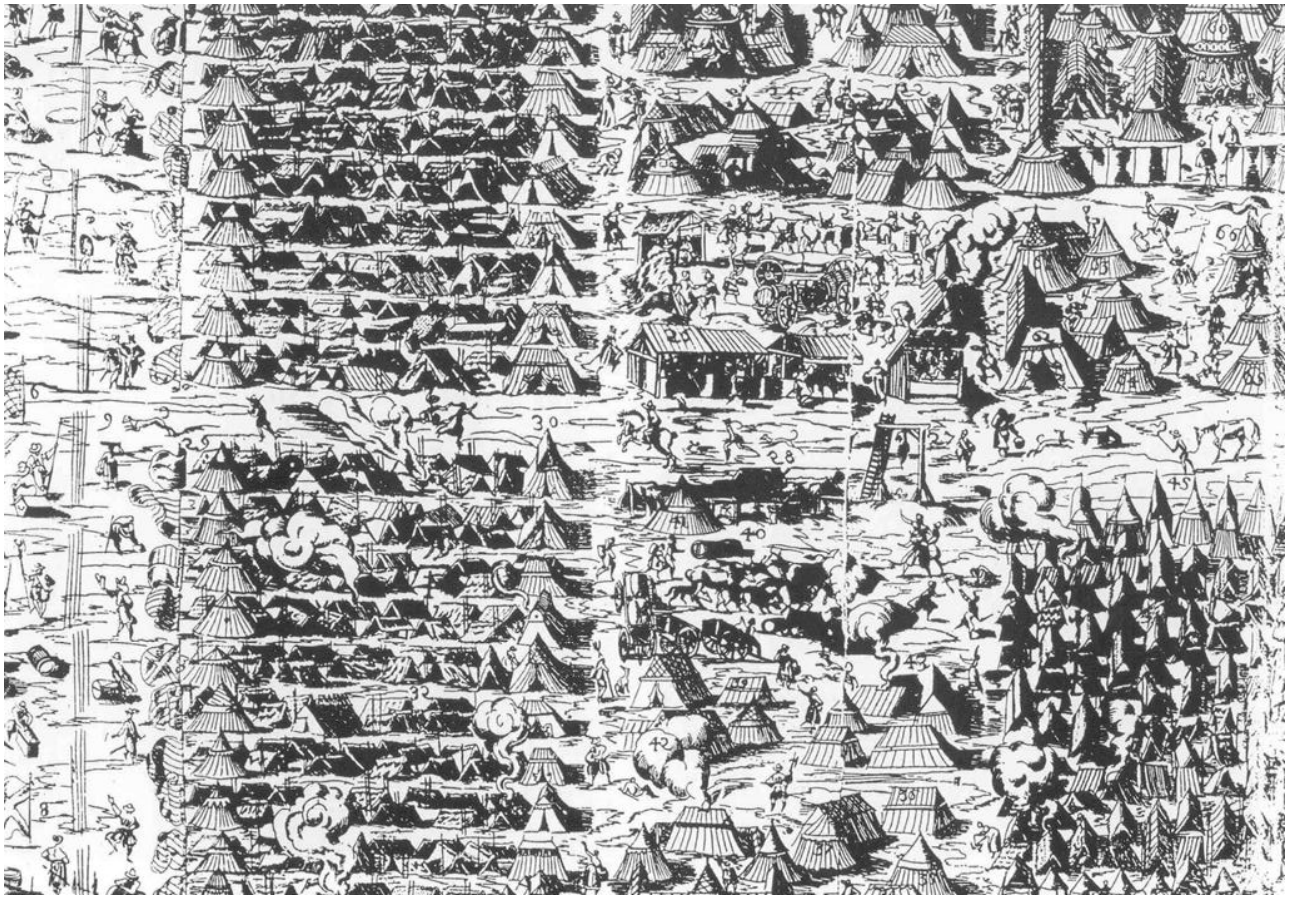
LICHTGEWICHT CONSTRUCTIES

Ontwikkeling van een flexibele, modulaire festivaltent



tentech ontwerp- en adviesbureau voor lichtgewicht bouwen

Rosamaria Smit . juni 2011

VOORWOORD

Iedereen kent het wel, de doos met oude spullen wordt opengetrokken, uit alle hoeken komen wasknijpers, touwen en attributen vandaan. Er wordt een tent gebouwd, en wel direct. Alles op zijn kop, en bouwen maar. Dit is een situatie die, toen ik een jaar of 8 was, vaak voorkwam. Spelenderwijs ontdekte ik al jong dat ik het een ontzettend leuke bezigheid vond om me met “bouw”problemen bezig te houden. De lakens werden soms uitgedeeld, maar gelukkig kan ik nu zeggen, met het nadere einde van mijn studie Bouwkunde, dat alles goed gekomen is.

Het afgelopen half jaar heb ik gewerkt aan een project dat me terug heeft gebracht naar mijn kinderjaren in een professionelere vorm. Vanwege mijn interesses die veelal buiten de grenzen van de traditionele bouwwijzen liggen, heb ik contact gezocht met ONTWERP- EN ADVIESBUREAU TENTECH in Utrecht. Zij zijn een ervaren bureau als het gaat om het ontwerpen en construeren van lichtgewichtconstructies. Samen hebben we een opdracht kunnen formuleren waarmee ik vijf maanden lang aan het werk ben gegaan. In die tijd ben ik ontzettend veel te weten gekomen over tentconstructies, de geschiedenis ervan en de constructieve achtergronden die eraan ten grondslag liggen. Dit was totaal nieuw terrein voor mij, maar Harmen Werkman, Erwin van Langeveld en Rogier Houtman hebben mij bij moeilijkheden uitleg en ondersteuning geboden. Het was een verfrissend om te zien hoe constructeurs en architect met elkaar samenwerken in één kantoor. Ik wil hen dan ook bedanken dat ze mij deze kans hebben gegeven om met een andere blik naar de gebouwde omgeving te kijken.

Rosamaria Smit

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING 5

INLEIDING 7

1 ACHTERGRONDEN 9
1.1 HET ONTSTAAN VAN DE TENTVORM 9

2 BASISPRINCIPES 11
2.1 FREI OTTO 11
2.2 STIJFHEID 11
2.3 RUIMTELIJKE VOORSPANCONSTRUCTIES 12
2.4 VORMVASTHEID 12
2.5 STABILITEIT 12
2.6 KROMMINGSPRINCIPE 13
2.7 VERVORMINGSPRINCIPE 13
2.8 SPANNINGSGEDRAG VAN HET MEMBRAAN 13
2.9 ONTWERPMETHODE 14

3 MARKTAANBOD 15
3.1 TYPES 15
3.2 SAMENVATTING ONDERZOEKSRAPPORT FESTIVALMARKT 16

4 FESTIVAL 17
4.1 DE OPZET VAN TENTEN OP FESTIVALS 17

5 AFBAKENING 19
5.1 SAMENVATTING PROGRAMMA VAN EISEN 19

6 MODULE 21
6.1 MODULE 21
6.2 GRID 21
6.3 GRIDKEUZE 22

7 FORMFINDING 23

8 FUNCTIE 25

9 MATERIAAL 27
9.1 MATERIALEN 27
9.2 MATERIAALKEUZE 28
9.3 PRODUCTEN 28

10 ONTWERPPROCES 29
10.1 DEGELIJKHEID 31

10.2 FUNCTIONALITEIT 32
10.3 SCHOONHEID 32
10.4 DEFINITIEF ONTWERP 33

11 FLEXIBEL 35
11.1 DOEKEN 35
11.1.1 HOOFDMODULE 35
11.1.2 TYPE A 36
11.1.3 TYPE B 36

12 STRUCTUUR 43
12.1 ONTWERPBESCHRIJVING 43
12.2 CONSTRUCTIEVE ANALYSE 43
12.3 VEILIGHEIDSFACTOREN 44
12.4 REFERENTIEPERIODE 44
12.5 ONTWERPBELASTINGEN 44
12.6 PERMANENTE BELASTINGEN 44
12.7 VERANDERLIJKE BELASTINGEN 44
12.8 BELASTINGGEVALLEN 45
12.9 KRACHTSWERKING 46
12.10 DIMENSIES 47
12.11 RANDKABELS – VERBINDINGEN 47
12.12 AFSPANNING 50
12.12.1 PUNT A 50
12.12.2 PUNT B 51
12.12.3 PUNT C 52
12.13 MASTEN 54
12.14 MEMBRAAN 54

13 MONTAGE 55
13.1 HIJSMECHANISME MASTEN 55
13.2 HIJSMECHANISME DOEKEN 55
13.3 MONTAGESCHETSEN 56

14 DETAIL 59
14.1 DOEKRANDEN 59
14.2 MAST 59

LITERATUUROPGAVE 61

NAWOORD 63

SAMENVATTING

Het is bekend dat tentconstructies al duizenden jaren geleden gebouwd werden door mensen. De eerste mensen die deze constructies bouwden deden dit puur intuïtief. Door de jaren heen is de tent van mobiele constructie naar permanente constructie geëvolueerd, door de uitvinding van baksteen en staal. Toen na de Tweede Wereld oorlog Frei Otto zich stortte op het principe van minimaal vlakken, kwam het ontwerpen van membraanconstructies en lichtgewicht constructies in opmars. De constructieve basis die ten grondslag ligt bij deze minimaalvlakken is berust op het krommingprincipe: uitwendige belasting kan worden opgenomen door voorspanning en dubbele tegengestelde kromming aan te brengen in het doek.

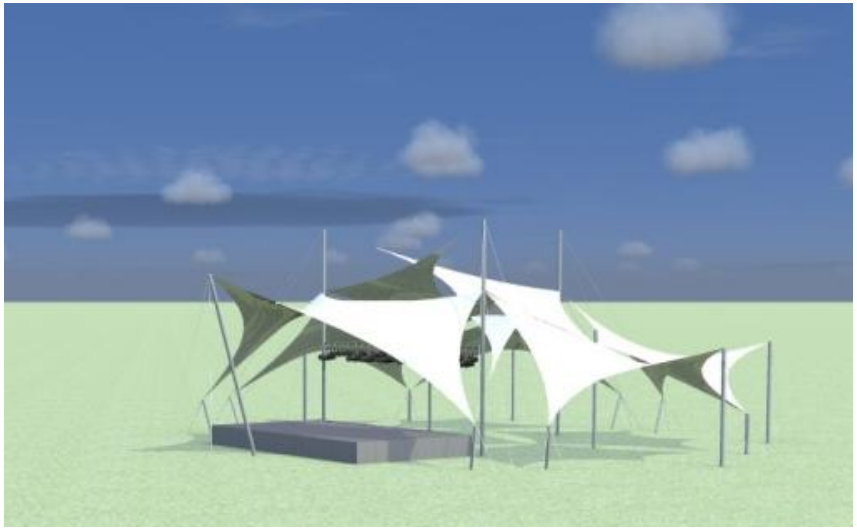
Naast het toepassen van membraanconstructies in de permanente bouw, zijn veel festivaltenten ook op dit principe gebaseerd. Die festivalmarkt is behoorlijk conservatief, wat wil zeggen dat er weinig bijzondere ontwerpen te huur zijn. Dit wordt bevestigd in een onderzoek naar producten in de verhuurmarkt van tenten. Toch bestaat er de vraag vanuit festivalorganisaties voor exclusievere tentontwerpen waarmee zij als organisatie zich kunnen profileren op de festivalmarkt. De hoofdvraag in dit onderzoek luidt dan ook:

"Is er markt voor een flexibele, modulaire, expressieve festivaltent?"

Uit onderzoek blijkt dat deze vraag zeker aanwezig is. Hiermee gaat ontwerpproces voor een exclusieve modulaire en flexibele tent direct van start. Samen met festivalorganisatie LOC7000 is er een programma van eisen opgesteld dat direct verband ligt tussen architect en opdrachtgever. In dit programma komt naar voren dat er met name wordt gezocht naar een overkapping voor horecafuncties, eventueel in combinatie met een publieksoverkapping.

In het ruimtelijk functioneel ontwerp wordt de modulariteit met de functionaliteit gecombineerd. Er zijn veel basisvormen welke op diverse manieren zo geschakeerd kunnen worden dat er een functionele indeling ontstaat. De horecafunctie eist een zekere mate van uitgifte naar het publiek en daar moet rekening mee gehouden worden. Nadat een aantal schetsontwerpen de revue passeren kan begonnen met het vormgeven van het ruimtelijk model. Computersoftware en pantymodellen maken het mogelijk om formfinding te doen. Dit is een manier om minimaalvlakken te creëren, om zo tot een ruimtelijke vorm te komen. Dit is een langdurig proces waarin continu aanpassingen moeten worden gedaan om tot een juiste vorm te komen die werkt volgens het krommingprincipe.

Het definitieve ontwerp is gebaseerd op een zeshoekig grondvlak waarop drie verticale hoofdmasten geplaatst zijn. De overige drie punten kunnen bezet worden door lagere masten. In de zeshoek die ontstaat kunnen maximaal drie doeken worden opgehangen. Dit zijn drie afzonderlijke doeken, welke ook zelfstandig kunnen worden geplaatst in het zeshoekige raster. De overkapping die ontstaat bij het ophangen van de doeken kan fungeren als publieksoverkapping. Rondom de hoofdmodule zijn twee type randtenten te plaatsen, te schakeren naar eigen wens, zodat er een scala aan mogelijkheden is om onderdak te geven aan elke gewenste capaciteit.



Een configuratie is constructief uitgewerkt. In deze constructieve analyse zijn berekeningen van de rand-kabels en –verbindingen te vinden. Ook de hoofdmasten zijn berekend op spanningen vanuit het membraan.

Het definitieve ontwerp is een positief concurrerende tent. De bijzonder vorm die het heeft doet de bezoeker zich verplaatsen naar een andere wereld. Met lichteffecten is de tent tot leven te brengen, door de schaduwwerking van de doeken die over elkaar heen draaien. Daarbij kunnen er op verschillende manieren functionele aanpassingen worden gedaan, waardoor podia op drie plaatsen inzetbaar zijn binnen de tent. Wanneer podia zijn toegepast in een configuratie zijn de technische installaties op te hangen tussen de hoofdmasten. Ook kunnen alle randtenten afgesloten worden door middel van doeken, waardoor er afzonderlijke ruimtes ontstaan. Wanneer een festivalorganisatie deze tent zou neerzetten op een festival trekt het zeker de aandacht.

INLEIDING

Iedere zomer ondergaan weilanden in Europa een ware transformatie naar festivalterrein. Het hele jaar door zijn diverse organisaties druk bezig om de muzikale en logistieke planning op tijd af te krijgen. Tot die logistiek behoort ook de keuze voor podiumoverkappingen en festivaltenten. Deze tenten geven de bezoeker direct het gevoel op een festival aanwezig te zijn. De uitstraling die een dergelijke tent heeft is bepalend voor het karakter van het festival. Nu zijn er vele tenten in omloop, maar toch zijn er vaak dezelfde tenten terug te vinden op festivals.

De hoofdvraag van dit onderzoek luidt dan ook:

"Is er markt voor een flexibele, modulaire, expressieve festivaltent?"

De uitdaging van deze probleemstelling is het ontwerpen en uitwerken van een festivaltent die aansluit bij de huidige maar, maar qua vormgeving voor vele concurrentie zorgt. Dit zal gebaseerd zijn op bevindingen uit een marktanalyse.

Ter ondersteuning van de hoofdvraag worden de volgende ontwerpvragen onderzocht:

- Welke producten biedt de huidige festivalmarkt aan?
- Wat is de geschiedenis van de mobiele tentstructuur?
- Welke constructieve achtergronden heeft de tent?
- Hoe vertaal je constructieve principes naar een ontwerp?
- Op welke manier kun je modules schakelen?
- Op welke wijze speelt de constructie een rol bij het ontwerpen van een module?
- Hoe zorgt een ontwerp voor positieve concurrentie?

1 ACHTERGRONDEN

1.1 HET ONTSTAAN VAN DE TENTVORM

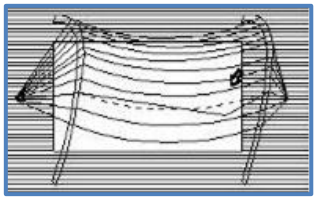
In 1966 zijn er in het zuiden van Frankrijk twintig woningen gevonden die 400.000 jaar geleden zijn gebouwd. Uit oudheidkundige studies bleek dat deze typische, met houten stokken beklede koepelstructuren, ook wel domes genaamd, over de hele wereld voorkwamen. Deze structuur bestaat uit gebogen stokken die radiaal geschikt zijn, waarover andere haaks zijn gebogen zodat er een orthogonaal raster ontstaat. Als bedekking van deze structuur werden natuurlijke materialen zoals bananenbladeren, gras, stro en riet gebruikt. Deze materialen waren redelijk snel beschikbaar in tegenstelling tot andere, zoals, dierenhuid, klei en geweven textiel. De vorm van deze structuur is een afgeleide van het constructieproces en de behandeling van de natuurlijke materialen. Op deze manier resulteerde de geometrie van hoepels en bogen tot een ingenieuze en efficiënte constructie. De krachten van het eigen gewicht en de wind worden zo op de meest directe manier afgedragen naar de ondergrond. Ook als we kijken naar de verhouding van het eigen gewicht met het belastbare gewicht is dit een van de meest efficiënte structuren ooit gebouwd. Ze zijn in staat om vele malen meer dan hun eigen gewicht te dragen.

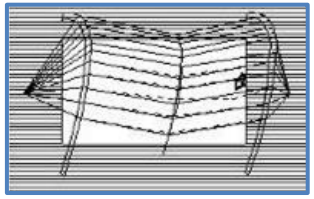
Radiale constructie

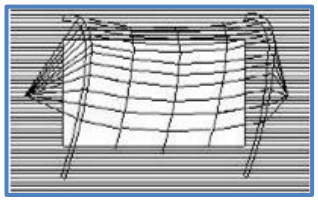
De vorm van de domes is opgebouwd uit verscheidende kabelelementen welke geschakeld zijn. Enkelvoudig (in één richting) resulteert dit in een instabiele vorm, de vorm zal veranderen met wisselende belastingen. Dit is op te lossen door een orthogonaal raster te maken van de vorm door kabelelementen in twee richtingen aan te brengen. Opmerkelijk is dat de mensen in de oudheid deze domes niet theoretisch onderlegd hebben gebouwd. Zij maakten deze constructies puur intuïtief.

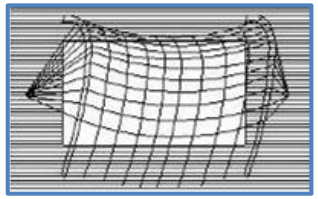
Er zijn twee basisvormen te onderscheiden;

- radiale constructies (één centraal punt) en,
- orthogonale constructies (raster met snijpunten)









Opbouw orthogonale constructie

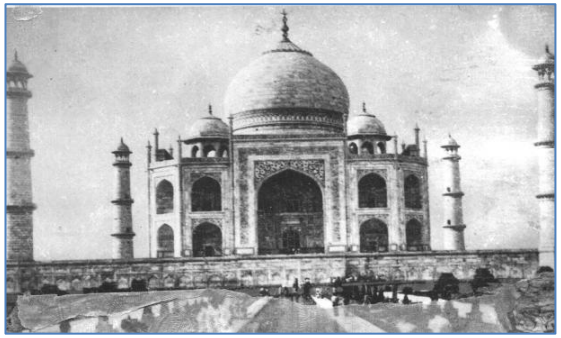
Toen later communes in permanente nederzettingen gingen wonen, veranderden de mobiele domes in solide constructies. De uitvinding van de baksteen kwam samen met ontstaan van deze nederzettingen. Mensen kookten in hun met klei bedekte woning, daardoor droogde de klei en uiteindelijk leidde dit tot de baksteen. Door dit nieuwe materiaal en tevens de vooruitgangen die geboekt werden in bouwtijd en -precisie, werden fantastische gebouwen neergezet. Voorbeelden daarvan zijn de Taj Mahal in India (anno 1648) en het Pantheon in Rome (anno 125), ook de moskeeën in het Midden-Oosten berusten op hetzelfde constructieprincipe.

Met het uitbuiten van de enorme krachten die de nieuwe materialen zoals, ijzer, staal en beton, konden opnemen werden ongekende overspanningen behaald. Vele van deze grote-overspanningsconstructies laten een nieuw kenmerk zien, namelijk, de toepassing van glas. In de zoektocht naar het efficiënter maken van deze constructies werden veel nieuwe vormen ontdekt. Het toepassen van nieuwe constructievormen als onderdeel van het architectonisch ontwerp kwam pas later.

Met de val het Romeinse Rijk ging ook de uitvinding van beton verloren, deze werd pas later weer herontdekt. Felix Candela's schaalstructuren zijn daar een voorbeeld van. Deze werden gevormd aan de hand van hyperbolische- en zadelvormen, welke werden voortgebracht door een reeks rechte lijnen.

In de vorige eeuw ontstond er een ontwikkeling in de tentenbouw doordat circustenten steeds groter werden. De invloed van het eigen gewicht van het doek ging een rol spelen er moesten aanpassingen gedaan worden om een goede vorm te krijgen. Bij elk nieuw doek werden de patronen aangepast en evolueerde de circustent naar zijn perfecte vorm. Het maken van tenten bleef een proces dat op ervaring was berust.

Aan het einde van de tweede wereldoorlog was er verandering waar te nemen in de tentenbouw. In Arctisch gebied moesten radarinstallaties geplaatst worden en Walter Bird bedacht een overkapping waar geen metaal in voorkwam, een opblaasconstructie. In deze tijd werd er in Europa zuinig omgegaan met geld en de architect Frei Otto zag mogelijkheden met het membraanprincipe. Hij legde de fundering voor de membraanconstructie en maakte gebruik van een rechthoekig orthogonaal raster, "dome-geometrie", bij het ontwerp van de Mannheim Tuin Tentoonstelling (1968). Het ingenieuze, organische, onregelmatige ontwerp bestaat uit delen dunne doorlopende houten stutten overdekt met lichtdoorlatend textiel. Deze man speelt momenteel nog steeds een belangrijke rol bij de ontwikkeling van constructiestructuren. In het hoofdstuk BASISPRINCIPES wordt uitgebreider op de achtergronden van Frei Otto ingegaan. Door het oppervlak een lichte kromming te geven en sterker te maken door een netwerk van staalkabels, konden gigantisch grote overspanningen bereikt worden. Het gewicht van deze constructies is in verhouding hetzelfde gebleven als de oorspronkelijke domes van 400.000 jaar geleden. Wereldwijd worden steeds meer deze constructies en varianten daarvan toegepast.



Taj Mahal, India

Pantheon, Rome, Italië

2 BASISPRINCIPES

Als we inzoomen op de festivalmarkt, zien we dat daar veelal spantenten gebruikt worden. Dit constructieprincipe zal gebruikt worden in het verdere onderzoek.

Een membraanconstructie is een ruimtelijke constructie met gekromde vlakken welke alleen op trek worden belast. De stabiliteit (druk) wordt gehaald uit de rand- en/of tuikabels. Samen met de membraanconstructie zorgen zij voor een vormvastheid. Voordat men tot de perfecte som van beide komt doorloopt men een ingewikkeld proces.

Hoe haal je vormvastheid uit een doek?

Kabels zijn alleen op trek te belasten, als je de vorm omkeert en een ander materiaal gebruik zijn deze ook op druk te belasten en kunnen buigkrachten opnemen. Dit deed Antonio Gaudi en kwam zo tot vormvastheid. Stabiliteit wordt bij een membraanconstructie uit de vorm gehaald. De vorm verandert zodra er belasting op de vorm wordt uitgeoefend, dit komt omdat de vorm geen buiging of druk kan opnemen. Het materiaal dat wordt gebruikt is bepalend voor deze vormvastheid.

