsilon	
Part Asm	EP-OS-Bench	
Number	Date	Dwg
	20/12/2017	Thomas H, Brecht L

Material	
Finish	
Weight	47211.23 [g]
Filename	finale tekeningen scriptie

Notes	
-------	--

Scale	mm	EUROPEAN PROJECTION
1:10	A4	
Sheet	11 of 29	



algemene tolerantie iso 2768-mk



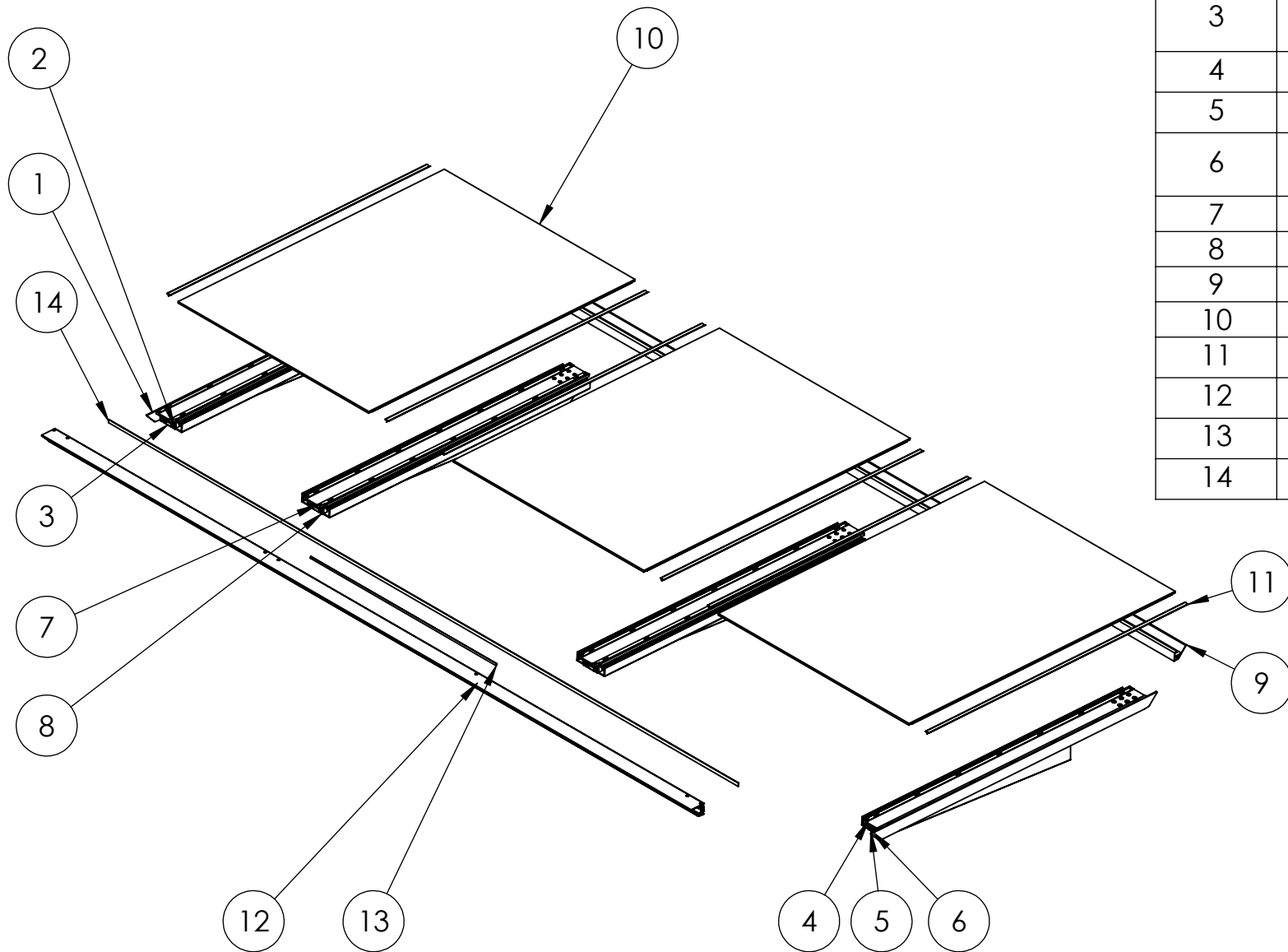
Project	Clear Channel - Oslo - Epsilon		
Part Asm	EP-OS-Side bench		
Number	1730-300-0	Date	20/12/2017
Dwg	Thomas H, Brecht L		

Material	Steel S235
Finish	Powdercoated
Weight	2310.35 [g]
Filename	finale tekeningen scriptie

Notes	
-------	--

Scale	1:5	mm	A4
Sheet	12 of 29		





ITEM NO.	DESCRIPTION	QTY.
1	EP-OS-Roofbeam Left	1
2	EP-OS-Roofbeam2 Left	1
3	EP-OS-Support click profile Roof	3
4	EP-OS-Roofbeam Right	1
5	EP-OS-Roofbeam2 Right	1
6	EP-OS-Support click profile Right	1
7	EP-OS-Roofbeam Middle	2
8	EP-OS-Roofbeam2 Mid	2
9	EPS-OS-Gutter Profile	1
10	EPS-OS-Roof Glass	3
11	EPS-OS-Roof Glass Strip	6
12	EPS-OS-Roof front profile	1
13	EPS-OS-Led strip roof edge	1
14	EPS-OS-Light diffuser strip	1

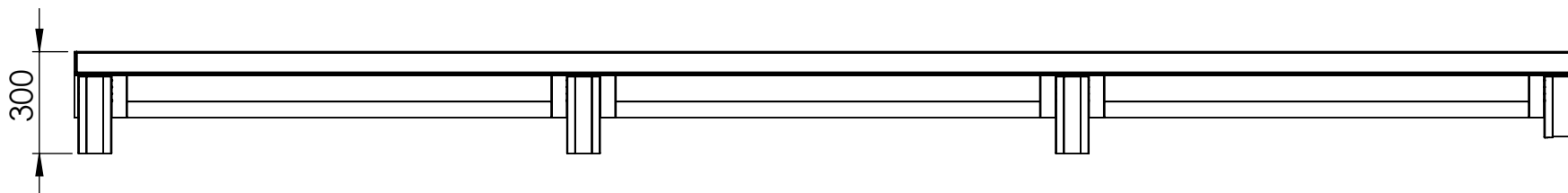
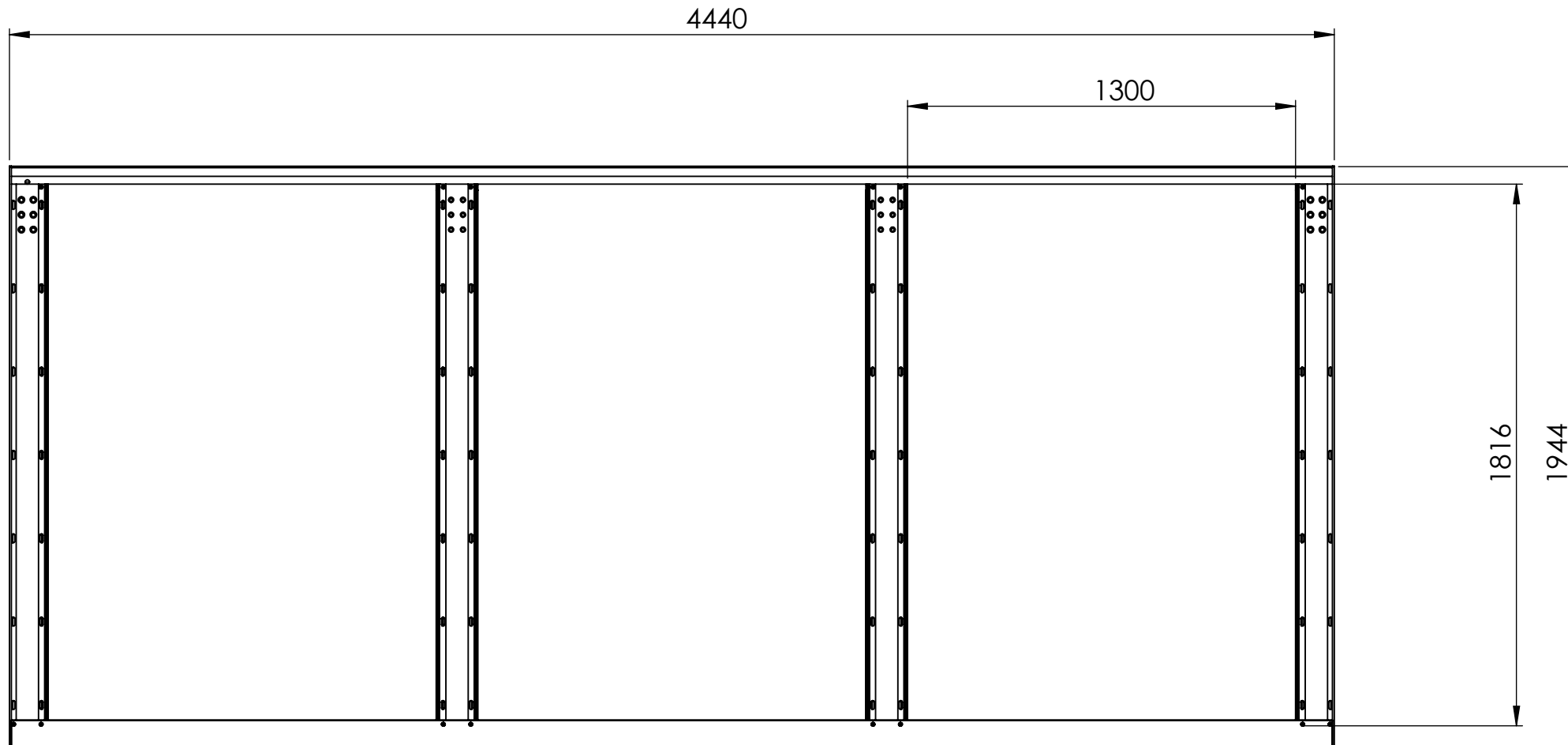


