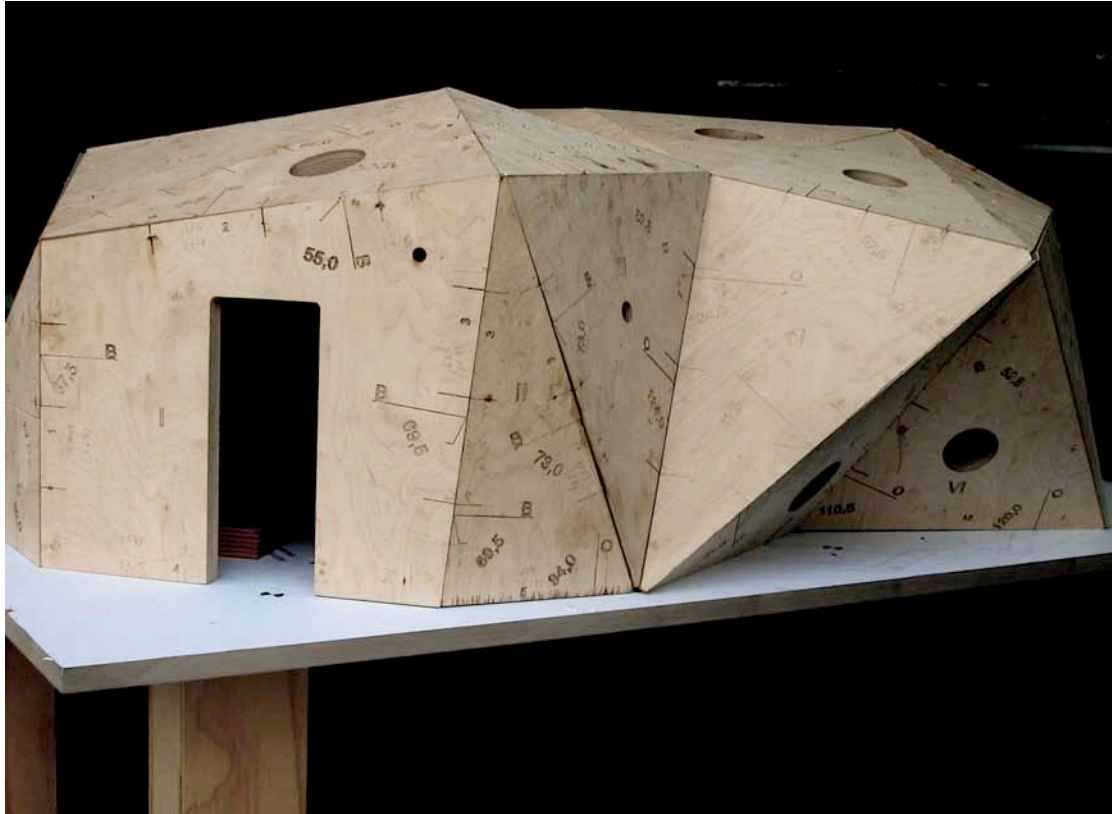


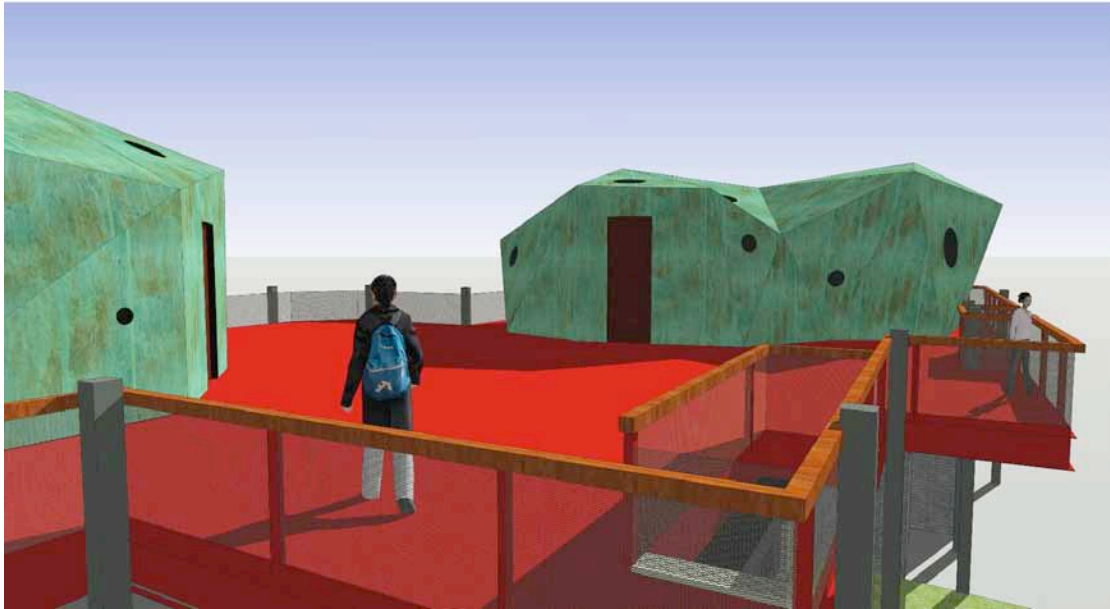
Halsstarrige driehoeken



hoe een onregelmatige uit driehoeken bestaande mesh offsettable te maken?

Een onderzoek van:
Jasper de Haan
Axel Kilian
Paul Lagendijk

Halsstarrige driehoeken



hoe een onregelmatige uit driehoeken bestaande mesh offsettable te maken?

Inleiding:

Dit is het verslag van een onderzoek dat heeft plaatsgevonden vanaf eind 2008 tot en met begin 2010. Het onderzoek kon plaatsvinden door een genereuze subsidie van het stimuleringsfonds voor de architectuur uit Rotterdam. Bij toeval stuiten we op een merkwaardig probleem dat bij het werken met onregelmatige ruimtelijke structuren regelmatig de kop op steekt. Het bleek in andere vakken, zoals bijvoorbeeld de computer animatie industrie , een “klassieker” te zijn.

Het gaat om hetgeen in (Auto)Cad termen **offset** heet. Het parallel verplaatsen van een lijn, kromme, vlak, gekromd vlak, dubbel gekromd vlak, etc. over een bepaalde afstand. Dat is in sommige gevallen met een simpel zigzag lijn al problematisch. En zo bleek, met een onregelmatige ruimtelijke structuur helemaal.

Met behulp van Axel Kilian (co-auteur van het boek *Architectural Geometry*, Bentley, 2007) en Paul Lagendijk (constructeur bij Aronsohn Raadgevende Ingenieurs) hebben we ons meer dan anderhalf jaar bezig gehouden met dit probleem aan de hand van een case-study. De case betrof de uitbreiding van een bestaand kinderdagverblijf met een buitenschoolse opvang op het dak van een bestaand gebouw in Barendrecht. Op een groot nieuw dek, dat als een tafel over het bestaande gebouw heen gezet was, hadden wij twee zelfdragende kristalachtige paviljoens gedacht die plaatsboden aan twee maal twintig kinderen. Toen we dachten dat we de grootste ontwerpproblemen hadden opgelost en het virtuele computer model met dikte nul geheel kloppend hadden in programmatische, stedenbouwkundige, architectonische en constructieve zin en we dit model enkel nog een dikte hoefden te geven in de computer om vervolgens de werktekeningen van de verschillende panelen te maken, bleek alles niet te kloppen.

Met het offsetten van het virtuele model om een dikte te krijgen bleek de zo zorgvuldig vormgegeven vorm uit elkaar te vallen in in eerste instantie onbegrijpelijk onderdelen. We hebben dat in de subsidie aanvraag de Mauerwerkvorsprung van de 21^e eeuw genoemd, vrij naar Jan Turnovsky beschouwing over het raam in de ontbijtkamer van het Wittgenstein huis in Wenen. Dit omdat het ook hier gaat om de strijd tussen abstract architectonisch concept en de weerbarstige materie waarin we dat proberen te gieten. Zonder ons ook maar een ogenblik met Wittgestein op één lijn te willen zetten. Onderzoek is alleen onderzoek als de uitkomst onzeker is. Dat is hier het geval. We hadden nauwelijks een idee waar we aan begonnen. Hetgeen hierna volgt is de verslaglegging van anderhalf jaar frustratie en weer opnieuw beginnen, chaotisch en onvoorspelbaar, als de *messy and inconsistent* werkelijkheid waar Stan Allen¹ het over heeft, waarbinnen ons vak zich moet zien te handhaven. Onderstaande is ook een poging tot een kleine bijdrage aan de *overarching theoretical construct*, dat volgens Allen nodig is om de *messy* praktijk te lijf te kunnen gaan. Meer en meer blijkt dat zo’n construct beter gezocht kan worden in de object- en ervaringsgerichte kritiek dan vanuit een theoretisch discours dat enkel gedomineerd word door culturele en politieke kritiek.

1. ¹ Practice, Stan Allen, Routlegde, 2009

Het probleem:

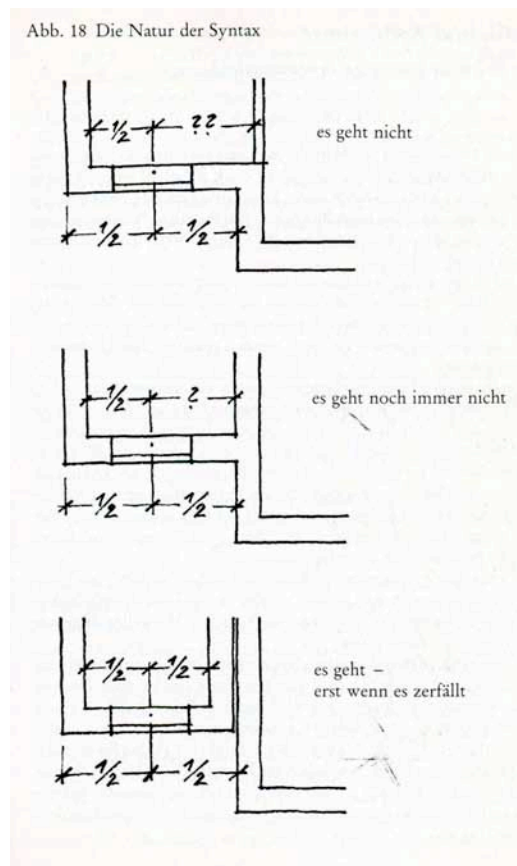
De term “*mauerwerkvorsprung*” in deze betekenis, is gemunt door Jan Turnovsky, in zijn essay, *Die Poetik eines Mauerkwerksprungs*.²

De kern van het betoog draait om een detail in de hoek van de ontbijtkamer van het enige huis ter wereld dat daadwerkelijk door een filosoof is ontworpen en gebouwd. Dat is natuurlijk het huis dat Ludwig Wittgenstein voor zijn zus heeft ontworpen in Wenen. In dit uiterst precieze huis is in de ontbijtkamer een gevel die stukloopt op het hoofdvolume van het huis. In deze gevel is een raam gedacht. Wittgenstein heeft voor dit raam in dit gedeelte van de gevel een uiterst simpel en eenvoudig architectonisch uitgangspunt willen toepassen. Namelijk:

“*het raam in het midden van de gevel.*”

Zoals de tekeningen hieronder laten zien, kan dat niet. Tenminste het is door de dikte van het architectonische materiaal, de muur in dit geval, niet mogelijk om het raam, aan zowel de binnen als de buitenkant in het midden van de muur te plaatsen.

Abb. 18 Die Natur der Syntax



² Jan Turnovsky, *Die Poetik eines Mauerkwerksprungs*, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 1987, Duitsland.

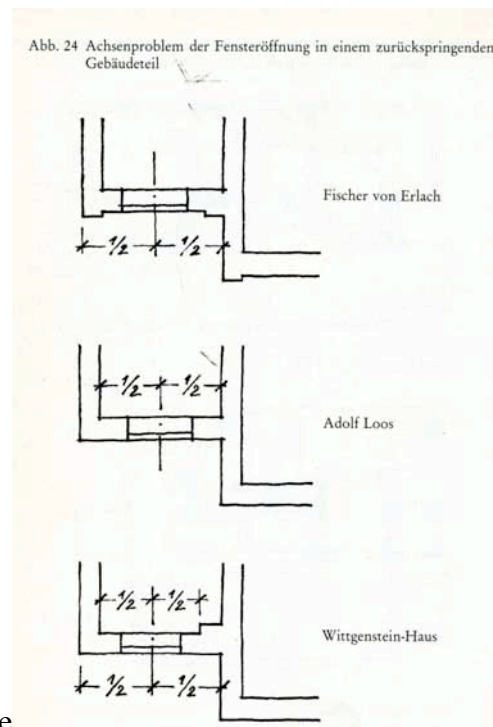
Juist de materialisering de daadwerkelijke fysieke aanwezigheid van het materiaal, de dikte ervan, maken het onmogelijk om een, ogenschijnlijk, simpel en abstract architectonisch idee, te weten:

“raam in het midden van de muur” in de werkelijkheid ook zo te maken.

Er moet gekozen worden, of het klopt binnen of buiten, allebei kan niet.

Wittgenstein zelf wilde niet kiezen en verzoon een tussenoplossing. Even aandoenlijk en knullig als wellicht geniaal.

Waar Fischer von Erlag kiest voor buiten en Adolf Loos bijna altijd voor binnen, metselt Wittgenstein een stukje verdikte muur om het ontstane verschil in afmeting te compenseren, verhullen en op te vangen.

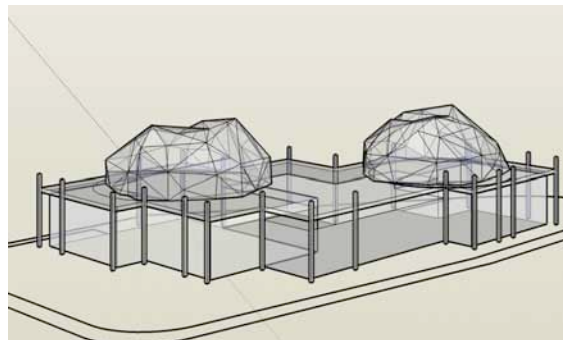


e

We kwamen ongewild een soortgelijk probleem tegen bij het ontwerpen van de paviljoens op het nieuwe dek over het bestaande kinderdagverblijf in Barendrecht.



