

Bachelor Eindproject

Ontwerp van een constructie voor een schaduwdoek met zonnepanelen

21-10-2024 | Ymke Schasfoort

Studentnummer:	5209234
Begeleider TU Delft 1:	Dr.ir. H.R. (Roel) Schipper
Begeleider TU Delft 2:	Dr.ir. P.C.J. (Pierre) Hoogenboom
Begeleider Tentech:	ir. Rogier Houtman



Afbeelding voorpagina (Wetzel)

Ontwerp van een constructie voor een schaduwdoek met zonnepanelen

Student:	Ymke Schasfoort
Studentnummer:	5209234
Begeleider TU Delft 1:	Dr.ir. H.R. (Roel) Schipper
Begeleider TU Delft 2:	Dr.ir. P.C.J. (Pierre) Hoogenboom
Begeleider Tentech:	ir. Rogier Houtman
Datum:	21-10-2024

Voorwoord

Dit rapport is mijn Bachelor Eindproject over het ontwerpen van een schaduwdoek met zonnepanelen, welke is geschreven voor het behalen van mijn Bachelor of Science Civiele Techniek.

Dit rapport kan interessant zijn voor andere bachelor studenten die geïnteresseerd zijn in membraanconstructies, of die geïnteresseerd zijn in de stappen van een ontwerpproces. Wel wordt aangeraden om eventuele berekeningen in dit rapport te controleren voordat deze toegepast worden op soortgelijke situaties.

Graag wil ik mijn begeleiders, zowel van de TU Delft als bij Tentech, Dr.ir. H.R. (Roel) Schipper, Dr.ir. P.C.J. (Pierre) Hoogenboom, en ir. Rogier Houtman bedanken, samen met de andere medewerkers van Tentech die hun hulp hebben aangeboden in dit ontwerpproces.

Delft, oktober 2024,
Ymke Schasfoort

Samenvatting

In de zoektocht naar een flexibelere toepassing van zonnepanelen in constructies, is modeontwerpster Pauline van Dongen in samenwerking met het ontwerp- en ingenieursbureau Tentech begonnen aan de ontwikkeling van SUNTEX, een architectonisch textiel wat in schaduwdoeken en “tweede huid façades” gebruikt kan worden. In deze ontwikkeling is in 2024 de wens voor een demonstratieproject in Arnhem naar boven gekomen, waarin SUNTEX voor het eerst in een constructie zal worden toegepast. In dit rapport is gekeken naar een ontwerp, met als doel het ontwerpen en berekenen van een veilige constructie voor een schaduwdoek, op basis van een ontwerp van Pauline van Dongen.

Eerst is er achtergrondinformatie over membraanconstructies opgezocht, evenals de benodigde informatie over het materiaal SUNTEX. De materiaaleigenschappen van SUNTEX zijn te vinden in Tabel 2.1.

Vervolgens is in overleg met Tentech gekozen om gebruik te maken van de norm voor tijdelijke tentconstructie NEN-EN-13782 in plaats van de gebruikelijke eurocode. Deze keuze is gemaakt vanwege het tijdelijke karakter en het kleine formaat van de constructie. Deze norm heeft ook eigen veiligheidsfactoren voor het bepalen van de veiligheid met betrekking tot het kantelen, schuiven en optillen van de constructie, welke te vinden zijn in Tabel 2.2.

Op basis van de eerste ontwerpen van Pauline van Dongen en de omgevingsanalyse is een plan van eisen en wensen opgesteld. Aan de hand van dit programma van eisen en de ontwerpen van Pauline van Dongen is een drietal voorontwerpen bedacht, waarvan variant 3 in Hoofdstuk 3.4.4 gekozen is als uiteindelijke vorm. Dit ontwerp zal uiteindelijk ook moeten kunnen draaien, hoewel dat buiten de scope van dit eindproject valt.

De uiteindelijke constructie is per onderdeel (het blad, de steel en de voet) van boven naar beneden uitgerekend.

Voor het blad is eerst met behulp van een versimpelde handberekening een buisprofiel bepaald, welke vervolgens met het programma EASY gecontroleerd. Het eerste buisprofiel voldeed niet, dus is met een iteratief proces een stalen buisprofiel met een diameter van 70 mm en een dikte van 2.9 mm gekozen voor de rand van het blad.

Gezien het feit dat de uiteindelijke steel uiteindelijk het draaien van het blad moet faciliteren is voor nu alleen de maximale verplaatsing van het uiteinde van het blad meegenomen voor het bepalen van de doorsnede. Hier is een 2 m lange stalen buis met een diameter van 95 mm en een dikte van 3.6 mm uitgekomen.

Voor de voet van de constructie is gekozen voor een ronde stalen plaat met een diameter van 1 m en een dikte van 1 cm, waarop stenen als ballast gelegd kunnen worden. Met behulp van de drie controles uit NEN-EN-13782 is bepaald dat er 0.25 m^3 aan stenen nodig is om het schaduwdoek op zijn plaats te houden.

Inhoudsopgave

Voorwoord	IV
Samenvatting	V
1 Inleiding.....	8
2 Vooronderzoek	9
2.1 Membraanconstructies	9
2.1.1 Het constructief basisprincipe.....	9
2.1.2 Dubbel gekromde vlakken	10
2.1.3 Het ontwerpproces door de jaren heen	11
2.1.4 EASY.FORM.....	11
2.2 Suntex	12
2.2.1 De ontwikkeling.....	12
2.2.2 Uitleg over ketting en inslag (warp en weft)	12
2.2.3 De samenstelling	12
2.2.4 Materiaaleigenschappen	13
2.3 Vergelijking standaard norm en norm voor tijdelijke tentconstructies.	13
2.3.1 Wind.....	13
2.3.2 Specifieke controles.....	13
3 Het ontwerpproces.....	14
3.1 Het initiële idee.....	14
3.2 Omgevingsanalyse	15
3.2.1 Fysieke objecten op en om het Audrey Hepburnplein.....	16
3.2.2 Bezoekers en voorbijgangers.....	16
3.2.3 Weerseffecten	17
3.3 Programma van eisen en wensen.....	17
3.3.1 Constructieve eisen	17
3.3.2 Functionele eisen.....	17
3.3.3 Wensen	17
3.4 Voorontwerpen	18
3.4.1 Inspiratie: Busstation in Bree	18
3.4.2 Variant 1: Driepoot	19
3.4.3 Variant 2: Tweepoot.....	19
3.4.4 Variant 3: Blad.....	20
3.5 Gekozen variant met bijbehorende extra eisen en wensen	20
4 Berekening van het uiteindelijke ontwerp.....	21
4.1 Handberekening van het blad	22

4.1.1	Vereenvoudiging.....	22
4.1.2	Afmetingen en afstanden in de schematisering	23
4.1.3	Berekening van de resultante krachten.....	23
4.1.4	Berekening van de reactiekrachten	24
4.1.5	Bepalen van de buisdoorsnede.....	25
4.1.6	Afmetingen op basis van de handberekeningen	25
4.2	Easy model.....	26
4.2.1	Exacte vorm van het blad.....	26
4.2.2	Belasting en resultaten in EASY.....	27
4.3	Controleberekeningen van het blad	28
4.3.1	Controle verplaatsing.....	28
4.3.2	Controle buisdoorsnede.....	29
4.3.3	Controle membraanspanning	32
4.3.4	Uiteindelijke afmetingen van het blad	32
4.4	Handberekeningen steel	33
4.4.1	Gekozen profiel.....	34
4.5	Handberekeningen van de voet.....	34
4.5.1	Voet voor het voorkomen van kantelen	34
4.5.2	Unity Check voor kantelen	36
4.5.3	Unity Check voor schuiven	36
4.5.4	Unity Check voor optillen.....	37
4.5.5	Conclusie en uiteindelijke afmetingen	37
5	Conclusie en aanbevelingen	38
5.1	Uiteindelijke afmetingen van de constructie.....	38
5.2	Aanbevelingen	38
6	Bibliografie.....	39
7	Bijlage: Hitte Attentiekaart Arnhem	41

1 Inleiding

In de zoektocht naar meer toepassingen voor zonnepanelen voor het opwekken van groene energie, is modeontwerpster Pauline van Dongen begonnen met het verwerken van zonnepanelen in stof. Deze ontwikkeling is inmiddels in samenwerking met Tentech, een ontwerp- en ingenieursbureau gespecialiseerd in lichtgewicht constructies (Tentech, About Tentech, sd), verder aan het gegroeid naar het textiel SUNTEX. Dit textiel met geïntegreerde zonnepanelen zal uiteindelijk gebruikt kunnen worden in architectonische toepassingen, zoals bijvoorbeeld schaduwdoeken en, zoals ze dit bij Tentech noemen, “tweede huid façades”.

Nu, september 2024, is het moment gekomen waarop er vraag is naar een concreet demonstratieproject. In samenwerking met de gemeente Arnhem komen er meerdere kleine, tijdelijke schaduwdoeken op het Audrey Hepburnplein, waar SUNTEX voor het eerst in een constructie zal worden toegepast. Deze locatie brengt wel extra uitdagingen met zich mee. Zo is het niet mogelijk om ondergronds te funderen en moet er rekening gehouden worden met bezoekers en hoe die omgaan met hun omgeving.

Het doel van dit project is het ontwerpen en berekenen van een veilige constructie voor een schaduwdoek, op basis van een ontwerp van Pauline van Dongen. Hiervoor zal worden gekeken naar de eisen die het textiel SUNTEX stelt en zullen er eurocodes worden geraadpleegd voor de juiste belastingcombinaties. Vervolgens zal met behulp van fysieke en computermodellen worden gecontroleerd of de constructie voldoet aan de gestelde eisen. In dit rapport zal niet verder worden getest aan het materiaal SUNTEX en zal er ook niet worden gekeken naar de verdere ontwikkeling hiervan. Ook de aansluitingen en stroomopslag van de energie die het SUNTEX op zal wekken liggen buiten beschouwing voor dit rapport. Verder moet rekening worden gehouden met een gelimiteerd budget en het tijdelijke karakter van de constructie.

In Hoofdstuk 2 zal het vooronderzoek besproken worden, met daarin achtergrondinformatie of membraanconstructies, het materiaal SUNTEX, en de keuze voor een veiligheidsnorm. In Hoofdstuk 3 wordt gekeken naar het ontwerpproces van het initiële idee tot een programma van eisen en wensen en het uiteindelijke ontwerp. In Hoofdstuk 4 wordt dit ontwerp berekend, en in Hoofdstuk 5 vindt u de conclusie met uiteindelijke afmetingen en aanbevelingen.

2 Vooronderzoek

2.1 Membraanconstructies

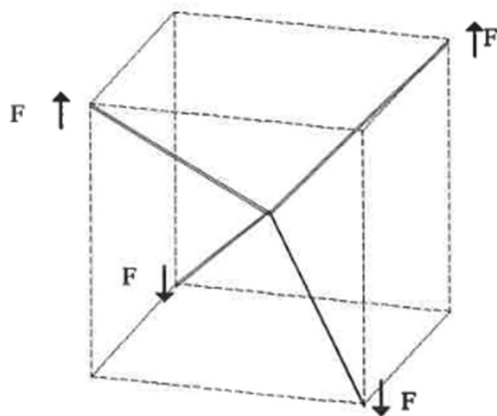
Hoewel membraanconstructies al eeuwen worden gebruikt in de vorm van tenten van voornamelijk trekkende volkeren zoals de tipi's in zie Figuur 2.1), is de huidige vorm van membraanconstructies een relatief recente ontwikkeling, welke in 1950 in een stroomversnelling terecht is gekomen. Eén van de architecten die deze vorm van bouwen heeft ontwikkeld tot wat het nu is, is Frei Otto (Kronenburg, 2015).



Figuur 2.1 Siksika (Blackfoot) tipi's (Rafton-Canning, ca. 1910)

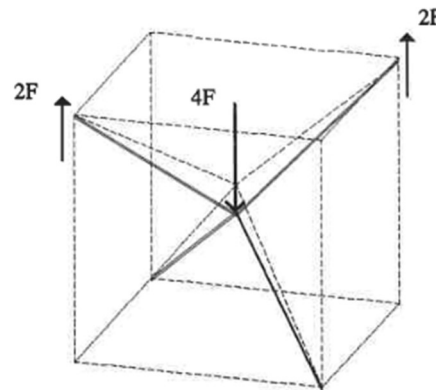
2.1.1 Het constructief basisprincipe

Bij het ontwerpen van membraanconstructies, is het belangrijk te onthouden dat het textiel/het membraan alleen trekkrachten op kan nemen. Om een zo'n efficiënt mogelijke constructie te bouwen, is het gewenst om deze trekkrachten zo gelijkmatig mogelijk te verdelen over het hele oppervlak. Deze gelijkmatige verdeling betekent ook dat het doek niet kan klapperen. Het bereiken van deze verdeelde trekkrachten, gebeurt door te zorgen dat het doek in twee richtingen gespannen is. Door het doek voor te spannen wordt ervoor gezorgd dat het doek niet slap gaat hangen bij belasting. Een versimpeld kabelmodel over dit principe is te zien in Figuur 2.2 en Figuur 2.3 (Houtman, 1996).



De verticale component van de voorspanning bedraagt F per kabel. Totaal is er een voorspanning van $2F$ omhooggericht en van $2F$ omlaaggericht aanwezig.

Figuur 2.2 Voorgespannen kabelmodel (Houtman, 1996)

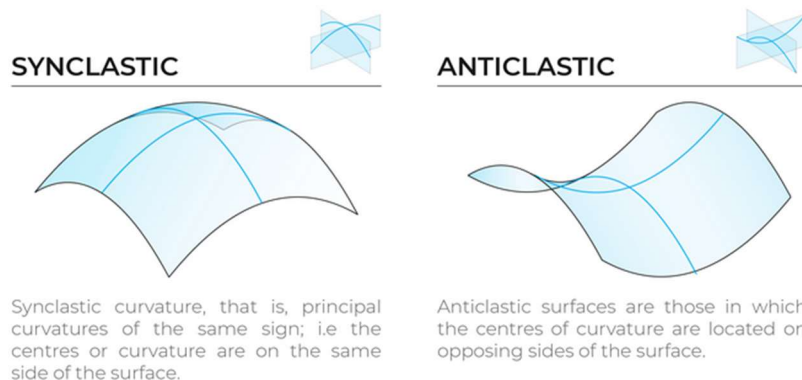


Bij een externe belasting van $4F$, worden de verticale reactiekrachten van kabel 1 met F per zijde verhoogd. De reactiekrachten van kabel 2 nemen per zijde met F af en worden 0. De maximaal opneembare externe belasting is dan $4F$.

