

De Smart Cube

Een geïntegreerd ontwerp

Bachelor Opdracht verslag
Evelien Ploos van Amstel
S0181935
31-08-2011

Titelpagina

Bestemd voor:

Universiteit Twente

Kenmerk:

UT/IO – 11.3 – 31.08.11

Verantwoordelijke organisatie:

Prof. W.A. Poelman

Universiteit Twente

Opleiding Industrieel Ontwerpen

Postbus 217

7500 AE Enschede

Tel. (053)4 89 91 11

Titel en Ondertitel:

De Smart Cube: een geïntegreerd ontwerp

Auteur:

E. Ploos van Amstel (s0181935)

Begeleider:

Prof. W.A. Poelman

Datum van publicatie:

31 augustus 2011

Oplage:

3

Aantal pagina's:

70

Aantal Bijlagen:

9

Dit verslag is geschreven in het kader van de Bachelor Opdracht van de opleiding Industrieel Ontwerpen aan de Universiteit Twente.

Voorwoord

Dit verslag is geschreven in het kader van de Bachelor Opdracht Industrieel Ontwerpen van de Universiteit Twente. De oorspronkelijke opdracht is ontstaan in het kader van 'Experimenten in het Bos' naar aanleiding van het 50 jarig jubileum van de Universiteit Twente. De opdracht is uitgevoerd in opdracht van prof. Poelman, werkzaam bij de vakgroep Ontwerp, Productie en Management aan de Universiteit Twente.

In eerste instantie was de opdracht onderdeel van de afstudeeropdracht van Bart Kolkman voor de master track Sustainable Energy Technology. Hierbij zou een energiesimulatie evenals een ontwerp van een Smart Cube gemaakt worden. De opdracht werd echter te uitgebreid, waardoor deze is gesplitst. Bart Kolkman ging zich vervolgens volledig richten op het simuleren van de energieuishouding en het ontwerp van de Smart Cube werd tot een Bachelor Opdracht gevormd.

Door de samenwerking met een aantal bedrijven, stond een groot aantal toe te passen materialen reeds vast. De opdracht hield daardoor in; het maken van een geïntegreerd ontwerp van de geleverde materialen. Gedurende het proces, veranderde de opdracht enigszins, de betrokken bedrijven veranderden en de omvang van de opdracht werd aangepast. In eerste instantie zou een volledig tijdelijk kantoor ontworpen worden. Gedurende het project bleek dit toch te ambitieus, waardoor dit werd beperkt tot het ontwerp van enkel de Smart Cube voor 'Experimenten in het Bos'.

Gedurende het project heb ik van meerdere kanten hulp en informatie gekregen, van de betrokken partijen wil ik met name Peter Hoogervorst van Metaflex bedanken, die mij veel informatie heeft verschaft. Verder wil ik Bart Kolkman bedanken voor zijn werk aan de simulaties die hij voor mij heeft uitgevoerd en Marten Toxopeus als tweede begeleider. Tot slot nog vooral Prof. Wim Poelman, die mij ten eerste deze opdracht heeft aangeboden, en mij vervolgens als begeleider veel inspiratie en hulp heeft geboden.

Samenvatting

Wanneer een bedrijf, organisatie of huishouding ruimte tekort heeft of een tijdelijk vervangend onderkomen nodig heeft, door bijvoorbeeld een verbouwing of het onbruikbaar raken van het huidige onderkomen, zal in veel gevallen een tijdelijk gebouw geplaatst worden. Tijdelijke gebouwen zijn snel leverbaar, snel geplaatst en flexibel. Binnen deze markt is een groot aanbod, evenals een grote vraag.

Om binnen deze markt onderscheidend te worden is in eerste instantie het volgende doel gesteld:

‘Het maken van een geïntegreerd ontwerp van een tijdelijk kantoor, waarbij de binnentemperatuur gedurende het gehele jaar een constante waarde van 20°C heeft, zonder de inzet van kunstmatige energiebronnen.’

Gedurende het proces is het doel echter enigszins aangepast, waardoor het een streven is geworden een constante binnentemperatuur te verkrijgen, en dit te bereiken door een minimale toevoer van extra energie, buiten de zelf opgewekte energie.

Allereerst is er een analyse uitgevoerd. Binnen deze analyse is de markt van de tijdelijke bouw verkend en hoe de verschillende partijen met elkaar concurreren. Hieruit bleek echter dat het onderscheid tussen de verschillende aanbieders binnen de tijdelijke bouw zeer beperkt is, zowel op het gebied van de vormgeving, als op materiaalgebruik en als op het gebied van duurzaamheid. Het onderscheid wordt groter wanneer het (semi-)permanente gebouwen betreft. Hier ligt dus ruimte voor verbetering en een mogelijkheid voor de Smart Cube. Binnen de analyse is ook gekeken naar alle functies en voorzieningen die de Smart Cube nodig heeft om het doel te behalen en aan de gestelde eisen te voldoen.

Tijdens de analyse is ook al een begin gemaakt met ontwerpen. Hierdoor is een zeer iteratief proces ontstaan, waarbij analyse, ontwerp en Programma van Eisen door elkaar liepen en elkaar beïnvloedden. Uit dit proces is de keus gemaakt de Smart Cube op te bouwen uit verschillende segmenten van 1,20 m breed en 3 m diep. De segmenten zullen in zijn geheel in de werkplaats gefabriceerd worden, waarna deze op de bouwplaats tot een volledig gebouw gemonteerd worden. De muren en het dak zijn hierbij opgebouwd uit Solar Sandwichpanelen die dienst doen als zonnecollector. Op het dak, dat onder een hoek van 20° staat, worden tevens laminaat PV-cellen geplaatst, die voor de elektriciteitswinning van de Smart Cube zorgen. De opslag van overtollige elektriciteit zal plaats vinden in accu's. De overtollige thermische energie zal op haar beurt opgeslagen worden in een waterbassin, opgebouwd uit Permaviods®, dat zich onder de vloer van de Smart Cube bevindt. Op deze manier kan op momenten van energietekorten deze opgeslagen energie ingezet worden. Buiten deze energievoorzieningen, zal ook Phase Changing Material ingezet worden voor het constant houden van de binnentemperatuur, door alle binnenmuren en het plafond met Bicell te bedekken.

Momenteel resulteert dit in een gebouw dat in de lengte loopt, over slechts een verdieping. De mogelijkheid om verschillende segmenten te ontwerpen, geeft de klant of bouwer echter de mogelijkheid de Smart Cube volledig naar eigen wens in te delen of te ontwerpen.

Naar aanleiding van simulaties, waarbij de opbouw van de Smart Cube en alle (weers-) omstandigheden die erop inwerken zijn nagebootst, kan geconcludeerd worden dat de Smart Cube

ook inderdaad aan het autonome karakter voldoet en wat betreft energie volledig zelfvoorzienend kan zijn en binnen haar markt op het gebied van duurzaamheid een compleet nieuwe weg inslaat. Door het inzetten van andere type materialen en door een andere maatvoering van de segmenten, onderscheid de Smart Cube zich ook op vormgeving en uitstraling van het aanbod op de huidige markt. Er kan dus geconcludeerd worden dat hiermee de doelen van de Smart Cube behaald zijn.

Abstract

In many cases when a company, organization or household is in need of extra space, or temporary replacement housing, for example because of renovations a temporary accommodation will be placed. Temporary buildings are readily available, flexible and are easy to install. Within this market a large supply and demand is present.

To become distinctive within this market, the next target was set:

‘The making of an integrated, temporary office design, which has a constant indoor temperature of 20°C throughout the year, without the use of artificial energy sources.’

Throughout the designing process the target adjusted slightly, which resulted in keeping a constant indoor temperature became more of an aim, instead of a target. This aim was to be achieved, using a minimal amount of extra energy, aside from the self-generated energy.

First an analysis was carried out. This analysis explores the market of temporary buildings and how the various companies compete with each other. This analysis showed very little distinction between different suppliers, both in terms of design, as well as material use and sustainability. The distinction only increases when (semi-)permanent buildings are involved. This gives the Smart Cube room for improvement. The analysis also explores all the necessary functions and facilities for the Smart Cube to reach its goal and meet the requirements.

During the analysis, a start was made with the designing of the Smart Cube. This resulted in a very iterative process, in which analysis, design and requirements all developed at the same time and influenced each other in the process. This process resulted in a Smart Cube, constructed from various segments (1,20 x 3 m). These segments will be completely fabricated in the workshop, after which they will be assembled at the building place. The walls and roof are formed by Solar Sandwich Panels, which serve as solar collectors. The roof is constructed at an angle of 20° and serves as the basis for solar panels. These solar panels supply the Smart Cube with electricity. The storage of excess electric energy will be in batteries. The excess thermal energy will in turn be stored underneath the Smart Cubes floor in a water basin, constructed of PermaVoids®. In this way, at times of energy shortages this stored energy is used. Outside these energy sources, also Phase Changing Material will be used to maintain a constant indoor temperature. This will be done by covering all the inside walls and the ceiling with Bicell.

At the moment this results in an oblong building, covering only one floor. The possibility to design various segments, however, gives the customer and designer the opportunity to construct and design the Smart Cube completely to their own wishes.

Following the simulations in which the Smart Cube and the affecting (weather) conditions are simulated, it can be concluded that the Smart Cube meets the desired autonomy and can be fully self sufficient in its energy supply. This makes that the Smart Cube gives a whole new dimension to the sustainability in the market of temporary buildings. By the use of different types of materials and by using different standard dimensions for the segments, the Smart Cube also distinguishes itself in terms of design and appearance. As a result it can thus be concluded that the Smart Cube meets its target.

Inhoud

Titelpagina	1
Voorwoord	3
Samenvatting.....	5
Abstract	7
Inhoud	9
1 Inleiding	11
2 Opdrachtformulering	13
3 Analyse	14
3.1 Materialen en standaardcomponenten	14
3.2 Energiemanagement	19
3.3 Markt	23
3.4 Concurrentie.....	26
3.5 Configuratie	27
3.6 Duurzaamheid	27
3.7 Conclusie concurrentieanalyse.....	29
3.8 Functionaliteit	29
4 Programma van Eisen.....	35
4.1 Eisen	35
4.2 Toelichting	37
5 Conceptontwikkeling.....	39
VORMGEVING	39
5.1 Ontwerp.....	39
CONSTRUCTIE	44
5.2 Constructie	44
FUNCTIES	47
5.3 Apparatuur: CV-pomp, Arduino-computer, Sensoren	47
6 Detailontwerp.....	49
6.1 Verdere uitwerking/detaillering/onderbouwing.....	49
6.2 Eindontwerp	54
7 Evaluatie	60
7.1 Toetsing PvE	60
7.2 Verbetering/onderscheid tov bestaande units	64
8 Conclusie en aanbevelingen.....	66

8.1	Conclusies	66
8.2	Aanbevelingen	66
	Referenties	67
	Bijlage I - Opdrachtformulering	72
	Bijlage II - Bestektekst Triple Solar Sandwichpaneel	75
	Bijlage III – Deelnemende bedrijven	76
	Bijlage IV – Energieopslag	77
	Bijlage V - Collages	79
	Bijlage VI – Simulaties	81
	Bijlage VII - Schetsen	82
	Bijlage VIII - Vliesgevelsysteem	85
	Bijlage IX - Ventilatie	86

1 Inleiding

Met de groeiende problematiek van het broeikaseffect en het groeiende besef dat natuurlijke producten aan het uitputten zijn, groeit ook het besef van de noodzakelijkheid van duurzaamheid. Deze duurzaamheid wordt op vele manieren uitgelegd en toegepast. Door dit besef is een soort hype ontstaan, waardoor op bijna alles het label duurzaamheid geplakt wordt. De realiteit is echter dat er inderdaad veel bewustere keuzes wat betreft materiaalgebruik en energieverbruik gemaakt moeten gaan worden.

Een van de meest vervuilende en verbruikende sectoren is de bouwwereld. Dit is dus een sector waarin op het gebied van duurzaamheid nog heel veel gewonnen kan worden. De laatste jaren is te zien dat hier steeds meer aandacht aan besteed wordt, zowel uitvoerend als wetgevend. Dit is echter nog niet genoeg en er is nog veel te verbeteren. Het project zoals beschreven in dit verslag probeert hier een slag in te slaan en zo weer te geven wat de mogelijkheden nu al zijn op dit gebied. Dit wordt gedaan door een tijdelijk gebouw - in dit verslag een Smart Cube genoemd - te ontwerpen, dat wat betreft de energiehuishouding volledig zelfvoorzienend en zelfregelend is. Met als extra eis, dat de binnentemperatuur gedurende het gehele jaar 20°C bedraagt en zoals gesteld dus zonder de toevoer van kunstmatige energie. In eerste instantie zal het hierbij gaan om een tijdelijk kantoor, maar uiteindelijk is het ook mogelijk de Smart Cube in andere toepassingen binnen de tijdelijke bouw in te zetten. Hierbij kan gedacht worden aan het onderwijs, kinderopvang, noodwoningen en zo verder.

Door de Smart Cube in de sector van de tijdelijke bouw te plaatsen, wordt een specifieke markt aangeboord. Deze markt is van zichzelf erg flexibel en snel en het hergebruiken van de gebouwen speelt een zeer grote rol. De gebouwen worden zo veel mogelijk in de werkplaats gemonteerd, en zijn ook na gebruik opnieuw, eventueel op een andere locatie, inzetbaar. Ondanks deze efficiënte en duurzame manier van fabricage en gebruik, is er binnen deze markt, vooral ook door het tijdelijke karakter van de gebouwen, nog erg veel te winnen.

Bij het project zijn verschillende partijen betrokken. De betrokkenheid van deze partijen betreft zich tot de levering van materialen en producten. Hierdoor staat een groot deel van de materialen van de Smart Cube bij aanvang van het project reeds vast. Dit heeft ertoe geleid, dat er een geïntegreerd ontwerp gemaakt is, waar deze materialen en producten in verwerkt zijn. Aan de ene kant zorgde dit voor een richtlijn binnen het ontwerptraject, maar aan de andere kant zorgde dit er ook voor dat er maar een beperkte flexibiliteit was. Dit heeft uiteindelijk geleid tot een zeer iteratief proces, waarbij vele onderdelen van het ontwerpproces naast elkaar liepen, elkaar beïnvloedden en gedurende het traject veranderden, werden toegevoegd of werden verworpen.

Binnen dit verslag is de grote lijn van het ontwerptraject aangehouden. Om uiteindelijk tot een geïntegreerd ontwerp te komen, is om te beginnen een analyse uitgevoerd, waarin is gekeken naar wat het huidige aanbod op de markt van de tijdelijke gebouwen is en dan specifiek kantoren. Ook is er gekeken naar gebouwen die qua ontwerp of toepassing weg hebben van een tijdelijk gebouw, of op een andere wijze als voorbeeld voor de Smart Cube dienen. Waarna vervolgens in kaart is

gebracht welke partijen aan het project deelnemen en wat daarbij hun bijdrage zal zijn, maar ook welke voorzieningen allemaal in de Smart Cube verwerkt moeten worden. De uitkomsten van analyse hebben uiteindelijk tot een Programma van Eisen geleid, aan de hand waarvan ontwerpen zijn gemaakt. Uit dit ontwerptraject is een concept voortgekomen, dat verder is doorontwikkeld en in Solidworks tot een model is uitgewerkt. Van dit model zijn vervolgens verschillende configuraties gemaakt en is tot slot gekeken of het ontwerp aan de gestelde eisen voldoet en of het gestelde doel is behaald.

2 Opdrachtformulering

De originele opdrachtformulering stelde dat het doel van de opdracht was; het maken van een geïntegreerd ontwerp van een tijdelijk kantoor, waarvan de binnentemperatuur gedurende het gehele jaar een constante waarde van 20°C heeft, zonder de toevoer van kunstmatige energie. Gedurende het project is deze formulering echter enigszins aangepast. De uiteindelijke formulering betreft nog steeds een geïntegreerd ontwerp, echter is de formulering wat betreft de binnentemperatuur enigszins bijgesteld. Het doel van het project omvat nu:

‘Het behouden van een zo constant mogelijke temperatuur gedurende het gehele jaar, waarbij de energievoorziening van de Smart Cube zo veel mogelijk autonoom is.’

De gehele, originele opdrachtformulering is na te kijken in Bijlage I.

3 Analyse

3.1 Materialen en standaardcomponenten

Door de samenwerking met verschillende partijen, maar ook door de opdrachtformulering, staan bij aanvang van het project reeds enkele te gebruiken materialen en producten vast. In deze paragraaf worden de verschillende betrokken partijen en hun desbetreffende materialen en producten besproken. Op deze manier worden de eigenschappen, werking en beperkingen duidelijk. Tevens wordt ook hun toepassing binnen het project verduidelijkt.

Triple Solar Sandwichpanelen: Metaflex

Metaflex is een bedrijf dat gespecialiseerd is in geconditioneerde ruimtes. Ze specialiseren zich daarbij in ruimtes waarbij controle van luchtdruk en temperatuur van belang zijn. (Metaflex, 2011)

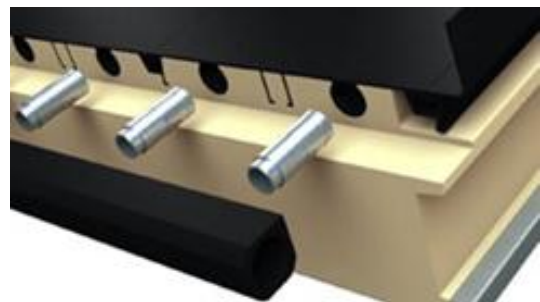
In samenwerking met Triple Solar BV heeft Metaflex de Solar Sandwichpaneel ontwikkeld. (Metaflex (1), 2011) Het betreft een product dat is opgebouwd uit drie lagen (Afbeelding 3.1-a en Afbeelding 3.1-b);

- een aluminium buitenplaat met geïntegreerde buizen
- een geschuimde laag polyurethaan (PU-schuim)
- een stalen binnenplaat

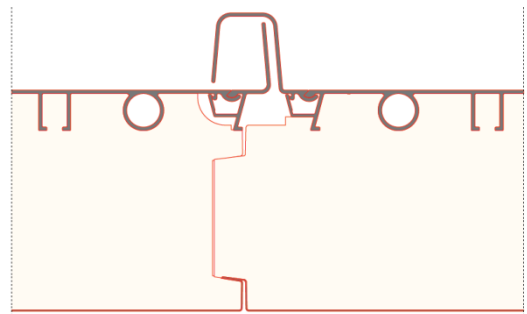
Elk Paneel heeft een breedte van 1200 mm en een dikte van 120 mm. Door de toevoeging van PU-schuim bezitten de panelen een R_c -waarde van $\approx 5,48$. Door de combinatie van het duurzame aluminium en een goede isolatie, worden deze Panelen ingezet als dakbedekking, zoals te zien op Afbeelding 3.1-e. De geïntegreerde aluminium buizen zorgen er daarbij voor dat de Sandwichpanelen tevens dienst doen als zonnecollector en warmtewisselaar. Bovendien kunnen op de Sandwichpanelen soepele fotovoltaïsche cellen (PV-cellen) gelamineerd worden, waardoor een combinatie van een zonnecollector en een zonnedak ontstaat. (Triple Solar, 2011)

Werking

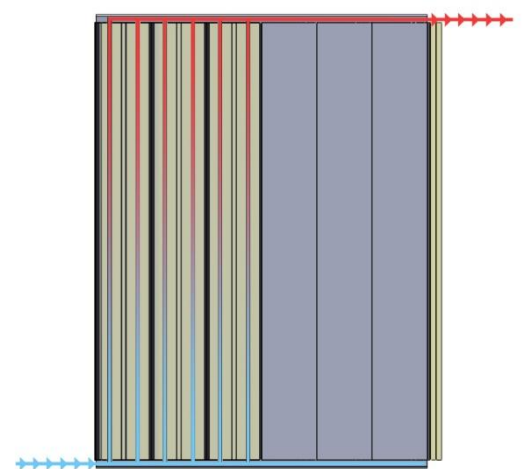
De Sandwichpanelen verkrijgen hun functie als zonnecollector door de aluminium buitenplaten, die onder invloed van de omgevingstemperatuur en de instraling van de zon opgewarmd worden. Door de onderling verbonden, in de platen geïntegreerde buizen wordt door een CV-pomp een water/glycol mengsel rondgepompt, dat de warmte van de aluminium platen opneemt. Deze warmte wordt



Afbeelding 3.1-a Sandwichpaneel (Triple Solar, 2011)



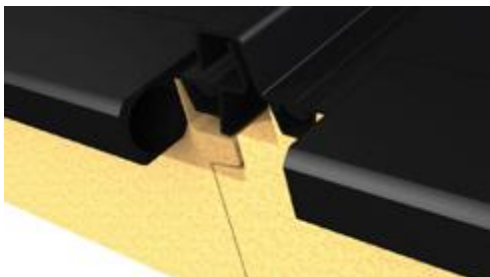
Afbeelding 3.1-b Dwarsdoorsnede verbinding Sandwichpaneel (Triple Solar, 2011)



Afbeelding 3.1-c Warmtestroming Sandwichpanelen

vervolgens afgevoerd, waarna deze kan worden opgeslagen of gebruikt kan worden voor bijvoorbeeld de verwarming. In Afbeelding 3.1-c Warmtestroming Sandwichpanelen is hiervan een schematische weergave gegeven. De opbrengst per m² Sandwichpanelen bedraagt ongeveer 1,0 GJ per jaar. (Triple Solar (2), 2011)

De Sandwichpanelen worden onderling aan elkaar verbonden door de zijkanten in elkaar te schuiven. Vervolgens worden de kopstukken aan elkaar verbonden, zodat het water/glycol mengsel van het ene naar het andere Paneel kan stromen en wordt er aan de buitenzijde van de Panelen een dilatatieprofiel geplaatst. Dit profiel vangt eventuele optredende rek en krimp op en zorgt er tevens voor, dat de overgang aan de buitenzijde van de panelen wordt beschermd tegen vocht. (Afbeelding 3.1-d)



Afbeelding 3.1-d Verbinding Sandwichpanelen
(Triple Solar, 2011)



Afbeelding 3.1-e Dak van Sandwichpanelen
(Triple Solar, 2011)

De volledige bestektekst van het Triple Solar Sandwichpaneel is na te kijken in Bijlage II - Bestektekst Triple Solar Sandwichpaneel.

Toepassing

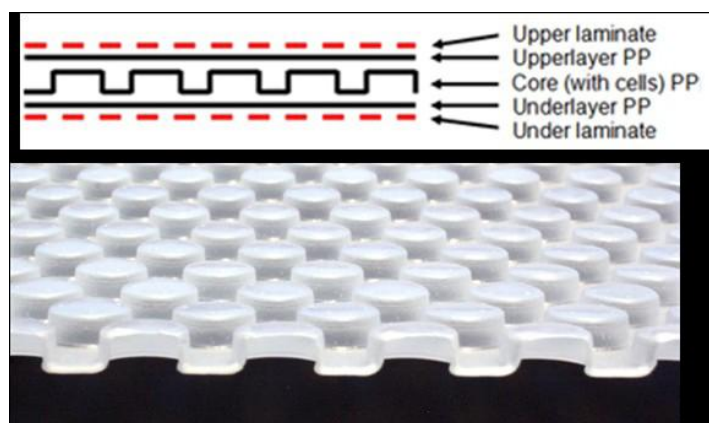
Om de warmtewinning van de Solar Sandwichpanelen zo groot mogelijk te laten zijn, zullen de Panelen binnen het Smart Cube project niet alleen voor het dak ingezet worden, maar zullen ze tevens dienst doen als de buitenmuren.

Het gebruik van de Solar Sandwichpanelen heeft als voordeel, dat het zorgt voor een hoge isolatie van de Smart Cube en door de (mogelijke) integratie van zonnecollector en zonnepaneel. Echter zorgt de toepassing van de Sandwichpanelen ervoor dat de vrijheid in het ontwerpen van de Smart Cube zeer beperkt is.

Bicell: Salca

Salca is een bedrijf dat sinds 2008 een licentie heeft van Capzo International voor het produceren en verwerken van Thermusol; micro-geïnkepselde Phase Changing Material. (Salca, 2010)

Bicell is een product dat is ontstaan uit de samenwerking tussen de bedrijven Salca en IPB. Het product bestaat uit drie lagen geëxtrudeerd polystyreen, met daarin Thermusol® gesloten. (Afbeelding 3.1-f) Thermusol® is een lucht- en waterdicht ingekapselde Phase Change Material (PCM). PCM heeft als eigenschap dat het een grote hoeveelheid thermische energie



Afbeelding 3.1-f Bicell (IPB, 2010)

op kan slaan (450 kJ/m^2) of afgeven. Dit gebeurt als de omgevingstemperatuur van het materiaal respectievelijk boven of onder het smeltpunt van de PCM uitkomt. In het geval van Thermusol® betreft het de overgang tussen de fases vloeibaar en vast. (Capzo, 2011) (Vree, 2011)

Aangezien in dit project gestreefd wordt naar een constante binnentemperatuur van 20°C , zal de Thermusol® een smelttemperatuur rond de 20°C bezitten. Boven deze temperatuur zal de warmte door het materiaal opgenomen worden, onder deze temperatuur wordt deze warmte weer afgegeven. (Capzo (2), 2011) Op deze manier zal de Thermusol® bijdragen aan het constant houden van het interne klimaat van de Smart Cube.

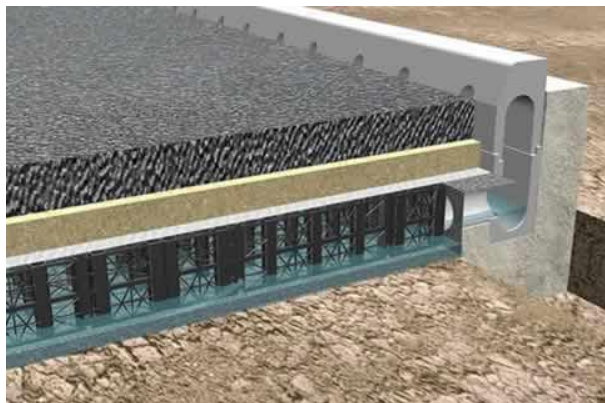
Toepassing

Zoals gezegd zal de Bicell bijdragen aan het constant houden van het binnenklimaat van de Smart Cube. Het zal hier voornamelijk de fluctuaties in temperatuur gedurende een dag betreffen. Om dit te kunnen realiseren zal de Bicell op alle zijwanden geplakt worden, evenals op het plafond. Op deze manier wordt een maximaal oppervlak aan Bicell gerealiseerd, en daarmee de invloed van de Bicell op het binnenklimaat.

Permavoid® systeem: AKG

AKG is een bedrijf dat gespecialiseerd is in hoogwaardig kunststof producten. AKG bestaat uit vier verschillende afdelingen; AKG Polymers, AKG Hortiproducts, AKG Mouldings en Drain Products Europe. Binnen het project wordt samengewerkt met de tak Drain Products Europe BV. Deze tak van het bedrijf is actief op het gebied van innovatieve producten voor waterbeheer. (AKG, 2011)

Drain Products Europe BV heeft onder andere het Permavoid® infiltratiesysteem ontwikkeld. Het betreft een infiltratiesysteem opgebouwd uit een soort kratten van polypropyleen van $708 \times 354 \times 150 \text{ mm}$. Door de hoge druksterkte van deze kratten, van maximaal 715 kN/m^2 , kan het Permavoid® systeem zelfs als fundering ingezet worden (Afbeelding 3.1-g), dit is echter alleen geldig bij een maximale stapeling van twee kratten. Worden meer kratten op elkaar



Afbeelding 3.1-g Permavoid (Drain Products, 2011)

geplaatst, dan zal de draagkracht achteruit gaan. (Drain Products, 2011)

Toepassing

De Permavoids® zullen binnen dit project ingezet worden als basis voor een bassin. Dit bassin zal dienst doen als warmtebuffer van de Smart Cube. In eerste instantie zouden de Permavoids® in combinatie met deze bassinfunctie, ook dienst doen als fundering van de Smart Cube. Later in het verslag zal echter blijken dat van deze functie af is gestapt. Dit ten eerste doordat er voor een bassin met een voldoende groot volume zeven Permavoids® gestapeld moeten worden en daarmee de draagkracht van het systeem achteruit gaat, maar ook het feit dat het bassin boven de grond geplaatst wordt, draagt bij aan het verliezen van de funderingsfunctie.

Kozijnen en ramen: Schipper Kozijnen

Schipper Kozijnen is gespecialiseerd in aluminium en kunststof kozijnen en producten die daaraan gerelateerd zijn, te denken aan deuren, dakkapellen en vliesgevels. Schipper Kozijnen werkt hierbij met profielsystemen van ALCOA, Reynaers en K-Vision. (Schipper Kozijnen, 2011)

De kozijnen, ramen en deuren van een gebouw zorgen voor koudebruggen en warmtelekken. De isolatie van een ruimte zal hierdoor negatief beïnvloed worden. Binnen dit project is het behoud van warmte een zeer belangrijk punt om de gestelde doelen te kunnen behalen. Het warmteverlies via de kozijnen en ramen zal dus zo veel mogelijk beperkt moeten worden. Om ervoor te zorgen dat het warmteverlies minimaal is, moeten in het ontwerp goed isolerende ramen, kozijnen en deuren gebruikt worden.