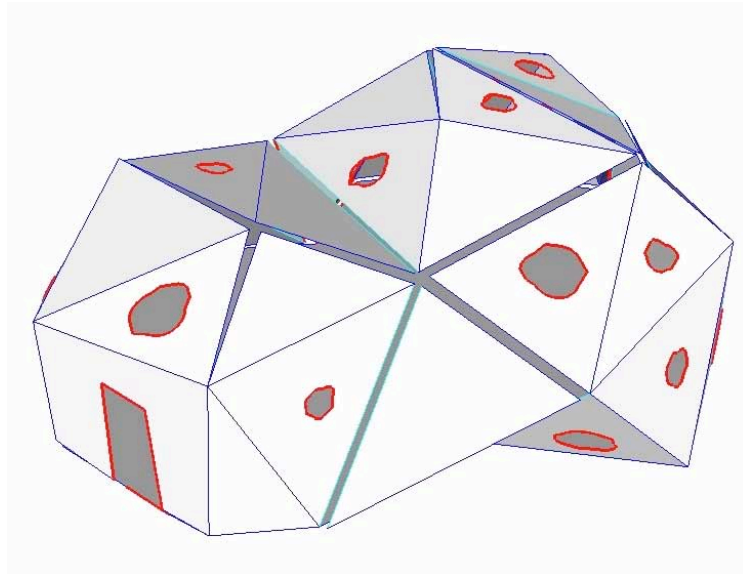
Voor de Buitenschoolse opvang hadden we twee onregelmatige uit driehoeken opgebouwde kristallijnen paviljoens met een vloeroppervlak van zo'n 100 m² en een maximale hoogte van 4,5 m bedacht. Een uitgangspunt was, dat de gevels/daken van de paviljoens zelfdragend zouden zijn. Dat de constructie zou bestaan uit de driehoekige panelen zelf, die ook de scheiding tussen binnen en buiten maken. En er dus geen onafhankelijke draagstructuur van staal of hout zou komen die later bekleed zou worden met een gevel. (Zo'n aangekleed skelet lijkt tot nu toe de min of meer standaard oplossing om een gebouwtje met een soortgelijke onregelmatige vorm te maken.) Wij vinden dat oneigenlijk en ook onzinnig. Waarom niet dat gebruiken wat je toch al nodig hebt. Daarom leek het ons goed dat datgene wat je maakt en ziet ook zelf de constructie vormt van een gebouw. Dat alles wat je ontwerpt/bouwt op meerdere lagen een functie heeft. Dus liever niet een scheiding tussen drager en inbouw, constructie en scheidingswanden of architectuur en functie. Vitruvius' triade het liefst samen in één geheel en niet in afzonderlijk te bepalen en te benoemen onderdelen. De constructie en de architectonische uitdrukkingsvorm zijn dan één en dezelfde. Misschien een ouderwets of zo je wilt een modernistisch uitgangspunt³, daar het gangbare bij dit soort in de computer gegenereerde vormen is dat ze van binnen stiekem overeind gehouden worden door een, al dan niet zichtbare, klassieke constructie. En daarmee verworden die gebouwen tot niet meer dan een decor, met vooralsnog Ghery's Bilbao als hoogtepunt. Nou is er niets tegen decorbouw, maar alleen al uit ecologische overwegingen is het natuurlijk wel zo handig dat vorm en constructie dezelfde zijn. Laat staan economische overwegingen.



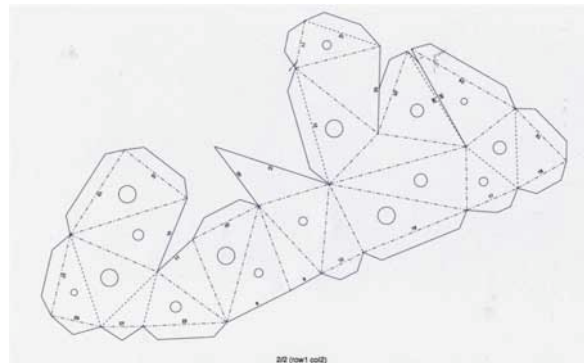
Lange tijd hebben we dit ontwerp gemaakt met een computer model met de theoretische dikte van nul mm dik. Maar om de vorm en ook de constructie überhaupt te kunnen beoordelen waren modellen noodzakelijk. Martijn Stellingwerff van de TUD wees ons op het bestaan van het programma PepaKura dat erg handig bleek te zijn. Met PepaKura is het mogelijk om van een virtueel 3D model (.km , .3ds , .dxf , etc.) een bouwplaat te printen, inclusief vouwlijnen en plakranden. Dit van oorsprong Japanse programma is eigenlijk bedacht om robots en avatars uit de game wereld zelf thuis van papier na te kunnen maken. In alle verschillende stadia hebben we zeer vaak

³ Interessant in deze is de observatie van o.a. Edward Ford in zijn boek "the details of Modern architecture". Hij stelt dat waar de architectuur zich in het begin van de 20^e eeuw ontwikkelde naar een monoliet systeem de bouwtechniek zich ontwikkelt naar een gelaagd systeem, waarin iedere functie een aparte laag en zelfs materiaal krijgt. Zeker onder druk van de huidige eisen aan isolatiewaarden en het verbod op koudebruggen is er heel wat kunst en vliegwerk nodig om de ogenschijnlijke simpele modernistische composities van monoliete, massieve schijven er ook zo uit te laten zien. Waarmee het modernistische dogma, dat de constructie "eerlijk" zou moeten zijn onmiddellijk met voeten getreden wordt. In zekere zin is ons pleidooi voor de zelfdragende constructie ook een terugkeer naar een monolithische manier van denken. Qua materialisering klassiek en conceptueel modern.

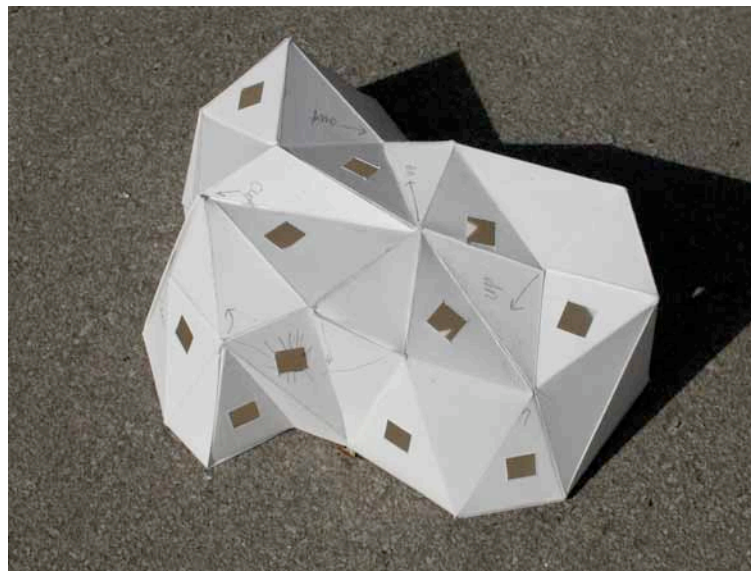
een modelletje geprint en in elkaar geplakt om te kijken of hetgeen we aan het doen waren wel klopte, te controleren of wat op het beeldscherm goed leek dat in werkelijkheid ook zo was maar ook om de constructieve eigenschappen van een variant te doorgronden, simpelweg door wat te duwen en trekken aan zo'n papieren modelletje.



Het 3D model in Pepakura



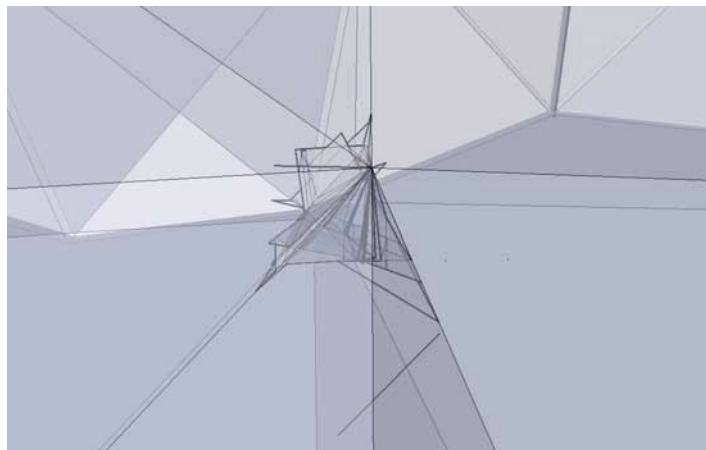
de bouwplaat in Pepakura



een papieren model

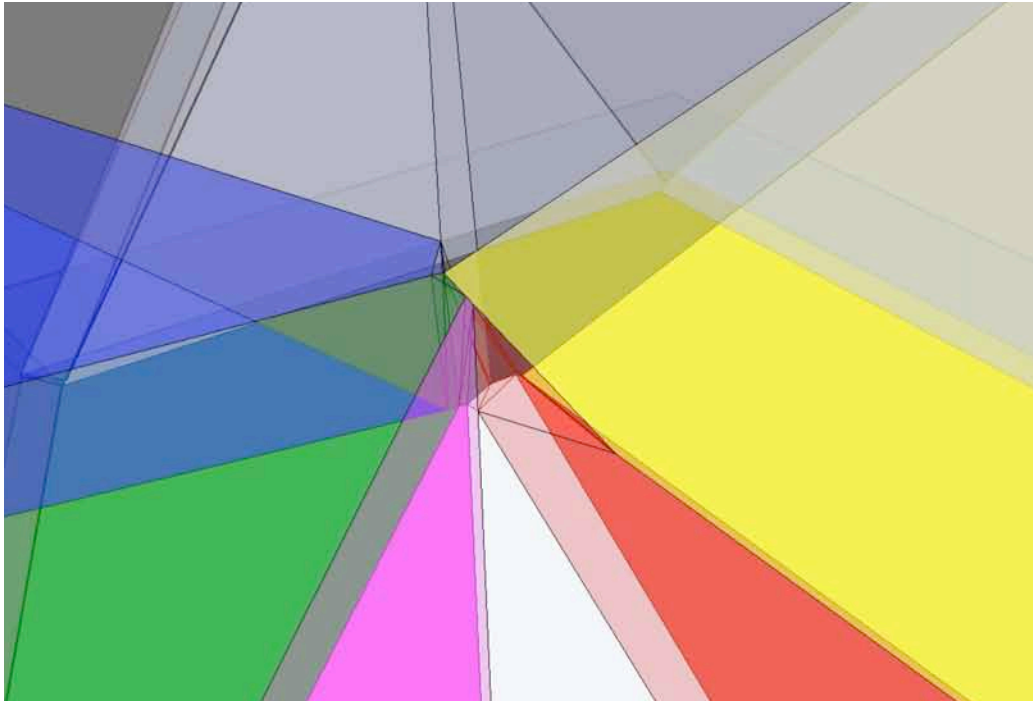
Dit alles in de veronderstelling dat als, uiteindelijk, het model met dikte nul helemaal goed en kloppend zou zijn, we dan door dat model simpelweg te offsetten (een dikte te geven door de vlakken parallel aan het “moedervlak” te verplaatsen naar binnen en naar buiten) en de uitstekende delen af te knippen en de tekort schietende vlakken zouden verlengen totdat die het naastgelegen vlak snijden, we een virtueel model hadden waarin de vlakken de juiste vooraf bepaalde constructieve dikte zouden hebben. Op basis van dat virtuele model, zou het dan relatief simpel moeten zijn om alle driehoekige panelen correct op schaal uit te tekenen, zodat deze door een timmerfabriek gemaakt konden worden en enkel nog als een soort Ikea bouw pakket op de bouwplaats in elkaar gezet hoefden te worden. Helaas bleek één en ander niet zo te werken.

Tot onze verbazing bleek deze vorm zich heel anders te gedragen dan de regelmatige veelvlakken (waarvan wij het dodecaëder als startvorm hadden genomen voor het ontwerp) waar Buckminster Fuller zo veel mee werkte. We begrepen opeens zijn voorkeur voor die regelmatige structuren. Want waar zelfs een dodecaëder, de meest “onregelmatige” van alle Platonische veelvlakken nog prima offsetbaar is, zonder dat de vorm wijzigt in iets geheel anders ontploften de hoekpunten van de onregelmatige paviljoens. Waar in het “nul” model de driehoeken keurig in één punt samenkwamen en zo piramides vormden met drie tot soms wel zeven zijden, bleek de geoffsette vorm zich uiterst vreemd te gedragen. De enkele snijpunten uit het “nul” model bleken uiteen te vallen in een wolk van punten. Nog afgezien van bouwkundige problemen als waterdichtheid en een gesloten vorm, baarde dit ons ook constructief enorme zorgen, daar in het “nul” model gebleken was dat het verplaatsen van een hoekpunt of beter een piramidetop met bijvoorbeeld 100 mm soms het verschil maakte tussen instorten of een stabiel en stevig gebouw. Lange tijd dachten wij ook dat we zelf iets fout deden tijdens het offsetten. Maar uiteindelijk bleek dat hier in feite te maken hadden met een soortgelijk probleem als Wittgenstein met zijn raam. Op de afbeelding is te zien wat er gebeurd als je het “nul” model naar binnen offset.

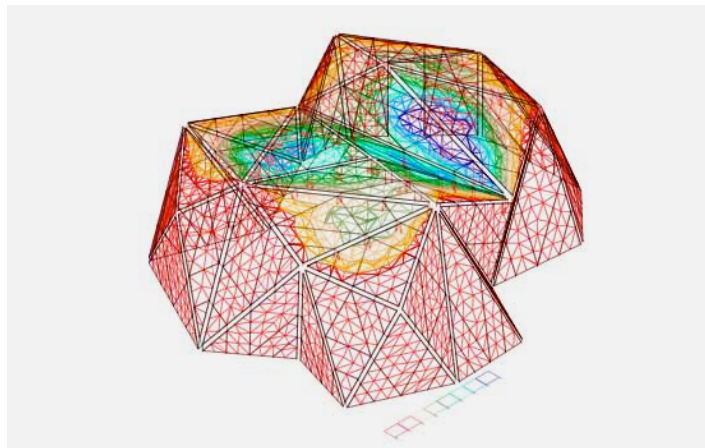


Te zien is dat de buitenkant (het originele “nul” model) nog keurig intact is. Echter de binnenzijde van de zevenvlakige pyramide lijkt wel geëxplodeerd in een veelvoud van vlakken met nog meer hoekpunten. Een oplossing zou dus zijn om te kiezen. Of het klopt binnen of het klopt buiten. En in het laatste geval bijvoorbeeld, dan binnen de boel maar zo goed en kwaad als mogelijk aftimmeren. Maar daarmee waren misschien de bouwkundige en in ieder geval voor één zijde de esthetische eisen opgelost, maar nog steeds niet de constructieve zorgen.