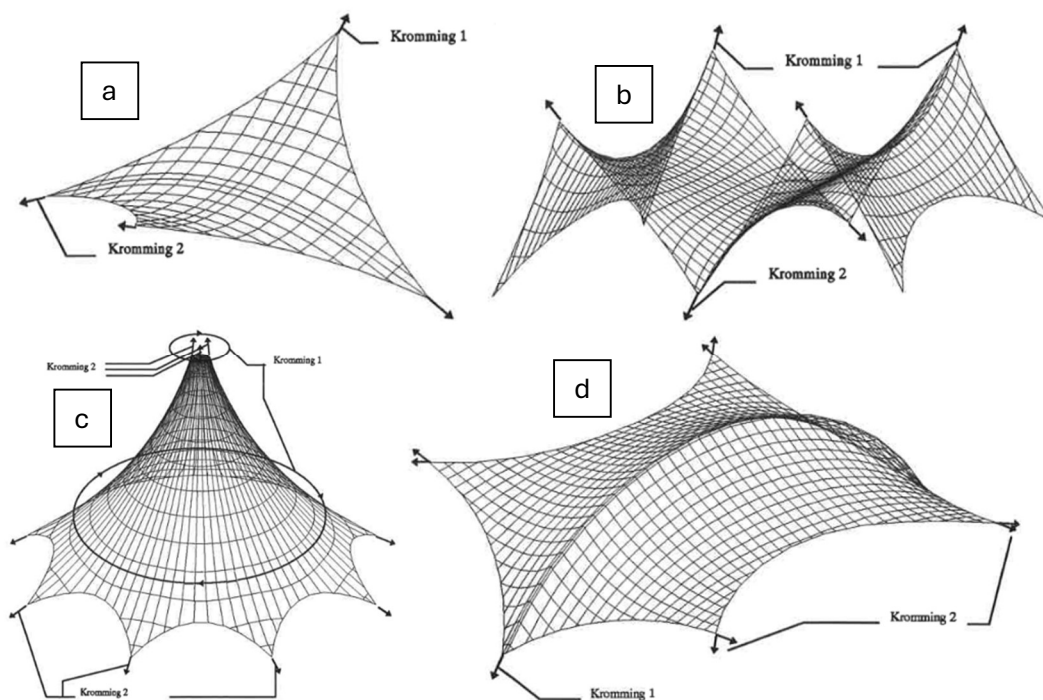
Figuur 2.3 Voorgespannen kabelmodel met belasting (Houtman, 1996)

2.1.2 Dubbel gekromde vlakken

Het in twee richtingen opspannen van het doek zorgt ervoor dat de constructie zowel opwaartse als neerwaartse (wind)belasting kan opnemen. Deze twee richtingen zorgen voor een dubbel gekromd oppervlak, welke door de flexibele eigenschap van het doek de kracht in meerdere richtingen kan afdragen. Er zijn twee soorten dubbel gekromde vlakken: Synclastisch en anticlastisch (zie Figuur 2.4). Synclastische constructies zijn afhankelijk van een overdruk aan de binnenzijde van het membraan, terwijl anticlastische constructies afhankelijk zijn van de constructie waaraan hij bevestigd is. Anticlastische oppervlaktes zijn beter toe te passen in open ruimtes. Er zijn verschillende ‘standaard’ anticlastische constructies, welke in Figuur 2.5 te zien zijn (Houtman, 1996).



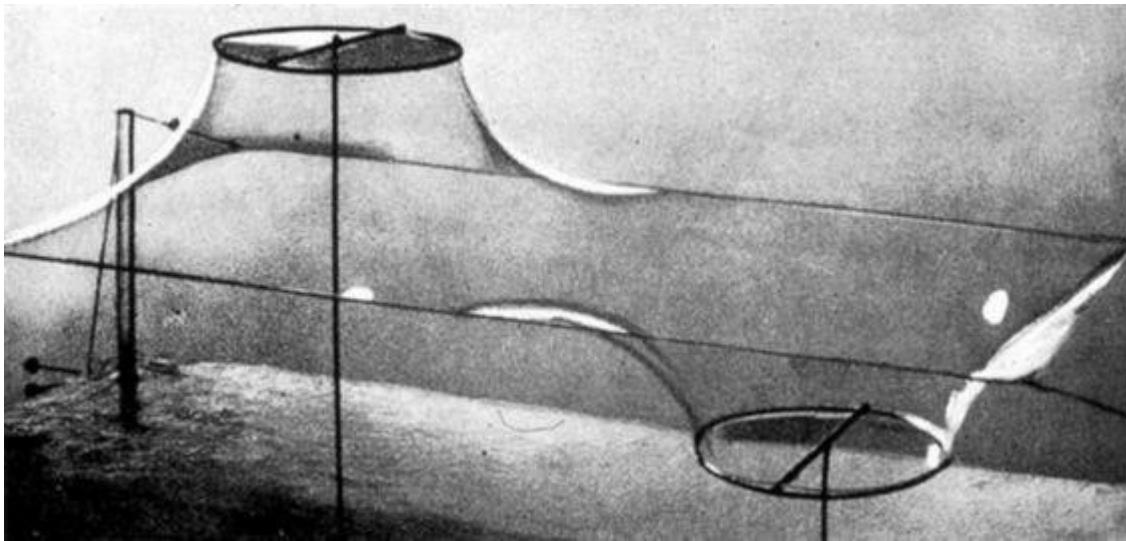
Figuur 2.4 Synclastische en anticlastische oppervlakten (Whitehead, 2019)



Figuur 2.5 Basisvormen anticlastische tentconstructies (a. Zadelvlak, b. Golfvlak, c. Hoogpuntvlak, d. Boogvlak) (Houtman, 1996)

2.1.3 Het ontwerpproces door de jaren heen

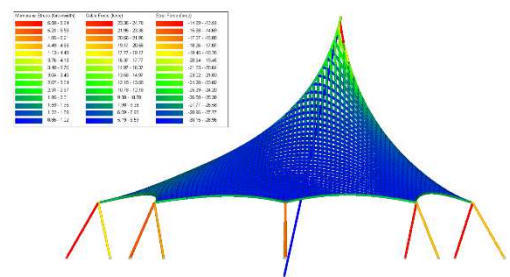
Het optimale (dubbel gekromde) vlak voor een membraanconstructie is lastig te bepalen. Een oplossing hiervoor is het maken van modellen, zeker in de tijd voordat er computermodellen waren die dit konden modelleren. Om te zorgen dat deze modellen alleen zijn gebaseerd op trekkrachten in het doek, kunnen zeepbellen worden gebruikt (Figuur 2.6). De zeepbellen hebben alleen een constante spanning over het gehele oppervlak, aangezien ze anders knappen. Dit leidt tot de optimale trekvorm voor de constructie en een minimaal oppervlak, gebaseerd op de randvoorwaarden (Mollaert, et al., 2004). Door vanuit verschillende hoeken foto's te maken van deze zeepmodellen, kan vervolgens een digitaal model worden gemaakt waarmee de detaillering kan worden bepaald.



Figuur 2.6 Zeepmodel (Otto)

2.1.4 EASY.FORM

EASY.FORM is een module van het programma EASY, specifiek voor het vinden van de optimale vorm van het membraan (Technet, sd). De vorm van het doek wordt bepaald door een constructie te maken in EASY zelf, of door een constructie te importeren vanuit een CAD model. Door middel van een gemodelleerde voorspanning, het plaatsen van kabels en vaste punten en het bepalen van de dichtheid van het “net” welke geldt als basis voor het membraan, wordt de optimale membraanvorm bepaald. Vervolgens kan ook de krachtwerking in het doek en in de ophengingen worden gevisualiseerd, zoals te zien is in Figuur 2.7.



Figuur 2.7 Voorbeeld membraan in EASY met weergegeven krachten en spanningen (Technet, sd)

In Hoofdstuk 4.2 is het volledige proces weergegeven voor het bepalen van de reactiekrachten in de gekozen constructie.

2.2 Suntex

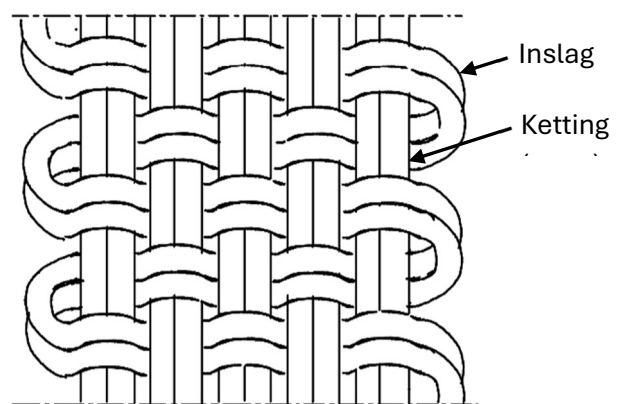
In dit project is gekeken naar het materiaal SUNTEX, een architectonisch textiel met geïntegreerde zonnepanelen, wat ten tijde van het schrijven nog in ontwikkeling is.

2.2.1 De ontwikkeling

SUNTEX is een project wat oorspronkelijk is gestart door modeontwerpster Pauline van Dongen. Zij is eerst begonnen met het verwerken van zonnepanelen in kleding en is vervolgens in samenwerking met het ontwerp- en ingenieursbureau Tentech gaan kijken naar de mogelijkheid om een architectonisch textiel met ingeweven zonnepanelen te ontwerpen. In dit proces wordt met de hulp van studenten stap voor stap gekeken naar de eigenschappen van het materiaal en naar de manieren waarop het beter of efficiënter kan.

2.2.2 Uitleg over ketting en inslag (warp en weft)

Textiel wordt gemaakt door draden met elkaar te verweven. Dit wordt gedaan op een weefmachine, waarbij er draden worden opgespannen; de ketting of de “warp”, waar andere draden doorheen worden geweven; de inslag of de “weft”. Hoewel er vele verschillende weefpatronen zijn die gebruikt kunnen worden, is voor SUNTEX vooral de zogenaamde “basketweave” van belang. Bij deze weeftechniek bestaan zowel de inslag als de weft uit twee draden. Een schematisering hiervan is te zien in Figuur 2.8.

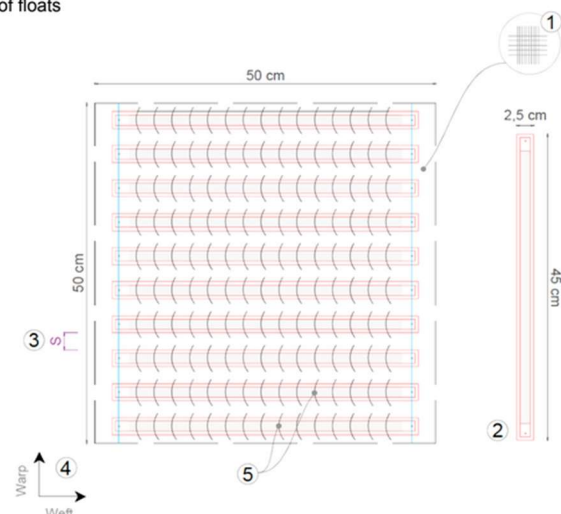


Figuur 2.8 Ketting en inslag van een basketweave

2.2.3 De samenstelling

Aangezien SUNTEX een materiaal is wat nog in ontwikkeling is, wordt er in dit verslag de keuze gemaakt om te werken met de variant waarvan de meeste informatie beschikbaar is. Dit is een stof gemaakt van “rPET” garens, welke zijn gemaakt van gerecycled polyester. De zonnepanelen zijn zogenaamde OPV (Organic PhotoVoltaic) strips, welke op maat gemaakt kunnen worden en flexibel zijn (ASCA, sd). Deze strips zijn door middel van zogenaamde “floating yarns” in het doek geweven, welke ook zijn gemaakt van rPET. Deze floating yarns bestaan uit kettingdraden welke op regelmatige afstanden over het doek heen “zweven” door een aantal inslagdraden over te slaan. Hoe het SUNTEX er uiteindelijk uit ziet is te zien in Figuur 2.9

1. Weave Pattern
2. Solar module dimensions
3. Spacing between OPV module
4. Solar module insertion direction
5. Number of floats



Figuur 2.9 SUNTEX schematisering (Ahmed, 2024)

2.2.4 Materiaaleigenschappen

De uiteindelijke samenstelling van SUNTEX stond ten tijde van het schrijven nog niet vast. Voor dit verslag is dan ook uitgegaan van de waardes die bekend waren, maar nog wel vaker getest moesten worden. Ook wordt ervanuit gegaan dat SUNTEX een treksterkte van 3000N/5cm in zowel de warp als weft richting kan bereiken, hoewel deze in de huidige samenstelling nog niet bereikt is. Ook is een eigengewicht van 5 N/m² aangenomen op basis van andere doeken waarvan het gewicht wel bekend is.

Tabel 2.1 Materiaal eigenschappen van SUNTEX

Wat	Waarde	Eenheid
Treksterkte (warp)	3000	N/5cm
Treksterkte (weft)	3000	N/5cm
Eigengewicht	onbekend, aangenomen op 5	N/m ²
Elasticiteitsmodulus (warp)	310	N/mm
Elasticiteitsmodulus (weft)	290	N/mm

2.3 Vergelijking standaard norm en norm voor tijdelijke tentconstructies.

Voor tijdelijke tentconstructies bestaat er een andere norm dan voor standaard constructies. Dit is norm NEN-EN-13782. Na overleg met Tentech is besloten om deze norm te gebruiken voor het ontwerpen van deze constructie. Een tweetal verschillen tussen deze norm en de standaard normen is in onderstaande punten toegelicht.

2.3.1 Wind

Waar er in de windnorm NEN-EN-1991-1-4 voor verschillende delen van Nederland verschillende windgebieden zijn en waar ook de mate van bebouwing meetelt, wordt er in de norm voor tijdelijke tentconstructies alleen gekeken naar de hoogte van de constructie. Ook zijn de vormfactoren minder uitgebreid. Voor een overkapping is er een opwaartse druk coëfficiënt $c_p = -0.7$ en een neerwaartse coëfficiënt van 0.3. Deze coëfficiënt geeft weer hoeveel van de wind invloed zal hebben op het dak, aangezien de wind niet met volledige kracht in verticale richting voor zal komen.