Tegenwoordig worden er ramen en kozijnen ontwikkeld met steeds betere isolatiewaardes. Bij de keuze voor beglazing moet de overweging gemaakt worden tussen dubbele beglazing of drievoudige beglazing. Hierbij moet de afweging gemaakt worden tussen de belangen van de extra isolatie die drievoudige beglazing biedt, of de hogere transmissiewaarden van dubbele beglazing. Beide factoren, die binnen dit project een grote rol spelen bij het realiseren van een constante binnentemperatuur. Binnen de analyse zal hier dieper op ingegaan worden.

Aerogel: Bluedec

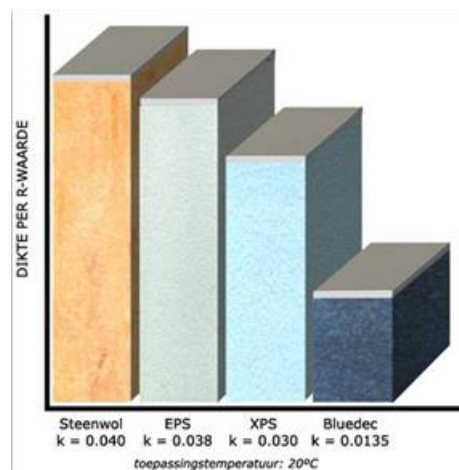
Bluedec B.V. is gespecialiseerd in het gelijknamige product bluedec®, een isolatiemateriaal, een soort deken, op basis van aerogel. (Bluedec, 2011)

Aerogels zijn de lichtste vaste stoffen die tot nu toe zijn vervaardigd. Daarnaast is het ook nog eens het best isolerende materiaal wat tot nu toe op de markt te vinden is. (Afbeelding 3.1-h) Een aerogel is een poreus materiaal, gemaakt door onder superkritische omstandigheden alle vloeistof en gas die zich in een normale gel bevinden, uit het materiaal te verwijderen. Hierdoor blijft alleen de vaste structuur van de gel over, gevuld met lucht of vacuüm (> 90%). Hierdoor ontstaat een zeer poreus, licht materiaal. Het materiaal is over het algemeen zeer bros en breekt dus zeer gemakkelijk, daarentegen is het ook heel sterk en kan het duizenden malen zijn eigen gewicht dragen, afhankelijk van het materiaaltype en de specifieke eigenschappen. (Steiner & Walker, 2011)

Het materiaal dat bij dit project betrokken is, is een silicium aerogel. Dit type aerogel bezit een gemiddelde dichtheid van $0,001 \text{ g/cm}^3$ en een temperatuurstolerantie van -273°C — 650°C . Dit laatste is een zeer gunstige eigenschap in het geval van brand, het materiaal zelf brandt niet en heeft zijn smeltpunt bij een temperatuur $> 1200^\circ\text{C}$. Verder ligt de warmtegeleidingscoëfficiënt bij 20°C op $0,011 \text{ W/mK}$. Deze



Afbeelding 3.1-h Isolatie door aerogel (Steiner & Walker, 2011)



Afbeelding 3.1-i Verschillende typen isolatie (Bluedec, 2011)

eigenschappen maken het een zeer goed isolerend materiaal, waardoor zo'n 4 tot 5 keer minder materiaal benodigd is, dan wanneer traditioneel isolatiemateriaal gebruikt wordt. Dit wordt goed geïllustreerd in Afbeelding 3.1-i. Hierin wordt aangegeven welke dikte aan isolatiemateriaal benodigd is, om eenzelfde isolatiewaarde te verkrijgen. Buiten thermische isolator, is aerogel ook nog eens een zeer goede geluidsisolator. (Bluedec (2), 2011)

Toepassing

Binnen deze opdracht is de aerogel nog niet specifiek ingezet. Bij een verdere ontwikkeling is het echter wel een zeer interessant product, wat tot grote waarde kan zijn voor de isolatie van de Smart Cube. Er zijn hierbij vele mogelijke toepassingen te bedenken. Een zeer belangrijke is het beperken van koudelekken, door aerogel in te zetten als extra isolatie bij aansluitingen van kozijnen van ramen en deuren. Eventueel zou de aerogel ook tussen de glazen van de ramen gespoten kunnen worden. Maar het kan niet alleen koudebruggen van kozijnen verminderen, ook andere koudebruggen bij naden en kieren kunnen met aerogel een verbeterde isolatie krijgen. Ten slotte zou aerogel toegepast kunnen worden als vervanging van of als toevoeging op het PU-schuim van de Sandwichpanelen en om het bassin extra te isoleren.

3.2 Energiemanagement

Het doel van de opdracht is een Smart Cube te ontwerpen, die wat energie betreft in eerste instantie volledig autonoom is. Dit heeft als consequentie dat de Smart Cube haar eigen energie moet opwekken, opslaan en met de verkregen energie zo efficiënt mogelijk om moet springen. Dit houdt in dat de energie tijdens en na gebruik zo veel mogelijk moet worden behouden en hergebruikt.

De Smart Cube zal draaien op twee typen energie, namelijk thermische en elektrische energie. Beide typen zullen gewonnen worden uit de grootste natuurlijk energiebron; de zon.

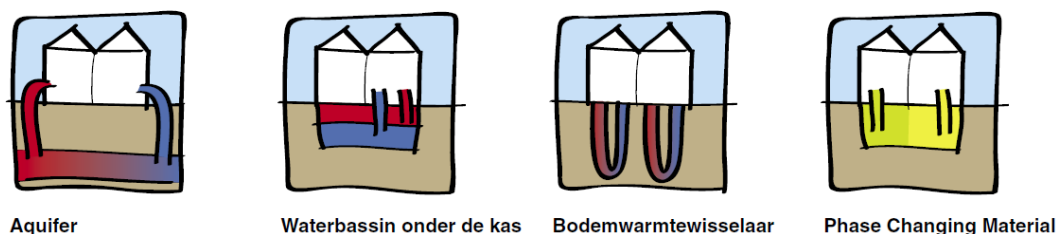
Thermische energie

Om aan het streven van een constante binnentemperatuur van 20°C te kunnen voldoen, moet de ruimte wanneer nodig zowel gekoeld als verwarmd worden. De warmte die benodigd is voor het verwarmen van de ruimte, zal zoals hierboven gesteld, worden verkregen van de inkomende thermische energie van de zon. Deze thermische energie zal op twee verschillende manieren zorgen voor het opwarmen van de ruimte; ten eerste door directe verwarming, bijvoorbeeld via instraling door de aanwezige ramen. In koudere periodes zal echter ook indirecte verwarming benodigd zijn. Deze indirecte verwarming zal op twee manieren gerealiseerd worden, ten eerste door de uitstraling van eerder opgeslagen warmte van de PCM op de binnenwanden, en ten tweede door gebruik te maken van een verwarmingssysteem. Hierbij is gekozen voor vloerverwarming, zoals verderop in het verslag toegelicht wordt.

De warmte voor het verwarmingssysteem zal worden opgevangen door de Solar Sandwichpanelen, zoals beschreven in de vorige paragraaf. Onder invloed van de thermische straling van de zon warmen de aluminium platen, die de buitenlaag van de Sandwichpanelen vormen, op. De platen geven deze warmte vervolgens weer af aan het water/glycol mengsel dat door de geïntegreerde aluminium buizen loopt en die vervolgens wordt opgeslagen, of ingezet voor de verwarming van de ruimte.

Opslag

Voor de opslag van de opgevangen warmte, is gekeken naar technieken die veel in de tuinbouw worden toegepast, maar ook voor woningen en dergelijke steeds vaker toegepast worden. TNO heeft in 2008 een onderzoek gedaan naar deze verschillende technieken van seizoenopslag. (Afbeelding 3.2-a) Bij dit onderzoek komt de aquifer als beste naar voren. Door het tijdelijke karakter van de Smart Cube, is dit systeem echter niet realistisch, aangezien hiervoor naar aardlagen van 50-250 m diep geboord moet worden.



Afbeelding 3.2-a Seizoenopslag (Vakblad voor de Bloemisterij, 33/2008)

Het toepassen van een waterbassin onder de Smart Cube, is echter een techniek die wel goed toepasbaar is. Er hoeven hiervoor geen (enorme) afgravingen gedaan te worden, kan zonder vergunning aangelegd worden en kan goed als warmtebuffer dienen. (Vakblad voor de Bloemisterij, 33/2008) In Bijlage IV – a is een overzicht te vinden van de verschillende onderzochte buffers en hun eigenschappen. Hieruit blijkt dat bij de warmtebuffers waar geen of nauwelijks afgravingen voor gedaan hoeven worden, er twee typen zijn, het waterbassin en het PCM-bassin. Als nader gekeken wordt naar de verschillen, valt op dat de PCM hogere temperatuurniveaus heeft (20-120°C tov 10-90°C), maar dat de kosten beduidend hoger liggen (290 €/m² tov 55-115 €/m²). Dit, in combinatie met de standaard toepassing van water/glycol bij de Solar Sandwichpanelen, doet de keuze toch op het waterbassin vallen. Zoals in de vorige paragraaf gesteld werd, wordt de warmtebuffer gevormd door gebruik te maken van Permavoids. (Drain Products, 2011)

Zoals gesteld, zal voor de opslag van de warmte gebruik gemaakt worden van het water/glycol mengsel dat standaard door de Sandwichpanelen stroomt. Water is zeer geschikt om warmte in op te slaan, om te beginnen omdat water een zeer hoge soortelijke warmte heeft (4186 J/kgK), waardoor met een kleine temperatuursverhoging een grote hoeveelheid energie opgeslagen wordt. (Vree (2), 2011) Daarnaast heeft water de eigenschap dat het bij een hogere temperatuur lichter wordt en dat het warmte slecht geleidt (0,6 W/(mK)). Deze twee eigenschappen zorgen er gezamenlijk voor dat het verwarmde water/glycol mengsel bovenin het bassin zal blijven en het koelere mengsel onderin. Op deze manier zal dus een natuurlijk gelaagde watermassa ontstaan, waarin elke waterlaag haar eigen temperatuur bezit. (Radiotherm, 2011) (Centrum ter verspreiding der duiksport, 2011)

Behoud en hergebruik

Zoals gezegd is de opslag en inzet van opgevangen warmte van de zon niet de enige manier voor een efficiënte en gecontroleerde temperatuurhuishouding. In warme periodes, wanneer veel warmte opgevangen en opgeslagen wordt, is het zaak de ruimte door koeling op temperatuur te houden. Door het energieonzuinige karakter ervan zal dit niet door actieve koeling gaan, maar in plaats daarvan door passieve koeling. In eerste instantie zal dit zo veel mogelijk gebeuren door de PCM op de wanden. Deze nemen de overtollige warmte op, waardoor de temperatuur van de ruimte daalt. Wanneer de temperatuur van de ruimte echter te laag wordt, zal de PCM deze warmte weer afgeven. De overtollige warmte die eventueel niet door de PCM opgenomen kan worden, zal door middel van ventilatie toch afgegeven moeten worden. Uit de simulaties van Bart Kolkman, paragraaf 6.2, blijkt dat deze vorm van koelen ook daadwerkelijk voldoet en dat geen actieve koeling benodigd is.

Niet alleen in warme periodes, maar ook in koudere periodes zal geventileerd moeten worden, aangezien thermische energie dan schaars is, zal gebruik gemaakt worden van warmtewisselaars. Op deze manier zal de thermische energie van de oude lucht de verse lucht opwarmen. Het is dus zaak zo veel mogelijk thermische energie her te gebruiken, om zo min mogelijk warmte verloren te laten gaan. Ook zal de PCM weer bijdragen aan de warmtehuishouding. Dit door thermische energie af te staan aan de ruimte, om deze bij te verwarmen, zoals eerder al werd gesuggereerd, maar ook door thermische energie op te nemen, wanneer er te veel bijverwarmd wordt.

Elektrische energie

Zoals gezegd, is er naast thermische ook een elektrische energiehuishouding binnen de Smart Cube. Per jaar verbruikt een gemiddeld huishouden ongeveer 3500 kWh aan elektriciteit (Milieu Centraal



Afbeelding 3.2-b Uni-solar Laminaat PV (Uni-Solar, 2011)

(4), 2011). In eerste instantie is dit niet de doelgroep van de Smart Cube, maar het geeft wel een goede richtlijn. Om de Smart Cube van elektriciteit te kunnen voorzien, zullen op het dak van de Smart Cube zonnepanelen bevestigd worden. Triple Solar gebruikt daar flexibele PV panelen van Uni-solar voor (Afbeelding 3.2-b). Deze kunnen direct op de dakpanelen gelijmd worden (Afbeelding 3.2-c). Deze directe verbinding zorgt ervoor dat het rendement van de Sandwichpanelen ondanks de PV panelen niet achteruit gaat. Dit geldt echter alleen indien niet het gehele oppervlak van het dak met de PV panelen bedekt is. Aangeraden wordt om minimaal 20% van elk paneel onbedekt te laten. De precieze effecten van de PV panelen op de Sandwichpanelen worden echter nog getest. Bovendien heeft deze directe verbinding als bijkomen voordeel dat de

Sandwichpanelen een koelend effect hebben op de PV panelen, wat het rendement van de PV-cellen verhoogt. Volgens dhr. Hoogervorst van Metaflex heeft een gerenommeerd ingenieursbureau aangegeven, dat dit zelfs kan leiden tot een rendementsverhoging van 10%.

De PV panelen die gebruikt zullen worden zijn Uni-solar laminaat PV van 68 Watt (2849 x 394 x 4 mm). Hierdoor zal 60 W/m² geïnstalleerd worden, waarbij 1 kW paneel 850-1000 kWh per jaar op zal leveren. (Triple Solar (3), 2011) (Uni-Solar, 2011) Op een paneel van 1200 mm breed zullen 3 PV panelen naast elkaar bevestigd worden. De Sandwichpanelen van het dak hebben een lengte van 3190 mm, hierdoor zal 87% van het oppervlak bedekt zijn met PV panelen. Dit is meer dan de 80% die wordt aangeraden, om echter onder die 80% uit te komen, zullen er slechts 2 PV panelen per Sandwichpaneel bevestigd kunnen worden, waardoor de



Afbeelding 3.2-c PV panelen op Sandwichpanelen (Triple Solar (3), 2011)

elektriciteitsopbrengst ook met 1/3 zal dalen. Dit zal er echter voor zorgen dat er in zonarme periodes te weinig elektriciteit opgewekt wordt, waardoor het mogelijke verlies aan rendement van de Sandwichpanelen daar niet tegenop weegt.

Opslag

Om alle energie op te kunnen slaan om het gehele jaar door genoeg elektriciteit te hebben, zal een grote hoeveelheid energie opgeslagen moeten kunnen worden. Hiervoor zijn vele manieren op de markt te vinden. Wat echter de meest gangbare en toepasbare manier is, is door het op te slaan in accu's.

In Nederland is sinds 1988 het zonnehuis in Castricum te vinden. Dit huis is volledig autonoom en haalt zijn elektrische energie ook vanuit PV panelen. Om het gehele jaar van elektriciteit voorzien te zijn, wordt de opgevangen energie opgeslagen in een loodaccu systeem van 10 kWh, bestaande uit

12 accu's van 2V, met een capaciteit van 532 Ah. Dit systeem voldeed in 2006 nog steeds aan het verbruik. Hierbij moet wel vermeldt worden dat het elektriciteitsverbruik zo'n vier keer lager ligt dan bij een gewoon huishouden. Dit voorbeeld geeft echter wel goed de mogelijkheid van elektriciteitsopslag weer. (Lysen, Egmond, & Hagedoorn, 2006) (zon-pv.nl, Unknown)

In de afgelopen jaren zijn er vele ontwikkelingen geweest op het gebied van accu's. Er zijn vele verschillende typen te verkrijgen, die een steeds betere opslag en afgifte hebben. Voor de toepassing in autonome huishoudens, is de lood-zuur accu echter nog steeds het meest gangbaar. Door hun grote opslagcapaciteit zijn flowbatterijen een goed alternatief, op het moment zijn de meeste flowbatterijen echter nog erg groot, maar op markt worden steeds meer kleinere flow batterijen aangeboden, zoals bijvoorbeeld de Redflow R510. Er zal in ieder geval een grote opslagcapaciteit nodig zijn, om voldoende energie op te kunnen slaan. (Lysen, Egmond, & Hagedoorn, 2006) In Bijlage IV – Energieopslag-b is een klein overzicht te zien, waarin prijzen met opbrengsten van verschillende accu's vergeleken worden. De flow batterij komt hierbij goed naar voren. Om bijvoorbeeld 3 zonarme weken door te komen, zonder een te kort aan elektriciteit, zal grofweg $(3500/52)*3 = 201,9$ kWh opgeslagen moeten kunnen worden, wat neerkomt op een capaciteit van 840 Ah.

Alternatief

Een alternatieve oplossing voor het elektriciteitsprobleem in zonarme periodes, ligt in het terugleveren van overtollig opgevangen elektrische energie aan het elektriciteitsnet. Op deze manier hoeft er geen enorme hoeveelheid energie opgeslagen te worden in accu's, maar wordt de overtollige, opgevangen energie direct aan het elektriciteitsnet geleverd. In periodes dat de zon niet afdoende energie kan leveren, kan dan alsnog direct vanaf het net elektriciteit gehaald worden. Op deze manier wordt alsnog indirect de eigen opgevangen energie gebruikt. Dit heeft echter als nadeel, dat het gebouw alsnog op het elektriciteitsnet aangesloten moet worden, en het gebouw haar autonome karakter verliest.

3.3 Markt

De tijdelijke bouw onderscheidt zich van de conventionele bouw door het tijdelijke en snelle karakter van de producten. Over het algemeen worden tijdelijke gebouwen namelijk slechts enkele maanden, tot maximaal enkele jaren gebruikt en moeten ze op korte termijn ingezet worden. Om deze reden zijn de gebouwen snel leverbaar en flexibel in plaatsing, grootte en indeling. Er zijn bedrijven die hun units ook voor gebouwen voor de langere termijn inzetten, waardoor (semi-) permanente gebouwen ontstaan. Deze gebouwen bezitten echter nog wel de flexibiliteit van een tijdelijk gebouw.

Om dit flexibele, snelle karakter te realiseren, wordt in de tijdelijke bouw gebruik gemaakt van prefabricage. Hierin zijn twee stromingen te herkennen, namelijk de unitbouw, waarbij volledige units in de werkplaats gefabriceerd worden en op de bouwplaats aan, op en achter elkaar gekoppeld worden. De tweede stroming komt hiermee erg overeen, echter worden hier elementen geprefabriceerd, zoals muren, die op de bouwplaats gemonteerd worden.

Door het flexibele, snelle en tijdelijke karakter, wordt dit type bouwen in vele verschillende sectoren ingezet. In al deze sectoren wordt van dezelfde basisonderdelen gebruik gemaakt, maar door de flexibele samenstelling, verschilt de functie per gebouw. Grofweg kunnen de meest gangbare sectoren ingedeeld worden in:

- Kantoren
- Onderwijs/kinderopvang
- Gezondheidszorg
- Winkel
- Sport/recreatie
- Noodwoning

Binnen deze markt is een redelijk groot aanbod te vinden. Dit aanbod varieert hierbij van kleine bedrijven die een simpele container verhuren, tot grotere bedrijven, waarbij gebouwen compleet aan de wensen van de gebruiker gebouwd en aangepast kunnen worden. Enkele bekende en grote spelers binnen deze markt zijn:

- Portakabin
- De Meeuw
- De Groot Vroomshoop
- Barli bv
- Buko
- Primakabin

Bestaande architectuur

Binnen de tijdelijke bouw zijn buiten de standaard units ook een aantal bijzondere ontwerpen en toepassingen te vinden. Om uit deze verschillende, bijzondere projecten inspiratie te kunnen halen, is een collage gemaakt. (Afbeelding 3.3-a) In Bijlage V - Collages is ook een grote versie te bekijken.

Buiten deze bijzondere tijdelijke gebouwen, is er ook onderzoek gedaan naar andere architecten en gebouwen die aansluiten op de Smart Cube. De overeenkomst met de Smart Cube gaat hier verder dan het tijdelijke karakter, waardoor dezen inspiratie bieden op verschillende vlakken; de vormgeving, het efficiënt omgaan met een kleine ruimte, maar ook reeds gerealiseerde autonome projecten. Een aantal zijn hieronder nader toegelicht.



Afbeelding 3.3-a Inspiratiecollage

Winy Maas

Winy Maas en zijn architectenbureau MVRDV hebben verschillende gebouwen ontworpen, die qua vormgeving in de lijn liggen van de tijdelijke bouw, door veel gebruik te maken van rechthoeken en herhaling. Echter heeft hij hier wel een eigen, bijzondere draai aan gegeven, waardoor de ontwerpen een niet alledaagse, soms vervreemdende uitstraling hebben. (Afbeelding 3.3-c, Afbeelding 3.3-d, Afbeelding 3.3-e) (MVRDV, Unknown)



Afbeelding 3.3-c Le Monolithe



Afbeelding 3.3-d Balancing Barn



Afbeelding 3.3-e Celosia

Richard Horden

Richard Horden heeft met zijn ontwerp van de m-ch (Micro Compact Home) een totaal nieuwe betekenis gegeven aan het compacte bouwen. Dit heeft hij gedaan door een binnen een kubus van 2,66 x 2,66 x 2,66 m alle voorzieningen, benodigd voor het leven binnen een woning, te verwerken. Dit is onder andere inclusief twee tweepersoons bedden, een douche, een wc en een keukentje. (Afbeelding 3.3-f en Afbeelding 3.3-g) (Horden, 2008) Op het gebied van efficiënt gebruik van ruimte binnen de tijdelijke bouw, en om een andere kijk op de mogelijkheden binnen de tijdelijke bouw te krijgen, is dit een ideaal voorbeeld om inspiratie uit op te doen.



Afbeelding 3.3-f m-ch



Energyhouse De Mirre

Energyhouse De Mirre in Veldhoven is het eerste volledig autarkische huis in Nederland. (Afbeelding 3.3-h) (Energyhouse, 2011) Door het volledig zelfvoorzienende karakter van het huis, is dit een goed voorbeeld en een goede inspiratiebron voor het ontwerp en de uitvoering van dit project.



Afbeelding 3.3-h Energyhous De Mirre

Hockerton Housing Project

Het Hockerton Housing Project, in de omgeving van Nottingham, is het eerste ecologische ontwikkelingsproject van het Verenigd Koninkrijk, dat huizen ontwikkeld die aardebedekt en zelfvoorzienend zijn. De betrokken huizen zijn niet alleen zelfvoorzienend op het gebied van energie, maar ook op het gebied van hun watervoorziening. Ook recycleren ze hun eigen afval. (Afbeelding 3.3-i) (Hockerton Housing Project, Unknown) Net als De Mirre, is ook dit project een mooie inspiratiebron.



Afbeelding 3.3-i Hockerton Housing Project

3.4 Concurrentie

Zoals gezegd is er op de markt van de tijdelijke gebouwen is een redelijk groot aanbod te vinden. Waarbij het aanbod varieert van kleine bedrijven die een simpele container verhuren, tot grotere bedrijven, waarbij gebouwen compleet aan de wensen van de gebruiker gebouwd en aangepast kunnen worden. Om een goed beeld van de concurrentie binnen de markt te krijgen, is hier een onderzoek naar gedaan. Hierbij is gekeken naar wat de overeenkomsten zijn, de verschillen en wat de verschillende partijen doen om de concurrentie van elkaar te winnen.

Om binnen deze markt op te vallen tussen de andere aanbieders, proberen de bedrijven zich te onderscheiden van de rest. De meeste, simpelere units zijn bij alle bedrijven in de basis hetzelfde vormgegeven. Er is echter ook een trend die vooral bij de grotere bedrijven binnen deze markt te zien is. Deze bedrijven proberen zich te onderscheiden van de rest, door de vormgeving van de grotere projecten aan te passen. Dit zorgt ervoor dat de grotere projecten qua vormgeving steeds meer richting conventionele gebouwen gaan en een geheel lijken te vormen en niet meer als een groep aaneen gekoppelde modules of elementen. Binnen de kleinere projecten is dit echter nog niet tot nauwelijks van toepassing. Het betreft dus voornamelijk (semi-)permanente projecten, op tijdelijke gebouwen is deze trend, met enkele uitzonderingen, nog niet zichtbaar. Dit wordt goed geïllustreerd door de verschillende projecten die in de collage van Afbeelding 3.4-a.

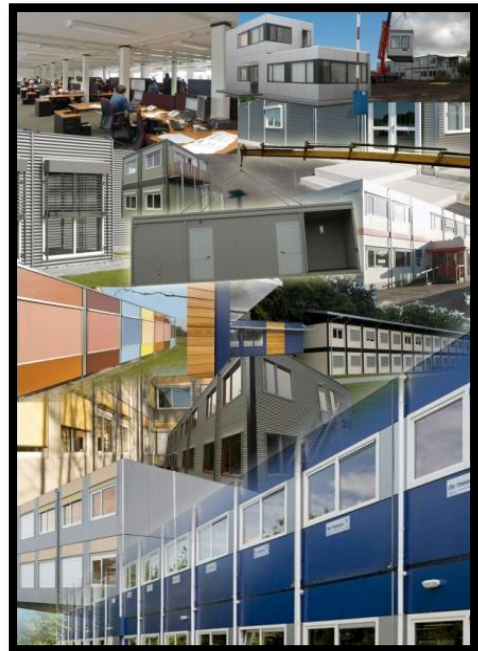
Zoals in de collage te zien is, is er altijd een bepaalde regelmaat zichtbaar, waardoor de gebouwen altijd erg op elkaar lijken. Deze regelmaat is terug te zien in de maatvoering van de aangeboden units van de verschillende bedrijven. Een aantal voorbeelden zijn:

Portakabin: 2,5-4,5 m x 3-18,5 m x 2,5-3,5 m

De Groot Vroomshoop: 2,4 m x 7,2 m x $\leq 3,5$ m

De Meeuw: 2,98-3 m x 2,5-11,5 m x 2,8-3,6 m

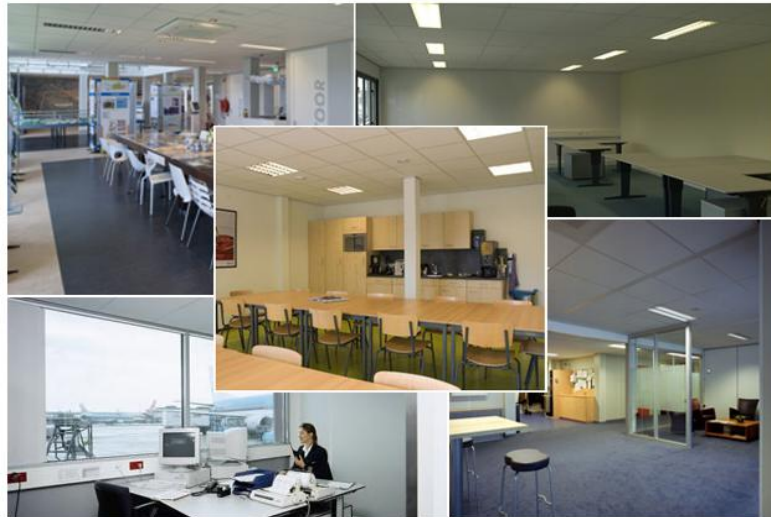
Bij nadere inspectie wordt duidelijk dat deze maatvoering voortkomt uit de beperkingen van het vervoer van de units. In elk gebouw is dus eigenlijk de vrachtwagen waarop de unit is vervoerd terug te zien, wat voor die herkenbare, regelmatige uitstraling van de tijdelijke bouw zorgt.



Afbeelding 3.4-a Concurrentiecollage

Net als aan de buitenkant, onderscheiden de verschillende tijdelijke gebouwen zich aan de binnenkant ook niet enorm van elkaar. Door het opbouwen van de gebouwen uit aaneen gekoppelde units, blijft net als aan de buitenkant, ook van binnen dezelfde regelmaat in constructie zichtbaar. Zeker in grotere open ruimtes zijn op vaste afstanden kolommen zichtbaar, door de beperkte overspanningmogelijkheid, waardoor dit nog eens extra benadrukt wordt.

Daarnaast wordt, om het snelle, flexibele en betaalbare karakter van de gebouwen te waarborgen, in (bijna) alle tijdelijke gebouwen gebruik gemaakt van standaard systemen, bijvoorbeeld door gebruik te maken van systeemplafonds en wandpanelen. Zoals in Afbeelding 3.4-b te zien is, zorgt dit er uiteindelijk voor dat al deze gebouwen ook van binnen erg op elkaar lijken. Als er dan weer gekeken wordt naar de (semi-)permanente gebouwen, proberen de bedrijven zich echter wel weer te onderscheiden, evenals hierboven genoemd is met betrekking tot het exterieur.



Afbeelding 3.4-b Interieurs van tijdelijke gebouwen

Buiten de vormgeving proberen de verschillende bedrijven zich binnen de markt ook op andere gebieden te onderscheiden, zoals op materiaalgebruik en duurzaamheid, twee punten die in veel gevallen ook met elkaar verbonden zijn. Hier wordt in de volgende paragrafen dieper op ingegaan.

3.5 Configuratie

Zoals gezegd zijn tijdelijke gebouwen zo veel mogelijk in de werkplaats geconfigureerd. In de werkplaats worden modules gebouwd, de modules worden zo gedimensioneerd, dat ze in de lengte op een vrachtwagen passen, die ze vervolgens naar de bouwplaats vervoerd. Op de bouwplaats worden ze vervolgens met een kraan op de juiste plek gehesen, waarna het volledige gebouw uit de standaard modules wordt geconfigureerd.