2.1 FREI OTTO

Aanvankelijk werd het enthousiasme van Frei Otto voor het vliegen aangewakkerd door een grote fazantveer. Geïnspireerd door de vliegeigenschappen, bouwde hij zijn eerste modelvliegtuig, gemaakt van balsahout en papier. Dit enthousiasme, het experimenteren, is uitgegroeid tot de belangrijkste drijfveer van zijn latere werk met het construeren van structuren. Deze technische kant gecombineerd met een ongewone fascinatie voor het natuurlijke proces leidde tot een vruchtbare lichtgewichtontwerper.

Frei Otto is de eerste geweest die zich echt bezig heeft gehouden met membraanconstructies. Als directeur van het “Institut für leichte Flächentragwerke” verbonden aan de Universiteit van Stuttgart heeft hij veel bijgedragen aan de ontwikkeling van voorgespannen membraanconstructies.

Ook is Otto de uitvinder van de theorie van de “Minimalflächen”. Dit zijn vlakken die binnen de randen van een constructie een minimaal oppervlak hebben. Gevolg hiervan is dat in het vlak overal gelijke spanningen optreden. Dit is gunstig voor de constructie omdat er zo min mogelijk materiaal gebruikt wordt. In de periode van de jaren vijftig en zestig was dit in verband met de schaarste natuurlijk zeer wenselijk.

De theorie van de “Minimalflächen” is gebaseerd op en onderzocht met behulp van zeepvliezen. Bij zeepvliezen is een kleine voorspanning aanwezig omdat het vlies altijd de neiging heeft zich samen te trekken. Deze zeepvliezen streven daardoor altijd naar de kleinst mogelijke oppervlakte. Tevens kan een zeepvlies maar geringe spanningsverschillen weerstaan, waardoor er in het vlies altijd overal gelijke spanningen optreden. Deze vliezen zijn dan een weergave van een membraan in onbelaste toestand. Aan de hand van deze zeepvliezen werden vormmodellen gemaakt, zodat er snijpatronen voor het membraan gemaakt konden worden. Probleem bij deze methode is het feit dat niet alle minimaalvlakken geschikt zijn om externe belastingen op te nemen. Een zeepvlies, of een minimaalvlak, is vaak zo vlak mogelijk. Zoals later duidelijk zal worden heeft een membraan kromming nodig om belastingen te kunnen opnemen.

Met enkele verklaringen en definities zal in dit onderzoek de vorm en de effectiviteit ervan verduidelijkt worden.

2.2 STIJFHEID

In staven of vlakken die alleen belast worden met trekkrachten en/of – spanningen hoeft noch rekening te houden met knikkrachten noch buigmomenten. Trekstaven en voorgespannen vlakken mogen echter niet stijf zijn en kunnen uit zeer flexibele componenten worden geproduceerd, bijvoorbeeld membranen, weefsel of touwen, met een lage intrinsieke stijfheid. De constructie in totaliteit moet wel stijf zijn voor de nuttige belasting, hetzij door ruimtelijke voorspanning, wanneer het eigen gewicht minder is dan de maximale nuttige belasting of door het eigen gewicht.

2.3 RUIMTELIJKE VOORSPANCONSTRUCTIES

Ruimtelijke constructies zijn erop gebaseerd normaalkrachten op te nemen. Door wisselende belastingen kan het voorkomen dat elementen soms op druk belast worden en soms op trek. Drukelementen kunnen over het algemeen ook redelijk goed trekkrachten opnemen, maar elementen puur gedimensioneerd op trek zullen zeer snel uitknikken onder een drukbelasting. Wanneer er een groter onderscheid gemaakt wordt tussen trek- en drukelementen, dus door drukelementen alleen druk te laten opnemen en trekelementen alleen trek, kan de wisselende belasting alleen worden opgenomen door voorspanning toe te passen. Externe belastingen kunnen dan resulteren in een verhoging van de kracht in het element of tot vermindering. In het geval van een trekelement kan er zoveel druk worden opgenomen totdat de som van voorspankracht en druk door externe belasting nul is en de voorspankracht dus opgeheven is. Een goed ontwerp en nauwkeurige bepaling van de externe belastingen op de constructie zijn in dit geval zeer belangrijk.

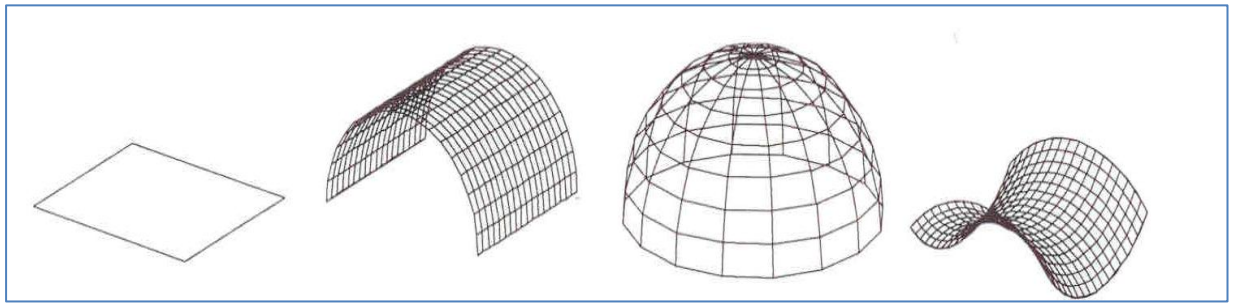
Voorbeelden van ruimtelijke voorspanconstructie zijn;

- Voorgespannen membranen
- Ruimtelijke getuide constructies
- Tensegrity-constructies
- Tensairity-constructies

2.3 VORMVASTHEID

- **Zeroclastisch** **g**een kromming, platte vlakken.
- **Monoclastisch** kromming in één richting. Stabiliteit: op druk belastbare en buigstijve materialen.
- **Synclastisch** kromming in twee gelijke richtingen. Stabiliteit: overdruk (membraanwerking) of toepassing op druk en buigstijve materialen.
- **Anti-clastisch** **k**romming in twee tegengestelde richtingen. Stabiliteit: inwendig voorspannen van alleen op trek belastbare materialen of toepassing op druk en buigstijve materialen.`

Bij membraanconstructies wordt vrijwel altijd gebruik gemaakt van een anticlastische kromming. Dit is de enige manier op een ruimtelijk gekromd vlak stabiel te maken. Een anticlastisch gekromd vlak maakt gebruik van een tegengestelde kromming. Toch worden niet alle membraanconstructies op deze manier uitgevoerd. In de praktijk wordt er gewerkt met twee principes.



Afbeelding 2.1, vormen

2.4 STABILITEIT

Stabiliteit wordt bij een mebraanconstructie gehaald uit de kromming van het vlak. Het ontwerpproces moet erop gericht zijn binnen de grenzen van de ontwerpmogelijkheden een zo groot mogelijke kromming in beide richtingen te bereiken. Een membraan van vlak is voorgespannen treden namelijk de hoogste reactiekrachten op.

2.5 KROMMINGSPRINCIPE

Door de dubbele kromming blijft de vorm intact. In de jaren ’60 ontdekte Frei Otto het krommingprincipe: uitwendige belasting wordt opgenomen door voorspanning en dubbele, tegengestelde kromming; hoe groter de kromming des te lager de voorspanning hoeft te zijn om een gegeven belasting op te nemen. Dit principe wordt voornamelijk toegepast bij permanente constructies, omdat de vervormingen van het doek niet groot zijn. De grote dubbele kromming staat borg voor een stabiel vlak.

2.6 VERVORMINGSPRINCIPE

Circus- en feesttenten zijn gebaseerd op het vervormingprincipe, de vorm van het doek slaat naar de andere kant, vlak doek wordt opgespannen door rand- en tuikabels, onder uitwendige belasting zal de tent sterk vervormen waardoor de voorspanning als de kromming toeneemt, hierdoor wordt de belasting opgenomen. Bij dit principe is de vervorming van het doek aanzienlijk, wat niet door iedereen als veilig wordt ervaren. Echter, hoe groter de vervorming, hoe sterker de kromming is toegenomen, dus hoe beter de belasting kan worden opgenomen. Een gevaar bij dit principe is het doorslaan van de constructie waardoor waterzakken kunnen ontstaan. Dit zijn delen van het doek waar ‘kuilen’ te zien zijn, hier kan water in gaan staan, en uiteindelijk kan daardoor de tent het begeven. Als het doek echter voldoende afschot heeft, levert dit geen probleem op.

2.7 SPANNINGSGEDRAG VAN HET MEMBRAAN

Bij voorgespannen membraanconstructies neemt het membraan onder voorspanning een groot deel van de trekkrachten op. Het membraan wat op trek belast wordt, wordt stabiel gehouden met behulp van drukelementen en spankabels. De voorspanning kan op twee manier worden bewerkstelligd;

- Overdruk (pneumatische constructies)
- Tegengestelde kromming in het doek

Voorspanning is noodzakelijk om een stabiele vorm te creëren. Voorspanning levert reactiekrachten op aan de kabeluiteinden. Bij een grote voorspanning kunnen grote krachten worden afdragen aan ondersteunende constructie. Wanneer een kabel strak wordt gespannen tussen twee punten en men in het midden een puntlast aanbrengt ontstaat de volgende situatie: de kabel kan geen buigkrachten opnemen en doordat de kabel recht is, kunnen er geen krachten ontbonden worden. De kabel zal de externe kracht opnemen door het te verplaatsen in de richting van de kracht totdat er een evenwicht ontstaat. Wanneer men diezelfde kabel niet strak gespannen, maar doorhangend aan brengt, zal door de initiële kromming de belasting gedeeltelijk worden ontbonden in de richting van de kabel. De oplegreacties in de kabeluiteinden zijn hierdoor veel minder. Je kunt hieruit concluderen dat hoe groter de kromming is, des te kleiner de kracht om belasting op te nemen.

Dit principe is hetzelfde voor het geval er een dubbele kromming aanwezig is. Wanneer een vorm een vlak verloop heeft zal een externe belasting een grote spanningstoename in de ene krommingrichting tot gevolg hebben en een afname in de andere. Om dan voorspanning te behouden is een grote voorspanning nodig. Dit zal resulteren in grote belastingafdracht aan de ondersteunende constructie. Om dit te voorkomen moet men in het ontwerpproces er op gericht zijn om zo groot mogelijk kromming te bereiken in beide richtingen.

Ketelformule

— —

: voorspankracht in x-richting
: krommingsstraal in x-richting
: voorspankracht in y-richting
: krommingsstraal in y-richting
: externe belasting

Als er geen externe belasting is, is het geheel in evenwicht door twee willekeurig even grote krachten, mits de stralen eveneens gelijk en tegengesteld gericht zijn. Op deze manier is er een inschatting te maken van het spanningsgedrag van de constructie. De grootte van de benodigde voorspanning is in te schatten door een belasting aan te nemen en de kromming te bepalen van de

ontworpen vorm. Om de grootte van de benodigde voorspanning in te kunnen schatten, moet men aan de hand van de ontworpen vorm de kromming van het membraan bepalen. Daarnaast moet men dan ook de externe belasting schatten.

2.8 ONTWERPMETHODE

Nu het basisprincipe bekend is kan er worden begonnen aan het volgende stadium, verkenning van de markt. Hierop zal grotendeels het daarna samen te stellen programma van eisen gebaseerd zijn, waarna het ontwerpproces kan beginnen.

Het ontwerp moet voldoen aan drie aspecten, wel te verstaan degelijkheid, functionaliteit en schoonheid. De verhouding tussen deze drie bepaald het slagen van het ontwerp.

Onder degelijkheid verstaat met de creatie van een stabiele vorm. Er moet onderzocht worden of de vorm die is ontworpen stabiel is. De spanningen die ontstaan in het membraan worden doorgevoerd naar de spanpunten, welke op hun beurt weer grote krachten afdragen naar de fundering. Afhankelijk van de aard van de constructie, kan er gekozen worden voor een tijdelijke verankering in de vorm van ballast of grondankers. Tevens moet eraan worden gedacht dat de onderconstructie niet mag bezwijken wanneer het membraan niet aanwezig is (bijvoorbeeld, brand en ongelukken).

De functionaliteit van het ontwerp is een tweede belangrijk aspect, veel functies vragen een grote overspanning. Het toepassen van een membraanconstructie levert op dit vlak geen grote problemen. Het materiaal waar mee gewerkt wordt is zeer licht en kan met behulp van veel constructies op verschillende wijze een grote overspanningen bereiken. Waar wel rekening mee moet worden gehouden is dat de stramienmaten waarmee je werkt in de conventionele bouw anders zijn. Je kunt bij het ontwerpen van een membraanconstructie geen rechte wanden verwachten, maar een membraan is qua grondvorm gemakkelijk aan te passen aan de functie waar het huis aan biedt. Ook is een membraanconstructie een constructie welke gemakkelijk demontabel te ontwerpen is. Zo is de constructie verplaatsbaar en op diverse locaties op te bouwen.

Het moge duidelijk zijn dat een membraanconstructie geen conventionele constructie is. Het heeft een uitstraling die in alle opzichten de aandacht trekt. Esthetisch kunnen we over een sculptuur spreken welke zachte of harde vorm kent. Het is mogelijk om over korte afstanden grote hoogte verschillen te creëren voor een agressieve vorm, of over langere afstand met minder hoogteverschil een zachte golvende vorm. Naast dat op deze manier uitdrukking kan worden gegeven aan het ontwerp is met licht ook veel mogelijk. Daglichttoetreding is (bijna) altijd aanwezig, bij een overkapping is er meestal direct zonlicht aanwezig en indirect zonlicht kan worden bepaald met de translucentie van het doek. Ook kan er met lichteffecten gespeeld worden, waardoor er speciale schaduwspelen ontstaan.

Nadat bovenstaande drie aspecten zijn doorlopen moet er daadwerkelijk met het ontwerpmodel begonnen worden. Er zijn twee hulpmiddelen die hierbij betrokken kunnen worden. Het maken van een maquette (*formfinding*), na bepaling van de grondvorm en type ondersteuning, kan er met behulp van panty's gemodelleerd worden. Ook is er op de markt steeds meer technische computersoftware* waarin coördinaten kunnen opgegeven en het programma zelf een membraan (*mesh*) genereert. Beide hulpmiddelen zullen worden gebruikt bij het proces beschreven in dit rapport.

* Tentech BV werkt met het softwareprogramma EASY, na formfinding is het ontwerp met dit programma aan te passen (afmetingen, voorspanning, zakking en kromming van de randen). En kan het gebruikt worden om uitgebreidere berekeningen op los te laten.

3 MARKTAANBOD

3.1 TYPES

Al geruime tijd worden tenten in de westerse cultuur niet meer gebouwd als permanente woningen. Wel worden de eeuwenoude constructies nog steeds ingezet als semipermanente en/of mobiele tentsystemen. In deze huizen verschillende functies waaronder; het overkappen van evenementen, logiesfuncties en horecafuncties.

De huidige tentenmarkt kent twee type tentconstructies;

- Frametent
- Spantent

Eerstgenoemde is een tent waarbij de ondersteunende constructies is opgebouwd uit frames. Enkele veel toegepaste tenten met een frameconstructie zijn de pagodetenten en de alu-hallen.

Alu-hal Alu-hal is een afkorting van aluminium hal, ofwel een tent met een aluminium spantconstructie. Dit type tent heeft een spantconstructie en daardoor geen constructiepalen in het midden van de tent nodig. De houten vloer maakt deel uit van de constructie, waardoor deze niet kan worden weggelaten. De zijwanden zijn in meerdere kleuren en opties verkrijgbaar. Dit verschilt per leverancier. De zijwanden zijn eventueel gedeeltelijk vervangbaar door schuifpuien met glaspanelen, waardoor je bijvoorbeeld een terras kunt koppelen aan de tent. Een hele zijde openmaken is bij een alu-hal, in tegenstelling tot de spantent, niet mogelijk vanwege de dragende functie die de zijwanden hebben. Deze tent is het hele jaar plaatsbaar en met uitgebreide aankleding en decoratie tot een representatieve evenementenlocatie om te toveren. Een alu-hal is in principe plaatsbaar op elke ondergrond.

Pagodetent Deze, meestal zeshoekige of vierkante, puntvormige tentjes zijn zeer representatief en hebben een sfeervolle en speelse uitstraling. Pagodetentjes zijn heel goed inzetbaar als entreetent of garderobetent, bijvoorbeeld gekoppeld aan een alu-hal. Meestal zijn pagodetentjes uitgevoerd in wit of crèmekleur.

Spantent Een spantent bestaat uit een spanconstructie van zeildoeken, middenmasten en spantouwen. Meestal is de spantent ovaal van vorm. Er bestaan grote verschillen tussen de verschillende spantenten, in zowel kleurstelling, grootte als representativiteit. Over het algemeen zijn spantenten te gebruiken bij meer informele bijeenkomsten. Afmetingen zijn niet flexibel te bepalen. Wel kunnen bij een spantent een of meerder zijwanden worden geopend door deze op te rollen. De kosten voor een spantent zijn meestal lager dan die voor een alu-hal met dezelfde oppervlakte. Door er bij een spantent pinnen in de grond geslagen moeten worden, is deze niet zomaar op iedere ondergrond te plaatsen.

Wanneer en waarom wordt welke tent voor welk doeleinde gebruikt?

Een voordeel van tenten is, dat ze bijna overal plaatsbaar zijn, als de ondergrond maar geschikt is en het terreinoppervlakte groot genoeg. Bijvoorbeeld in een weiland of op een grote parkeerplaats. Maar je zou ook aan een tent kunnen denken als onderdeel of verlengde van het eigen bedrijfspand bij bijvoorbeeld een open dag, of als uitbreiding als een locatie net te klein is voor het aantal gasten en je dus extra oppervlakte nodig hebt. Bij de keuze voor een tent als locatie komt er voor de organisator wel heel wat meer bij de voorbereiding kijken dan bij een vaste, bestaande locatie. Een degelijke planning en afstemming worden dan extra belangrijk. Er moeten veel meer faciliteiten worden geregeld, waardoor de kans om iets te vergeten in de organisatie groter is. Bedenk in elk geval dat voor het plaatsen van een tent een vergunning van de gemeente nodig is. Dit betreft de gemeente waarin zich het terrein bevindt waarop je de tent wil plaatsen. Dit geldt ook als de tent op het eigen bedrijfsterrein wordt geplaatst. Daarnaast moet de brandweer hieraan zijn toestemming verlenen en kan deze komen controleren op zaken als brandveiligheid van de inrichting, voldoende nooduitgangen, breedte en toegankelijkheid van de entree- en nooddeuren. De kans op geluidsoverlast is bij een tent groter dan bij een stenen locatie. Misschien is een aparte vergunning of ontheffing nodig om optredens en toespraken te mogen houden. Een tent moet niet te klein, maar zeker ook niet te groot zijn. Houdt bij het bepalen van de benodigde ruimte ook rekening met enkele vrije meters rondom de tent, die nodig zijn om de tent te plaatsen en af te breken.

Functie	Spantenten	Frametenten
Receptie	(√)	**√**
Vergadering	-	**√**
Beurs	-	**√**
Expositie	-	**√**
Concert	√	**√**
Dorpsfeest	√	**√**
Theater	√	**√**
Film	-	**√**
Logies	√	**(√)**
Overkapping	√	-
Horeca	√	**√**

Tabel 3.1

3.2 SAMENVATTING ONDERZOEKSRAPPORT (OR-FM)

Om een goed een haalbaar product op de markt te brengen is het noodzakelijk om de markt te kennen. Door middel van een uitgebreid marktonderzoek is een conclusie te trekken welke hieronder samengevat is weergegeven. Het totale rapport is te vinden in de bijlage.

Het productonderzoek heeft plaatsgevonden onder tien prominente bedrijven binnen de tentenverhuurmarkt in Nederland en België. Het aanbod van deze bedrijven is met elkaar vergeleken op basis van een aantal parameters welke betrekking hebben op het type aanbod, en op de vorm van de tenten;

- Type aanbod, festivaltenten
  - Multifunctionaliteit
  - Type tent
  - Capaciteit
  - Grootte
  - Specialiteiten
- Vorm, festivaltenten
  - Dak
  - Grondvlak

BHV	Grootschalige evenementen worden door dit bedrijf gehuisvest in schakelbare alu-paviljoenen of alu-hallen.
Neptunus	Neptunus biedt voor grootschalige festivalevenementen koppelbare alu-hallen en spantenten. Eerstgenoemde is een frametent, ideaal voor elke benodigde capaciteit, een voorbeeld van een alu-hal is de " Ocean", het dak is uitgevoerd uit een membraan welke ondersteund wordt door een kolom of golvende "dakligger". Daarnaast de spantent, ook wel membraantent.
Top Tents	Bij Top Tents kun je terecht voor grotere festivaltenten, voor elke gewenste hoeveelheid publiek. De tenten zijn vormtechnisch gezien veelal hetzelfde, maar qua kleur springen ze eruit
Bressers	Voor kleine tot middelgrote spantenten kun je bij Bressers terecht. De tenten zijn qua kleur en vorm gebruik eenvoudig. Positief zijn de extra opties die het bedrijf verzorgt.
Sheltertents	De concepten die Sheltertents op de markt brengt zijn onconventioneel en uniek. Het Shelterflexdoek kan worden toegepast bij kleine tot middelgrote evenementen, daar het een beperkte afmeting heeft.
Mega tenten	Naast het standaard aanbod heeft dit bedrijf veel grotere festival tenten in het assortiment. Deze tenten zijn standaard opgebouwd.
Tribalfields	Dit bedrijf heeft een beperkt aanbod, maar toch is dat een tent die voor sfeer op een festival kan zorgen met zijn bijzondere vorm/constructie.
De Boer	Uitgebreid aanbod van standaard en bijzondere frame- en spantenten.
De Kruijff	De Kruijff tenten concurreert met vele andere tentenverhuurders, omdat bij dit bedrijf "speciale" tenten verkrijgbaar zijn.

3.3 CONCLUSIE

Van de onderzochte bedrijven hebben er een klein aantal een aanbod dat ook uit speciale spantenten bestaat. Uit een gesprek met evenementenorganisatie LOC7000 blijkt dat evenementenorganisaties wel behoefte te hebben aan specialere tenten. Deze tenten dragen ook bij aan het imago van de organisatie en hiermee kunnen ze zich van andere organisaties onderscheiden. We kunnen dus concluderen dat er ruimte is op de markt voor vernieuwende concepten.

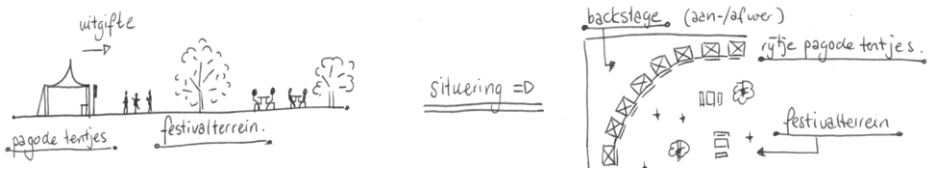
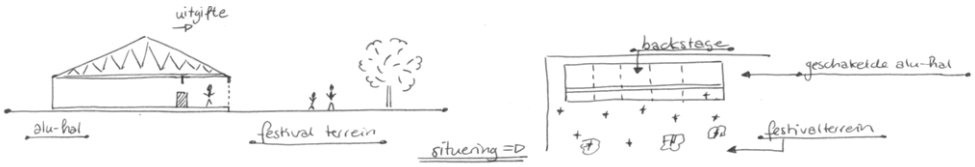
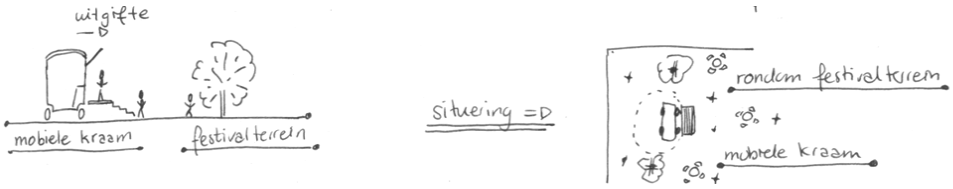
4 FESTIVAL

4.1 HUIDIGE OPZET

De hoofdvraag van dit verslag beslaat een ontwerp voor een tent welke bestemd is voor de festivalmarkt. Hoe ziet deze markt er momenteel uit?
De facilitaire tak van de evenementenorganisator LOC7000 heeft ervaring met het organiseren van onder andere de festivals Lowlands en de Zwarte Cross. Deze twee festivals neem ik als afbakening en referentie van mijn ontwerp. Het zijn beide festivals waar de tent zou kunnen komen te staan, enkele argumenten hiervoor zijn de thematische opzet van beide festivals en de verscheidenheid in aanbod van acts en faciliteiten.