2.3.2 Specifieke controles

Naast de veiligheidsfactoren en belastingcombinaties conform NEN-EN 1990, is er ook een aantal specifieke controles voor tijdelijke tentconstructies. Deze controles gaan over het kantelen, schuiven en optillen van de constructie. Voor deze controles zijn er specifieke veiligheidsfactoren, welke te vinden zijn in Tabel 2.2 (Nederlands Normalisatie Instituut, Tijdelijke constructies - Tenten - Veiligheid (NEN-EN 13782), 2015).

Tabel 2.2 Partiële veiligheidsfactoren voor kantelen, schuiven en optillen (Nederlands Normalisatie Instituut, Tijdelijke constructies - Tenten - Veiligheid (NEN-EN 13782), 2015)

Loading		γ
1	Favourably acting proportions of the dead load	1.0
2	Unfavourably acting proportions of the dead load	1.1
3	Unfavourably acting wind loads	1.2
4	Unfavourably acting proportions of loads other than the loads listed in items 2 and 3	1.3
NOTE: If loads are resolved into components, then these components should be multiplied by the same value of γ		

3 Het ontwerpproces

Het ontwerpproces bestond uit een constante uitwisseling van wensen en keuzes vanuit Pauline van Dongen en ideeën en voorstellen vanuit mij en Tentech. Dit zorgde voor een dynamisch proces zonder eenduidige opdracht aan het begin. Er is daarom gekozen om eerst het initiële idee van Pauline van Dongen samen met een omgevingsanalyse om te zetten in een programma van eisen en wensen. Op basis van dit programma zijn drie voorontwerpen gemaakt, waarvan er tot slot één is gekozen.

3.1 Het initiële idee

In combinatie met de thema's in de Strategie Klimaatadaptatie Arnhem, met daarin het belang van en de noodzaak van meer schaduwrijke locaties (Strategie voor klimaatbewuste stad Arnhem, sd), heeft Pauline van Dongen een voorstel gedaan voor het maken van schaduwdoeken met het materiaal SUNTEX op het Audrey Hepburnplein in Arnhem. Dit is een plein in het gebied met de hoogste urgentie om de opwarming te verminderen zoals te zien is in de

Bijlage: Hitte Attentiekaart Arnhem (Hitte Attentiekaart 2023, 2023).

Deze schaduwdoeken moeten organisch gevormd zijn en op een “speelse” manier geplaatst kunnen worden op het plein. De eerste schetsen zijn te zien in Figuur 3.1 en Figuur 3.2, waarbij er in de schetsen van Figuur 3.2 rekening is gehouden met de eerste feedback over stabiliteit en kruisverbanden. Zoals te zien in de eerste schetsen van Pauline van Dongen waren er nog geen stabiliteitsverbanden aanwezig en stonden de schaduwdoeken nog op slanke, losstaande poten. De combinatie van de gebogen poten is verder meegenomen in het ontwerpproces.



Figuur 3.1 Eerste ontwerpschets (Pauline van Dongen, 2024)



Figuur 3.2 Ontwerpschets met kruisverbanden (Pauline van Dongen, 2024)

3.2 Omgevingsanalyse

Aangezien de schaduwdoeken op het Audrey Hepburnplein komen te staan, is het belangrijk om uit te zoeken met welke factoren er rekening moet worden gehouden in het ontwerp. Hier zal worden gekeken naar de aanwezige elementen op het plein, de soorten bezoekers en er zal worden gekeken naar de wind en zon op het plein.

3.2.1 Fysieke objecten op en om het Audrey Hepburnplein

Het Audrey Hepburnplein is een grofweg driehoekig plein, dat aan één kant wordt afgesloten door water, aan één kant door een busbaan en aan één kant door het FOCUS filmtheater. Op het plein staan drie jonge bomen van ongeveer vier à vijf meter hoog, met daartussen een standbeeld. Aan de waterkant staat een bankje, waar de gemeente Arnhem graag de schaduwdoeken overheen wil kunnen zetten. Het FOCUS filmtheater heeft een eigen terras wat tegen de oostzijde van het plein zit. In combinatie met een eventuele aanvoerroute naar het Filmtheater, zorgen deze elementen voor een beschikbare vrije ruimte van ongeveer 12 bij 18 m (zie Figuur 3.3).

Verder is het gezien de tijdelijke aard van de constructie(s) en de bestrating op het plein niet mogelijk om fundering onder of in de grond te plaatsen. Hierdoor is het gebruik van haringen of ondergrondse betonplaten niet mogelijk en is er gekeken naar bovengrondse oplossingen om de reactiekrachten uit de constructie op te nemen.



Figuur 3.3 Situatieschets van het Audrey Hepburnplein, Arnhem, met 3D afbeelding (Google Earth, 2024)

3.2.2 Bezoekers en voorbijgangers

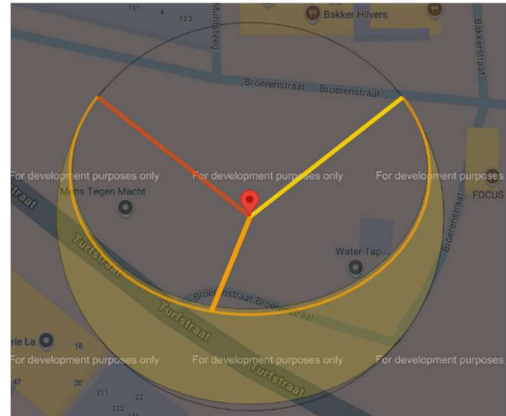
Gezien het filmtheater met het bijbehorende terras en het achterliggende winkelcentrum, is het aan te nemen dat er veel bezoekers te voet of op de fiets langs het Audrey Hepburnplein zullen komen. Zeker voor de mensen te fiets, kunnen de schaduwdoeken als goede constructies gezien kunnen worden waar de fiets tegenaan gezet kan worden, om snel op en neer naar een winkel te kunnen gaan. Voor de voetgangers kunnen de poten van de constructie ook gebruikt worden om tegenaan te leunen, en mochten er mensen zijn die met wisselende intenties willen testen hoe stevig de constructie staat. In deze gevallen is het van belang dat ook deze krachten veilig opgenomen kunnen worden. Dit laatste zal in een vervolgonderzoek bekeken moeten worden.

3.2.3 Weerseffecten

In NEN-EN-13782 is voor de hoogte van een tentconstructie aangegeven welke stuwdruk meegenomen moet worden. Daarbij staat ook dat een stuwdruk van 0.3 kN/m^2 aangenomen mag worden wanneer de constructie lager dan 5 m, of smaller dan 10 m is. Gezien het feit dat het schaduwdoek niet breder dan 10 m zal worden, is dit de waarde waar verder in dit verslag mee is gerekend.

Mocht de constructie ook worden gecheckt op de windeffecten volgens NEN-EN-1991-1-4, dan zou er rekening gehouden moeten worden met het feit dat Arnhem in windgebied III in Nederland ligt (Nederlands Normalisatie Instituut, NEN-EN-1991-1-4) en dat er sprake is van bebouwd gebied. Dit zou leiden tot een extreme stuwdruk van 0.48 kN/m^2 .

Tijdens de zomer komt de zon voornamelijk vanuit het zuiden (Agafonkin, 2024), zoals te zien is in Figuur 3.4). Dit is iets waarmee met de plaatsing van de schaduwdoeken rekening gehouden moet worden. Ook tijdens het ontwerpen is dit iets om in het achterhoofd te houden, aangezien de gemeente de bankjes op het plein graag betrokken ziet worden bij de schaduwdoeken.



Figuur 3.4 Zonneboog voor een zomerdag op het Audrey Hepburnplein in Arnhem (Agafonkin, 2024)

3.3 Programma van eisen en wensen

Op basis van de alle bekende gegevens is hier een overzicht te zien van alle eisen en wensen.

3.3.1 Constructieve eisen

- Het schaduwdoek moet voldoende stabiel zijn (volgens NEN-EN-13782);
- Het schaduwdoek moet voldoende stijf zijn (volgens NEN-EN-13782);
- Het schaduwdoek moet veilig zijn;
- Het schaduwdoek kan niet gebruikmaken van een ondergrondse fundering;
- De constructie moet zodanig stabiel en sterk zijn dat het SUNTEX niet kapot gaat.

3.3.2 Functionele eisen

- Het schaduwdoek moet schaduw geven aan voetgangers;
- De constructie moet relatief snel op en af te bouwen zijn;
- De constructie moet relatief makkelijk te maken zijn.

3.3.3 Wensen

- Het schaduwdoek moet een esthetische toevoeging zijn aan het plein;
- De bankjes op het plein moeten geïntegreerd kunnen worden;
- De constructie moet bestaan uit organische vormen;
- De schaduwdoeken moeten een totaal oppervlak van 40 m^2 krijgen, met ongeveer 5 m^2 per doek.

3.4 Voorontwerpen

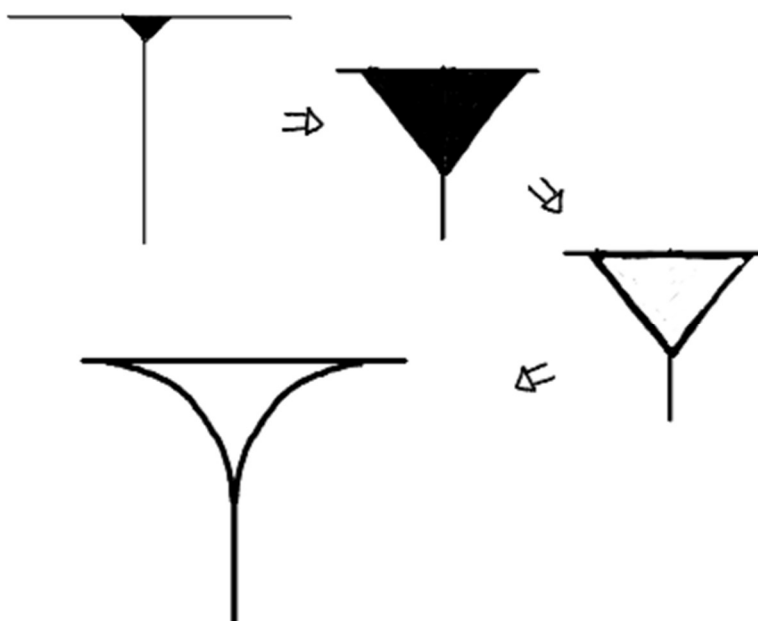
Op basis van het programma van eisen zijn er drie ontwerpen gemaakt, welke hier beschreven zullen worden. Voordat deze ontwerpen is inspiratie opgedaan vanuit een eerder project van Tentech; een busstation in Bree.

3.4.1 Inspiratie: Busstation in Bree

Tentech heeft in 2016 een busstation in Bree, België ontworpen (Figuur 3.5). De poten die meebuigen met de schaal van het membraan zorgen voor een gelijkmatige krachtverdeling en door bij elk punt twee poten tegenover elkaar te zetten zijn het in effect allemaal vaste verbindingen waar het midden uit is gehaald (Figuur 3.6). Ditzelfde principe heb ik meegenomen in de voorontwerpen voor de schaduwdoeken in Arnhem.



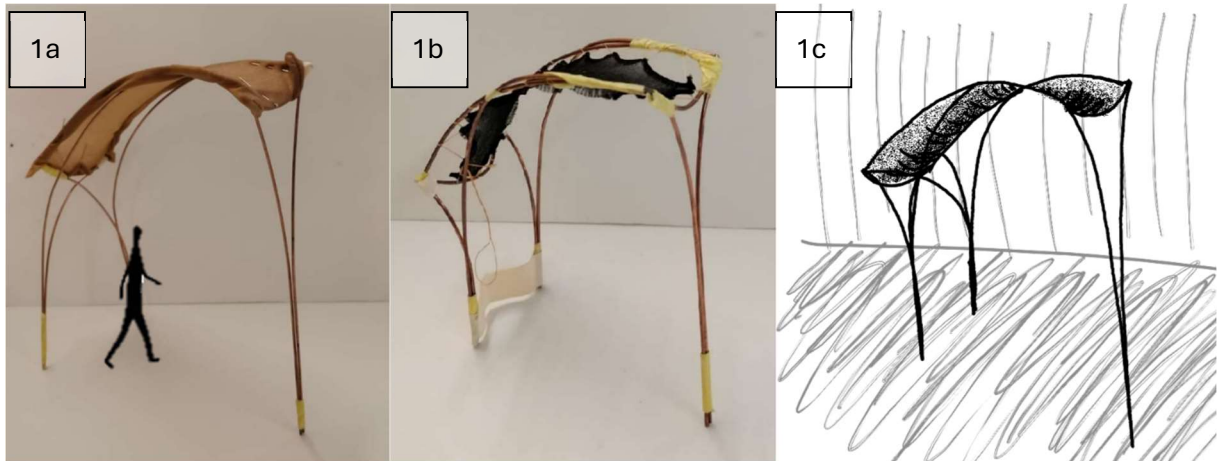
Figuur 3.5 Busstation in Bree (Tentech, 2016)



Figuur 3.6 Materiaalreductie bij een vaste verbinding

3.4.2 Variant 1: Driepoot

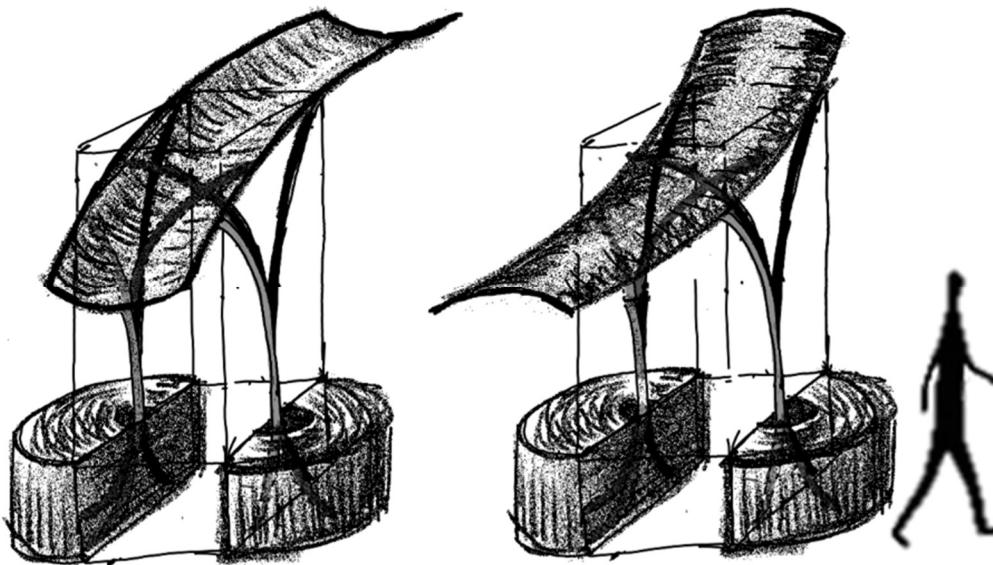
De eerste variant komt het dichtst in de buurt van de originele schetsen van Pauline van Dongen en is te zien in Figuur 3.7. De gebogen kolommen zijn zo bevestigd dat ze in essentie een vaste verbinding vormen, zoals dit ook het geval is bij het busstation is Bree. Zoals in Figuur 3.7 te zien is, zijn er twee verschillende varianten van de driepoot, waarbij variant 1a stabiel is in de lengterichting van het doek dan 1b, maar de zijwaartse stabiliteit van 1b is beter dan die van 1a. Een oplossing hiervoor is om 1a en 1b te combineren tot een variant waarbij de twee poten in drie richtingen verbonden zijn met de constructie, zoals te zien is in de schets van variant 1c.