De modules worden bij de huidige manier van configureren in de breedte, de diepte en de hoogte met elkaar verbonden. Het zou echter ook een mogelijkheid zijn, om puur in de lengte te werken. Dit, in samenwerking met het voeren van een andere standaard maatvoering, door in bijvoorbeeld segmenten te werken in plaats van elementen of units, zal nieuwe mogelijkheden bieden op het gebied van ontwerp en vervoer.

3.6 Duurzaamheid

Tegenwoordig begint duurzaamheid een steeds grotere rol te spelen binnen de samenleving. Een trend die ook overslaat naar de traag ontwikkelende bouwsector. De bouw is een van de meest milieubelastende sectoren. Er moet hierbij niet alleen gedacht worden aan sloopafval, maar ook aan materialen die vanaf de bouwplaats weggegooid worden, gebouwen die gesloopt worden voordat hun levensduur is verstreken, het vervoer van alle materialen en bouwmachines, etc. Dit wordt goed geïllustreerd in het feit dat ongeveer een kwart van het afval dat binnen de Benelux geproduceerd

wordt van de bouwsector komt (van Gansewinkel Groep, 2011). Evenals het feit dat de bouwsector verantwoordelijk is voor een derde van de CO₂-uitstoot (Nieuws.nl, 2004).

Door de groeiende bewustheid van de noodzakelijkheid van, maar ook de vraag naar duurzaamheid, proberen ook verschillende aanbieders binnen de tijdelijke bouw hierop in te spelen. Deze trend is voornamelijk zichtbaar binnen de grotere aanbieders binnen de tijdelijke bouw. Wat echter opvalt, is dat de meeste van deze bedrijven met ongeveer dezelfde punten van duurzaamheid komen. Ze geven voornamelijk de voordelen weer die automatisch uit dit type bouwen voortvloeien. Dit kan goed geïllustreerd worden door te kijken naar drie grote aanbieders binnen de markt van de tijdelijke bouw; Portakabin, De Meeuw en De Groot Vroomshoop. De eerste twee bedrijven maken gebruik van modulaire bouw, terwijl de Groot Vroomshoop gebruik maakt van elementbouw, grofweg gezien hebben deze bouwmethodes voor de bouw van een tijdelijk gebouw echter ongeveer hetzelfde effect.

Beide bouwmethodes zijn gebaseerd op het prefabriceren van onderdelen van het gebouw binnen een werkplaats, waarna deze onderdelen op de bouwplaats gemonteerd worden. Deze bouwmethode zorgt ervoor dat de hoeveelheid bouw- en sloopafval enorm afneemt en wat ook voor een drastische verlaging van de hoeveelheid benodigde transport zorgt. Verder benadrukken alle drie deze bedrijven de mogelijkheid tot herinzet en hergebruik van hun systemen, door de flexibiliteit en demontabelheid van hun gebouwen. Ook claimen ze allen milieuvriendelijke, duurzame materialen toe te passen. Hierbij verschillen de bedrijven in hun specificiteit; Portakabin meldt dat zij duurzaam beheerde bronnen gebruiken en veel gebruik maken van gerecyclede materialen, evenals dat ze een groot deel van hun eigen geproduceerde afval recyclen. De Meeuw geeft slechts aan dat zij gebruik maken van milieuvriendelijke, duurzame materialen. De Groot Vroomshoop, tenslotte, geeft de klant de mogelijkheid te kiezen voor FSC gecertificeerd hout binnen hun gebouw, ook geven ze aan gebruik te maken van milieuvriendelijke verfstoffen.

Waar Portakabin en de Groot Vroomshoop zich onderscheiden van De Meeuw, is dat zij ook energiebesparing hoog in het vaandel hebben staan. Portakabin gaat hierin verder van de Groot Vroomshoop. Zij hebben per fase binnen de levenscyclus aangegeven hoe zij ervoor zorgen dat de energie-efficiëntie zo hoog mogelijk is en hoe zij het materiaalgebruik zo efficiënt mogelijk maken. De Groot Vroomshoop geeft in tegenstelling hierop de klant de keus te kiezen voor een solar dak.

Door de gedetailleerde en onderbouwde uiteenzetting die Portakabin geeft wat betreft hun duurzaamheid, komen ze veel bewuster en duurzaamheidgerichter over dan de Groot Vroomshoop en De Meeuw. In de essentie lijkt het echter niet veel van de concurrentie te verschillen, aangezien de effecten vooral voortvloeien uit de bouwmethode en dan ten opzichte van conventionele bouwwijzen op de bouwplaats zelf. Wel lijken ze zich bewuster van het efficiënt gebruiken en recyclen van materialen. Doordat de twee andere bedrijven over het algemeen erg globaal blijven, wordt het eigenlijk niet duidelijk hoe groot de effecten bij hun zijn. (Portakabin, 2010) (De Meeuw, 2011) (De Groot Vroomshoop, 2011)

3.7 Conclusie concurrentieanalyse

Ondanks het grote aanbod aan tijdelijke units, zijn er slechts kleine variaties. De ontwerpen van de units zijn over het algemeen hetzelfde. Het betreft een stalen constructie, met daartussen de wanden. Zelfs de kleurvoering is in veel gevallen vergelijkbaar. Het overgrote deel van de units heeft een lichte, vaak beige kleur, hoewel ook fel gekleurde units aangeboden worden. Zodra het echter grotere, (semi-)permanente projecten betreft, proberen de grotere bedrijven binnen de markt zich echter wel meer te onderscheiden qua vormgeving. Echter blijft dan alsnog in de meeste gevallen de vrachtwagen zichtbaar.

Op het gebied van duurzaamheid wordt vooral door de grotere bedrijven binnen de markt ingespeeld. Voor het overgrote deel lijkt het hier vooral te gaan om het certificaat duurzaamheid op te plakken, om in te spelen op de verhoogde vraag naar en populariteit van duurzaamheid. Hierdoor worden eigenlijk geen baanbrekende stappen gezet op duurzaamheid. Hoewel dit niet voor elk bedrijf geldt, een voorbeeld is bijvoorbeeld Portakabin, die veel aandacht besteedt aan het verminderen van het materiaal- en energiegebruik.

Conclusie

Binnen de tijdelijke bouw valt op deze beide punten dus nog veel te winnen. Voor de kleinere projecten is al het aanbod qua vormgeving en materiaalgebruik grofweg hetzelfde bij elk bedrijf. Wat ervoor zorgt dat daar een grote mogelijkheid ligt tot verbetering. Waar binnen de conventionele bouw steeds meer aan duurzaamheid gedaan wordt, is dit binnen de tijdelijke bouw nog erg schaars. Er zijn bedrijven die hier al wel in meer of mindere mate aandacht aan besteden, maar dit blijft over het algemeen nog beperkt tot voor de hand liggende maatregelen, die meer bedoeld lijken om het stempel duurzaamheid op te kunnen plakken. Het doel van deze opdracht is om een Smart Cube te ontwerpen, die op deze beide punten zich onderscheidt van het huidige aanbod.

3.8 Functionaliteit

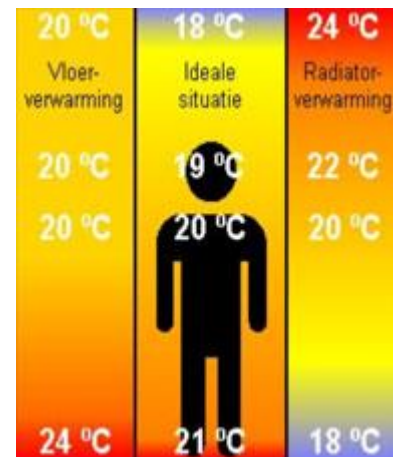
(Bij)verwarming

Om de ruimte binnen de Smart Cube wanneer nodig bij te verwarmen, zal gebruik gemaakt worden van vloerverwarming. In eerste instantie is overwogen water door de laag PCM op de wanden te laten lopen, om op die manier warmte aan en af te kunnen voeren. Door het aparte ontwerp dat hiervoor gemaakt zal moeten worden, is dit echter lastiger te realiseren dan reguliere systemen. Het gebruik van reguliere radiatoren is een andere mogelijkheid. Het plaatsen van radiatoren, zal echter zorgen voor een gedeeltelijke afdekking van de wanden, waardoor de werking van een deel van de PCM beperkt wordt. Een derde mogelijkheid is de toepassing van vloerverwarming. Het gebruik van vloerverwarming neemt drie voordelen met zich mee:

- Alle wanden blijven onbedekt
- Vloerverwarming is zeer geschikt om toe te passen als hoofdverwarming, met name traditionele vloerverwarming, werkend met water. (Vloer.nl, 2011)
- Er stroomt water met een lagere warmte ($\pm 40^{\circ}\text{C}$) door de buizen om de ruimte te verwarmen, dan wanneer er gebruik wordt gemaakt van radiatoren ($60^{\circ}\text{C} - 90^{\circ}\text{C}$).

Het verwarmingsproces duurt echter wel wat langer, door het groter verspreide oppervlak van de verwarmingsbuizen. Een alternatief voor gewone radiatoren is ook Lage Temperatuur Verwarming, waarbij is slechts een watertemperatuur van 30°C nodig om een ruimte te verwarmen. Hier blijft

echter het probleem van de radiatoren die een deel van de wand bedekken en zo de werking van de PCM beperken. (Arconell, 2011) (Stichting Lage TemperatuurVerwarming, 2011) In Afbeelding 3.8-a, op de volgende pagina, is schematisch de verdeling van de warmte binnen de ruimte te zien in het geval van vloerverwarming en verwarming dmv radiatoren. Het verwarmen door middel van vloerverwarming zorgt er dus tevens voor dat de temperatuur van de ruimte zich dichterbij de ideale situatie bevindt, dan wanneer gebruik gemaakt wordt van radiatoren. Ook sluit dit goed aan op het doel van de opdracht, doordat zo de gehele ruimte een temperatuur van 20°C heeft.



Afbeelding 3.8-a Warmteverdeling (Sanoma Media Netherlands groep, 2011)

Door de absorptie- en emissiviteitswaarden van de Sandwichpanelen zijn volgens Bart Kolkman zodanig, namelijk respectievelijk rond de 0,15 en 0,84, dat de panelen zeer geschikt zijn om warmte af te staan. Hierdoor zijn de panelen buiten hun huidige functie ook zeer geschikt om toe te passen als vloerverwarming. Volgens dhr. Hoogervorst van Metaflex is dit zelfs al een keer toegepast. Door de hogere warmtegeleiding zal het gebruik van aluminium verwarmingsbuizen in plaats van de gebruikelijke kunststofbuizen de warmteoverdracht sneller gaan dan het geval zou zijn, indien normale vloerverwarming toegepast zou worden.

Vloerbedekking

Om de werking van de vloerverwarming niet te beïnvloeden, is het belangrijk welke vloerbedekking op de vloer geplaatst wordt. In principe zorgt natuursteen voor de optimale overdracht van de warmte. Parket, laminaat en vloerbedekking kunnen toegepast worden, maar hier moet wel goed gekeken worden naar de specifieke eigenschappen van het type dat toegepast wordt, en de manier waarop het bevestigd wordt. Hun isolerende werking en de luchtlaag die mogelijk tussen de verwarming en de bovenvloer ontstaat, kunnen namelijk een negatieve invloed op de warmteoverdracht uitoefenen. Linoleum is ook een vloertype dat goed toepasbaar is bij vloerverwarming, het effect zal nagenoeg hetzelfde zijn als wanneer plavuizen toegepast worden. (Sanoma Media Netherlands groep, 2011) Door de slijtvastheid en het makkelijke onderhoud is linoleum ook zeer geschikt om in een tijdelijk kantoor als de Smart Cube toegepast te worden. Het feit dat linoleum biologisch afbreekbaar is, maakt dat dit materiaal ook zeer goed binnen het duurzame karakter van de Smart Cube past. Het feit dat linoleum een geluiddempende werking heeft, zorgt er ook voor dat dit verkozen wordt boven het toepassen van plavuizen. (wonenonline, 2011)

Voorzieningen

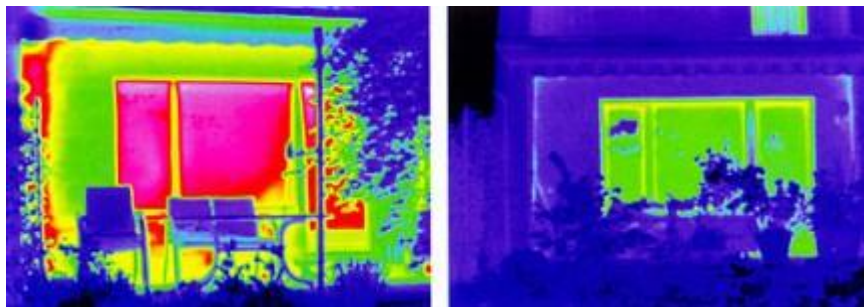
Om de vloerverwarming zelfregulerend te laten zijn, zijn een thermostaat en verwarmingsregelaar nodig. De thermostaat zal de temperatuur van de ruimte meten, waardoor de verwarmingsregelaar kan reageren op eventuele temperatuursdalingen of – stijgingen. (Huisentuininformatie.be, 2011)

Ramen

De ramen binnen de Smart Cube hebben een zeer belangrijke functie. Zoals in alle gebouwen zorgen ze ervoor dat er natuurlijk licht het gebouw binnenvalt, wat voor een prettiger (werk-) klimaat zorgt dan kunstmatig licht. Ook zorgt de instraling van de zon door de ramen ervoor dat de ruimte extra opgewarmd wordt. In koudere periodes zorgt dit voor een comfortabele temperatuur binnen een

ruimte. Als de straling van de zon echter sterker is, dus met name binnen de zomermaanden, kan dit er echter voor zorgen dat de lichtinval te fel is en dat de temperatuur binnen een ruimte oncomfortabel hoog komt te liggen. In deze periode zal de PCM in de wanden van de unit ervoor zorgen dat een gedeelte van die overtollige warmte wordt opgenomen, maar dit zal niet voor alle overtollige warmte het geval zijn.

In koudere periodes, wanneer er geen of weinig zoninstraling is, zoals nachten, fungeren ramen tevens als koudelekken van waaruit veel warmte verloren gaat. Dit kan verminderd worden door het gebruik van goed geïsoleerde dubbele beglazing, of driedubbele beglazing. Het effect wordt echter alleen beperkt en kan niet helemaal opgeheven worden. Dit is goed te zien in waarin links enkele beglazing is toegepast en rechts goed isolerende beglazing.



Afbeelding 3.8-b Warmteverlies van enkele beglazing (l) en isolerende beglazing

Binnen dit project is het dus belangrijk met al deze effecten rekening te houden. Dit houdt in dat met name in de zomermaanden de licht- en warmte-instraling beperkt moet worden, terwijl er in de winter juist zo veel mogelijk instraling doorgelaten moet worden. Echter moet wel het koudelek dat de ramen bijvoorbeeld 's nachts vormen, zoveel mogelijk beperkt worden. Iets wat zeker in tijdelijke gebouwen zaak is, aangezien daar warmteregulatie op een natuurlijke wijze niet goed is door het ontbreken van massa in de muren.

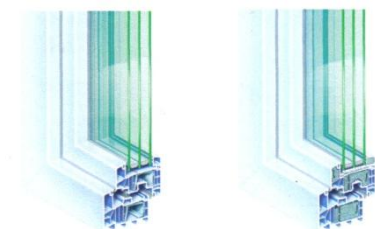
Beglazing

Er zijn vele type beglazingen te vinden op de markt. Werd vroeger nog gebruik gemaakt van enkel glas, is nu dubbel glas al jaren de standaard en is er tegenwoordig zelfs ook driedubbele beglazing op de markt. Aangezien de Smart Cube in kritieke, koude periodes zo veel mogelijk warmte vast moet houden, en ramen en kozijnen voor een grote koudelek zorgen binnen een wand, is isolatie van de ramen en kozijnen het belangrijkste aandachtspunt.

Op de markt is een grote variatie aan goed isolerende beglazing te vinden, waarbij sommige typen dubbele beglazing qua isolatiewaardes zelfs richting de waardes van driedubbele beglazing gaan:

Dubbele beglazing:	2,7 W/m ² K
HR beglazing:	1,7-2,0 W/m ² K
HR+ Beglazing:	1,3-1,6 W/m ² K
HR++ beglazing:	≥1,2 W/m ² K
HR+++ driedubbel glas:	0,5-0,9 W/m ² K

(Milieu Centraal (5), 2011)



Afbeelding 3.8-c Zero Energie profiel (l) en Passiefhuis profiel (Schipper Kozijnen, 2011)

Door de samenwerking met Schipper Kozijnen, is gekeken naar hun aanbod aan sterk isolerende beglazing en kozijnen. De optie die er daarbij bovenuit sprong, was het 88plus kozijnprofiel van K-

vision. Dit is een kozijnprofiel voor drievoudig glas en een lage U_w -waarde. Van dit profiel zijn twee mogelijke keuzes, het Zero Energy profiel en het Passiefhuis profiel. (Afbeelding 3.8-c) Het eerste profiel is van binnen verstevigd met staal, het Passiefhuis profiel is daarentegen verstevigd door middel van thermische schuimisolatie. Hierdoor hebben deze profielen, inclusief beglazing een U -waarde van respectievelijk $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ en $\leq 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Door de hogere isolatiewaarde, wordt gekozen gebruik te maken voor het Passiefhuis kozijnprofiel. (Schipper Kozijnen, 2011) Naast de toepassing van drievoudige beglazing, wordt intern tevens een reflecterende IR coating aangebracht. Op deze manier wordt het warmteverlies nog eens extra beperkt.

Raamoppervlak

Zoals in het bouwbesluit 2003 is bepaald (VROM 2003), moet een kantoor minimaal een raamoppervlak van 2,5% van het vloeroppervlak bevatten, met een minimum van $0,5 \text{ m}^2$. De Smart Cube is opgebouwd uit verschillende modules, elke module heeft een vloeroppervlak van $1,20 \times 2,76 = 3,312 \text{ m}^2$, dit komt erop neer dat er per module die wordt bijgeplaatst $3,312 \times 0,025 = 0,0828 \text{ m}^2$ aan raamoppervlak extra moet komen. Aangezien het minimale raamoppervlak $0,5 \text{ m}^2$ is, zal dit het minimale raamoppervlak bedragen per Smart Cube. Vanaf een aaneenschakeling van $0,5/0,0828 \approx 6$ modules, zal het minimale raamoppervlak wel bepaald worden door het vloeroppervlak van de Smart Cube.

Zonwering

Op verschillende momenten gedurende de dag en het jaar, verschilt tevens de wenselijke doorlaatbaarheid van ramen. Op koude dagen zal invallend zonlicht voor extra warmte binnen een ruimte zorgen. Op warme dagen kan dit echter voor oververhitting zorgen, waardoor de instraling van de zon beperkt moet worden. Ook de felheid van de instraling van de zon kan invloed hebben op de wens zonlicht te beperken of niet. Maar ook het beperken van het warmtelek van de ramen op koudere momenten is belangrijk aandachtspunt. Om hier een oplossing voor te vinden, is onderzoek gedaan naar de verschillende mogelijkheden op het gebied van zonwering.

Op het gebied van zonwering zijn verschillende mogelijke oplossingsrichtingen te vinden. Zonwering kan gedaan worden door de doorlaatbaarheid van de ramen te beperken, of door de hoeveelheid licht die op het raam valt te beperken. De eerste oplossing is te bereiken door gebruik te maken van zonwerend, of absorberend glas, ze hebben beiden een lage g -waarde¹, dus ze beperken de doorlating van warmtestraling, maar met als neveneffect dat ze hiermee de lichtinval ook beperken. In extreem zonnige periodes is dit positief, wanneer de zonnestraling echter minder sterk is, is dit ongewenst. Tegenwoordig zijn ook selectieve ramen beschikbaar. Dit zijn ramen die een lage g -waarde hebben, maar een hoge doorlaatbaarheid van licht. Als alternatief van dit type ramen, kan ook gebruik gemaakt worden van de 'ouderwetse' manier van zonwering, door het beschaduwende van de ramen. Dit kan op verschillende manieren. Bijvoorbeeld door een markies, een verticaal scherm, markisolette, horizontale lamellen en draaibare lamellen. Maar ook binnenzonwering is een mogelijkheid, dmv horizontale lamellen, een verticaal scherm of verticale lamellen. Door gebruik te maken van een rolluik, kunnen de ramen extra geïsoleerd worden in periodes dat dit wenselijk is, zoals 's nachts. Op deze manier wordt het warmtelek van het raam verminderd.

¹ g -waarde = de totale waarde van lichtdoorlatendheid van zonne-energie (BRON: <http://www.encyclo.nl/begrip/g%20waarde>, accessed on 31-03-2011)

Het voordeel van buitenzonwering boven binnenzonwering is dat het de warmte tegenhoudt, voordat het het raam is gepasseerd, waardoor meer warmte wordt tegengehouden dan bij binnenzonwering. (Wouters, 2001) (Vandaele, 2001)

Conclusie

De combinatie van buitenzonwering en een rolluik, zorgt ervoor dat zonnestraling vermindert kan worden op zonnige dagen, maar niet volledig buitengesloten worden, maar dat op momenten dat isolatie wenselijk is, de rolluiken ervoor kunnen zorgen dat het warmtelek van het raam zo veel mogelijk beperkt kan worden.

Ventilatie

Bij een goed binnenklimaat van de Smart Cube, hoort niet alleen een constante temperatuur van 20°C, maar ook een goede luchtkwaliteit. Om dit te realiseren moet er binnen de ruimte goed geventileerd worden. In het bouwbesluit (2003) is bepaald dat een ruimte die plaats biedt aan 1 persoon een minimale ventilatie van 1,3 dm³/s per m² dient te hebben.

Voor ventilatie zijn verschillende systemen toe te passen. Grofweg zijn 3 vormen te onderscheiden:

- natuurlijke ventilatie
- mechanische ventilatie
- balansventilatie

Bij natuurlijke ventilatie wordt de afvoer van binnenlucht, evenals de aanvoer van verse lucht direct door ramen en luchtroosters gedaan. Bij mechanische ventilatie wordt de binnenlucht actief door een ventilator afgevoerd en wordt de verse buitenlucht, net als bij natuurlijke ventilatie, passief door ramen en luchtroosters aangevoerd. Ten slotte bij balansventilatie wordt zowel de aanvoer als de afvoer van lucht actief gedaan, waardoor deze in balans is. Bij deze vorm van ventileren is het tevens mogelijk verse, binnenkomende lucht, door middel van een warmtewisselaar, met de warmte van de afgevoerde binnenlucht op te warmen. (Milieu Centraal, 2011) (Milieu Centraal (2), 2011) (Milieu Centraal (3), 2011)

Aan alle drie de systemen zitten voor en nadelen. Door de aan- en/of afvoer mechanisch te regelen, kan de mate van ventilatie aangepast worden aan de behoefte van het moment, terwijl bij natuurlijke ventilatie dit alleen gedaan kan worden door bijvoorbeeld extra ramen te openen of sluiten. Als verse lucht op natuurlijke wijze de ruimte binnenkomt, is de lucht nog helemaal zuiver en van dezelfde kwaliteit als de buitenlucht. Wanneer de lucht actief naar binnen wordt gepompt, zal de lucht eerst door een aantal buizen stromen. Deze lucht kan door het toevoegen van een warmtewisselaar echter wel verwarmd worden met de warmte van de lucht die naar buiten gepompt wordt. Hier moet wel goed de hygiëne van de filters en buizen in de gaten gehouden worden, om vervuiling van de lucht en geluidsoverlast van de pomp te voorkomen. Een compleet overzicht van alle voor- en nadelen van de verschillende systemen is te vinden in Bijlage IX.

Verhogen rendement

Naar aanleiding van de simulaties die Bart Kolkman heeft uitgevoerd, waar in hoofdstuk 6 een voorbeeld van te vinden is, is gebleken dat voor voldoende warmtewinning een tweede gevel noodzakelijk is. Deze tweede gevel, die voor de Sandwichpanelen geplaatst wordt, moet de warmte van de zon doorlaten, maar andere invloeden, die het opwarmen van de Sandwichpanelen beperken of de wanden zelfs laten afkoelen, zoveel mogelijk moet tegenhouden. Hierbij moet gedacht worden

aan invloeden zoals wind en regen. Door het plaatsen van een tweede gevel zal de warmte van de zon opgevangen worden in de laag tussen de Sandwichpanelen en de tweede gevel. Deze warmte zal hier vervolgens blijven hangen, doordat weersomstandigheden geen invloed uit kunnen oefenen op de tussenruimte. Op deze manier zal dan extra rendement uit de straling van de zon gehaald kunnen worden. Zeker in koudere periodes, wanneer alle warmte die opgevangen kan worden, belangrijk is, zal deze tweede gevel van grote toegevoegde waarde zijn. In Bijlage VI – Simulaties-a is dit goed te zien. Bij de eerste grafiek is de binnentemperatuur van de Smart Cube gedurende een jaar te zien, wanneer geen tweede gevel toegepast is. Hier is te zien dat in de wintermaanden een flinke daling van de binnentemperatuur, tot zelfs 10°C, optreedt. In de tweede grafiek is wel een tweede gevel toegepast. Hier is een veel constantere temperatuur waarneembaar en bedraagt de minimale temperatuur van 15°C.

Voor de bepaling naar het gewenste type materiaal van de tweede gevel, is gekeken naar verschillende mogelijkheden, zoals polycarbonaat. Verder is ook gekeken naar verschillende producten die in de kasbouw toegepast worden. Bij nadere inspectie van zowel deze producten, als polycarbonaat, bleek echter, dat dit oplossingen zijn die juist de UV-straling van de zon goed doorlaten, terwijl ze de warmtestraling van de zon, namelijk de NIR-straling (een type straling binnen het lichtspectrum Nabij Infra Rood), zoveel mogelijk proberen te weren. (Waaijenbergh & Marissen, 2004)

Op aanraden van Bart Kolkman is gekeken naar glas als tweede gevel. Hierbij hangt de g-waarde van de glasplaat af van de dikte en de bewerking. Ter vergelijking bezit simpel glas een warmtegeleidingscoëfficiënt van $\lambda = 0,93 \text{ W/mK}$. (Verkerk, et al., 1998) Daarentegen bezit polycarbonaat een warmtegeleidingscoëfficiënt van $\lambda = 0,21 \text{ W/mK}$. (Macrolux, Unknown) Het is zaak een gevel te vervaardigen met een zo hoog mogelijke g-waarde.

4 Programma van Eisen

Naar aanleiding van de gedane analyses, is een Programma van Eisen opgesteld. Ook is het Programma van Eisen gedurende het ontwerptraject aangevuld en aangepast, waardoor de volgende eisen zijn ontstaan.

4.1 Eisen

Algemene eisen

1. De Smart Cube is opgebouwd uit de materialen en componenten van de betrokken partijen
2. Het gebouw is opgebouwd door meerdere segmenten aan elkaar te koppelen
3. Er zijn verschillende soorten segmenten beschikbaar

Gebruik

4. De Smart Cube kan ingezet worden als kantoor
5. De Smart Cube kan in verschillende situaties ingezet worden, buiten de genoemde hoofdsituatie
6. De segmenten kunnen zonder het toebrengen van beschadigingen gedemonteerd en hergebruikt worden
7. De unit moet volledig gedemonteerd kunnen worden waardoor materialen gescheiden ingezameld kunnen worden
8. De afmetingen van de Smart Cube voldoen aan de geldende normen voor werkplekken
9. De Smart Cube moet minimaal 20 jaar onderhoudsvrij zijn

Fabricage

10. Elk segment wordt volledig in de werkplaats gefabriceerd

Transport

11. De Smart Cube moet voldoen aan de geldende vervoersnormen

Wetten en normen

12. De Smart Cube voldoet aan de in het bouwbesluit gestelde normen
 - Er is waterafvoer aanwezig
13. De brandveiligheid voldoet aan de geldende normen

Vormgeving

14. De Smart Cube heeft in haar markt een onderscheidende uitstraling
15. De Smart Cube roept de volgende associaties op:
 - Modern
 - Vooruitgang
 - Energievriendelijk
 - Efficiënt
 - Degelijk

Ergonomie

16. Voor het aan elkaar koppelen van segmenten is geen opleiding benodigd
17. Deuropeningen voldoen aan de normen van aangepaste woningen
18. Elektrische verbindingen zijn zonder demontage van de segmenten door te lussen

Energie

19. Het gebruik van kunstmatige elektriciteit wordt door de inzet van PV-cellen tot een minimum beperkt
20. Het gebruik van gas wordt door de inzet van Sandwichpanelen tot een minimum beperkt.
21. De Smart Cube slaat haar overtollige opgewekte elektrische energie op
22. De Smart Cube slaat haar overtollige opgewekte thermische energie op
23. Door de inzet van isolatie en warmtewisselaars wordt het warmteverlies zo veel mogelijk beperkt
24. Elektriciteitsvoorzieningen voldoen aan de geldende normen
25. De Smart Cube is opgebouwd uit herbruikbare materialen en componenten

Comfort

26. De binnentemperatuur van de Smart Cube is gedurende het jaar constant
27. De ventilatie binnen de ruimte voldoet aan de geldende normen
28. De warmte uit de binnenruimte wordt hergebruikt
29. De inval van daglicht voldoet aan de geldende normen
30. De verlichting van de ruimte voldoet aan de geldende normen

Opties

1. Het aantal typen segmenten wordt uitgebreid
 - a. Segmenten met twee verdiepingen
 - i. Gevolg: trapsegment
 - b. Segment zonder achterkant
2. De toegang tot de deuropening voldoet aan de normen van aangepaste woningen

4.2 Toelichting

Sommige van de gestelde eisen spreken voor zich en behoeven geen extra uitleg, andere gestelde eisen dienen echter wel kort te worden toegelicht.