Project	Clear Channel - Oslo - Epsilon		
Part Asm	EP-OS-Roof		
Number	-	Date	20/12/2017
Dwg	Thomas H, Brecht L		

Material	
Finish	
Weight	307729.06 [g]
Filename	finale tekeningen scriptie

Notes	
-------	--

Scale	1:30	mm	A4	EUROPEAN PROJECTION
Sheet	13 of 29			

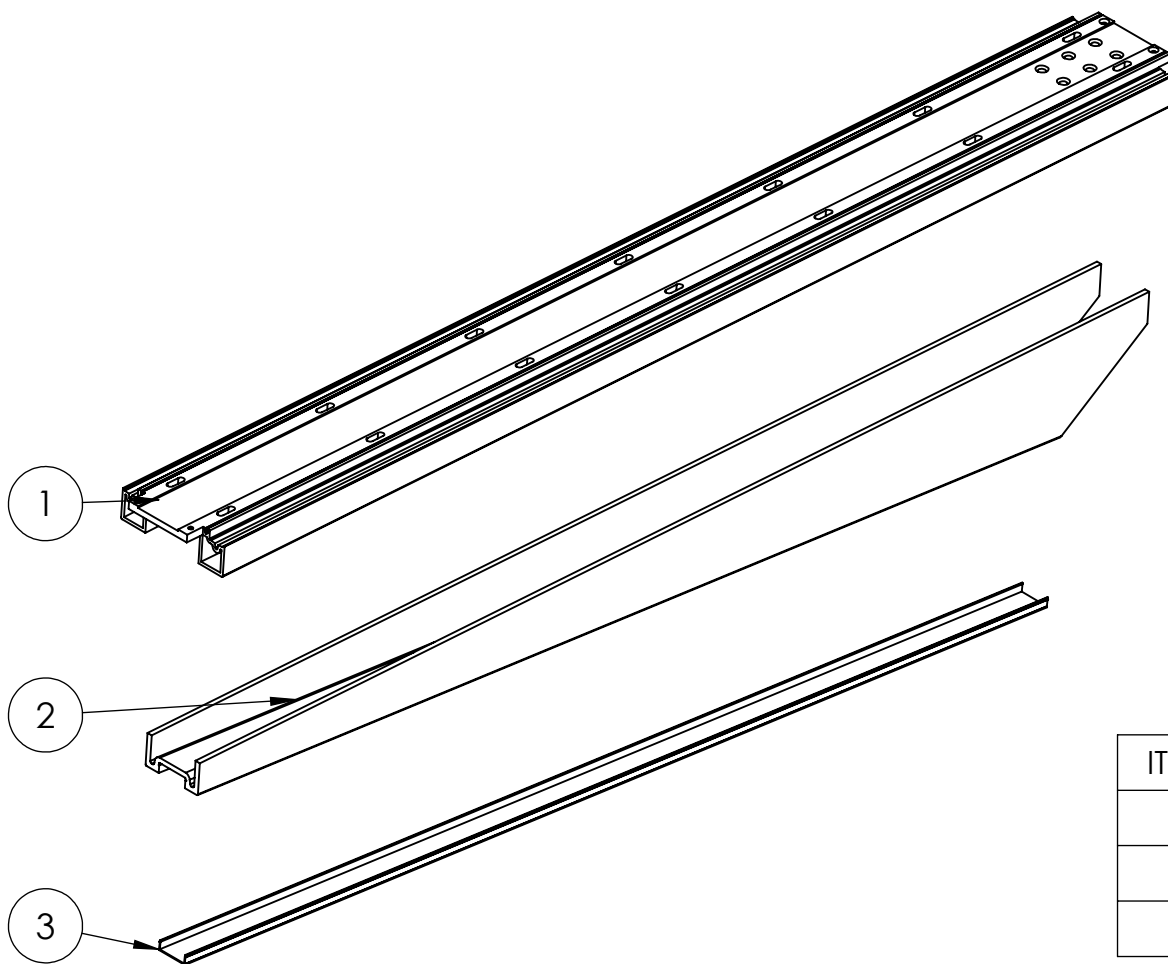


Project	Clear Channel - Oslo - Epsilon		
Part Asm	EP-OS-Roof		
Number	-	Date	20/12/2017
Dwg	Thomas H, Brecht L		

Material	
Finish	
Weight	307729.06 [g]
Filename	finale tekeningen scriptie

Notes	
-------	--

Scale	1:20	mm	A4	EUROPEAN PROJECTION
Sheet	14 of 29			



ITEM NO.	DESCRIPTION	QTY.
1	EP-OS-Roofbeam Middle	1
2	EP-OS-Roofbeam2 Mid	1
3	EP-OS-Support click profile Roof	1



Project	Clear Channel - Oslo - Epsilon		
Part Asm	EPS-OS-Welding roofbeam		
Number	Date	Dwg	Thomas H, Brecht L
	21/12/2017		

Material	Aluminium EN AW-6061 T6
Finish	Welding
Weight	29319.56 [g]
Filename	finale tekeningen scriptie

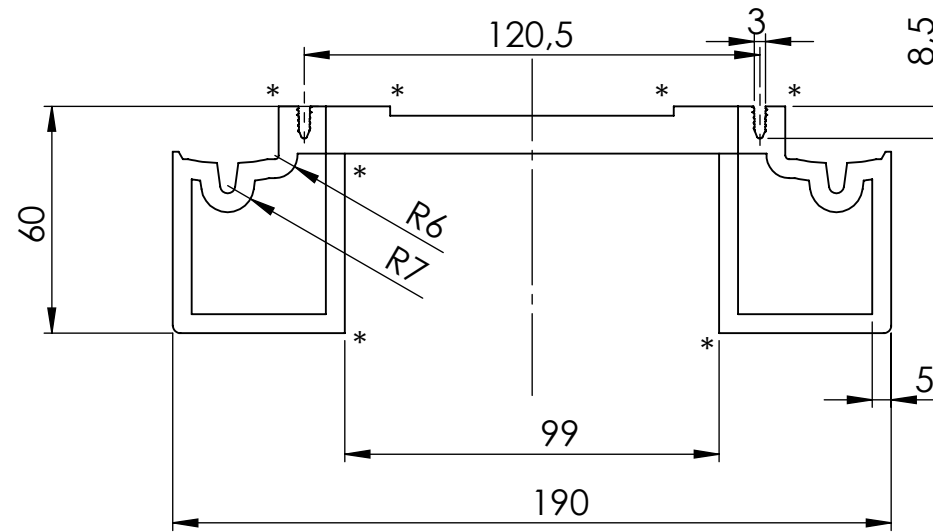
Notes	
-------	--

Scale	mm
1:10	A4
Sheet	15 of 29

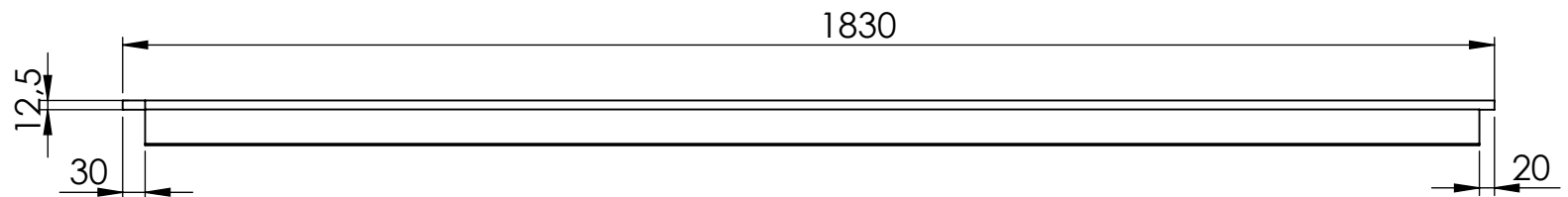
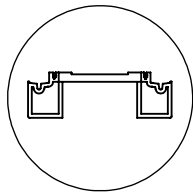