Om de huidige mogelijke situaties inzichtelijk te maken heb ik een drietal schetsen gemaakt. Respectievelijk de `kleine`pagodetenten, welke geschakeld opgesteld staan, de standaard alu-hal, welke intern wordt verbouwd met eventueel een bar en de mobiele kraam die op het hele terrein kan worden geplaatst. Naast deze drie vaak toegepaste horecagelegenheden op festivals, worden ook `aparte` tenten schaars toegepast.

Op festivals is de huidige opzet voor horecatenten onder te verdelen in drie vormen:

GESCHAKELDE PAGODETENTEN		
ALU-HALLEN, MET INTERNE HORECA-INDELING		
MOBIELE KRAMEN, DIE VERSPREID OVER HET FESTIVALTERREIN GEPLAATST WORDEN		

Tabel 4.1, opzet horecatenten op festivals

5 PROGRAMMA VAN EISEN

5.1 SAMENVATTING PROGRAMMA VAN EISEN

ALGEMEEN	
Locatie	*De festivaltent kan op iedere gewenste plaats worden gerealiseerd. Met in achthouding van de plaatselijk geldende regelgeving.*
RANDVOORWAARDEN	
Tijd	*Snelle montagetijd*
Sfeer	*Interactief*
	Modern, extravert, opvallend, speels
	Voorkeur natuurlijke materialen
DuBo	*Duurzame materialen*
	Kwantiteit vs. Kwaliteit
Budgettering	*Nader te bepalen*
Publiekrechtelijk	*Rekening houden met eventuele vergunningen*
Privaatrechtelijk	*De tent moet te allen tijde stabiliteit waarborgen*
Bodem	*Gevolgen t.a.v. bodemgesteldheid in kaart brengen.*
FUNCTIONELE EISEN	
Flexibiliteit	*Flexibel in indeling, vorm en configuratie en de frequente toepassing daarvan. Het ontwerp biedt mogelijkheden voor diverse functies.*
Toegankelijkheid	*Rolstoelvriendelijk. Rekening houden met laad- en losruimtes.*
Veiligheid	*Ontwerptechnisch rekening houden met "donkere" hoeken.*
RUIMTELIJKE EISEN	
Locatie	*Inpassing van de festivaltent moet blijken uit locatieonderzoek, structuurschets, massastudie en/of situatietekeningen.*
Terrein	*Iedere grootte.*
Opp. Podium	*Flexibel*
Opp. publ. ruimte	*Flexibel*
Capaciteit	*Netto opp. gebruiker voltallige act: ca. 1m^2*
TECHNISCHE EISEN	
Akoestisch	*Optimale nagalmtijd nader te bepalen.*
	Vormgeving vs. geluidverspreiding.
Constructie	*Conform Bouwbesluit, inachtneming van brandveiligheidsvoorschriften.*
Temp. en vochtigheid	*Voldoende warmte accumulerend en ventilerend. Afwatering goed regelen.*
DuBo	*Ambities betreft DuBo serieus overwegen.*
Visueel	*Voldoende verlicht (natuurlijk/kunstmatig).*
Minimumeisen	*NEN-normen, DIN-normen*

* Het gehele PVE is te vinden in de bijlage.

6 MODULE

6.1 WAT IS EEN MODULAIR TENTSYSTEEM?

Een betreft een systeem waarbij men probleemloos te tent kan vergroten en verkleinen. Binnen een bepaald raster kan de tent als onderdeel van een groter geheel worden geplaatst, maar ook als zelfstandige tent worden ingezet, binnen korte tijd. De verschillende typeonderdelen kunnen met elkaar gecombineerd worden en zo een op maat samengestelde tent vormen naar elke behoefte en functie.

We gaan eerst kijken naar de 2D-opbouw van een modulair systeem. Welke mogelijkheden zijn er op dat gebied en welke grenzen ontstaan er daardoor?

Een modulaire constructie kan bestaan uit:

1. Grid (raster) met masten, waarvan de losse doeken als modules te zien zijn (intern of extern).
2. Grid (raster) met frame, waarop gespannen membraan.
3. Gespannen membranen op frames, gekoppelde niet-geometrische vormen.
4. "Losse"modules welke koppelbaar zijn met gespannen membraan koppelstukken.

6.2 GRID

Een grid is een raster dat als hulpmiddel dient om continuïteit te formeren, tweedimensionaal of driedimensionaal. In dit hoofdstuk bekijken we het tweedimensionaal;

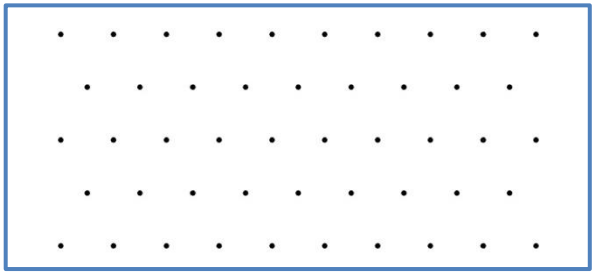
Een modulair systeem kan op basis van twee gridprincipes worden opgebouwd:

- Uniform grid
- Niet-uniform grid

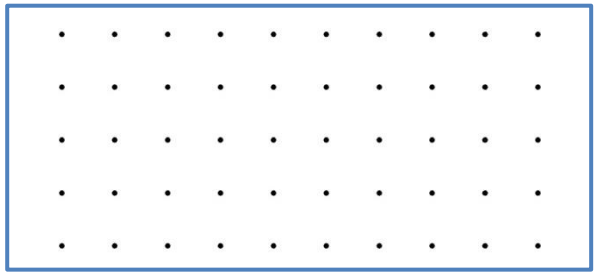
Vanwege de complexiteit die een niet-uniform grid met zich meebrengt, welke tot uiting komt in de productie en dus financiële gevolgen heeft, is er gekozen om het ontwerpconcept alleen toe te spitsen op het uniforme grid.

Een uniform grid is een raster waarbij de punten op gelijke afstanden van elkaar zijn geplaatst. Er bestaat een orthogonaal grid (vier gelijke zijden) en een diagonaal grid (drie gelijke zijden) (zie afbeeldingen 6.1 en 6.2).

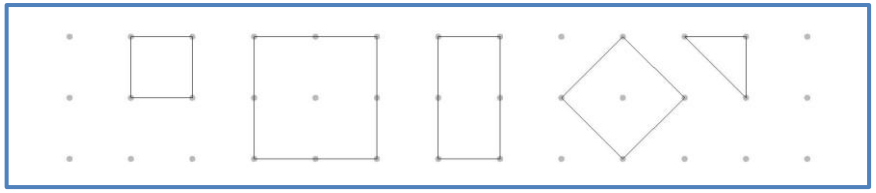
Hoe bepaal je de onderlinge afstanden tussen verbindingspunten? Wat is een praktische maat? De huidige maat van de pagodetenten is nu 5m x 5m = 25m^2.



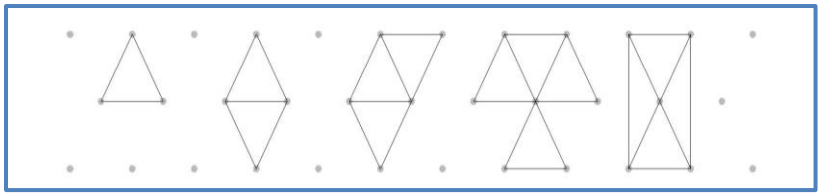
Afbeelding 6.1, diagonaal grid



Afbeelding 6.2, orthogonaal grid



Afbeelding 6.3, orthogonale vormen



Afbeelding 6.4, diagonale vormen

Uitgaande van deze maat, wordt de maat tussen de verbindingspunten: 5 meter of 2.5 meter. Ook moet er rekening gehouden worden met de maximale overspanning van een membraan tussen twee punten. Uitgaande van beide opzetten zijn er geometrische vormen genereren (zie afbeeldingen 6.3 en 6.4).

6.3 GRIDKEUZE

De opzet van de festivaltent is modulair. Het uniforme diagonale grid vormt een uitstekende basis om vrije vormen te configureren. Deze vormen hebben allemaal een driehoekig karakter.

Het systeem bestaat uit twee type onderdelen;

- Hoofdmodule
- Randmodule(s)

De hoofdmodule heeft een zeshoekige basis en de randmodule bestaat uit vier aangesloten driehoeken (2/3 zeshoek) of drie aaneengesloten driehoeken (1/2 zeshoek).

De hoofdmodule zelf is modulair;

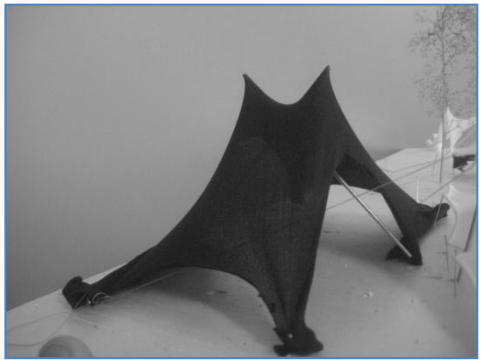
- Drie dezelfde doeken welke geroteerd kunnen worden op verschillende hoogtes.

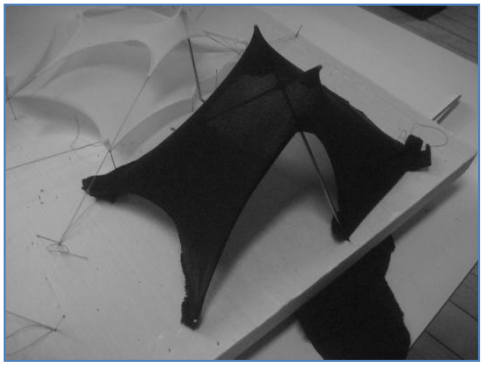
De hoofdmodule kun je uitbreiden met de randmodules, welke ansicht ook schakelbaar zijn, en toepasbaar zonder de hoofdmodule. Hierdoor zijn er ontzettend veel moegelijkheden, voor elke functie. De constructie is opgebouwd uit masten op de snijpunten waartussen de doeken zijn gespannen.

De verschillende configuraties die mogelijk zijn met dit modulaire systeem worden verder besproken in het hoofdstuk FLEXIBEL.

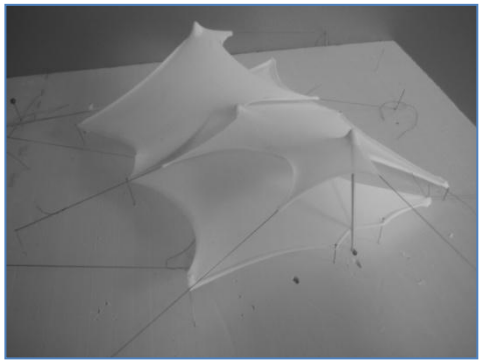
7 FORMFINDING

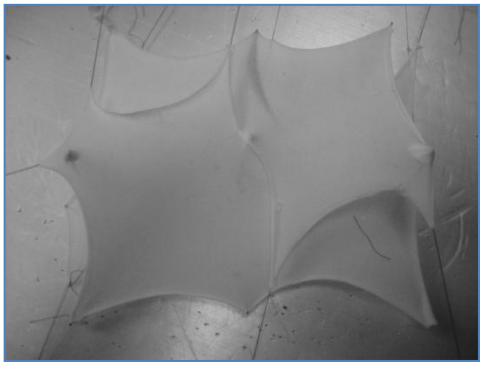
Het is erg lastig om jezelf mogelijke tentvormen ruimtelijk voor te stellen. Door middel van pantymodellen is het mogelijk om tot uitgangsontwerpen te komen, welke als basis dienen voor een uiteindelijk ontwerp. De drie modellen op deze pagina laten zien hoe een membraan werkt, en welke vormen het aan kan nemen (d.m.v. panty's, metalen staven, touwtjes, spelden).



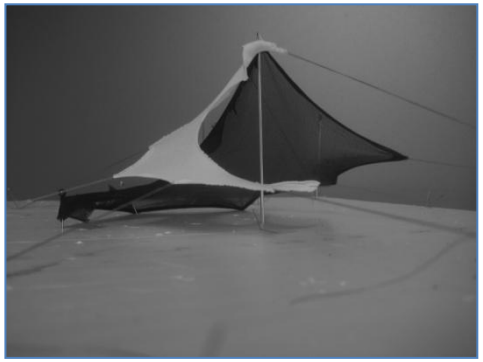


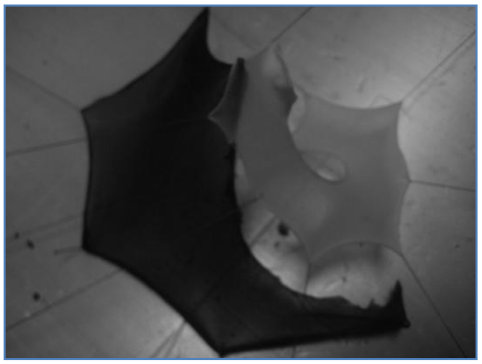
10.7, X-masten met membraan eroverheen gespannen naar vijf "grond"punten





10.8, Drie middenmasten met twee gedraaide membranen afgespannen in "standaard"tentvorm





10.9 Twee membranen in verschillende richtingen afgespannen op één centrale mast

8 FUNCTIE

Zoals aangegeven in het programma van eisen gaat de vraag gaat uit naar een overkapping voor verschillende functies;

1. Primair Horecafunctie
2. Secundair Overige evenementenfuncties denk bijvoorbeeld aan een dansgelegenheid, expositieruimte of theetuin.

Vanwege de schakelbaarheid van de tent is er een tent te configureren naar bijna elk gewenst oppervlak. In tabel 8.1 is te zien op welke wijze de tent ruimte moet bieden aan beide functies. We kijken naar vier belangrijke onderdelen waarin die multifunctionaliteit zichtbaar moet worden; oppervlakte van de tent, technische additieven, toegankelijkheid en materialisatie.

OPPERVLAKTE

1. Horeca modules in de randtenten, deze zijn af te scheiden met een doek van de naast gelegen unit, of voor buiten.
2. Voor groot of klein publiek, de tent kan worden uitgebreid met randtenten om aan iedere capaciteit te voldoen.

TECHNIEK

1. Er is genoeg ruimte voor een bar, veel omloopruimte, elektra moet van nevencentrale komen.
2. Elektra moet van nevencentrale komen. Het is mogelijk om techniek op te hangen in de masten.

TOEGANG

1. De bars zijn goed bereikbaar, geen ruimte om je op te houden of in de weg te staan voor anderen.
2. Door zeker één randtent te gebruiken als toegang of een gedeelte van twee tegenover elkaar liggende randtenten kun je een goede in- en uitgang van de tent creëren.

MATERIAAL

1. Licht kan door het doek komen.
2. Materiaal moet niet in het 'zicht' komen wanneer er een podiumopstelling wordt gebruikt.

OPPERVLAKTE	TECHNIEK	TOEGANG	MATERIAAL
Uitgaande van de huidige situatie nemen we als richtlijn 25 m^2.	Mogelijkheden voor het plaatsen en aansluiten van een tap en mobiele keuken.	Bij horeca gaat het veelal om uitgifte, de ruimte is dus níet publiekelijk en moet afgesloten kunnen worden. Daarnaast is het van belangrijk om de totale lengte van de uitgifte zo groot mogelijk te maken, om wachtijren te voorkomen en meer omzet te generen.	Omdat dit een afgesloten ruimte is, is het van belang om dit ook in het materiaal aan te kunnen geven. Wanneer er een mogelijkheid is om te kiezen tussen lichtdoorlatend of verduisterend doek is dat een pré. Ook kan, op deze manier, het doek worden "gecustomized"door de gebruiker, het kan bijvoorbeeld een communicatiemiddel zijn (commerciëel of niet-commerciëel).
Omdat dit een modulair systeem betreft; de oppervlakte kan worden verkleind vergroot, is de oppervlakte flexibel.	Mogelijkheden voor het plaatsen van een podium, lichttechniek, videotechniek en eventueel "open" tap.	Wanneer de ruimte benut awordt ls expositieruimte, dansruimte of zitruimte, wordt de totale ruimte openbaar gebruikt. Je moet rekening houden met de stahoogte, in- en uitgangen en loopruimte. Het belangrijkste onderdeel hiervan is de toegankelijkheid vanuit buiten de tent. Men moet makkelijk via meerdere wegen de tent in kunnen komen en erdoor kunnen lopen.	Je kunt bijvoorbeeld denken aan lichtdoorlatend doek, of juist verduisterend doek. Ook als je naar vandalisme kijkt, zijn de eisen vanuit de organisatie bij een festival anders dan bij een voorstelling op een marktplein, hiervoor zijn verschillende materiaaltechnische oplossingen te bedenken.

Tabel 8.1

9 MATERIAAL

Het meest voor de hand liggende materiaal dat gebruikt kan worden voor gespannen membraanstructuren is textiel. Doordat het materiaal esthetisch gezien hoog scoort, heeft het zich de afgelopen jaren geëvolueerd tot een toepasbaar product met uiteenlopende eigenschappen. Hieronder zijn de huidige verkrijgbare materialen uiteen gezet in een tabel. Hieruit blijkt welke eigenschappen de verschillende materialen hebben. Dit wordt gevolgd door een conclusie waaruit naar voren komt waarom er voor welk materiaal is gekozen om toe te passen in dit project.

*Bron: DIN 4102

9.1 MATERIALEN

	Polyester		**Fiberglass**		**Aramid**			**Katoen**			
Materiaal	PES/PVC	PES/PVC	Glasvezel	Glasvezel	Aramid	Aramid/PVC	Aramid/PTFE	Katoen	Katoen/PES	ETFE	PTFE
Coating	Acryl	PVDF - smelting	PTFE	Silicone	-	Acryl	PTFE	-	Acryl	-	PTFE
Levensverwachting	8 - 10	12 - 15	> 30	> 30	> 20	> 20	> 20	> 5		<20	<30
Zelfreinigend	+ -	+	+ +	+ -							
Lichtdoorlatendheid(%)	+ -	+ -	+	+ +	-	-	-	verschilt		+ +	+ +
Brandveiligheid*	B1		A2	A2	B1			B2		-	B
Vouwbaarheid	+ +	+	-	+ -	+ -	+ -	+ -	+	+	-	+
Scheurvasthe id (N)	350	-	300	570	-	-	-	60	80	-	-
Breukrek (%)	15/20	-	7/10	7/10	5/6	1,0 / 3,6		35/18	38/20	-	13/32
Kosten (€/m²)	10-50	10-50	60-75	-	-	-	-	15	20	-	100
Sterkte (N/5 cm)	3000/3000	7500/6500	3500/3000	6600/6000	7000/9000	24500/24500		1700/1000	2500/2000	-	2000/2000
Gewicht (g/m²)	850	1350	800	1270	900	2020		350	520	-	520
E - Modulus (N/mm²)	10.000/15.000	-	-	-	59.000-127.000			4500	9000	-	
Toepassing	Tijdelijke constructies, mobiele constructies, beloopbare constructies, permanente constructies, standaardsystemen		Permanente constructies, standaardsystemen, niet beloopbaar		Permanente constructies, grote spanwijdte, lichtdicht, niet beloopbaar			Tijdelijke constructies, mobiele constructies, kleine spanwijdtes		Binnentoepassingen, weinig belasting bij buitentoepassing	Beloopbare constructies, schermen

Tabel 9.1, materialen

9.2 MATERIAALKEUZE

De toepassing van Fiberglass of Aramid is geen voor de hand liggende optie, omdat dit project een tijdelijke constructie betreft. Vanwege de minimale overspanning die katoen kan bereiken is dat ook geen ideaal materiaal om toe te passen in deze constructie. ETFE is vanwege zijn lage gewicht en zijn lichtdoorlatendheid gelijk aan dat van glas is een ideaal materiaal voor binnentoepassingen. Op basis van de gegevens uit de materiaaleigenschappen moet ik concluderen dat ik me beperk tot producten die voortkomen uit polyester of PTFE.

Polyester is een materiaal dat veel gebruikt voor tijdelijke constructies, het heeft een relatief hoge sterkte en voordelige breukrek. Enkele nadelen zijn het gewicht en de transluciditeit. Het materiaal heeft meestal een PVDF-smelting aan beide zijden om de levensduur van het membraan te verlengen tot maximaal 20 jaar.

PTFE is het meest duurzame materiaal dat toegepast kan worden, het heeft namelijk een levensduur van maximaal 30 jaar. Esthetisch gezien is PTFE ook een goede keuze, omdat het voorkomen van de constructie “licht” moet zijn. Door de lichtdoorlatendheid van het materiaal is de gehele constructie beter zichtbaar en ontstaan er geen donkere hoeken. Eventueel zouden verschillende doekdelen in mindere mate lichtdoorlatend uitgevoerd en toegepast kunnen worden. PTFE membraan is verkrijgbaar in verschillende transluciditeiten. Daarnaast ontstaan er bij gebruik van de tent als horecafunctie hoge temperaturen en PTFE is daar goed tegen bestand.