Figuur 3.7 Variant 1(a, b, c): Driepoot

3.4.3 Variant 2: Tweepoot

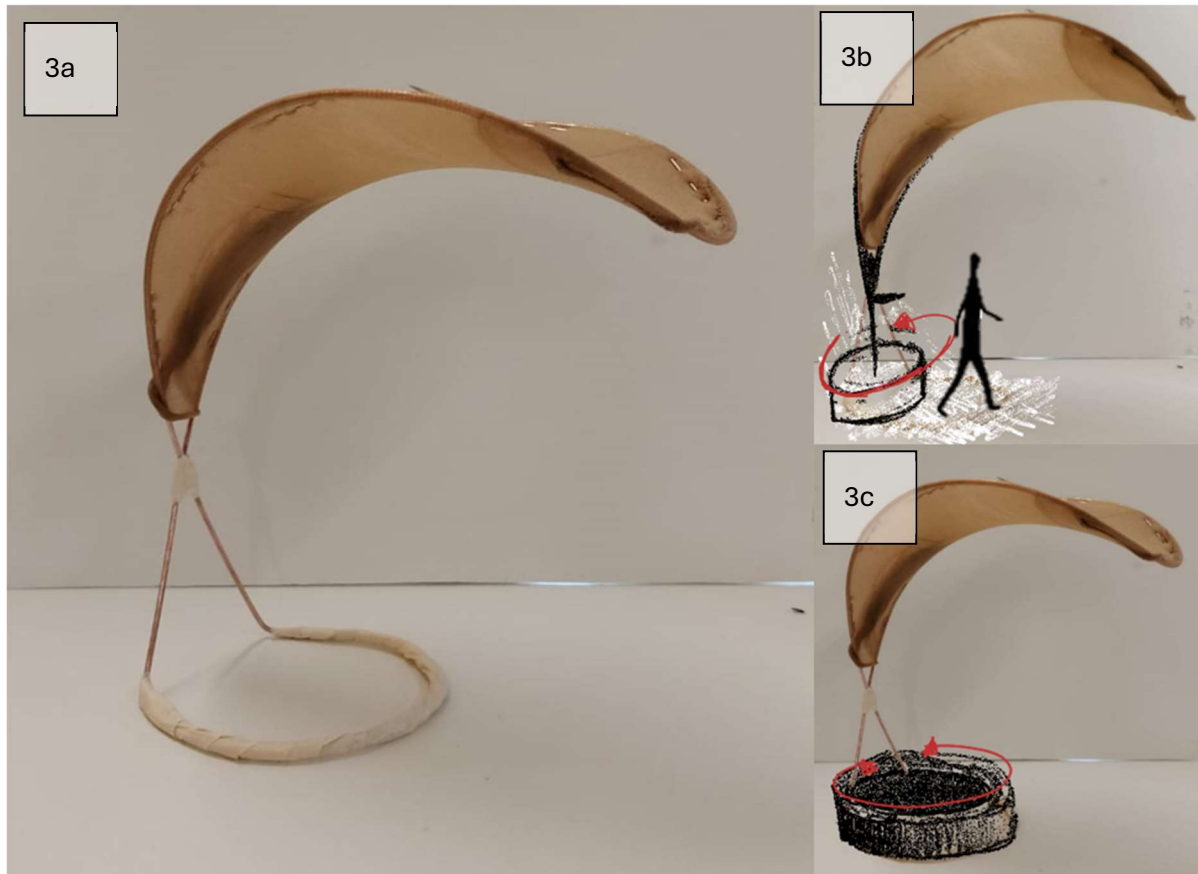
Variant 2 is voortbouwend op variant 1 en dan specifiek variant 1c. Variant 2 gebruikt dezelfde gecombineerde poot, maar door hem meer richting het midden te plaatsen is de extra poot niet nodig. Dit betekent wel dat de twee poten onderin extra goed verzwaid moeten worden, bijvoorbeeld door het bankje zoals te zien is in Figuur 3.8. De exacte buiging van de schalen van het doek moeten dan zo bepaald worden, dat deze in beide richtingen op de poten kan staan, waardoor er met dezelfde basis vormen verschillende varianten gemaakt kunnen worden. Dit zorgt ervoor dat de kosten mogelijk lager liggen doordat er één productieproces is voor verschillende vormen.



Figuur 3.8 Variant 2: Tweepoot

3.4.4 Variant 3: Blad

Bij de laatste variant is inspiratie genomen uit de vloeiende vorm van de schetsen en van het busstation in Bree. Gecombineerd met de wens voor een constructie die “lijkt te zweven” is de derde variant gemaakt, zoals te zien in Figuur 3.9. Bij deze variant kan ook nagedacht worden over het creëren van de mogelijkheid om het schaduwdoek te laten draaien (variant 3b en 3c), waardoor de gebruikers voor een langere periode kunnen genieten van de schaduw en de zonnepanelen in het SUNTEX efficiënter richting de zon zullen staan.



Figuur 3.9 Variant 3(a, b, c): Blad

3.5 Gekozen variant met bijbehorende extra eisen en wensen

Na overleg met Pauline van Dongen en Tentech is naar voren gekomen dat variant 3B, het blad, het gewenste ontwerp was. Bij deze keuze zijn extra wensen voor het ontwerp gekomen. Zo moet het blad kunnen draaien ten opzichte van de “steel” en moet het blad in hoogte verstelbaar zijn. Ook is er de wens om het blad te kunnen kantelen, zodat er een gevarieerde samenstelling kan worden gemaakt. Deze verschillende standen zijn niet meegenomen in het ontwerp in dit verslag. De eis betreffende de stijfheid is concreter gemaakt door het uiteinde van het doek maximaal 10 cm omhoog en maximaal 10 cm omlaag te laten staan in een vervormde stand. Het doorrekenen en in detail ontwerpen van deze variant is in het volgende hoofdstuk te zien.

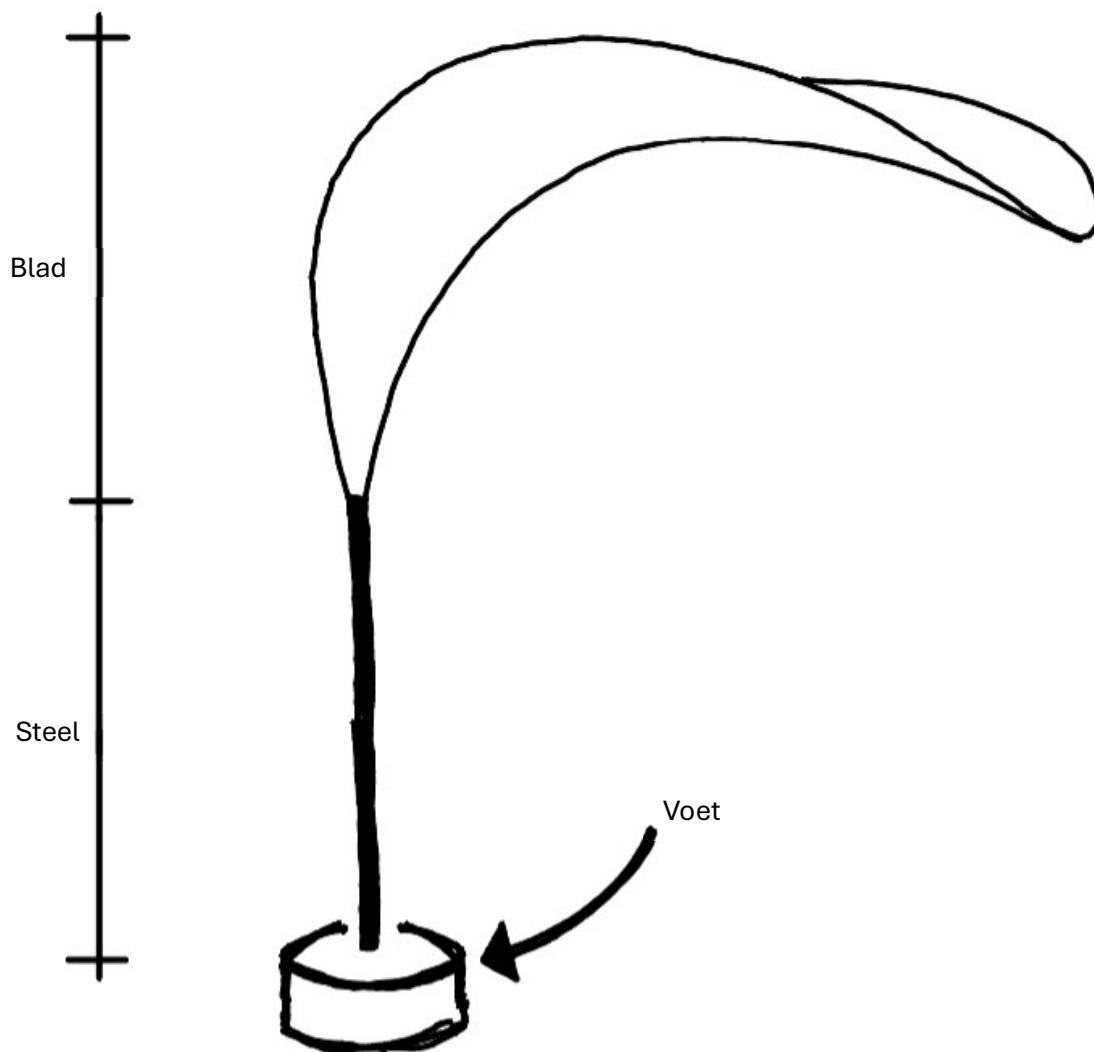
4 Berekening van het uiteindelijke ontwerp

In dit hoofdstuk is gekeken naar de berekening van het schaduwdoek. Hiervoor is het doek opgedeeld in drie delen: het blad, de steel en de voet (zie Figuur 4.1).

Als eerste is het moment in de aansluiting tussen het blad en de steel bepaald door middel van een vereenvoudigde handberekening, waarmee een eerste schatting is gemaakt van de benodigde buisdiameter van de rand van het blad. Vervolgens is de volledige constructie, inclusief de bepaalde buisdiameter, in EASY gemodelleerd om de daadwerkelijke krachten en verplaatsingen te bepalen. Met behulp van Unity Checks (UC's) is gekeken of de gekozen diameter volstaat.

Gezien de wens voor een draaiend blad, wat buiten de scope van het onderzoek in dit rapport ligt, wordt de berekening van de steel vereenvoudigd. Er is op basis van de maximum verplaatsing van 10 cm uit Hoofdstuk 3.5 en het kwispeleffect een buisprofiel gekozen, waarvan het eigengewicht en de lengte vervolgens meegenomen zijn in de berekeningen van de voet.

De voet is met handberekeningen gedimensioneerd. Hierbij is gekeken naar het kantelen, schuiven en optillen van de constructie.



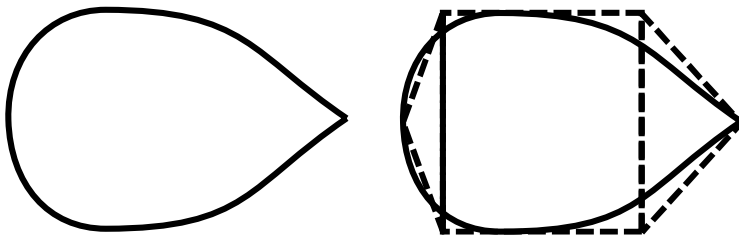
Figuur 4.1 Het blad, de steel en de voet van de constructie

4.1 Handberekening van het blad

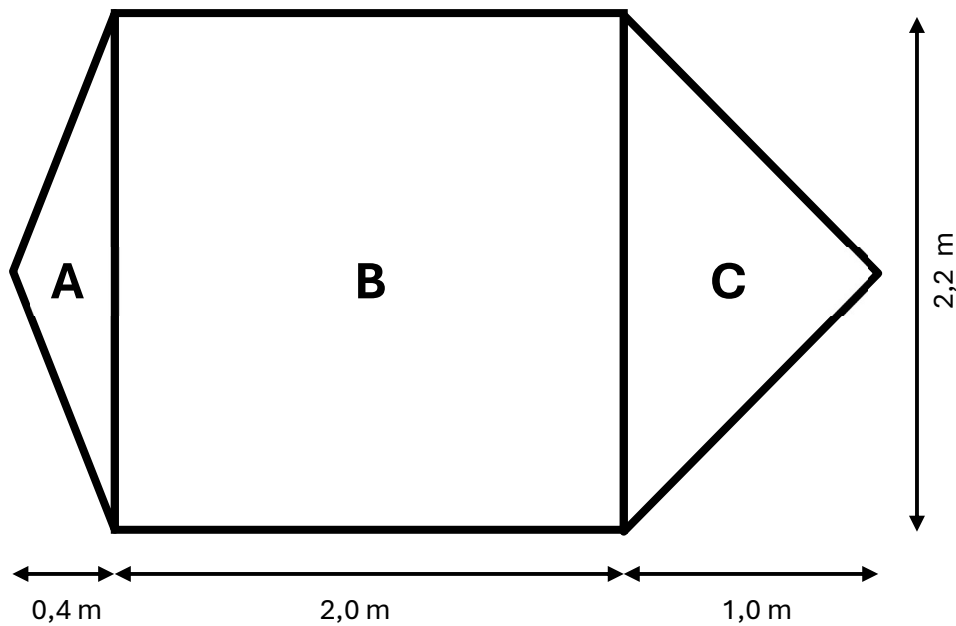
Voor een eerste handberekening is een situatie met opwaartse winddruk aangenomen. Hierbij is het eigengewicht van het doek en de rand verwaarloosd aangezien deze nog niet bekend is en aangezien dit een extra veiligheid creëert voor de niet precieze handberekening en eventuele torsie die nog niet met de handberekening kan worden bepaald.