Algemene eisen

1. De Smart Cube is opgebouwd uit de materialen en componenten van de betrokken partijen
 - ✓ Triple Solar Sandwichpaneel
 - ✓ Bicell
 - ✓ Permavoid®
 - ✓ Zonnecellen
 - ✓ Aerogel

Gebruik

6. De segmenten kunnen zonder het toebrengen van beschadigingen gedemonteerd en hergebruikt worden

Het project betreft een tijdelijk kantoor. Het betreft hier over het algemeen een gebruik van enkele maanden tot 5 jaar. Aangezien dit aanzienlijk korter is dan de levensduur van een unit, moet deze opnieuw ingezet kunnen worden, om wel de totale levensduur van de unit volledig te benutten.

8. De afmetingen van de Smart Cube voldoen aan de geldende normen voor werkplekken (arbo)

Een kantoorruimte bestemd voor een persoon moet ten minste de afmetingen 1,8 x 1,8 x 2,6 meter (l x b x h) hebben. (Agterberg, Heer, Verkerke, & Ketel, 2008)

Fabricage

10. Elk segment wordt volledig in de werkplaats gefabriceerd

Door het prefabriceren van grote onderdelen, zal er minder materiaal naar de bouwplaats vervoerd hoeven worden, waardoor vervuiling door transport beperkt wordt. Verder kan gecontroleerder met materialen gewerkt worden, waardoor minder afval ontstaat en meer materiaal hergebruikt kan worden, waardoor het afval beperkt wordt.

Transport

11. De Smart Cube moet voldoen aan de geldende vervoersnormen

Doordat het een tijdelijk gebouw betreft, die meerdere keren inzetbaar moet zijn en met zo min mogelijk moeite geplaatst moet kunnen worden, moet deze zo veel mogelijk in een geheel vervoerd worden. Volgens de reglementen van het RDW wat betreft maten en gewichten, is geen ontheffing nodig voor ondeelbare ladingen met de maximale afmetingen: 22 x 3 meter. De maximale hoogte die geldt voor een ondeelbare lading, inclusief voertuig, is 4 meter. Het maximale gewicht ligt op de 50.000 kg. (RDW, 2011)

Ergonomie

16. Voor het aan elkaar koppelen van segmenten is geen opleiding benodigd

Om het snelle, flexibele karakter van de Smart Cube zo veel mogelijk te realiseren, moet de Smart Cube zo eenvoudig en snel mogelijk geplaatst kunnen worden.

17. Deuropeningen voldoen aan de normen van aangepaste woningen

Hierbij gelden de minimale afmetingen van 0,9 x 2,3 m.

18. Elektrische verbindingen zijn zonder demontage van de segmenten door te lussen

Om de elektriciteitsvoorzieningen van de segmenten ook met elkaar te verbinden, zal (een deel) van de elektrische verbindingen pas op de bouwplaats doorgelust worden. Het is hierbij niet gewenst de segmenten weer te moeten demonteren om dit te kunnen realiseren, aangezien dat het voordeel van het prefabriceren in de werkplaats weer teniet zou doen.

Energie

21. De Smart Cube slaat haar overtollige opgewekte elektrische energie op

De Smart Cube moet voldoende energie op kunnen slaan, om geen tekort aan elektriciteit te hebben in zonarme periodes van 3 weken.

22. De Smart Cube slaat haar overtollige opgewekte thermische energie op

De Smart Cube moet voldoende energie op kunnen slaan, om een geheel jaar de temperatuur van de Smart Cube constant te houden.

Comfort

27. De ventilatie binnen de ruimte voldoet aan de geldende normen

Volgens Artikel 3.46 Tabel 3.46.1 van het bouwbesluit moet een ruimte die plaats biedt aan 1 persoon een minimale ventilatie van $1,3 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2 hebben. (VROM (2), 2003)

29. De inval van daglicht voldoet aan de geldende normen

Volgens Artikel 3.133 Tabel 3.133 van het Bouwbesluit 2003 moet een kantoor minimaal een raamoppervlak van 2,5% van het vloeroppervlak bezitten, met een minimum van $0,5 \text{ m}^2$. (VROM, 2003)

5 Conceptontwikkeling

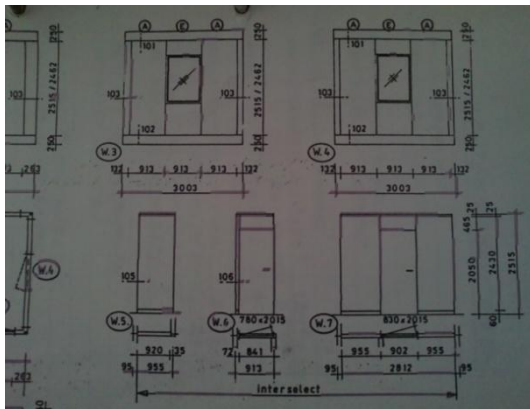
De conceptontwikkeling was een zeer iteratief proces. Door dit iteratieve proces, heeft niet een heel duidelijk conceptontwerp plaats gevonden en zijn niet echt specifieke concepten gevormd, waaruit gekozen is. Gaande het proces zijn overwegingen gemaakt, waaruit bepaalde keuzes zijn voortgekomen, die het uiteindelijke ontwerp hebben bepaald. In dit hoofdstuk zal de conceptontwikkeling besproken worden. Het proces is globaal in drie categorieën onder te verdelen; de vormgeving, de constructie en de functies. Door het iteratieve proces kan het voorkomen dat sommige ontwikkelingen bij het ene deel al bekend zijn, terwijl de keuze pas later in het verslag wordt toegelicht. Gemaakte schetsen zullen dan ook bij hun bijbehorende onderwerp getoond worden. In Bijlage VII - Schetsen zijn nog enkele schetsen opgenomen die of in het uiteindelijke ontwerp niet meer van belang waren, of verder geen toegevoegde waarde meer hadden op het verhaal.

VORMGEVING

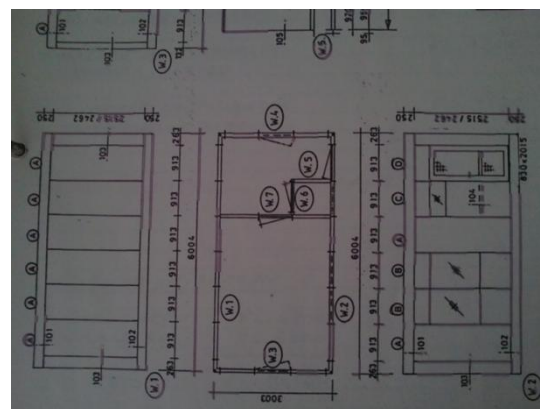
5.1 Ontwerp

Met de verschillende eisen en voorgeschreven materialen als leidraad, zijn schetsen en modellen gemaakt om tot een uiteindelijk concept te kunnen komen. Ook is een containerontwerp van het bedrijf Interwand gebruikt als handvat. (Afbeelding 5.1-a en Afbeelding 5.1-b)

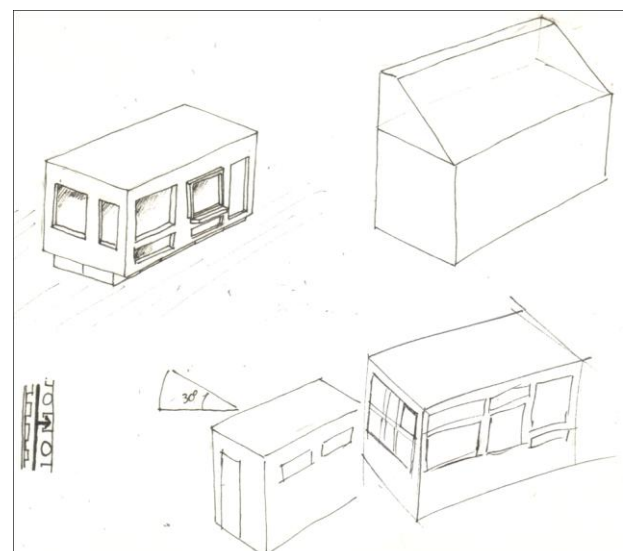
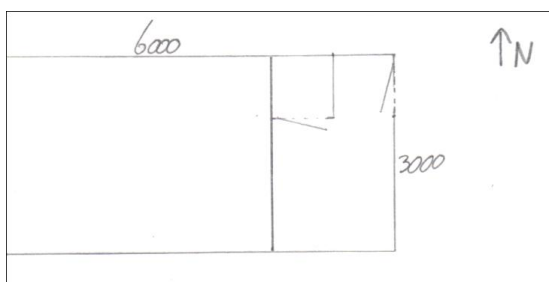
Algemene vormgeving



Afbeelding 5.1-a Tekeningen container Interwand



Afbeelding 5.1-b Tekeningen container Interwand



Dak

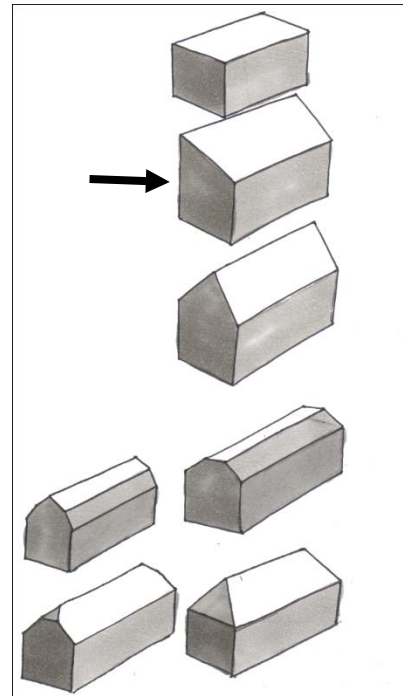
Bij de keuze voor het type dakschild, is de keuze gevallen op het lessenaarsdak, zoals op Afbeelding 5.1-a te zien is, tweede van boven. De toepassing van dit type dak zal ervoor zorgen dat het oppervlak dat zon kan opvangen het grootst is. Op deze manier zal ook de energiewinst op zijn hoogst zal zijn. Volgens de simulaties die Bart Kolkman heeft uitgevoerd, is hierbij een hoek van 20° optimaal, om het rendement van zonnepanelen en de Sandwichpanelen zo hoog mogelijk te krijgen.

Bassin

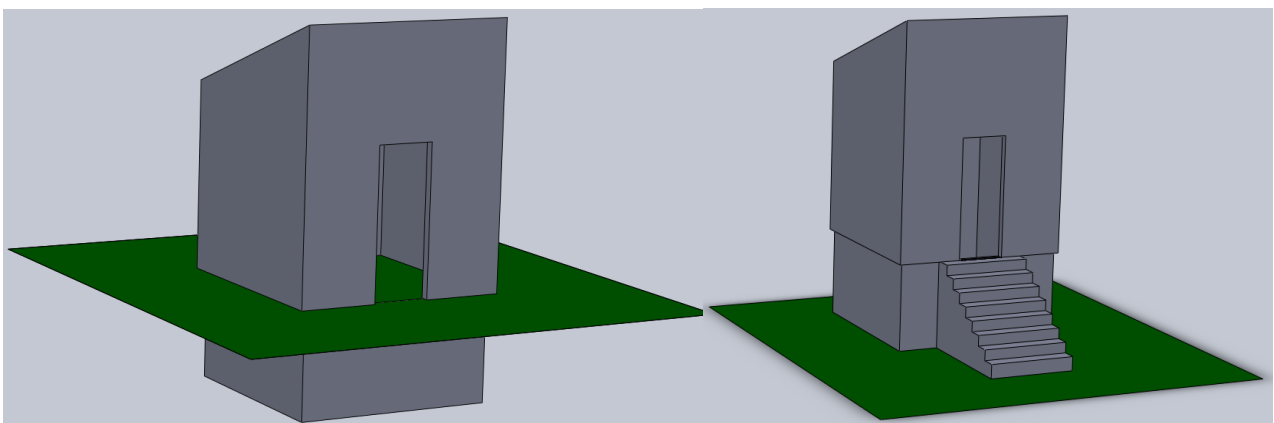
Er is gekeken naar de positionering van het bassin. Vanwege de grote draagkracht van de Permavoids® die het bassin vormen, kan de Smart Cube goed bovenop het bassin geplaatst worden. Hiermee ontstond echter de vraag of het bassin boven of onder de grond geplaatst moest worden. (Afbeelding 5.1-b) Uiteindelijk is de keuze gemaakt het bassin boven de grond te plaatsen, zoals rechtsonder zichtbaar is. Op deze manier kunnen de zonnecollectoren van de Sandwichpanelen helemaal doorlopen langs de zijwanden van het bassin. Dit geeft twee voordelen:

- Het oppervlak van de zonnecollectoren wordt vergroot, waardoor de warmtewinst vergroot wordt
- De Sandwichpanelen doen dienst als isolatie van het bassin

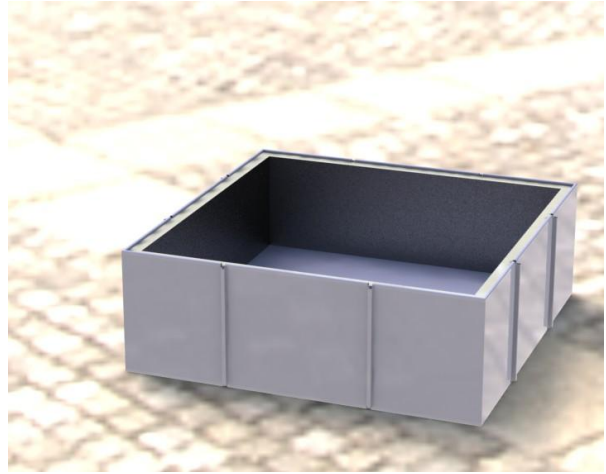
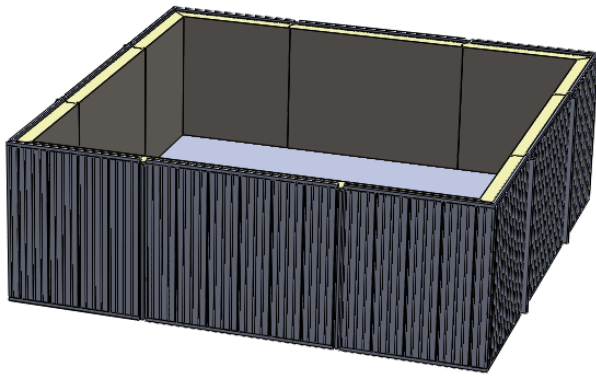
De keuze voor een bassin boven de grond heeft als gevolg dat er tevens een trap naar de deur moet leiden, waarvoor een aantal ontwerpen op de volgende pagina in Afbeelding 5.1-d te zien zijn.



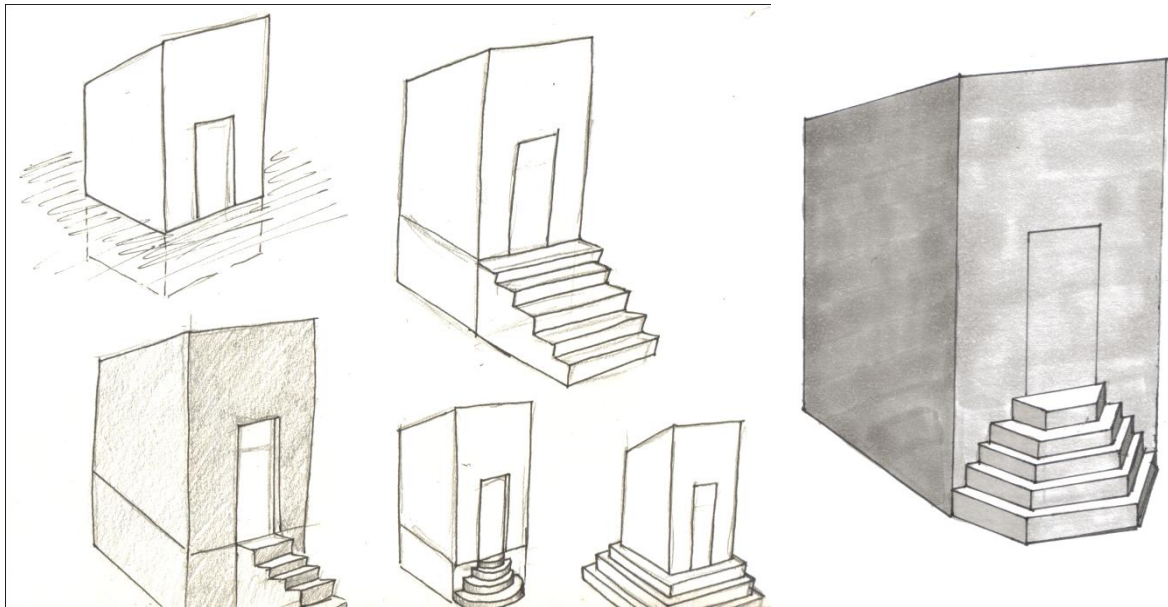
Afbeelding 5.1-a Daken



Afbeelding 5.1-b Bassin onder de grond (l) en boven de grond (definitieve keuze)



Afbeelding 5.1-c Waterbassin



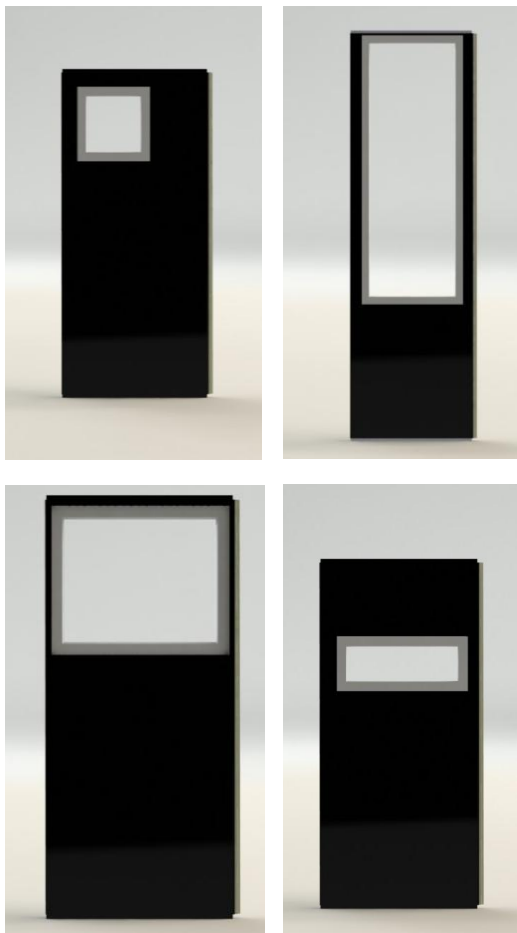
Afbeelding 5.1-d Trapconcepten

Ramen

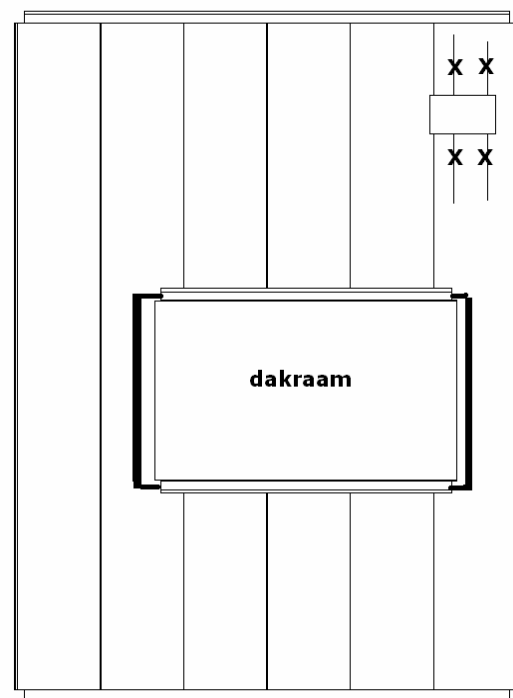
De ramen van de Smart Cube zijn niet alleen belangrijk met betrekking tot isolatie, maar ook dragen ze veel bij aan de uitstraling van een gebouw. Er is gekeken naar een aantal verschillende mogelijkheden wat betreft de verwerking van ramen in de Smart Cube. (Afbeelding 5.1-e) Naar aanleiding hiervan is ervoor gekozen voornamelijk verticale ramen in te zetten, zoals hiernaast te zien is. De keus hiervoor heeft niet alleen een esthetische waarde, maar ook een functionele. Doordat er enkele collectorbuizen van de Sandwichpanelen onderbroken of verwijderd worden voor de plaatsing van een raam, is het wenselijk toch zo veel mogelijk collectoreigenschap van het Paneel te behouden. Door het plaatsen van verticale ramen, zullen er slechts enkele buizen hun functie verliezen, terwijl een horizontaal raam met hetzelfde oppervlak meer buizen zal onderbreken, waardoor een groter deel van de collectoreigenschap van het Paneel verloren gaat.



Het is eventueel wel mogelijk een bypass aan te leggen, om twee panelen, om een raam heen, met elkaar te verbinden. Het raam moet hierbij echter wel de breedte van een, of een veelvoud van een volledig Sandwichpaneel hebben. Hoe dit schematisch in elkaar zit, is te zien op Afbeelding 5.1-f.



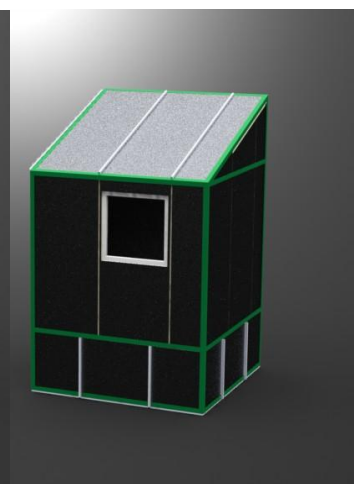
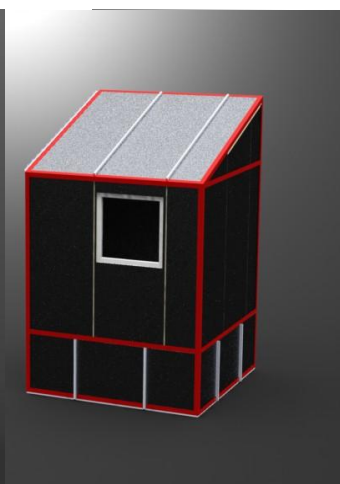
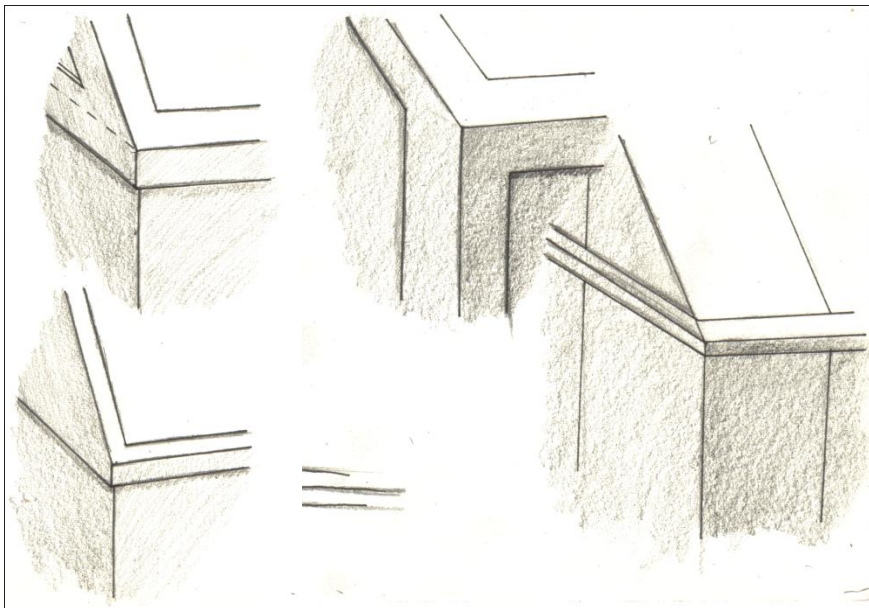
Afbeelding 5.1-e raamconcepten



Afbeelding 5.1-f Bypass

Hoeken

Om de verbindingen tussen Sandwichpanelen op de hoeken en ribben te verstevigen, zal een soort kraag om de Smart Cube geplaatst worden. Deze kraag zal niet alleen stevigheid bieden, maar zal ook de naden waterdicht maken. Ook zullen hierachter ruimtes open blijven, waar de verbindingen tussen de Sandwichpanelen en het bassin en de kabels tussen de PV-panelen en de accu's doorheen lopen. Op deze pagina zijn een aantal afbeeldingen zichtbaar, waarbij de kraag te zien is. Er is gekeken naar de optie deze op een esthetische wijze zichtbaar te maken, door hem bijvoorbeeld een opvallende kleur te geven. Op het moment wordt er echter voor gekozen een zwarte kraag toe te passen, de klant behoudt echter wel de mogelijkheid te kiezen voor een esthetische kraag.



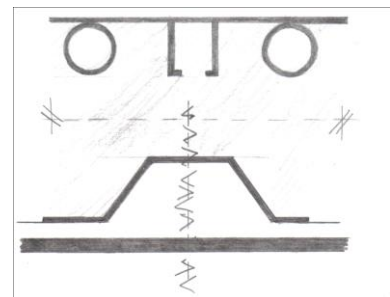
CONSTRUCTIE

5.2 Constructie

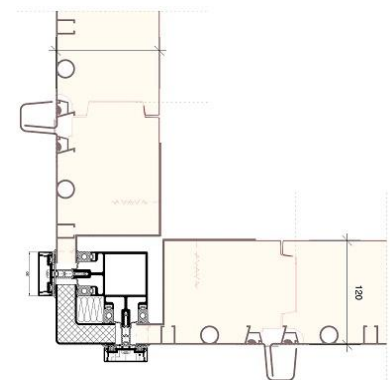
Draagconstructie

Om het warmteverlies van de Smart Cube zo klein mogelijk te maken, moeten koudebruggen en warmtelekken zo veel mogelijk voorkomen worden. Een onderdeel van de Smart Cube waar het gevaar op koudebruggen zeer groot is, is de draagconstructie van de Smart Cube. Bij de keuze voor een constructie, zal hier dus goed rekening mee gehouden moeten worden. Voor de constructie van de Smart Cube zijn verschillende oplossingen overwogen:

- 'Normale' skeletbouw: Een stalen frame, waar de wanden en het dak aan bevestigd worden. Hierbij zullen veel koudebruggen ontstaan, doordat de wand door en door aan het frame bevestigd zal moeten worden. Het is echter mogelijk w-profielen in de staalplaat aan de achterkant van het Paneel mee te schuimen, waardoor de verbinding met de staalconstructie niet meer door het gehele Sandwichpaneel hoeft. (Afbeelding 5.2-a)
- Pultrusie constructie: Een kunststof frame, vervaardigd door middel van pultrusie, waar de wanden en het dak aan bevestigd worden
- Extern skelet: Door het toepassen van een extern skelet, zullen koudebruggen (zo veel mogelijk) voorkomen worden. Een mogelijke manier om dit te bereiken, is door het toepassen van een kozijnsysteem. Een vliesgevel systeem zou, door de grote draagkracht, een geschikte mogelijkheid zijn. De Sandwichpanelen worden in de profielen van de vliesgevel bevestigd, alsof het ramen betreft. (Afbeelding 5.2-b Vliesgevelsysteem als skelet) Over de werking van een vliesgevel is in Bijlage VIII meer te lezen.
- Zelfdragend: De Sandwichpanelen worden zelf als constructie gebruikt, de verschillende panelen worden aan elkaar verbonden, zodat ze elkaar op de juiste plek houden.



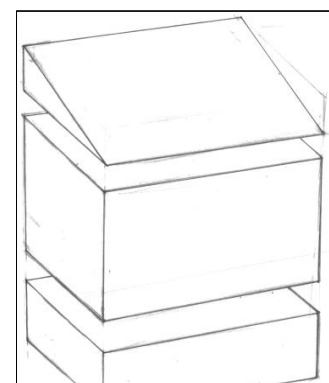
Afbeelding 5.2-a w-Profiel Sandwichpaneel



Afbeelding 5.2-b Vliesgevelsysteem als skelet

Opbouw

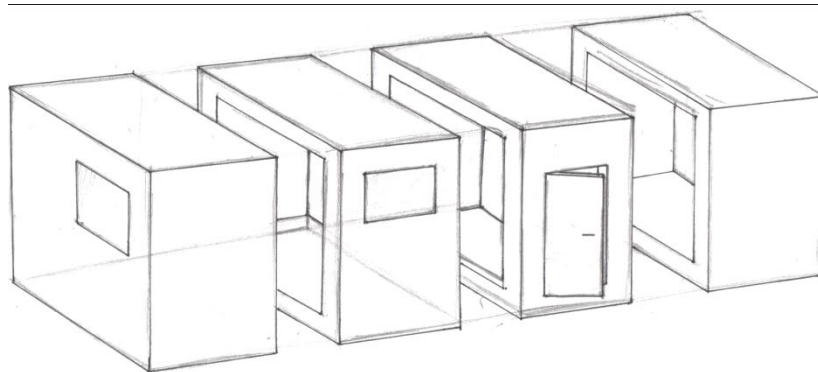
Buiten de algemene constructie moet ook de afweging gemaakt worden de Smart Cube als complete module af te leveren, of om deze uit meerdere losse systemen te laten bestaan. Beide alternatieven hebben hun voor- en nadelen. Door de Smart Cube uit een complete prefab module te laten bestaan, zal deze op de bouwplaats niet meer in elkaar gezet hoeven te worden. Echter zal dit wel betekenen dat extra rekening gehouden zal moeten worden met de regels die aan het vervoer van de unit vast zitten. Door de Smart Cube uit losse systemen



Afbeelding 5.2-c

te laten bestaan, zal de uiteindelijke Smart Cube minder beperkt worden in zijn afmetingen. Een nadeel is echter, dat de systemen op de bouwplaats nog aan elkaar gekoppeld moeten worden.