9.3 PRODUCTEN

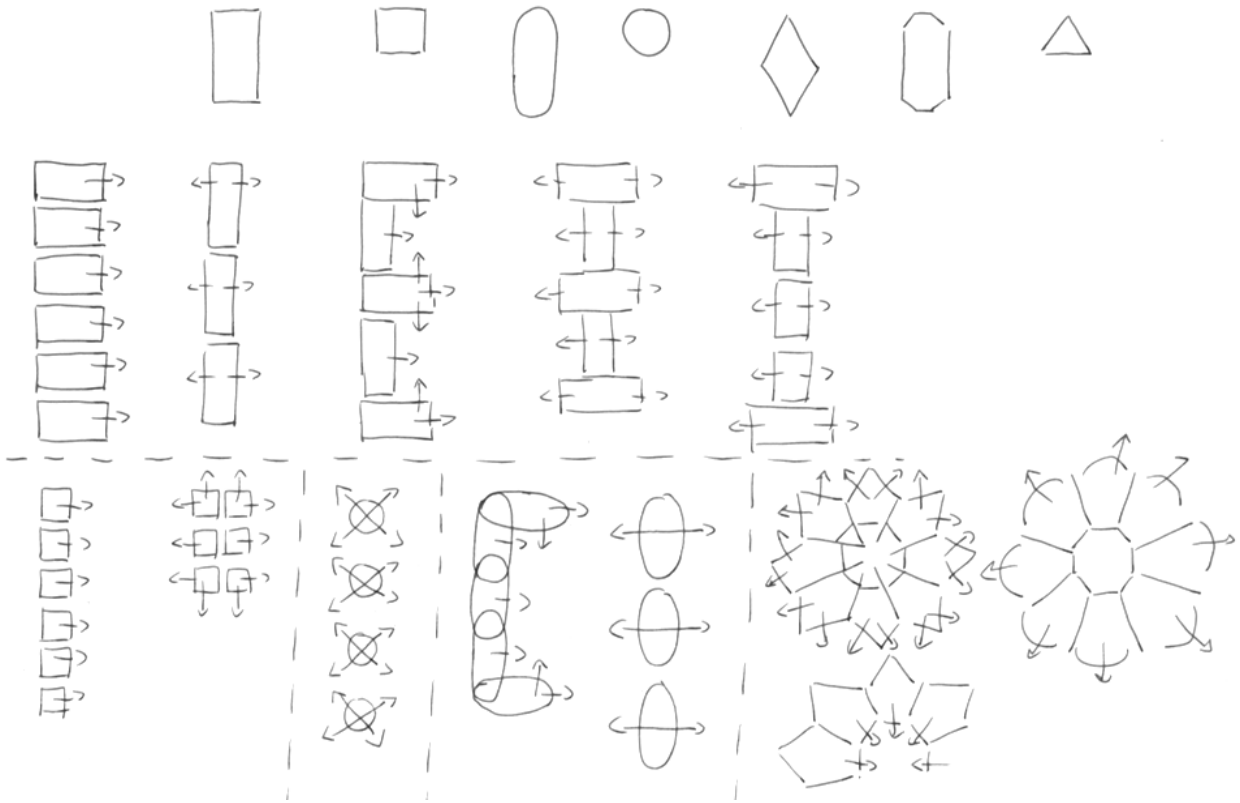
Tabel 9.2, TENARA producten

Producent	Materiaal	Transluciditeit (%)	Gewicht (g/m^2)	Sterkte (N/5cm)
Tenara	Expanded PTFE	32	330	2250
Tenara	Expanded PTFE	32	520	3240
Tenara	PTFE stof met PTFE coating	19	1080	4000
Tenara	PTFE stof met PTFE coating	38	1080	4000

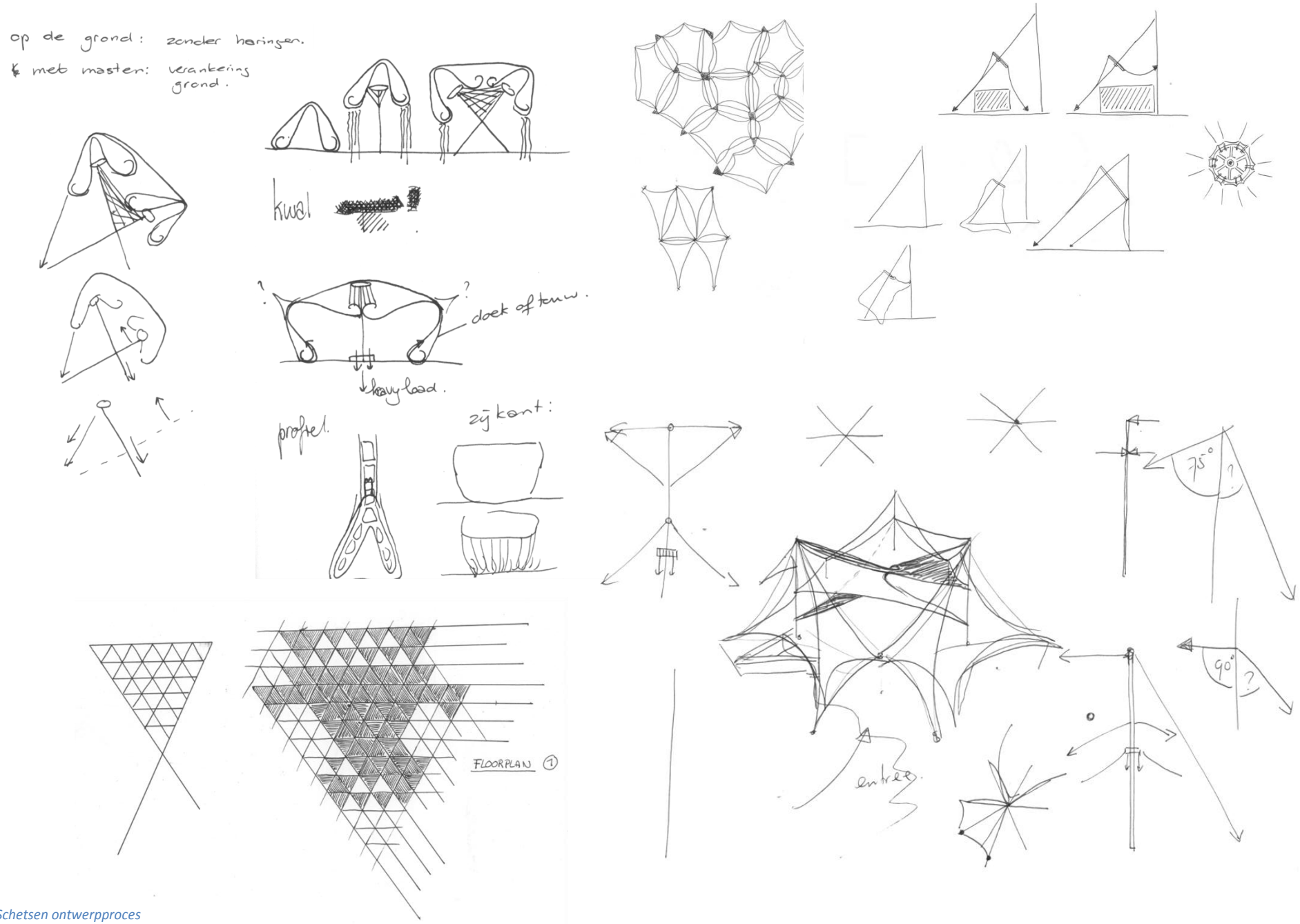
NB Na constructieve analyse zal het producttype bepaald worden.

10 ONTWERPPROCES

Nadat het programma van eisen is bepaald begint het ontwerpen. Het proces omslaat het zoeken naar een basis vorm, zoals te zien is in afbeelding 10.1, waarin eventueel een membraan kan worden gespannen tot het vinden van een passend demontabel, modulair constructieprincipe. Er zijn in dit hoofdstuk ook afbeeldingen te vinden van schetsen welke in dit stadium zijn gemaakt, overige relevante schetsen zijn te vinden in de bijlage.



Afbeelding 10.1, schetsen



Schetsen ontwerpproces

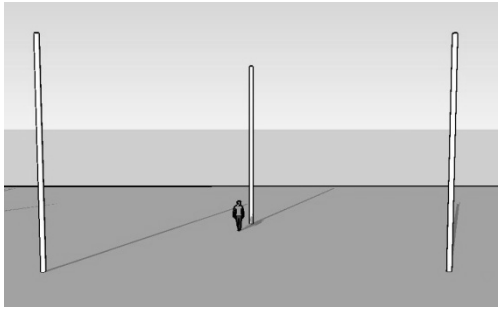
Tijdens het ontwerpproces zijn de drie basisaspecten leidraad;

10.1 DEGELIJKHEID

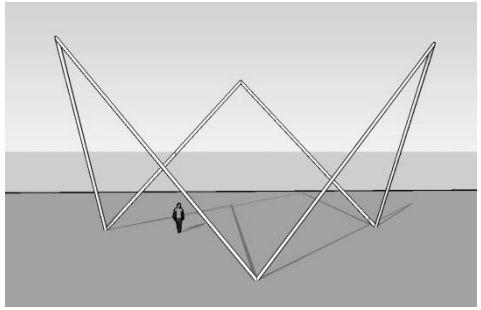
Bij elk idee dat enige kans van slagen had is dieper ingegaan op de constructie. Blijft alles staan en op welke manier wordt het membraan stabiel gehouden? Zijn vragen waarop dat moment aandacht aan besteed moet worden. Doekpunten hebben aansluiting nodig, of dit met de grond is of aan een mast maakt uit voor het uiteindelijke ontwerp. Ook alternatieven voor de onderconstructie zijn onderdeel van dit aspect. In afbeelding 10.2 en 10.3 zijn twee constructieve alternatieven te zien voor het voorlopige ontwerp. Het alternatief van de verticale masten in afbeelding 10.2 is nog verder bekeken door een voor- en nadelen analyse te maken van mogelijke toepassing van verticale drukelementen in tabel 10.1.

Omschrijving types	Voordelen	Nadelen
Verticale mast met diagonaal opzetstuk waaraan de tuikabels zijn bevestigd	Horecaschakeling mogelijk met één mast Géén ruimteverspilling	Complexe bevestiging van opzetstuk Opzetstuk moet op twee wijzen kunnen worden gemonteerd aan de mast Afspanning niet optimaal
Schuin geplaatste masten waaraan de tuikabels zijn bevestigd	Optimale afspanning bij gecombineerde toepassing.	Bij horecaschakeling twee masten benodigd Bij horecaschakeling kan mast alleen worden afgespannen in twee richtingen <90˚
Verticaal geplaatste masten waaraan de tuikabels zijn bevestigd	Géén ruimteverspilling Horecaschakeling mogelijk met één mast Hoofddoeken kunnen op verschillende hoogtes worden geplaatst	Afspanning niet optimaal

Tabel 10.1, voor- en nadelen analyse verticale masten



Afbeelding 10.2, verticale masten



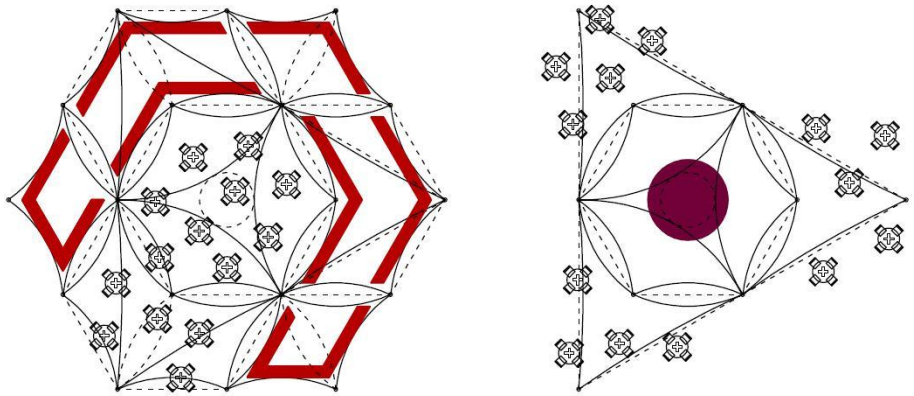
Afbeelding 10.3, diagonale masten

De uiteindelijke keuze is gevallen op een constructie van verticale masten waaraan spankabels zijn bevestigd of randdoeken (rondom de hoofdconstructie) welke als afspanning dienen.

10.2 FUNCTIONALITEIT

In het hoofdstuk FUNCTIE is te lezen met welke functies het ontwerp rekening moet houden. Door schetsmatig indelingstekeningen te maken en volumes is in te schatten of een ideeontwerp potentie heeft om verder uit te werken of dat een en ander nog moet worden aangepast.

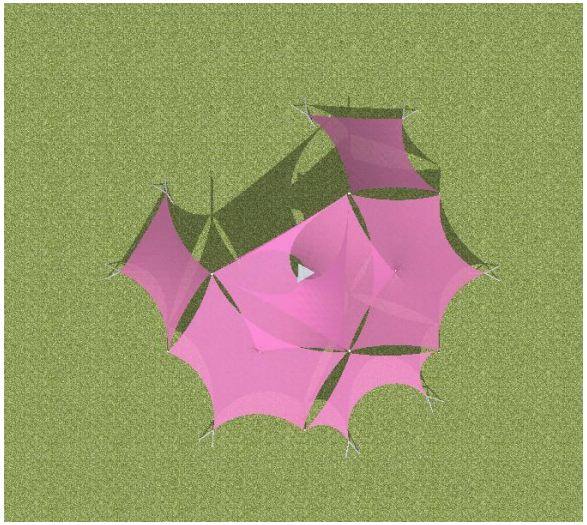
Bij de keuze van de constructie is te zien dat er randdoeken gelegen zijn rondom de hoofdmodule. Dit is naast het constructieve voordeel ook een functioneel voordeel. De keuze is dan ook op beide aspecten gebaseerd. De randdoeken kunnen namelijk ook fungeren als horecaruimte, ze zijn kleiner en liggen rondom een grotere ruimte in welke naast horeca ook een andere functie kan huizen. Een voorbeeld om deze randtenten functioneel in te delen is te zien op afbeelding 10.4.



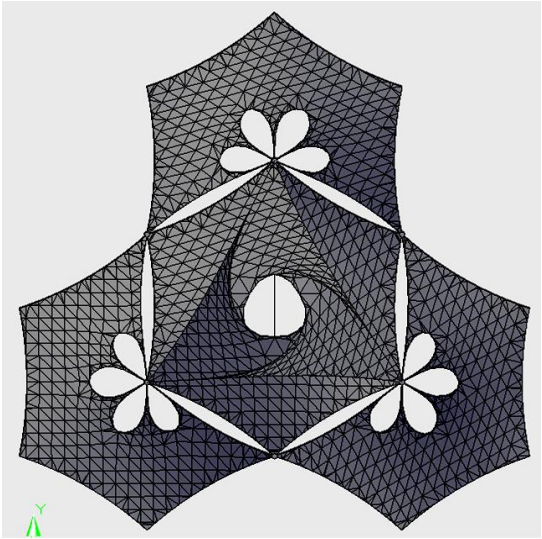
Afbeelding 10.4, mogelijke functionele indelingen

10.3 SCHOONHEID

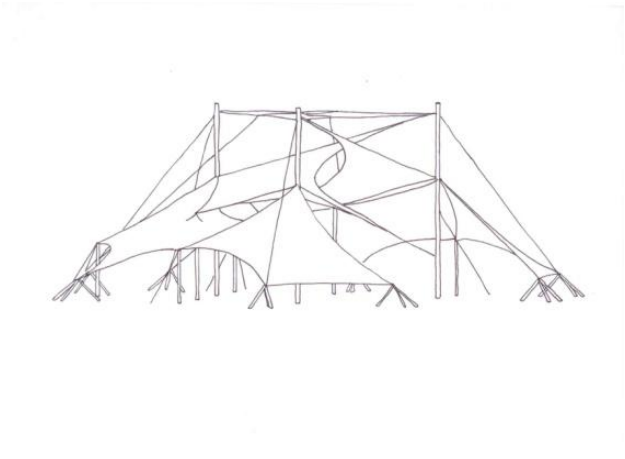
De constructieve en functionele aspecten zijn vooral in het eerste stadium van het ontwerpproces leidend geweest. Op een gegeven moment moet een keuze gemaakt worden. De uitkomst van alle factoren moet uiteindelijk aantrekkelijk zijn voor het oog. Je zoekt dus tegelijkertijd een stabiele en functionele, maar ook vooral mooie vorm waarmee je het uiteindelijke product identiteit geeft. Voor dit aspect zijn meerdere referentieprojecten geraadpleegd, zodat je een impressie kunt krijgen van wat er vorm te geven is met het materiaal waarmee je werkt. Verder in het ontwerpproces zijn er een aantal renderingen gemaakt van mogelijke ontwerpen. Op deze manier krijg je een duidelijker beeld van de esthetische waarde, dit is goed te zien in afbeelding 10.5 en 10.6.



Afbeelding 10.5, rendering ontwerpalternatief



Afbeelding 10.6, bovenaanzicht 3D-model



Afbeelding 10.7, 3D-schets

Referentieprojecten voor ideeën zijn:

- Demontabel muziekpaviljoen Thorn (Tentech)
- Totempaaltent Tribalfields (Tentech)
- Demontabele Pleinoverkapping, Franeker (Tentech)
- Modular Assembly Tent, Malaysia (Frei Otto)

Afbeelding 10.8, Thorn

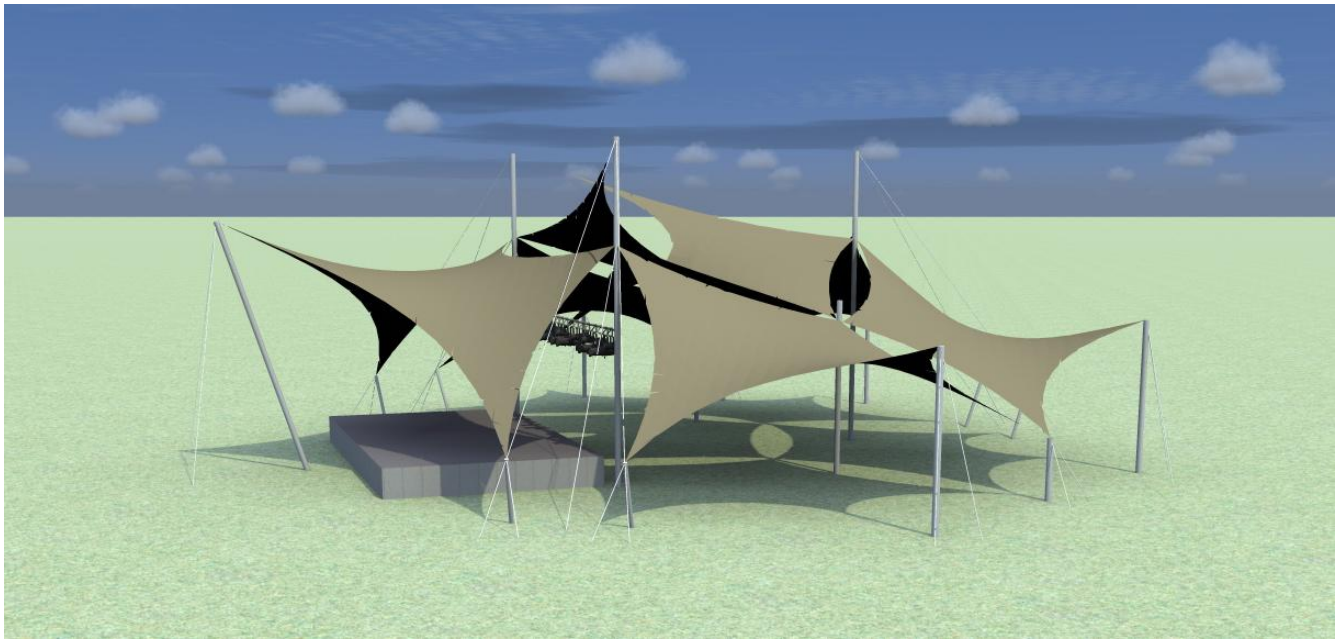
Afbeelding 10.9, Franeker

Afbeelding 10.10, Totempaaltent

Afbeelding 10.11, Modular Assembly Tent

10.4 DEFINITIEF ONTWERP

Voordat het ontwerp definitief wordt heeft het een lange weg afgelegd. Uiteindelijk hebben de beste onderdelen van alle alternatieven tot een ontwerp geleidt dat wordt uitgewerkt. In afbeelding 10.12 is een 3D model van het uiteindelijke ontwerp te zien. Hierin zijn de drie hoofdmasten goed te zien, met daaromheen randtenten. In het volgende hoofdstuk zijn de mogelijkheden betreft deze tentconstructie beschreven.



Afbeelding 10.12, definitief ontwerp

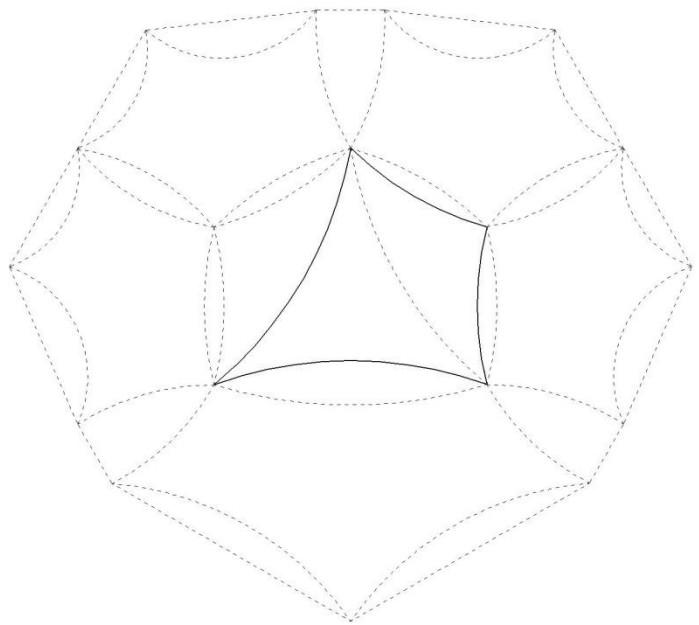
11 FLEXIBEL

Een belangrijke eis vanuit het programma van eisen is dat het ontwerp flexibel moet zijn. In het hoofdstuk MODULAIR is uitvoerig onderzoek gedaan naar mogelijkheden om doeken binnen een raster te plaatsen. Het definitieve ontwerp is dan ook hierop gebaseerd. Om inzichtelijk te krijgen welke configuraties samen te stellen zijn met dit ontwerp volgt hieronder een beschrijving hoe de flexibiliteit tot stand komt door verschillende type doeken toe te passen.

11.1 DOEKEN

Het ontwerp beslaat drie type doeken die afzonderlijk dan wel in combinatie toe te passen zijn.

11.1.1 HOOFDMODULE



Afb. 11.1, hoofdmodule

Binnen de drie hoofdmasten zijn de hoofdmodule doeken te plaatsen. Dit is een doek met vijf punten. De spitse punt die te zien is op afbeelding 11.1 zijn twee punten welke op twee verschillende hoogtes vastgemaakt worden aan de hoofdmast. Door dit hoogte verschil zijn er maximaal drie hoofdmodule doeken te plaatsen binnen de hoofdconstructie. Door de doeken te draaien gaan de doeken over en onder elkaar door.

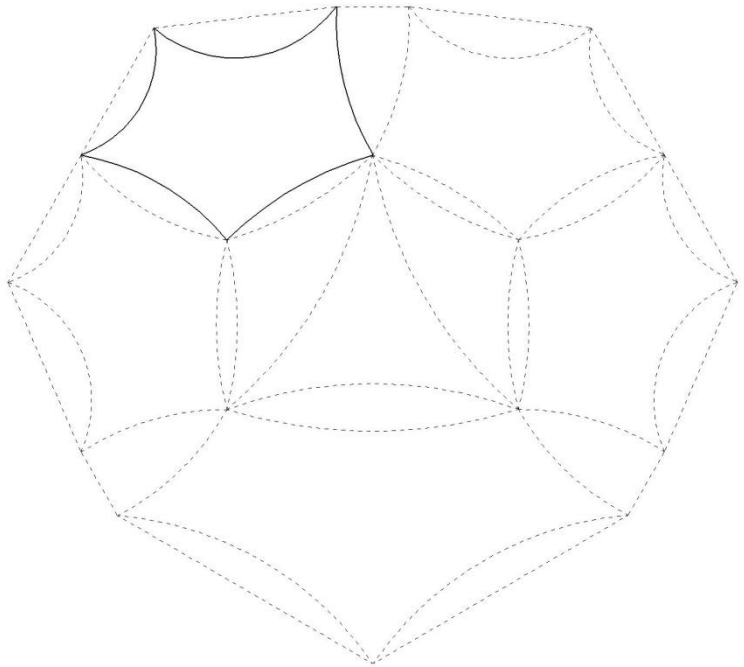
11.1.2 TYPE A

De doeken van type A zijn rondom de hoofdmodule te plaatsen. Deze doeken zitten op vier punten hieraan vast. Ze fungeren dus tevens als afspanning van de hoofdconstructie. Er zijn maximaal zes type A doeken te plaatsen rondom de hoofdmodule. Hierdoor kan naar wens het benodigde oppervlak voor elke situatie gecreëerd worden.