4.1.1 Vereenvoudiging

Om het maken van de handberekeningen te vereenvoudigen, is eerst gekeken naar een versimpelde vorm van de constructie. De druppelvorm van de uiteindelijke constructie, is geschematiseerd als een samenstelling van een rechthoek en twee driehoeken, zoals in Figuur 4.2 te zien is. De uiteindelijke afmetingen zijn te zien in Figuur 4.3. De versimpeling heeft een totaal oppervlak van ongeveer 5.9 m^2 . Vergeleken de gewenste 5 m^2 is dit net iets meer, maar zoals de vereenvoudiging laat zien is de gekozen vorm ook net iets groter dan de originele druppelvorm.



Figuur 4.2 Vereenvoudiging van de vorm



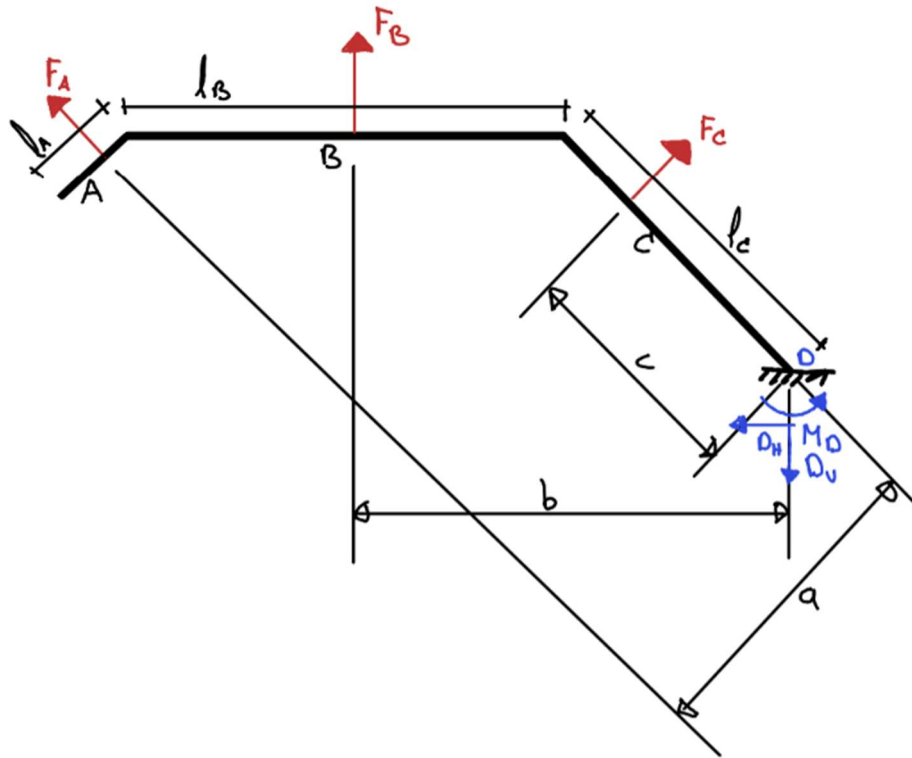
Figuur 4.3 Afmetingen van de vereenvoudigde vorm



Figuur 4.4 Zijaanzicht van de vereenvoudigde vorm

4.1.2 Afmetingen en afstanden in de schematisering

Op basis van Figuur 4.3 en Figuur 4.4 zijn de waarden die in Figuur 4.5 zijn aangegeven bepaald. Deze zijn terug te vinden in Tabel 4.1 Afstanden en oppervlaktes van de geschematiseerde constructie. De krachtarmlen zijn bepaald met behulp van de verhoudingen van een gelijkbenige rechthoekige driehoek ($1:1:\sqrt{2}$). Deze gegevens zijn vervolgens gebruikt bij het bepalen van de reactiekrachten in het punt D.



Figuur 4.5 Schematisering van de constructie

Tabel 4.1 Afstanden en oppervlaktes van de geschematiseerde constructie

Symbol	Waarde	Eenheid	Beschrijving
A_A	0.44	m^2	Oppervlakte van driehoek A
A_B	4.4	m^2	Oppervlakte van rechthoek B
A_C	1.1	m^2	Oppervlakte van driehoek C
l_A	0.40	m	Lengte van A
l_B	2.0	m	Lengte van B
l_C	1.0	m	Lengte van C
a	1.55	m	Loodrechte krachttarm van resultante kracht F_A
b	1.71	m	Loodrechte krachttarm van resultante kracht F_B
c	0.333	m	Loodrechte krachttarm van resultante kracht F_C

4.1.3 Berekening van de resultante krachten

Voor de krachten F_A , F_B en F_C is de stuwdruk ($q = 0.3 \text{ kN/m}^2$) vermenigvuldigd met het oppervlak van het betreffende vlak en met de vormfactor $c_f = 0.7$ voor opwaartse wind (Nederlands Normalisatie Instituut, Tijdelijke constructies - Tenten - Veiligheid (NEN-EN 13782), 2015). Deze krachten grijpen aan in het zwaartepunt van hun vlak, dus voor F_A en F_C betekent dit op één derde van hun lengte en voor F_B betekent dit in het midden van het vlak.

$$F_A = A_A * q = \frac{1}{2} * b * l_A * q * c_f = \frac{1}{2} * 2.2 * 0.40 * 0.30 * 0.7 = 0.092 \text{ kN}$$

$$F_B = A_B * q = b * l_B * q * c_f = 2.2 * 2.0 * 0.30 * 0.7 = 0.92 \text{ kN}$$

$$F_C = A_C * q = \frac{1}{2} * b * l_C * q * c_f = \frac{1}{2} * 2.2 * 1.0 * 0.30 * 0.7 = 0.23 \text{ kN}$$

Met:

q	[kN/m ²]	stuwdruk
c_f	[-]	vormfactor voor opwaartse wind
b	[-]	breedte van de constructie
l_A	[m]	lengte van deel A
l_B	[m]	lengte van deel B
l_C	[m]	lengte van deel C

4.1.4 Berekening van de reactiekrachten

Om de reactie krachten rondom het punt D te bepalen zoals dit in Figuur 4.5 te zien is, wordt gebruik gemaakt van het krachtenevenwicht. Hierbij moet de som van alle horizontale krachten nul zijn, de som van alle verticale krachten nul zijn en ook de som van de momenten nul zijn.

Voor het horizontale krachtenevenwicht geldt:

$$\Sigma F_h = -\frac{F_A}{\sqrt{2}} + \frac{F_C}{\sqrt{2}} - D_h = 0$$

$$D_h = -\frac{F_A}{\sqrt{2}} + \frac{F_C}{\sqrt{2}} = -\frac{0.092}{\sqrt{2}} + \frac{0.23}{\sqrt{2}} = 0.098 \text{ kN}$$

Voor het verticale krachtenevenwicht geldt:

$$\Sigma F_v = \frac{F_A}{\sqrt{2}} + F_B + \frac{F_C}{\sqrt{2}} - D_v = 0$$

$$D_v = \frac{F_A}{\sqrt{2}} + F_B + \frac{F_C}{\sqrt{2}} = \frac{0.092}{\sqrt{2}} + 0.92 + \frac{0.23}{\sqrt{2}} = 1.1 \text{ kN}$$

Voor het momentenevenwicht geldt:

$$\Sigma T|_D = aF_A + bF_B + cF_C - M_D = 0$$

$$M_D = aF_A + bF_B + cF_C = 1.55 * 0.092 + 1.71 * 0.92 + 0.333 * 0.23 = 1.8 \text{ kNm}$$

Met in bovenstaande berekeningen:

F_A	[kN]	Resultante kracht vlak A
F_B	[kN]	Resultante kracht vlak B
F_C	[kN]	Resultante kracht vlak C
D_h	[kN]	Horizontale reactiekracht in D
D_v	[kN]	Verticale reactiekracht in D
M_D	[kNm]	Inklemmingmoment in D
a	[m]	Krachtarm van F_A
b	[m]	Krachtarm van F_B
c	[m]	Krachtarm van F_C

Aangezien er in het punt D vlak boven de steel twee buizen samenkomen, is er aangenomen dat deze twee buizen de krachten verdeeld opnemen. Dit betekent dat voor het bepalen van de spanning de gevonden waarden door twee is gedeeld. Dit leidt tot een moment van $M = 0.90 \text{ kNm}$ en een normaalkracht van $N = 0.57 \text{ kN}$.

4.1.5 Bepalen van de buisdoorsnede

Voor het bepalen van de buisdoorsnede, is gebruik gemaakt van de vloeigrens van het staal. Er is gekozen voor staalsterkte S235, wat betekent dat de maximum spanning in de uiterste vezel van de doorsnede niet boven de 235 N/mm^2 , de vloeigrens, mag komen. Omdat de torsie nog niet is meegenomen in de handberekening, is de veiligheidsfactor voor veranderlijke ongunstige belastingen toegepast, welke uit de belastingcombinaties is gehaald. Deze factor is $\gamma_Q = 1.5$ (Nederlands Normalisatie Instituut, Tijdelijke constructies - Tenten - Veiligheid (NEN-EN 13782), 2015).

De formule voor een doorsnede die zowel op druk als op buiging belast wordt, bestaat uit de spanning in de uiterste vezel door de normaalkracht, plus de spanning in de uiterste vezel door het buigend moment:

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W} + \frac{N}{A} < \frac{f_y}{\gamma_Q}$$

Hierna volgt een iteratief proces, waar voor verschillende bekende buisdiameters en -diktes is gekeken wat het optimale profiel is waarbij hij voldoet aan de eisen, maar de kleinst mogelijke oppervlakte krijgt. Met behulp van het Polytechnisch Zakboek (Herwijnen, Leijendeckers, Roeck, Schwippert, & Verbakel, 2010) is uiteindelijk de keuze gevallen op een buisprofiel met een diameter van 57 mm en een dikte van 2.9 mm:

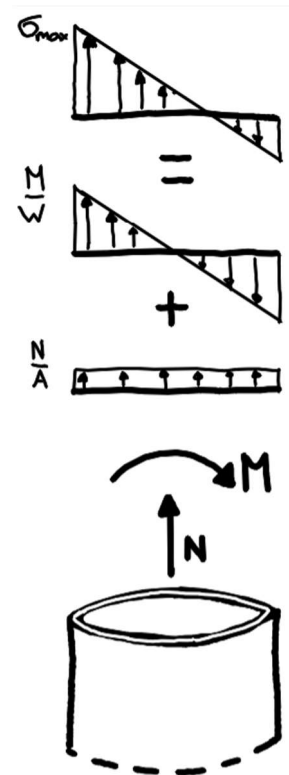
$$\sigma_{max} = \frac{M}{W} + \frac{N}{A} = \frac{0.90 \cdot 10^6}{6.35 \cdot 10^3} + \frac{0.57 \cdot 10^3}{493} = 142.40 < 156.67 = \frac{235}{1.5} = \frac{f_y}{\gamma_Q}$$

Met:

σ_{max}	[N/mm ²]	Maximum spanning, op de locatie zoals te zien in Figuur 4.6;
M	[Nmm]	Moment, de helft van de eerder gevonden M_D ;
W	[mm ³]	Elastische weerstandsmoment van de gekozen doorsnede;
N	[N]	Normaalkracht, de helft van de eerder gevonden F_v ;
A	[mm ²]	Oppervlakte van de doorsnede;
f_y	[N/mm ²]	Vloeispanning;
γ_Q	[-]	Veiligheidsfactor voor ongunstige variabele belasting.

4.1.6 Afmetingen op basis van de handberekeningen

Op basis van de handberekeningen is een blad ontstaan van 3.06 bij 2.2 m. Hierbij is het randprofiel een buis met een diameter van 57 mm en een dikte van 2.9 mm. Deze waarden zijn vervolgens meegenomen in het EASY model.



Figuur 4.6 Spanningen in de doorsnede van één buis

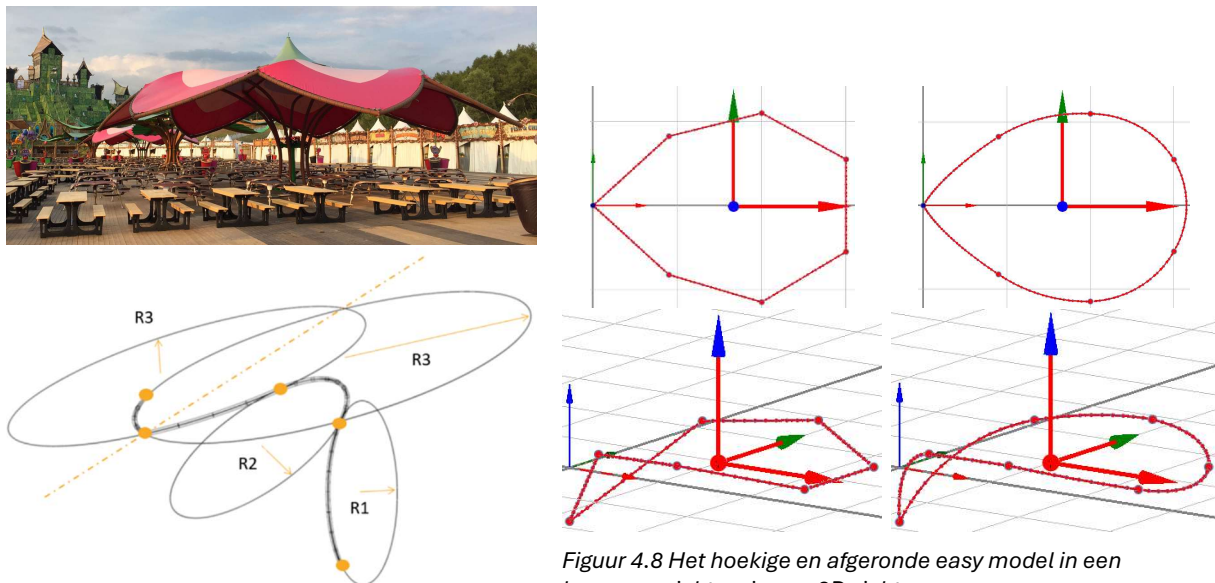
4.2 Easy model

Om de daadwerkelijke krachten in het doek en op de buizen te kunnen bepalen, is gebruik gemaakt van het programma Easy. Easy bestaat uit meerdere software pakketten, waaronder een form finding module, die op basis van gegeven vaste punten kan bepalen wat de optimale vorm van het doek is. Vervolgens is ook het eigengewicht en de windbelasting hierin worden gemodelleerd om te zien wat de krachten op de volledige vorm zijn.