Het opdelen van de Smart Cube in losse systemen kan op verschillende manieren. De eerste mogelijkheid is door de Smart Cube in de hoogte in meerdere systemen op te delen, door bijvoorbeeld het bassin, de ruimte zelf en het dak drie losse systemen te maken, zoals in Afbeelding 5.2-c. Een tweede mogelijkheid is om de Smart Cube in de lengte op te delen. Zoals te zien in Afbeelding 5.2-d.



Afbeelding 5.2-d

Keuze

Constructie

De wanden van de Smart Cube zullen zo veel mogelijk zelfdragend zijn. Hier is voor gekozen, ten eerste omdat deze vorm van construeren ervoor zorgt dat er zo min mogelijk van de constructie zichtbaar is. In de analyse was dit aangeduid als een van de redenen waardoor het huidige aanbod haar regelmatige uitstraling geeft. Verder zal deze vorm van bouwen ook de hoeveelheid koudebruggen zo veel mogelijk beperken, door het ontbreken van een stalen constructie waaraan de muren bevestigd moeten worden.

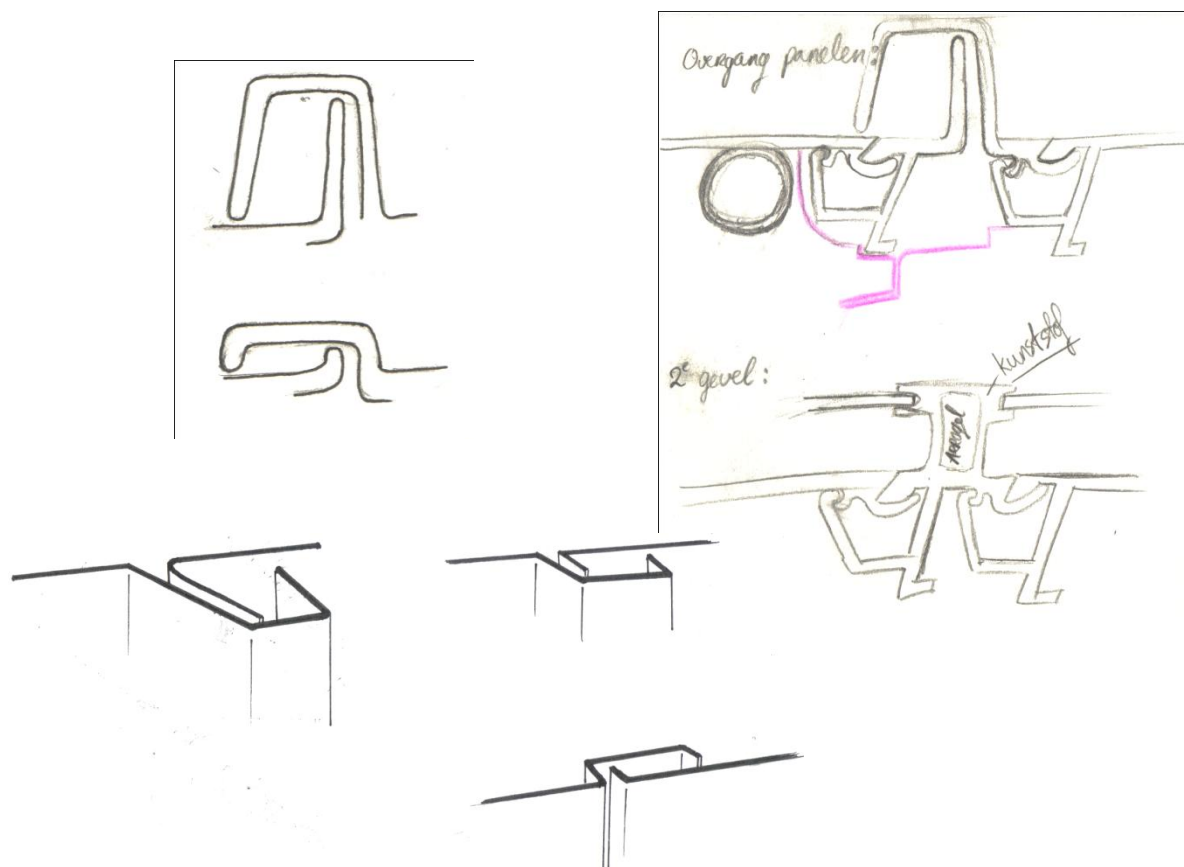
Opbouw

De Smart Cube zal opgebouwd worden uit verschillende losse segmenten. Hierbij zullen de segmenten zijn opgebouwd zoals in Afbeelding 5.2-d. Er zal een standaard segment ontworpen worden, waarbinnen verschillende variaties mogelijk zijn, die door de standaard opzet onderling te combineren zijn. Dit zal ervoor zorgen dat de klant de Smart Cube zo veel mogelijk naar de eigen wensen samen kan stellen. Door het splitsen van de Smart Cube in meerdere segmenten, wordt het vervoer van de Smart Cube eveneens vergemakkelijkt. Dit door de maximale vervoersafmetingen die bij wet gesteld zijn, die minder als belemmering ervaren zullen worden. Bassin, ruimte en dak zullen als een geheel gemonteerd kunnen worden, waarna op de bouwplaats de segmenten aan elkaar gemonteerd zullen worden.

Rek en krimp

Een ander bijkomend voordeel van het opbouwen van de Smart Cube uit losse segmenten, is dat eventuele rek en krimp van de wanden beter opgevangen kan worden. Zoals eerder gezegd, zullen de buitenwanden te maken krijgen met grote temperatuursverschillen, waardoor rek en krimp op zal treden. De opbouw uit subsystemen, zal de dilatatieprofielen tussen de panelen ondersteunen in het opvangen van deze rek en krimp en de doorwerking hiervan op de andere wanden voorkomen. In

Afbeelding 5.2-e is gekeken naar mogelijke alternatieve dilatatieprofielen en deze eventueel te combineren met de bevestiging van de tweede gevel.



Afbeelding 5.2-e Dilatatatieprofielen

FUNCTIES

5.3 Apparatuur: CV-pomp, Arduino-computer, Sensoren

Om alle processen binnen de Smart Cube goed te laten verlopen en om controle uit te oefenen op het klimaat binnen de Smart Cube te controleren en daar wanneer nodig adequaat op te reageren, zijn een aantal ondersteunende apparaten noodzakelijk. Eerder in het verslag zijn al de studies naar de energieopslag, de zonwering en de ventilatie van de Smart Cube behandeld, hieronder worden de resultaten van het onderzoek naar de andere benodigde apparaten besproken, maar ook de conclusies van de eerder behandelde onderwerpen.

CV-pomp

Voor het rondpompen van het water/glycol mengsel door de buizen in de wanden en het dak is een CV-pomp benodigd. Deze zal het koude mengsel van onderuit het bassin door de Sandwichpanelen pompen, waarna het opgewarmde mengsel bovenin het bassin terugkomt. Wanneer nodig, zal de CV-pomp ook verwarmd water/glycol vanuit het bassin door de Sandwichpanelen van de vloerverwarming pompen.

Sensoren

Om alle temperatuursveranderingen binnen de Smart Cube bij te houden, zodat waar nodig verkoelende of verwarmende maatregelen genomen kunnen worden, zullen temperatuursensoren geplaatst moeten worden. Deze sensoren zullen op verschillende plaatsen binnen de Smart Cube geplaatst worden, namelijk:

- binnen de gebruiksruimte van de Smart Cube:
Naar aanleiding van de waarnemingen van deze sensor, kan gereageerd worden wanneer de temperatuur afwijkt van de gewenste 20°C. Voor het geval de vloerverwarming geactiveerd is, moeten deze sensor niet te laag bij de grond geplaatst worden, aangezien de temperatuur daar hoger zal zijn. Om deze zelfde reden moet de sensor ook buiten de lichtinval van de ramen geplaatst worden.
- onder- en bovenin het bassin:
Deze sensoren moeten geplaatst worden om een goed beeld te krijgen van de temperatuur die het bassin heeft, maar ook van het temperatuursverschil binnen het bassin.
- onder- en bovenin de Sandwichpanelen:
Deze sensoren zullen de efficiëntie van de Sandwichpanelen op verschillende momenten waarnemen, zodat daar eventueel op gereageerd kan worden.

Ventilatie

In de Smart Cube zal gebruik gemaakt worden van balansventilatie. Deze manier van ventileren kan automatisch geregeld worden, waardoor de ventilatie optimaal aan het gebruik van de ruimte aangepast wordt. Doordat op deze manier overbodige ventilatie en een te kort aan ventilatie voorkomen wordt, zal hiermee energie bespaard worden.

De balansventilatie zal uitgerust moeten worden met een warmtewisselaar. Deze zorgt ervoor dat de warmte van de afgevoerde lucht gebruikt wordt voor de verwarming van de verse, inkomende buitenlucht. Dit voorkomt dat er warmte uit de Smart Cube naar buiten verloren zal gaan, waardoor energie bespaard wordt. Het systeem moet echter ook met een bypass uitgerust worden. Deze bypass zorgt ervoor dat de aangevoerde lucht in warmere maanden niet wordt voorverwarmd.

Om dit systeem optimaal te laten werken, is het wel zeer belangrijk dat het goed wordt onderhouden. Dit voorkomt dat de capaciteit van het ventilatiesysteem achteruit gaat, evenals geluidshinder, maar bovenal voorkomt het dat bacteriën en schimmels zich in het systeem ophopen en zo met de verse lucht naar binnen worden geblazen.

Zonwering

De optimale zonwering voor de Smart Cube bestaat uit een rolluik met een geïntegreerd zonnescherf, beiden mechanisch aangedreven. Op deze manier kan op elk moment ingespeeld worden op het type zonwering dat op dat moment gewenst is en kan wanneer nodig het koudelek van het kozijn zo veel mogelijk beperkt worden.

Arduino-computer

Om alle data van de sensoren te verwerken en op de juiste manier op deze data te reageren, zal een Arduino-computer geplaatst worden binnen de Smart Cube. Deze computer ontvangt alle data van de sensoren en analyseert deze. Indien de ontvangen waardes niet aan de gestelde eisen voldoen, zal de computer ervoor zorgen dat waar nodig maatregelen genomen worden. Dit zal gebeuren door de aansturing van de CV-pomp, de balansventilatie en de zonwering.

6 Detailontwerp

In dit hoofdstuk zullen alle onderdelen en beslissingen die in het verslag naar voren zijn gekomen nog een keer kort worden toegelicht evenals details en beslissingen die nog niet eerder naar voren zijn gekomen. Op deze manier wordt een duidelijk overzicht gegeven van het totale concept. Ook zal hier het uiteindelijke vormgevingsontwerp getoond worden.

6.1 Verdere uitwerking/detailering/onderbouwing

Vloer (verwarming)

De vloer zal gevormd worden door Solar Sandwichpanelen, die op deze manier zowel dienst kunnen doen als isolatie van het bassin, als dienst kunnen doen als vloerverwarming van de ruimte.

Verbindingen

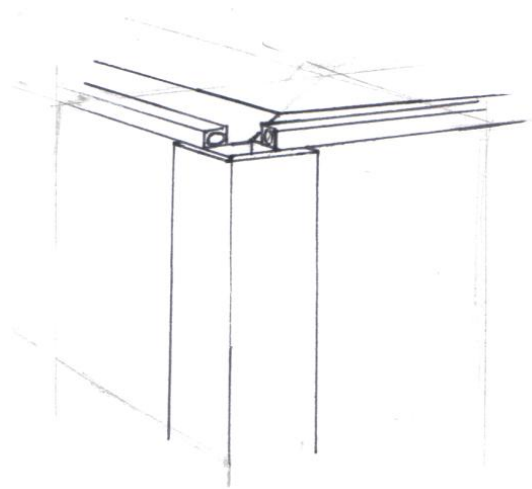
Wanden en dak

De rechte hoeken van de wanden zullen verstek aan elkaar verbonden worden. Dit zal ook gelden voor de verbinding van het dak met de zijwanden. Hierbij zal niet de gehele zijkant van de panelen verstek gezaagd worden, zodat er een ruimte overblijft om leidingen tussen de headerpijpen van de Sandwichpanelen en het bassin te kunnen plaatsen, zoals te zien in Afbeelding 6.1-a.

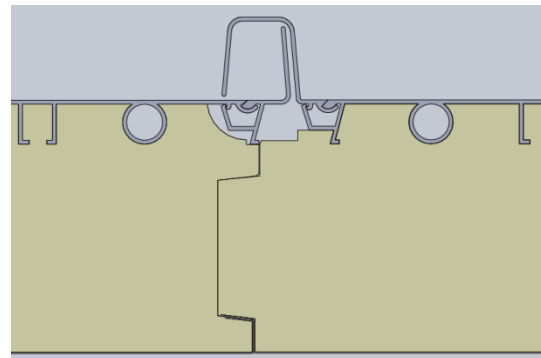
De panelen in een rechte wand zullen in elkaar geschoven worden. Aan de buitenwand zullen de Sandwichpanelen aan elkaar verbonden worden zoals de standaard is. (Afbeelding 6.1-b)

Aan de buitenkant van hoeknaden zal een stalen 'L-profiel', de kraag, bevestigd worden, zoals ook te zien is in Afbeelding 6.1-a. De kragen van aangrenzende segmenten zullen met elkaar verbonden worden door een overlappend profiel, zoals te zien in Afbeelding 6.1-c.

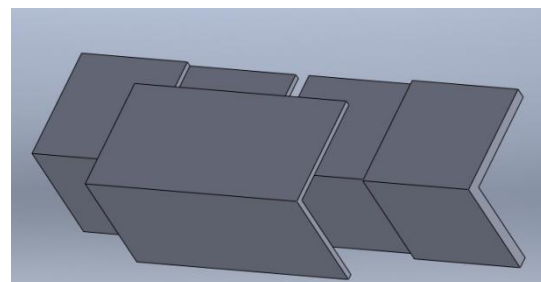
Het dak wordt als het ware op de buitenwanden gehangen. Hier zullen aan de uiteinden uitsparingen in het isolatiemateriaal worden mee geschuimd, die met staal bedekt zijn. (Afbeelding 6.1-d)



Afbeelding 6.1-a Verstek verbinden hoekpanelen

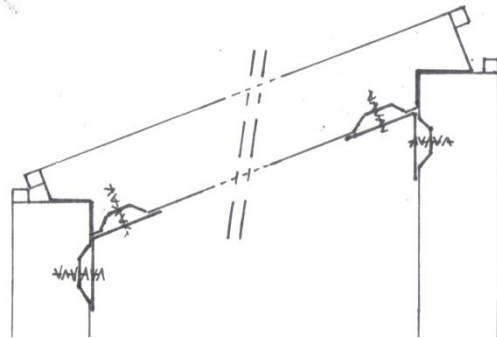


Afbeelding 6.1-b Verbinding Sandwichpanelen



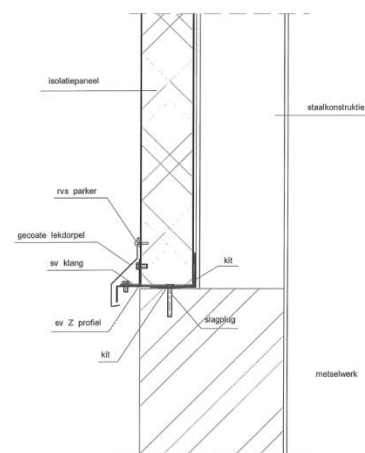
Afbeelding 6.1-c Verbinding kraag

Aan de binnenkant zullen alle hoeknaden versterkt worden met stalen 'L'-profielen, vergelijkbaar met de kraag aan de buitenkant. Onderling zullen de panelen op deze manier ook op dezelfde manier als in Afbeelding 6.1-c verbonden worden. De L-profielen zullen aan de Sandwichpanelen bevestigd worden door middel van koudebrug vrije verbindingen, gerealiseerd door meegeschuimde w-profielen in de Panelen, zoals te zien in Afbeelding 6.1-d.



Afbeelding 6.1-d Ophanging dak

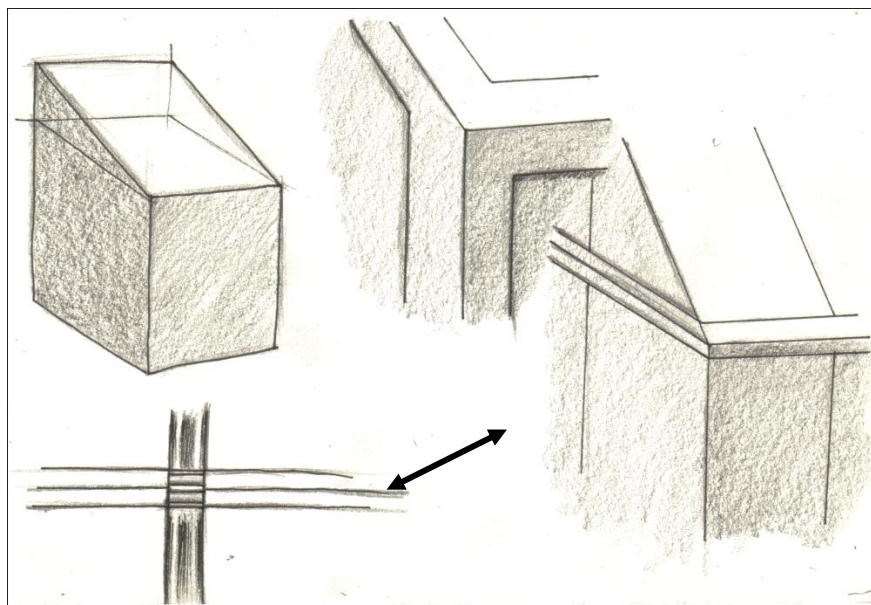
De Sandwichpanelen van de wanden, zullen aan de bodem bevestigd worden, door ze in een U profiel, bevestigd aan de ondergrond, te plaatsen. Aan de buitenzijde wordt vervolgens een kitnaad aangebracht, waarna een lekdoorpel bevestigd wordt, om lekwater om te leiden. (Afbeelding 6.1-e Bevestiging Sandwichpaneel aan bodem)



sv klang 2 per paneel niet op de paneelnaad

Afbeelding 6.1-e Bevestiging Sandwichpaneel aan bodem

Aangezien de zijwanden van de Smart Cube aansluitend aan het dak schuin lopen kan de headerpijp niet aan de Panelen bevestigd worden om het water/glycol mengsel door de buizen van de Sandwichpanelen te laten lopen. Om die reden zal de zijwand zijn opgebouwd uit twee delen; het eerste gedeelte zal normaal uit Sandwichpanelen bestaan, aangesloten op het bassin. Dit gedeelte zal lopen tot aan de hoogte waar het dak begint. Daar bovenop zullen ook Sandwichpanelen geplaatst worden, maar doordat deze aan de bovenkant schuin afgesneden worden, zullen deze niet op het bassin aangesloten worden. (Afbeelding 6.1-f)

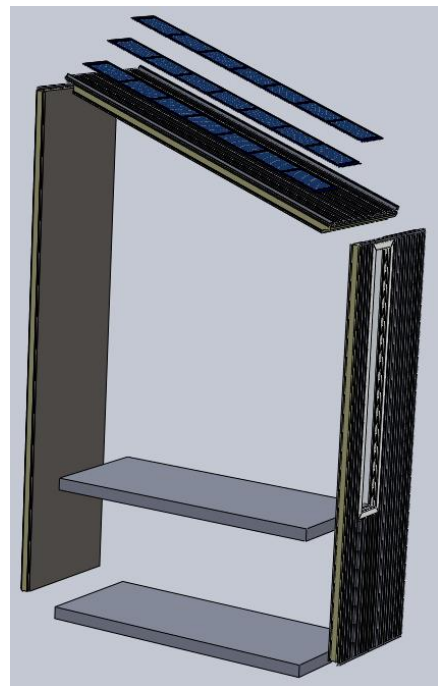
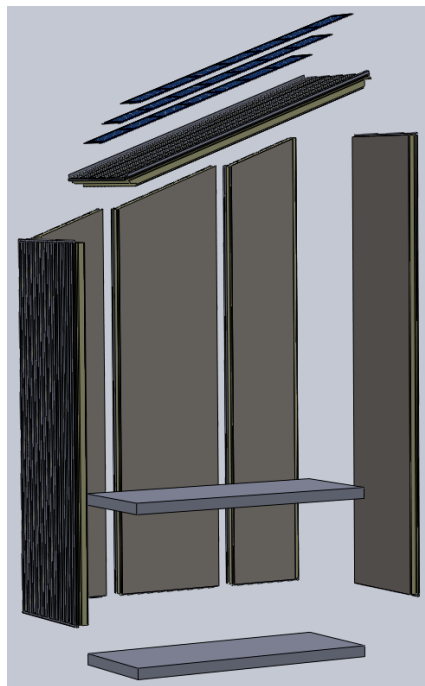
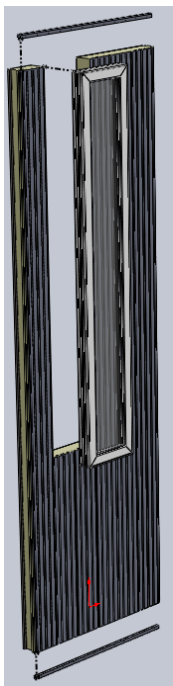


Afbeelding 6.1-f

Assemblage

Door de keuze de Smart Cube uit segmenten op te bouwen, zal niet het gehele gebouw in de werkplaats vervaardigd kunnen worden. In de werkplaats zullen de losse segmenten gemonteerd worden, eventueel zullen twee segmenten reeds aan elkaar verbonden worden (zie uitleg hierover onder het kopje 'Vervoer' later in dit hoofdstuk). Per segment zal de montage binnen de werkplaats inhouden, dat de volgende onderdelen geassembleerd worden:

- Bodem
- Bassin
- Vloer
- Voorwand
- Achterwand
- Zijwand (indien van toepassing)
- Dak
- Kraag
- Raam (indien van toepassing)
- Deur (indien van toepassing)
- Verbindingen tussen systemen (indien twee systemen aan elkaar gemonteerd worden)



Op de bouwplaats zelf zullen vervolgens de systemen aan elkaar en op een betonnen vloerplaat gemonteerd worden. Op de bouwplaats zullen vervolgens ook de tweede gevel, de dakgoot en de trap aan de Smart Cube toegevoegd worden.

Vervoer

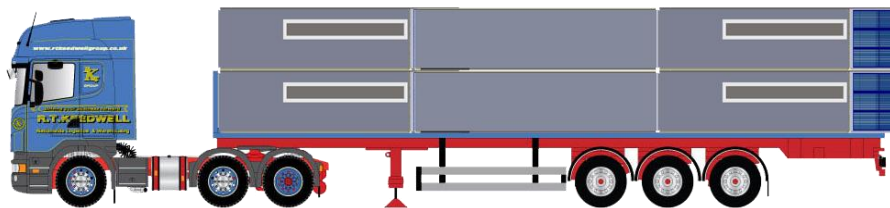
Zoals in de toelichting op het Programma van Eisen is gesteld, zijn de maximale afmetingen voor een ondeelbare lading, zonder ontheffing 3 x 22 m met een maximale hoogte van 4 m (incl. oplegger). Tijdens het ontwerpproces is echter besloten over te gaan op segmentbouw, waardoor het nu een deelbare lading betreft. Hiervoor geldt de maximaal toelaatbare breedte 2,55 m. Aangezien de modules van de Smart Cube een breedte hebben van 3 m, zoals in paragraaf 6.2 onder het kopje

afmetingen kenbaar wordt gemaakt, zullen er voor het vervoer incidentele ontheffingen aangevraagd moeten worden. (RDW (2), 2011) Voor deelbare ladingen is het namelijk niet mogelijk een langlopende ontheffing aan te vragen. (RDW (3), 2011)

Om de wijze van vervoer toe te lichten, zal een oplegger met de afmetingen: 14,00 x 2,50 x 1,10 m gebruikt worden. (AltéAd Devriendt, 2011) Door de lage opleggerhoogte, kunnen in de werkplaats reeds twee modules aan elkaar gemonteerd worden. De lading zal hierdoor een hoogte van $1,10 + 2 \times 1,20 = 3,50$ m krijgen. Om de modules zo efficiënt mogelijk te kunnen vervoeren, zullen ze om en om vervoerd worden, zie Afbeelding 6.1-g en Afbeelding 6.1-h. Deze manier van laden, zorgt ervoor dat er in de lengte drie modules passen, oftewel zes segmenten. Dit resulteert vervolgens in een lengte van $2 \times 4,98 + 3,89 = 13,85$ m.



Afbeelding 6.1-g Bovenaanzicht vervoer



Afbeelding 6.1-h Zijaanzicht vervoer

Plaatsing

De Smart Cube moet met het schuine dak op het zuiden gericht zijn. Dit zal zorgen voor een maximale opvang van zonnestraling, waardoor een maximaal rendement behaald wordt, zowel op het gebied van warmtewinning, als op het gebied van elektriciteitswinning.

Energieopslag

Warmte

Warmte zal opgevangen worden doordat de Sandwichpanelen opwarmen onder invloed van de zon en de omgevingstemperatuur. Het water/glycol mengsel dat erdoorheen stroomt, voert deze warmte af naar het bassin dat zich onder de vloer van de Smart Cube bevindt. Door de eigenschap van water dat het licht wordt, naarmate het warmer is, zal er binnen het bassin een gelaagdheid ontstaan, wat betreft temperatuur van het water.

Elektriciteit

Op het dak van de Smart Cube worden PV-cellen geplakt. De draden die de opgevangen energie afvoeren, zullen via de nok van het dak, en vervolgens via dezelfde ruimtes als de buizen naar het bassin, lopen naar de flow-batterij, alwaar de energie opgeslagen wordt.

Bassin

Het bassin, zal net als de rest van de Smart Cube, uit modules bestaan, onderling met elkaar verbonden door buizen. De verschillende compartimenten van het bassin zijn door middel van een laag EPDM-folie waterdicht gemaakt. Dit is een materiaal dat ook wordt toegepast om bijvoorbeeld daken waterdicht te maken. Een leverancier van EPDM-folie in de buurt van de regio Twente is bijvoorbeeld Interexpress uit Wezep. (Interexpress, 2011)

Doordat het bassin zich onder de vloer van de Smart Cube bevindt, maar boven de grond, zullen de wanden van de Smart Cube helemaal tot onderaan het bassin doorlopen. Dit zorgt ervoor dat de isolatie van het bassin aan de buitenwanden wordt gevormd door deze Sandwichpanelen. De isolatie bestaat daar dus uit 120 mm PU-schuim. Door de keuze te hebben gemaakt de Sandwichpanelen eveneens te gebruiken als vloerverwarming, zal ook de bovenkant van het bassin geïsoleerd worden door 120 mm PU-schuim. De bodem van het bassin zal geïsoleerd worden door 200 mm geëxpandeerd polystyreen.

Tweede gevel

Zoals eerder in het verslag aangegeven, zal een tweede, glazen gevel om de wanden van de Smart Cube geplaatst moeten worden, om zo het rendement van de Sandwichpanelen omhoog te brengen. Deze tweede gevel zal bestaan uit enkel, ijzervrij glas van 6 mm, dat bevestigd is binnen een vliesgevel systeem, dat eerder in het ontwerpproces ook als mogelijke constructieoplossing werd aangedragen. De keuze voor een dikte van 6 mm is gemaakt, door het feit dat hoe dunner het glas, hoe hoger de g-waarde en 6 mm de minimale glasdikte is voor dit type vliesgevel.