Helemaal daar we er in eerste instantie vanuit waren gegaan dat het “nul” model het midden van de uiteindelijke constructie zou zijn. Die aanname had best anders gekund, maar zo waren we nu eenmaal begonnen. En dan ziet zelfs een zo goed mogelijk “opgeruimde” knoop er nog steeds als volgt uit:



Om dit constructieve aspect op te lossen zouden we opnieuw moeten beginnen en bijvoorbeeld ervan uit moeten gaan dat de binnenkant van het gebouw het “nul” model zou gaan worden en we aan de buitenkant, waar toch op een relatief onnauwkeurige manier waterdichte lagen gemaakt dienden te worden, de timmermannen het verder maar laten uittimmeren. Maar dat zou betekenen dat we in feite het hele ontwerpproces weer opnieuw zouden moeten doen, daar anders het gebouw te groot of te klein zou worden. Nog afgezien van de enorme hoeveelheid tijd die het zou kosten om weer opnieuw met een boel *trial en error* de zo gewenste zelfdragende constructie te ontwerpen. Hetgeen zou inhouden dat we weer dagen lang onderstaande plaatjes moesten laten doorrekenen op soms 5^e tot 6^e orde effecten in de constructie.

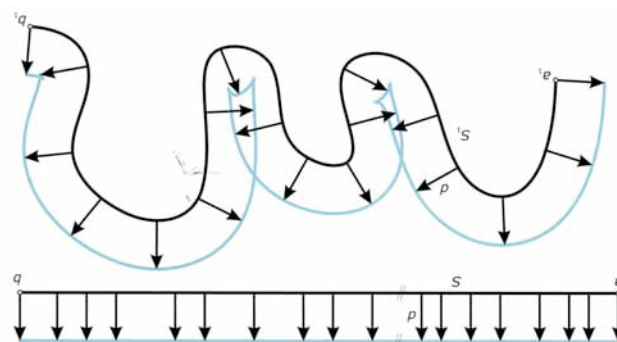


uitkomst constructieve berekening, blauw/paars betekend instorten

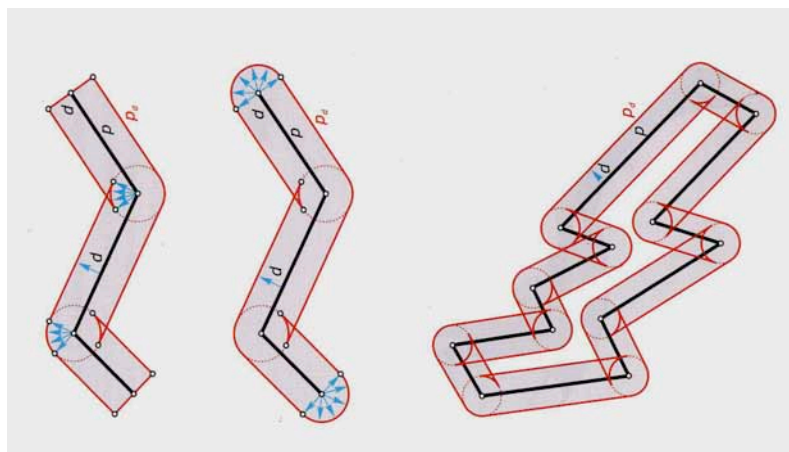
Gelukkig was inmiddels onze subsidie aanvraag bij het Stimuleringsfonds voor de Architectuur toegewezen waarmee we deze problematiek uit konden zoeken en er een oplossing voor proberen te vinden. Tevens lag het daadwerkelijke project stil, daar er een artikel 19 procedure gevoerd moest worden in verband met de hoogte van het nieuwe gebouw. Omwonenden hadden daarbovenop nog bezwaar ingediend tegen de komst van de BSO, daar dit naar hun idee een enorme parkeeroverlast zou veroorzaken. Onze opdrachtgever liet ons dan ook weten dat het project wat hem betreft stil zou liggen en blijven liggen en het nog maar de vraag was of het ooit weer opgestart zou worden. Temeer daar er inmiddels een tijdelijke bouwvergunning was afgegeven voor 5 jaar voor het plaatsen van twee portocabins waarin de bso tijdelijk onderdak kon krijgen. Wat daar ook verder van zij, in ieder geval gaf dit ons alle tijd om het probleem systematisch aan te pakken.

Uit de literatuur, met name één boek, Architectural Geometry, door Helmut Pottmann, Andreas Asperl, Michael Hofer en Axel Kilian, is bekend dat het offsetten van vlakken problematisch kan zijn. Ter illustratie en verduidelijking hieronder in het kort de problematiek en een reeds bekende oplossing.

Allereerst het basis probleem op het moment dat je gaat iets gaat offsetten: De zwarte lijn is het uitgangspunt, de lichtblauwe de ge-offsette lijn. Bij de rechte lijn is er hoegenaamd geen probleem. Bij de slingerlijn zijn de problemen onmiddellijk gigantisch. Want welke lijn te kiezen.

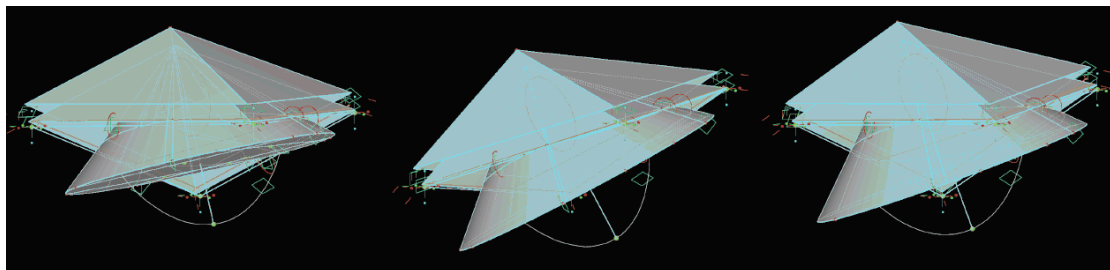


Hiervoor zijn oplossingen bedacht bijvoorbeeld om de curves tot rechte lijnen te herleiden en daar dan weer cirkels in te gebruiken, zoals de afbeelding hieronder laat zien:



Het offsetten van vlakken, zeker als deze ook nog gebogen zijn, wordt helemaal problematisch. In plaats van cirkels kan je dan cilinders gebruiken. Maar op het moment dat de vlakken dubbelgekromd zijn zul je bollen moeten gaan gebruiken. Hetzelfde probleem doet zich voor met de onregelmatige oppervlakken opgebouwd uit driehoeken. Sterker nog, dubbel gekromde vlakken worden vaak (bijvoorbeeld bij het maken van computer animaties voor film) opgedeeld in kleinere driehoekige vlakken om zo de curves uit de oorspronkelijk vorm te benaderen. En juist het offsetten van deze driehoekige vrije vormen is problematisch. Daarom zijn er ook stemmen om dit soort dingen alleen nog te doen met 4 hoeken, 5 hoeken of 6-hoeken. Probleem van de 4 en meer hoeken is dat er zich onmiddellijk het probleem van een scheluw vlak voordoet. Probleemloos in de virtuele wereld, maar verschrikkelijk in de, in dat licht, middeleeuwse bouwpraktijk. Wellicht is de tussenvorm, vierhoekige vlakken die ook nog eens door een cirkel omschreven zijn (in een vlak dus, en ook nog eens alle hoekpunten op een cirkel) er één die het meest veelbelovend is in deze. Waarover later meer.

Om onze vraagstelling zo simpel en helder mogelijk te houden, besloten we om niet opnieuw te beginnen, maar om uitgaande van de bestaande geometrie een daar zo dicht bij mogelijk liggende vorm te proberen te maken, die wel netjes offsetbaar zou zijn. Om allereerst te begrijpen wat dat offsetbaar zijn nu inhield besloten we tot een systematische aanpak. En dus om eerst een familie van piramides aan een nader onderzoek te onderwerpen. Aangezien de grootste piramide in het gebouw bestond uit acht vlakken, besloten we piramides van 3 t/m 8 vlakken te onderzoeken op offsetbaarheid. Hierbij gebruik makend van het inmiddels bekende bewijs dat vierhoekige piramides offsetbaar zijn of offsetbaar zijn te maken, mits de top gelijk valt met de top van een kegel en de vlakken van de piramide raken aan de tangente van die kegel.



A parametric research model showing a closest fit cone automatically generated from arbitrary 4 points (or more possibly) and generating the offsettable pyramid from it with a variable height peak point – Axel Kilian

Deze methode is ontwikkeld door Helmut Pottman, die dat gebruikt om dubbelgebogen vlakken te “triangulate”, in driehoeken te vertalen, voor bijvoorbeeld het maken van renderingen voor film. Die driehoekige meshes moeten dan vervolgens offsetbaar gemaakt worden en hiervoor heeft Pottman deze methode ontwikkeld. Inmiddels is men meer geneigd dit soort vormen in vier of vijfhoeken te verdelen om deze problematische offsetbaarheid te omzeilen. Maar aangezien het doel hier niet het maken van een rendering, was, maar wel om een stabiele en makkelijk te vervaardigen constructie maken, hadden wij juist wel voor naar hun aard stabiele driehoeken gekozen.

Een periodiek systeem

De eerste stap was om te kijken of deze “methode” om piramides offsettabel te maken ook opging voor piramides met meer vlakken.

Daarvoor hebben we het programma Rhino aangeschaft, omdat alleen daarmee een cirkel handig door drie raakpunten bepaald kan worden. Deze functie is noodzakelijk voor het tekenen van de basis van de kegel, waar de vlakken van de piramide weer aan moeten raken.

Gelukkig bleek de methode van tangenten die raken aan een kegel ook op te gaan voor, in ieder geval, piramides met, drie, vijf, zes zeven en acht vlakken. (wat een eerste ontdekking was)

Op die manier hebben we geprobeerd een soort van periodiek systeem van piramides te maken, met daarin hun eigenschappen ten opzichte van offsetbaarheid. (Zie het schema op de pagina hiernaast.)

De tweede ontdekking was dat, zo bleek, piramides met een oneven aantal vlakken (3, 5 en 7) een omschrijvende cirkel van de kegel “automatisch” in hetzelfde vlak hebben liggen als de hoekpunten van hun basis. Met andere woorden bij offsetbare piramides met een oneven aantal vlakken, liggen de hoekpunten van de basis in één vlak. Hetgeen helemaal niet het geval hoeft te zijn bij piramides met een even aantal vlakken.

De derde ontdekking, en misschien wel de belangrijkste uit dit onderzoek, is het fenomeen, dat we “*deuken*” hebben genoemd. Het gaat hier om hoeken in de basis die negatief of zo je wil groter dan 180° zijn. Het gaat hier om “inhammen” in de basis van de piramide. De vraag was of dan ook nog bovenstaande verhaal met de raaklijn met de tangent op het kegelvlak zou gelden. Dat bleek het geval, mits de verlengde raaklijn c.q. vlak (zie rode stippellijnen, bij bijvoorbeeld 5, 1 deuk & 5, 2 deuken).

Mis bleek het te gaan als het diepste punt van de deuk samen bleek te vallen met de top van de kegel (7, S 1 deuk) in rood aangegeven.

En helemaal mis gaat het als het diepste punt van de deuk nog verder naar binnen lag dan de top van de kegel. (7, S 1 deuk onderste) ook in rood aangegeven.

Nu we het gedrag van enkele losse piramides met wel acht vlakken begrepen en ook konden beheersen en voorspellen, wanneer ze wel en niet offsetbaar waren, werd het zaak om te kijken of we iets konden zeggen als er meerdere gekoppelde piramides zijn, die vlakken delen. Bij voorbaat was al duidelijk dat dit het grootste probleem zou worden. Want iedere verschuiving van een top of een vlak, leidt tot een verschuiving van alle daar aan grenzende vlakken en toppen.

Het eerste idee was, om bij alle hoekpunten (piramide toppen) van de oorspronkelijke geometrie meerdere kegels te tekenen, die allemaal op zijn minst aan drie vlakken raken.

ONEVEN					EVEN				
3	ZONDER DEUK				4	ZONDER DEUK			
						1 DEUK			
5	ZONDER DEUK				6	ZONDER DEUK			
	1 DEUK					1 DEUK			
7	2 DEUKEN								
						2 DEUKEN			
	2 DEUKEN				8	ZONDER DEUK			
5	ZONDER DEUK								
						1 DEUK			
	1 DEUK								
7	S1 DEUK				8	2 DEUKEN			
	S1 DEUK					3 DEUKEN			
7	2 DEUKEN								
	3 DEUKEN								

Meerdere kegels

Na de wetmatigheden van offsetbare piramides te hebben vastgesteld, hebben we een gedeelte van de oorspronkelijke geometrie genomen en bij iedere hoekpunt (piramidetop) meerdere kegels getekend. Vanzelfsprekend hoe meer vlakken hoe meer kegels. Het plan was om vervolgens van iedere top de best passende kegel te selecteren en de overige weg te gooien. Vervolgens de bestaande geometrie ook te deleten en vervolgens op basis van de kegels een nieuwe geometrie te tekenen, bestaand uit driehoeken, die wel raken aan het kegelvlak (of het waarvan het verlengde vlak raakt aan de kegel) en dus offsettabel zijn.

Door de selectie van de getekende kegels slim te kiezen en slim te tekenen zou het theoretisch zo kunnen zijn, dat er bijvoorbeeld in een stelsel van 3 piramide toppen, dat ergens vrij in de ruimte zweeft (top A met 6 vlakken, top B ook met 6 vlakken en top C met 4 vlakken) die gezamenlijk 11 vlakken hebben en 4 vlakken delen. Er dan slechts de 7 niet gedeelde vlakken verschoven hoeven te worden om het geheel offsetbaar te krijgen. Omdat de andere 4 gezamenlijke vlakken allemaal raken aan tenminste twee van de bijbehorende kegels. En het ene vlak dat alle drie de kegels raakt. Door de zeven te verschuiven vlakken de buitenste te laten zijn, kunnen de vier verbindingsvlakken blijven zoals ze zijn.

Bijkomende strategie was, om van onder naar boven te werken, dus eerst de vlakken die de grond, het “maaiveld” snijden goed te krijgen, daar er veel meer vrijheid lag in het verschuiven van vlakken en punten in het “dak” dan op de grond. Dit in verband met de benodigde m2, hoofden stoten, etc.