DETAIL CN

SCALE 1 : 2



CN



* = R0,3
 & = R1,0
 ! = R1,5
 niet aangeduide: R0,5mm

algemene tolerantie iso 2768-mk

Tolerantie vlgs: EN12020-2

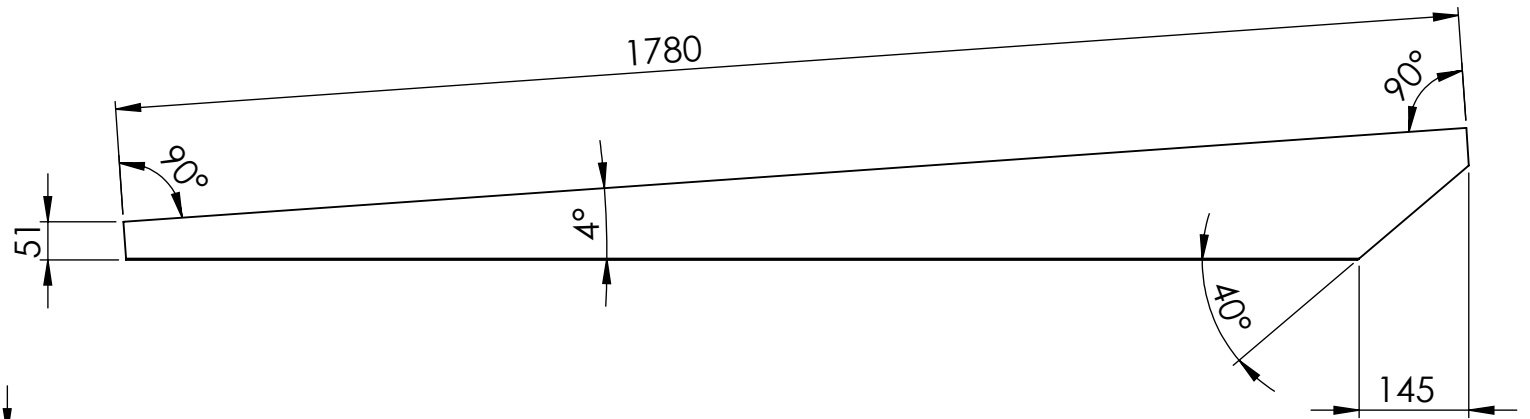
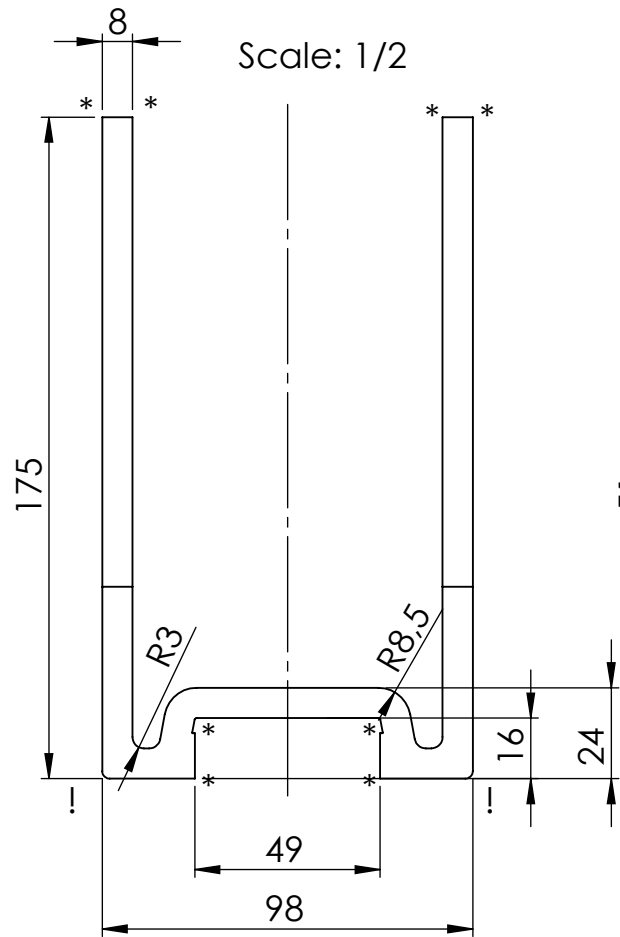


Project	Clear Channel - Oslo - Epsilon		
Part Asm	EP-OS-Roofbeam middle		
Number	1730-003-0	Date	20/12/2017
Dwg	Thomas H, Brecht L		

Material	Aluminium EN AW-6061 T6
Finish	Powdercoated
Weight	15071.61 [g]
Filename	finale tekeningen scriptie

Notes	
-------	--

Scale	1:10	mm	A4	EUROPEAN PROJECTION
Sheet	16 of 29			



algemene tolerantie iso 2768-mk

Tolerantie vlg: EN12020-2

* = R0,3
 & = R1,0
 ! = R1,5
 niet aangeduide R 0,5mm

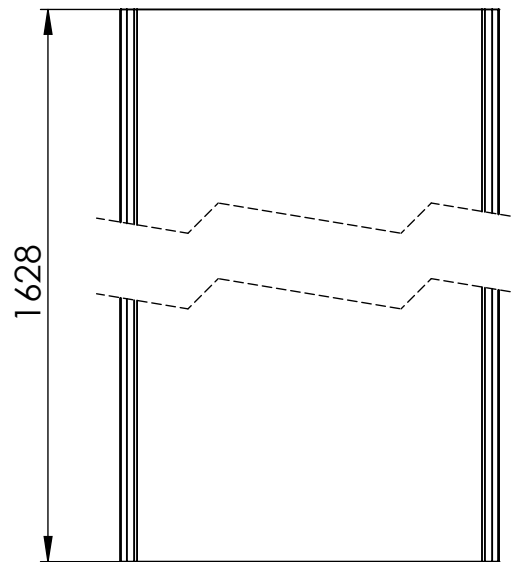
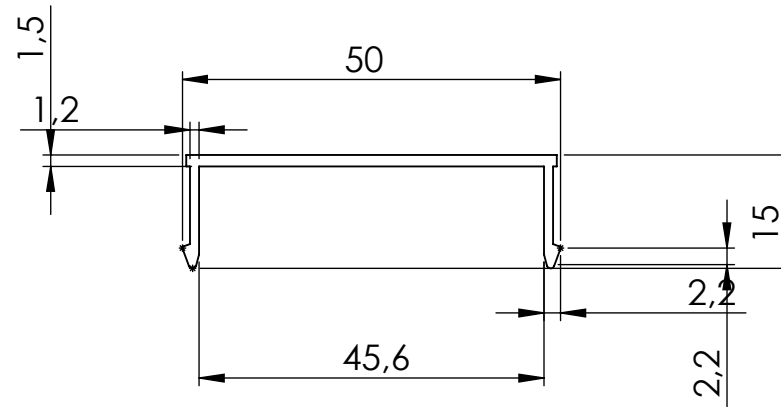


Project	Clear Channel - Oslo - Epsilon		
Part Asm	EP-OS-Roofbeam2		
Number	1730-005-0	Date	28/12/2017
Dwg	Thomas H, Brecht L		

Material	Aluminium EN AW-6061 T6
Finish	Powdercoated
Weight	12219.59 [g]
Filename	finale tekeningen scriptie

Notes	
-------	--

Scale	mm	EUROPEAN PROJECTION
1:10	A4	
Sheet	17 of 29	



* = R0,3
 & = R1,0
 ! = R1,5
 niet aangeduide R 0,5mm

algemene tolerantie iso 2768-mk

Tolerantie vlg: EN12020-2



Project	Clear Channel - Oslo - Epsilon		
Part Asm	EP-OS-support click profile		
Number	1730-007-0	Date	28/12/2017
Dwg	Thomas H, Brecht L		