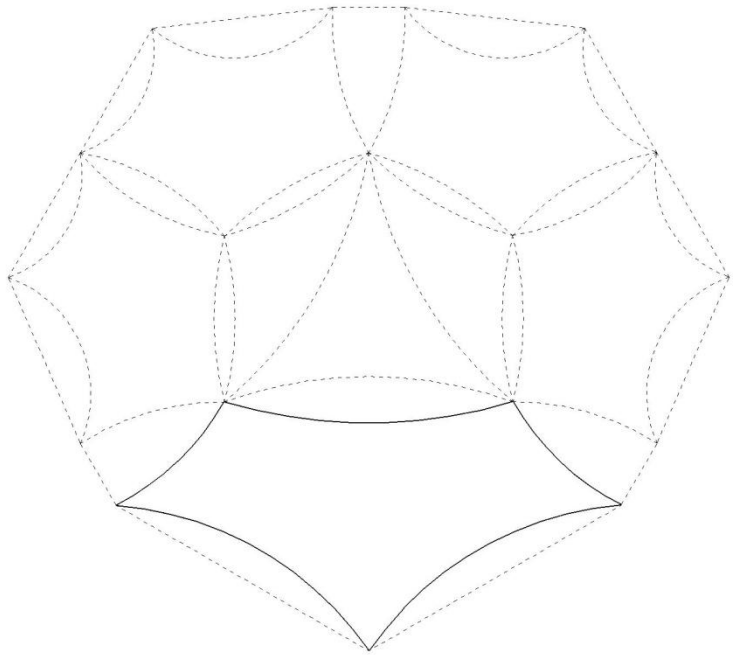
11.1.3 TYPE B

Doek type B is een groter doek dan type A en het hoofdmodule doek. Wanneer het doek wordt toegepast in een samengestelde tent zal één mast van hoofdconstructie moeten wijken. Hierdoor kunnen er maximaal twee hoofdmodule doeken worden geplaatst in de hoofdconstructie.

Dit doek kan fungeren als een normale overkapping, entreeoverkapping en als podiumoverkapping.

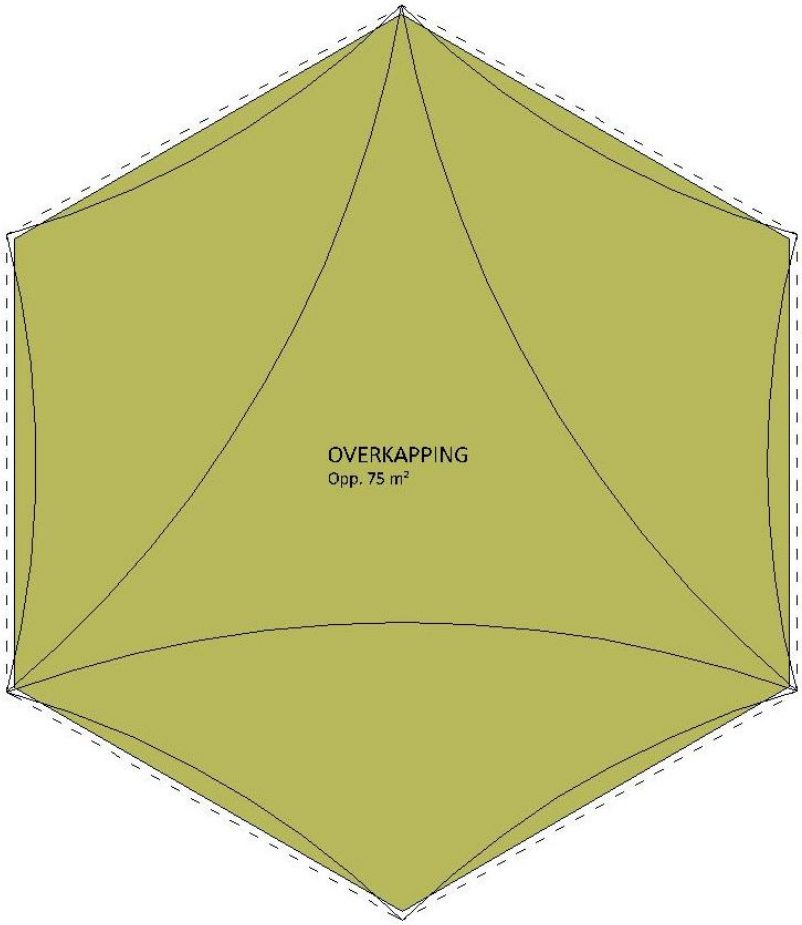


Afb. 11.2, type A



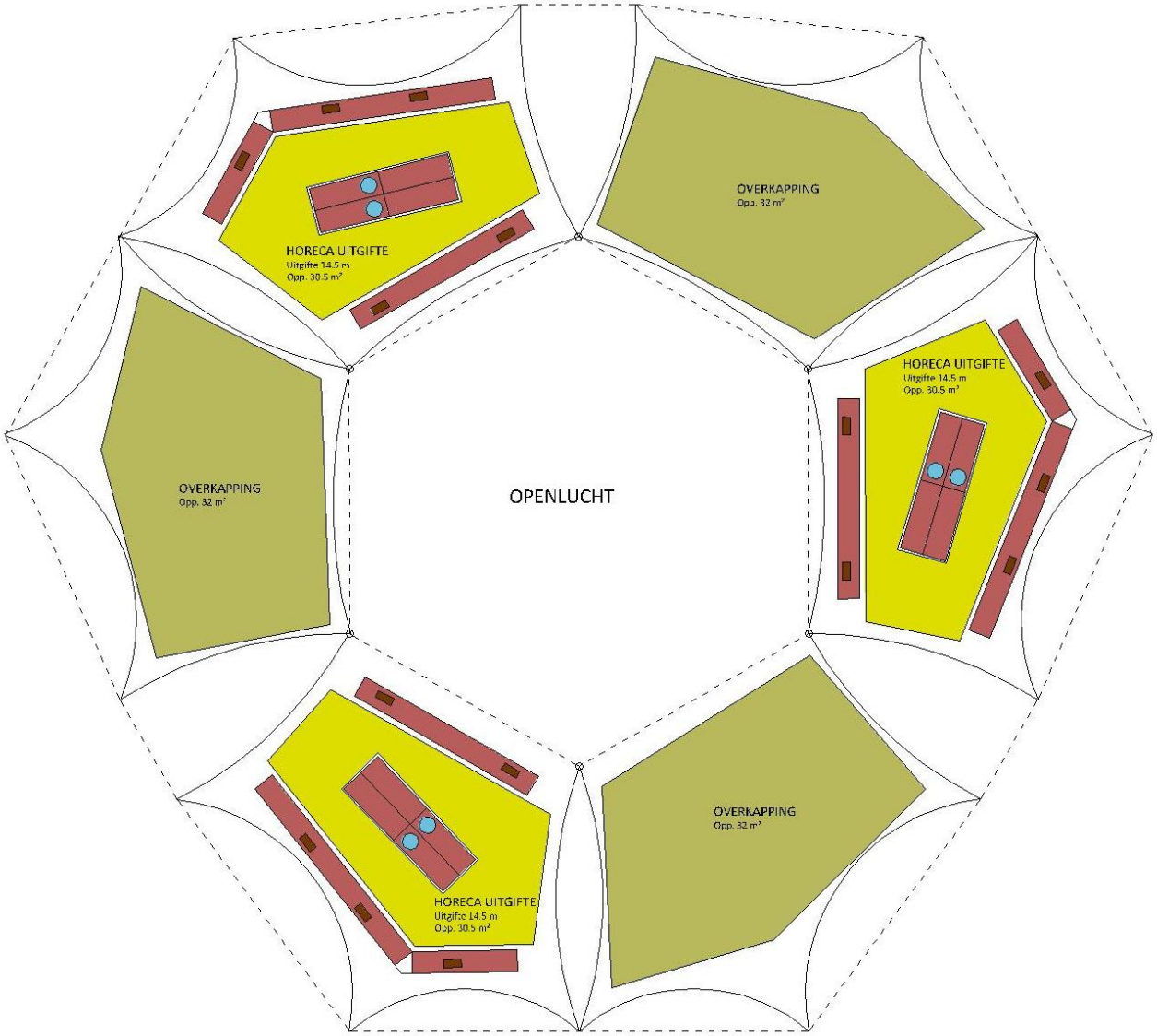
Afb. 11.3, type B

11.2 CONFIGURATIES



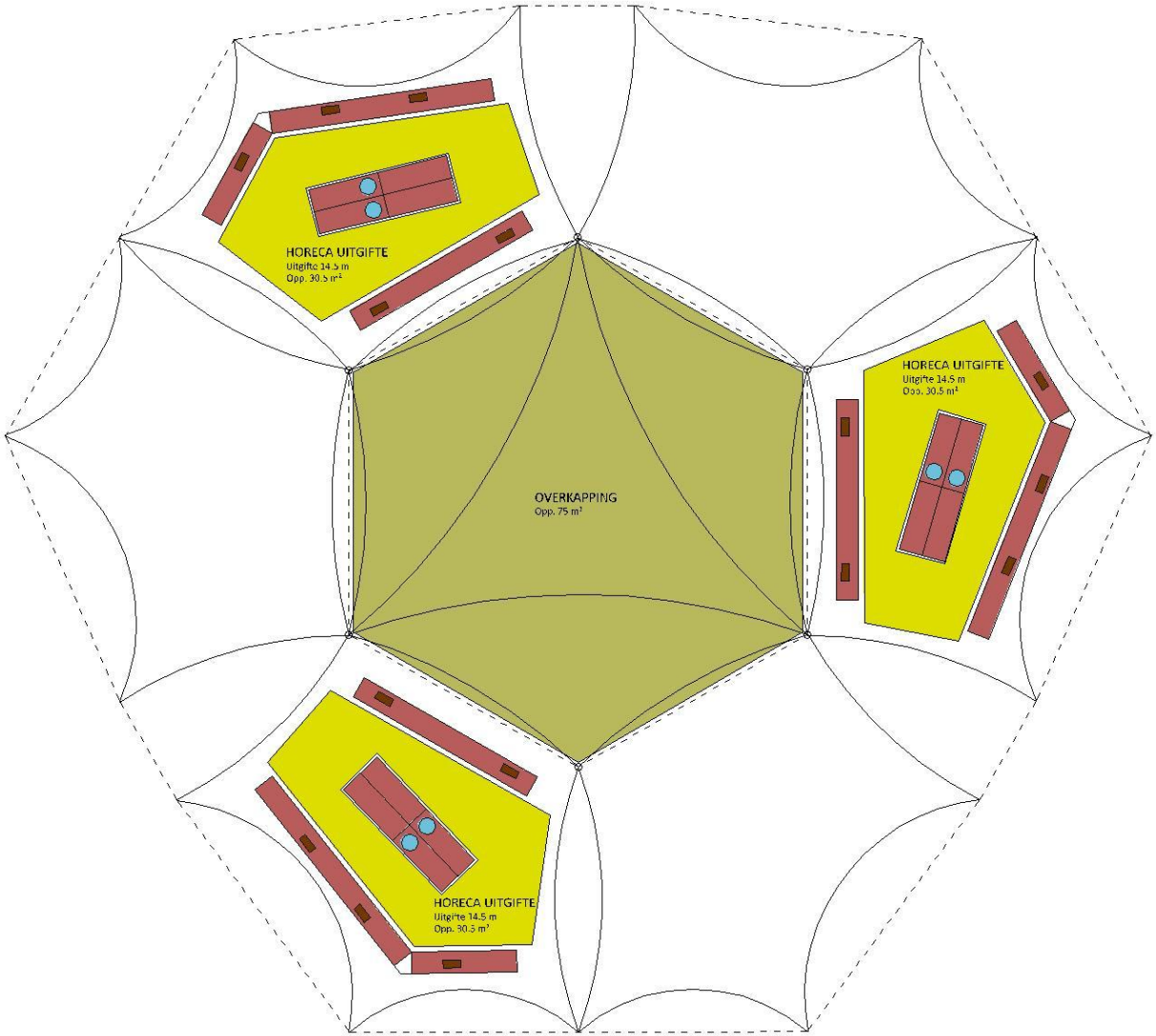
Afb. 11.4, configuratie A

Configuratie	Type doek	Functie	Aantal	Overkapt oppervlak	Capaciteit	
					Zittend (2)	Staand (3.5)
A	Hoofdmodule	Overkapping	3	75 m^2	150	262
Totaal				75 m^2	150	262



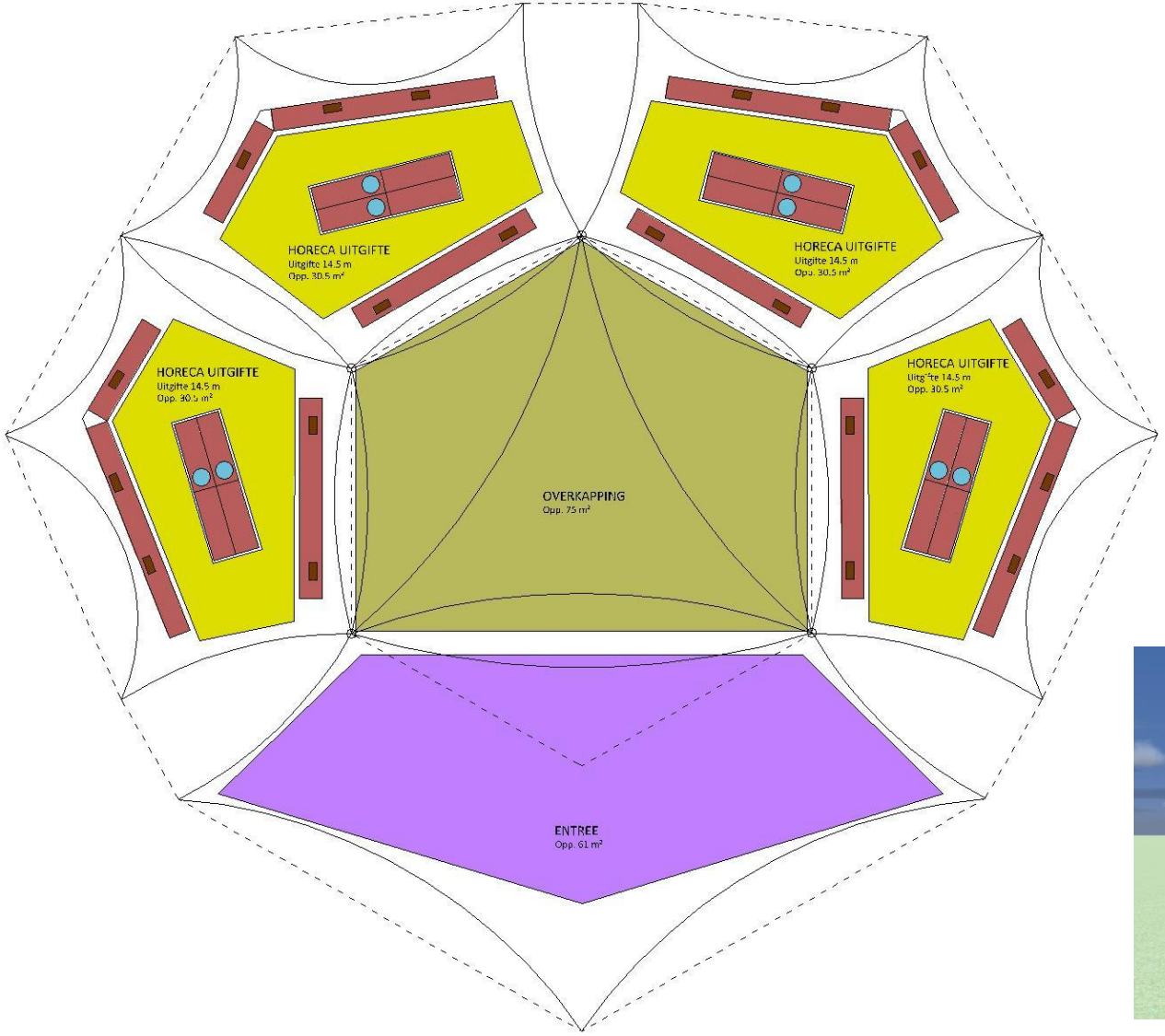
Afb. 11.5, configuratie B

Configuratie	Type doek	Functie	Aantal	Overkapt oppervlak	Capaciteit	
					Zittend (2)	Staand (3.5)
B	TYPE A	Horeca	3	96 m^2	-	-
	TYPE A	Overkapping	3	96 m^2	192	336
	-	Openlucht	-	-	150	262
Totaal				192 m^2	342	598

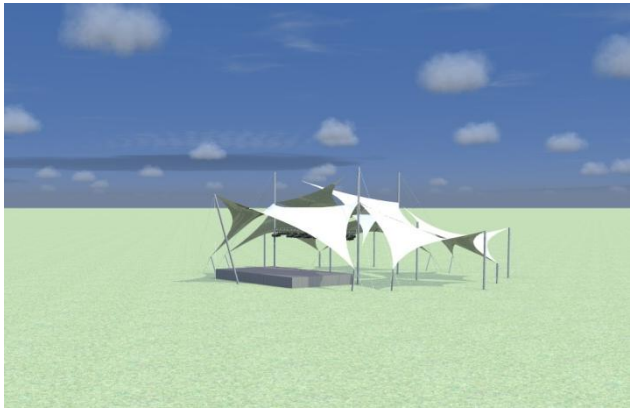


Afb. 11.6, configuratie C

Configuratie	Type doek	Functie	Aantal	Overkapt oppervlak	Capaciteit	
					Zittend (2)	Staand (3.5)
C	TYPE A	Horeca	3	96 m^2	-	-
	HOOFDMODULE	Overkapping	3	75 m^2	150	262
Totaal				171 m^2	150	262

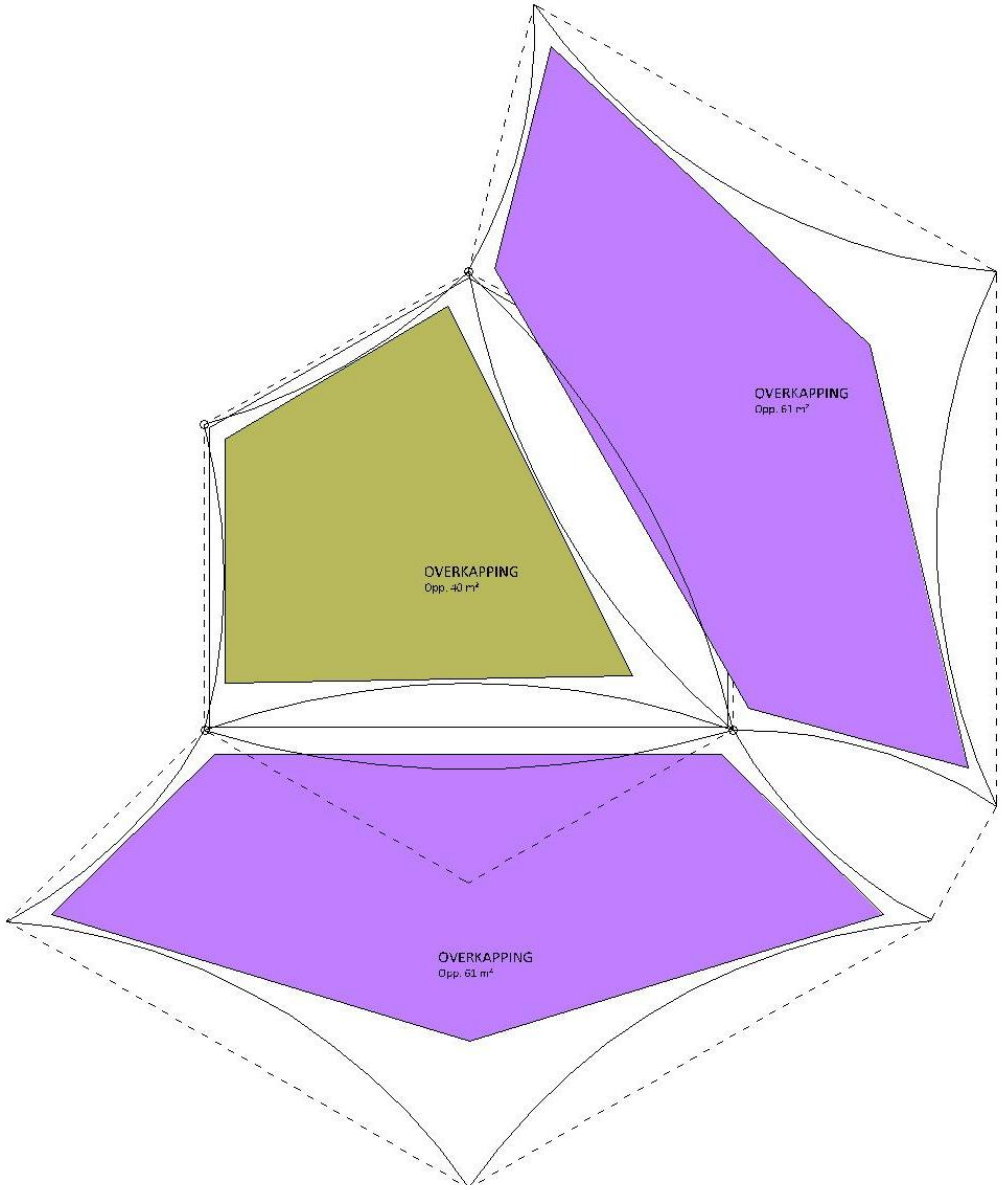


Afb. 11.7, configuratie D



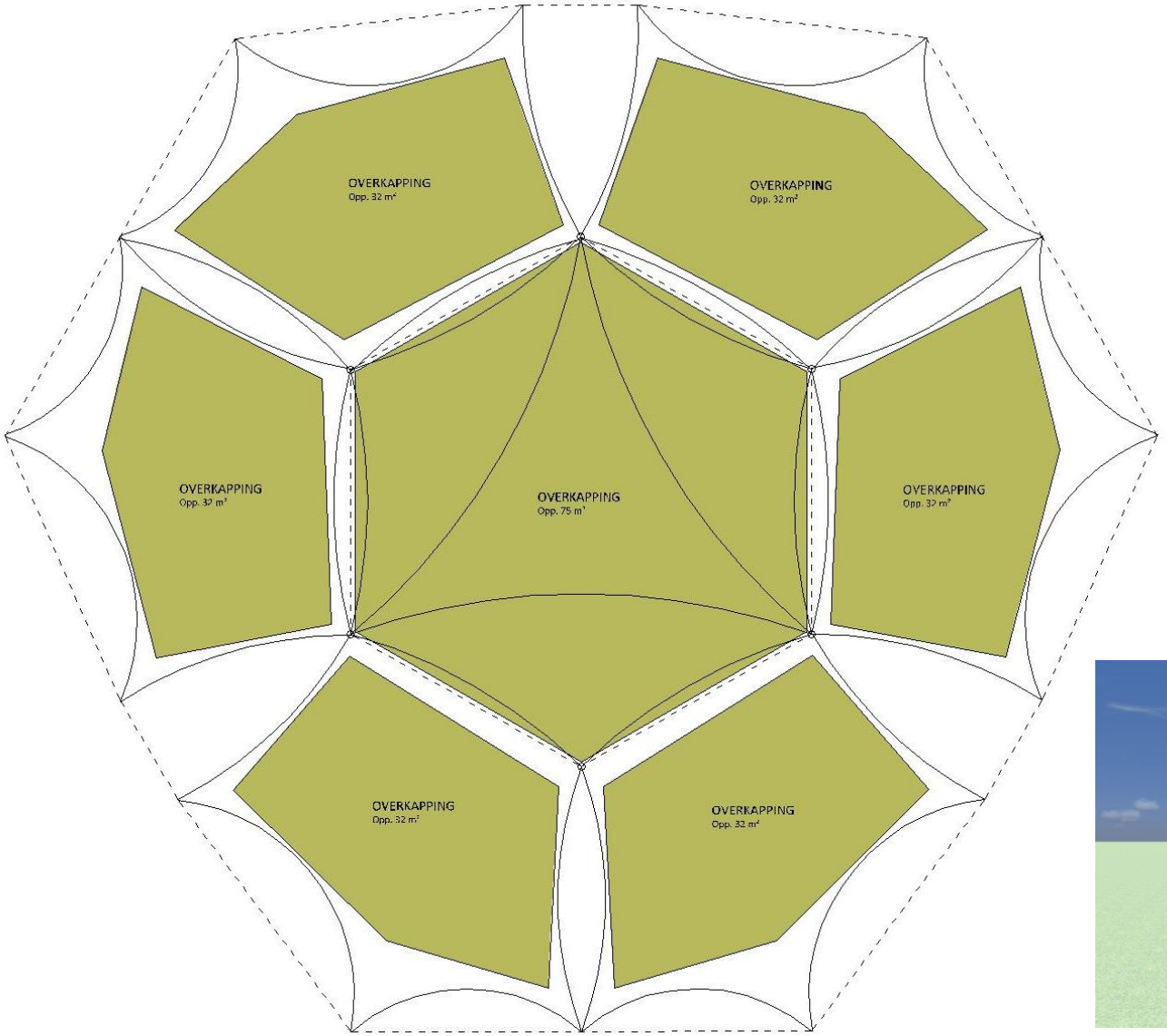
Afb. 11.8, 3D-model mét podium

Configuratie	Type doek	Functie	Aantal	Overkapt oppervlak	Capaciteit	
					Zittend (2)	Staand (3.5)
D	TYPE A	Horeca	4	96 m^2	-	-
	HOOFDMODULE	Overkapping	2	75 m^2	150	262
	TYPE B	Entreeoverkapping	1	61 m^2	122	213
Totaal				232 m^2	272	475