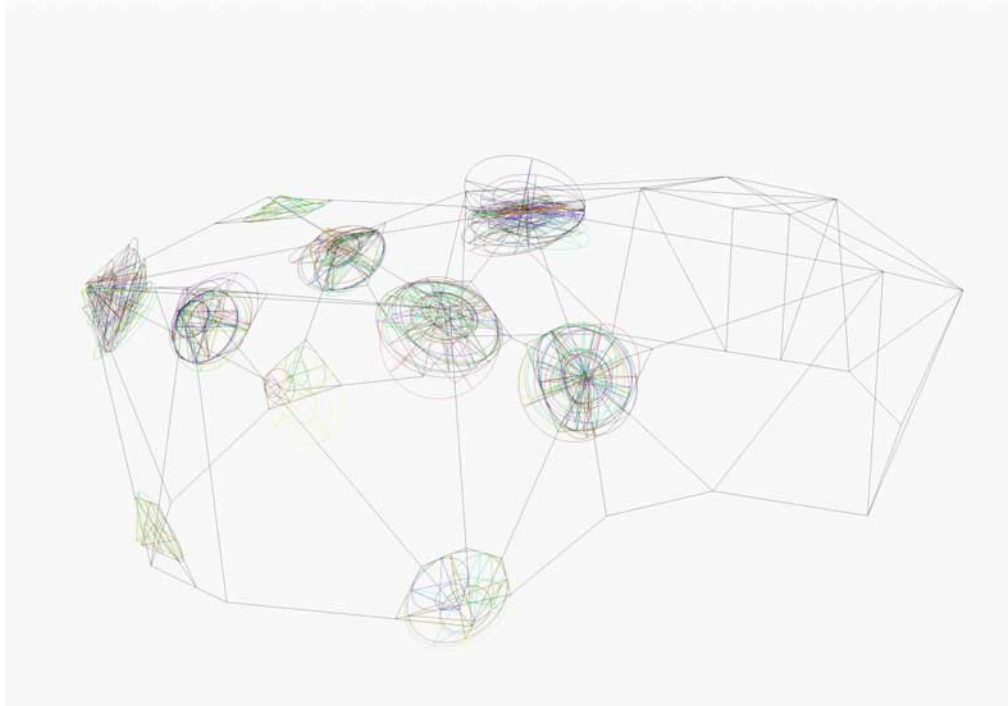
Helaas bleek er een bijkomend probleem op te duiken met de vlakken die het “maaiveld” raken. Het “maaiveld” kan natuurlijk beschouwd worden als ook een “toevallig” vlak van een piramide. Tevens is het mogelijk de piramide te beschouwen als onderdeel van een veel grotere piramide, die zich grotendeels onder het “maaiveld” bevindt en dus wordt afgesneden door het maaiveld.

Beiden keuzen zijn problematisch.

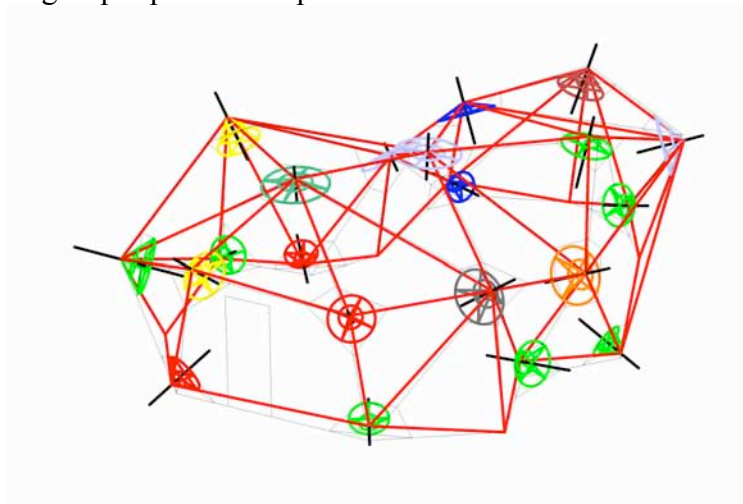
In het eerste geval, “maaiveld” is een piramide vlak is het natuurlijk niet mogelijk om dat vlak te verschuiven om het geheel passend te maken. Daar dan het maaiveld naar onder of boven verplaatst moet worden, terwijl een kenmerk van het maaiveld is dat het overal hetzelfde peil heeft. Daarmee worden de mogelijkheden om die piramide kloppend te krijgen ernstig minder. Ook kan moeilijk tot niet met de top van de kegel gemanipuleerd worden, daar dan de top van de piramide onder of boven het maaiveld komt te liggen. Tenzij natuurlijk de as van de kegel, parallel loopt aan het maaiveld.

Waardoor de speelruimte nog beperkter wordt.

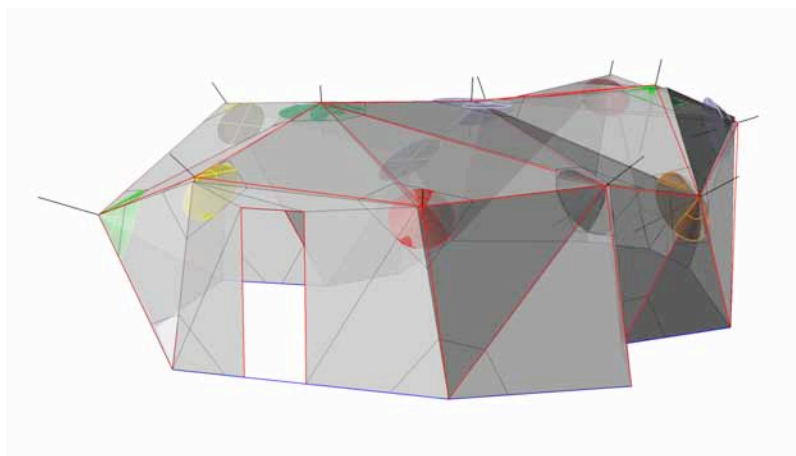
Gelukkig is het wel zo, dat als er twee vlakken in een punt bij elkaar komen op het derde vlak dat het maaiveld is, dat er dan altijd een offsettabel piramide ontstaat. Als je dan tenminste nog van een piramide kan spreken.



Verschillende kegels per piramide top.



Keuze definitieve kegels in Rhino.



Kegels met nieuwe geometrie

Nieuwe geometrieën tekenen

Er zijn 4 variabelen die we nu kunnen gebruiken om zo goed mogelijk passende kegels en daaraan rakende vlakken te tekenen, zodat het geheel offsetbaar wordt.

- 1- de hoogte van de kegel, ofwel het verplaatsen van de top van de kegel over de as die gevormd wordt door de loodlijn op de basis (cirkel) van de kegel.
- 2- juist uitgaan van het oorspronkelijke hoekpunt (piramide top) en enkel de diameter van de cirkel wijzigen.
- 3- Het kantelen van de kegel en dus ook de as, al dan niet over een raaklijn die in een bestaand vlak ligt.
- 4- en natuurlijk het verschuiven van vlakken (driehoeken in dit geval) van de piramide.

Dat laatste wil je zo min mogelijk doen, daar dat onmiddellijk consequenties heeft voor de andere 2 hoekpunten van de bewuste driehoek.

Mede door de onverwachte problemen bij het grondvlak die hiervoor zijn beschreven, bleek het niet mogelijk om handmatig een nieuwe geometrie te tekenen voor ten minste één enkele rij offsetbare driehoeken rondom het hele gebouwtje. Plan was namelijk als dat gelukt was, dat er dan een veel grotere vrijheid zou ontstaan voor de driehoeken die het “dak” vormen. Daar zouden we dan desnoods een geheel nieuwe vorm voor kunnen maken.

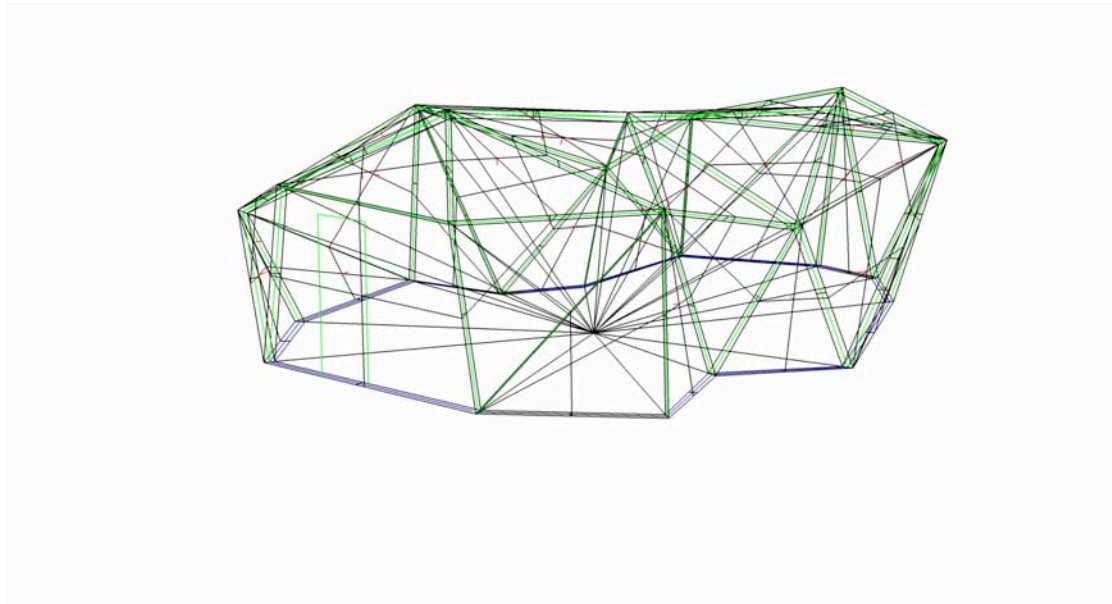
Dit bleek dus niet te doen en niet mogelijk, althans niet “met de hand”

Een andere manier om driehoekige onregelmatige meshes een dikte te kunnen geven en toch een gesloten vorm (zonder vreemde gaten en uitsteeksels) te houden is om de “offset” niet parallel aan het moedervlak te doen, maar alle vlakken over eenzelfde afstand te verplaatsen in de richting van één punt.

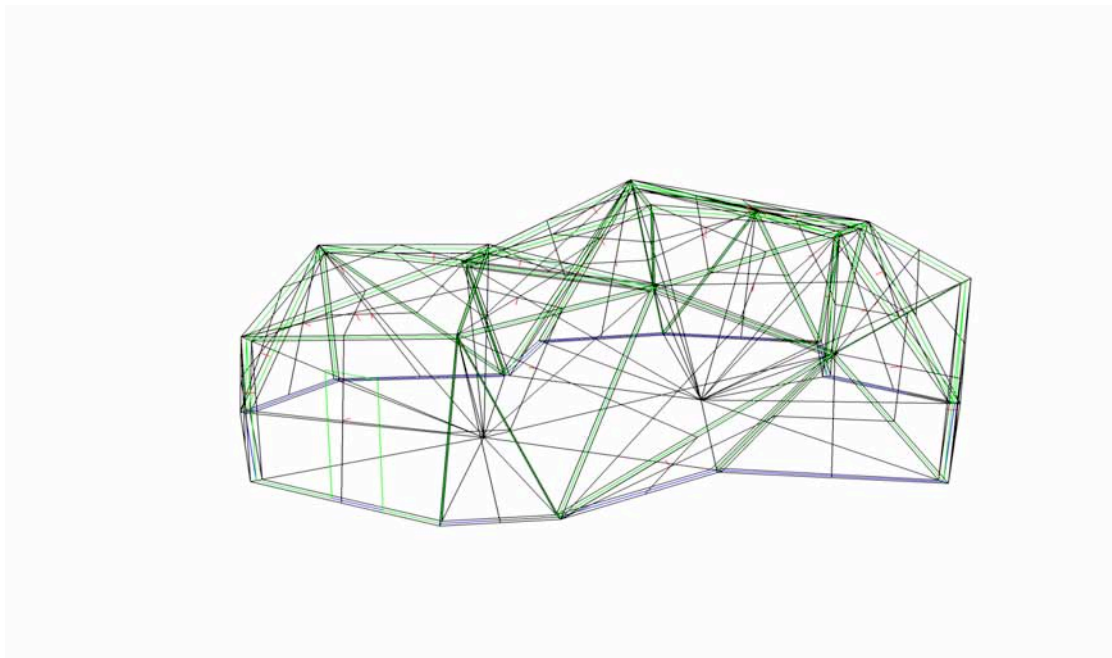
Probleem wat daarbij onmiddellijk opduikt is dat de vlakken niet meer allemaal dezelfde dikte hebben, aangezien de hoek van de richting waarin ze “geoffset” worden verschillend is. Iets waar, om begrijpelijke redenen, onze constructeur van gruwde. Maar reden om hier toch eens naar te kijken was (behalve bovenstaande mislukking) de suggestie dat het wel eens zo zou kunnen zijn dat die verschillen in dikte zo klein zouden zijn dat ze verwaarloosbaar zouden worden. Of dat door bijvoorbeeld twee of drie punten te nemen, waarheen je zou kunnen offsetten, die verschillen in dikte verwaarloosbaar zouden worden. Door de berekende constructieve dikte als minimum maat te nemen (dus minimaal 220 mm dik of dikker) zouden we de constructeur ook weer blij kunnen maken. Tenzij de dikte dan op sommige plekken zo groot zou worden dat het eigen gewicht van de constructie dan in verhouding veel te zwaar wordt.

Op de pagina hiernaast zijn afbeeldingen te zien van zo’n offset exercitie met één en met twee punten.

Helaas, de dikte verschillen werden erg groot en helemaal niet verwaarloosbaar. Ook bleek het niet mogelijk de verschillen in dikte terug te brengen naar 3 of 4 verschillende dikten, zodat je de 36 panelen in bijvoorbeeld groepjes van 8 met ieder hun eigen dikte zou kunnen maken. Kortom ook deze oplossing moet worden verworpen.



Offsetten naar één enkel punt, dikte van de platen vanaf 40 mm tot 197mm.



Offsetten naar twee punten, dikte van de platen vanaf 100 mm tot 197 mm

Ondertussen op diverse andere plekken op de wereld:

Uit voorgaande zou kunnen worden opgemaakt dat het proces van het onderzoek keurig lineair is verlopen. Het tegendeel is waar. Maar om hetgeen we gedaan hebben enigszins begrijpbaar te houden worden hier een aantal dingen na elkaar gepresenteerd die in werkelijkheid simultaan plaatsvonden.