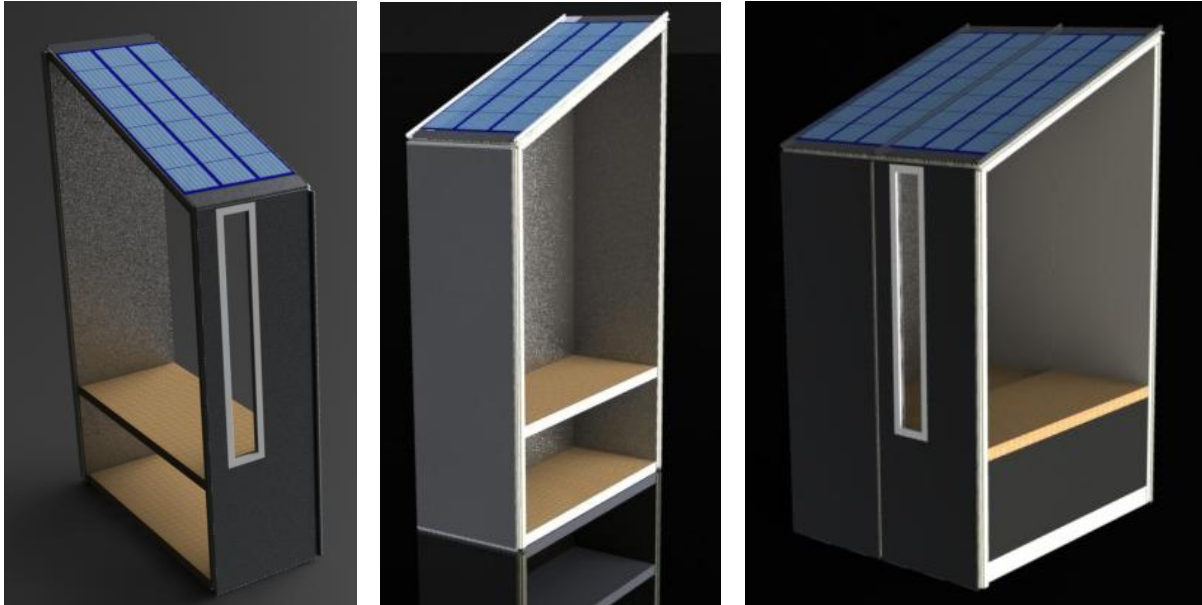
Afvoer (dakgoot)

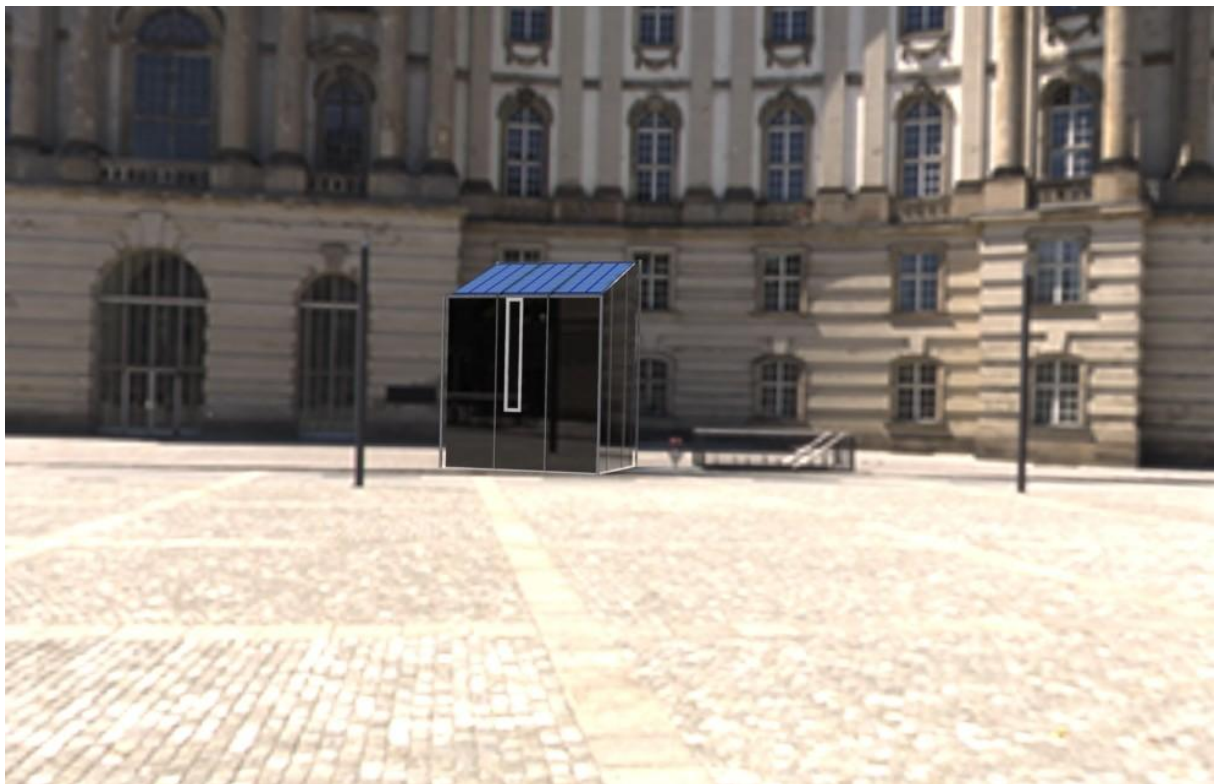
Om in tijden van regen het water van het dak af te voeren, zal een dakgoot geplaatst worden. Deze dakgoot komt onderaan het schuine dak en zal de gehele tussenruimte van de Smart Cube, tot aan de tweede gevel overbruggen. Op deze manier zal de dakgoot er dus tevens voor zorgen, dat er geen regen in deze tussenruimte zal vallen. De goot vanaf de dakgoot naar de bodem, zal zich achter de tweede gevel bevinden, op een hoekpunt, zodat deze zo min mogelijk in het zicht hangt, en zo min mogelijk zon vangt voor de Sandwichpanelen.

6.2 Eindontwerp

Plaatjes/renderers

In solidworks is de gehele Smart Cube op ware grootte geconstrueerd. Hierbij zijn ook onderdelen als de Sandwich Panelen naar realiteit en op ware grootte nagemaakt. Met deze onderdelen zijn vervolgens renders gemaakt van de Smart Cube in verschillende settingen. Ook zijn hier een aantal variaties op losse segmenten weergegeven, evenals een voorbeeld van twee verbonden segmenten.

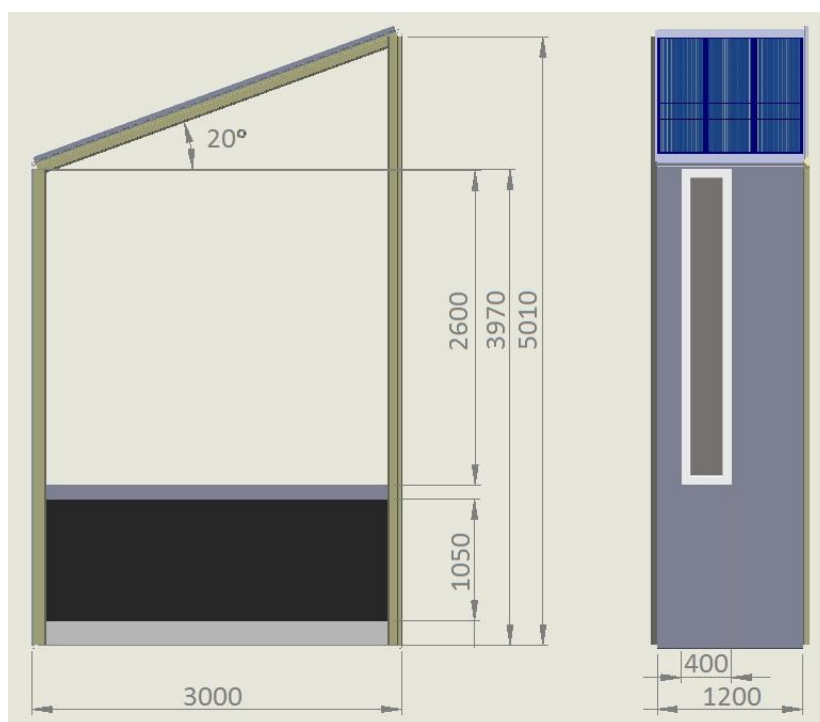






Afmetingen

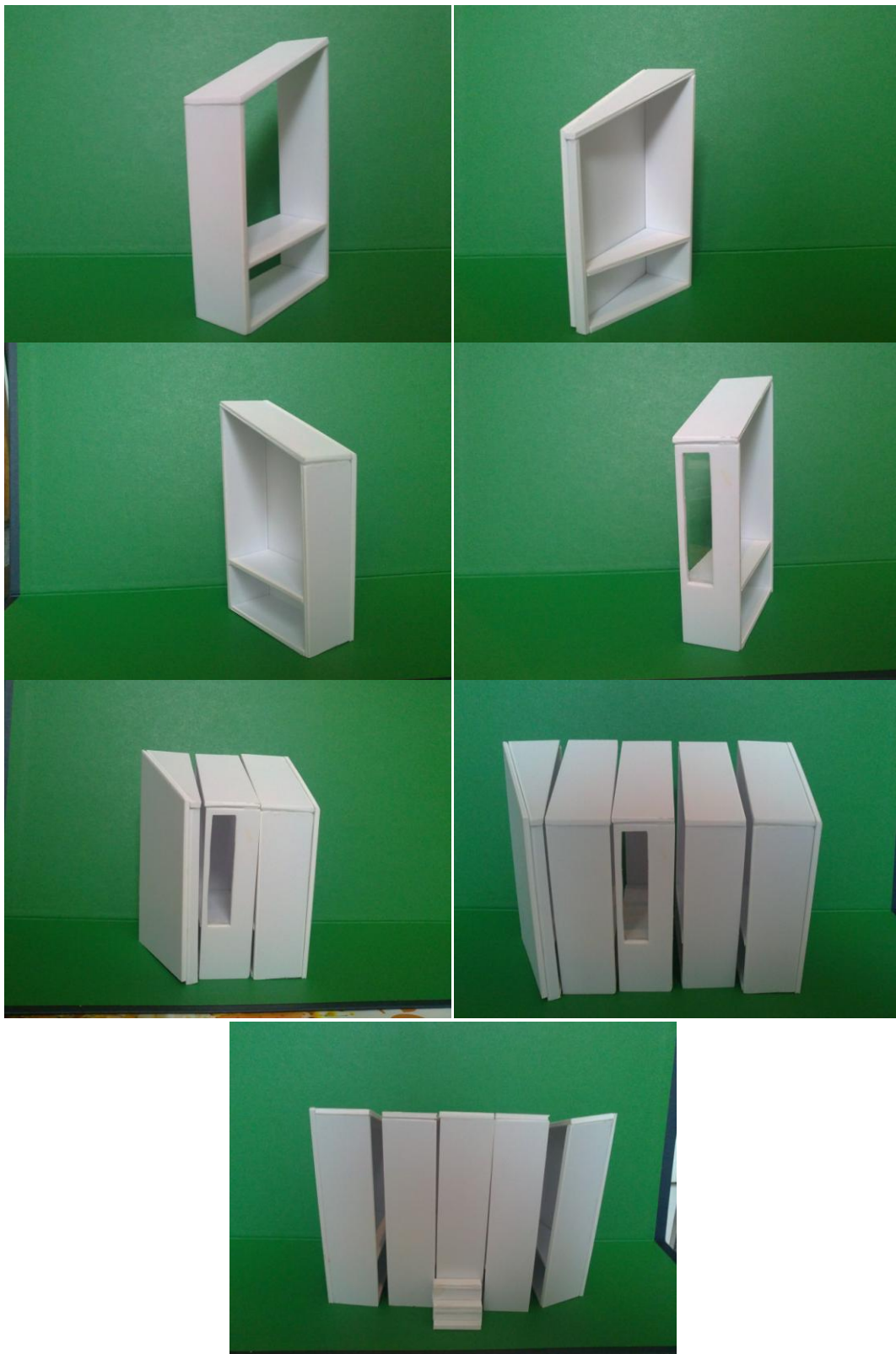
Door het toepassen van segmentbouw, zijn de afmetingen per gebouw verschillend en aan te passen aan de wensen van de klant. Echter staan de afmetingen per segment wel vast. Elke module is 1,20 m breed en 3 m diep. Het bassin heeft een hoogte van 1,05 m en het plafond is op het laagste punt 2,60 m hoog. Het dak van de modules bezit verder een helling van 20°. Alle afmetingen zijn in Afbeelding 6.2-a weergegeven.



Afbeelding 6.2-a Afmetingen segment Smart Cube

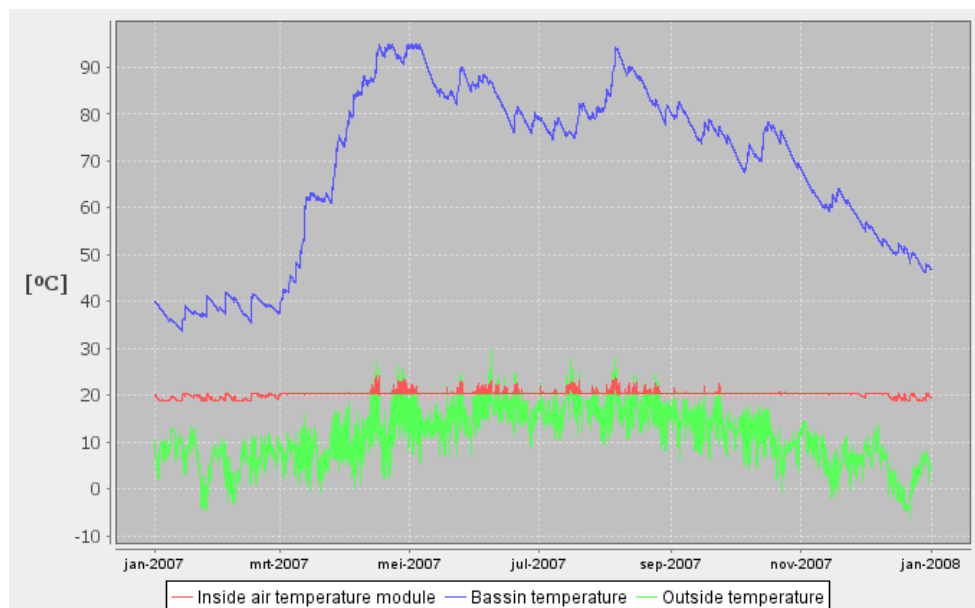
Schaalmodel

Van het ontwerp is een schaalmodel gemaakt van polystyreen. Hiervoor is de schaal 1:50 gehanteerd.

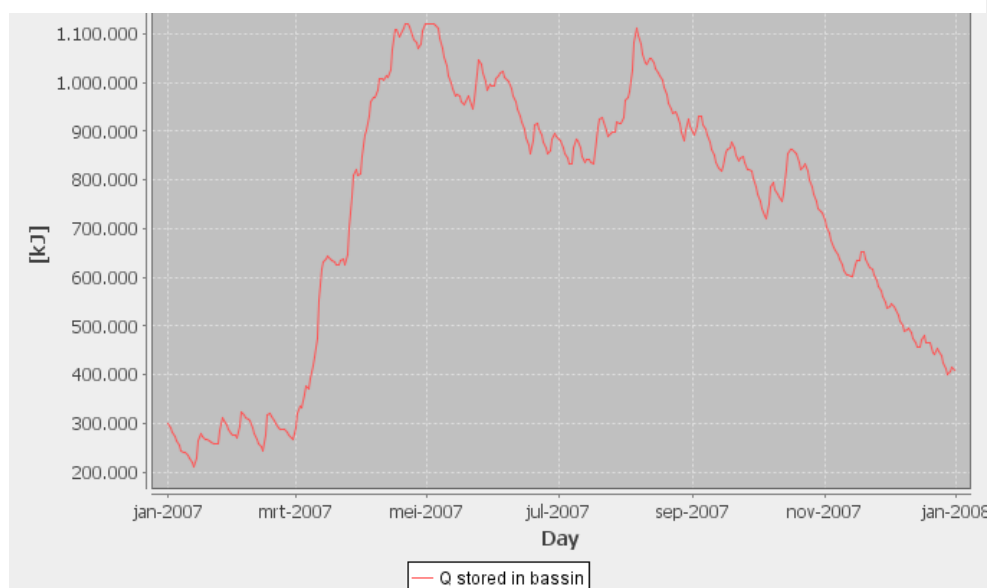


Simulaties

Om de werking van de Smart Cube te controleren, heeft Bart Kolkman enkele simulaties uitgevoerd met het uiteindelijke ontwerp. Bij enkele onderdelen heeft hij echter iets andere waardes gebruikt dan in de ontworpen Smart Cube. Ten eerste heeft hij voor de ramen een U waarde van 1 genomen, in plaats van de 0,8 die de gebruikte ramen bezitten. Verder heeft hij een selectief collector oppervlak gesimuleerd, wat in tegenstelling tot het geanodiseerde aluminium van de Sandwichpanelen een hoge absorptie en een lage emissiviteit heeft. De grafieken geven echter wel een mooi beeld van de temperatuursveranderingen gedurende het jaar. In Afbeelding 6.2-b is goed te zien dat de binnentemperatuur van de Smart Cube redelijk constant is en gedurende het hele jaar rond de 20°C blijft. In Afbeelding 6.2-c is vervolgens ook de opslag van thermische energie in het bassin, gedurende het jaar te zien. Hierbij zijn ook goed de verschillen waar te nemen tussen periodes waarin warmte opgeslagen en afgegeven wordt.



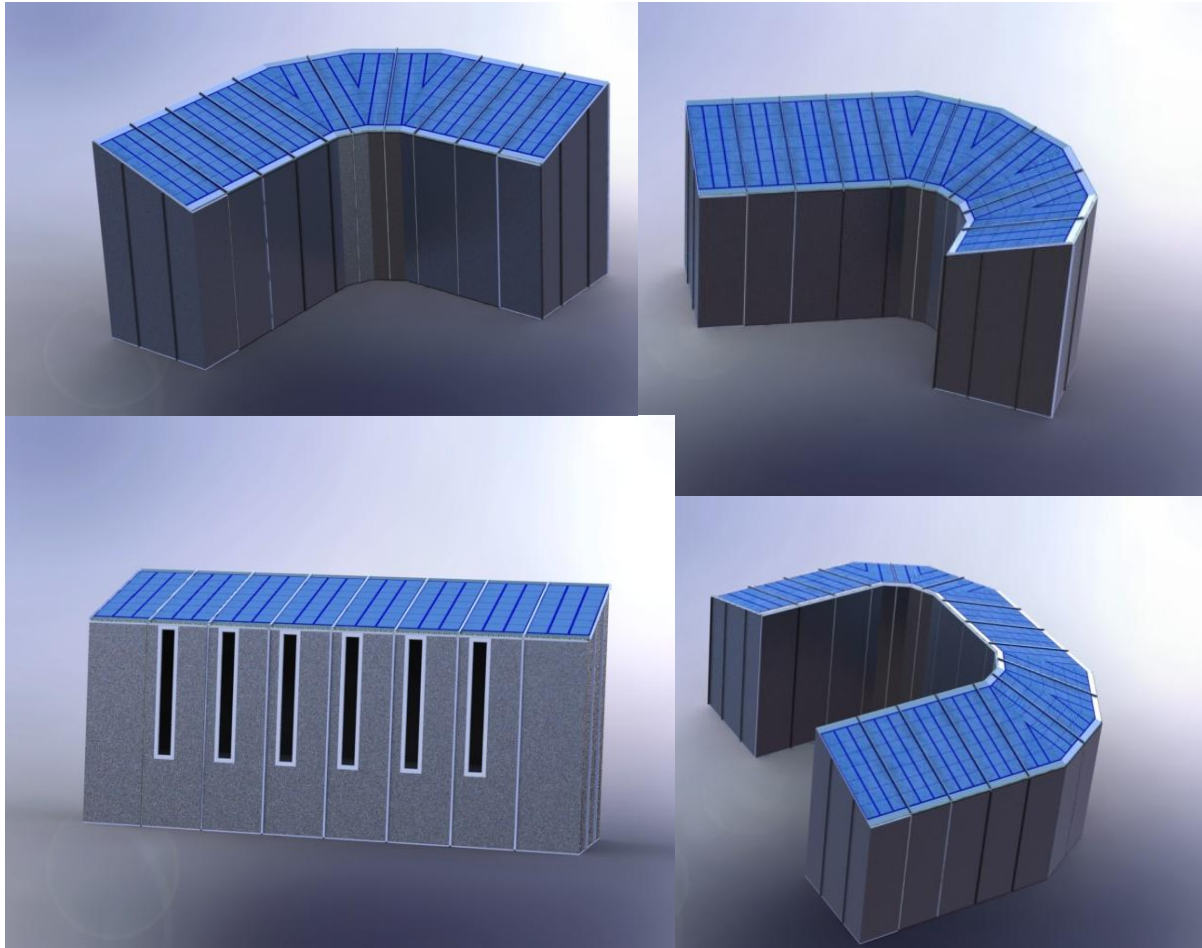
Afbeelding 6.2-b Temperatuursverloop Smart Cube



Afbeelding 6.2-c Opslag thermische energie in het bassin

Configuraties

Om een beeld te geven van de mogelijkheden van het bouwen met de ontworpen segmenten, zijn verschillende mogelijke configuraties gemaakt, zoals op deze pagina te zien is.



Opties

Om de mogelijkheden van de Smart Cube verder te vergroten, kan het aantal verschillende segmenten steeds verder uitgebreid worden. Buiten de reeds ontworpen segmenten zijn enkele mogelijkheden:

- Opslagsegment
- Toiletsegment
- Badkamersegment
- Keukensegment
- Segment zonder achterkant, waardoor ook in de diepte gebouwd kan worden
- Segment met twee verdiepingen
→ Trapsegment

7 Evaluatie

7.1 Toetsing PvE

Algemene eisen

1. De Smart Cube is opgebouwd uit de materialen en componenten van de betrokken partijen

Aan deze eis is gedeeltelijk voldaan. Van de belangrijkste materialen is alleen de aerogel niet specifiek toegepast binnen het huidige ontwerp. Deze kan echter nog zeer goed alsnog toegepast worden, door het bijvoorbeeld in te zetten tegen koudebruggen, om zo de isolatie van de Smart Cube te verbeteren.

2. Het gebouw is opgebouwd door meerdere segmenten aan elkaar te koppelen

Aan deze eis is voldaan.

3. Er zijn verschillende soorten segmenten beschikbaar

Op het moment zijn al een aantal verschillende segmenten uitgewerkt. Echter zijn er nog vele mogelijkheden tot verdere ontwikkeling open gelaten, zoals een keukensegment en een wc-segment. Ook kunnen er nog vele andere opties bedacht en uitgewerkt worden.

Gebruik

4. De afmetingen van de Smart Cube voldoen aan de geldende normen voor werkplekken (arbo)

Door de minimale afmetingen van 2,16 x 2,76 x 2,6 m is aan deze eis voldaan.

5. De Smart Cube kan in verschillende situaties ingezet worden, buiten de genoemde hoofdsituatie.

Door het aanbieden van segmenten met verschillende functies, is de Smart Cube aan te passen aan de gewenste functie van het gebouw.

6. De segmenten kunnen zonder het toebrengen van beschadigingen gedemonteerd en hergebruikt worden

Er zijn geen permanente verbindingen tussen de segmenten, waardoor deze zonder beschadiging gedemonteerd en hergebruikt kunnen worden.

7. De unit moet volledig gedemonteerd kunnen worden waardoor materialen gescheiden ingezameld kunnen worden

Aan deze eis is gedeeltelijk voldaan. Geen van de verwerkte materialen zijn in het montageproces met elkaar vermengd. Echter zijn wel enkele verbindingen binnen segmenten verlijmd, gelamineerd of hebben een vergelijkbare verbinding. Bij het toepassen van deze verbindingen, zal dus een bewuste keuze gemaakt moeten worden voor een bepaald type hechting en de demonteerbaarheid van deze verbinding. Maar ook de toepassing van de Sandwichpanelen en HR +++ beglazing zorgen ervoor dat niet aan deze eis voldaan wordt, aangezien deze producten opgebouwd zijn uit meerdere, samengevoegde materialen.

8. De segmenten moeten minimaal 20 jaar onderhoudsvrij zijn

Enkele belangrijke onderdelen, zoals bijvoorbeeld de Solar Sandwichpanelen zijn onderhoudsvrij. Dit geldt echter niet voor alle materialen verwerkt in de segmenten, bijvoorbeeld de ventilatiesystemen moeten regelmatig onderhouden worden, om geen capaciteit te verliezen en om deze hygiënisch te houden. Aan deze eis is dus slechts gedeeltelijk voldaan.

Fabricage

9. Elk segment wordt volledig in de werkplaats gefabriceerd

Aan deze eis wordt voldaan. De verschillende segmenten zullen in de werkplaats vervaardigd worden, waarna ze op de bouwplaats aan elkaar gemonteerd worden.

Transport

10. De Smart Cube moet voldoen aan de geldende vervoersnormen

Aan deze eis is voldaan. Door het ontwerptraject, is geen sprake meer van een ondeelbare, maar van een deelbare lading. Bij een deelbare lading geldt een maximale vervoersbreedte van 2,55 m. aangezien de segmenten 3 m breed zijn, zal dus wel een tijdelijke ontheffing aangevraagd moeten worden voor het vervoer.

Wetten en normen

11. De Smart Cube voldoet aan de in het bouwbesluit gestelde normen

- Er is waterafvoer aanwezig

Er is een waterafvoer aanwezig. De precieze uitwerking hiervan is echter nog niet volledig.

12. De brandveiligheid voldoet aan de geldende normen

De Solar Sandwichpanelen voldoen aan de brandwerendheidsklasse BS2D0 conform EN 13823. De zelfontstekingtemperatuur van Bicell ligt >360 °C. In de constructie van de Smart Cube wordt verder vooral gebruik gemaakt van staal. De Smart Cube lijkt dus redelijk goed bestand tegen beginnende brand. Er zal echter nog gedetailleerder onderzoek gedaan moeten worden naar de brandveiligheid.

Vormgeving

13. De Smart Cube heeft in haar markt een onderscheidende uitstraling

De afmetingen van de Smart Cube worden nog steeds beïnvloed door de geldende vervoersnormen. Door het aan elkaar koppelen van de segmenten, in combinatie met de breedte van de Sandwichpanelen van 1,2 m en het vervoer op zijn kant in plaats van rechtop, zijn de afmetingen van de vrachtwagen echter niet meer duidelijk aanwezig. Maar ook het andere type materiaalgebruik zorgt ervoor dat de Smart Cube een onderscheidende uitstraling heeft ten opzichte van de concurrentie.

14. De Smart Cube roept de volgende associaties op:

- Modern
- Vooruitgang
- Energievriendelijk
- Efficiënt

- Degelijk

Hier zal nog nader onderzoek naar gedaan moeten worden in de vorm van een enquête. Door de zichtbare aanwezigheid van PV cellen en duurzame, stevig (ogende) materialen, doet het vermoeden dat de Smart Cube (gedeeltelijk) aan deze eis voldoet.

Ergonomie

15. Voor het aan elkaar koppelen van segmenten is geen opleiding benodigd

De koppeling van de segmenten zal relatief eenvoudig zijn, door alle simpele verbindingen. Echter is wel duidelijke instructie nodig, voor welke verbindingen allemaal gemaakt moeten worden. Hierbij moet niet alleen gedacht worden aan de algemene verbinding van de segmenten aan elkaar en aan de grond, maar ook hoe bijvoorbeeld de bassins en headerpijpen van de Sandwichpanelen aan elkaar verbonden moeten worden.

16. Deuropeningen voldoen aan de normen van aangepaste woningen

De deur zal de afmetingen 0,9 x 2,3 m hebben, waardoor deze aan de eis voldoet.

17. Elektrische verbindingen zijn zonder demontage van de segmenten door te lussen

De elektriciteitskabels van de PV-panelen naar de accu lopen via de hoekprofielen van de Smart Cube. Indien deze op de bouwplaats doorgelust worden, zal er een opening aanwezig moeten zijn om vanuit te kunnen werken. De aansluitingen zouden echter ook al in de werkplaats aangebracht kunnen worden, waardoor demontage niet meer nodig is. In een eventueel vervolg zal dit nog verder uitgewerkt moeten worden.

Hoe de verdere aansluitingen binnen de Smart Cube zelf worden doorgelust, is in dit project verder nog niet ingegaan.

Energie

18. Het gebruik van kunstmatige elektriciteit wordt door de inzet van PV-cellen tot een minimum beperkt

Uit oude simulaties van Bart Kolkman is gebleken, dat er voldoende elektriciteit opgevangen wordt om een gemiddeld huishouden van elektriciteit te kunnen voorzien. Hier is wel goede opslag voor nodig, of eventueel uitwisseling met het elektriciteitsnet. Wat echter de precieze opbrengst zal zijn in het huidige concept, heeft hij echter op het moment van schrijven nog niet kunnen bepalen.

19. Het gebruik van gas wordt door de inzet van Sandwichpanelen tot een minimum beperkt

De simulaties van Bart Kolkman tonen aan dat met het huidige ontwerp geen extra gas benodigd is voor de verwarming van de Smart Cube. Gedurende het jaar zijn slechts kleine fluctuaties in temperatuur, waaruit voortkomt dat de warmtehuishouding van de Smart Cube volledig autonoom kan werken.

20. De Smart Cube slaat haar overvloedige opgewekte elektrische energie op

Aan deze eis wordt voldaan, aangezien de overvloedige elektriciteit in accu's zal worden opgeslagen.

21. De Smart Cube slaat haar overvloedige opgewekte thermische energie op

Aan deze eis wordt voldaan, aangezien de thermische energie wordt opgeslagen in het bassin.

22. Door de inzet van isolatie en warmtewisselaars wordt het warmteverlies zo veel mogelijk beperkt

Door de inzet van goed geïsoleerde ramen, goede isolatie van de Sandwichpanelen, het isoleren van koudelekken door aerogel en door warmtewisselaars verbonden aan het ventilatiesysteem, wordt het warmteverlies zo veel mogelijk beperkt.

23. Elektriciteitsvoorzieningen voldoen aan de geldende normen

Door het plaatsen van een omvormer tussen de accu's en elektrische apparaten, zal een goede elektriciteitsvoorziening ontstaan.