4.2.1 Exacte vorm van het blad

De exacte vorm van het blad is met behulp van het fysieke model bepaald. Hierbij zijn de Flower sheds van Tentech als voorbeeld genomen (Figuur 4.7 (Tentech, Flower sheds, 2015)). Dit paviljoen bestaat uit zeven dezelfde vormen, welke zijn opgebouwd uit stukken buis die in één richting gekromd zijn. Door deze stukken loodrecht op elkaar te bevestigen ontstaat te vloeiende vorm die het paviljoen heeft.

Voor het blad van het schaduwdoek is hetzelfde principe aangenomen. Door coördinaten van zeven vaste punten te bepalen en de lijnstukken een bepaalde kromming te geven, is de vorm gemaakt. Nadat de rand vastgezet is, kan EASY de vorm van het membraan bepalen door middel van een virtueel net. Deze stappen en de uiteindelijke vorm zijn te zien in Figuur 4.8. Voor een perfect vloeiende vorm zal de constructie in een modelleerprogramma zoals AutoCAD of Rhino gemaakt moeten worden.

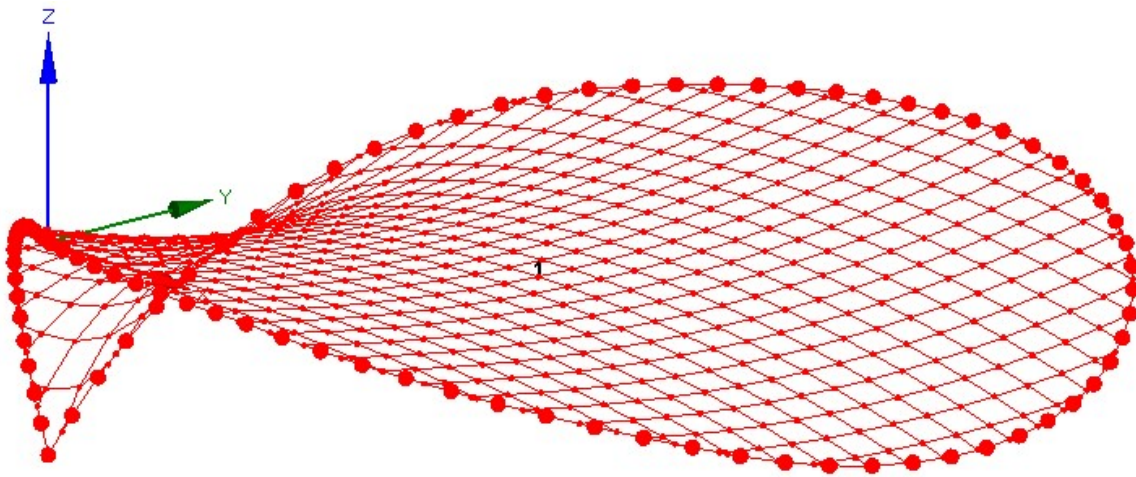


Figuur 4.7 Flower shelter met het uiteindelijke shelter (boven) en het ontwerp van de herhalende randvorm (onder) (Tentech, Flower sheds, 2015)

Figuur 4.8 Het hoekige en afgeronde easy model in een bovenaanzicht en in een 3D zicht

De uiteindelijke vorm van het doek is in Figuur 4.9 te zien, waarbij een voorspanning van 1 kN/m is toegepast. Het oppervlak van dit uiteindelijke doek is net iets meer dan 5 m² wat voldoet aan de eisen. Verder is het doek 3.15 m lang en ongeveer 2.2 m breed.¹

¹ De exacte waarden zijn verloren gegaan door een stroomstoring.



Figuur 4.9 Uiteindelijke vorm van het blad

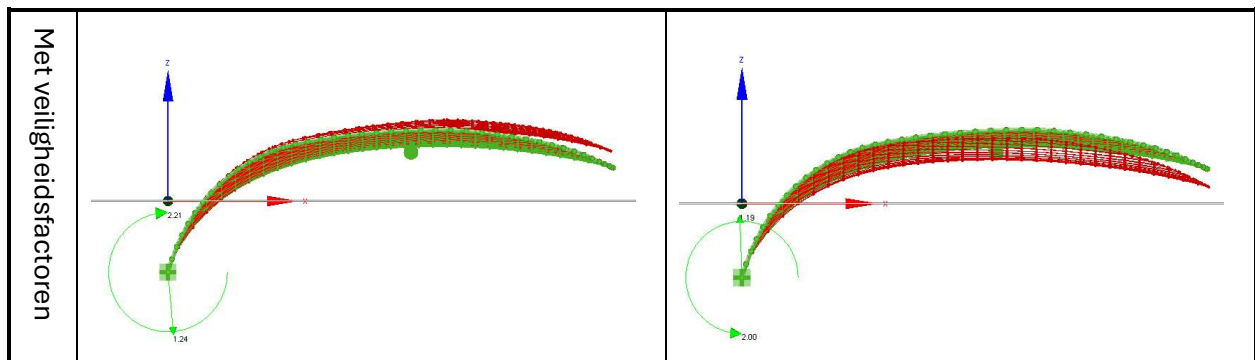
4.2.2 Belasting en resultaten in EASY

De volgende stap is de statische analyse. Hier zijn materialen toegekend aan en belastingen geplaatst op de constructie, waarna EASY de resultaten weergeeft. Voor de berekeningen zijn zowel situaties zonder veiligheidsfactoren als met veiligheidsfactoren uitgerekend. Deze veiligheidsfactoren zijn uit NEN-EN-13782 gehaald, met een γ_G voor permanente gunstige belastingen van 1.0, een γ_G voor permanente ongunstige belastingen van 1.35 en een γ_Q voor ongunstige veranderlijke belastingen van 1.5 (Nederlands Normalisatie Instituut, Tijdelijke constructies - Tenten - Veiligheid (NEN-EN 13782), 2015).

De uiteindelijke vervormingen zijn in een zijaanzicht te zien in Tabel 4.2 met de vervormde constructie in het rood. De resultaten van de belastingcombinaties zijn te zien in Tabel 4.3. Hierbij is gekozen om geen positieve of negatieve waarden te gebruiken, maar door met pijltjes de richting aan te geven hoe ze op de steel werken ten opzichte van het aanzicht in Tabel 4.2

Tabel 4.2 Vervormingen van verschillende belastingcombinaties

	Opwaartse wind	Neerwaartse wind
Zonder veiligheidsfactoren		



Tabel 4.3 Resultaten EASY

		Symbol	Eenheid	Opwaartse stuwdruk	Neerwaartse stuwdruk
Zonder veiligheidsfactoren	Veiligheidsfactor eigengewicht	γ_G	-	1.0	1.0
	Veiligheidsfactor stuwdruk	γ_Q	-	1.0	1.0
	Moment op de steel	M_D	kNm	1.284 ($\curvearrowright$)	1.41 ($\curvearrowright$)
	Verticale kracht op de steel	D_v	kN	0.698 ($\uparrow$)	0.839 ($\downarrow$)
	Horizontale kracht op de steel	D_h	kN	0.0777 ($\leftarrow$)	0.0303 ($\rightarrow$)
	Maximale torsie	τ_{max}	kNm	0.13	-
	Maximale verplaatsing	Δh_{max}	m	0.073	0.088
Met veiligheidsfactoren	Veiligheidsfactor eigengewicht	γ_G	-	1.0	1.35
	Veiligheidsfactor stuwdruk	γ_Q	-	1.5	1.5
	Moment op de steel	M_D	kNm	2.212 ($\curvearrowright$)	2.002 ($\curvearrowright$)
	Verticale kracht op de steel	D_v	kN	1.238 ($\uparrow$)	1.185 ($\downarrow$)
	Horizontale kracht op de steel	D_h	kN	0.110 ($\leftarrow$)	0.0426 ($\rightarrow$)
	Maximale torsie	τ_{max}	kNm	0.26	0.33
	Maximale verplaatsing	Δh_{max}	m	0.125	0.122

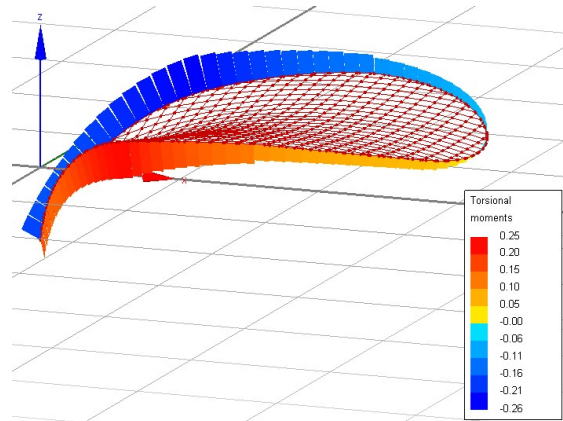
4.3 Controleberekeningen van het blad

4.3.1 Controle verplaatsing

Als eerste is er gekeken naar de maximale verplaatsing van het blad. Aangezien hier geen harde constructieve eisen aan zijn gesteld, kan dit worden gecheckt met de situatie zonder veiligheidsfactoren. Zoals te zien in Tabel 4.3 blijkt dat zowel opwaartse als neerwaartse stuwdruk een verplaatsing veroorzaken van minder dan 0.010 m en dat het blad dus aan deze voorwaarde voldoet.

4.3.2 Controle buisdoorsnede

Voor het controleren van de doorsnede van het randprofiel is de helft van het inklemmingsmoment en de maximale torsie genomen. De maximale torsie zit niet volledig op het uiteinde zoals te zien is in Figuur 4.10, maar zo is hij voor deze berekeningen wel aangenomen. Deze torsie wordt onder andere veroorzaakt door de voorspanning van het doek de rand naar binnen trekt. Voor het bepalen van de combinatie van de buiging, normaalkracht en torsie, wordt gebruik gemaakt van het Von Mises criterium:



Figuur 4.10 Torsieverdeling in de rand bij een opwaartse stuwdruk

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq f_y$$

Met:

σ	[N/mm ²]	Maximale spanning door buiging en normaalkracht;
τ	[N/mm ²]	Wringingsmoment;
f_y	[N/mm ²]	Vloeispanning.

Hierin is de materiaalfactor voor de veiligheid al meegenomen, aangezien deze voor staal gelijk is aan 1.0. Mogelijk is het mogelijk om in EASY ook de Von Mises spanning weer te geven, maar dit is niet meer gecheckt wegens het verloren model, vandaar de handberekeningen.

Aangezien het moment en de normaalkracht relatief veel groter zijn dan het wringingsmoment, is het geval met opwaartse stuwdruk ter controle worden doorgerekend, ondanks het feit dat de maximale torsie bij de neerwaartse stuwdruk plaatsvindt.

Met σ_{max} zoals deze eerder ook al is bepaald, is de controle als volgt:

$$\begin{aligned} \sqrt{\sigma_{max}^2 + 3\tau^2} &= \sqrt{\left(\frac{\frac{1}{2}M_D}{W} + \frac{\frac{1}{2}D_v}{A}\right)^2 + 3\tau^2} = \sqrt{\left(\frac{\frac{1}{2} * 2.212 * 10^6}{6.35 * 10^3} + \frac{\frac{1}{2} * 1.238 * 10^3}{493}\right)^2 + 3 * 0.26^2} \\ &= 351.12 \text{ N/mm}^2 > 235 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Dit betekent dat de huidige buisdoorsnede niet voldoet.

Door middel van een iteratief proces in EASY waarbij het buisprofiel is aangepast en daarna de bovenstaande berekening opnieuw is uitgevoerd, is uiteindelijk gekozen voor een profiel met een diameter van 70 mm en een dikte van 2.9 mm. Bij dit profiel horen de reactiekrachten zoals gegeven in

Tabel 4.4. In

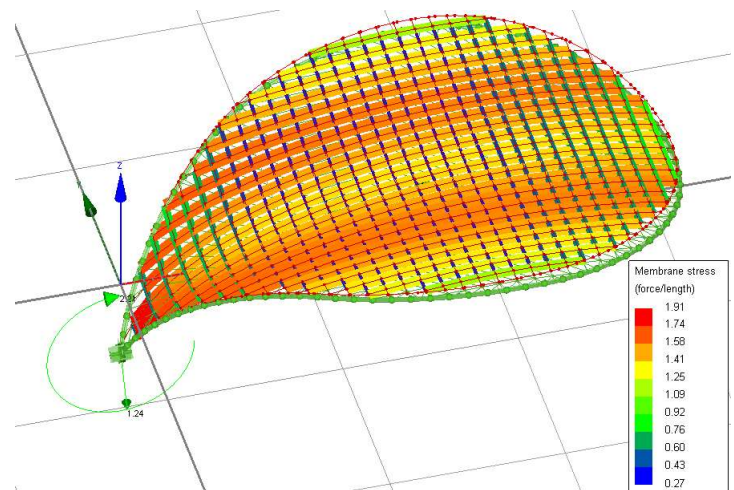
Tabel 4.4 is ook te zien dat de reactiekrachten nu van de neerwaartse stuwdruk maatgevend zijn geworden. Dit komt door het grotere eigengewicht. De maximale spanning wordt dan 226.54 N/mm². Dit is kleiner dan de vloeispanning van 235 N/mm², dus voldoet het gekozen profiel.