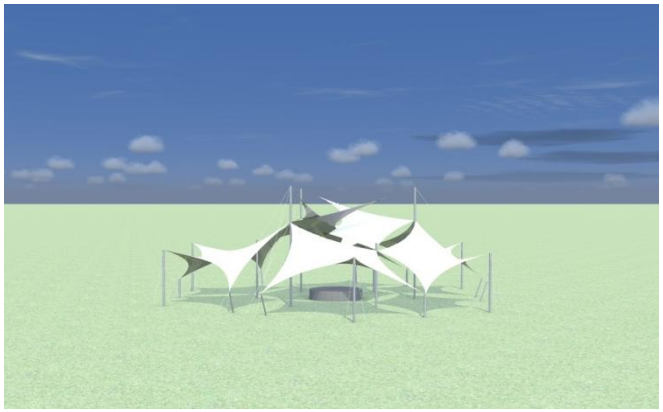


Afb. 11.9, configuratie E

Configuratie	Type doek	Functie	Aantal	Overkapt oppervlak	Capaciteit	
					Zittend (2)	Staand (3.5)
E	HOOFDMODULE	Overkapping	1	40 m^2	80	140
	TYPE B	Entreeoverkapping	2	122 m^2	244	426
Totaal				162 m^2	324	566



Afb. 11.10, configuratie F



Afb. 11.11, 3D-model mét podium

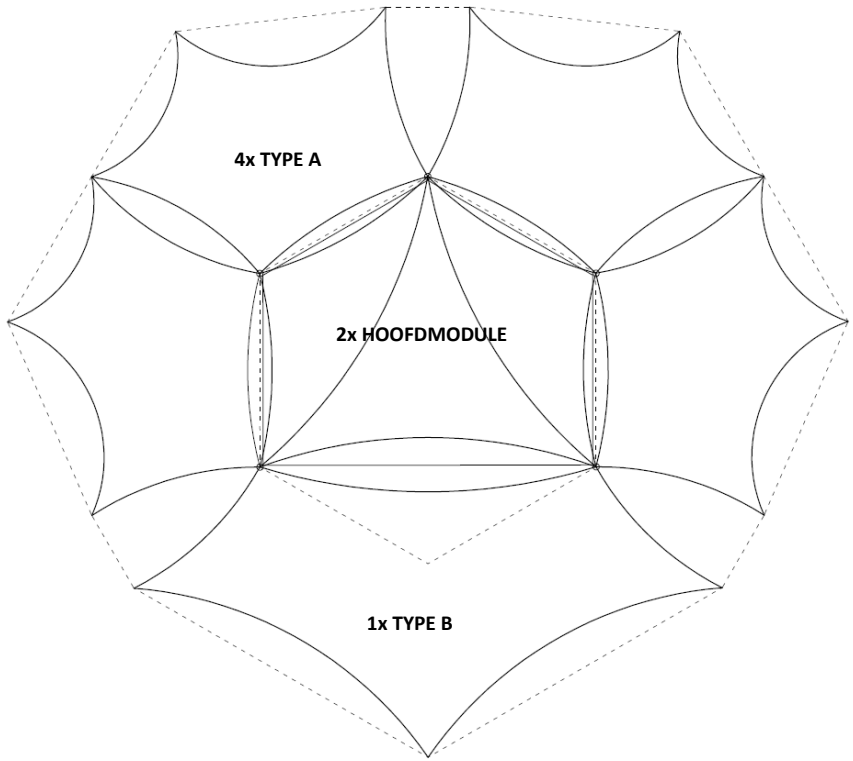
Configuratie	Type doek	Functie	Aantal	Overkapt oppervlak	Capaciteit	
					Zittend (2)	Staand (3.5)
F	HOOFDMODULE	Overkapping	3	75 m^2	150	262
	TYPE B	Overkapping	6	240 m^2	480	840
Totaal				315 m^2	630	1102

12 STRUCTUUR

12.1 ONTWERPBESCHRIJVING

De hoofdmodule heeft de vorm van een zeshoek, waarop drie punten 8m-masten staan, en de overige drie punten kortere masten van 4,5 meter. Om deze hoofdmodule zijn naar wens randtenten te plaatsen welke worden gekoppeld aan de hoofdmodule en aan de buitenzijde zelfstandige afspanning hebben.

Om een inschatting te kunnen maken van de krachten die komen kijken bij een dergelijke tentconstructie is in dit hoofdstuk één configuratie berekend (configuratie D). Dit is de configuratie met twee doeken in de hoofdmodule, vier randtenten TYPE A en één randtent TYPE B. In afbeelding 12.1 is de schematische plattegrond van deze configuratie te zien.



Afbeelding 12.1

12.2 CONSTRUCTIEVE ANALYSE

Een tent is vaak een tijdelijk gebouw waarbij constructie en ontwerp hand in hand gaan. Het is daarom noodzakelijk om de constructie te toetsen aan de normen beschreven in NEN-EN 13782.

Bij een tent wordt er onderscheid gemaakt tussen twee constructieve analyses;

1. Analyse van de ondersteunende constructie
2. Analyse van het membraan

Belasting	γ

1	γ_G	Partiële belastingfactor (ongunstig) voor permanente belastingen	1.35
2	γ_G	Partiële belastingfactor (gunstig) voor permanente belastingen	1.00
3	γ_F	Partiële belastingfactor voor één veranderlijke belasting	1.50
4	γ_F	Partiële belastingfactor voor meerdere veranderlijke belastingen	1.35

Waarin:
G_k Karakteristieke waarde voor permanente belasting
$Q_{k,i}$ Karakteristieke waarde voor één van variabele belastingen

Tabel 12.1

12.3 VEILIGHEIDSFACTOREN

Belasting		γ
1	Gunstig werkende permanente belasting	1.00
2	Ongunstig werkende permanente belasting	1.10
3	Ongunstig werkende windbelastingen	1.20
4	Ongunstig werkende overige belastingen	1.30
NB	Als belastingen zijn verdeeld in componenten, dan moeten deze worden vermenigvuldigd met eenzelfde waarde γ.	

Tabel 12.2, Veiligheids factoren in geval van omvallen, wegglijden en optillen

12.4 REFERENTIEPERIODE

Gemiddeld genomen gaat een membraan 15 jaar mee. Na deze tijd is de kans op scheuren en groter en kan de sterkte van het doek niet meer gegarandeerd worden. In de norm NEN-EN 13782 wordt een referentieperiode van 10 jaar beschreven. Hieruit is op te maken, dat men toch een bepaalde veiligheid wil meenemen.

12.5 ONTWERPBELASTINGEN

Eigen gewicht van het membraan	Gewicht doek 0,52 g/m^2 (aanname)
Eigen gewicht van de ondersteunende constructie	NTB
Windbelasting	Volgens NEN-EN 13782
Sneeuwbelasting	Niet van toepassing
Gebruiksbelasting	Zoals beschreven in het PVE, aangehouden; 7.5 kN per hoge mast

12.6 PERMANENTE BELASTINGEN

Eigen gewicht van het membraan	0,52 g/m^2
Eigen gewicht van de ondersteunende constructie	NTB

12.7 VERANDERLIJKE BELASTINGEN

Windbelasting Doordat een tentconstructie een `open´constructie is, is er sprake van winddruk en windzuiging. Er moet gerekend worden met de meest ongunstigste variant, hierdoor loopt de belasting vaak hoog op. Je kunt de windbelasting verlagen door de tent te demonteren. De werkende windkracht is afhankelijk van de hoogte van de constructie, geografische ligging en landschap. De waardes gegeven in NEN-EN 13782 zijn representatief voor het grootste deel van de gevallen waarin de membraanconstructie zal worden uitgevoerd. De overige gevallen (bijvoorbeeld, gebieden met een windsnelheid boven 28 m/s en gebieden op grote hoogte (zie kaart), zijn zo schaars dat het voordeliger is om voor hen een aparte uitrusting te construeren. Tevens speelt de tijdelijkheid van de constructie een grote rol.

Minimum waardes zoals beschreven in EN 1991-1-4:

Volgens NEN-EN 13782 kan bij waarde vref < 28 m/s, minimum waarden zoals beschreven in EN 1991-1-4, tabel 12.3, gebruikt worden.
$C_{tem} = 0,8$
$T_r = 10$ jaar
$C_d = 1$

$C_{alt} = 1$

Hoogte: h in m	Stuwdruk: P_{rep} in N/m^2
h ≤ 5	500
5 < h ≤ 10	600
10 < h ≤ 15	660
15 < h < 20	710
20 < h ≤ 25	760

Tabel 12.3

De hoogte van de constructie ligt tussen de 5 en de 10 meter, daarom houden we $P_{rep} = 0.6$ kN/m^2 aan.

Het verschil met de NEN-EN 1991-1-4 is dat er nu lagere waardes kunnen worden meegenomen in de berekening (door c_{tem}; het tijdelijke karakter en de lagere referentieperiode).

De NEN 13782 stelt:

C_s	=	- 0,7	(zuiging)
C_d	=	+ 0,3	(druk)

	C_s	C_d	P_{rep} in N/m^2	$P_{q;s}$ in N/m^2	$P_{q;d}$ in N/m^2
Doek 1	- 0,7	+ 0,3	600	-420	180
Doek 2	- 0,7	+ 0,3	600	-420	180
Doek 3	- 0,7	+ 0,3	600	-420	180
Doek 4	- 0,7	+ 0,3	600	-420	180
Doek 5	- 0,7	+ 0,3	600	-420	180
Doek 6	- 0,7	+ 0,3	600	-420	180
Doek 7	- 0,7	+ 0,3	600	-420	180

Tabel 12.4, c-waarden voor alle doeken

Sneeuwbelasting Omdat deze constructie behoorlijk schuin afloopt en er daardoor geen sprake kan zijn van ophopende sneeuwbelasting, is de calculatie van sneeuwbelasting niet noodzakelijk. Daarbij zal de tent niet gebruikt gaan worden onder omstandigheden waarbij sneeuwval voorkomt.

Inwendige voorspanning Inwendige voorspanning mag de maximaal toelaatbare spanning niet overschrijden. Onder uitwendige belastingen mag de voorspanning ook niet 0 worden, je moet dan of meer voorspanning aanbrengen in het doek, of je spanning afdragen via grotere krommingen.

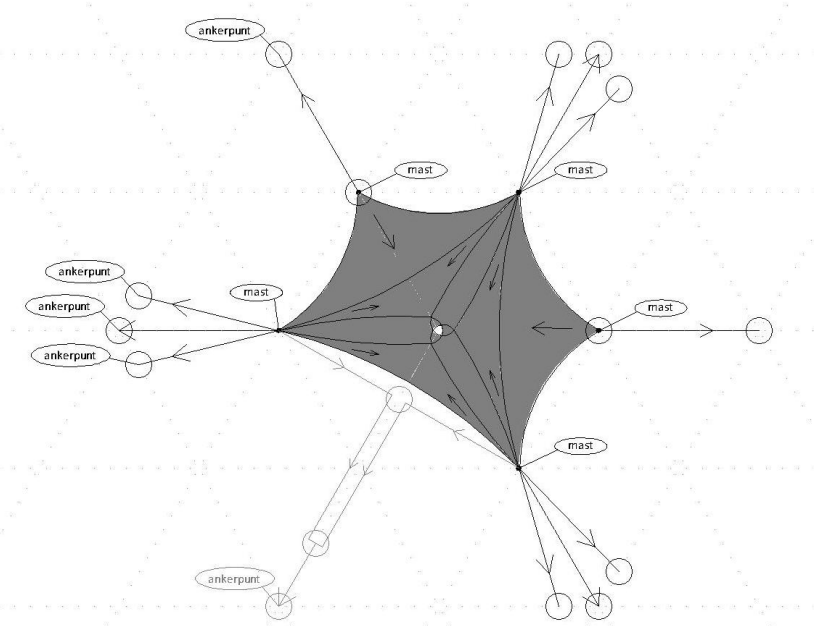
12.8 BELASTINGGEVALLEN

BG1 Alle doeken belast op druk
BG2 Alle doeken belast op zuiging
BG3 Doek 3, 4 en 7 belast op zuiging, doek 1, 2, 5 en 6 belast op druk
BG4 Doek 6 en 7 belast op zuiging, doek 1, 2, 3, 4 en 5 belast op druk

$P_{q;s}$ Overdruk in N/m^2
$P_{q;d}$ Onderdruk in N/m^2

BG1	$P_{q;s}$ in N/m^2	$P_{q;d}$ in N/m^2		BG2	$P_{q;s}$ in N/m^2	$P_{q;d}$ in N/m^2		$P_{q;d}$ in N/m^2
Doek 1	-	180		**Doek 1**	- 420	-		180
Doek 2	-	180		**Doek 2**	- 420	-		180
Doek 3	-	180		**Doek 3**	- 420	-		180
Doek 4	-	180		**Doek 4**	- 420	-		180
Doek 5	-	180		**Doek 5**	- 420	-		180
Doek 6	-	180		**Doek 6**	- 420	-		-
Doek 7	-	180		**Doek 7**	- 420	-		-

Tabel 12.5, belastinggevallen

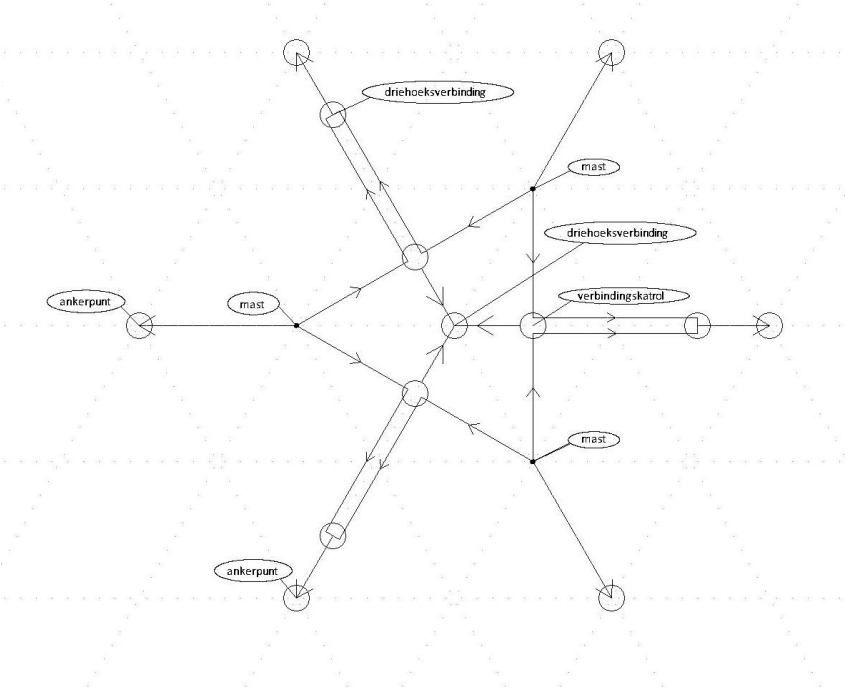


12.9 KRACHTSWERKING

Hoe is het krachtenverloop in de gehele constructie?

Om inzicht te krijgen in het ontwerp, en dan in het bijzonder het constructieve, niet esthetische, gedeelte van het ontwerp, is het belangrijk om te weten hoe de krachtswerking van de verschillende onderdelen

is. Krachten voortkomend uit het eigengewicht van het membraan en windbelasting moeten worden geleid naar de verankering van de ondersteunende constructie of afgespannen worden. In onderstaande schetsen is weergegeven hoe het krachtenverloop is in drie gevallen, respectievelijk, de ondersteunende constructie (afb. 12.2) en twee doeken in de hoofdmodule (afb. 12.3).



Afbeelding 12.2

Afbeelding 12.3

Beschrijving Iedere 8m-mast wordt stabiel gehouden doordat hij in drie richtingen afgespannen is. Dit is een sterk constructief principe; krachten die eventueel zouden wegvallen kunnen worden opgevangen door twee componenten in twee verschillende richtingen, waardoor continue stabiliteit is gewaarborgd.

Bij plaatsing van de membranen werken diezelfde krachten als bij de plaatsing van alléén de ondersteunende constructie positief op de stabiliteit. Nu werkt ook het membraan mee in het krachtenspel. Er zullen meerdere spanpunten moeten komen om de aansluitpunten en de negatieve effecten daarvan in evenwicht te brengen. Het modulair principe zorgt ervoor dat hoeken van de doeken onder verschillende hoeken kunnen aansluiten op de masten, waardoor extra spanrichtingen noodzakelijk zijn.

12.10 DIMENSIES

Stabiliteit wordt onder andere gegenereerd uit de sterkte van de randkabels. De kabels brengen de krachten in het membraan over naar de masten, welke op hun beurt deze afdragen naar de verankering. Om goede details te kunnen produceren, welke ook van invloed zijn op het esthetische ontwerp is het noodzakelijk om de dimensies te bepalen van die onderdelen.

Hieronder volgt een uiteenzetting waarin duidelijk wordt hoe deze dimensies tot stand zijn gekomen, met hun bijbehorende berekeningen.

12.11 RANDKABELS – VERBINDINGEN

Na invoering van de belastingen, eigen gewicht en wind, in alle vier de belastinggevallen, zijn uit EASY de werkende krachten van dit ontwerp te halen. Elke *link* in de *mesh* heeft een waarde. De *links* zijn in twee categorieën onder te verdelen, wel te verstaan de *links* in het membraan en de *links* in de randen van het membraan. In dit subhoofdstuk wordt er dieper ingegaan op de krachten die zich voordoen in de randen.

In tabel 12.6 is af te lezen wat de grootste krachten in de randen zijn in alle belastinggevallen (exclusief veiligheid). De kabels worden uiteindelijk gedimensioneerd op de meest extreme waardes, deze zijn onder elkaar gezet in de laatste kolom van tabel 12.6.

Rand nr.	Onbelast (kN)	BG1(kN)	BG2(kN)	BG3 (kN)	BG4 (kN)	F Maximaal (kN)
1	5.9	11.0	26.6	11.0	11.0	26.6
2	2.9	10.3	12.8	10.3	10.3	12.8
3	2.9	6.6	13.3	6.6	6.6	13.3
4	6.2	8.5	27.7	8.5	8.5	27.7
5	8.0	20.4	20.6	20.4	20.4	20.6
6	6.0	14.3	10.9	14.3	10.9	14.3
7	2.8	2.9	13.5	2.9	13.5	13.5
8	2.9	3.2	14.9	3.2	14.9	14.9
9	5.9	14.6	6.0	14.6	6.0	14.6
10	8.0	8.1	32.4	8.1	32.4	32.4
11	5.8	12.6	11.9	11.9	12.6	12.6
12	2.9	6.9	8.4	8.4	6.9	8.4
13	2.6	1.3	14.4	14.4	1.3	14.4
14	5.9	13.4	8.6	8.6	13.4	13.4
15	7.9	11.0	30.3	30.3	11.0	30.3
16	5.9	13.4	8.6	13.4	13.4	13.4
17	2.6	1.3	14.4	1.3	1.3	14.4
18	2.9	7.0	8.4	7.0	7.0	8.4
19	5.8	12.6	12.0	12.6	12.6	12.6
20	7.9	11.0	30.4	11.0	11.0	30.4
21	5.7	13.6	16.5	16.5	16.5	16.5
22	8.4	14.2	43.8	43.8	43.8	43.8
23	8.5	23.2	21.0	21.0	21.0	32.2
24	5.7	10.2	21.1	21.1	21.1	21.1
25	8.8	19.8	43.4	43.4	43.4	43.4
26	5.3	9.5	28.9	9.5	9.5	28.9
27	5.3	16.4	18.0	16.4	16.4	18.0
28	5.3	18.9	19.4	19.4	18.9	19.4
29	5.3	8.8	37.0	37.0	8.8	37.0
30	6.1	21.1	29.6	15.0	21.1	29.6
31	5.3	9.6	35.8	35.8	9.6	35.8

32	6.1	19.5	21.4	19.5	19.5	19.5

Tabel 12.6, maximale krachten

Nu de maatgevende krachten bekend zijn kan worden gekeken welke kabels en eindstukken daarbij horen. Er is gekozen voor roestvrij staal (RVS), vanwege de esthetische waarde die het heeft en het milieu waarin het ontwerp komt te staan (buitenruimte). BRUGG Seilbautechnik uit Romanshorn biedt kabels en verbindingen van dit materiaal aan. Hier is ervoor gekozen om kabels te kiezen welke een geringe diameter hebben in combinatie met een grote buigzaamheid. Immers, de kabels worden over katrollen geleid.

Bij de bepaling van de verbinding en kabel wordt gekeken worden naar de zwakste schakel van deze twee. Reden hiervoor is dat bij bijvoorbeeld een kabel met een diameter van 12mm moet passen in een eindstuk hoort van 12mm, beide moeten sterk genoeg zijn om de krachten over te dragen.

Als we kijken naar de eigenschappen (te vinden in de bijlage) zien we dat in dit geval de kabels maatgevend zijn, zij hebben de laagste breeksterkte.

* *De randnummers die genoemd zijn in dit subhoofdstuk zijn te vinden in de bijlage.*

In tabel 12.7 zijn de krachten weergegeven exclusief en inclusief veiligheidsfactor, waarna de controle volgt.