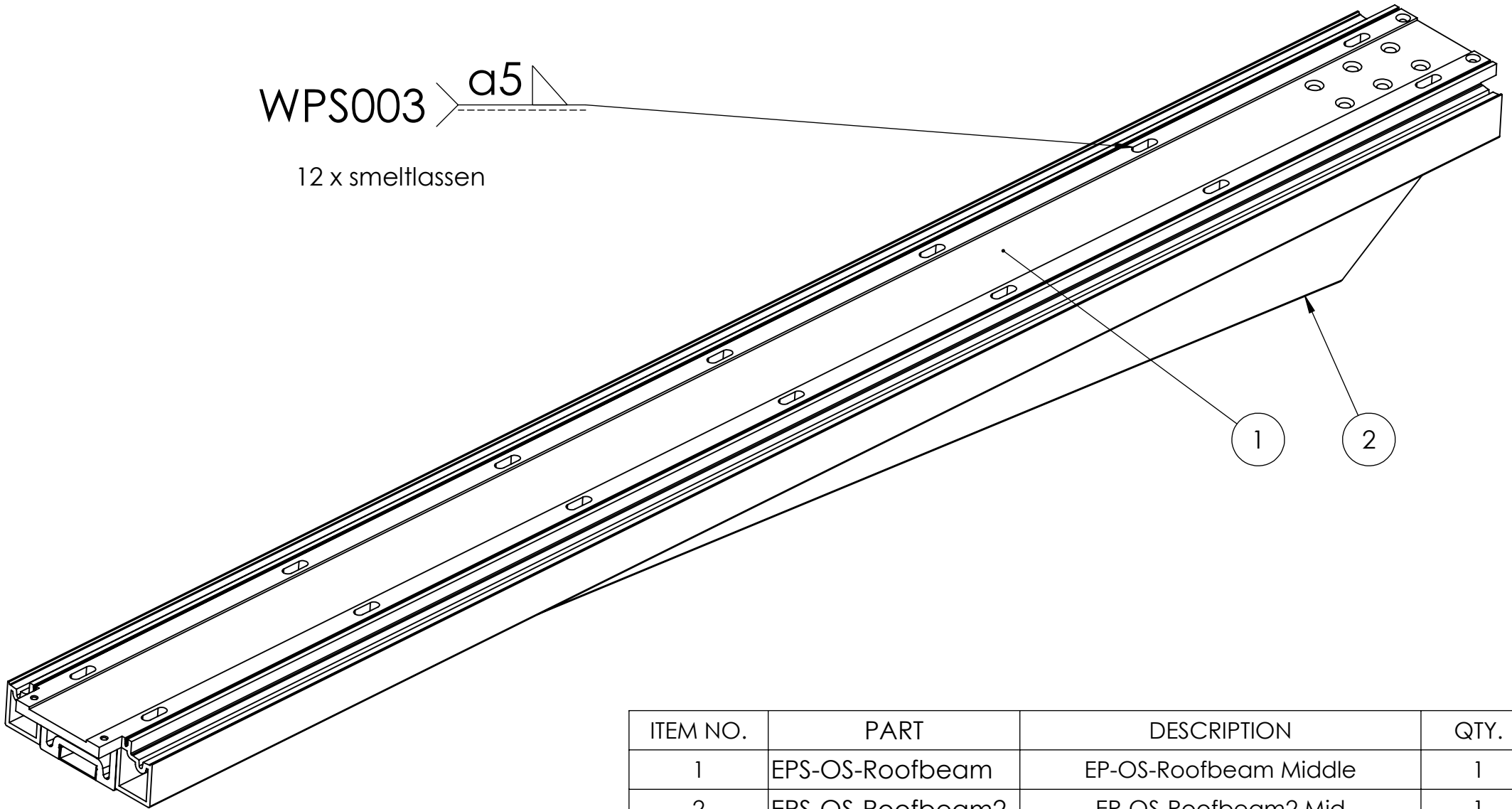
Material	Aluminium EN AW-6061 T6
Finish	Powdercoated
Weight	476.18 [g]
Filename	finale tekeningen scriptie

Notes	
-------	--

Scale	1:1	mm	A4	EUROPEAN PROJECTION
Sheet	18 of 29			

WPS003 $\alpha 5$

12 x smeltlassen



ITEM NO.	PART	DESCRIPTION	QTY.
1	EPS-OS-Roofbeam	EP-OS-Roofbeam Middle	1
2	EPS-OS-Roofbeam2	EP-OS-Roofbeam2 Mid	1

100% visuele inspectie volgens ISO 10042

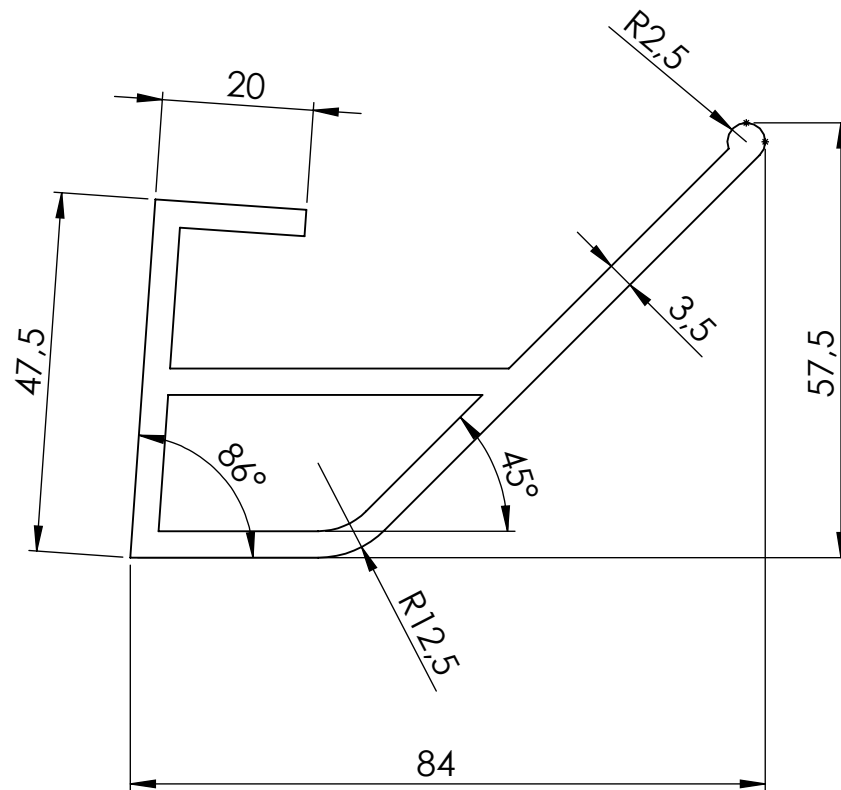


Project **Clear Channel - Oslo - Epsilon**
 Part Asm **EPS-OS-Welding roofbeam**
 Number _____ Date **21/12/2017** Dwg **Thomas H, Brecht L**

Material **Aluminium EN AW-6061 T6**
 Finish **Welding**
 Weight **29319.56 [g]**
 Filename **finale tekeningen scriptie**