Tabel 4.4 Resultaten van de uiteindelijke buisdoorsnede in de constructie

		Symbol	Eenheid	Opwaartse stuwdruk	Neerwaartse stuwdruk
et M	Veiligheidsfactor eigengewicht	γ_G	-	1.0	1.35
Met veiligheidsfactoren	Veiligheidsfactor stuwdruk	γ_Q	-	1.5	1.5
	Moment op de steel	M_D	kNm	2.099 (↗)	2..212 (↗)
	Verticale kracht op de steel	D_v	kN	1.153 (↑)	1.312 (↓)
	Horizontale kracht op de steel	D_h	kN	0.117 (←)	0.0480 (→)
	Maximale torsie	τ_{max}	kNm	0.234	0.374
	Maximale verplaatsing	Δh_{max}	m	0.070	0.071

4.3.3 Controle membraanspanning

De maximale spanning in de richting van zowel de ketting als de inslag mag 3000 N/5cm zijn, zoals dit in 2.2.4 is gevonden. Voor de maximale spanning in het membraan wordt een veiligheidsfactor van 5 gebruikt (Barnes, Forster, & Dencher, 2000). Dit betekent dat de maximale spanning in het doek $\frac{3000 \text{ N}}{5 \text{ cm}} / 5 = \frac{60 \text{ kN/m}}{5} = 12 \text{ kN/m}$ mag zijn. In Figuur 4.11 is de spanningsverdeling in het membraan te zien, waarbij de buisdoorsnede van de handberekeningen is toegepast. Dit is gedaan vanwege het verloren model waarin de uiteindelijke spanningen niet vastgelegd konden worden.



Figuur 4.11 Spanningsverdeling in het membraan van de constructie (met het randprofiel wat is bepaald met de handberekeningen) in [kN/m] bij opwaartse wind met veiligheidsfactoren

In Figuur 4.11 is te zien dat de maximale spanning 1.91 kN/m is. Dit betekent dat in deze situatie ook het doek niet zal falen. Aangezien 1.91 kN/m veel kleiner is dan de maximale 12 kN/m wordt ervan uitgegaan dat het doek ook met de nieuwe buisdikte zal voldoen.

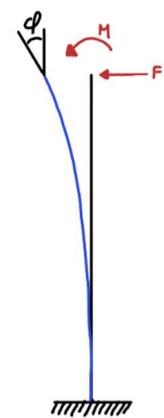
4.3.4 Uiteindelijke afmetingen van het blad

Het uiteindelijke blad zal ongeveer 3.15 bij 2.2 m zijn, met een oppervlakte net groter dan 5 m². Het randprofiel is een buis met een diameter van 70 mm en een dikte van 2.9 mm.

4.4 Handberekeningen steel

Aangezien het uiteindelijke schaduwdoek moet kunnen draaien is er een profiel gekozen op basis van de maximale verplaatsing van het uiteinde van het blad. Hiervoor zijn wederom geen veiligheidsfactoren gebruikt, aangezien het gaat over de verplaatsing.

De maximale verplaatsing van het uiteinde van het doek is 10 cm. Uit EASY is gebleken dat alleen het blad 5 cm verplaatst door het eigengewicht en de windbelasting en dat het uiteinde dus maximaal 5 cm mag verplaatsen door het kwispeleffect van de steel. Voor de berekening is de schematisering in Figuur 4.12 gebruikt, waarin het moment en de horizontale kracht uit EASY zijn gehaald. Hierbij zijn net als bij het controleren van de verplaatsing in het blad zelf geen veiligheidsfactoren meegenomen.



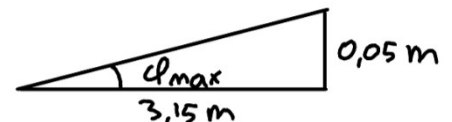
Figuur 4.12
Schematisering
van de steel

Met schematisering tot een driehoek kan worden bepaald wat de maximale hoek kan zijn voor ϕ , afhankelijk van de maximale afstand tot de punt van het blad (Figuur 4.13).

$$\phi_{max} = \arctan\left(\frac{w_{max}}{l_{blad}}\right) = \arctan\left(\frac{0.05}{3.15}\right) \approx \frac{0.05}{3.15} = 0.0159 \text{ rad}$$

Met:

ϕ_{max}	[rad]	Maximale hoekverdraaiing van het uiteinde van de steel;
w_{max}	[m]	Maximale verplaatsing van het uiteinde van het blad;
l_{blad}	[m]	Lengte van het blad.



Figuur 4.13 Maximale hoekverdraaiing van
de steel

Met behulp van vergeet-me-nietjes is vervolgens een vergelijking opgesteld worden voor de hoekverdraaiing in het uiterste punt van de steel, met daarin als enige onbekende het traagheidsmoment van de buis. Deze vergelijking is omgeschreven naar een vergelijking voor een minimaal traagheidsmoment:

$$\phi_{max} \geq \frac{Ml_s}{EI} + \frac{Fl_s^2}{2EI}$$

$$I \geq \frac{2Ml_s + Fl_s^2}{2E\phi_{max}} = \frac{2 * 1.54 * 10^6 * 2000 + 0.0309 * 10^3 * 2000^2}{2 * 210000 * 0.0159} = 942540 \text{ mm}^4$$

Met:

I	[mm ⁴]	Het traagheidsmoment van het buisprofiel;
l_s	[mm]	De lengte van de steel;
M	[Nmm]	Resultante moment van de wind en het eigengewicht op de steel;
F	[N]	Resultante horizontale kracht van de wind en het eigengewicht op de steel;
E	[N/mm ²]	Elasticiteitsmodulus van staal.

Met behulp van het Polytechnisch zakboek (Herwijnen, Leijendeckers, Roeck, Schwippert, & Verbakel, 2010) is vervolgens het buisprofiel met een diameter van 95 mm en een dikte van 3.6 mm gevonden. Hierbij hoort een traagheidsmoment van 1081100 mm⁴. De uiteindelijke verplaatsing w door toedoen van het kwispeleffect is dan:

$$w = l_{blad} * \left(\frac{Ml_s}{EI} + \frac{Fl_s^2}{2EI} \right) = 3.15 * \left(\frac{1.54 * 10^6 * 2000}{210000 * 1081100} + \frac{0.0309 * 10^3 * 2000^2}{2 * 210000 * 1081100} \right) = 43.59 \text{ mm}$$

$$< 50 \text{ mm}$$

4.4.1 Gekozen profiel

Het gekozen profiel is een buis met een diameter van 95 mm en een dikte van 3.6 mm. Dit profiel heeft een gewicht van 8.11 kg/m, dus met een lengte van 2 m is dit 18.22 kg $\approx$ 0.182 kN die meegenomen is als gewicht van de steel.

4.5 Handberekeningen van de voet

Voor het bepalen van de afmetingen en de samenstelling van de voet is gebruik gemaakt van een drietal controles uit NEN-EN-13782; de controle tegen kantelen, tegen schuiven en tegen het optillen van de constructie. Gezien de grote overhelling van de constructie is kantelen als maatgevende situatie beschouwd, waarmee als eerste naar de voet is gekeken. Bij deze controles zijn de veiligheidsfactoren uit Tabel 2.2 genomen, waar de waarden in Tabel 4.5 uitgekomen zijn. Deze waarden bevinden zich bij de verbinding tussen het blad en de steel.

Als begin is een ronde voet aangenomen met een diameter van 1 m, bestaande uit een stalen onderkant met daarop stenen als ballast. Dit zorgt voor een voet die makkelijk uit elkaar te halen is en op een nieuwe locatie weer opgebouwd kan worden.

Tabel 4.5 Rekenwaarden van het blad voor het bepalen van de afmetingen van de voet aan de bovenkant van de steel

		Symbool	Eenheid	Opwaartse stuwdruk	Neerwaartse stuwdruk
Met veiligheidsfactoren	Veiligheidsfactor eigengewicht	γ_G	-	1.0	1.0
	Veiligheidsfactor stuwdruk	γ_Q	-	1.2	1.2
	Inklemmingsmoment	M_D	kNm	1.535 ($\curvearrowright$)	1.716 ($\curvearrowright$)
	Verticale oplegreactie	D_v	kN	0.831 ($\uparrow$)	1.016 ($\downarrow$)
	Horizontale oplegreactie	D_h	kN	0.0904 ($\leftarrow$)	0.0430 ($\rightarrow$)
	Maximale torsie	τ_{max}	kNm	0.164	0.304
	Maximale verplaatsing	Δh_{max}	m	0.053	0.056

4.5.1 Voet voor het voorkomen van kantelen

Voor het bepalen van de stabiliteit tegen het kantelen geldt de volgende formule (Nederlands Normalisatie Instituut, Tijdelijke constructies - Tenten - Veiligheid (NEN-EN 13782), 2015):

$$\Sigma \gamma M_{Rk, stb} \geq \Sigma \gamma M_{Ek, dst}$$

Met:

γ [-] Veiligheidsfactoren. Deze zijn al verwerkt in de krachten;

$M_{Rk, stb}$ [kNm] Stabiliserende momenten;

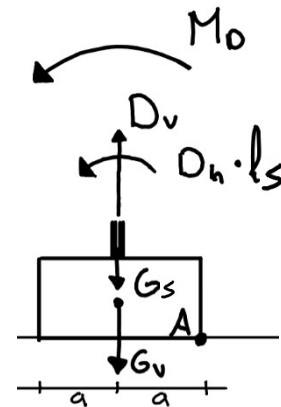
$M_{Ek, dst}$ [kNm] Destabiliserende momenten.

Met de eerste aanname van een ronde voet met een diameter van 1 m is de schematisering in Figuur 4.14 gemaakt, waar de momentensom om punt A genomen wordt. Gezien de combinatie van een moment en een opwaartse resultante kracht bij een opwaartse stuwdruk, wordt dat als de maatgevende situatie genomen. De vergelijking is dan:

$$aG_v + aG_s \geq M_D + D_h \cdot l_s + aD_v$$

Met:

a	[m]	Straal van de voet
G_v	[kN]	Eigengewicht van de voet
G_s	[kN]	Eigengewicht van de steel
D_v	[kN]	Verticale kracht uit het blad
M_D	[kNm]	Moment uit het blad
D_h	[kN]	Horizontale kracht uit het blad
l_s	[m]	Lengte steel



Figuur 4.14 Schematisering van de krachten op de voet

Het eigengewicht is de enige onbekende in deze vergelijking, dus is de formule omgeschreven om het minimale eigengewicht te bepalen.

$$G_v \geq \frac{M_D + D_h \cdot l_s + aD_v - aG_s}{a} = \frac{1.535 + 0.0904 \cdot 2 + 0.5 \cdot 0.831 - 0.5 \cdot 0.182}{0.5} = 4.083 \text{ kN}$$

Uitgaande van een stalen plaat van 1 cm dik met een eigengewicht van 78.5 kN/m³ (Soons, van Raaij, Wagemans, Pasterkamp, & van Es, 2014) en stenen met een eigengewicht van 15 kN/m³ (Amagard, sd) is het benodigde volume stenen bepaald.

$$V_{steen} \geq \frac{G_v - V_{staal}\rho_{staal}}{\rho_{steen}} = \frac{G_v - \pi a^2 d \rho_{staal}}{\rho_{steen}} = \frac{4.083 - \pi \cdot 0.5^2 \cdot 0.01 \cdot 78.5}{15} = 0.231 \text{ m}^3$$

Met:

V_{steen}	[m ³]	Het volume stenen;
V_{staal}	[m ³]	Het volume staal;
ρ_{staal}	[kN/m ³]	Het eigengewicht van staal;
ρ_{steen}	[kN/m ³]	Het eigengewicht van stenen.

Dit wordt afgerond naar 0.25 m³ om een bestelbare maat te krijgen. De gemiddelde hoogte van de laag stenen en het uiteindelijke gewicht van de voet worden met dit volume:

$$h_{steen} = \frac{V_{steen}}{\pi a^2} = \frac{0.25}{\pi \cdot 0.5^2} = 0.318 \text{ m}$$

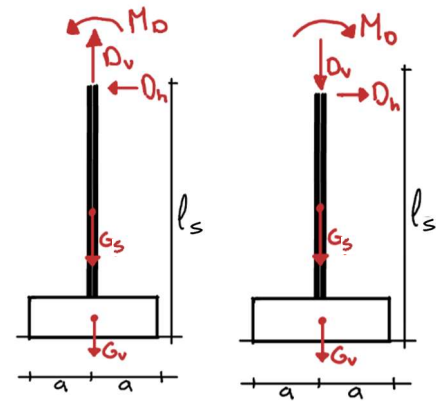
$$G_v = V_{steen}\rho_{steen} + V_{staal}\rho_{staal} = 0.25 \cdot 15 + \pi \cdot 0.5^2 \cdot 0.01 \cdot 78.5 = 4.367 \text{ kN}$$

Met:

h_{steen}	[m]	De hoogte van de laag stenen.
-------------	-----	-------------------------------

Voor een hoogte van iets meer dan 30 cm aan stenen is het nodig dat er een kooi of hek om de voet heen komt te staan om het verplaatsen van de ballast te voorkomen.

Om te controleren of de gekozen voet in alle gevallen voldoet, worden de controles uit de NEN-EN-13782 omgeschreven tot UC's, waarbij de uitkomst kleiner dan 1 moet zijn. Alle checks worden voor zowel opwaartse als neerwaartse wind getest. Aangezien de krachten alleen met richtingen aangegeven zijn, is er in Figuur 4.15 te zien hoe deze krachten werken op de constructie. Links is de situatie voor opwaartse wind te zien en rechts de situatie voor neerwaartse wind. Deze richtingen zijn voor alle UC's aangenomen.



Figuur 4.15 Richtingen van de krachten bij opwaartse wind (links) en neerwaartse wind (rechts)

4.5.2 Unity Check voor kantelen

Voor het kantelen wordt gebruik gemaakt van dezelfde formule als in 4.5.1 is gedaan.