Behalve de hiervoor al genoemde constructeur, Paul Lagendijk van Aronsohn, die ons op een soort afroepbasis steeds heeft geholpen bij de constructieve aspecten van de diverse aanpakken, was vooral Axel Kilian erg belangrijk in dit onderzoek.

Sterker nog zonder zijn *crash course* in complexe geometrieën, offsetbare pyramiden en de mogelijkheden van parametrisch ontwerpen, zouden we niet eens hebben kunnen beginnen met dit onderzoek. Hiervoor beschreven pogingen om tot een oplossing te komen hebben dan ook veel profijt gehad van zijn voortdurende kritiek en raad. Daarnaast waren zijn contacten met onderzoekers, instituten en bedrijven die zich met soortgelijke onderwerpen bezighouden van zeer groot belang.

In het zoeken naar een oplossing heeft Axel het probleem onder andere neergelegd bij Alexander Schiffner van Evolute uit Wenen, het Autodesk Research Team in Toronto, de Maya “people” in de persoon van o.a. Robert Aish en zelfs bij Helmut Pottmann.

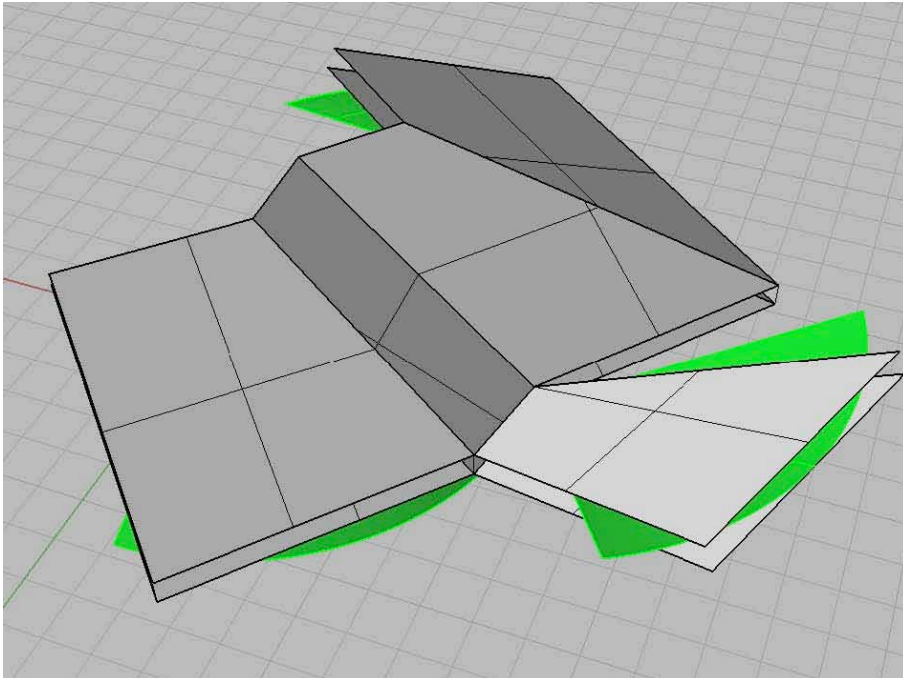
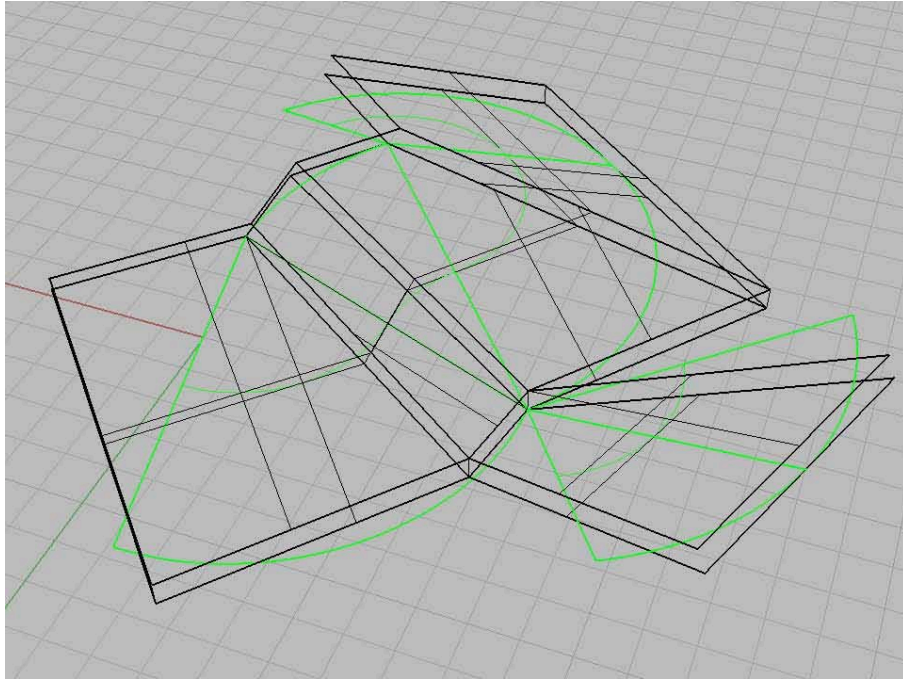
Op een gegeven moment waren meer dan 5 groepen mensen wereldwijd zich op de één of andere manier met dit probleem aan het bezighouden. Helaas kwamen daarmee ook onmiddellijk vragen om de hoek over patenten, commercieel gebruik, geld, intellectueel eigendom, etc. Kortom we bleken een probleem te hebben aangeboord waarbinnen op een net iets andere manier blijkbaar een hele patentenstrijd in woedt. Als je namelijk in staat bent om, vooral, curves snel regelmatig offsetbaar te maken, is dat kennelijk geld waard in o.a. de animatie industrie, maar ook bij constructeurs van Gehry of die van het British museum. Soms kregen we als antwoord op een vraag dat ze wel een oplossing wisten, maar dat die op dit moment gepatenteerd werd en als dat patent klaar was ze meer dan blij waren die met ons te delen. Maar het neemt niet weg dat er zeer genereus door een verbazingwekkend aantal mensen hard aan het probleem is gewerkt. Helaas niet altijd met erg hoopgevende resultaten.

De eerste stappen die Axel Kilian had gezet, zijn een soort varianten op hetgeen wij zelf in Rotterdam aan het doen waren. Een hoopgevende richting leek om in plaats van een cirkel een ellips te nemen die raakt aan de verschillende vlakken van een piramide.

Een schuine doorsnede door een kegel is namelijk een ellips. En het voordeel van een ellips in dit geval is dat die twee brandpunten heeft en op die manier is er dus iets te kiezen en is het misschien mogelijk om de onregelmatigheid te vangen in iets dat stiekem regelmatig is maar er niet zo uit ziet.

Maar allereerst diende bepaald te worden of het mogelijk was om verschillende kegels te koppelen, zodat ze samen er zorg voor zouden dragen dat de onregelmatige mesh offsettabel bleef. Vooral het samengaan van piramide toppen met daaraan gelegen piramide dalen leek problematisch. Maar met behulp van o.a. het systematisch onderzoek naar offsetbaarheid dat we hiervoor wel als periodiek systeem hebben aangeduid, bleek dat zeer wel mogelijk. Althans een stukje afzetbare mesh tekenen op basis van een aantal gekoppelde kegels bleek geen probleem.

Zie afbeelding hiernaast.



Maar ook daarmee is het grootste probleem helaas nog niet opgelost. Namelijk dat als je alle vlakken, piramides en kegels aan elkaar koppelt je een soort van cirkel redenering krijgt. Op het moment dat je één punt verplaatst moeten alle andere punten mee, ook verplaatsen. Maar uiteindelijk heeft dat weer tot gevolg dat er vanuit het model opdracht wordt gegeven tot het verplaatsen van het oorspronkelijk punt vanwaar je de verplaatsing begonnen was. En vervolgens leidt die verplaatsing weer tot een hele serie nieuwe verplaatsingen. Uiteindelijk slaat zo'n model dus virtueel op tilt. Wellicht is het ook te bekijken als een soort Droste effect waarin ieder plaatje voortdurend het andere plaatje opdracht geeft om anders te worden. Hoewel deze beeldspraak misschien beter opgaat voor een parametrisch model.

Na dit geconstateerd te hebben en ook alle “handmatige” pogingen die hiervoor beschreven zijn nog eens bekeken te hebben bleven er twee verschillende manieren van aanpak over om het probleem misschien toch nog te tackelen.

De eerste is een vorm van iteratie. De oplossing is er niet, maar je formuleert een optimaliseringsprobleem en laat de computer net zo lang rekenen totdat de afwijking naar nul tendeert. Anders gezegd, met heel veel bruto rekenwerk maak je de fouten minimaal. Het liefst zo minimaal dat ze binnen de tolerantie waarden, van in dit geval houtskeletbouw, gaan vallen. En op dat moment bestaan ze praktisch gezien niet meer en is het probleem dus opgelost. De manier waarop dat te doen is is vergelijkbaar met bijvoorbeeld het verdichten van beton. Met trilnaald tril je net zo lang totdat alle kiezels, in dit geval hoekpunten, hun ideale plek hebben gevonden.

De eerste variant, iteratie of bruto rekenen, is in 3 verschillende modellen getest, alle drie door iemand anders. Maar helaas ook hier uiteindelijk geen bevredigend resultaat. In grote lijnen werkt zoiets als volgt:

Het is mogelijk om de geoffsette mesh zowel het onder als het boven net, geheel sluitend te maken. Dat is zelfs met de hand goed te doen, maar wel erg veel werk. Alleen zijn dan wel de zijkanten van alle driehoeken getordeerde en/of scheluw. En ook de lijnen van de kopse kanten zijn dan vaak getordeerd.

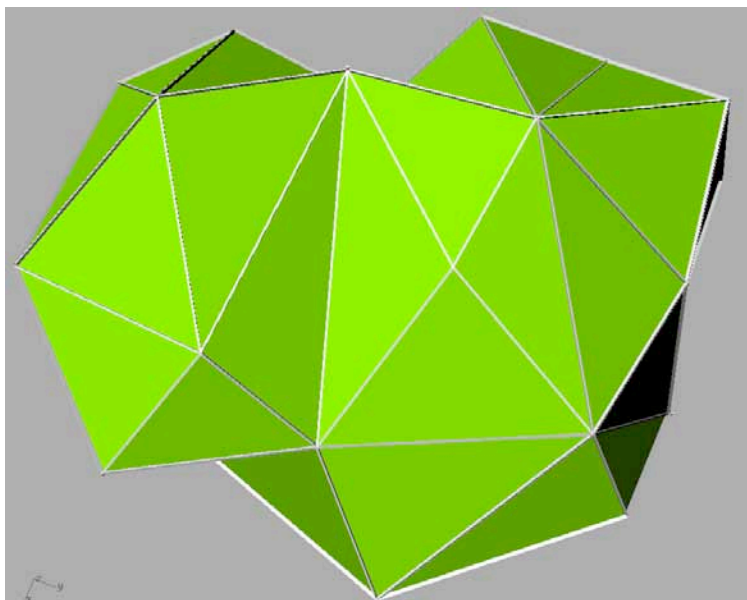
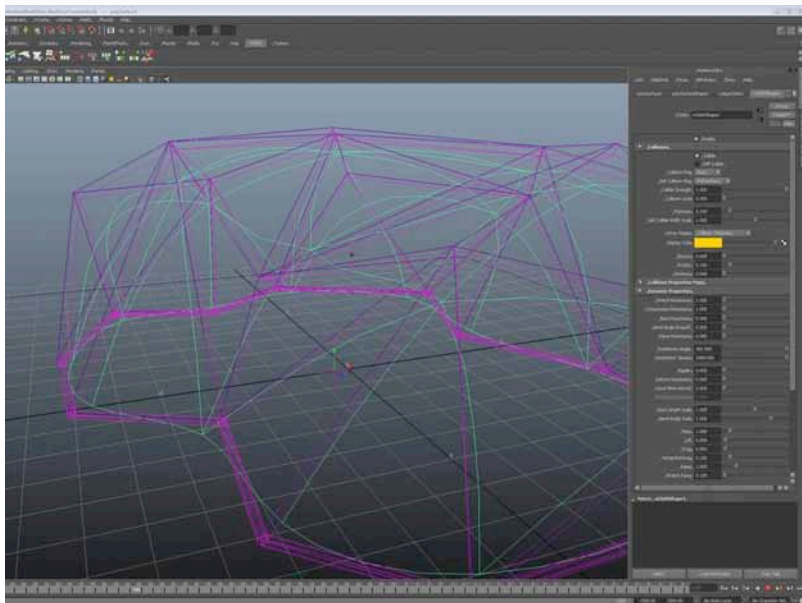
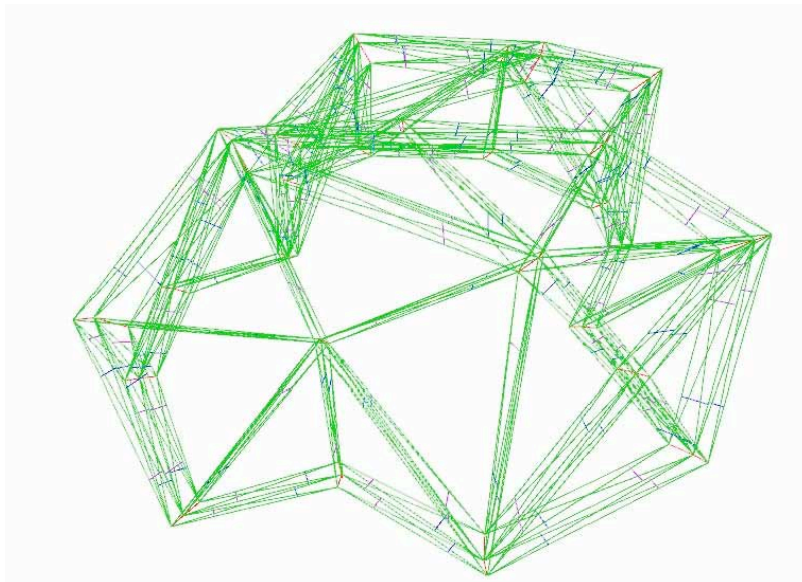
Vervolgens ontwerp je dan een optimaliseringsmodel om de gecurve kopse vlakken zo recht mogelijk te krijgen door middel van het verplaatsen van de hoekpunten.

Hiernaast zijn van boven naar beneden de resultaten daarvan te zien van:

Axel Kilian, die een model maakte met een soort van springveren (de blauwe streepjes, in de kopse langskanten) en die ronde voor ronde al verend zijn ideale plek probeerde te vinden.