Notes

Scale **1:5** mm **A4**
 Sheet **19 of 29**
 EUROPEAN PROJECTION



algemene tolerantie iso 2768-mk

Tolerantie vlg: EN12020-2

* = R0,3
 & = R1,0
 ! = R1,5
 niet aangeduide R 0,5mm

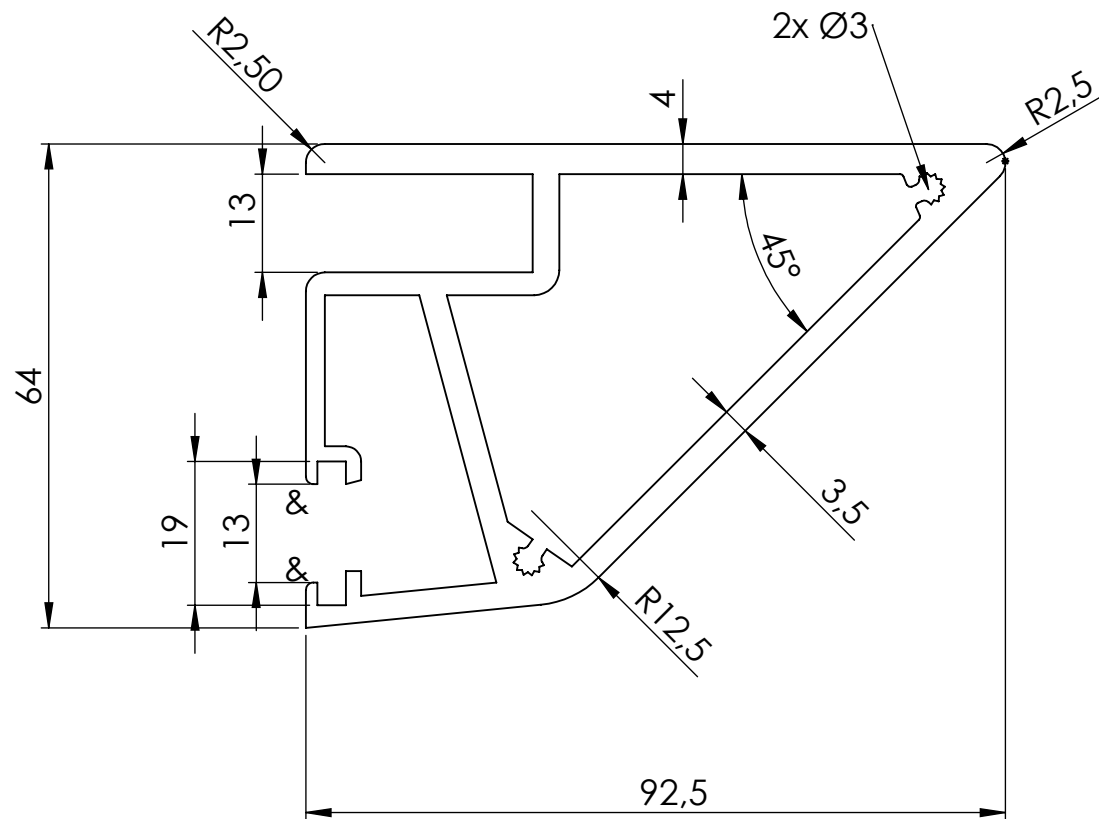


Project	Clear Channel - Oslo - Epsilon		
Part Asm	EPS-OS-Gutter profile		
Number	1730-010-0	Date	18/12/2017
Dwg	Thomas H, Brecht L		

Material	Aluminium EN AW-6061 T6
Finish	Powdercoated
Weight	8796.36 [g]
Filename	finale tekeningen scriptie

Notes	Zaaglengte = 4420mm
-------	---------------------

Scale	mm	EUROPEAN PROJECTION
1:1	A4	
Sheet	20 of 29	



* = R0,3
 & = R1,0
 ! = R1,5
 niet aangeduide R 0,5mm

algemene tolerantie iso 2768-mk

Tolerantie vlg: EN12020-2

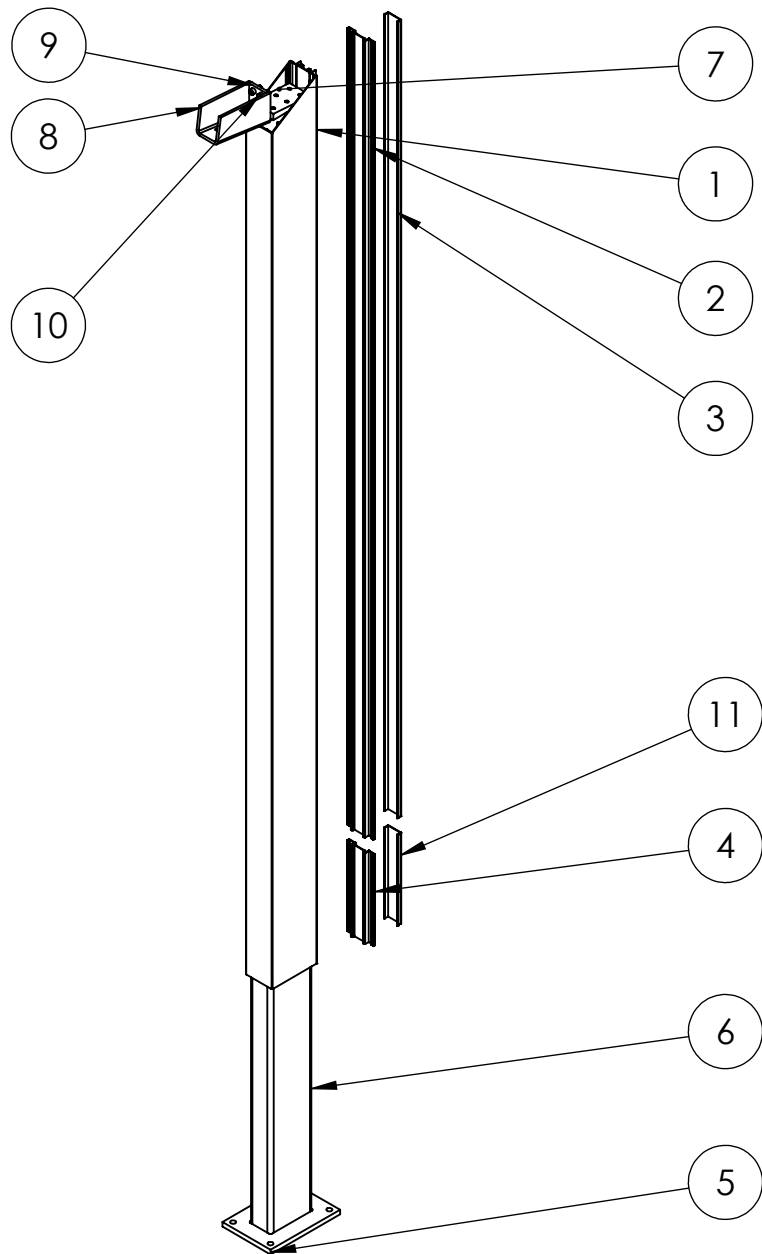


Project	Clear Channel - Oslo - Epsilon		
Part Asm	EPS-OS-Roof front profile		
Number	1730-009-0	Date	21/12/2017
Dwg	Thomas H, Brecht L		

Material	Aluminium EN AW-6061 T6
Finish	Powdercoated
Weight	13705.10 [g]
Filename	finale tekeningen scriptie

Notes	Zaaglengte = 4420mm
-------	---------------------

Scale	mm	EUROPEAN PROJECTION
1:1	A4	
Sheet	21 of 29	



ITEM NO.	DESCRIPTION	QTY.
1	EP-OS-Back support profile	1
2	EP-OS-Back Clickrail	1
3	EP-OS-Support click profile	1
4	EP-OS-Back Clickrail fixed	1
5	EP-OS-Footplate	1
6	EP-OS-Back support pivot	1
7	EP-OS-Back support gusset Default	1
8	EP-OS-Roofbeam bracket	1
9	EP-OS-Roofbeam support gusset Default	1
10	Bolt Socket Head M10 x 25	4
11	EP-OS-Support click profile Support Down	1



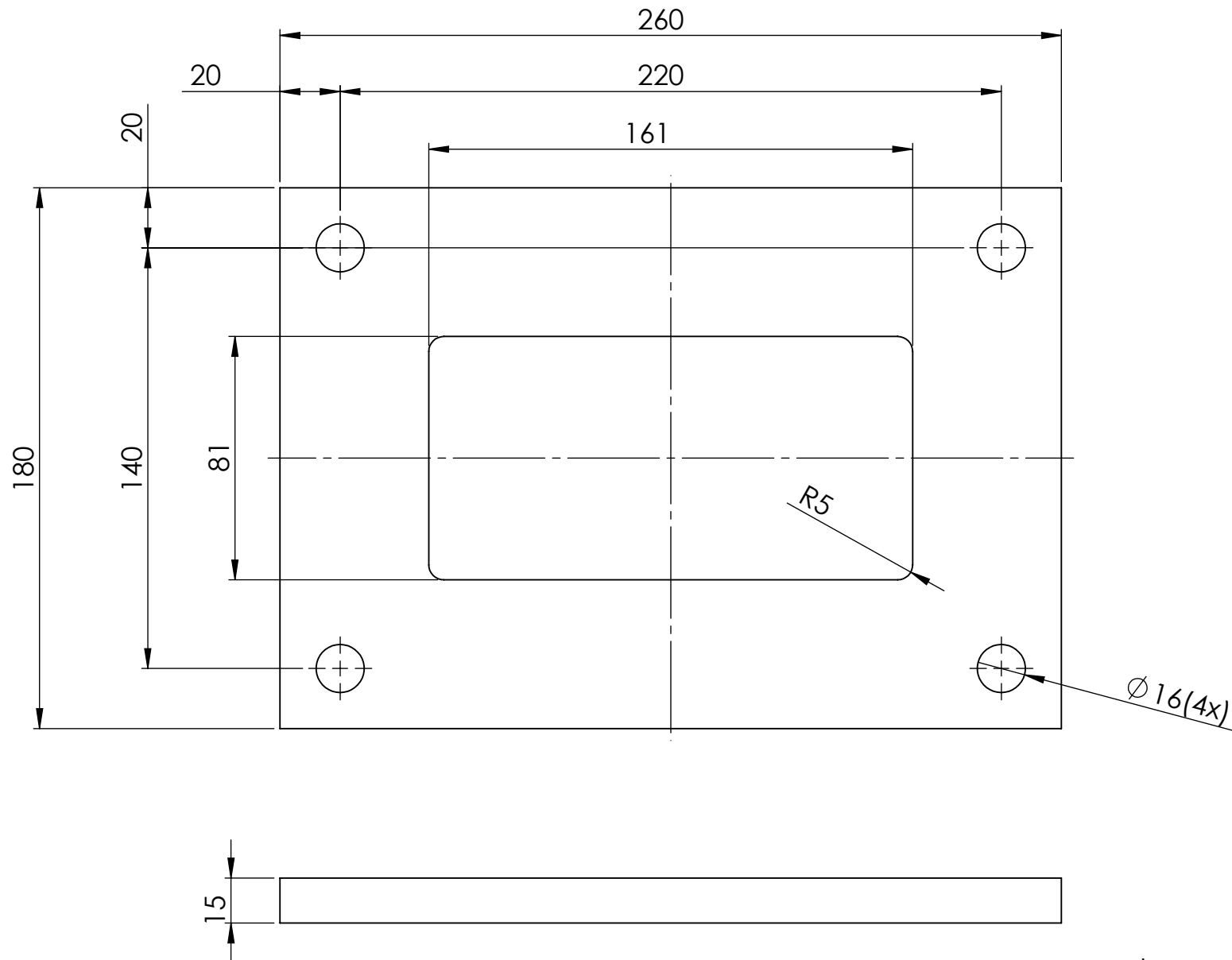
Project	Clear Channel - Oslo - Epsilon		
Part Asm	EPS-OS-Back support		
Number	-	Date	28/12/2017
Dwg	Thomas H, Brecht L		