24. De Smart Cube is opgebouwd uit herbruikbare materialen en componenten

Door het gebruik van duurzame producten, zoals de Sandwichpanelen die 50 jaar meegaan en het staal, aluminium en glas wat gebruikt wordt, is in ieder geval gedeeltelijk aan deze eis voldaan. Of uiteindelijk alle componenten van de Smart Cube herbruikbaar zijn, wordt pas duidelijk wanneer de volledige detaillering compleet is.

Comfort

25. De binnentemperatuur van de Smart Cube is door de toepassing van PCM zo veel mogelijk constant

Uit de simulaties van Bart Kolkman blijkt dat de temperatuur binnen de Smart Cube slecht kleine fluctuaties vertoont, waaruit geconcludeerd kan worden dat aan de eis is voldaan.

26. De ventilatie binnen de ruimte voldoet aan de geldende normen

Aan deze eis wordt voldaan door de aanwezige balansventilatie in de Smart Cube.

27. De warmte uit de binnenruimte wordt hergebruikt

Door de toepassing van warmtewisselaars en door de werking van de PCM wordt aan deze eis voldaan.

28. De inval van daglicht voldoet aan de geldende normen

Indien minimaal een standaard raam per 6 segmenten geplaatst wordt, wordt aan deze eis voldaan.

29. De verlichting van de ruimte voldoet aan de geldende normen

Hier is binnen het project nog verder niet ingegaan. Momenteel is dus nog niet aan deze eis voldaan.

Opties

1. Het aantal typen segmenten wordt uitgebreid
 - a. Segmenten met twee verdiepingen
 - i. Gevolg: trapsegment

b. Segment zonder achterkant

Dit is een optie die in de toekomst verder uitgewerkt kan worden.

2. De toegang tot de deuropening voldoet aan de normen van aangepaste woningen

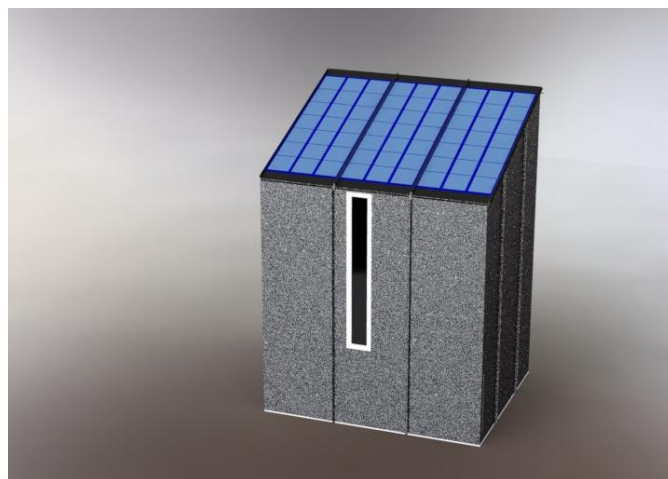
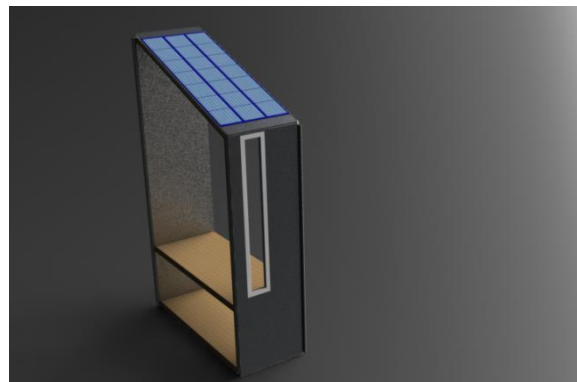
Door de aanwezigheid van een standaard trap, is aan deze optie tot op heden nog niet voldaan.

7.2 Verbetering/onderscheid tov bestaande units

Vormgeving

Uit de analyse van het huidige aanbod aan tijdelijk kantoren, viel te concluderen dat het aanbod op het gebied van uiterlijk niet veel van elkaar verschilt. Zowel interieur als exterieur verschillen de tijdelijke gebouwen nauwelijks van elkaar. Dit gebeurt pas, wanneer het grotere, meestal (semi-) permanente gebouwen betreft.

De Smart Cube stapt van deze vormgeving af. Door gebruik te maken van hoogwaardige materialen en producten, in plaats van de standaard systeemplafonds en -wanden, heeft de Smart Cube een compleet andere vormgeving en uitstraling. Hij heeft hierdoor een zeer degelijke en moderne uitstraling ten opzichte van de andere tijdelijke gebouwen. (Afbeelding 7.2-a) Bij de Smart Cube zal nog steeds zichtbaar zijn, dat het gebouw uit meerdere subsystemen is opgebouwd, net als bij het huidige aanbod, maar door de tweede gevel, zal dit enigszins verdoezeld worden.



Afbeelding 7.2-a Vergelijking huidige aanbod ten opzichte van Smart Cube

Duurzaamheid

Ten opzichte van het huidige aanbod, slaat de Smart Cube op het gebied van duurzaamheid een volledig nieuwe weg in. Waren de tijdelijke kantoren tot nu toe allemaal redelijk simpel, en boden ze buiten de logische gevolgen van modulebouw weinig op het gebied van duurzaamheid, buiten het enkele solar dak, of het duurzame hout wat als extra optie geboden werd, is de Smart Cube volledig autonoom in haar energievoorziening. Dit zorgt ervoor dat de Smart Cube uniek is in zijn soort.

Totaal

Zoals hierboven te lezen is er een groot onderscheid te zien tussen de Smart Cube en het huidige aanbod, zowel op het gebied van vormgeving, evenals als op het gebied van duurzaamheid. Om dit onderscheid te maken en om aan de eisen van zelfvoorzienendheid te kunnen voldoen, worden innovatieve materialen van goede kwaliteit gebruikt. Dit zorgt er wel voor dat de kosten van de Smart Cube hoger liggen dan van een 'normale' tijdelijke unit. Doordat de Smart Cube zelfvoorzienend is, zal een deel van deze extra kosten echter terugverdiend worden met de besparing van de energiekosten. Maar de gebruiker zal toch zeer bewust moeten kiezen voor het duurzame karakter van het tijdelijke gebouw.

8 Conclusie en aanbevelingen

8.1 Conclusies

Door het integreren van verschillende duurzame of energievriendelijke materialen en oplossingen, is een tijdelijk gebouw ontstaan, wat ten opzichte van het huidige aanbod een geheel nieuwe weg is ingeslagen. Door de inzet van andere materialen, het opbouwen van de Smart Cube uit de ontworpen segmenten in plaats van uit volledige units of elementen en door (vooralsnog) slechts in de lengte te bouwen in plaats van in de lengte, diepte en hoogte, ontstaat een gebouw dat zich op het gebied van vormgeving en uitstraling onderscheidt van de rest van de markt. Maar ook vooral op het gebied van duurzaamheid onderscheidt de Smart Cube zich van de rest van de markt. Nergens binnen de markt wordt een tijdelijk gebouw aangeboden dat zo op duurzaamheid gefocust is. De elektriciteits- en thermische voorzieningen zijn ontworpen om volledig autonoom te kunnen functioneren. Uit de simulaties van Bart Kolkman valt ook te concluderen dat dit met het huidige ontwerp, door de inzet van de PV-cellen, de PCM in de wanden, de Solar Sandwichpanelen en de warmtebuffer, ook daadwerkelijk mogelijk is. Er zullen echter nog veel onderdelen van het project verder uitgewerkt en gedetailleerd moeten worden, voordat het eventueel echt gerealiseerd zou kunnen worden, echter is hier al wel een brede basis voor gelegd en is met deze opdracht aangetoond dat het ook daadwerkelijk binnen de mogelijkheden ligt.

8.2 Aanbevelingen

Bij het ontwerpen van de Smart Cube is geprobeerd een ontwerp af te leveren dat zo veel mogelijk aan de opdracht en de eisen voldoet. Voor een verbetering van het ontwerp en voor eventuele verdere ontwikkeling en uitwerking van het project, zijn hieronder een aantal aanbevelingen opgenomen.

- De effecten van het veranderen van de hoek van het dak onderzoeken en de gevolgen hiervan op het ontwerp. Voor het opvangen van zonlicht zou een hoek van 36° optimaal moeten zijn, hierdoor verandert echter ook de hoogte van de Smart Cube.
 - De sterkte van de constructie en verbindingen van de Smart Cube berekenen.
 - Eventueel alternatieve dilatatieprofielen ontwerpen, waarbij de tweede gevel wordt geïntegreerd in het ontwerp. Sandwichpanelen
 - Onderzoeken of het van toegevoegde waarde is de schuin afgezaagde Solar Sandwichpanelen van de zijwanden, ook met het bassin in contact te laten staan. Aangezien momenteel een deel van de werking door de hoek van het dak verloren gaat.
 - Indien hier een bevestigende uitkomst uit voort vloeit, wordt aanbevolen een speciale aansluiting hiervoor te ontwerpen. Een aansluiting waardoor ook schuin afgezaagde Solar Sandwichpanelen op het bassin aangesloten kunnen worden.
 - Verbeteren isolatie door een vergrootte inzet van aerogel:
 - Koudelekken tegengaan door aerogel te injecteren bijvoorbeeld bij naden van deuren en ramen, of tussen ruiten.
 - PU-schuim vervangen door aerogel
- Onderzoek doen naar de effecten van de verbeterde isolatie op de energiehuishouding
- Uitwerken van verschillende segmentopties
 - Verdere detaillering van het ontwerp

Referenties

Agterberg, H., Heer, P. d., Verkerke, R., & Ketel, M. (2008). *Inrichting kantoorwerkplek*. www.arbokennisnet.nl.

AKG. (2011). *Welkom bij AKG BV*. Opgeroepen op May 14, 2011, van www.akg.nl

AltéAd Devriendt. (2011). *Platte opleggers*. Opgeroepen op May 25, 2011, van <http://www.devriendt-hansmar.be/details.asp?language=nl&productID=160061>

Arconell. (2011). *Tips voor zuinig en comfortabel verwarmen*. Opgeroepen op June 15, 2011, van <http://www.arconell.nl/faq.html>

Bluedec (2). (2011). *Wat is aerogel?* Opgeroepen op March 3, 2011, van <http://www.bluedec.nl/wat-is-aerogel>

Bluedec. (2011). *Home*. Opgeroepen op March 3, 2011, van <http://www.bluedec.nl/>

Capzo (2). (2011). *Warmte opslag capaciteit*. Opgeroepen op February 13, 2011, van <http://www.capzo.nl/index.asp?CategorieID=2&PaginaID=13&Taal=NL>

Capzo. (2011). *Thermusol: Captive Energy*. Opgeroepen op July 15, 2011, van <http://www.thermusol.nl/vervolg.asp?Taal=NL#c1>

Centrum ter verspreiding der duiksport. (2011). *Temperatuur van het water*. Opgeroepen op April 28, 2011, van <http://cvdduikclub.be/?mc=fysinlle&pg=fysitemp&sbtitel=fysitemp>

De Groot Vroomshoop. (2011). *Duurzaam*. Opgeroepen op February 12, 2011, van <http://www.huisvesting-bouwssystemen.nl/Duurzaam.aspx>

De Meeuw. (2011). *Duurzame huisvesting*. Opgeroepen op February 14, 2011, van <http://www.demeeuw.com/expertise/duurzaamheid.html>

Drain Products. (2011). *Permavoid*. Opgeroepen op March 8, 2011, van <http://www.drainproducts.nl/permavoid.htm>

Energyhouse. (2011). *Nieuwbouw: Energyhouse De Mirre Veldhoven*. Opgeroepen op June 2, 2011, van <http://www.energy-house.nl/nieuwbouw.html>

Hockerton Housing Project. (Unknown). *About Us*. Opgeroepen op June 3, 2011, van <http://www.hockertonhousingproject.org.uk/SEFS/ID.766/SEFE/ViewItem.asp>

Horden, R. (2008). *technical specification*. Opgeroepen op March 16, 2011, van m-ch: micro compact home: <http://www.microcompacthome.com/company/?con=ts>

Huisentuininformatie.be. (2011). *Je huis efficiënt en zuinig verwarmen*. Opgeroepen op June 16, 2011, van <http://www.huisentuininformatie.be/2008/05/27/je-huis-efficient-en-zuinig-verwarmen/>

Interexpress. (2011). <http://www.interexpress.nl/>. Opgeroepen op May 29, 2011, van <http://www.interexpress.nl/>

IPB. (2010). *Bicell*. Opgeroepen op March 13, 2011, van <http://www.iplast.be/IPB/bicell.php>

JES Product Development. (2011). *Gaasboxx - het systeem*. Opgeroepen op April 27, 2011, van <http://www.gaasboxx.nl/gaasboxx-systeem.htm>

Lysen, E., Egmond, S. v., & Hagedoorn, S. (2006). *Opslag van elektriciteit: Status en toekomstperspectief voor Nederland*. Utrecht: Utrecht Centrum voor Energieonderzoek.

Macrolux. (Unknown). *Eigenschappen van Polycarbonaat*. Opgeroepen op June 17, 2011, van <http://www.bik.nl/media/doc/PDF/Eigenschappen%20polycarbonaat.pdf>

Metaflex (1). (2011). *Solar Sandwich Panel*. Opgeroepen op February 16, 2011, van [http://metaflex.nl/category/producten/Special-Products-\(1\)/Solar-Sandwich-Panel.aspx](http://metaflex.nl/category/producten/Special-Products-(1)/Solar-Sandwich-Panel.aspx)

Metaflex. (2011). *Welkom bij Metaflex*. Opgeroepen op February 16, 2011, van metaflex.nl

Milieu Centraal (2). (2011). *Mechanisch afzuigstelsel*. Opgeroepen op June 15, 2011, van http://www.milieucentraal.nl/pagina.aspx?onderwerp=Mechanisch%20afzuigstelsel#Zo_werkt_mechanische_ventilatie

Milieu Centraal (3). (2011). *Gebalanceerde ventilatie*. Opgeroepen op June 15, 2011, van http://www.milieucentraal.nl/pagina.aspx?onderwerp=Gebalanceerde%20ventilatie#Zo_werkt_balansventilatie

Milieu Centraal (4). (2011). *Grote Energieverbruikers*. Opgeroepen op July 13, 2011, van <http://www.milieucentraal.nl/pagina.aspx?onderwerp=grote%20energieverbruikers>

Milieu Centraal (5). (2011). *Dubbel glas en HR-glas*. Opgeroepen op March 3, 2011, van http://www.milieucentraal.nl/pagina.aspx?onderwerp=dubbele%20beglazing#Isolatieglas:_uw_mogelijkheden

Milieu Centraal. (2011). *Natuurlijke ventilatie*. Opgeroepen op June 15, 2011, van http://www.milieucentraal.nl/pagina.aspx?onderwerp=Natuurlijke%20ventilatie#Zo_werkt_natuurlijke_ventilatie

MVRDV. (Unknown). *Projects*. Opgeroepen op May 24, 2011, van <http://www.mvrdv.nl/#/projects>

Nieuws.nl. (2004, August 5). *Dossier Greenpeace*. Opgeroepen op February 12, 2011, van http://dossiers.nieuws.nl/binnenland/greenpeace/46951/greenpeace__meer_toekomstvisie_co2-beleid_bouw

Portakabin. (2010). *Modulaire bouw, een duurzame bouwmethode*. Opgeroepen op February 12, 2011, van <http://www.portakabin.nl/milieu.html>

Radiotherm. (2011). *Waarom warmte in water opslaan?* Opgeroepen op June 4, 2011, van <http://www.radiotherm.nl/nl/vragen-en-antwoorden/waarom-warmte-in-water-opslaan/>

RDW (2). (2011). *Incidentele ontheffing*. Opgeroepen op June 5, 2011, van <http://www.rdw.nl/TET/nl/TET/formulieren/incidenteleontheffing/Pages/default.aspx>

RDW (3). (2011). *Soorten langlopende ontheffingen*. Opgeroepen op June 5, 2011, van <http://www.rdw.nl/TET/NL/TET/FORMULIEREN/LANGLOPENDEONTHEFFING/Pages/default.aspx>

RDW. (2011, January). *Wettelijke afmetingen*. Opgeroepen op May 10, 2011, van RDW Toelating Exceptioneel Transport:
<http://www.rdw.nl/TET/nl/TET/transporteurs/ondeelbareloading/Pages/Wettelijkeafmetingen.aspx>

Salca. (2010). *Wie is Salca*. Opgeroepen op March 14, 2011, van <http://www.salcabv.nl/>

Sanoma Media Netherlands groep. (2011). *Vloerverwarming natuursteen*. Opgeroepen op June 15, 2011, van <http://www.woonwebsite.nl/idee/Vloerverwarming-Natuursteen-Plavuizen-Informatie-Mogelijkheden-Voordelen/331>

Schipper Kozijnen. (2011). *Schipper Kozijnen*. Opgeroepen op March 15, 2011, van <http://www.schipperkozijnen.nl/home>

Schipper Kozijnen. (2011). *Zero Energy: Alufusion*.

Steiner, S., & Walker, W. (2011). *What is aerogel?* Opgeroepen op March 3, 2011, van <http://www.aerogel.org/?p=3>

Stichting Lage TemperatuurVerwarming. (2011). *LOW H2O-RADIATOREN/RADIATOREN*. Opgeroepen op June 15, 2011, van <http://www.passiefbouwen.nl/stichting-ltv/templates/ltv/global/index.php?lngid=2&cmode=1&sqlmode=3&fid=344&tid=368&bid=502>

Triple Solar (2). (2011). *Thermische opbrengsten Triple Solar dak*. Opgeroepen op March 4, 2011, van Triple Solar dakbedekking:
<http://www.triplesolar.eu/pdf/opbrengsten%20Triple%20Solar%20TNO%20rapport%202009.pdf>

Triple Solar (3). (2011). *Triple Solar kan ook gebruikt worden als drager voor Uni-solar Laminaat PV.*. Opgeroepen op March 30, 2011, van <http://www.triplesolar.eu/ned/elektriciteit.html>

Triple Solar. (2011). *Specificaties Triple Solar paneel*. Opgeroepen op March 4, 2011, van <http://www.triplesolar.eu/ned/veiligheid.html>

Uni-Solar. (2011). *Solar Laminate PVL-Series*. Opgeroepen op March 30, 2011, van Triple Solar:
<http://www.triplesolar.eu/pdf/unisolar68.pdf>

Vakblad voor de Bloemisterij. (33/2008). *TNO zet seizoensbuffers op een rij: Aquifer wint het nog altijd*. Opgeroepen op April 27, 2011, van Vakblad voor de Bloemisterij:
<http://www.vakbladvoordebloemisterij.nl/pdf/658088676dc91f1f5288d3bd3e94adf2.pdf>

van Gansewinkel Groep. (2011). *Bouwafval en sloopafval*. Opgeroepen op February 12, 2011, van <http://www.vangansewinkelgroep.com/nl/product/sloop-bouwafval.aspx>

Vandaele, L. (2001). *Moderne kantoren: Meer comfort met minder energie*. Pg. 25-28: WTCB.

Verkerk, G., Broens, J., Groot, P. d., Kranendonk, W., Sikkema, J., Westra, J., et al. (1998). *Binas* (Vierde druk ed., Vol. pg. 20). Groningen: Wolters-Noordhoff bv.

Vloer.nl. (2011). *Vloerverwarming*. Opgeroepen op June 15, 2011, van <http://www.vloer.nl/vloerverwarming.htm>

Vree (2), J. d. (2011). *Warmtecapaciteit*. Opgeroepen op April 28, 2011, van <http://www.joostdevree.nl/shtmls/warmtecapaciteit.shtml>

Vree, J. d. (2011). *PCM*. Opgeroepen op February 13, 2011, van <http://www.joostdevree.nl/bouwkunde2/pcm.htm>

VROM (2). (2003). *Bouwbesluit 2003*. Rijksoverheid.

VROM. (2003). *Bouwbesluit online*. Opgeroepen op March 3, 2011, van <http://vrom.bouwbesluit.com/>

Waaijenberg, D., & Marissen, N. (2004). Het ene kasdek materiaal is het andere niet. *De Boomkwekerij*, 38.

wonenonline. (2011). *Linoleum vloer*. Opgeroepen op June 15, 2011, van http://www.wonenonline.nl/vloeren/vloer_linoleum.html

Wouters, D. I. (2001). *Hoe zonwering uw comfort kan verhogen en u kan helpen energie te besparen*. pg. 14-23: Verozo.

WTCB. (1999). HR-Glas: Glas met hoog rendement. *Digest*, 8, pg. 2.

zon-pv.nl. (Unknown). *Autonome PV-toepassingen*. Opgeroepen op April 12, 2011, van <http://sens.home.xs4all.nl/toepassingen/autonoom/autotour/castricum.html>

Bijlagen

Bijlage I - Opdrachtformulering

Actoranalyse

De hoofdactor wordt gevormd door Prof. Dr. Ir. W.A. Poelman. Prof. Dr. Ir. W.A. Poelman is als hoogleraar bij de vakgroep Ontwerp, Productie Management aan de Universiteit Twente betrokken. Vanuit deze positie houdt hij zich ook bezig met de opzet van de nieuwe mastertrack Architectural Building Components Design Engineering (ABCDE). In het kader van de actie 'Experimenten in het bos', naar aanleiding van het 50 jarig bestaan van de Universiteit, heeft hij een project opgezet voor de ontwikkeling van een energievriendelijke, tijdelijke unit. Om dit project te kunnen realiseren is er een samenwerking met een aantal externe bedrijven opgezet.

Het belang van de hoofdactor is het ontwikkelen van een nieuw, energievriendelijk alternatief binnen de unitbouw. Door het in het kader van 'Experimenten in het bos' te doen, wil hij aan de universiteit en haar bezoekers tonen wat verschillende innovatieve mogelijkheden zijn op het gebied van energievriendelijk bouwen. Ook vanuit zijn rol binnen de opzet van de nieuwe mastertrack ABCDE, wat zich richt op duurzame en energievriendelijke bouw, is dit een zeer interessant project om uit te voeren.

Andere actoren binnen het project zijn de meewerkende bedrijven. Deze bedrijven hebben als belang bij dit project hun expertisen en mogelijkheden te tonen aan (potentiële) klanten en andere bezoekers aan de universiteitscampus. Op deze manier willen zij hun naam verbinden aan een innovatief, energievriendelijk project.

Projectkader

Prof. Dr. Ir. W.A. Poelman houdt zich veel bezig met duurzaamheid binnen de bouwsector. Dit ook gezien zijn betrokkenheid binnen de mastertrack ABCDE van de Universiteit Twente. Hierbij zoekt hij naar nieuwe, innovatieve oplossingen en ontwerpen om de duurzaamheid en de energievriendelijkheid binnen de bouwsector te verbeteren.

In het kader van 'Experimenten in het bos', naar aanleiding van het Lustrum van de Universiteit Twente, heeft hij een project bedacht om een mogelijke toepassing en functionaliteit van energievriendelijkheid van een gebouw te tonen, met hierbij als doel een nieuwe, innovatieve unit te ontwikkelen, die als concurrent te dienen voor de huidige alternatieven binnen de unitbouw. Om dit te realiseren, heeft hij een afstudeerproject bedacht om de energievriendelijkheid van de unit te bedenken en te onderbouwen. Verder heeft hij een bachelor eindopdracht bedacht om de verdere vormgeving en detaillering van het project te ontwerpen. Om op deze manier het uiteindelijke project ook daadwerkelijk te kunnen realiseren. Dit zal ook in samenwerking met een aantal bedrijven gebeuren, die op die manier ook hun expertise en mogelijkheden kunnen profileren via het project op het campusterrein van de universiteit. Deze specifieke opdracht zal gaan om de genoemde vormgeving en detaillering van het project te ontwerpen.

Doelstelling

Het doel van de opdracht is om de vormgeving en in mindere mate de constructie van een energievriendelijk, tijdelijk gebouw van ongeveer 3x3x4m te ontwerpen. Het gebouw heeft gedurende het gehele jaar een constante binnentemperatuur van 20°C, zonder de toevoer van kunstmatige energie. Alle berekeningen en simulaties met betrekking op de energie-vriendelijkheid

zullen worden uitgevoerd door Bart Kolkman, die hierop zal afstuderen. Door de samenwerking die de opdrachtgever is aangegaan met verschillende bedrijven, staan een groot aantal van de materialen en onderdelen van het te ontwerpen project al vast. De opdracht zal bestaan uit het maken van een geïntegreerd ontwerp van de voorgeschreven materialen en onderdelen.

Om de opdracht te kunnen realiseren, zal in eerste instantie een oriëntatie uitgevoerd worden. Binnen deze oriëntatie zal in de vorm van collages gekeken worden naar de verschillende producten die binnen de unitbouw al aangeboden worden; hoe zijn deze vormgegeven, waarin onderscheiden deze ontwerpen zich van elkaar? Verder zal er gekeken worden naar de verschillende materialen en onderdelen die in samenwerking met de verschillende bedrijven zijn bepaald en hoe hiervan de toepassingen en werkingen zijn binnen het project. Vervolgens zal een Programma van Eisen opgesteld worden. Aan de hand van het Programma van Eisen en de oriëntatie, zullen vervolgens ontwerpen gemaakt worden. Hierbij zal vooral geconcentreerd worden op de constructie en vormgeving van de unit. Een van de ontwerpen zal hierop gekozen worden en verder uitgewerkt en gedetailleerd worden, waaruit het definitieve ontwerp volgt. Dit alles zal plaatsvinden in een tijdsbestek van 3 maanden.

1. Wat is er reeds aan aanbod in de tijdelijke bouw aanwezig?
 - a. Hoe zien de reeds aanwezige units eruit?
 - b. Hoe onderscheiden de verschillende units zich ten opzichte van elkaar?
 - c. Hoe is er rekening gehouden met energievriendelijkheid binnen de units?
 - d. Hoe is er rekening gehouden met duurzaamheid binnen de units?
2. Welke onderdelen van het project staan vast door de samenwerking met bedrijven?
 - a. Welke bedrijven werken mee aan het project?
 - b. Welke producten of diensten leveren deze bedrijven aan het project?
 - c. Wat zijn de functies van de geleverde producten of diensten?
 - d. Wat zijn de toepassingen van de geleverde producten of diensten?
3. Aan welke voorgeschreven eisen moet het project voldoen?
 - a. Wat zijn bouwvoorschriften met betrekking tot tijdelijke bouw?
 - b. Wat zijn eisen met betrekking tot vervoer?
 - c. Wat zijn eventueel andere voorgeschreven eisen?
4. Welke eisen en wensen hebben de gebruikers voor de unit?
 - a. Wie zijn de gebruikers van de unit?
 - b. Wat zijn de functies van de unit?
 - c. Wat zijn de ergonomische eisen voor de unit?
5. Wat mist er aan het huidige aanbod binnen de tijdelijke bouw?
 - a. Hoe waarderen de gebruikers de vormgeving van het huidige aanbod binnen de tijdelijke bouw?
 - b. Hoe waarderen de gebruikers de functionaliteit van het huidige aanbod binnen de tijdelijke bouw?
 - c. Wat kan er verbeterd worden aan het huidige aanbod binnen de tijdelijke bouw?
6. Hoe zal het ontwerp er uit komen te zien?
 - a. Met welke voorgeschreven eisen zal rekening gehouden worden in het ontwerp?

- b. Met welke eisen en wensen van de gebruikers zal rekening gehouden worden in het ontwerp?
 - c. Wat zijn mogelijke concepten?
 - d. Welk concept heeft de meeste potentie?
 - e. Hoe worden alle vastgestelde materialen en onderdelen met elkaar geïntegreerd binnen het ontwerp?
7. Hoe onderscheidt het project zich van bestaande units?
- a. Hoe onderscheidt het project zich qua vormgeving van bestaande unitbouw?
 - b. Hoe onderscheidt het project zich qua materiaalgebruik van bestaande unitbouw?
 - c. Hoe onderscheidt het project zich op energetisch gebied van bestaande unitbouw?

Bijlage II - Bestektekst Triple Solar Sandwichpaneel

ALUMINIUM SANDWICHPANEEL

Fabrikaat: Metaflex Isosystems B.V.

Type: Triple Solar collector sandwichpaneel

Rc-waarde (NEN 1068+w05) ((m2.K)/W): 5,48 bij een dikte van 120 mm.

Brandwerendheid (klasse): BS2D0 conform EN 13823

Opbouw:

- buitenplaat: aluminium EN AW-6060 T6 F22, dik 1,9 mm. ($\lambda_{Al} = 237 \text{ W/mK}$ $C_p = 0,897 \text{ J/gK}$)
- kern, isolatiemateriaal: PU-schuim, CFK vrij, dichtheid ca. 43 kg/m³.
- binnenplaat: sendzimir verzinkte staalplaat, dik 0,6 mm.

Oppervlaktebehandeling buitenplaat:

- geanodiseerd VB6 A20 C35, dik 20 mμ in standaard kleur mat zwart.

Oppervlaktebehandeling binnenplaat:

- polyester-coating, dik 25 mμ in standaard kleur RAL 9002, optisch geprofileerd of vlak.
- hard pvc-coating, dik 150 mμ Foodsafe 9064, kleur overeenkomstig RAL 9010 vlak.
- interieurcoating, dik 15 mμ, in standaard kleur RAL 9002, op 0,5 mm. sendzimir verzinkte staalplaat, optisch geprofileerd.

Toebehoren:

- afdichtingsmateriaal
- bevestigingsmiddelen

Sandwichpanelen leveren met schriftelijk bewijs dat het isolatiemateriaal (H)CFK-vrij is geproduceerd.