De tweede is van het Autodesk research team in Toronto, die een custom double layer skin over het bestaande paviljoen gooit. Als een soort laken, dat rekenend zijn ideale plek vindt.

De derde is van Axel Schiffner van Evolute. Hij herleidt het probleem tot balken met een parallellogram als doorsnede en hangt daar vervolgens een optimalisering routine over heen die de parallellogrammen weer tot rechthoeken moet rekenen.

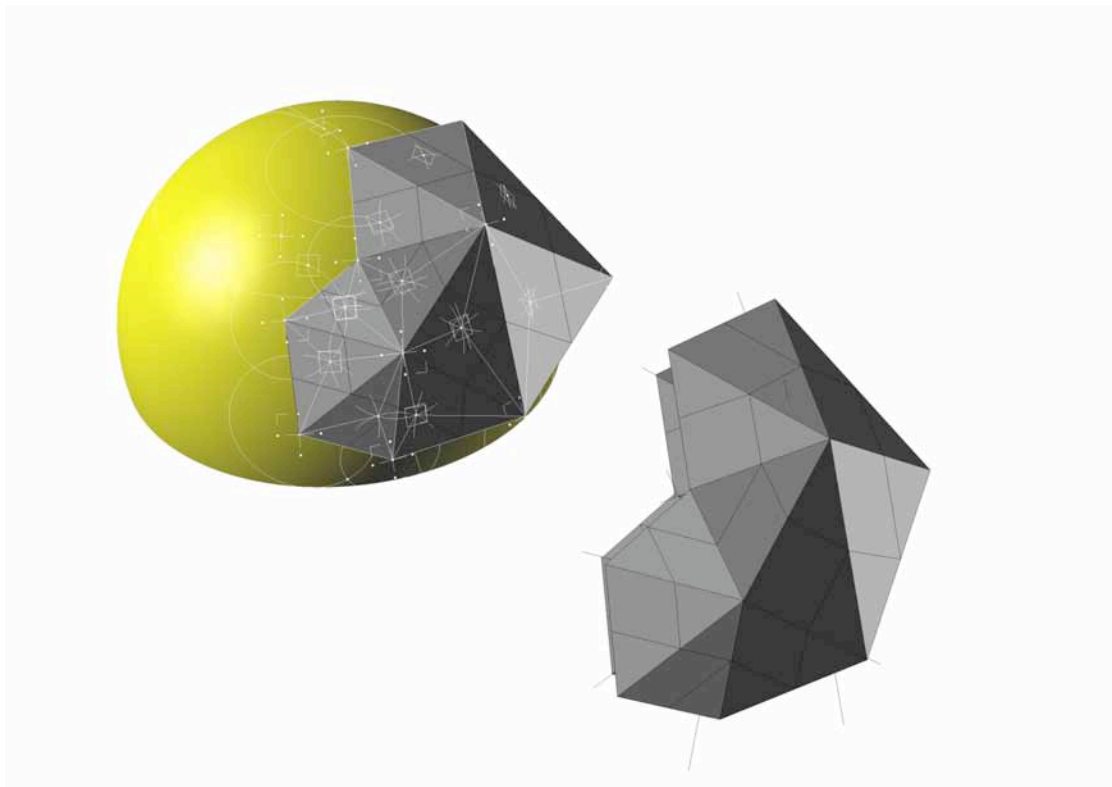
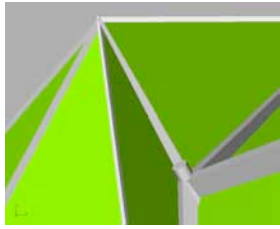


Zoals te zien is in de bovenste drie kleine plaatjes hiernaast, blijft de torsie te groot. De minimale hoek die werd bereikt was zes graden. En dat was dan het meest gunstige geval. Nog afgezien dat in het model van Axel Schiffner er ook nog met verschillende dikten gewerkt werd.

Dus helaas ook dit enorm bruut rekengeweld van een aantal toonaangevende teams die zich dagelijks met deze materie bezig hielden leidde niet tot een bruikbaar resultaat.

De tweede manier is feitelijk een geheel nieuwe mesh ontwerpen, maar dit keer binnen een aantal randvoorwaarden. Binnen een krachtenveld, magneet veld zo je wil. Je formuleert, virtueel, een aantal grenzen waar binnen je een vorm kan ontwerpen. En vanzelfsprekend zijn die grenzen dusdanig dat het eindresultaat offsettabel is.

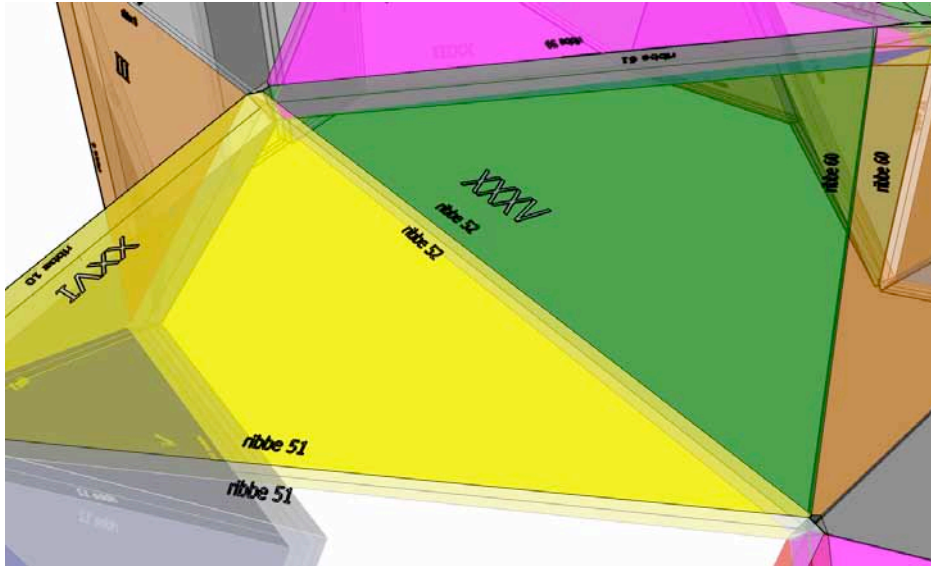
Axel Kilian heeft daarvoor gebruik gemaakt van een bol, waarop een aantal raakvlakken min of meer “gekleefd” liggen. De vormen rechts zijn een offset test, waaruit blijkt dat dit werkt. Helaas dient er dan wel helemaal opnieuw een vorm ontworpen te worden met daarbij, behalve de al meegenomen aspecten als, stedenbouw, regelgeving, programma, grootte van het dek, constructieve limitaties nog een aspect zou moeten worden mee ontworpen, namelijk dat alle vlakken raken aan een bol. Dat zou te doen moeten zijn. Alleen zou dat wel betekenen dat we voor het project in Barendrecht feitelijk geheel opnieuw zouden moeten beginnen. En daarbij zou er een gerede kans zijn, dat er een aspect niet met elkaar verenigbaar zou zijn. Zowel programmatisch, constructief, offsetbaarheid, etc. Bijvoorbeeld zouden de gehele constructieve berekeningen opnieuw gemaakt moeten worden c.q. het gehele constructieve ontwerp opnieuw gezien worden, op basis van de bol projectie. En dan nog afgezien van dat er per bol, feitelijk maar een half paviljoen gemaakt kon worden. Met andere woorden dat er ook nog een andere oplossing bedacht zou moeten worden om de twee helften weer aan elkaar te maken. Een andere vrees was dat het nieuw paviljoen heel moeilijk op het al uitgewerkte dek passend zou zijn te krijgen.



Bericht van de opdrachtgever:

Ondertussen kwam, toch nog erg plotseling, het bericht van de opdrachtgever dat alle bezwaren die nog steeds liepen, ongegrond waren verklaard en dat we dus over een bouwvergunning beschikten. De opdrachtgever (Burgers beheer) verzocht ons ook om het bestek daarom verder af te maken en een aanbesteding op te starten voor het project. Kortom om daadwerkelijk het bestaande gebouw zeer grondig te gaan renoveren en het dek te gaan maken met daarop de twee paviljoens. Vanzelfsprekend werd dit bericht door iedereen met grote vreugde begroet daar we onze theorie nu ook daadwerkelijk in de praktijk konden gaan testen. Maar problematisch was wel dat we feitelijk gezien op dat moment nog steeds niet in staat waren om de paviljoens te tekenen laat staan te bouwen. Althans we konden geen werktekening maken met daarop 36 driehoekige panelen (één vierhoek) waarmee een timmerbedrijf de daadwerkelijke panelen kon maken. Daarbij kwam nog dat er nu opeens haast was geboden, want het bestek moest zo snel mogelijk voor aanbesteding de deur uit. Na lang wikken en wegen besloten we de meest zekere weg te nemen, die in ieder geval zou leiden tot een bouwbaar ding, dat niet zou instorten en waar zo min mogelijk risico's op fouten in zouden zitten.

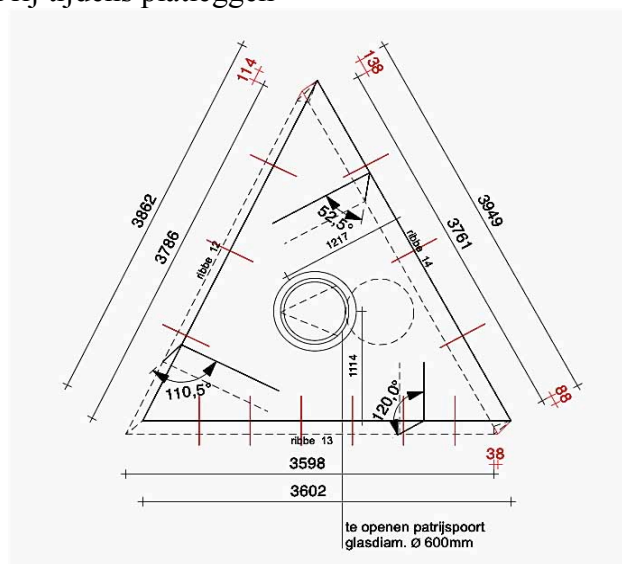
We besloten met de hand alle 2 x 36 panelen in 3d met dikte in het computermodel uit te gaan tekenen en de hoeken handmatig zo goed en kwaad als het kon op te lossen. In het kantoor jargon heette dat: *schoonmaken en opruimen*. Dat resulteerde in een 3D model met nogal wat gaten ter plaatse van de piramide toppen, zoals hiernaast te zien is. Vervolgens werden alle panelen, met de hand, virtueel, plat op de grond gelegd (in Rhino). En vervolgens werd daarvan een "normale" 2D VectorWorks tekening gemaakt, met maatvoering. Van die 2D tekening zou de timmerman dan het "bouwpakket" bestaand uit panelen met balken van 200 mm dik en een boven en onderkant van 18 mm dik multiplex kunnen maken. Dat zou moeten resulteren in een bouwbaar en constructief stevig en stabiel gebouw. Weliswaar met "gaten" op sommige piramide toppen, maar die werden zo minimaal mogelijk gehouden. In werkelijkheid zou het grootste gat een maat hebben van ongeveer 200 x 80 mm. Dat is vervelend en was ook niet de bedoeling, maar aangezien de buitenkant eerst met een kunststof laag bekleed zou worden, zodat het gebouw waterdicht zou zijn en die tevens voor de nodige ventilatie zou voorzien onder het koper, dat de buitenste laag zou vormen, was het overkomelijk om de gaten straks in het werk dicht te stoppen, met bijvoorbeeld een op maat gemaakt stuk hout, of (wellicht waarschijnlijker en zeer pijnlijk na al dat werk), volgeschuimd met PUR. Dat laatste was wel het laatste wat we wilden, maar het leek de enige snelle, betaalbare en vooral ook zekere oplossing. Constructief zaten we hiermee ook goed, daar de virtuele top intact bleef en op de goede plek. Alleen bestond die straks niet in werkelijkheid. Een soort Platonische immateriële piramide top. Wel bestonden in realiteit de ribben, waar ook alle verbindingen in zaten. De laatste (maximaal) 15 cm van de ribbe was er soms niet, maar uit dat laatste stukje werden toch geen krachten ontleend. Omdat we zeer onzeker waren of alles wel zou kloppen en werken, zeker na alle bewerkingen in verschillende programma's, handmatig opmeten van hoeken of gewoon een vergissing, besloten we van beide paviljoens een model 1:10 te maken, om zo te controleren of hetgeen we getekend hadden klopte. Nadat we de driehoeken hadden platgelegd, gemaatvoerd (onder en boven, hoeken en afschuiningen) Hadden we eindelijk een (hopelijk) kloppende bouwtekening.