Material	
Finish	
Weight	121913.28 [g]
Filename	finale tekeningen scriptie

Notes	
-------	--

Scale	1:20
Sheet	22 of 29





algemene tolerantie iso 2768-mk

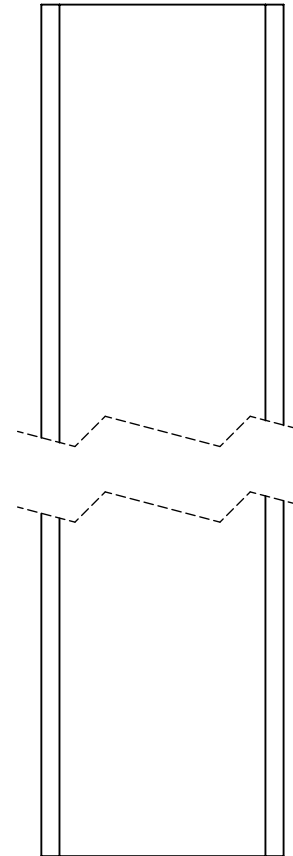
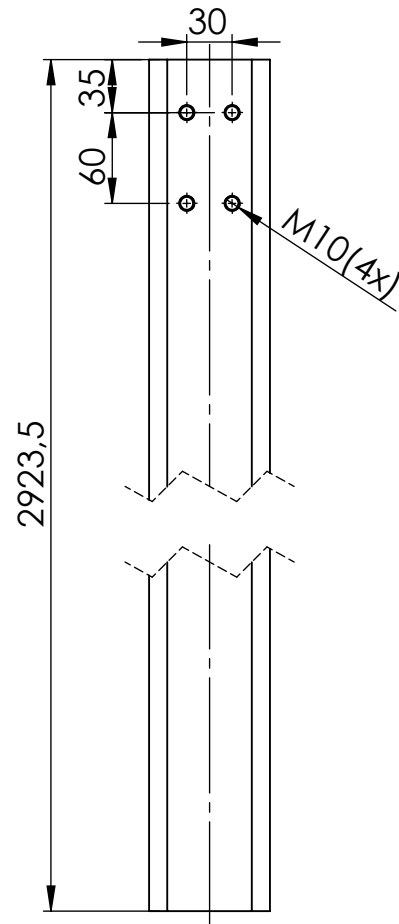
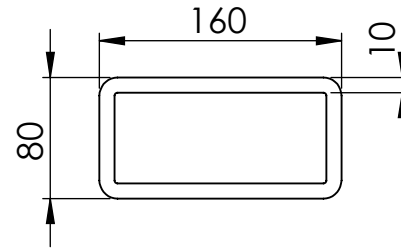


Project	Clear Channel - Oslo - Epsilon		
Part Asm	EP-OS-Back Footplate		
Number	1730-204-0	Date	14/12/2017
Dwg	Thomas H, Brecht L		

Material	Steel S355
Finish	Galvanised
Weight	3808.75 [g]
Filename	finale tekeningen scriptie

Notes	
-------	--

Scale	1:2	mm	A4	EUROPEAN PROJECTION
Sheet	23 of 29			



algemene tolerantie iso 2768-mk

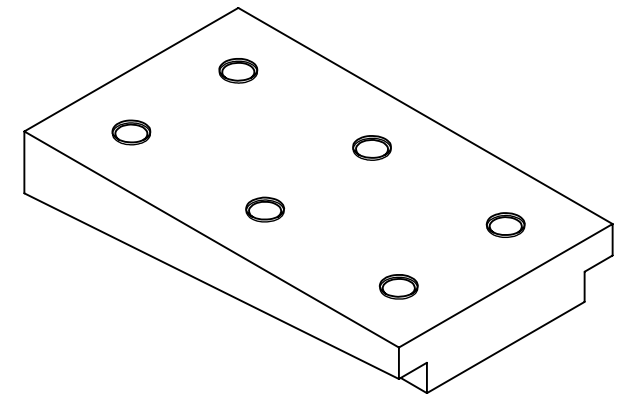
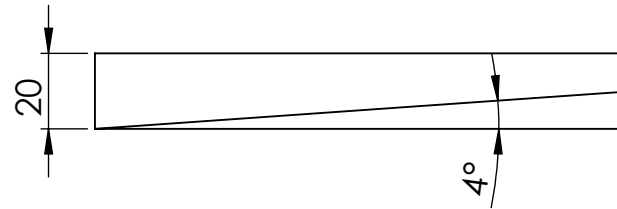
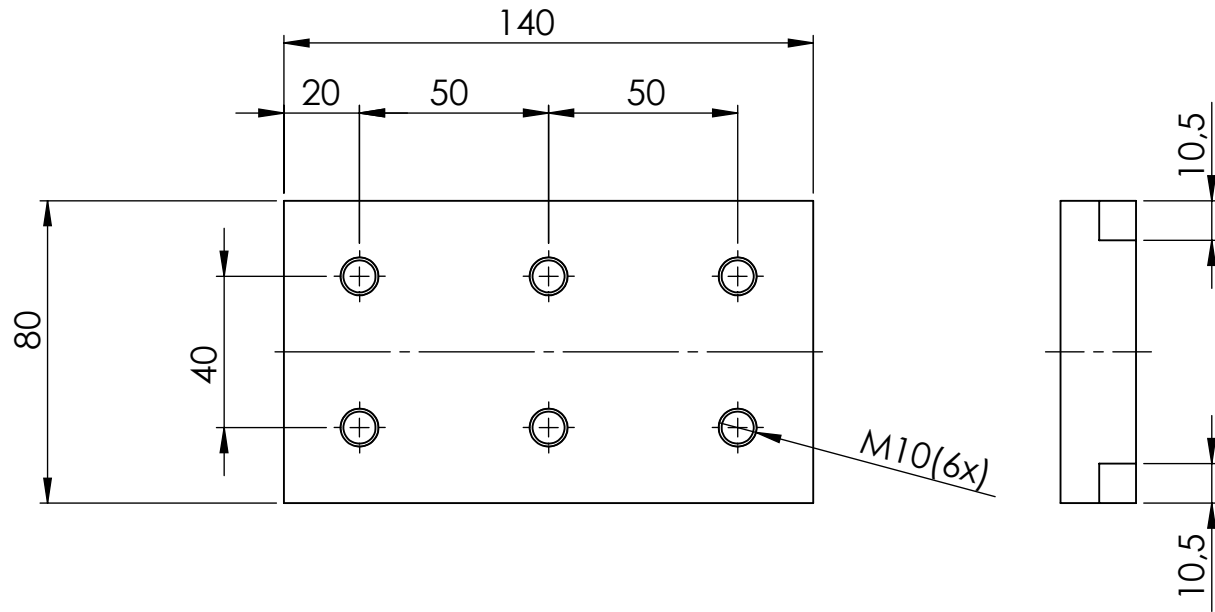


Project	Clear Channel - Oslo - Epsilon		
Part Asm	EP-OS-Back support pivot		
Number	1730-202-0	Date	14/12/2017
Dwg	Thomas H, Brecht L		

Material	Steel S355
Finish	Galvanised
Weight	97551.61 [g]
Filename	finale tekeningen scriptie