Gewicht:

Total gewicht leeg per m² = 21,1 kg/m² bij een dikte van 120mm

Total gewicht gevuld per m² = 23,6 kg/m² bij een dikte van 120mm

Totaal wandsysteem

Dikte = 120mm

Breedte plaalement = 200mm

Breedte paneel = 1200mm

m = 24 kg/m²

R_c = 5,48 (Bij een dikte van 120mm)

$\lambda = \frac{0,12}{5,48} = 0,0219$

Bijlage III – Deelnemende bedrijven

Interwand: Wandsystemen voor het interieur

Fiwihex: Warmtewisselaar voor binnenverwarming

Loohuis: Meet- en regeltechnologie / dak

Oost NV: Begeleiding project

Heering: Cladding van schroten

Heering is een bedrijf gespecialiseerd in kunststof profielen en panelen voor de aankleding van woningen.

Voor de introductie van de Solar Sandwichpanelen binnen dit project, zou de cladding van de buitenwanden opgebouwd worden uit holle, kunststof schroten. Door deze holle profielen wordt water rondgepompt, wat door de instraling van de zon en omgevingswarmte opwarmt. Deze warmte kan vervolgens opgeslagen worden, of gebruikt worden voor de temperatuurshuishouding van het gebouw. Hierin is de toepassing hetzelfde als de Solar Sandwichpanelen. In dit geval is echter geen isolatie standaard geïntegreerd en ook de combinatie met zonnecellen is niet zo voor de hand liggend als bij de Sandwichpanelen.

AKG: Kunststof spuitstukken

Binnen het project levert AKGBinnen dit project zal AKG zorgen voor de levering van verbindingstukken voor de cladding, onder de voorwaarde dat hiervoor een spuitgietmatrijs geleverd wordt. Verder zullen zij PP kratten leveren. Deze kratten zullen dienen als fundering van het project en zullen tegelijkertijd tevens dienen als bassin voor de opslag van water uit de cladding.

Bijlage IV – Energieopslag

IV-a Buffertechnologieën

Beoordeling van buffertechnologie

	Aquifer ondiep	Aquifer diep	Bodemww ondiep	Bodemww diep	Bassin onder kas	PCM
Capaciteit	Goed	Goed met aandachtspunt	Slecht	Goed met aandachtspunt	Goed met aandachtspunt	Goed met aandachtspunt
Piekvermogen	Goed	Goed	Goed	Goed	Goed	Goed
Bufferrendement	Goed met aandachtspunt	Goed met aandachtspunt	Goed	Goed	Goed met aandachtspunt	Goed met aandachtspunt
Hulpenergie	Goed met aandachtspunt	Goed met aandachtspunt	Goed	Goed	Goed	Goed
Investeringskosten	Goed	Goed met aandachtspunt	Slecht	Slecht	Goed met aandachtspunt	Goed met aandachtspunt
Ruimtebeslag	Goed	Goed	Goed	Goed	Goed	Goed
Positionering buffer	Goed met aandachtspunt	Goed met aandachtspunt	Goed	Slecht	Goed met aandachtspunt	Goed met aandachtspunt
Levensduur	Goed	Goed	Goed	Goed	Goed	Goed
Milieurisico	Goed	Goed	Goed met aandachtspunt	Goed met aandachtspunt	Goed	Goed
Bouwsnelheid	Goed	Goed	Goed	Goed	Goed	Goed met aandachtspunt
Vergunningen	Goed met aandachtspunt	Goed	Goed	Goed	Goed	Goed
Bedrijfszekerheid	Goed	Goed	Goed	Goed	Goed	Goed
Flexibiliteit	Goed met aandachtspunt	Goed	Goed met aandachtspunt	Goed met aandachtspunt	Goed	Goed
Inpasbaarheid	Goed	Goed	Goed met aandachtspunt	Goed	Goed	Goed
Teeltimpact	Goed	Goed	Goed	Goed	Goed	Goed
Afhankelijk van burens	Goed met aandachtspunt	Goed	Goed	Goed	Goed	Goed
Regelbaarheid	Goed	Goed	Goed	Goed	Goed	Goed met aandachtspunt
Combineerbaarheid met andere functies	Slecht	Slecht	Slecht	Slecht	Goed	Slecht
Veiligheid	Goed	Goed	Goed met aandachtspunt	Goed met aandachtspunt	Goed	Goed
Corrosie	Goed met aandachtspunt	Goed met aandachtspunt	Goed	Goed	Goed	Goed met aandachtspunt

Goed	Goed met aandachtspunt	Met beperkingen	Slecht
------	------------------------	-----------------	--------

Seizoensbuffers op een rij

Kenmerk	Aquifer	Diepe aquifer	Ondiepe bodem- warmtewisselaar	Diepe bodem- warmtewisselaar	Waterbassin onder kas	PCM-bassin onder kas
Capaciteit (aeq/m ²)	5-80	40-80	2-4	5-20	5-20	5-20
Temperatuurniveaus (°C)	10-25	10-90	10-60	10-25	10-90	20-120
Energieverlies (%)	25%	10%	40%	15%	25%	25%
Investeringskosten (€/m ²)	30-45	55-110	75	75	55-115	290

BRON:

Vakblad voor de Bloemisterij. (33/2008). *TNO zet seizoensbuffers op een rij: Aquifer wint het nog altijd*. Opgeroepen op April 27, 2011, van Vakblad voor de Bloemisterij:

<http://www.vakbladvoordebloemisterij.nl/pdf/658088676dc91f1f5288d3bd3e94adf2.pdf>

IV-b Batterijen

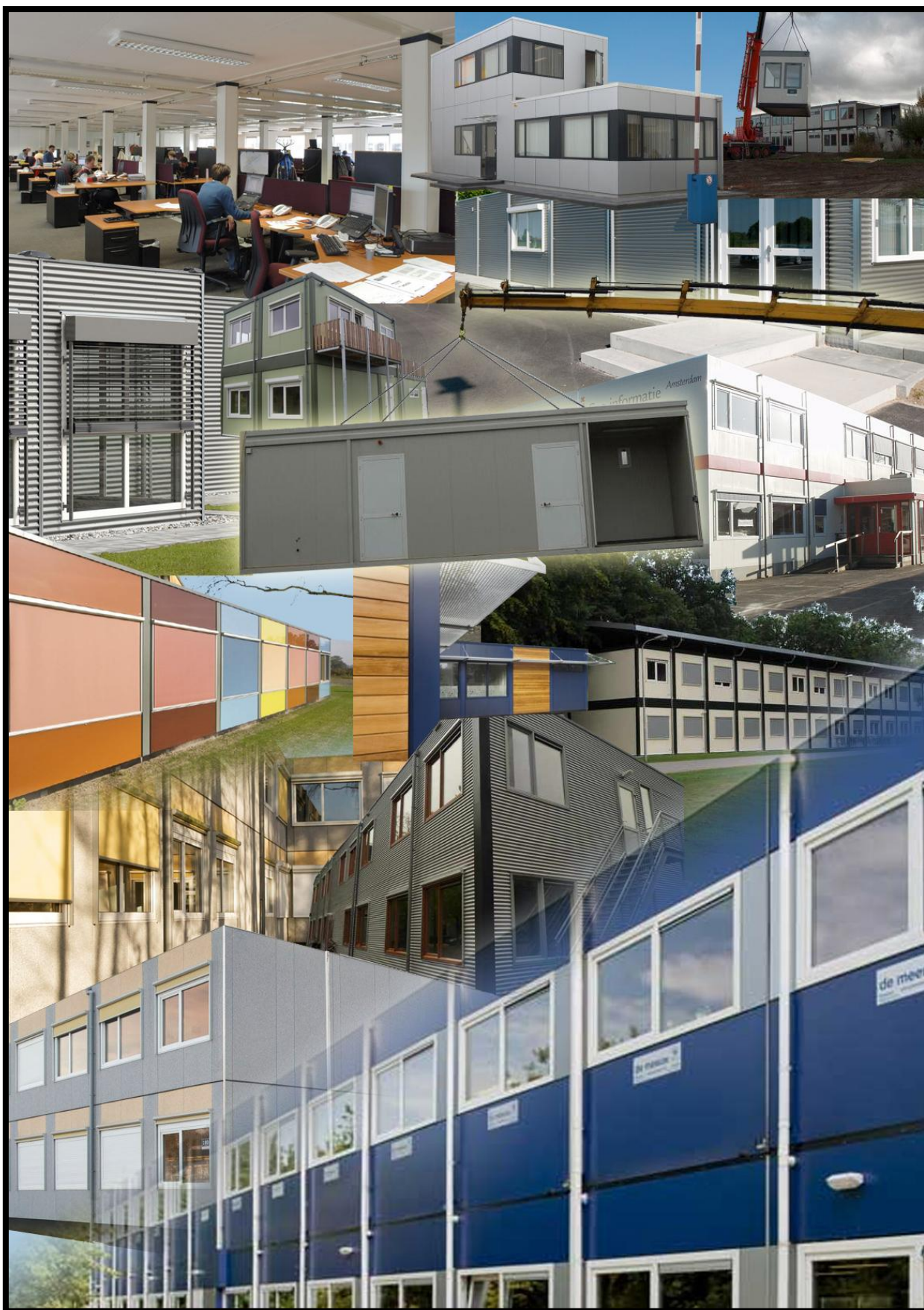
Turnkey Energy Storage System Costs

Technology	Current Cost \$/kW	Target KWh
Advanced Pb Acid	1500	4
Flow (current technology)	2600	8
Flow (developing technology)	2500	1200
Flywheels	2000	0.25
Li Ion	3800	4
NaS	3200	7
NiCd	2400	4
Pb Acid	1200	4

BRON:

Garth, P.C., 2011, An Assessment of the State of the Zinc-Bromine Battery Development Effort, Opgeroepen op June 29, 2011, http://www.redflow.com.au/docs/assessment__zinc_bromine_battery.pdf

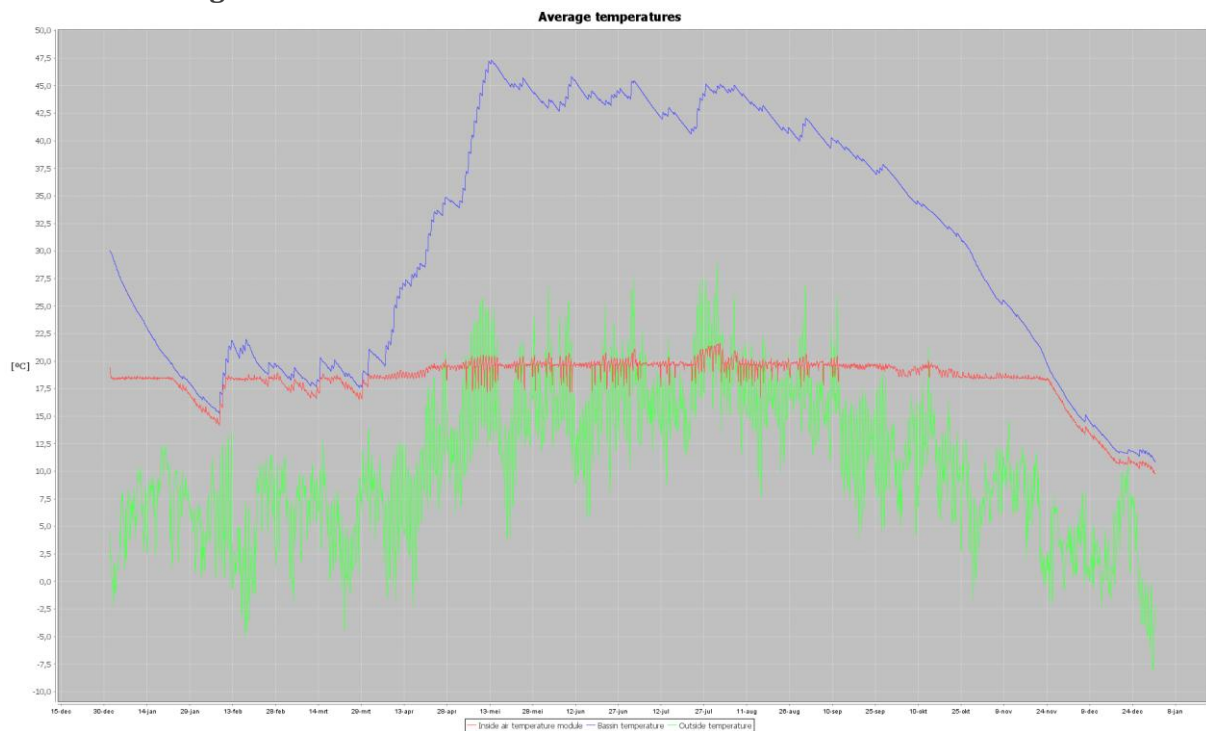
Bijlage V - Collages



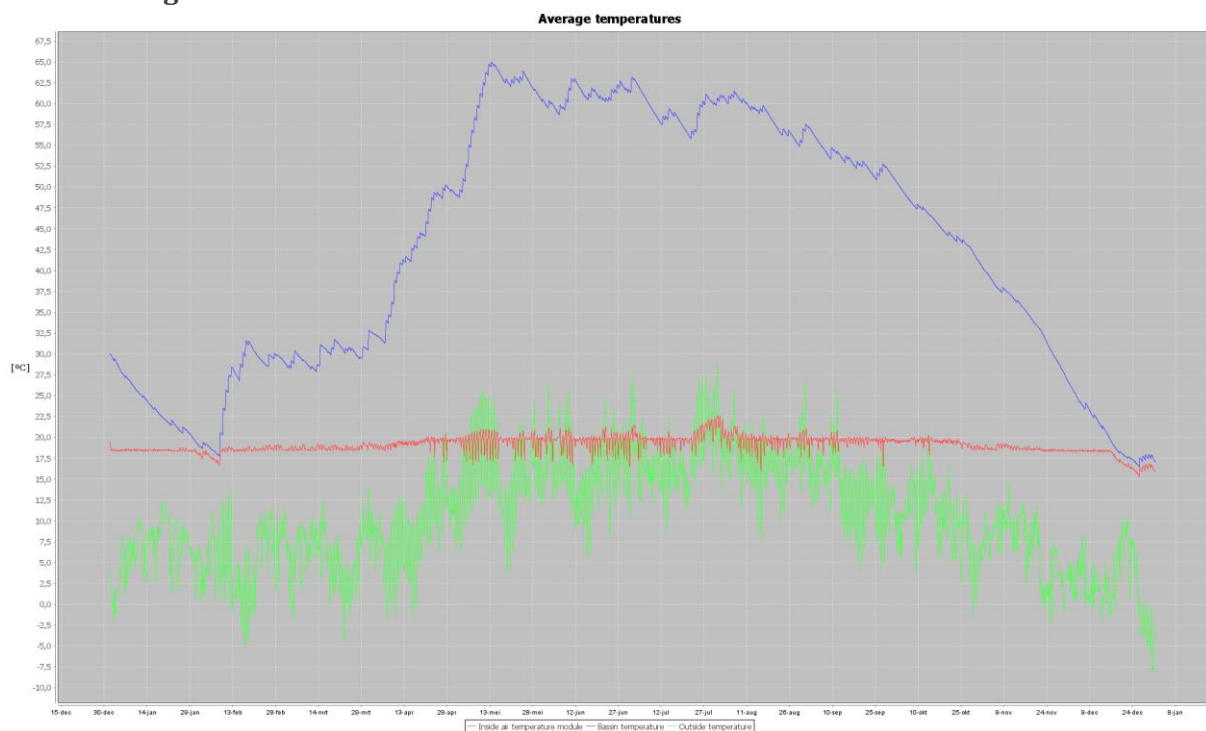


Bijlage VI – Simulaties

Zonder tweede gevel



Met tweede gevel



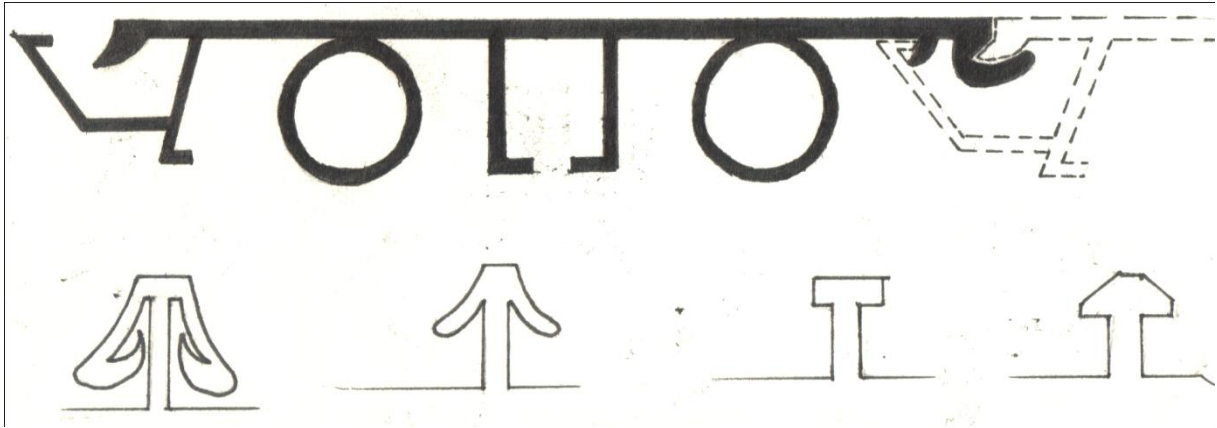
Legenda:

Groen = Buitentemperatuur Rood = Binnentemperatuur Smart Cube Blauw = Bassintemperatuur

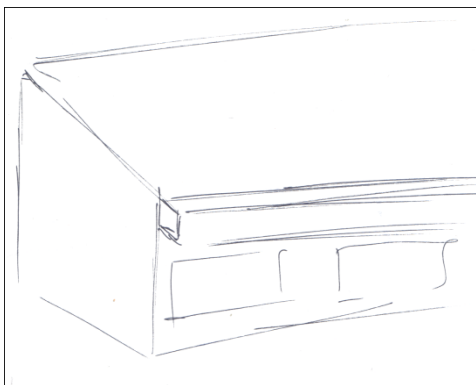
Bijlage VII - Schetsen

Bevestiging

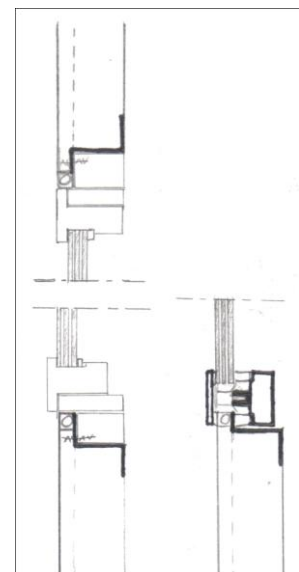
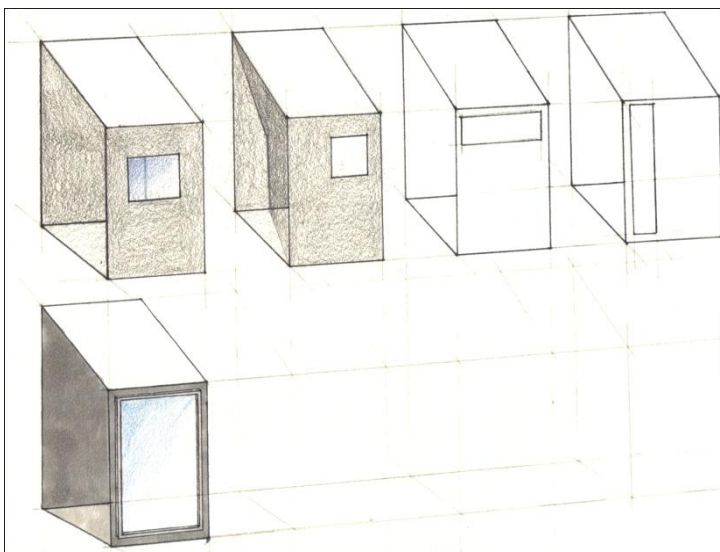
In de eerste fase van het project, was er sprake het PU-schuim van de Solar Sandwichpanelen te vervangen door aerogel. Met dat in ogenschouw is gekeken naar verschillende mogelijkheden de aluminium platen aan de gevel van de Smart Cube te bevestigen:



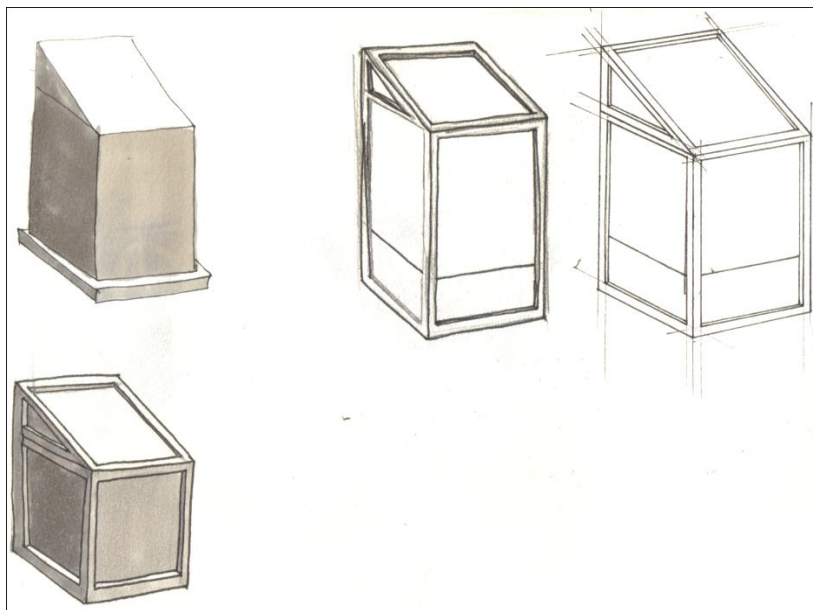
Algemeen



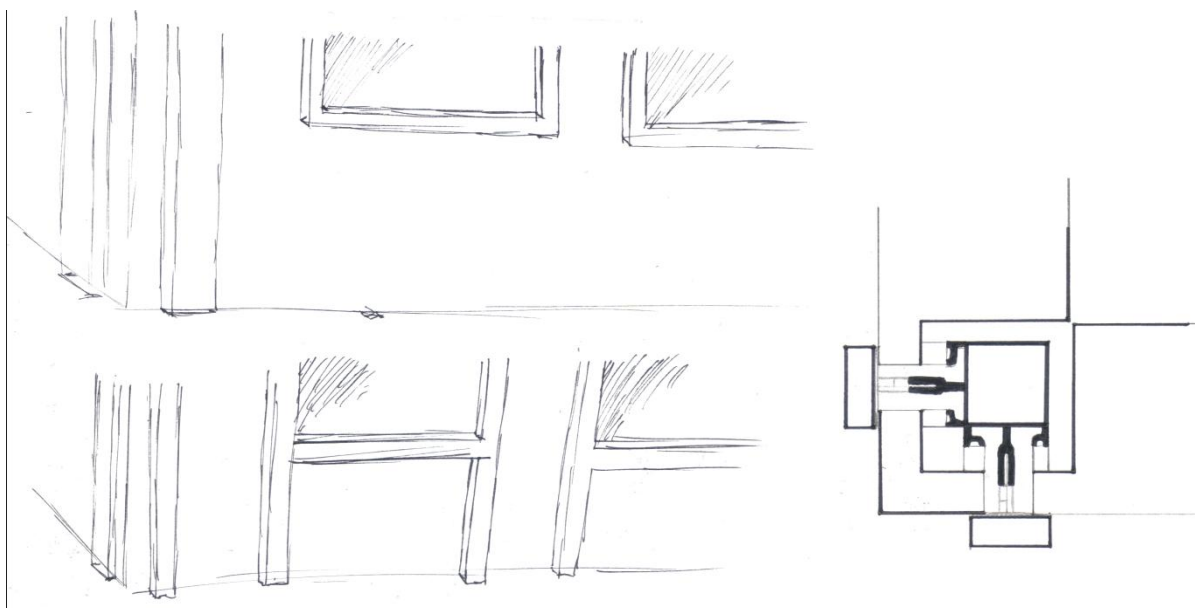
Ramen



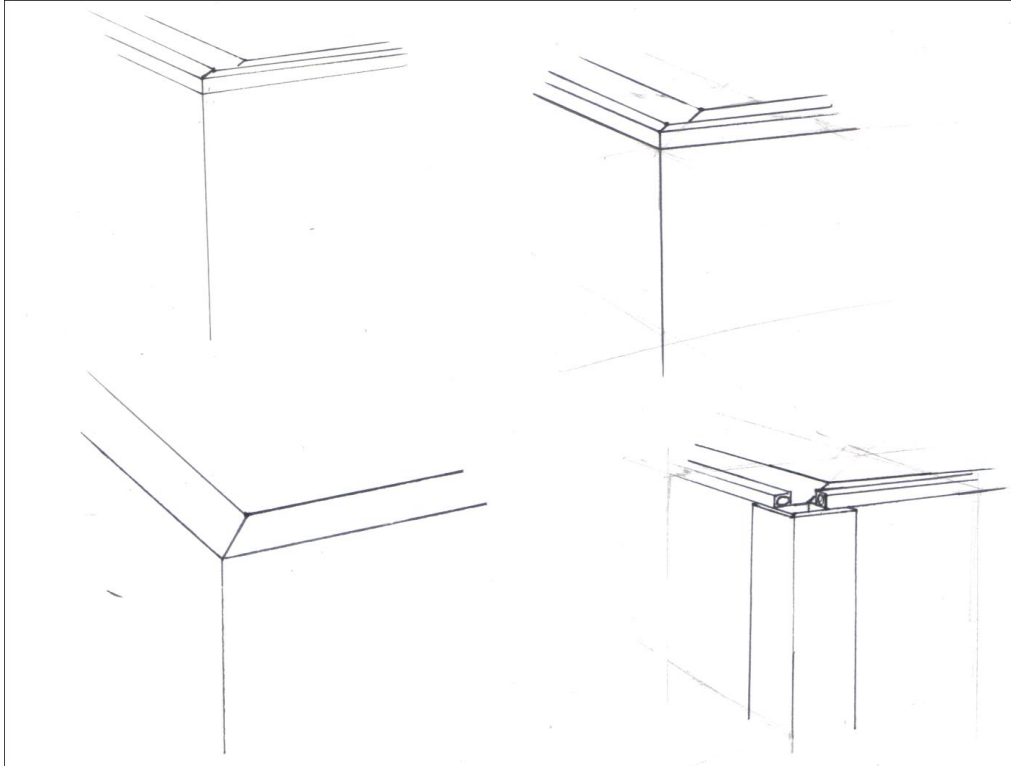
Hoeken



Constructie



Overgangen



Bijlage VIII - Vliesgevelsysteem

AA 100 Q Aluminium Vliesgevel

Uitvoeringen:



Systeem prestaties:

- Geluidsisolatie R_w tot 48 dB
- Hoge thermische isolatie volgens NEN-EN 10077-2, U_f vanaf 1,6 W/m².K
- Inbraakwerendheid: NEN 5096 klasse 2 t.b.v. Politiekeurmerk VeiligWonen®
- Brandwerendheid: EW-30, EW-60, EI-30 en EW-90
- Wind- en waterdichtheid: 1000 Pa (afhankelijk van uitvoering)

Systeem eigenschappen:

- Glasbereik: 6 t/m 50 mm
- Glasgewichten: tot 600 kg
- Aanzichtbreedte: 50 mm
- Profieldiepte: t/m 275 mm
- Doorlopende beglazing- en dichtingrubbers
- Keuze uit gecompartmenteerde waterafvoer of stijlafwatering
- Gepatenteerde stijl/regelverbinding
- Unieke waterafvoer en drukvereffening
- Diverse dekkappen aan buitenzijde
- Binnen en buiten in kleur naar wens
- Universeel gebruik van profielen en toebehoren
- Modulair systeem

Bron:

Alcoa, 2011, AA 100 Q Aluminium Vliesgevel, Opgevraagd op May 13, 2011,
http://www.alcoa.com/bcs/architectuursystemen/nl/product.asp?prod_id=4084

Bijlage IX - Ventilatie

Natuurlijke ventilatie

Voordelen	Nadelen
Verse lucht	Moeilijk de mate van ventilatie bepalen
Geen geluidshinder	Nadelige invloed op isolatie
Beperkt onderhoud	Warmte van uitgaande lucht gaat verloren
	Ventilatie-rooster of kiepraam verplicht

Mechanische ventilatie

Voordelen	Nadelen
Verse lucht	Warmte van uitgaande lucht gaat verloren
Mate van ventilatie regelbaar	Nadelige invloed op isolatie
	Afvoerkanalen nodig
	Ventilatie-rooster of kiepraam verplicht
	Onderhoud Gevolgen slecht onderhoud: Geluidshinder Verminderde capaciteit Onvoldoende aanvoer frisse lucht, waardoor door de onderdruk giftige gassen vrijkomen
	Bij uitval te weinig ventilatie

Balansventilatie

Voordelen	Nadelen
Mate van ventilatie regelbaar/automatisch	Lucht niet direct vanaf buiten naar binnen
Warmte van uitgaande lucht verwarmt binnenkomende lucht (in aanwezigheid van warmtewisselaar)	Onderhoud zeer belangrijk Gevolgen slecht onderhoud: Geluidshinder Verminderde capaciteit Vervuiling inkomende lucht met bacteriën/schimmels
Ventilatie-rooster of kiepraam niet verplicht	Bij uitval tekort aan frisse lucht
Beperkte invloed op isolatie	Bypass nodig om oververhitting lucht te voorkomen (in aanwezigheid van warmtewisselaar)