Controle (U.C.) = $F_{E;D} / F_{R;D}$ **< 1**

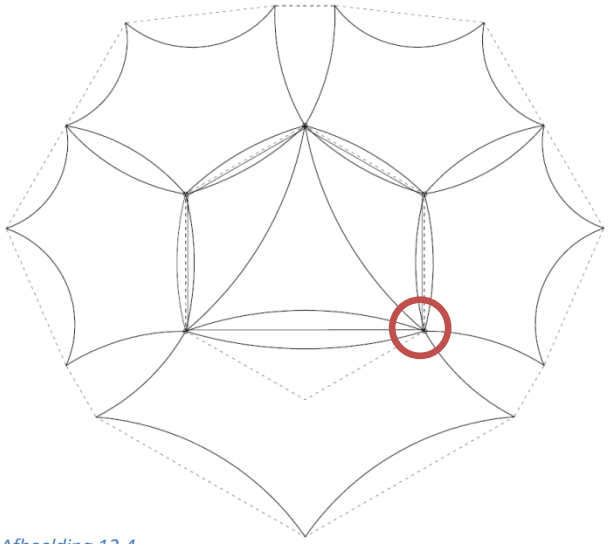
			Kabels					**Eindstop**				
		Incl. veiligheid (1,5)			*Incl. veiligheid (1,5)*						*Incl. veiligheid (1,5)*	
Rand nr.	F_{rep}	$F_{E;D}$ **(kN)**	**Diameter (mm)**	**Type**	$F_{R;D}$	**U.C.**	**Materiaal**	**Type**	**Diameter (mm)**	**Materiaal**	$F_{R;D}$ K_e**=0,9 (kN)**	**U.C.**
1	26.6	39.90	Ø12	BRUGG STRAND ROPE 6x36WS+SE	50	0.80	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø12	RVS	65	0.61
2	12.8	19.20	Ø8	BRUGG STRAND ROPE 6x19+SE	22	0.87	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø8	RVS	29	0.66
3	13.3	19.95	Ø8	BRUGG STRAND ROPE 6x19+SE	22	0.91	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø8	RVS	29	0.69
4	27.7	18.47	Ø8	BRUGG STRAND ROPE 6x19+SE	22	0.84	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø8	RVS	29	0.64
5	20.6	30.90	Ø10	BRUGG STRAND ROPE 6x36WS+SE	34	0.91	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø10	RVS	45	0.69
6	14.3	21.45	Ø8	BRUGG STRAND ROPE 6x19+SE	22	0.98	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø8	RVS	29	0.74
7	13.5	20.25	Ø8	BRUGG STRAND ROPE 6x19+SE	22	0.92	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø8	RVS	29	0.70
8	14.9	22.35	Ø10	BRUGG STRAND ROPE 6x36WS+SE	34	0.66	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø10	RVS	45	0.50
9	14.6	21.90	Ø8	BRUGG STRAND ROPE 6x19+SE	22	0.99	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø8	RVS	29	0.76
10	32.4	48.60	Ø12	BRUGG STRAND ROPE 6x36WS+SE	50	0.97	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø12	RVS	65	0.75
11	12.6	18.90	Ø8	BRUGG STRAND ROPE 6x19+SE	22	0.86	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø8	RVS	29	0.65
12	8.4	12.60	Ø8	BRUGG STRAND ROPE 6x19+SE	22	0.58	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø8	RVS	29	0.43
13	14.4	21.60	Ø8	BRUGG STRAND ROPE 6x19+SE	22	0.98	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø8	RVS	29	0.74
14	13.4	20.10	Ø8	BRUGG STRAND ROPE	22	0.91	RVS	BRUGG	Ø8	RVS	29	0.70

				6x19+SE				Gabelkopf				
15	30.3	45.45	Ø12	BRUGG STRAND ROPE 6x36WS+SE	50	0.90	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø12	RVS	65	0.70
16	13.4	20.10	Ø8	BRUGG STRAND ROPE 6x19+SE	22	0.91	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø8	RVS	29	0.70
17	14.4	21.60	Ø8	BRUGG STRAND ROPE 6x19+SE	22	0.98	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø8	RVS	29	0.74
18	8.4	12.60	Ø8	BRUGG STRAND ROPE 6x19+SE	22	0.57	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø8	RVS	29	0.43
19	12.6	18.90	Ø8	BRUGG STRAND ROPE 6x19+SE	22	0.86	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø8	RVS	29	0.65
20	30.4	45.60	Ø12	BRUGG STRAND ROPE 6x36WS+SE	50	0.91	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø12	RVS	65	0.70
21	16.5	24.75	Ø10	BRUGG STRAND ROPE 6x36WS+SE	34	0.73	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø10	RVS	45	0.55
22	43.8	65.70	Ø14	BRUGG STRAND ROPE 6x36WS+SE	68	0.97	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø14	RVS	88	0.75
23	32.2	48.30	Ø12	BRUGG STRAND ROPE 6x36WS+SE	50	0.97	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø12	RVS	65	0.74
24	21.1	31.65	Ø10	BRUGG STRAND ROPE 6x36WS+SE	34	0.93	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø10	RVS	45	0.70
25	43.4	65.10	Ø14	BRUGG STRAND ROPE 6x36WS+SE	68	0.96	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø14	RVS	88	0.74
26	28.9	43.35	Ø12	BRUGG STRAND ROPE 6x36WS+SE	50	0.87	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø12	RVS	65	0.67
27	18.0	27.00	Ø10	BRUGG STRAND ROPE 6x36WS+SE	34	0.79	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø10	RVS	45	0.60
28	19.4	29.10	Ø10	BRUGG STRAND ROPE 6x36WS+SE	34	0.86	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø10	RVS	45	0.65
29	37.0	55.50	Ø14	BRUGG STRAND ROPE 6x36WS+SE	68	0.82	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø14	RVS	88	0.63
30	29.6	44.40	Ø12	BRUGG STRAND ROPE 6x36WS+SE	50	0.89	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø12	RVS	65	0.68
31	35.8	53.70	Ø14	BRUGG STRAND ROPE 6x36WS+SE	68	0.79	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø14	RVS	88	0.61
32	19.5	29.25	Ø10	BRUGG STRAND ROPE 6x36WS+SE	34	0.86	RVS	BRUGG Gabelkopf	Ø10	RVS	45	0.65

Tabel 12.7, kabels en eindstoppen

12.12 AFSPANNING

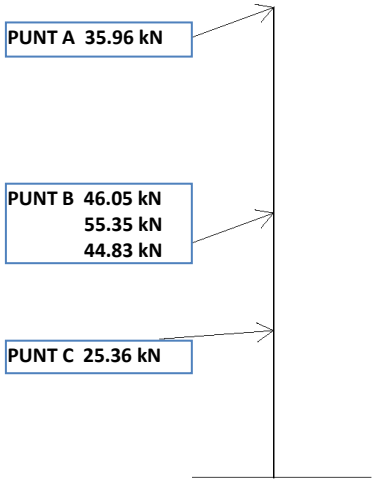
Constructief gezien valt of staat het ontwerp met de masten. Ze worden op ongunstige wijze belast met trek- en druk krachten op verschillende hoogtes. Voor de bepaling van de dimensies is de mast, rood gemarkeerd in afbeelding 12.4, als uitgangspunt genomen. Omdat er sprake is van membraankrachten, en deze niet loodrecht werken op de mast, zullen de krachten uit het rekenprogramma EASY en hun coördinaten herleidt worden naar krachten op de x- y- en z-as. De aansluiting van de doeken vindt plaats op drie verschillende hoogtes, welke alle drie snijpunten zijn waarin krachtswerking over alle assen plaatsvindt.



Afbeelding 12.4

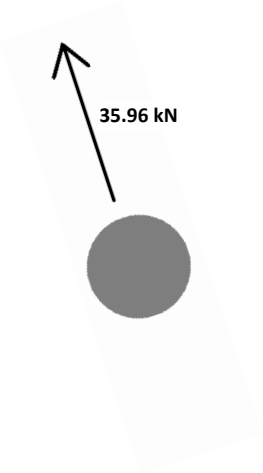
Op afbeelding 12.5 is schematisch te zien hoe de doeken aansluiten op de mast; op 2.5 meter, 4.5 meter en 8.0 meter. Op punt A sluit één doek aan, op punt B drie doeken en op punt C één doek. De waardes die gegeven zijn komen uit EASY waar de krachten uit de doekranden worden omgezet naar vectorkrachten (één vectorkracht per doekhoek).

Nu volgt per punt de afspanningberekening:



Afbeelding 12.5

12.12.1 PUNT A



Gebruikt is detail 1 (te vinden onder DETAIL) en gegevens/berekeningen uit EASY (te vinden in de bijlage).

Hierin sluiten deze krachten aan:
In de bijlage zijn de krachtvectoren (in kN) te vinden waar de gebruikte gegevens uit zijn afgeleid. Van de vier belastinggevallen is bekeken wat de maximale kracht is die op dit punt werkt van de mast. Doordat de hoek van de kracht niet loodrecht is, is dit een redelijk complexe berekening. Om tot een resulterende kracht te komen welke moet worden opgevangen in een spankabel zijn daarom de coördinaten (uit EASY) van de betreffende vector bij elkaar opgeteld, waaruit wordt afgeleid welke krachten in het snijpunt van de mast aanwezig zijn.

Kracht in x-as	=	12.71 kN
Kracht in y-as	=	- 31.44 kN
Kracht in z-as	=	11.95 kN

De krachten in de x- en de y-as kunnen worden geresulteerd naar één horizontale kracht met behulp van de stelling van Pythagoras:

$a^2 + b^2 = c^2$ → $(12.71)^2 + (-31.44)^2 = \sqrt{(1150.0)} = 33.91$ kN

Nu werkt er op het snijpunt een horizontale kracht van 33.91 kN en een verticale kracht (z-as) van 11.95 kN. In afbeelding x is te zien onder welke hoek de spankabel is ontworpen. De resulterende kracht van de horizontale en de verticale component onder een hoek van 53.13˚ is 56.51 kN (excl. veiligheid). Omdat er in twee richtingen symmetrisch wordt afgespannen kunnen we de kracht door twee delen.

Geeft: 56.51/2 = 28.25 kN

Veiligheidsfactor ongunstig windbelasting: $\gamma = 1{,}2$

$F_{D;max}$ = 28.25 x 1.2 = 33906 N (kracht die wordt afgespannen/spankabel)

Met een β van 36.87 ˚ geldt de volgende formule (ref. NEN-EN 13782): $F_{D,max} = 7.9 \times d \times l$ (ongunstigste geval, verkregen door interpolatie van de formules)

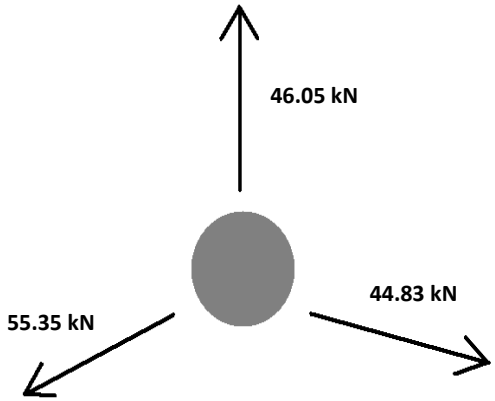
Waarin:

d = diameter van het anker (in cm)
l = inslagdiepte (in cm)

$F_{D;max}$ = 33906 N → 33906 = 7.9 x *d* x *l* (met l = 150cm) geeft:

Benodigde ankers: 7.1 → 8 ankers van 150cm met Ø 4cm per ankerplaat t.b.v. afspanning van de krachten uit bovenstaande situatie (tekening: BIJLAGE X).

Het ontwerp is bepalend voor de plaats van de ankerplaat. De hoek waaronder de spankabel is geplaatst was al bekend. Nu is die hoek kleiner dan de evenwichtssituatie, waardoor de ankerplaat ongunstig wordt belast (meer ankers), er zal dus een extra drukkracht in de mast ontstaan als gevolg van deze hoek.



12.12.2 PUNT B

Hierin sluiten deze krachten aan:
In de bijlage zijn de krachtvectoren (in kN) te vinden waar de gebruikte gegevens uit zijn afgeleid. Van de vier belastinggevallen is bekeken wat de maximale krachten zijn die op dit punt werken van de mast. Doordat de hoeken van de verschillende krachten niet gelijk zijn, zijn dit redelijk complexe berekeningen. Om tot een resulterende kracht te komen welke moet worden opgevangen in een spankabel zijn daarom de coördinaten (uit EASY) van de betreffende vectoren bij elkaar opgeteld, waaruit wordt afgeleid welke krachten in het snijpunt van de drie krachten aanwezig zijn.

Kracht in x-as = - 6.23 kN
Kracht in y-as = - 24.90 kN
Kracht in z-as = 30.42 kN

De krachten in de x- en de y-as kunnen worden geresulteerd naar één horizontale kracht met behulp van de stelling van Pythagoras:

$a^2 + b^2 = c^2$ → $(6{,}23)^2 + (24.90)^2 = \sqrt{(658.82)} = 25.7$ kN

Nu werkt er op het snijpunt een horizontale kracht van 25.7 kN en een verticale kracht (z-as) van 30.42 kN. In afbeelding x is te zien onder welke hoek de spankabel is ontworpen. De resulterende kracht van de horizontale en de verticale component onder een hoek van 50˚ is 33.5 kN (excl. veiligheid).

Veiligheidsfactor ongunstig windbelasting: γ = 1,2

$F_{D;max}$ = 33500 x 1.2 = 40200 N

Met een β van 50 ˚ geldt de volgende formule (ref. NEN-EN 13782): $F_{D,max}$ = 10 x d x l (ongunstigste geval)

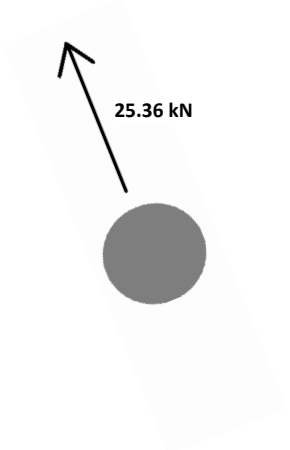
Waarin:

d = diameter van het anker (in cm)
l = inslagdiepte (in cm)

$F_{D;max}$ = 40200 N → 40200 = 10 x *d* x *l* (met l = 150cm) geeft:

Benodigde ankers: 6,7 → 7 ankers van 150cm met Ø 4cm per ankerplaat t.b.v. afspanning van de krachten uit bovenstaande situatie (tekening: BIJLAGE X).

Het ontwerp is bepalend voor de plaats van de ankerplaat. De hoek waaronder de spankabel is geplaatst was al bekend. Nu is die hoek groter dan de evenwichtssituatie, waardoor de ankerplaat gunstig wordt belast (minder ankers), de krachten die daar niet wordt opgenomen zal nu als trekkracht van 10 kN in de mast werken.

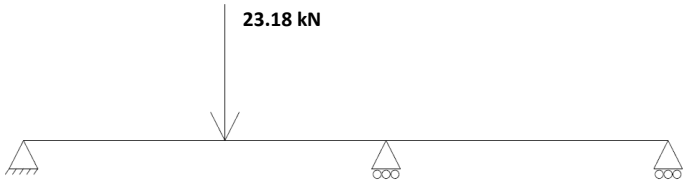


12.12.3 PUNT C

Hierin sluiten deze krachten aan:
In bijlagen X zijn de krachtvectoren (in kN) te vinden waar de gebruikte gegevens uit zijn afgeleid. Van de vier belastinggevallen is bekeken wat de maximale kracht is die op dit punt werkt van de mast. Doordat de hoek van de kracht niet loodrecht is, is dit een redelijk complexe berekening. Om tot een resulterende kracht te komen welke moet worden opgevangen in een spankabel zijn daarom de coördinaten (uit EASY) van de betreffende vector bij elkaar opgeteld, waaruit wordt afgeleid welke krachten in het snijpunt van de kracht aanwezig is.

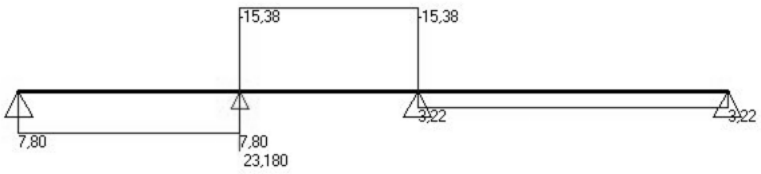
Kracht in x-as = -8.18 kN
Kracht in y-as = - 21.69 kN
Kracht in z-as = -10.29 kN

De krachten in de x- en de y-as kunnen worden geresulteerd naar één horizontale kracht met behulp van de stelling van pythagoras:
$a^2 + b^2 = c^2$ → $(-8.18)^2 + (-21.69)^2 = \sqrt{(537.4)} = 23.18$ kN
Nu werkt er op het snijpunt een horizontale kracht van 23.18 kN en een verticale kracht (z-as) van 10.29 kN. Te hoogte van dit snijpunt is er geen spankabel meegenomen. De horizontale zullen daarom moeten worden opgevangen door de spankabels op 4.5m en 8.0m.

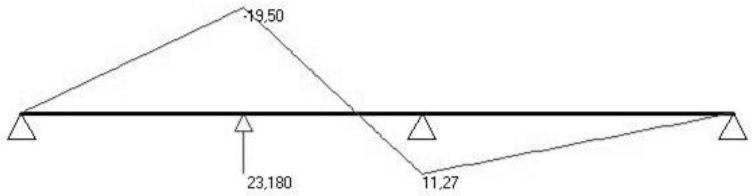


Afbeelding 12.6, puntlast

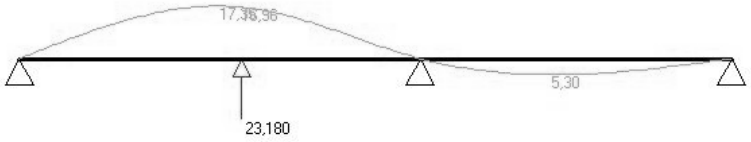
In afbeelding 11.7, 11.8 en 11.9 zijn de dwarskrachten, momenten en verplaatsingen te zien bij de kracht (23.18 kN) die loodrecht werkt op de mast.



Afbeelding 12.7, dwarskrachtenlijn



Afbeelding 12.8, momentenlijn



Afbeelding 12.9, verplaatsingen

Nu er op 4.5 meter en 8 meter meer of minder moet worden afgespannen is opnieuw een berekening nodig. Dit zijn dezelfde berekeningen als in instabiele toestand. De resulterende krachten zijn in tabel 12.8 af te lezen. Deze tabel geeft de waarden weer in instabiele toestand en in evenwicht van de constructie. Gestreefd wordt naar evenwicht, waarin geen horizontale restkrachten als puntbelasting op de mast werken. Omdat dit in het eerste geval op 2.5 meter hoogte wel het geval is, zal die krachten moeten worden ontbonden naar de spankabels op 4.5 meter en 8 meter.

De reactiekrachten die op 4.5 meter en 8 meter komen moeten worden opgevangen, dit zijn respectievelijk 15.38 kN en 3.22 kN.

Punt		**Geen evenwicht**							**Evenwicht**						
		Krachten in snijpunten vóór afspanning						Krachten in mast ná afspanning	Krachten in snijpunten vóór afspanning						Krachten in mast ná afspanning
	Hoogte(in mm)	*Kracht in x-as (kN)*	*Kracht in y-as (kN)*	*Kracht in z-as (kN)*	*Horizontale kracht(kN)*	*Verticale kracht (kN)*	*Afspankracht (kN)*	*Resulterende kracht (kN)*	*Kracht in x-as (kN)*	*Kracht in y-as (kN)*	*Kracht in z-as (kN)*	*Horizontale kracht(kN)*	*Verticale kracht (kN)*	*Afspankracht (kN)*	*Resulterende kracht (kN)*
1	*8000*	*12.71*	*-31.44*	*11.95*	*33.91*	*11.95*	*56.51*	*45.20 (druk)*	*12.71*	*-31.44*	*11.95*	*30.69*	*11.95*	*51.30*	*41.10 (druk)*
2	*4500*	*-6.23*	*-24.90*	*30.42*	*25.70*	*30.42*	*33.50*	*-10,00 (trek)*	*-6.23*	*-24.90*	*30.42*	*52.51*	*30.42*	*68.55*	*44.06 (druk)*
3	*2500*	*-8.17*	*-21.70*	*-10.29*	*23.18*	*-10.29*	*-*	*-10.29 (trek) en 23.18 loodrecht (buiging)*	*-8.17*	*-21.70*	*-10.29*	*-*	*-10.29*	*-*	*-10.29 (trek)*
4	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*7.80*	*0*	*0*	*7.80 (horizontaal)*
Totaal															***76 (druk)***

Tabel 12.8, krachtenschema

Alle verticale krachten die aanwezig zijn in de mast worden door zijn ankerplaat opgevangen. Nu is er sprake in dit specifieke geval van alleen drukkrachten in de mast. De horizontale belasting in de mastvoet zal moeten worden opgenomen door ankers en uit praktische overwegingen moet er rekening gehouden worden met omvallen/stoten/etc. Het is daarom verstandig om de ankerplaat te verankeren. Uitgebreidere berekeningen rekening houdend met álle belastinggevallen zijn hiervoor noodzakelijk.

De verankering van de spankabels vanuit punt A kan worden aangehouden. De belasting in evenwicht is namelijk iets minder dan berekend.
De verankering van de spankabels vanuit punt B krijgt daarentegen juist meer:

$F_{D;max}$ = 68.55 x 1.2 = 82.26 N

Met een β van 50 ˚ geldt de volgende formule (ref. NEN-EN 13782): $F_{D,max}$ = 10 x d x l (ongunstigste geval)

Waarin:

d = diameter van het anker (in cm)
l = inslagdiepte (in cm)

$F_{D;max}$ = 82.26 kN → 82260 = 10 x *d* x *l* (met l = 150cm) geeft:

Benodigde ankers: 13.7 → 14 ankers van 150cm met Ø 4cm per ankerplaat t.b.v. afspanning van de krachten uit bovenstaande situatie (tekening: bijlage).

12.13 MASTEN

Aan de hand van bovenstaande belastingen is er een knikberekening voor de mast gemaakt, deze is te vinden in de bijlage. Bij de bepaling van de profielgrootte is ook rekening gehouden met de detaillering van de constructie. Een kleinere mast heeft een kleinere oppervlakte om je aansluitingen vanuit het doek kwijt te kunnen.

Gecontroleerd op sterkte en knik → Toepassing van een buis Ø139.7x5voldoet, lengte 8,0 meter.

12.14 MEMBRAAN

EASY genereert ook alle krachten die zich in het membraan voor doen. Deze krachten zijn te vinden in de bijlage. Verdere berekening is nodig om het juiste type doek vast te stellen.

13 MONTAGE

Deze montagebeschrijving is van toepassing bij configuratie van alléén de hoofdmodule met drie hoofddoeken.