3D model met gaten op de toppen



driehoeken op een rij tijdens platleggen



eindresultaat van één paneel

Het 1:10 model:

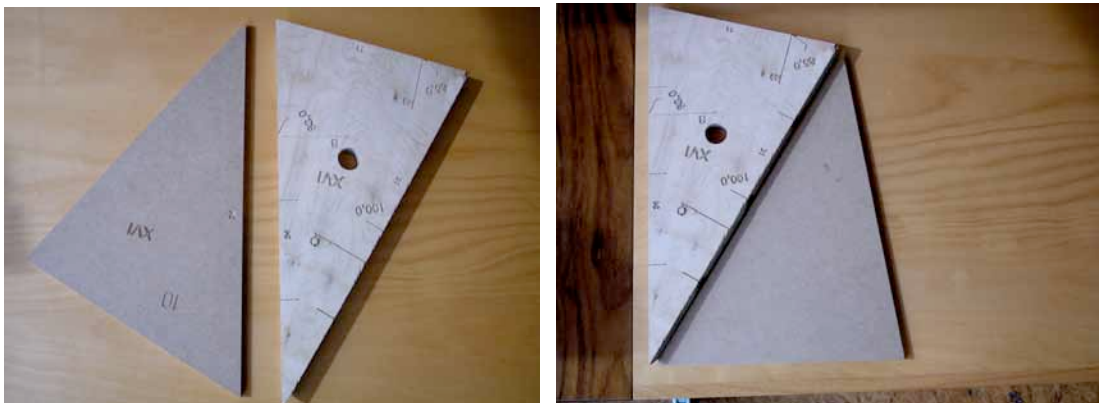
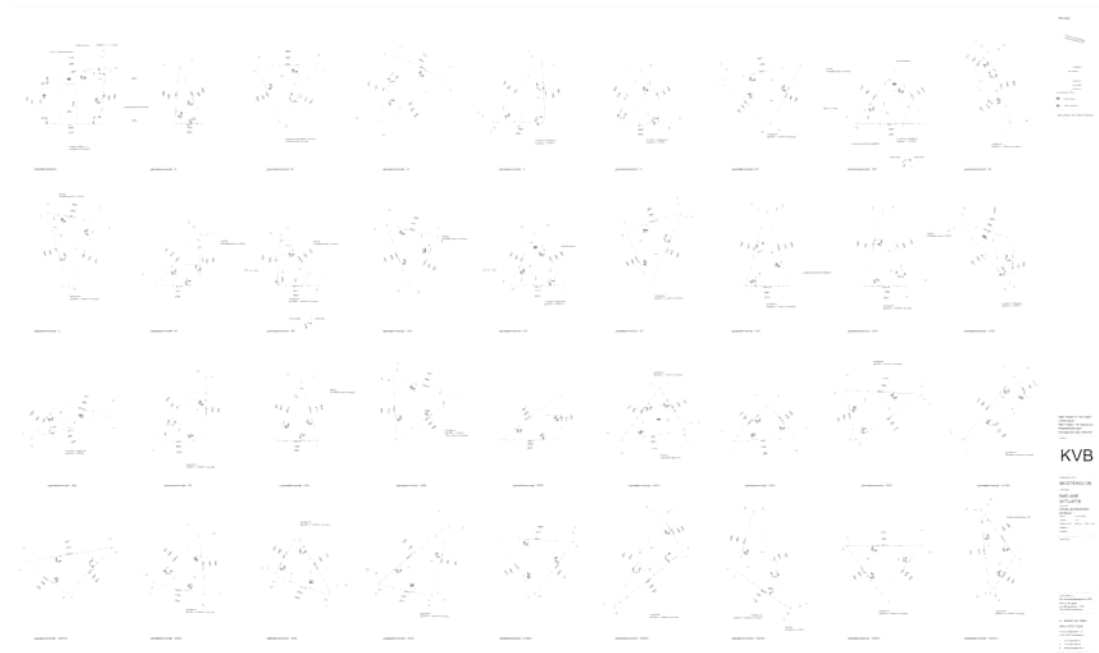
Vervolgens was de vraag hoe van die bouwtekening zo snel en goedkoop mogelijk een 1:10 model te maken, dat wel nauwkeurig genoeg zou zijn om daarin te testen of onze tekeningen klopten. Vanzelfsprekend zou dat prima kunnen door met een drie assige computer gestuurde cirkelzaag alle panelen uit bijvoorbeeld een multiplex plaat te laten zagen. Maar dat bleek al snel veel te kostbaar en daarvoor zou ook eerst nog een soort tussentekening gemaakt moeten worden waar geen tijd voor was.

Uiteindelijk hebben we uit Berken triplex van 18 mm dik met een gewone CNC frees de grootste omtrek van iedere driehoek laten frezen, maar ook het nummer van de driehoek (in Romeinse cijfers), het nummer van iedere ribbe (in Arabische cijfers), de plaatsen van de verbindingen (de streepjes in rood), de maat van de hoek en of de desbetreffende hoek naar binnen of naar buiten liep. Hiermee hadden we 35 driehoeken en een vierhoek met de grootst mogelijke houtmaat en alle relevante informatie op de buitenkant gefreesd. Maar alle kopse kanten hadden nog steeds een hoek van 90° met het onder en boven vlak.

Om overal de juiste hoeken aan te kunnen zagen, hebben we voor iedere driehoek uit mdf twee counter driehoeken gemaakt, zodat je daarmee een aanslag kon maken die haaks stond op een cirkel zaag. Vervolgens is met de hand iedere keer het zaagblad van de cirkel zaag gedraaid in de juiste hoek en met behulp van de counter driehoeken aan iedere zijde de juiste hoek gezaagd. Met de hand zijn daarna de vreemde afschuiningen van de hoeken eraan geschuurd met een schuurband.

Zowaar hadden we toen een stapel driehoeken die als alles goed was gegaan samen tot een paviljoen gevoegd konden worden.





Verbindingen:

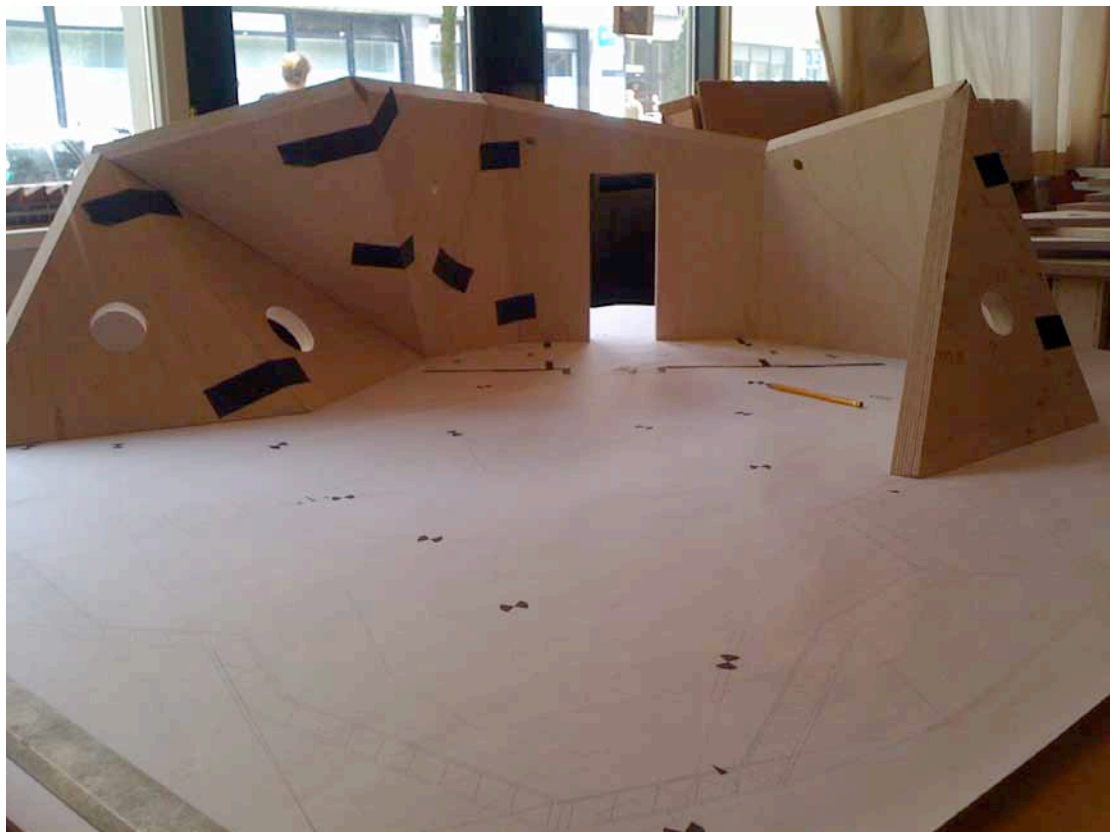
Vervolgens was er nog een ander probleem op te lossen, zowel in het model als in werkelijkheid, namelijk de vraag hoe de verbindingen te maken.

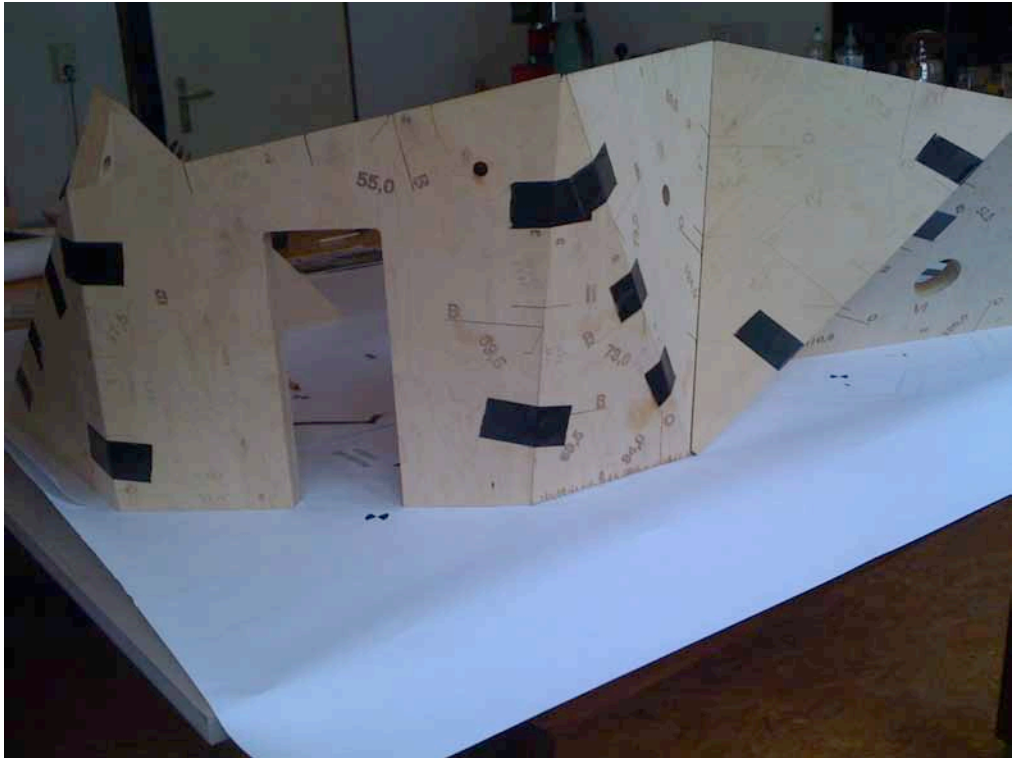
Ook dit probleem hadden we, samen met de constructeur uitgesteld, daar we tot dan toe nog niet eens zeker waren of we de panelen überhaupt konden tekenen. En ook niet wat de beste plek voor de verbindingen waren.

Er waren al diverse ideeën de revue gepasseerd, zoals scharnieren, waarmee je het hele ding als een soort scharnier kap in elkaar zou kunnen zetten. Bruut spijkeren met dunne spijkerplaten over een ribbe heen gevouwen. Lijmen. Maar aangezien we daar nog geen bevredigende oplossing voor hadden gevonden, konden we nu het paviljoen zelf als testcase voor mogelijk verbindingen tussen de panelen gaan gebruiken.

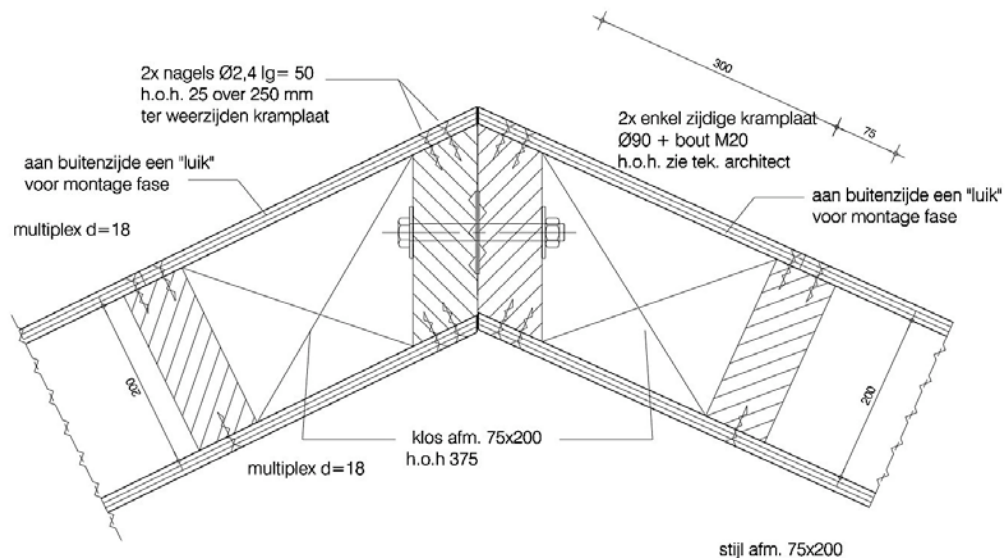
Het eerste experiment diende zich als vanzelf aan, aangezien we zo vreselijk benieuwd waren of alles zou kloppen en passen, begonnen we het ding in elkaar te zetten met simpele strookjes Duct-tape ook wel Gaffer-tape genoemd.

Het bleek een goede manier om snel te kijken of het model klopte. Maar de krachten die de verbindingen moesten kunnen opnemen zijn behalve trek (druk was geen probleem daar de panelen dan simpel tegen elkaar aan duwen) ook vrij gecompliceerde afschuivingen die de tape niet bleek te kunnen opnemen en de scharnieren in werkelijkheid waarschijnlijk ook niet.