Opwaartse wind:

$$1 \geq \frac{\Sigma \gamma M_{Ek, dst}}{\Sigma \gamma M_{Rk, stb}} = \frac{M_D + D_h * l_s + a D_v}{a G_v + a G_s} = \frac{1.535 + 0.0904 * 2 + 0.5 * 0.831}{0.5 * 4.367 + 0.5 * 0.182} = 0.94$$

Neerwaartse wind:

$$1 \geq \frac{\Sigma \gamma M_{Ek, dst}}{\Sigma \gamma M_{Rk, stb}} = \frac{M_D + D_h * l_s}{a G_v + a G_s + a D_v} = \frac{1.716 + 0.0430 * 2}{0.5 * 4.367 + 0.5 * 0.182 + 0.5 * 1.016} = 0.65$$

Met in beide formules voor kantelen dezelfde waardes als zijn gebruikt in 4.5.1 en in beide gevallen voldoet de voet.

4.5.3 Unity Check voor schuiven

In de veiligheidscheck voor schuiven is er een wrijvingsfactor nodig, welke aangeeft hoeveel horizontale kracht er kan worden opgewekt op basis van de verticale kracht. Voor deze wrijvingsfactor is 0.10 aangenomen (Nederlands Normalisatie Instituut, Tijdelijke constructies - Tenten - Veiligheid (NEN-EN 13782), 2015), aangezien het een stalen plaat op gladde stenen betreft.

Voor opwaartse wind:

$$\mu * \Sigma \gamma N_k \geq \Sigma \gamma H_k \rightarrow 1 \geq \frac{\Sigma \gamma H_k}{\mu * \Sigma \gamma N_k} = \frac{D_h}{\mu (G_v + G_s - D_v)} = \frac{0.0904}{0.10 (4.367 + 0.182 - 0.831)} = 0.24$$

Voor neerwaartse wind:

$$1 \geq \frac{\Sigma \gamma H_k}{\mu * \Sigma \gamma N_k} = \frac{D_h}{\mu (G_v + G_s + D_v)} = \frac{0.0430}{0.10 (4.367 + 0.182 + 1.016)} = 0.08$$

Met:

μ	[-]	Wrijvingsfactor;
N_k	[kN]	Verticale krachten;
H_k	[kN]	Horizontale krachten.

Ook in beide gevallen voor het schuiven voldoet de gekozen voet.

4.5.4 Unity Check voor optillen

Voor de veiligheid tegen optillen zijn alleen de verticale krachten meegenomen, net zoals dit in een normaal verticaal evenwicht gedaan zou worden.

Voor opwaartse wind:

$$\Sigma \gamma N_{Rk, stb} \geq \Sigma \gamma N_{Ed, dst} \rightarrow 1 \geq \frac{\Sigma \gamma N_{Ed, dst}}{\Sigma \gamma N_{Rk, stb}} = \frac{D_v}{G_v + G_s} = \frac{0.831}{4.367 + 0.182} = 0.18$$

Voor de neerwaartse wind is er geen Unity Check uitgevoerd, aangezien er in Figuur 4.15 te zien is dat er alleen maar verticale krachten naar beneden gericht zijn. Dit betekent dat er geen mogelijkheid is voor de constructie om opgetild te worden. Voor de opwaartse wind voldoet de gekozen voet ook.

4.5.5 Conclusie en uiteindelijke afmetingen

In de UC's is te zien dat de juiste maatgevende situatie is gekozen, kantelen bij een opwaartse stuwdruk. Hieruit is een ronde voet gekomen met een diameter van 1 m, bestaande uit een stalen plaat van 1 cm dik en 0.25 m³ aan stenen als extra ballast.

5 Conclusie en aanbevelingen

In deze conclusie van het project zijn de uiteindelijke afmetingen te vinden die bij het ontwerp gevonden zijn. Deze afmetingen zorgen voor een constructie welke voldoet aan de eisen die zijn gesteld in de NEN-EN-13782 norm, maar er zijn nog wel wat zaken die verder onderzocht moeten worden. Deze zijn te vinden onder de aanbevelingen.

5.1 Uiteindelijke afmetingen van de constructie

Het schaduwdoek bestaat uit drie onderdelen; het blad, de steel en de voet. Het blad bestaat uit een gekromde buis met een diameter van 70 mm en een dikte van 2.9 mm, waaraan het SUNTEX bevestigd is. De steel is voor nu bepaald als een buis van 2 m lang, met een diameter van 95 mm en een dikte van 3.6 mm, hoewel hier nog aanpassingen aan moeten komen om het doek te kunnen laten draaien. De voet bestaat uit een stalen plaat met een diameter van 1 m en een dikte van 10 mm, waar 0.25 m³ op ligt als ballast. Dit komt uit op ongeveer 32 cm aan stenen.

5.2 Aanbevelingen

Voordat het schaduwdoek gebouwd kan worden, is er een aantal zaken wat bekeken moet worden.

Ten eerste moet er worden gekeken naar de verbindingen, zowel de starre verbindingen als de verbindingen die het blad de mogelijkheid moeten geven om te draaien. Deze verbindingen moeten sterk genoeg zijn om het blad in stand te houden, maar ook relatief makkelijk aan te passen zijn om de gewenste hoogte en verhouding te krijgen. Hierbij moet de exacte vorm ook nog gemodelleerd worden om te zorgen dat het blad een perfect vloeiende vorm krijgt.

Ten tweede moet er worden gekeken naar de effecten van een andere stand van het blad op de constructie. Wanneer het blad volledig verticaal zou staan verzorgt dit waarschijnlijk een groter moment op de voet dan de stand waarin hij nu onderzocht is. Mogelijk moet hier ook een maximumhoogte en een maximale hoek bij horen om te zorgen dat de constructie stabiel blijft. Ook moet er worden gekeken naar externe krachten zoals fietsen en mogelijke vandalen en tot op welk niveau dit opgevangen moet kunnen worden. Momenteel zal de constructie waarschijnlijk niet blijven staan als er een mens aan het uiteinde van het blad gaat hangen, dus moet er worden gekeken tot welke krachten het schaduwdoek moet kunnen opnemen.

Ten derde is nu geen rekening gehouden met de opslag van de elektriciteit die de SUNTEX momenteel genereert. Hiervoor zal waarschijnlijk bedrading in of langs de rand van het blad moeten gaan en moet er een batterij worden verwerkt in de voet. Het extra volume wat hierbij ontstaat kan ook worden gebruikt als een opzet voor een zitplaats, welke om de voet heen gebouwd kan worden zodat het schaduwdoek voldoet aan de wensen. Deze zitplaats kan ook het plaatsen van fietsen weer tegenwerken, wat de veiligheid ten goede komt.

6 Bibliografie

- Agafonkin, V. (2024, 10). Opgehaald van Suncalc: <http://suncalc.net/#/51.9792,5.908,20/2026.07.15/14:32>
- Ahmed, A. B. (2024). *Structural Solar Textile. Design & Analysis of Woven Solar Cell-Integrated Textile For Textile Architecture Application*.
- Amagard. (sd). *Soortelijk gewicht en inhoud*. Opgehaald van Grind.be: <https://www.grind.be/soortelijk-gewicht-en-inhoud>
- ASCA. (sd). *ASCA Technology*. Opgehaald van ASCA: <https://www.asca.com/asca-technology/>
- Barnes, M., Forster, B., & Dencher, M. (2000). STRUCTURAL DESIGN BASIS AND SAFETY CRITERIA. In M. Mollaert, & B. Forster, *European Design Guide for Tensile Surface Structures* (p. 184).
- Google Earth. (2024, oktober). Opgehaald van https://earth.google.com/web/@51.97930312,5.90814461,10.43013894a,134.57797255d,35y,135.932322h,56.43460799t,0r/data=CgRCAggBOgMKATBKDQj_____8BEAA
- Herwijnen, F. v., Leijendeckers, P., Roeck, G. D., Schwippert, G., & Verbakel, Y. (2010). *Polytechnisch zakboek*. Doetinchem.
- Hitte Attentiekart 2023. (2023). Opgehaald van <https://arnhem.maps.arcgis.com/apps/instant/sidebar/index.html?appid=7a31e09e4e314eb291146b6ef12c8163>
- Houtman, R. (1996). *Van idee tot tentconstructie*. Delft: Universiteitsdrukkerij TU Delft.
- Kronenburg, R. (2015). Introduction: the development of fabric structures in architecture. In J. Ignasi de Llorens, *Fabric Structures in Architecture*. Woodhead Publishing Limited.
- Mollaert, M., Bradatsch, J., Pätzold, P., Saboia de Freitas, C., Scheuermann, R., & Monjo, J. (2004). Form. In B. Forster, & M. Mollaert, *European Design Guide for Tensile Surface Structures* (pp. 43-48).
- Nederlands Normalisatie Instituut. (2015). *Tijdelijke constructies - Tenten - Veiligheid (NEN-EN 13782)*.
- Nederlands Normalisatie Instituut. (sd). *NEN-EN-1991-1-4*.
- Otto, F. (sd). *Soap bubble model*. Opgehaald van https://www.researchgate.net/figure/Frei-Otto-Experimenting-with-Soap-Bubbles_fig2_318103333
- Rafton-Canning, A. (ca. 1910). *Blackfoot tipis*. Opgeroepen op oktober 2024, van https://en.wikipedia.org/wiki/Tipi#/media/File:Blackfoot_tipis.jpg
- Soons, F., van Raaij, B., Wagemans, L., Pasterkamp, S., & van Es, S. (2014). *Quick Reference*. Delft.
- Strategie voor klimaatbewuste stad Arnhem*. (sd). Opgehaald van Klimaat adaptatie Nederland: <https://klimaatadaptatienederland.nl/@248751/strategie-arnhem/>
- Technet. (sd). *FORM FINDING - EASY.FORM*. Opgeroepen op oktober 2024, van [technet-gmbh: https://www.technet-gmbh.com/en/products/easy/form-finding/](https://www.technet-gmbh.com/en/products/easy/form-finding/)
- Tentech. (2015). Flower sheds.

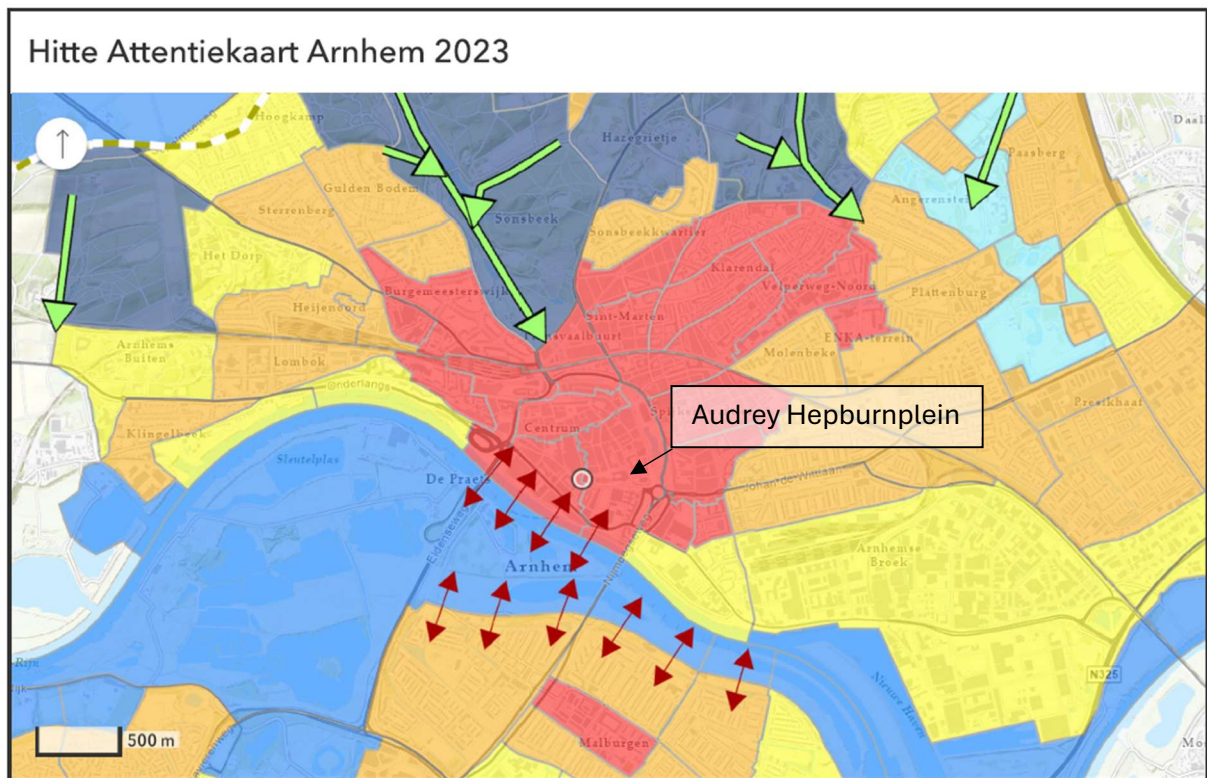
Tentech. (2016). *Bree - Vlechtwerk van staal*. Opgehaald van Tentech: <https://tentech.nl/textiele-architectuur/bree/>

Tentech. (sd). *About Tentech*. Opgehaald van Tentech: <https://tentech.nl/en/about-tentech/>

Wetzel, A. (sd). *SUNTEX - Pauline van Dongen*. Opgehaald van <https://www.paulinevandongen.nl/portfolio/suntex/>

Whitehead, S. (2019, februari). *Asymptotic Grid Structure of a Triply Periodic Minimal Surface*. Opgehaald van WeWantToLearn: <https://wewanttorearn.wordpress.com/tag/anticlastic/>

7 Bijlage: Hitte Attentiekkaart Arnhem



HitteAttentieKaart

Hitte Attentiekkaart lijnen

TYPE

- verkoelende werking vanuit open gebied op stedelijk gebied versterken → versterken aanwezige dalwind
- Waterscheidingslijn

Hitte Attentiekkaart vlakken

Bouwkundige gebieden

- Hoogste urgentie om de opwarming van dit gebied te verminderen
- Urgentie om verdere opwarming van dit gebied te voorkomen
- Behoud van het huidige stadsklimaat
- Beschermen en behouden van de grotere groene verkoelende ruimten
- Beschermen en zoveel mogelijk open houden van de gebieden met verkoelende (achtergrond)winden (uiterwaarden en open gebieden rond de stad)
- Beschermen van de gebieden waarin de kwetsbare dalwinden voorkomen en ontstaan, die een verkoelende werking hebben op (delen van) de stad

(Hitte Attentiekkaart 2023, 2023)