Notes	
-------	--

Scale	1:5	mm	A4	EUROPEAN PROJECTION
Sheet	24 of 29			



algemene tolerantie iso 2768-mk

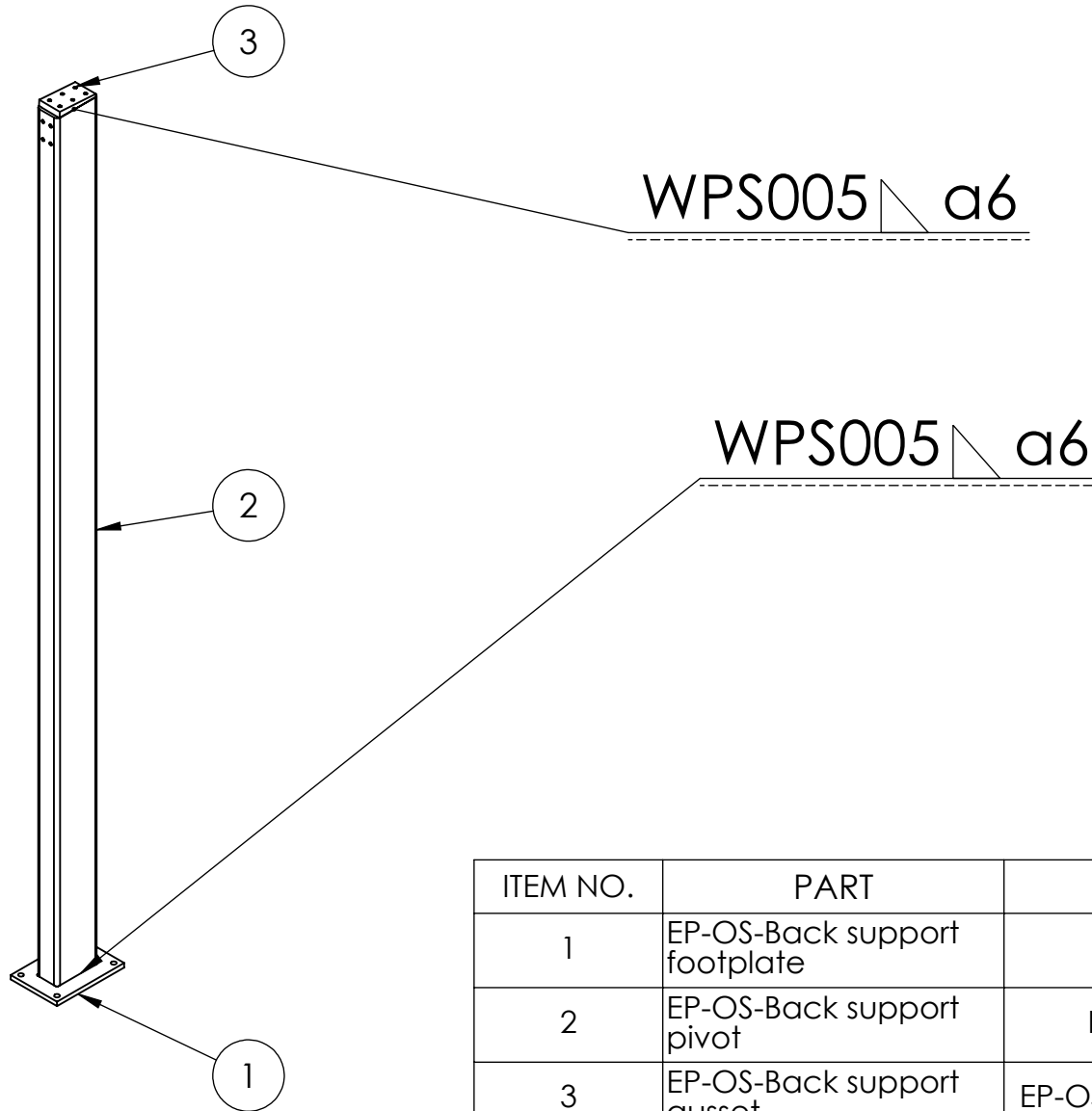


Project	Clear Channel - Oslo - Epsilon		
Part Asm	EP-OS-Back support gusset		
Number	1730-203-0	Date	21/12/2017
Dwg	Thomas H, Brecht L		

Material	Steel S235
Finish	Galvanised
Weight	1581.44 [g]
Filename	finale tekeningen scriptie

Notes	
-------	--

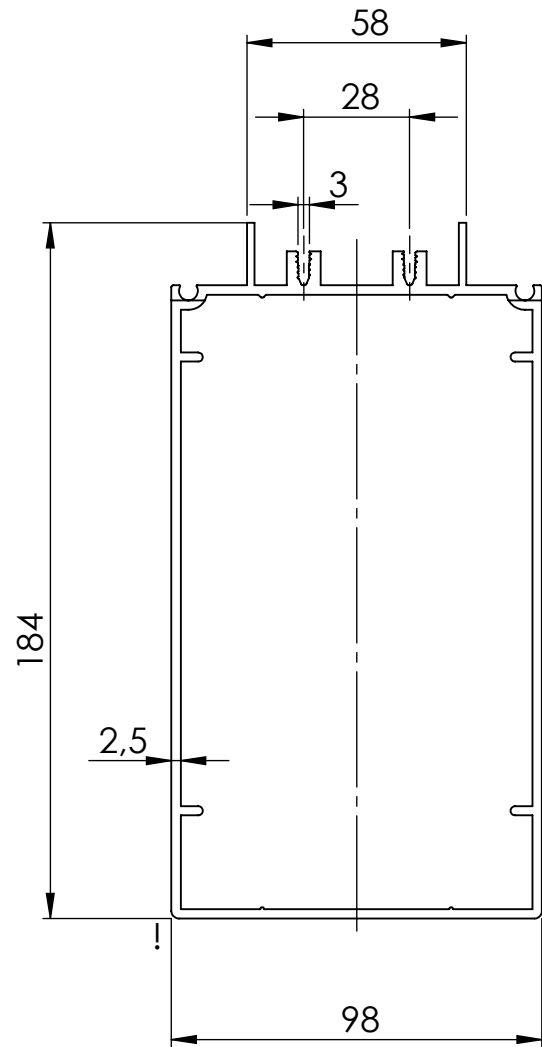
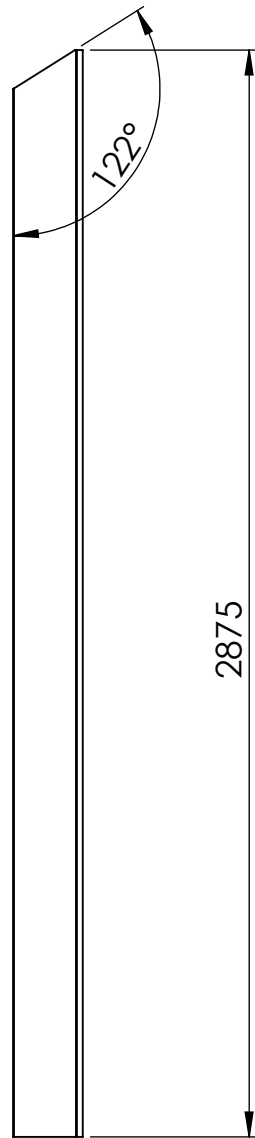
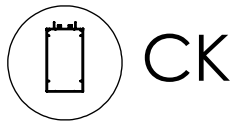
Scale	1:2	mm	A4	EUROPEAN PROJECTION
Sheet	25 of 29			



ITEM NO.	PART	DESCRIPTION	QTY.
1	EP-OS-Back support footplate	EP-OS-Footplate	1
2	EP-OS-Back support pivot	EP-OS-Back support pivot	1
3	EP-OS-Back support gusset	EP-OS-Back support gusset Default	1

100% visuele inspectie volgens ISO 5817

	Project	Clear Channel - Oslo - Epsilon	Material	Steel S235	Notes	Scale	mm	
	Part Asm	EPS-OS-Weding back support	Finish	Welding		1:20	A4	
Number	-	Date	14/12/2017	Dwg	Thomas H, Brecht L	Sheet	26 of 29	
			Weight	102941.80 [g]	Filename		finale tekeningen scriptie	