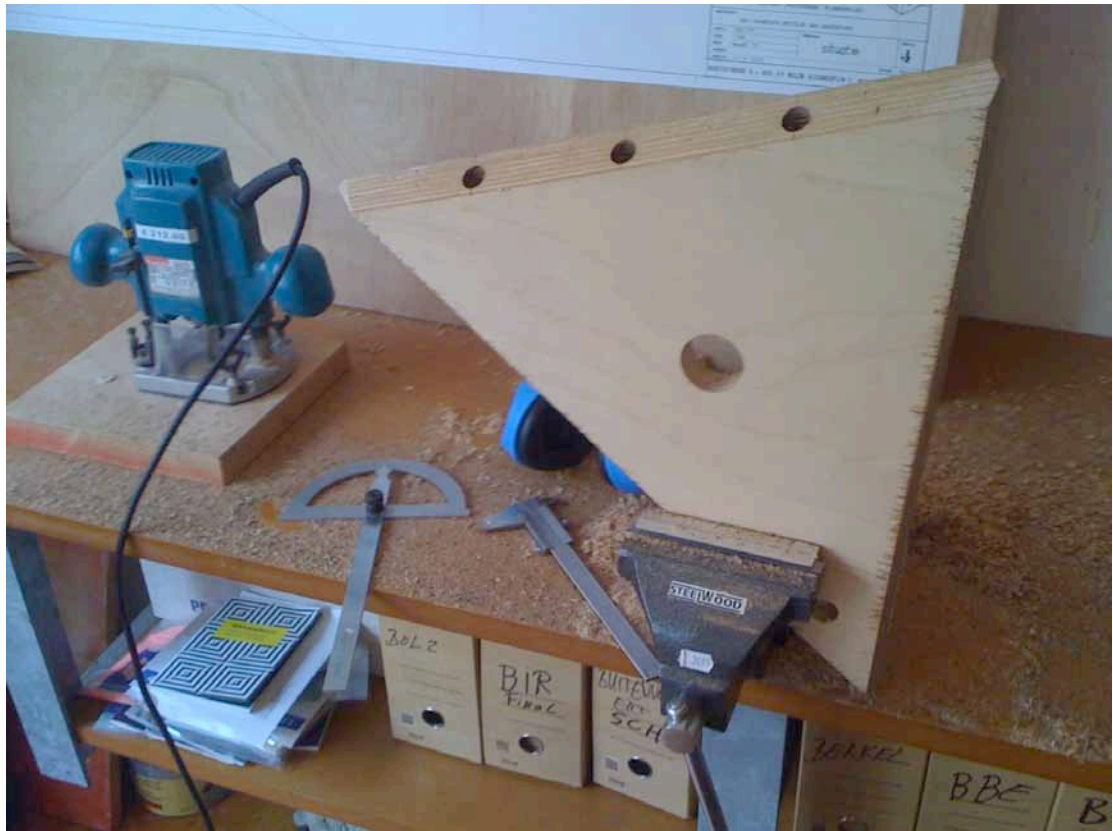


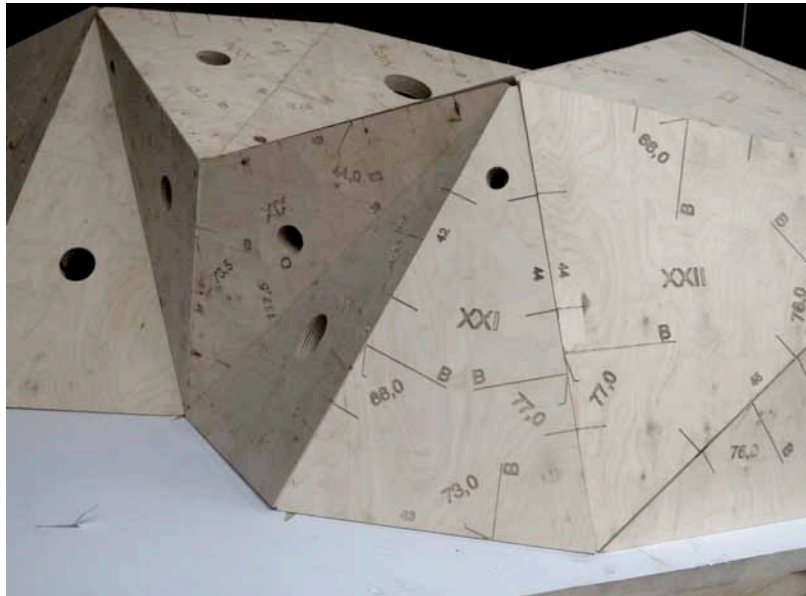
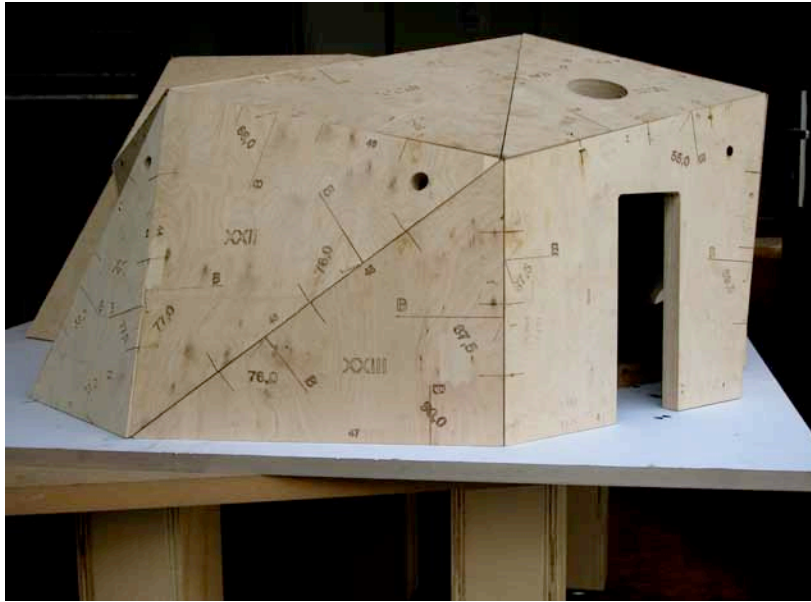


Voor het echte gebouw hadden we inmiddels bedacht dat de verbindingen zouden bestaan uit een draadeind met aan weerszijden een sluitring en een moer en op die manier de panelen strak op elkaar zou kunnen trekken. Voor de afschuivingen was een forse tweezijdige kramplaat noodzakelijk. Probleem daarbij was dat tijdens de montage er soms panelen schuivend langs andere panelen op hun definitieve plek zouden moeten komen. Met uitstekende kramplaten zou dat nooit gaan. De oplossing bestond uit twee enkelzijdige kramplaten. En verder daar waar de krachten groter waren meer verbindingen en daar waar ze kleiner zijn, minder verbindingen, lees draadeinden per ribbe.



Bovenstaande detail is in werkelijkheid redelijk simpel en goed te maken, probleem is hoogstens dat de gaten en kramplaten niet keurig netjes in elkaars verlengde liggen. Maar het model 1:10 model is gemaakt van massief Berken triplex, het is dus niet mogelijk daar "van binnenuit" verbindingen in te maken. Na wat experimenten met o.a. dubbelzijdige tape hebben we besloten om de verbindingen in het model van magneten te maken. Met enig gereken konden we magneten bestellen die op schaal, (wat een probleem op zich is daar de zwaarte kracht een constante is en zich weinig gelegen laat liggen aan schaal) aan trekkracht hetzelfde leveren als een boutverbinding als hierboven getekend zou doen. Helaas hield deze beslissing in dat er een +/- 1.000 gaatjes geboord moesten worden met een doorsnede van 16 mm en een diepte van 8 mm, precies op de plek zoals aangegeven met de rode streepjes waar de verbinding moest komen en exact haaks op de schuine kopse vlakken. Er bleek geen timmerman zich hieraan te willen wagen. Uiteindelijk hebben we zelf met een bovenvrees de gaatjes gemaakt en de magneten erin gelijmd. Toen dat klaar was konden we eindelijk het hele model helemaal in elkaar zetten en constateren dat er één driehoek niet paste. Deze bleek verkeerd gezaagd te zijn. Het model bleek verder prima te werken, alles klopte, en de krachtswerking bleek ook prima op orde. En daarnaast zou dit model tijdens de bouw prima kunnen dienen om de montage volgorde van de panelen te bepalen en een hijsschema te ontwerpen.





Apotheose:

Het bouwen van het 1:10 model vond plaats ten tijde van de aanbesteding. Terwijl wij aan het testen waren of onze tekeningen wel klopten waren elders mensen aan het uitrekenen voor hoeveel geld ze bereid waren het project daadwerkelijk te bouwen. Gelukkig hoefden we niet halverwege het proces tekeningen terug te roepen of te wijzigen, want we hadden ons werk goed gedaan en alles klopte. Toen de prijzen binnenkwamen bleken de bouwkosten van de paviljoens erg mee te vallen. In feite weken ze niet af van “normale” houtskeletbouw prijzen voor gebouwtjes van gelijke omvang. Vanzelfsprekend waren de koperen dakbedekking en de bronzen ramen wel duurder. Maar het grote probleem zat in het dek. In de loop van het proces waren we er al achter gekomen dat de grond in dat stuk van Barendrecht erg slecht was. De fundering van het bestaande gebouw was al tot zijn maximum belast. En ons eerste idee om in het bestaande gebouw zo hier en daar een stiekem kolommetje in een kast of technische ruimte te plaatsen die mee het dek zou dragen moest wijken, daar zo’n kolommetje al snel een enorme poer met meerdere palen eronder moest krijgen zodat het halve bestaande gebouw voor zo’n kolom zou moeten worden afgebroken. Daarom was de staalconstructie van het dek steeds zwaarder en gecompliceerder geworden. Ook al omdat de gemeente nogal grote aanrijdbelastingen verplicht stelde. Dit alles had als gevolg dat het dek het duurste onderdeel van het plan bleek te zijn. Daar kwam nog bij dat de demografische gegevens van Barendrecht een daling van het aantal kinderen lieten zien. Maar de echte doodsteek van het project was dat de regelgeving met betrekking tot buitenschoolse opvang gewijzigd bleek. Waar wij aan het begin van het project per kind een buitenspeelplek moesten hebben van minimaal 4 m² per kind, mocht, zo bleek een paar jaar later, nu die buitenspeelruimte ook buiten het terrein van de BSO gezocht worden. De verplichting om zelf buitenspel vierkante meters voor de BSO kinderen te hebben was vervallen. Je kon tenslotte ook naar het plantsoen, openbare speeltuin etc, lopen en daar gaan spelen, zo vond de wetgever kennelijk. Hiermee was de noodzaak van het dek verdwenen. En daarmee ook de noodzaak van de paviljoens op het dek. En daarmee het hele project.

En zo is een project dat zeer praktisch begon en door een onmogelijkheid tussen theorie en praktijk en allerlei bezwaarschrift procedures theoretisch werd, en daarna weer zeer realistisch, uiteindelijk geëindigd als theorie. Als een nooit gebouwd project. De frustratie van alle betrokkenen over dat laatste is gezien de enorme hoeveelheid werk, geld en energie die hier in is gaan zitten enorm en onbeschrijfelijk.

Maar inmiddels weten we wel hoe het moet.

Wellicht doet zich nog eens de situatie voor dat een onregelmatige veelvlakkige vorm de enige juiste architectonische oplossing is.

Inmiddels hebben wij net een nieuwe opdracht ontvangen om een BSO op het dak van het bestaande gebouw te ontwerpen zonder dek. Het ligt voor de hand dat dit volume aansluiting zoekt bij de orthogonale geometrie van de bestaande school.

Conclusies:

(In willekeurige volgorde)

- Van offsetbare piramides met een oneven aantal vlakken is het grondvlak een vlak.
- Van offsetbare piramides met een even aantal vlakken hoeft dat niet het geval te zijn.
- Piramides met 3 tot 8 vlakken zijn prima offsetbaar te maken met de “kegel methode”, ook als er één, twee of drie “deuken” inzitten, mts de verlengde raaklijn van zo’n deuk raakt aan de grond cirkel van de kegel. De offsetbaarheid verdwijnt op het moment dat het snijpunt van twee “deuklijnen” onder of voorbij de kegel top komt te liggen.
- Het is zeer wel mogelijk om logische zelfdragende structuren te maken uit onregelmatige uit rechte veelvlakken opgebouwde volumes.
- Het verdient de voorkeur om vanaf het eerste ontwerp reken te houden met de offsetbaarheid van onregelmatige drie dimensionale structuren. Het best gaat dat door alle vlakken te laten raken aan één of meerdere bollen. De afmetingen van die bollen dient vooraf op basis van andere criteria, als pve, stedenbouw, constructie, etc. bepaald te worden. (opmerkelijk is in dit verband dat wij voor de eerste ontwerpen een cirkel met het benodigde oppervlak als uitgangspunt hadden genomen, wellicht was er met iets langer nadenken net het oppervlak maar het volume als uitgangspunt genomen, een bol dus)
- Hoewel een driehoek, qua stabiliteit en simpelheid de ideale vorm voor een vlak in een onregelmatige gevormde drie dimensionale structuur lijkt is die dat niet. Waarschijnlijk zijn onregelmatige vierhoeken die in één vlak liggen (bijvoorbeeld waar een cirkel de vierhoekpunten raakt) een veel beter uitgangspunt.
- Het gebruik van z.g. supermagneten met een bepaalde “kleef” kracht als verbinding op schaal in constructieve modellen werkt uitstekend.
- Het is niet goed voor de Nederlandse architectuur en het getuigt van veel richtingloze domheid dat de faculteit Bouwkunde van de TUD Axel Kilian naar Princeton heeft laten vertrekken.

Verder onderzoek en aanbevelingen:

- Het lijkt erop dat ellipsen, ovalen en eivormen veel betere uitgangspunten zijn om “onregelmatige” structuren te structureren. Dat zou verder onderzocht moeten worden. (opmerkelijk hierbij is natuurlijk dat veel barokke gebouwen met behulp van ellipsen en ovalen zijn georganiseerd)
- Sketch-up zou snel met een “tool” moeten komen die de offsetbaarheid van eenvoudige piramideachtige vormen garandeert. Het lijkt erop dat de benodigde algoritmen daarvoor al bestaand, maar dat die nu gepatenteerd worden.

Dankwoord:

Aan dit onderzoek hebben zeer veel mensen meegewerkt.

Ik wil ze daarvoor zeer hartelijk bedanken.

Allereerst natuurlijk Axel Kilian en Paul Lagendijk.

Op het bureau hebben in de eerste fase's van het ontwerpproces van het project in Barendrecht, Gerrie Bekhuis en Sarah van der Made de basis gelegd.

Ook hebben we samen de eerste stappen gezet in de wereld van die "ze" zelf tegenwoordig aanduiden met de vreselijke term: met *non-standard architecture*.

Martijn Stellingwerf heeft ons een onschatbare dienst bewezen door op het bestaan van Pepakura te wijzen. Ralph Doggen heeft de eerste versie van het bestek getekend (en zelfs twee keer, nadat hij, toen het de eerste keer klaar was, alles zorgvuldig van de harde schijven had gewist) Zonder het urenlange werk, geploeter en nauwkeurig administreren van wat we eigenlijk aan het doen waren door Hanna Lökk was dit onderzoek er niet geweest. Lara Schrijver heeft weken lang, iedere avond een bouwplaatje gesneden, gevouwen en geplakt dat wij die dag gemaakt hadden.

Alexander Schiftner van Evolute uit Wenen, het Autodesk Research Team in Toronto, Helmut Pottmann en de Maya "people" in de persoon van o.a. Robert Aish hebben zeer genereus bijgedragen aan dit project. Van Dikhout en met name Maarten ten Holt voor het enthousiast meedenken en vele precieze zagen. IJzerhandel Schaap uit Rotterdam voor het op maat maken van de vrezes. En Henry Burgers heeft misschien wel met verbazing staan kijken wat we met zijn toch vrij simpele vraag (140 m² bso op het dak graag) gingen doen, maar ons al die tijd enthousiast gesteund.

En tot slot, zonder de steun maar ook het enthousiasme van het Stimuleringsfonds voor Architectuur in Rotterdam, dat onder andere bleek uit het voorstel van de commissie om het aangevraagde bedrag te verdubbelen, waren we hier nooit aan begonnen.

Jasper de Haan april 2010