13.1 HIJSMECHANISME MASTEN

Stap	Uitvoering	Benodigdheden	Aantal
1	De ankerplaten worden uitgezet volgens opgegeven stramien	ankerplaten	3
		ankers	X
2	De 8m-masten worden neergelegd met de mastvoet bij ankerplaat	8m-masten	3
3	De 8m-masten worden op een bok geplaatst zodat ze enige schuinte krijgen t.b.v. het hijsen	bokken	3
4	Midden katrolconstructie wordt geplaatst		
4	Spankabels (a en b) worden losgekoppeld		
5	Spankabel (a) wordt verankerd volgens opgegeven stramien		
6	Twee spankabels (b) worden elk om één naastgelegen katrol geslagen		
7	Uiteinden van spankabels worden gekoppeld aan triangels		
8	Spankabel (c) worden bevestigd aan triangels		
9	Tirfor wordt verankerd aan kabel in de grond		
10	Uiteinde spankabels (c) wordt aangesloten op de tirfor	tirfors	3
11	Spankabels (b en c) worden op spanning gebracht door tirfors tot 8m-masten rechtop staan	tirfors	3
12	De constructie staat wanneer alle spankabels op spanning staan en de masten verticaal staan		

Tabel 13.1

13.2 HIJSMECHANISME DOEKEN

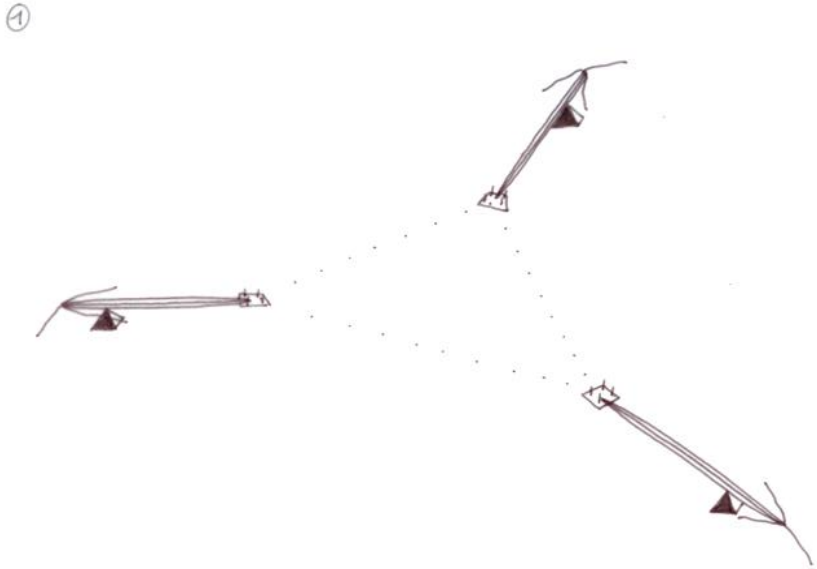
Stap	Uitvoering	Benodigdheden	Aantal
13	Uiteinden van de hijskabels (b) worden losgekoppeld en gemonteerd aan ankerplaat van de mast		
14	Één uiteinde van de hijskabels (a) worden losgekoppeld van hijsringen en door tirfor getrokken		
15	Spankabels (d) worden gekoppeld aan tirfor en het uiteinden aan tijdelijk anker	tirfors	3
		tijdelijke ankers	3
16	Uiteinden van hijskabels (a) worden gemonteerd aan ankerogen op de ankerplaat van de mast		
17	Membraan wordt uitgelegd tussen de 8m-masten volgens tekening (BIJLAGE X)		
18	Hoekpunten (b en e) worden gemonteerd aan de hijsringen		
19	Gelijktijdig de hijsringen hijsen door tirfor (stap 15) aan te trekken tot een hoogte van 4,5 meter		
20	Uiteinden van hijskabels (b) worden losgekoppeld		
21	Één uiteinde van de hijskabels (b) worden door tirfor getrokken		
22	Spankabels (f) worden gekoppeld aan tirfor en het uiteinden aan tijdelijk anker	tirfors	3
		tijdelijke ankers	3
23	Uiteinden van hijskabels (b) worden gemonteerd aan ankerogen op de ankerplaat van de mast		
24	Andere uiteinde hijskabels (b) worden gekoppeld aan hoogpunt van membraan, doekpunt (c)		
25	Gelijktijdig de tirfors aantrekken totdat het eindstuk van het doek een hoogte van 8 meter bereikt		
26	Ankerplaten van 4,5m-masten neerleggen en verankeren		
27	4,5m-masten neerleggen en monteren in ankerplaat	4,5m-masten	3
28	Spankabels (g) bevestigen aan masttop en tirfor, uiteinden aan anker	tirfors	2

29	Uiteinden van spankabels (g) worden gemonteerd aan anker		
30	Doekpunt (a) koppelen aan 4,5m-mast		
31	Tirfors aantrekken totdat 4,5m-mast rechtop staat en doek op spanning is		
32	Doekpunten (c) worden gekoppeld aan spankabels (h)		
33	Tirfors worden verankerd aan tijdelijk anker	tirfors	3
		tijdelijke ankers	3
34	Uiteinden spankabels (h) worden door tirfor getrokken		
35	Wanneer spankabels (h) op spanning zijn gebracht worden de uiteinden aan de mast op 2,5 m hoogte bevestigd		
36	De tijdelijke constructie staat wanneer het alle masten rechtop staan en het doek gespannen is in de juiste vorm		

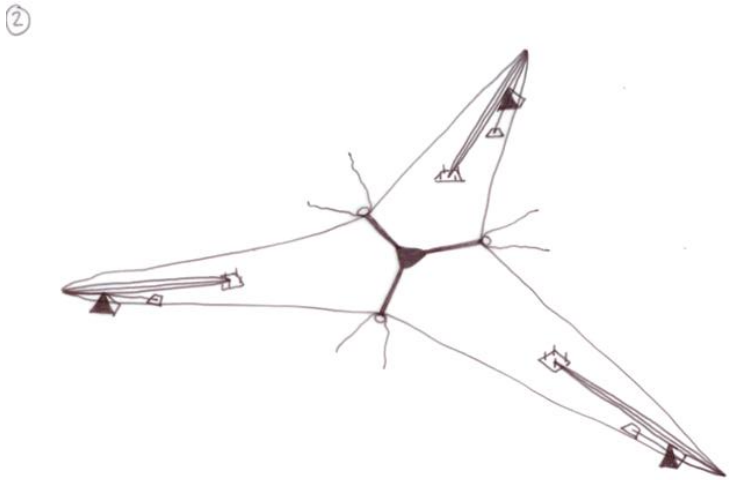
Tabel 13.2

13.3 MONTAGE SCHETSEN

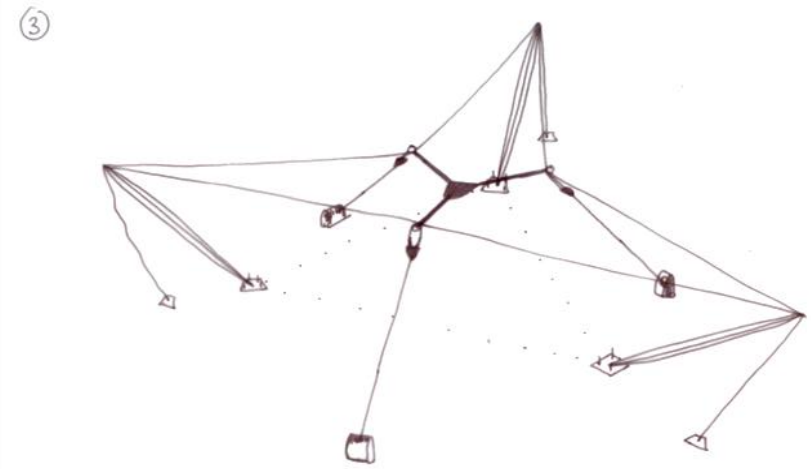
Stapsgewijs is in de volgende afbeeldingen schetsmatig de montage weergegeven. Hieruit wordt duidelijk wat staat omschreven in tabel 14.1 en 14.2.

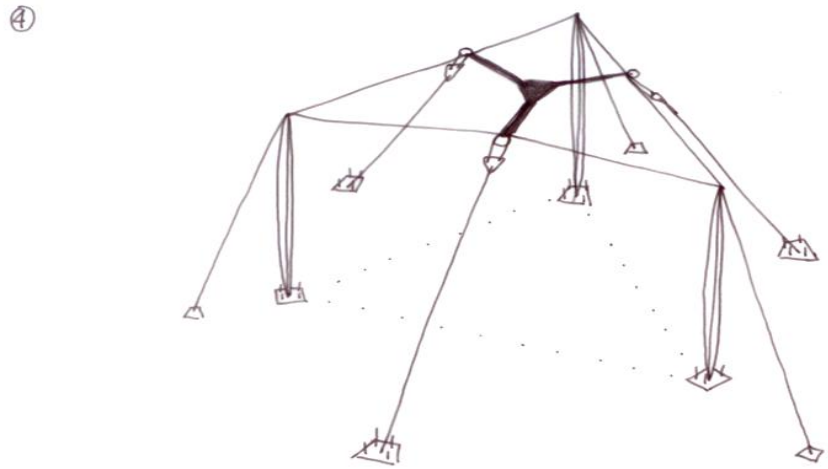


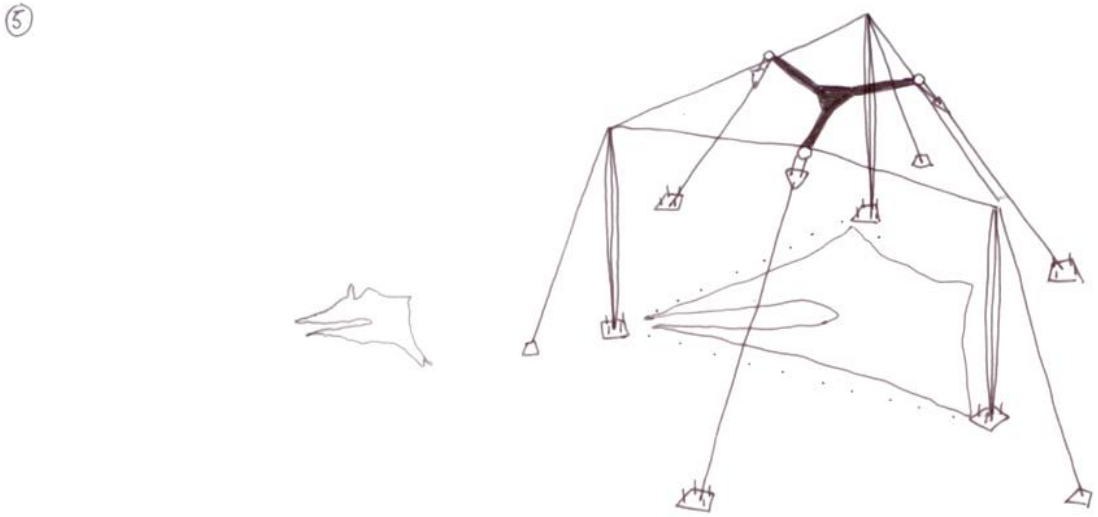
Afbeelding 13.1

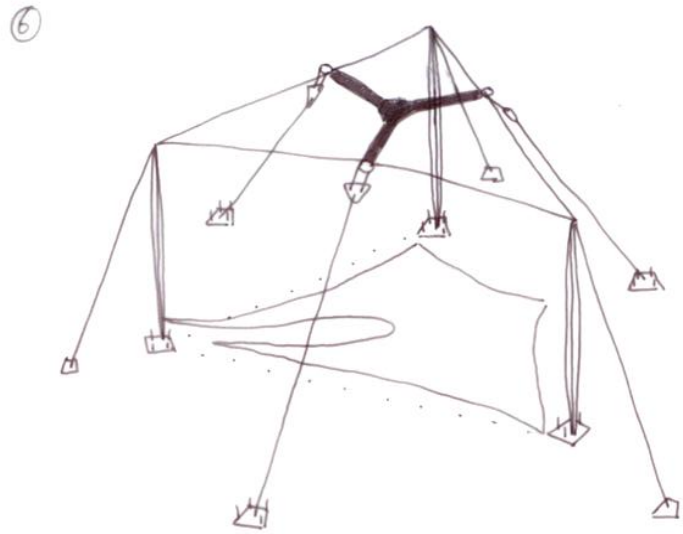


Afbeelding 13.2









Afbeeldingen 13.3 t/m 13.6

14 DETAIL

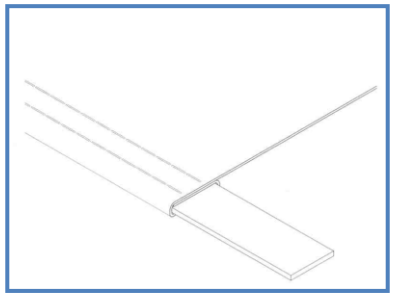
14.1 DOEKRANDEN

Vanwege de geringe materiaalsterkte van het membraan, reageert ieder type erg gevoelig op lokale belastingen. Dit moet worden meegenomen in de detaillering van de constructie. Er moet te aller tijde voor gezorgd worden dat de juiste verbindingstechniek wordt gebruikt, zowel de koppeling van twee doeken als wel de koppeling aan de randen. Ieder type membraan reageert anders op de verschillende technieken. De opgave van de versterking aan de randen is om de spanningen uit het membraan over te dragen naar de hoeken en vervolgens naar de verankering te leiden.
Er zijn globaal drie membraanranden te onderscheiden:

1. **Gordelrand** Middelgrote membraanconstructies, gordels zijn van polyester gemaakt, zijn niet UV bestendig en moeten beschermd worden tegen de zon, aan de hoeken moet een speciale gordeltas komen, alleen dan zijn de verschillende compensatiewaarden van riem en membraan bij het lassen van de riemen te behouden.

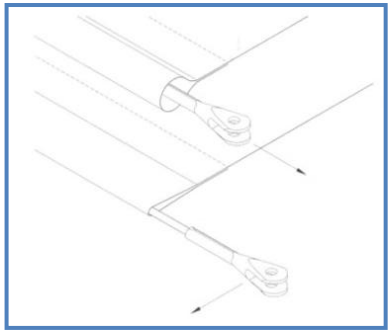
2. **Randkabel in "zak"** Bij deze techniek wordt het doek om de kabel geslagen tot een "tas" en op zo tot een membraanrand gemaakt, is de krachtwerking zeer hoog, zoals bij grote spanwijdten en glas-PTFE membranen, dan wordt het vrije randdoek aanbevolen.

3. **Vrije randkabel** Bij glas-PTFE membranen, in het bijzonder, grote spanwijdten, wordt de kabel tot aan de membraanrand doorgetrokken en lokaal bevestigd aan de membraanrand die ingeklemd is met klemplaten.



Afbeelding 14.1, gordelrand

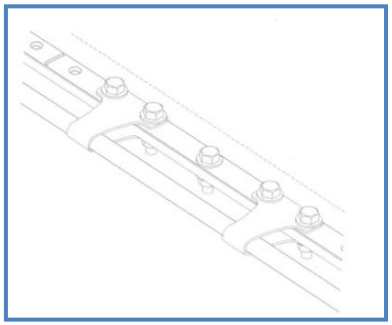
Bij dit project is gekozen voor gebruik van PTFE weefsel, er wordt aanbevolen om dan de vrije randkabel toe te passen als randversterking, maar vanwege de geringe grote van de doeken (max. 10m. overspanning), de tijdelijkheid van de constructie en de montagetechniek kiezen we voor een randkabel in "zak" in combinatie met banden. Hoe dit in elkaar steekt is te zien op afbeelding 14.4.



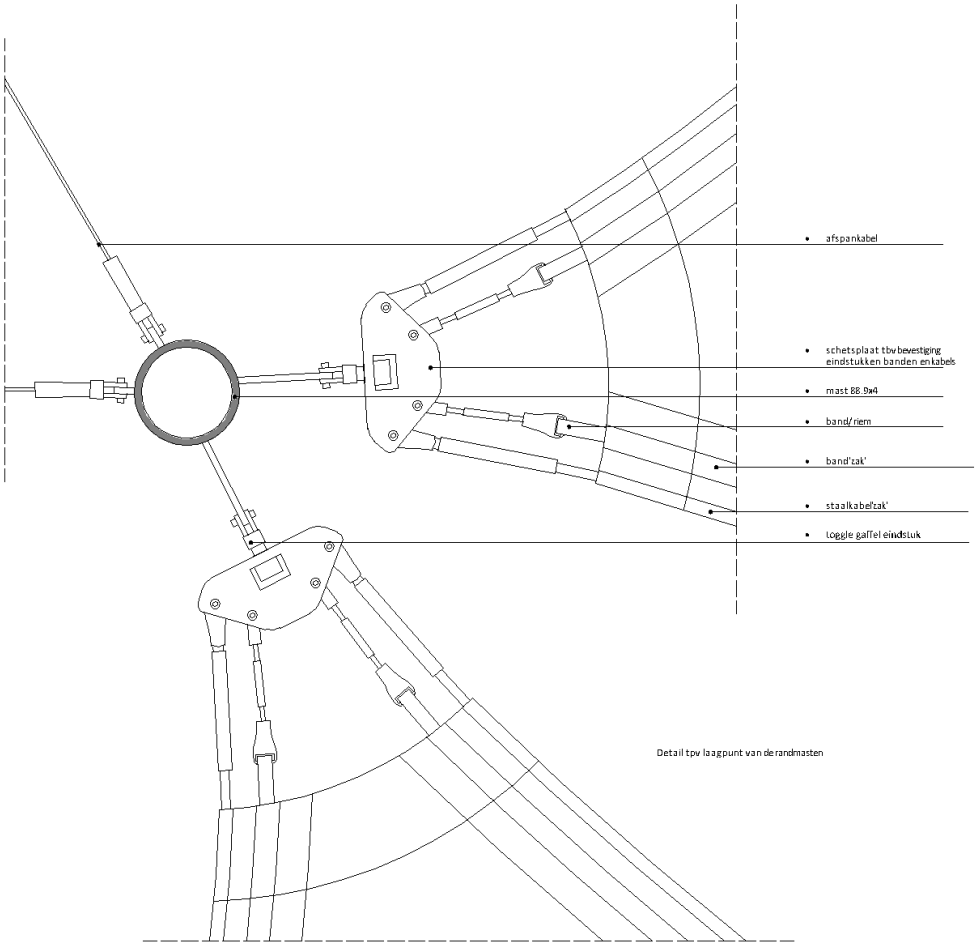
Afbeelding 14.2,randkabel in "zak"

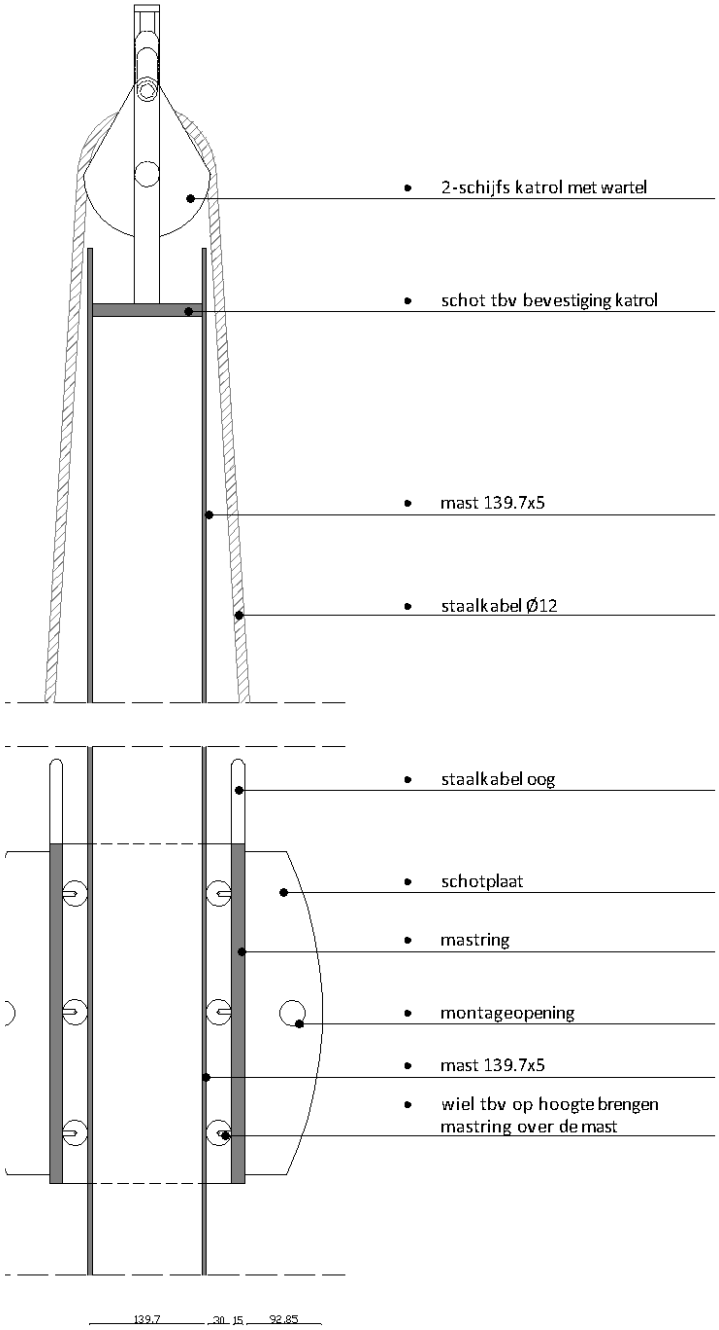
14.2 MAST

De doeken die aan de hoofdmasten vastkomen moeten met een speciaal mechanisme op hoogte gebracht worden. Hiervoor maken we gebruik van een hijsring. Wanneer de doeken op de grond liggen en de ring onderaan de mast is, kunnen de aansluitingen van het doek aan de ring bevestigd worden. De ring is met een hijskabel verbonden waaraan op spanning kan worden gebracht met een tirfor. Dit apparaat verkort de kabellengte en waarborgt continue spanning op de kabel. Door dit mechanisme wordt de ring omhoog gehesen. Eenmaal op hoogte wordt de hijskabel aan de voet van de mast bevestigt zodat deze geborgd is. Op afbeelding 14.5 is te zien hoe dit detail in elkaar zit.



Afbeelding 14.3,vrije randkabel





Detail tpv de drie 8m-masten

Afbeelding 14.4, detail doek

Afbeelding 14.5, detail mast

LITERATUUROPGAVE

Afstudeerrapporten o.a.

- E. van Langeveld, Festivaltent, met specifieke eisen voor optredens, januari 1999
- H. Werkman, Podiumoverkapping voor het openluchttheater in Soest, Ontwerp en realisatie van een membraanconstructie, april 2003

Internet o.a.

- www.thearchiblog.wordpress.com
- www.uticaaud.org
- www.en.wikipedia.org
- www.architecture.com.au
- www.greatbuildings.com
- www.st.bv.tum.de/content/teaching/ferienakademie/slides/04_yao_sl

ides.pdf

Literatuur o.a.

- R. Houtman, Van idee tot tentconstructie, 1996
- C. Roland, Frei-Otto Spannweiten, 1965
- T. Herzog, Pneumatische Konstruktionen, 1976
- H. Berger, Light Structures, Structures of Light, 1996

Vakbladen o.a.

- ZELT
- Stedenbouw & Architectuur
- Fabric Architectur
- DETAIL

NAWOORD

Vijf maanden geleden wist ik niets van membraanconstructies. Nog nooit had ik stil gestaan bij het constructieprincipe dat achter een tent zit. Toen ik bezig ging met mijn onderzoek naar deze membraanstructuren bij Tentech kwam ik erachter dat ik het ontzettend interessant vind om te modelleren met doeken. Er zijn talloze mogelijkheden en variaties te ontwerpen. Bij het bestuderen van de theorie kwamen al direct de mooiste projecten tevoorschijn. Dit spoorde me meer en meer aan om door te gaan en tot een ontwerp te komen dat ook daadwerkelijk te bouwen is.

Naast dat ik veel heb geschetst heb ik ook ruimtelijk vormen gemodelleerd met panty's. Dit geeft je een goede impressie van hoe je ontwerp er in het echt uit komt te zien. Een aantal pantymodellen heb ik ingevoerd in het computerprogramma EASY. Om het programma onder de knie te krijgen was behoorlijk wat tijd nodig. Het is een ingewikkeld programma, en dat had ik van te voren niet gedacht. Een van mijn varianten is het definitieve ontwerp geworden. Daar ben ik ontzettend trots op, ik vind het een boeiende vorm om naar te kijken, en zou graag willen dat ik het ooit eens op een festivalterrein zie staan. Toch hebben de afgelopen vijf maanden mij niet voldoende tijd geboden om het definitieve ontwerp totaal door te rekenen. Dit zou ik in de toekomst anders aanpakken, door niet zo veel tijd te besteden aan het begrijpen van alle principes en het schetsmatig ontwerpen van mogelijke tenten. Toch waren deze laatste twee nodig om me te brengen waar ik nu sta. Ik sta breder in het ontwerpproces en ben erg blij dat ik het constructieve aspect met het architectonische aspect heb kunnen combineren. Dit is uiteindelijk ook hoe ik mezelf in de toekomst ook zie, en dit was een uitstekende start!