DETAIL CK
SCALE 1 : 2

algemene tolerantie iso 2768-mk
Tolerantie vlg: EN12020-2

* = R0,3 & = R1,0
! = R1,5
niet aangeduide R 0,5mm

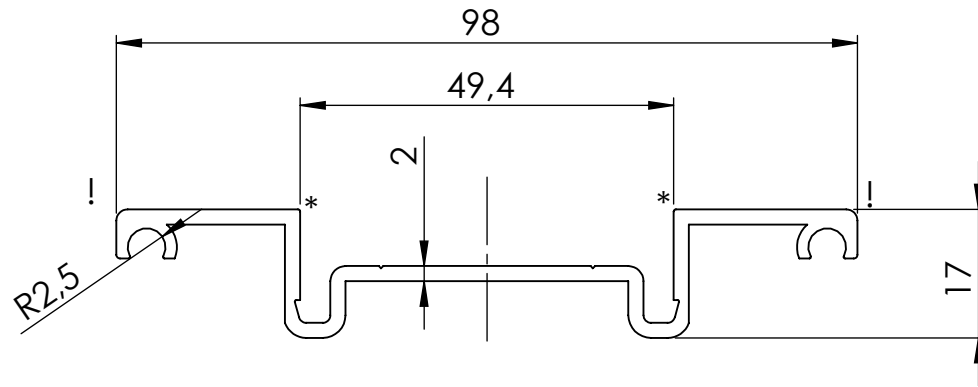
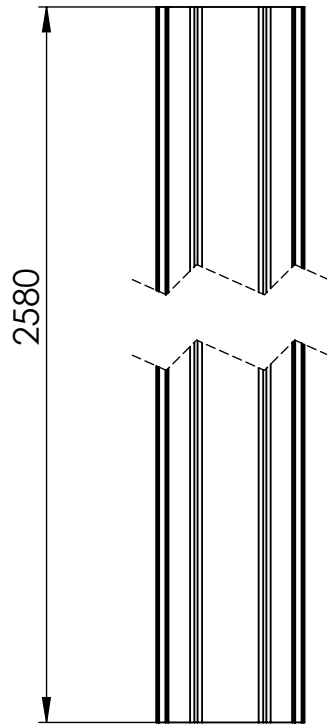
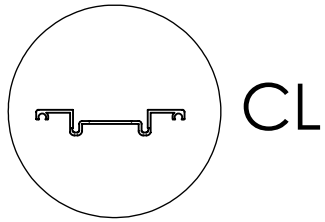


Project	Clear Channel - Oslo - Epsilon		
Part Asm	EP-OS-Back support		
Number	1730-205-0	Date	22/12/2017
Dwg	Thomas H, Brecht L		

Material	Aluminium EN AW-6061 T6
Finish	Powdercoated
Weight	11811.40 [g]
Filename	finale tekeningen scriptie

Notes	
-------	--

Scale	1:20	mm	A4	EUROPEAN PROJECTION
Sheet	27 of 29			



DETAIL CL
SCALE 1 : 1

* = R0,3
 & = R1,0
 ! = R1,5
 niet aangeduide R 0,5mm

algemene tolerantie iso 2768-mk

Tolerantie vlgs: EN12020-2



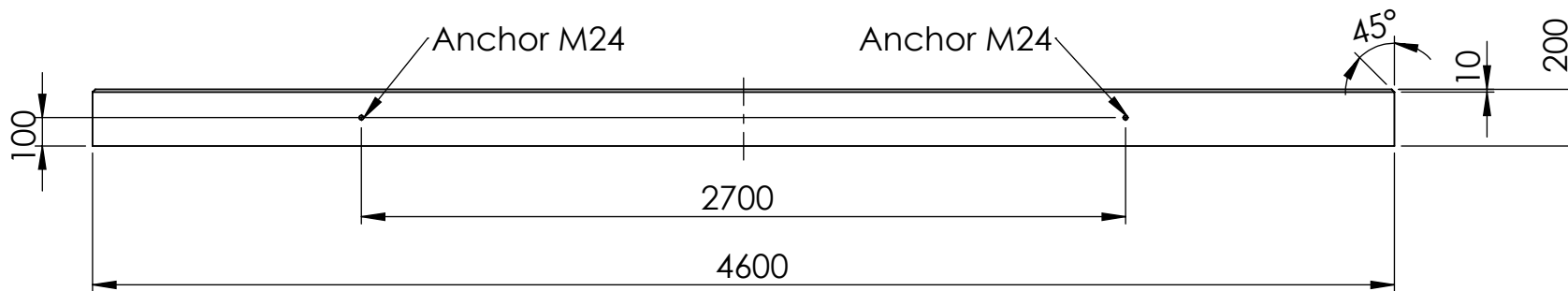
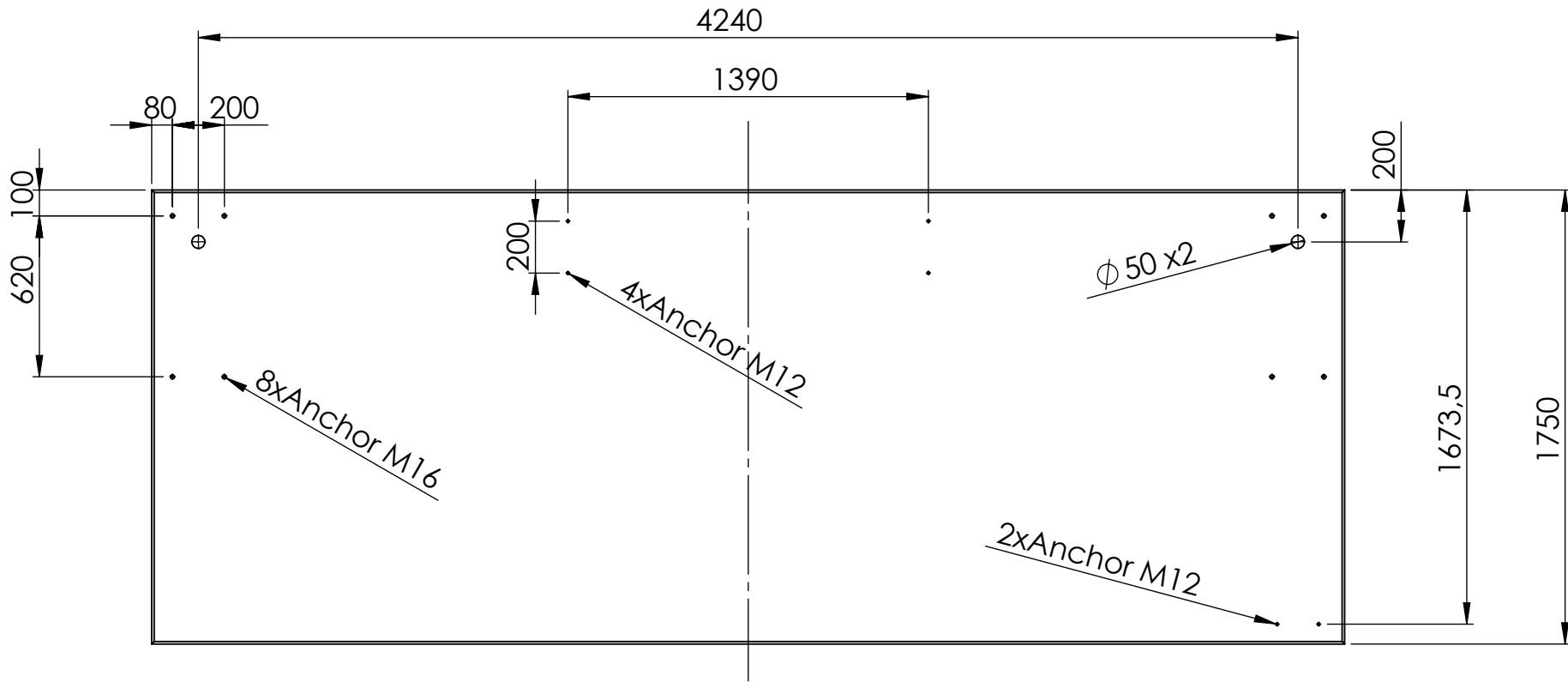
Project	Clear Channel - Oslo - Epsilon		
Part Asm	EP-OS-Back clickrail		
Number	1730-206-0	Date	22/12/2017
Dwg	Thomas H, Brecht L		

Material	Aluminium EN AW-6061 T6
Finish	Powdercoated
Weight	2160.11 [g]
Filename	finale tekeningen scriptie

Notes	
-------	--

Scale	1:5	mm	A4
Sheet	28 of 29		





Project	Clear Channel - Oslo - Epsilon		
Part Asm	EP-OS-Concrete Foundation		
Number	-	Date	13/12/2017
Dwg	Thomas H, Brecht L		

Material	Concrete
Finish	
Weight	1608345.87 [g]
Filename	finale tekeningen scriptie

Notes	
-------	--

Scale	1:25	mm	A4	EUROPEAN PROJECTION
Sheet	29 of 29			

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:
Ontwerp en realisatie van een abri

Richting: **master in de industriële wetenschappen: elektromechanica**
Jaar: **2018**

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,

Hesius, Thomas

Lamers, Brecht

Datum: **15/01/2018**